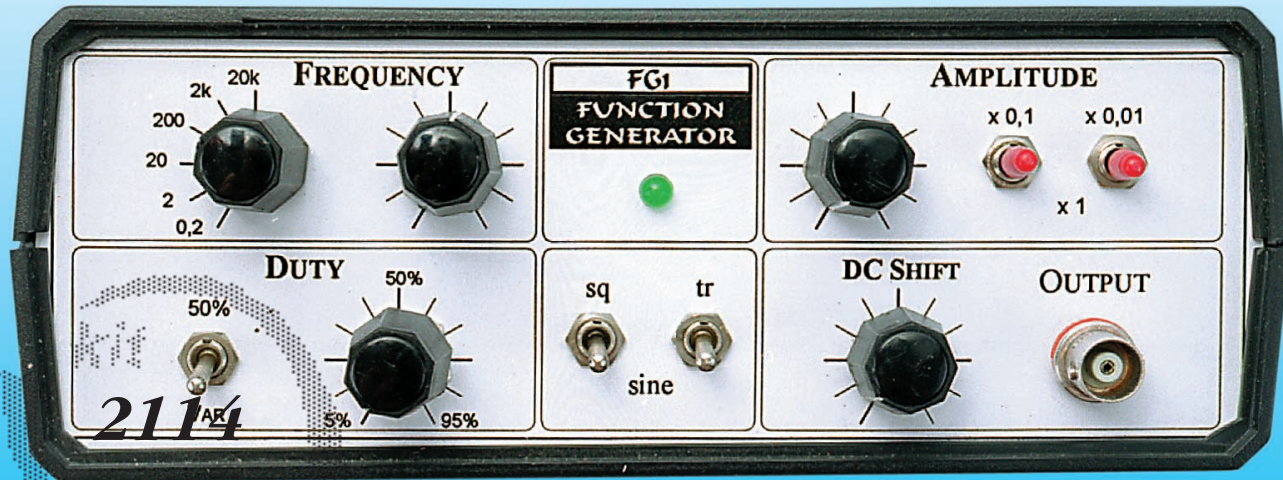


Generator funkcji, część 1



Wskutek licznych próśb nadsyłanych w listach oraz na podstawie wyników ankiety zajęliśmy się sprawą niedrogich i łatwych do zbudowania przyrządów pomiarowych do pracowni elektronika.

W lutowym numerze EdW opisaliśmy prosty i tani zasilacz laboratoryjny. Przedstawiony generator funkcji jest drugim przyrządem do laboratorium elektronika-hobbysty przedstawianym w ramach tej serii. Generator funkcji jest jednym z najbardziej uniwersalnych przyrządów w laboratorium elektronicznym.

Opisany przyrząd znajdzie szerokie zastosowanie w pracowni każdego elektronika, zwłaszcza przy uruchomieniu i testowaniu wszelkiej aparatury audio.

Poniższy artykuł zawiera szczegółowy opis i analizę układu generatora. Podane wiadomości będą znakomitą pomocą dla zaawansowanych, którzy chcieliby bądź wprowadzić pewne zmiany, bądź zbudować samodzielnie wcale podobny układ. Przeciętny elektronik wcale nie musi rozumieć tych wszystkich szczegółów – wystarczy, że zmontuje układ według wskazówek, podanych w drugiej części artykułu. Ani montaż, ani uruchomienie nie powinny nastręczyć żadnych trudności. Zgodnie z przyjętymi założeniami, do uruchomienia i zestrojenia generatora nie są potrzebne żadne specjalizowane przyrządy, wystarczy jakikolwiek oscyloskop.

Generator został zaprojektowany pod kątem rzeczywistej przydatności w pracowni elektronika-hobbysty. Parametry modelu pokazanego na fotografii umieszczono w tabeli u dołu strony.

Nazwa „generator funkcji” może wprowadzić w błąd niejednego młodego

Czytelnika EdW. „Generator funkcji” może wydać się niepotrzebnym dodatkiem do wyposażenia laboratorium. Tymczasem jest to jeden z najpotrzebniejszych przyrządów w pracowni elektronika. Ten naprawdę uniwersalny generator wytwarza przebiegi sinusoidalne, trójkątne, prostokątne, piłokształtne i impulsowe.

Właśnie takie przebiegi znakomicie ułatwiają testowanie i pomiary różnorodnej aparatury elektronicznej, przede wszystkim układów audio, ale również układów cyfrowych i innych. Trzeba tylko wiedzieć, jak i gdzie wykorzystuje się poszczególne kształty przebiegów. Wiele rzeczowych informacji na ten temat podanych będzie w następnym numerze EdW.

Dobry generator funkcji w rękach świadomego użytkownika jest bardzo cennym i uniwersalnym przyrządem. Takie generatory są produkowane przez wiele firm. Obecnie można kupić generatory funkcji pracujące w zakresie częstot-

Parametry generatora

Częstotliwość maksymalna na najwyższym zakresie:	23kHz
Częstotliwość minimalna na najniższym zakresie (z kondensatorami C7...C12):	0,015Hz
Stosunek częstotliwości Fmax/Fmin na każdym zakresie:	>15 razy
Zakres amplitud wyjściowych: dla przebiegu sinusoidalnego:	0...5Vpp 0...3,5Vpp
Zawartość zniekształceń przebiegu sinusoidalnego (dla 1kHz):	0,45%
Zakres regulacji współczynnika wypełnienia:	0,8...99,2%
Zakres regulacji składowej stałej na wyjściu (tłumik wyjściowy wyłączony):	±2,5V

Projekty AVT

liwości od ułamków herca do kilkudziesięciu megaherców. Przy konstrukcji takich generatorów wykorzystuje się najnowsze sposoby cyfrowego wytwarzania przebiegów. Nie ulega wątpliwości, że ceny dobrych generatorów funkcji są wysokie, jak na kieszeń przeciętnego hobbysty. Jednak każdy elektronik powinien posiadać generator funkcji.

