



Generator DDS 50MHz

kit
3078
AVT

Bezpośrednia synteza częstotliwości umożliwia skonstruowanie prostego a zarazem funkcjonalnego generatora. To przydatne w warsztacie każdego elektronika urządzenie pozwala generować przebieg prostokątny oraz sinusoidalny z regulowaną amplitudą.

Drogi Czytelniku, chyba nie muszę Cię przekonywać, że jednym z podstawowych urządzeń, jakie elektronik powinien posiadać w swoim warsztacie (oczywiście zaraz po zasilaczu), jest generator. Początkujący amator nie potrzebuje wiele – na początek w zupełności wystarczy generator z przebiegiem prostokątnym oraz sinusoidalnym. O ile wytworzenie tego pierwszego, przestrzeganego w szerokim zakresie częstotliwości, nie jest rzeczą trudną, o tyle wygenerowanie przebiegu sinusoidalnego stwarza pewne problemy. Z pomocą przychodzi DDS, czyli *bezpośrednia synteza cyfrowa*. Podobne generatory były już publikowane w EdW – w numerach 3/2007 oraz 7/2008. Zainteresowanych tematem odsyłam do tych artykułów, gdzie można znaleźć więcej szczegółów na temat wykorzystanego układu syntezy oraz przydatne wskazówki.

W odróżnieniu od tych konstrukcji, prezentowany układ nie wymaga współpracy z komputerem, ponadto charakteryzuje się zrealizowaną w ciekawy sposób regulacją amplitudy. Zakres generowanych częstotliwości wynosi od 1Hz do 50MHz z krokiem 1Hz. Sama obsługa jest bardzo intuicyjna – częstotliwość regulujemy impulsatorem z przyciskiem, a amplitudę – potencjometrem. Dwa dodatkowe przyciski służą do zmiany wzmocnienia wzmacniacza oraz włączenia przebiegu prostokątnego. Układ ma wyjście przebiegu sinusoidalnego o regulowanej amplitudzie od 10mVp-p do 4,4Vp-p oraz wyjście przebiegu prostokątnego TTL. Oba przebiegi wyjściowe dostępne są w standardzie 50Ω. Dodatkowo układ wyposażony jest w buforowane wyjścia, które przydają się, jeśli chcemy bezpośrednio sterować np. MOSFET-em mocy.