W EdW zostanie z czasem przedstawionych kilka różnych generatorów, w tym generatorów funkcji wykorzystujących specjalizowane układy scalone. W obrębie naszych zainteresowań leżą znane od dawna kostki XR2206 czy ICL8038 oraz nowsze opracowanie Maxima – MAX038.

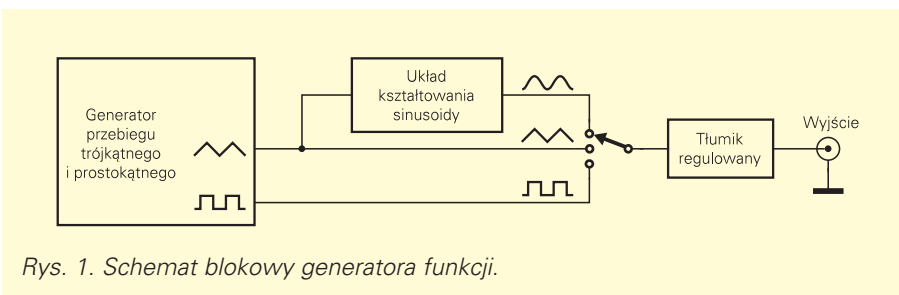
Okazuje się jednak, iż wielu elektroników używa generatorów funkcji jedynie przy konstruowaniu i badaniu urządzeń audio. W takim wypadku wystarczy zakres częstotliwości sięgający do kilkudziesięciu kiloherców. A zbudowanie generatora funkcji na taki zakres częstotliwości nie stwarza większych problemów – wystarczy do tego kilka popularnych wzmacniaczy operacyjnych.

Przedstawiony dalej generator został zaprojektowany tak, by koszt jego elementów był jak najmniejszy, a jednocześnie by zachować jak najwięcej możliwości. Urządzenie składa się z łatwo dostępnych i popularnych elementów. Dla zmniejszenia kosztów zamiast trudnych do zdobycia i drogiej przelazników wielopozycyjnych, zastosowano popularne przelazniki dwupozycyjne. Jedynym, być może trudniejszym do zdobycia elementem jest obrotowy 12-pozycyjny przelaznik, służący do zmiany zakresów częstotliwości generatora.

W sumie ten uniwersalny generator jest bardzo tani, i co najważniejsze – jego wykonanie i uruchomienie jest bardzo proste.

Zasada działania

Uproszczony schemat blokowy generatora pokazany jest na **rysunku 1**. Sercem urządzenia jest generator przebiegu trójkątnego i prostokątnego. Przebieg sinusoidalny uzyskuje się przez odpowiednie ukształtowanie przebiegu trójkątnego. Wbudowany regulowany tłumik po-



zwala dowolnie regulować amplitudę napięcia wyjściowego.

Generator przebiegu trójkątnego i prostokątnego wykonany jest według klasycznego układu pokazanego w uproszczeniu na **rysunku 2a**. Przebiegi czasowe przedstawiono na **rysunku 2b**.

Przeanalizujmy jego działanie. Wzmacniacz operacyjny A pracuje jako komparator, to znaczy porównuje napięcia na swoim wejściu odwracającym i nieodwracającym. Ponadto komparator ten jest objęty pętlą silnego dodatniego sprzężenia zwrotnego (wskutek obecności rezystorów R2 i R3). W konsekwencji napięcie na wyjściu wzmacniacza A (w punkcie X) przybiera tylko dwie wartości: albo jest bliskie dodatniego, albo ujemnego napięcia zasilającego (przy czym zakładamy, że oba te napięcia mają równe wartości).

Wzmacniacz operacyjny B pracuje w charakterze integratora. Napięcie na jego wyjściu zmienia się tak, by na jego wejściu odwracającym napięcie zawsze było równe potencjałowi masy (czyli napięcie na wejściu nieodwracającym). Notujemy ważną informację: napięcie na wejściu odwracającym wzmacniacza B (punkt Z) zawsze jest równe potencjałowi masy.

Ponieważ napięcie w punkcie X przybiera jedną z dwu ustalonych, równych wartości, więc przez rezystor R1 będzie płynął prąd o stałym natężeniu, a zmieniać się będzie tylko kierunek prądu. Prąd ten będzie na przemian ładował i rozładowywał kondensator C.

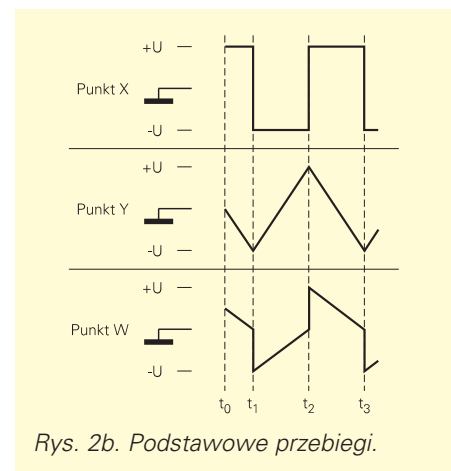
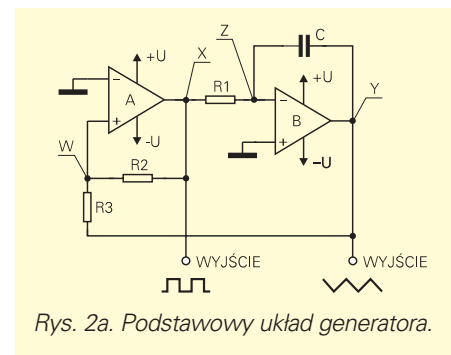
Założmy, że w pewnej chwili t_0 napięcie na wyjściu wzmacniacza operacyjnego A (punkt X) jest równe dodatniemu napięciu zasilającemu. Przez rezystor R1 popłynie prąd w kierunku od punktu X do Z. Wejście wzmacniacza operacyjnego B nie pobiera prądu, więc prąd ten musi płynąć dalej przez kondensator C. Aby przez kondensator płynął prąd, musi się zmieniać napięcie na jego okładzinach. Nie będziemy tu wchodzić szczegółowo w teorię wzmacniacza operacyjnego, wystarczy końcowy wniosek: aby zapewnić przepływ przez kondensator C prądu o stałej wartości, wzmacniacz operacyjny jednostajnie zmniejsza napięcie na swoim wyjściu.

Na **rysunku 2b** jest to okres czasu od t_0 do t_1 .

Napięcie w punkcie Y maleje liniowo, czyli w sposób jednostajny. Jednocześnie należy zauważyć, że rezystory R2 i R3 tworzą dzielnik napięcia. Założmy na chwilę, że rezystory te mają równe wartości. Napięcie w punkcie X ma do tej pory wartość bliską dodatniemu napięciu zasilającemu. Napięcie w punkcie Y spada i jest coraz bliższe ujemnego napięcia zasilającego. Tym samym napięcie w punkcie W spada również i zbliża się do połowy napięcia zasilającego, czyli do potencjału masy. Jeśli to napięcie w punkcie W opadnie troszeczkę poniżej potencjału masy, wtedy stan na wyjściu wzmacniacza A zmieni się na przeciwny – napięcie w punkcie X (wskutek działania dodatniego sprzężenia zwrotnego przez rezystor R2), gwałtownie opadnie do poziomu bliskiego ujemnemu napięciu zasilającemu. Napięcie w punkcie W opadnie gwałtownie do poziomu ujemnego napięcia zasilającego. Na **rysunku 2b** jest to chwila t_1 .

W takiej sytuacji zmieni się kierunek prądu płynącego przez rezystor R1 – teraz będzie on płynął od punktu Z do X. Ten prąd musi popłynąć przez kondensator C. Aby to nastąpiło napięcie w punkcie Y musi jednostajnie narastać. Zadba o to wzmacniacz operacyjny B. Napięcie w punkcie Y, a także napięcie w punkcie W będzie rosnać.

W momencie, gdy napięcie w punkcie W nieco przekroczy potencjał masy, wzmacniacz A znów zmienia stan wyjścia



– znów pojawi się tam napięcie bliskie dodatniemu napięciu zasilającemu. Na rysunku 2b jest to chwila oznaczona t_2 . Potem prąd płynący przez rezystor R1 zmieni kierunek i znów napięcie w punkcie Y zacznie opadać.

Cykl będzie się powtarzał.

W praktyce, w normalnych warunkach pracy, na wyjściu wzmacniacza operacyjnego nie może się pojawić napięcie równe któremukolwiek napięciu zasilania. Wynika to z budowy stopnia wyjściowego, który przecież jest zbudowany z tranzystorów. W katalogach podaje się zakres napięć wyjściowych, który bywa mniejszy od aktualnego napięcia zasilającego nawet o kilka woltów. Co gorsza, tak zwane ujemne oraz dodatnie napięcie nasycenia nie są sobie równe. Ponadto układ pokazany na rysunku 2a nie mógłby pracować przy równych wartościach rezystorów R2 i R3.

Dlatego w praktyce w układach generatorów pracujących na tej zasadzie dodaje się na wyjściu wzmacniacza A obwód symetrycznej stabilizacji, czy też obcinania napięcia wyjściowego. Natomiast pozostawia się równe wartości rezystorów R2 i R3, dzięki czemu amplitudy przebiegu prostokątnego i trójkątnego są równe.

Przeanalizowanie działania układu generatora wskazuje, że częstotliwość można łatwo zmieniać albo zmieniając pojemność kondensatora C, albo zmieniając prąd płynący przez rezystor R1. W praktyce zmianę pojemności wykorzystuje się do skokowej zmiany zakresu częstotliwości, natomiast zmiany prądu płynącego przez R1 służą do płynnej regulacji częstotliwości.