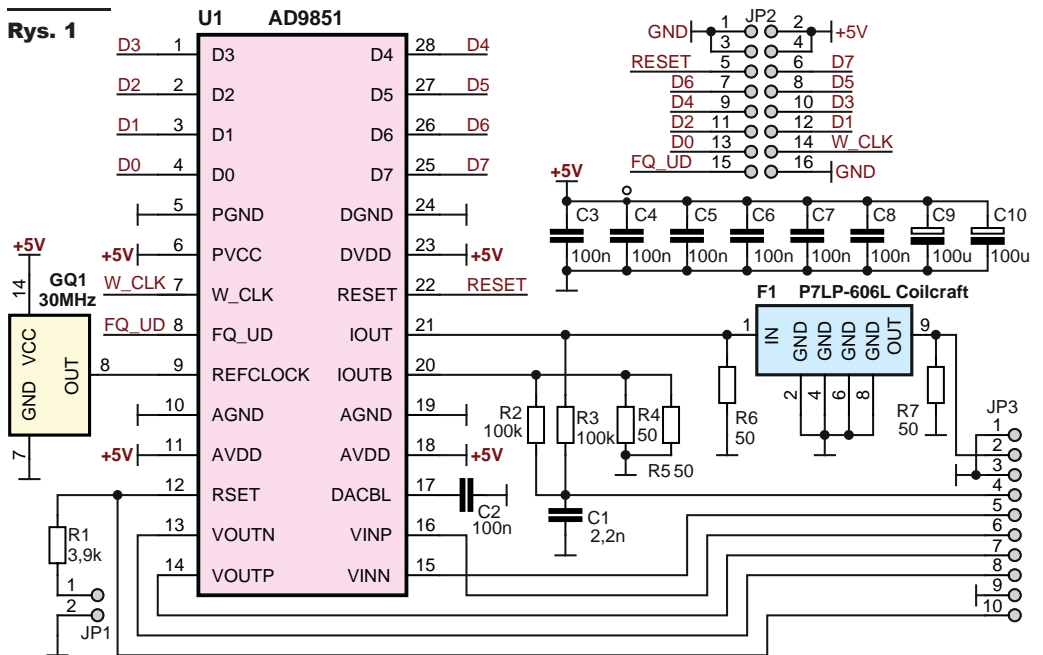


Opis układu

Całość układu została zrealizowana na trzech oddzielnych płytkach. Pierwsza zawiera sam układ generatora DDS – AD9851 – wraz z kilkoma elementami niezbędnymi do prawidłowej pracy układu. Na drugiej znajduje się mikrokontroler oraz reszta układów tworzących tor analogowy ostatecznie kształtujący przebiegi. Ostatnia płytka zawiera zasilacz. Takie rozdzielenie pozwoliło eksperymentalnie sprawdzić możliwości układu AD9851 oraz opracować kolejne obwody analogowe bez konieczności modyfikowania już istniejących. Oczywiście spowodowało to pojawienie się na schemacie elementów, które ostatecznie nie są użyte w układzie, ale o tym będzie w dalszej części artykułu.

Schemat ideowy pierwszej płytki przedstawiony jest na **rysunku 1**. Kluczową rolę odgrywa tu układ AD9851, do którego podłączony jest sygnał zegarowy pochodzący z generatora kwarcowego GQ1 o częstotliwości 30MHz. W wewnętrznym bloku PLL częstotliwość ta jest powielana sześciokrotnie i stanowi zegar taktujący wewnętrzne obwody układu. Duża częstotliwość pracy wymaga zastosowania dobrego odsprężenia zasilania w postaci C3...C10 umieszczonych możliwie blisko układu. W układzie U1 znajduje się 10-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy z wyjściem prądowym. Sygnał z wyprowadzenia IOUOUT jest filtrowany w filtrze eliptycznym 7. rzędu o częstotliwości granicznej 60MHz. Zastosowanie filtra wymaga zapewnienia

Rys. 1



dopasowania impedancyjnego po jego obu stronach, stąd takie, a nie inne wartości rezystorów R6 oraz R7. Tę ostatniego nie montujemy, ponieważ elementy dopasowujące wyjście filtru znajdują się na drugiej płytce. Rezystory R4, R5 zapewniają dopasowanie komplementarnego wyjścia – IOUTB – co polepsza parametry układu. Wspomniane wyżej rezystory R4 do R7 powinny mieć opór 50Ω, więc najlepiej w ich miejsce wlutować dwa równolegle połączone rezystory 100Ω, jeden na drugim. Można również zastosować najbliższy nominal – 51Ω. Suma prądów obu wyjść – IOUT oraz IOUTB – jest stała. Elementy R2, R3 oraz C1 dostarczają napięcie, które jest równe wartości średniej przebiegu wyjściowego. Jest ono wykorzystywane jako jedno z napięć wejściowych komparatora formującego przebieg prostokątny. Wyprowadzenie RSET układu AD9851 pozwala na ustalenie maksymalnego prądu, a przez to i napięcia wyjściowego, o czym będzie nieco więcej w dalszej części artykułu. Ponieważ układ regulacji amplitudy znajduje się na drugiej płytce, nie montujemy rezystora R1 oraz jumpera JP1. Podobnie postępujemy z kondensatorem C2. Złącze JP2 wyprowadza na zewnątrz wszystkie cyfrowe wejścia służące do sterowania pracą układu U1, a JP3 – analogowe wejścia i wyjścia, z których korzystają układy znajdujące się na drugiej płytce.