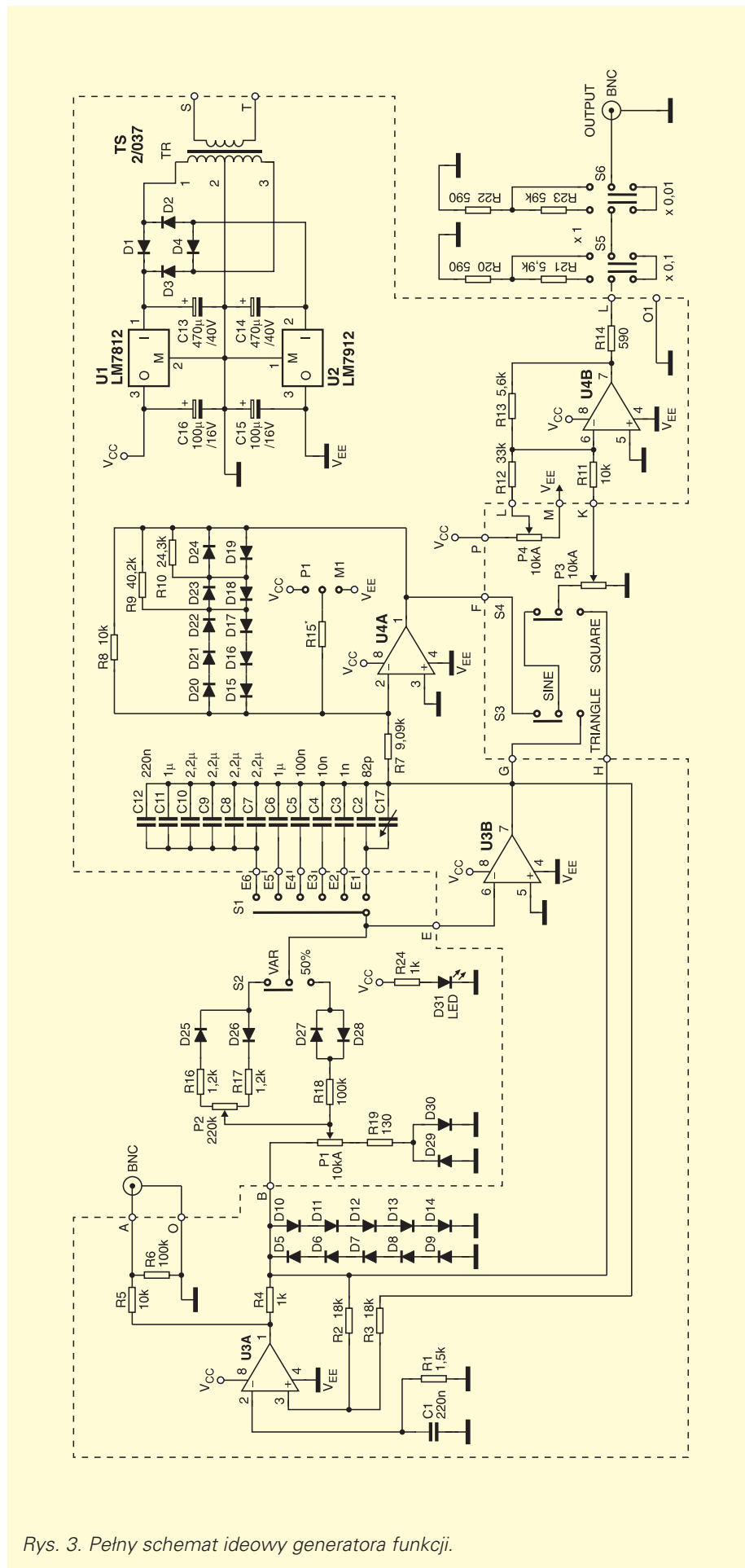
Szczegółowy opis układu

Pełny schemat ideowy generatora funkcji pokazano na **rysunku 3**.

Układ jest zasilany z małego transformatora sieciowego o mocy 2VA.

Zasilacz zawiera typowe stabilizatory 12-woltowe: U1 i U2.

W układzie generatora bez trudu można zidentyfikować podstawowe bloki znane z rysunku 2a: wzmacniacze operacyjne U3A i U3B i rezystory R2, R3. Zamiast pojedynczego kondensatora C, w układzie zastosowano zespół kondensatorów, a przełącznik S1 umożliwia wybór zakresu częstotliwości w zakresie 0,2Hz...20kHz. Warto zauważyć, że wartości pojemności C2...C6 są wielokrotnościami liczby 1, z wyjątkiem kondensatora C2, który ma pojemność mniejszą od teoretycznie obliczonej – spowodowane jest to istnieniem pojemności montażowych. W układzie i na płytce przewidziano miejsce na kondensator zmienny – trymer C17. W praktyce okazało się, że nie jest on potrzebny. Przewidziano też



Rys. 3. Pełny schemat ideowy generatora funkcji.

Projekty AVT

miejsce na kondensatory C7-C12, które umożliwiają stworzenie zakresu 0,02...0,2Hz. W większości zastosowań tak małe częstotliwości nie są potrzebne i elementów tych nie trzeba montować. Ale jeśli ktoś chciałby jeszcze bardziej rozszerzyć w dół zakres uzyskiwanych częstotliwości, może zastosować te kondensatory, a nawet wprowadzić jeszcze jeden zakres 0,002...0,02Hz, dodając dwa połączone szeregowo przeciwobnie kondensatory tantalowe o pojemności po 220µF.

W układzie wprowadzono obwód ograniczania napięcia wyjściowego wzmacniacza U3A. Składa się on z rezystora R4 i diod D5...D14. W innych rozwiązaniach, zamiast kilku diod stosuje się dwie połączone przeciwobnie diody Zenera. W naszym układzie użycie kilku zwykłych diod ma duże znaczenie praktyczne, związane z wytwarzaniem przebiegu sinusoidalnego.

W układzie przewidziano dodatkowe wyjście przebiegu prostokątnego (punkt A). Wyjście to może być wykorzystane na przykład do dołączenia częstotliciemierza. Rezystor R5 separuje generator i umożliwia jego poprawną pracę także w przypadku zwarcia punktu A do masy. Rezystor R6 może być wykorzystany do zmniejszenia amplitudy przebiegu w punkcie A (bez niego międzyszczytowa wartość wynosi ponad 20V).

Potencjometr P1 wraz z rezystorem R18 umożliwiają płynną zmianę częstotliwości. Rezystor R19 wyznacza minimalną częstotliwość na danym zakresie. Bez

tego rezystora można zmniejszać częstotliwość aż do zera.

W najprostszej wersji generatora niepotrzebne byłyby diody D27...D30. Dla zmiany częstotliwości wystarczyłoby zastosować potencjometr P1 i rezystor R18 (i ewentualnie R19).

Jednak w wielu przypadkach bardzo potrzebne są przebiegi piłokształtne lub impulsy prostokątne o współczynniku wypełnienia różnym od 50%. Można w bardzo prosty sposób wytworzyć takie przebiegi, różnicując czasy ładowania i rozładowania kondensatora C. Ideę pokazuje **rysunek 4a**. Zmieniając stosunek rezystancji R1a i R1b można uzyskać zmianę współczynnika wypełnienia i uzyskać przebiegi o kształtach pokazanych na **rysunku 4b**.

W układzie z rysunku 3, zmiana współczynnika wypełnienia przebiegu jest realizowana za pomocą potencjometru P2, w położeniu przełącznika S2 oznaczonym VAR(iable). W obwodzie tym rezystory R16 i R17 ograniczają zmiany współczynnika wypełnienia do około 0,8...99,2%. Rezystorów tych można nie stosować – rozszerzy to zakres regulacji wypełnienia.

Ponieważ w obwodzie potencjometru P2 muszą być włączone diody (D25, D26), niejako dla kompensacji włączono również dodatkowe diody D29...D30. Dzięki temu układ pracuje poprawnie w pełnym zakresie ustawień potencjometru P1. Bez diod D27...D28 układ nie pracowałby przy ustawieniu suwaka potencjometru P1 blisko masy (wg rysunku 3 – w dolnym położeniu suwaka).

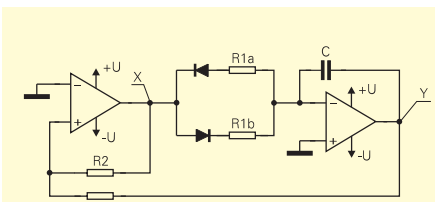
Włączenie tych czterech diod (D27...D30) ma pewne wady i dlatego warto zastanowić się i sprawdzić praktycznie, czy nie lepiej byłoby nie montować tych diod, godząc się z brakiem przebiegu wyjściowego przy skrajnym (dolnym) ustawieniu potencjometru P1.

Układ kształtowania sinusoidy

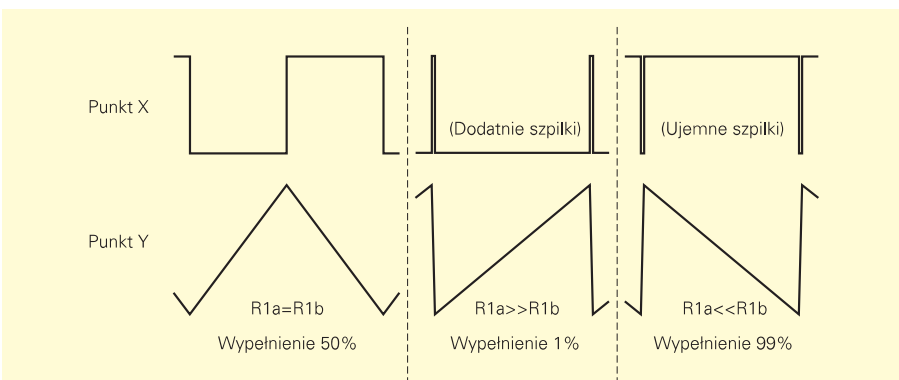
Ważnym blokiem urządzenia jest układ kształtowania sinusoidy. Przebieg sinu-

soidalny uzyskuje się przez odpowiednie „obcięcie” czy też spłaszczenie przebiegu trójkątnego. Ideę pokazuje **rysunek 5a**. **Rysunek 5b** pokazuje jedną z możliwych realizacji takiego obcinania czy spłaszczania, w przypadku, gdyby chodziło tylko o dodatnią połowę przebiegu. Gdy napięcie chwilowe na wejściu jest niewielkie, nie przewodzi żadna z diod Zenera, nie ma spadku napięcia na rezystorze R_s – przebieg na wyjściu ma takie same nachylenie, jak przebieg wejściowy (por. rysunek 5a). Gdy napięcie wejściowe staje się większe, zaczyna przewodzić dioda Zenera o najniższym napięciu – przebieg zostaje nieco spłaszczony. Przy dalszym wzroście napięcia wejściowego zaczynają przewodzić następne diody i przebieg jest coraz bardziej spłaszczany. Jak widać, należy zastosować odpowiednią ilość diod Zenera i dokładnie dobranych rezystorów, a amplituda przebiegu wejściowego też musi być ściśle określona.

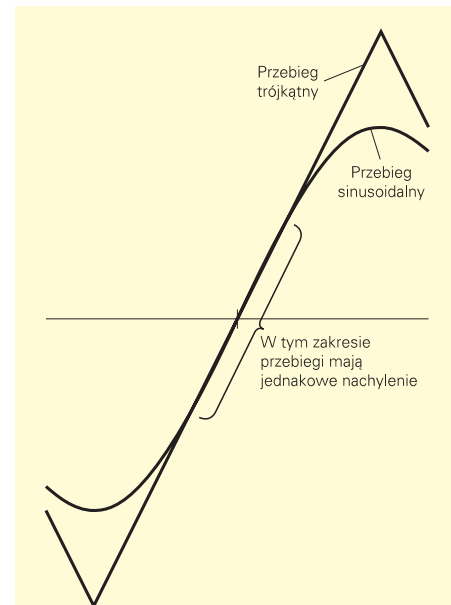
Tą metodą (tzw. metoda aproksymacji odcinkowej) można uzyskać potrzebny kształt przebiegu nawet z bardzo dużą dokładnością. Metodą tą jest (szczerze mówiąc – była) stosowana nie tylko do generacji przebiegu sinusoidalnego (czyli reali-



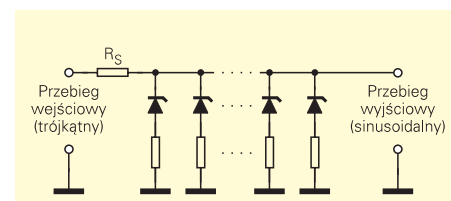
Rys. 4a. Sposób wytwarzania przebiegu piłokształtnego.



Rys. 4b. Przebiegi przy różnych wartościach R1a i R1b.



Rys. 5a. Zasada wytwarzania przebiegu sinusoidalnego z trójkątnego.



Rys. 5b. Przykładowy układ generatora funkcji sinus.

zacji matematycznej funkcji sinus), ale również do realizowania innych funkcji matematycznych (potęgowanie, logarytmowanie, itp), oraz do linearyzacji charakterystyk różnych przetworników.