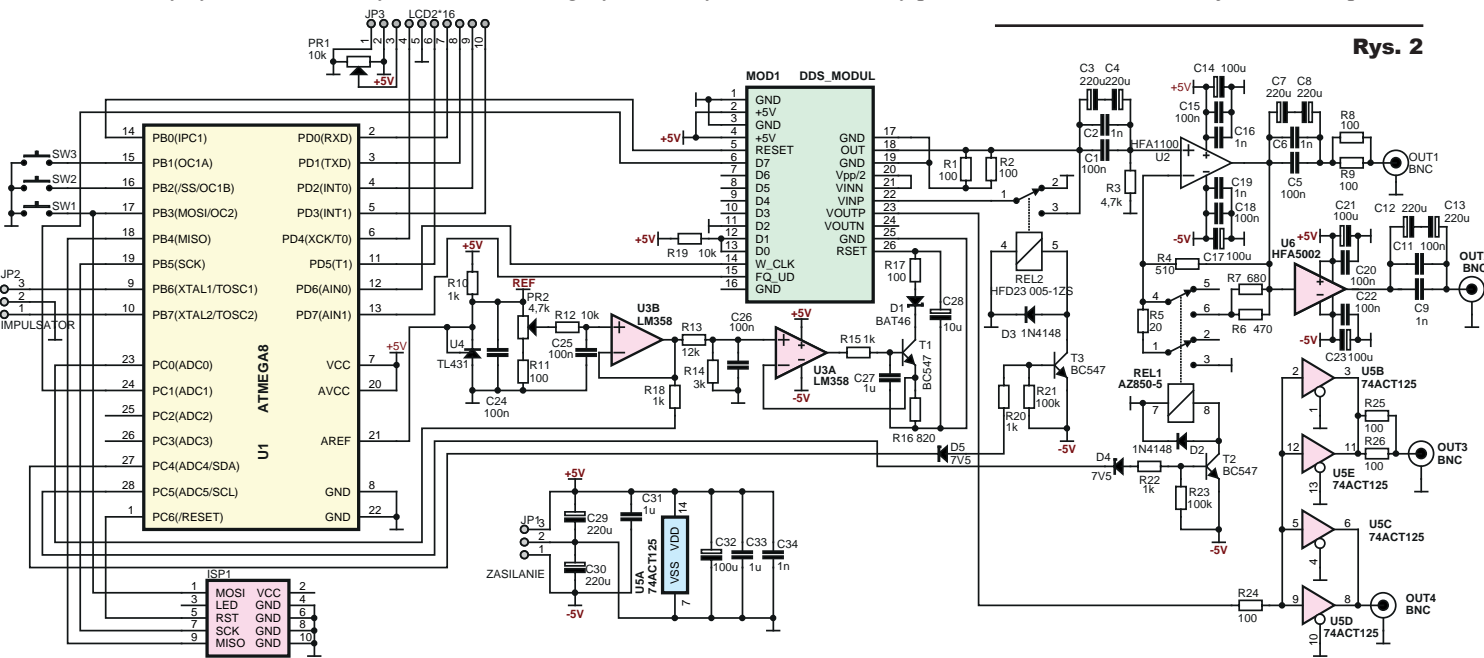
Schemat drugiej płytki przedstawiony jest na **rysunku 2**. Oczywiście blok opisany jako MOD1 jest układem omówionym powyżej. Rezystory R1 oraz R2 zapewniają dopasowanie po stronie wyjściowej filtru, potrzebne do uzyskania płaskiej charakterystyki. Kondensatory C1 do C4

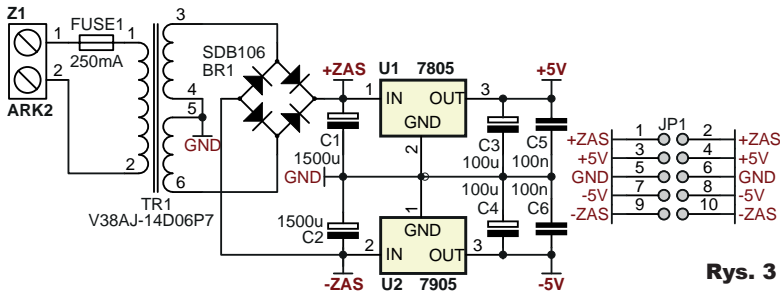
obcinają składową stałą sygnału, który następnie trafia na wzmacniacz nieodwracający U2. Rezystor R3 umożliwia przepływ prądu polaryzacji wejścia nieodwracającego do masy. Wartość tego rezystora jest wynikiem kompromisu pomiędzy częstotliwością graniczną filtru górnoprzepustowego a napięciem wytworzonym przez prąd polaryzacji wejścia, który w przypadku szybkich wzmacniaczy ma znaczną wartość. W roli wzmacniacza pracuje układ HFA1100 o bardzo szerokim paśmie (850MHz), choć całkiem dobrze radzi sobie również układ AD8011. Wzmocnienie tego stopnia wynosi jeden lub dziesięć – w zależności od stanu przełącznika REL1. Zastosowano tutaj miniaturowy przełącznik, aby zmniejszyć długości połączeń obwodu sprzężenia zwrotnego. Układ ten jest wzmacniaczem operacyjnym o sprzężeniu prądowym i stąd takie wartości rezystorów R4 do R7 zapewniających optymalne warunki pracy, czyli szerokie pasmo oraz stabilność. Według producenta przy tak dobranych wartościach pasmo układu będzie wynosiło 240MHz; w praktyce, ze względu na długie połączenia oraz zastosowanie podstawki, będzie ono mniejsze, niemniej jednak w zupełności wystarczy do opisywanego układu. Kondensatory C5 do C8 po raz kolejny obcinają składową stałą, w tym wypadku powstałą w wyniku przepływu prądu polaryzacji wejścia wzmacniacza U2 przez rezystor R3. Dalej sygnał trafia przez rezystory R8 oraz R9 na wyjście OUT1, zapewniając impedancję wyjściową 50 omów. Na wyjściu OUT2 otrzymujemy ten sam sygnał buforowany przez układ HFA5002, mogący dostarczyć znacznie większy prąd

wyjściowy. Kondensatory C9, C11 do C13 obcinają składową stałą z tego wyjścia. Oba układy – wzmacniacz operacyjny i bufor – zasilane są symetrycznym napięciem ±5V, filtrowanym przez baterie kondensatorów C14–C19 oraz C20–C23. Częstotliwość graniczna filtru dolnoprzepustowego, utworzonego z elementów C1 do C4 oraz R3, wynosi około 0,3Hz. Jednak podłączenie obciążenia o małej rezystancji spowoduje powstanie kolejnego filtru górnoprzepustowego o częstotliwości granicznej zależnej od wartości rezystancji obciążenia. Na szczęście w większości przypadków mamy do czynienia z dużą rezystancją wejściową. W przypadku układów w.cz. mających małą rezystancję wejściową – problem nie istnieje, ponieważ pracują one przy znacznie większych częstotliwościach.

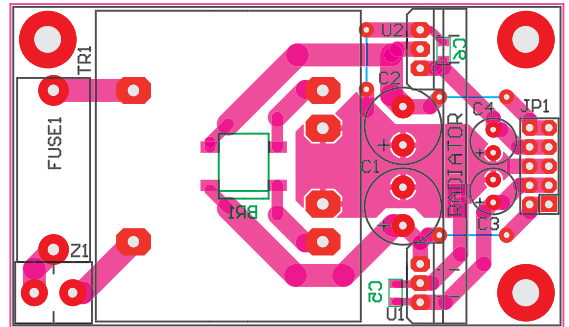
Jednym z ciekawszych bloków w układzie jest obwód regulacji amplitudy. Jest on zrealizowany w bardzo prosty sposób, a jednocześnie zapewnia szeroki zakres regulacji w całym paśmie częstotliwości. Zwykle regulację amplitudy realizuje się, używając potencjometru. W tym wypadku ciągnięcie sygnałów o częstotliwościach kilkudziesięciu megaherców do potencjometru znajdującego się na przednim panelu urządzenia jest rozwiązaniem nieeleganckim, żeby nie powiedzieć lekkomyślnym. Także potencjometry cyfrowe nie poradzą sobie z przeniesieniem sygnału w tak szerokim paśmie, nie wspominając już o tym, że tylko nieliczni producenci mają w swojej ofercie potencjometry o rezystancji 1kΩ lub mniejszej. A w opisywanym zastosowaniu takie wartości byłyby wskazane. Poszukując, jak to robią inni, natrafiłem również na konstrukcję z szerokopasma-

Rys. 2





Rys. 3



Rys. 4

wym układem mnożącym. To rozwiązanie również nie było satysfakcjonujące, więc postanowiłem nieco bliżej przyjrzeć się układowi AD9851, a dokładnie wyprowadzeniu RSET. Z karty katalogowej możemy się dowiedzieć, że służy ono do ustawiania maksymalnej wartości prądu wyjściowego zgodnie z formułą $OIUT = 39,93/Rset$, gdzie Rset jest rezystorem łączącym to wyprowadzenie z masą. Prąd ten powinien zawierać się w granicach 5mA do 20mA. Nie wiedząc, jak dokładnie zbudowane są wewnętrzne obwody kostki, postanowiłem