Praktyczną wadą przedstawionej metody aproksymacji odcinkowej jest konieczność doboru diod Zenera o ściśle określonych napięciach. Inną istotną wadą zmniejszającą dokładność jest zależność napięcia Zenera od temperatury.

W naszym generatorze funkcji w roli diod Zenera pracują... zwykle diody krzemowe, włączone w kierunku przewodzenia (są to diody D15...D24). Wiadomo, że przy napięciach (w kierunku przewodzenia) mniejszych niż 0,4...0,5V, przez diodę krzemową praktycznie nie płynie prąd.

Układ kształtowania sinusoidy jest zbudowany nieco inaczej, niż pokazuje rysunek 5b – zawiera wzmacniacz operacyjny U4A i rezystory R7...R10 (zob. rys. 3).

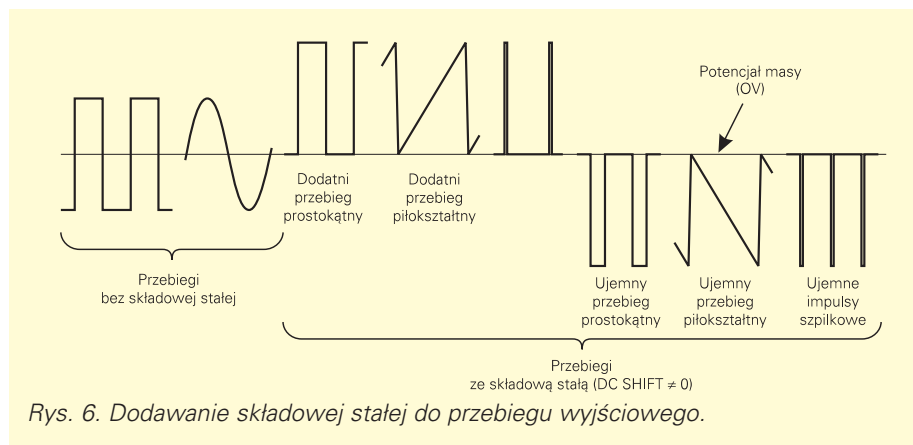
Ponieważ diody krzemowe włączone w kierunku przewodzenia mają duży współczynnik temperaturowy ($-2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$), dokładność odwzorowania funkcji sinus zależałaby od temperatury. Aby uniezależnić się od temperatury, tak zaprojektowano układ, by amplituda przebiegu wejściowego kompensowała te zmiany – właśnie dlatego w układzie generatora, zamiast dwóch diod Zenera, zastosowano diody D5...D14.

W sumie o dokładności aproksymacji, czyli w sumie o zawartości zniekształceń nieliniowych w przebiegu sinusoidalnym, decydują wartości rezystorów R7...R10.

Generalnym założeniem przy projektowaniu przyrządów warsztatowych niniejszej serii jest unikanie wszelkich regulacji oraz konieczności używania specjalizowanych przyrządów. Właśnie dlatego nie przewidziano potencjometrów do optymalizacji kształtu przebiegu sinusoidalnego. Przeciętny użytkownik zamontuje i uruchomi układ z elementami podanymi na schemacie. Przy zastosowaniu wartości elementów podanych na schemacie i w wykazie, uzyskuje się bez jakiegokolwiek regulacji zawartość zniekształceń poniżej 2%, co jest zupełnie przyzwoitym wynikiem.

Natomiast jeśli ktoś ma dostęp do miernika zniekształceń nieliniowych i chciałby optymalizować kształt przebiegu sinusoidalnego, może to zrobić w bardzo prosty sposób, uzyskując przebieg o zawartości zniekształceń 0,4...0,5%, co jest wynikiem znakomitym. Zawartość zniekształceń poniżej 0,4% w tym układzie uzyskać się nie da, z uwagi na niewielką liczbę diod oraz na znaczną rezystancję szeregową tych diod.

Optymalizacja polegać będzie na dokładnym doborze wartości rezystora R7. W modelu optymalną (zniekształcenia



Rys. 6. Dodawanie składowej stałej do przebiegu wyjściowego.

„sinusa” równe 0,45%) okazała się wartość 9,05kΩ. Zniekształcenia wzrosły do 1% przy rezystancji R7 równej odpowiednio 8,70kΩ oraz 9,40kΩ. Jak z tego widać wartość R7 jest krytyczna i nie należy tu stosować jakichkolwiek rezystorów o tolerancji 20%. Drugim źródłem znaczących zniekształceń nieliniowych okazały się napięcie niezrównoważenia wzmacniacza U4A oraz rozrzuty napięć przewodzenia poszczególnych egzemplarzy diod D14...D24 (omyłkowo zamontowano egzemplarze diod od różnych producentów). Dla skorygowania tych błędów (zwiększających zniekształcenia do wartości 1,2%) dodano rezystor R15. Wartość i punkt dołączenia tego rezystora (do plusa lub minusa zasilania) należy ustalić doświadczalnie na podstawie wskazań miernika zniekształceń nieliniowych, przy częstotliwości około 1kHz.

Jak wspomniano, bez rezystora R15 i z rezystorem R7 o wartości 9,09kΩ, zniekształcenia będą mniejsze niż 2%, co w praktyce jest zupełnie wystarczające.

Obwody wyjściowe

Przebiegi: prostokątny, trójkątny i sinusoidalny podawane są na przełącznik (właściwie dwa przełączniki) wyboru kształtu przebiegu, a dalej na bufor w postaci wzmacniacza operacyjnego U4B i wreszcie na przełączany tłumik wyjściowy. Potencjometr P3 pozwala płynnie regulować amplitudę przebiegu wyjściowego. Potencjometr P4 służy do regulacji składowej stałej przebiegu.

Zastosowane tłumiki pozwalają zmniejszyć amplitudę sygnału wyjściowego 10, 100 lub 1000 razy, co jest bardzo przydatne przy badaniu czułych wzmacniaczy audio.