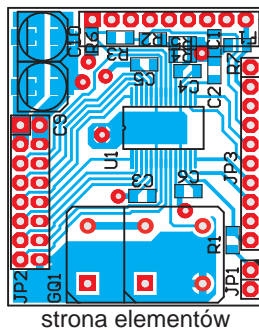
zmierzyć napięcie na wyprowadzeniu RSET dla różnych wartości rezystancji. Szybko okazało się, że jest ono równe około 1,25V oraz, co ważne, nie zależy od wartości Rset. Po szybkich obliczeniach okazało się, że prąd wyjściowy jest dokładnie 32 razy większy niż prąd wypływający z wyprowadzenia RSET. Oznacza to, że aby regulować amplitudę w pełnym zakresie, wystarczy zbudować źródło prądowe o regulowanej wartości prądu w granicach 0 do 620µA. I tak powstało źródło prądowe na wzmacniaczu operacyjnym LM358, tranzystorze T1 oraz rezystorach R15, R16. Dioda D1 wraz z rezystorem R17 zabezpiecza układ syntezy DDS. Przy małych wartościach amplitudy układ miał tendencje do wzbudzeń, toteż zastosowano kondensatory C27 oraz C28 w celu ich eliminacji. Regulacji amplitudy dokonuje się za pomocą potencjometru PR2. Druga połówka układu LM358 została wykorzystana jako wtórnik, za którym znajduje się dzielnik napięcia R13, R14 oraz kondensator C26. Zastosowanie dzielnika okazało się konieczne, ze względu na niskie napięcie potrzebne do sterowania źródła prądowego.

Przy skrajnym położeniu suwaka potencjometru wartość prądu wyjściowego układu AD9851 zmienia się w granicach 0–20mA, co na łącznej rezystancji 25Ω zapewnia napięcie wyjściowe o wartości 500mVp-p. W praktyce, ze względu na rezystancję cewek filtra wyjściowego, udało się osiągnąć amplitudę około 440mVp-p. Opisany wyżej sposób regulacji amplitudy ma jeszcze jedną dodatkową zaletę: mamy możliwość pomiaru amplitudy napięcia wyjściowego poprzez pomiar napięcia

z potencjometru, a dokładnie z za wtórniaka. Napięcie proporcjonalne do amplitudy przebiegu trafia na pierwszy kanał przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera ATmega8, który następnie przelicza je na wartość międzyszczytową przebiegu, uwzględniając przy tym wzmocnienie wzmacniacza U2.

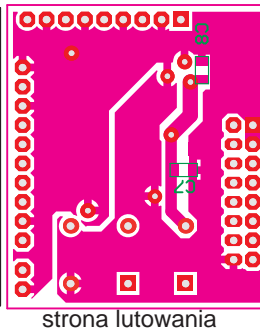
Kolejnym blokiem jest układ kształtowania przebiegu prostokątnego o współczynniku wypełnienia bliskim 50%. Wykorzystany jest tu szybki komparator znajdujący się we wnętrzu układu syntezy. Na wejście odwracające podane jest napięcie średnie przebiegu wyjściowego. Z kolei wejście nieodwracające może być podłączone do masy przez przełącznik REL2 lub wyjścia IOUT układu AD9851. Z uwagi na to, że szybki komparator generował zakłócenia, pojawiające się ostatecznie na wyjściu przebiegu sinusoidalnego, zastosowano przełącznik umożliwiający wyłączenie przebiegu prostokątnego. Ten niepożądany efekt powodował znaczne zniekształcenia zwłaszcza przy dużych częstotliwościach.

Ponieważ komparator w strukturze układu AD9851 ma małą obciążalność, zarówno prądową, jak i pojemnościową, tuż za nim zastosowano szybkie bufory w postaci układu 74ACT125. Dodatkowo stanowią one zabezpieczenie układu DDS. Podobnie jak w przypadku przebiegu sinusoidalnego również tu mamy dwa wyjścia, w tym jedno w standardzie 50 omów. Elementy T2, T3, R20 do R23, D2 do D5 współpracują z przełącznikami i zapewniają ich sterowanie z napięcia -5V tak, aby zrównoważyć obciążenie obu szyn zasilania. Układ TL431 wraz z elementami R10, C24 wytwarza napięcie referencyjne, z którego



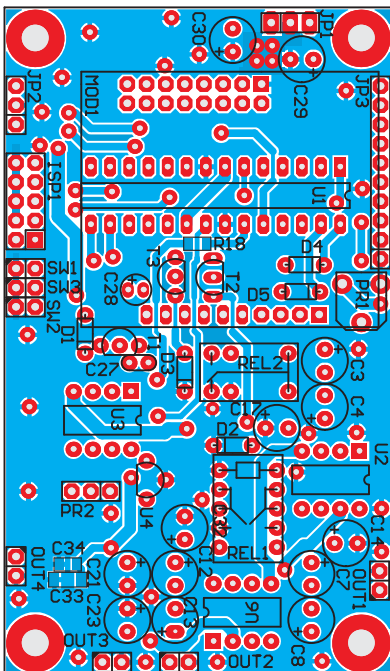
strona elementów

Rys. 5

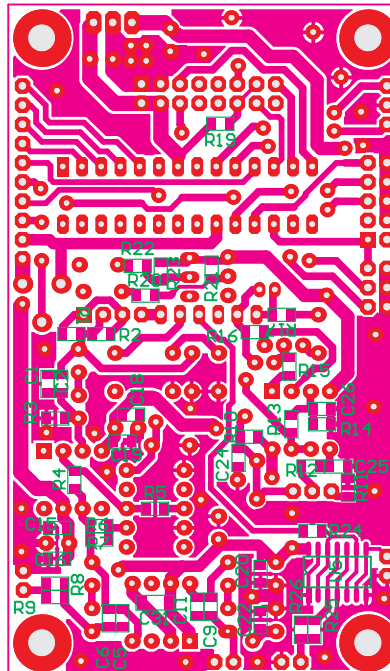


strona lutowania

Rys. 6



strona elementów



strona lutowania

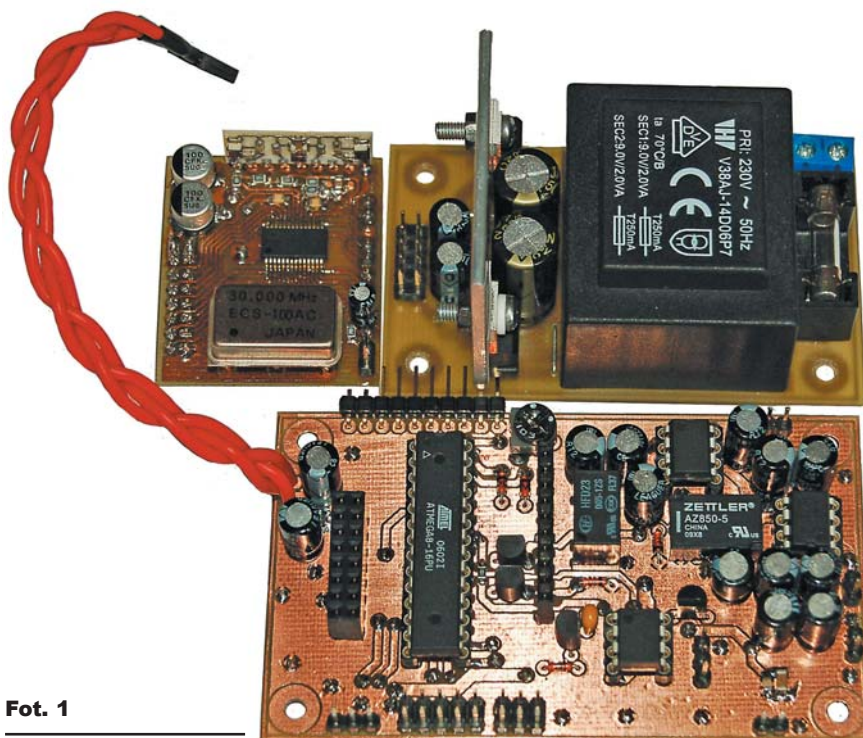
korzysta przetwornik analogowo-cyfrowego mikrokontrolera oraz sam układ regulacji amplitudy. Do mikrokontrolera podpięty jest również wyświetlacz LCD 2x16, złącze do programatora, dwa przyciski oraz impulsator z przyciskiem. Z uwagi na szybkie układy znajdujące się na płytce zadbane o odpowiednie odprężenie zasilania oraz odpowiednie poprowadzenie ścieżek na płytce.

Schemat zasilacza przedstawiono na rysunku 3. Pracują tu klasyczne stabilizatory zapewniające symetryczne zasilanie $\pm 5V$. Podczas pracy układ pobiera około 200mA, tak więc konieczne okazało się zastosowanie małego radiatora w postaci kawałka blachy aluminiowej. Należy pamiętać o zastosowaniu podkładki i tulejki przynajmniej pod jeden stabilizator, aby zapobiec zwarceniu. Transformator o mocy co najmniej 4W powinien mieć dwa uzwojenia wtórne (lub jedno dzielone) o napięciu 7 do 9V.