Jak wspomniano wcześniej, amplitudy przebiegów trójkątnego i prostokątnego są jednakowe. Przebieg sinusoidalny ma amplitudę o około 30% mniejszą. W praktyce nie stanowi to żadnego problemu. Kto chciałby uzyskać jednakowe amplitudy wszystkich przebiegów, powinien zastosować dwa rezystory włączone

szeregowo w linii wyjściowej przebiegu trójkątnego i prostokątnego, czyli między punkty G i H a przełączniki S3, S4.

Rezystancja wyjściowa generatora na wszystkich zakresach tłumika jest zbliżona do 600Ω. Jest to typowa wartość oporności wyjściowej, spotykana w wielu fabrycznych generatorach. Dzięki zastosowaniu rezystora ograniczającego R14, generator może być obciążany dowolną opornością z zakresu od zera do nieskończoności.

W praktyce bardzo przydatne, zwłaszcza przy przebiegach trójkątnych i prostokątnych, okazuje się dodanie do przebiegu wyjściowego składowej stałej. Przebieg na wyjściu może zostać „przesunięty w górę lub w dół” – przykłady pokazuje rysunek 6. Dzięki temu uzyskuje się dodatnie lub ujemne impulsy albo przebieg piłokształtny o określonej biegunowości.

Umożliwia to obwód przesuwania składowej stałej z potencjometrem P4.

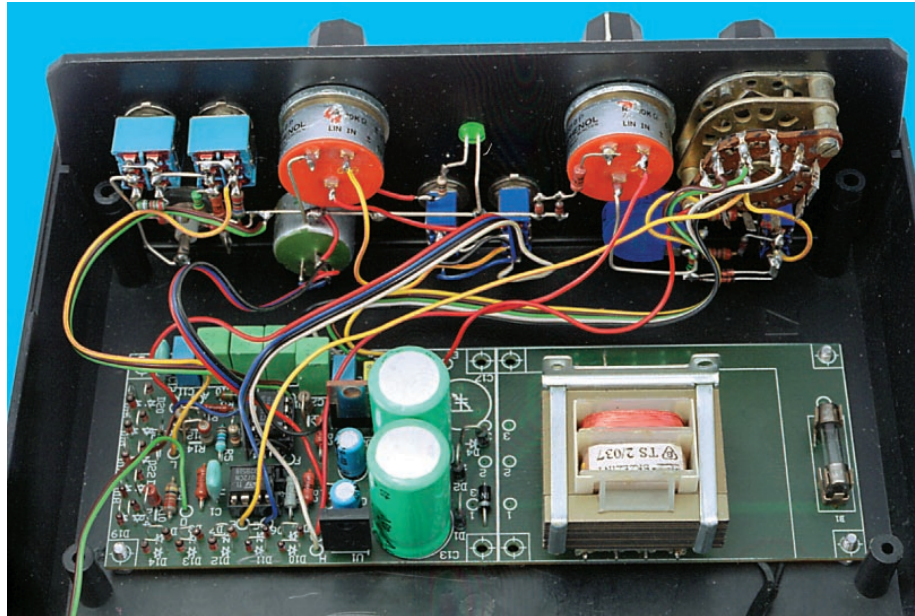
Zbocza impulsów prostokątnych są wystarczająco strome, by współpracować z układami LS TTL i CMOS. Współpraca ze standardowymi układami TTL również jest możliwa, ale należy uwzględnić spadek napięcia na rezystancji wyjściowej generatora (około 600Ω) pod wpływem prądu wejściowego takich bramek – w praktyce należy po prostu odpowiednio ustawić potencjometr P4.

Dla bezproblemowej współpracy z ewentualnym miernikiem częstotliwości, przewidziano dodatkowe gniazdo wyjściowe na płycie tylnej; na gnieździe tym występuje przebieg prostokątny.

Choć generator przewidziany został głównie do sprawdzania wszelkiego rodzaju układów analogowych, jednak zastosowane dość szybkie wzmacniacze operacyjne gwarantują czas narastania przebiegu prostokątnego poniżej 1μs, a więc generator jest jak najbardziej przydatny do testowania i uruchamiania układów cyfrowych.

Piotr Górecki
Zbigniew Orłowski
Cd. w EdW 6/97

Generator funkcji, część 2



Montaż i uruchomienie

Model opisywanego urządzenia pokazano na fotografiach. Układ z rysunku 3 można zmontować na płytce drukowanej, przedstawionej na **rysunku 7**. Montaż jest klasyczny, nie wymaga komentarza.

W wersji standardowej nie montuje się rezystora R15.

Części można zdobyć we własnym zakresie. W praktyce najwięcej kłopotów sprawia zdobycie wielopozycyjnego przełącznika obrotowego. Zestaw AVT-2114 zawiera także komplet elementów montowanych na płycie czołowej, w tym 12-pozycyjny przełącznik obrotowy.

Osoby, które nie zdecydują się na zakup zestawu AVT-2114 i zechcą skompletować części samodzielnie, powinny zwrócić uwagę na wartości elementów

R7...R10, które powinny mieć tolerancję 1...2%. Warto uzyskać podane wartości (stosując połączenie dwóch lub więcej elementów), bowiem przy zastosowaniu elementów o tolerancji 10%, lub co gorsza 20%, zniekształcenia przebiegu sinusoidalnego mogą sięgnąć 5%.

Dla zmniejszenia zakłóceń, część płytki zawierającą transformator (lub też sam transformator wyposażony w nóżki) można zamontować z dala od pozostałej części układu.

W modelu z małym transformatorem TS2/037 nie stwierdzono negatywnego wpływu (pola rozproszenia) transformatora na pracę układu.