Montaż i uruchomienie

Układ możemy zmontować na płytkach przedstawionych na rysunkach 4–6. Dwie spośród nich zostały wykonane na laminacie dwustronnym. Płytki zostały tak zaprojektowane, aby można było je wykonać samodzielnie, czyli bez konieczności metalizacji otworów. Przelotki albo stanowią osobne punkty lutownicze, albo wykorzystywane są w tym celu podstawki precyzyjne, zastosowane pod wszystkie układy scalone oraz inne elementy, których lutowanie dwustronne nie stwarza problemów. Polutowane płytki gotowe do zamontowania w obudowie można zobaczyć na fotografii 1. Należy pamiętać, aby polutować je w odpowiedniej kolejności, gdyż później może to być kłopotliwe. Na płytkach znajdują się zarówno elementy przewlekane, jak i SMD. Podczas projektowania płytek zadbane o jak najbliższe umiejscowienie kondensatorów odsprężających wokół kluczowych układów.

Całość została umieszczona w obudowie Z-1 wykonanej z jasnoszarego tworzywa. Oczywiście zadbane również o estetycznie wyglądający panel przedni obudowy. Szczegóły można zobaczyć na fotografii wstępnej oraz fotografii 2. Wszystkie połączenia między płytkami oraz elementami znajdującymi się na panelu przednim wykonano tak, aby całość można było szybko i łatwo rozłączyć. Należy pamiętać o mocnym przykręceniu gniazda BNC, aby zapobiec ich odkręcaniu w czasie użytkowania. Połączenia między nimi a płytką wykonano kablem RG174, który w porównaniu z popularnym RG58 jest cieńszy i bardziej elastyczny, co znacznie ułatwia montaż. Do regulacji częstotliwości zastosowano impulsator



Fot. 1

Wykaz elementów

Płytką 1

R1 (nie montować)	3,9k Ω SMD 0805
R2,R3	100k Ω SMD 0805
R4,R5,R6,R7	50 Ω SMD 0805
C1	2,2nF SMD 0805
C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8	100nF SMD 0805
C9,C10	100 μ F/6,3V SMD
F1	P7LP-606L 60MHz Coilcraft
GQ1	generator kwarcowy 30MHz
JP1 (nie montować)	goldpin 1x2
JP2	goldpin 2x8
JP3	goldpin 1x10
U1	AD9851

Płytką 2

R1,R2,R8,R9,R11,R17,R24,R25,R26	100 Ω SMD 0805
R3	4,7k Ω SMD 0805
R4	510 Ω SMD 0805
R5	20 Ω SMD 0805
R6	470 Ω SMD 0805
R7	680 Ω SMD 0805
R10,R15,R18,R20,R22	1k Ω SMD 0805
R12,R19	10k Ω SMD 0805
R13	12k Ω SMD 0805
R14	3k Ω SMD 0805
R16	820 Ω SMD 0805
R21,R23	100k Ω SMD 0805
C1,C5,C11,C15,C18,C20,C22,C24,C25,C26	100nF SMD 0805
C2,C6,C9,C16,C19,C34	1nF SMD 0805
C3,C4,C7,C8,C12,C13,C29,C30	220 μ F ϕ 6mm
C14,C17,C21,C23,C32	100 μ F ϕ 6mm
C27	1 μ F monolityczny
C28	10 μ F miniaturowy ϕ 4mm
C31,C33	1 μ F ceramiczny SMD 1206
D1	BAT46 D035
D2,D3	1N4148 D035

D4,D5	dioda Zenera 7,5V D035
ISP1	goldpin 2x5
JP1	złącze zasilania - goldpin 1x3
JP2,SW2	goldpin 1x3,1x2 oraz impulsator z przyciskiem
JP3	goldpin 1x10 kątowy i wyświetlacz LCD2x16
OUT1,OUT2,OUT3,OUT4	goldpiny 1x2 oraz gniazda BNC
PR1	10k Ω RM065
PR2	4,7k Ω
REL1	AZ850 napięcie cewki 5V
REL2	HFD23 napięcie cewki 5V
SW1,SW3	goldpin 1x2 oraz switch 12x12
T1,T2,T3	BC547 T092
U1	ATmega8 DIP28
U2	HFA1100(AD8011) DIP8
U3	LM358 DIP8
U4	TL431 T092
U5	74ACT125 SMD SOIC14
U6	HFA5002 DIP8
Goldpiny żeńskie 1x10 oraz 2x8	
Podstawki precyzyjne pod układy scalone	

Płytką 3

BR1	mostek prostowniczy SDB106 SMD
C1,C2	1500 μ F/16V ϕ 10mm
C3,C4	100 μ F/6,3V ϕ 6mm
C5,C6	100nF SMD 0805
FUSE1	gniazdo bezpiecznikowe i bezpiecznik 250mA
JP1	goldpin 2x5
TR1	transformator 2x9V (lub 2x7,5V) minimum 4W np. V38AJ-14D06P7
U1	stabilizator 7805
U2	stabilizator 7905
Z1	złącze śrubowe ARK2
Podkładka oraz tulejka pod obudowę T0220	
Mały radiator w postaci kawałka blachy aluminiowej	

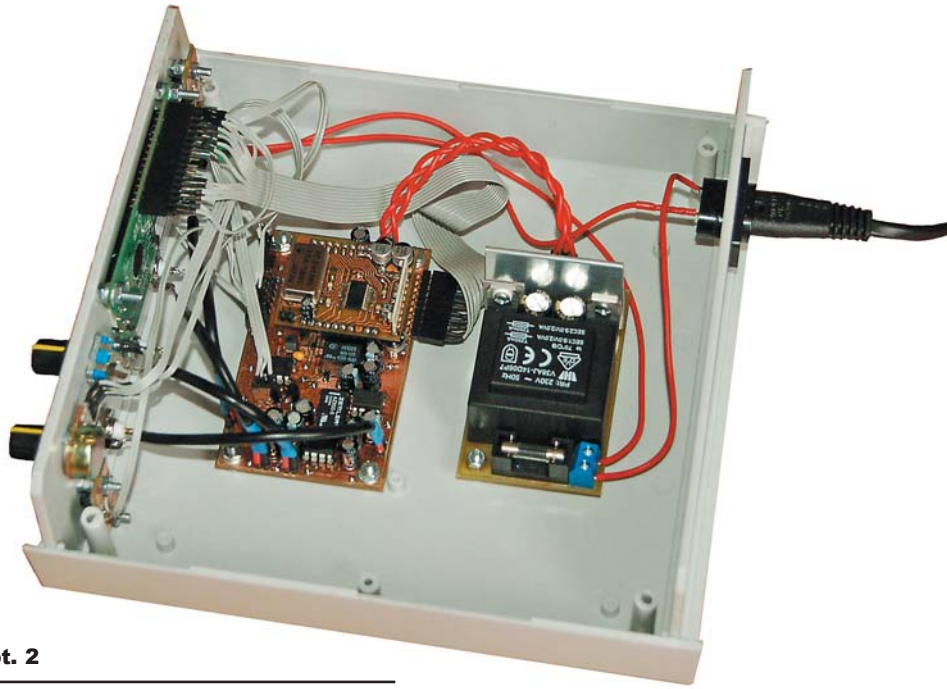
Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3078.

z przyciskiem dający 20 impulsów na jeden pełny obrót. Wyświetlacz LCD oraz przyciski przylutowane wcześniej do małych kawałków laminatu zostały przytwierdzone do panelu za pomocą śrubek M3.

Użytkowanie oraz możliwości zmian

Oczywiście prezentowany układ jest tylko propozycją i można go śmiało modyfikować. Współczynnik wypełnienia przebiegu prostokątnego wynosi 50%, ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby go zmieniać. W tym celu należy dwukrotnie wzmacnić napięcie średnie uzyskane przez elementy R2, R3, C1 oraz podać na potencjometr, którego suwak podłączamy do wejścia nieodwracającego komparatora. Dokonując paru modyfikacji, można również przerobić sterowanie amplitudą na cyfrowe.

Obsługa generatora jest bardzo prosta i intuicyjna. Impulsatorem przesuwamy kursor na pozycję, którą chcemy zmodyfikować, wciskamy przycisk impulsatora oraz zwiększamy lub zmniejszamy częstotliwość z wybranym wcześniej krokiem. Regulacja amplitudy nie wymaga komentarza, ale warto wspomnieć o ograniczeniach. Pomimo że amplitudę przebiegu sinusoidalnego możemy regulować już od 10mV, należy się liczyć z większymi zniekształceniami przy tak małych napięciach wyjścio-



Fot. 2

wych. Aby uzyskać dobrej jakości sygnał o małej amplitudzie, trzeba zastosować zewnętrzny tłumik. Włączenie przebiegu prostokątnego sygnalizowane jest na wyświetlaczu pojawieniem się napisu TTL. Należy zadbać, aby podczas korzystania z przebiegu prostokątnego pokrętko regulacji amplitudy było ustawione poza połowę skali, w przeciwnym wypadku wypełnienie generowanego

przebiegu może się znacznie różnić od deklarowanych 50%, a w sygnale może się pojawić znaczny jitter.

Krzysztof Turek
krzysiek07576@gmail.com