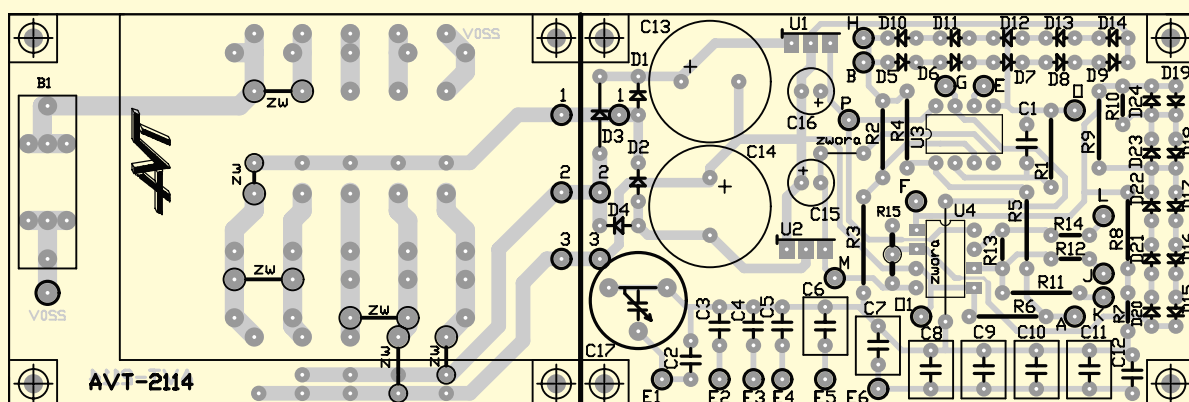
Na płycie przewidziano otwory pod różne typy transformatorów sieciowych. Niekoniecznie musi to transformator z dzielonym uzwojeniem – można wyko-

rzystać jakkolwiek transformator o napięciu wyjściowym (zmiennym) w zakresie 11...15V i prostownik jednopółkowy (w tzw. układzie podwajacza).

Przy wykorzystaniu transformatora TS2/037 należy wykonać zwory zaznaczone na rysunku 7. Trzeba zwrócić uwagę na sposób wlutowania transformatora, aby nie pomylić uzwojeń (coś takiego zdarzyło się przy montażu modelu).

Montaż elementów na płycie jest typowy. Tym razem można zastosować podstawki. Choć autor jest zadeklarowanym przeciwnikiem tanich podstawek, tym razem dopuszcza taką możliwość, a to ze względu na możliwość późniejszej wymiany wzmacniaczy operacyjnych.

Na płycie czołowej należy zamocować wszystkie elementy, które na rysunku 3 znajdują się poza zaznaczonym obry-



Rys. 7. Schemat montażowy.

Projekty AVT

sem. Należy po prostu zastosować montaż przestrzenny.

Model został umieszczony w taniej, plastikowej obudowie. W trakcie prób stwierdzono, że wszystkie metalowe elementy umieszczone na płycie czołowej powinny być połączone z masą – w przeciwnym wypadku w skrajnym lewym położeniu potencjometru płynnej regulacji częstotliwości, dotknięcie ręką metalowych części przełączników powodowało szkodliwą modulację częstotliwością sieci energetycznej. W praktyce należy po prostu tylną stronę płyty czołowej (jeszcze przed zamontowaniem potencjometrów i przełączników) wykleić kuchenną folią aluminiową lub po prostu folią z tabliczki czekolady. Folia ta musi być połączona z masą układu.

Innym dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie metalowej obudowy typu T-82 (również dostępna w ofercie AVT).

Na **rysunku 8** pokazano projekt opisu płyty czołowej dla plastikowej obudowy Kradex o wymiarach 188×197×70mm, natomiast na wkładce umieszczono rysunek płyty czołowej dla metalowej obudowy T-82. W każdym przypadku trzeba rysunek skserować na papierze samoprzylepnym.

Nie przewidziano szczegółowego opisu płyty czołowej, ponieważ aby opis zgadzał się z rzeczywistością, należałoby zastosować elementy o bardzo wąskiej tolerancji, co jest bardzo trudne, zwłaszcza jeśli chodzi o kondensatory stałe C2...C12. Użytkownik może nanieść orientacyjne wartości częstotliwości, napięć i wypełnienia po uruchomieniu układu i sprawdzeniu poszczególnych zakresów regulacji (a przed polakierowaniem lub zafoliowaniem płyty czołowej).

Połączenia przewodowe należy wykonać na podstawie schematu ideowego (rysunek 3), pomocą będą fotografie modelu.

Urządzenie, zbudowane ze sprawnych elementów nie wymaga uruchomienia i od razu powinno pracować poprawnie.

W każdym razie należy sprawdzić, dołączając oscyloskop do wyjścia, czy generator rzeczywiście dostarcza przebiegi o właściwym kształcie (i współczynniku wypełnienia).

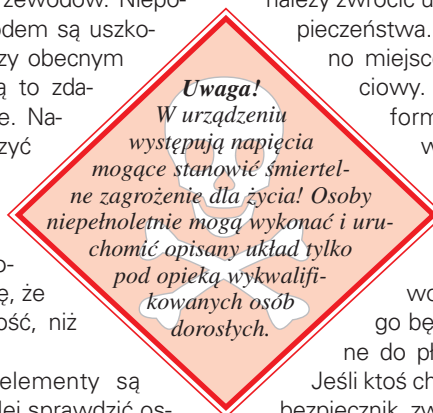
W praktyce, przy znacznej ilości elementów i połączeń przewodowych łatwo o pomyłkę, dlatego w przypadku braku na wyjściu sygnałów należy najpierw dokładnie sprawdzić poprawność montażu. Najczęstszą przyczyną niesprawności są właśnie błędy w montażu: zamiana elementów, niewłaściwe łączenie przewodów. Nieporównanie rzadziej powodem są uszkodzenia elementów – przy obecnym poziomie technologii są to zdarzenia naprawdę rzadkie. Należy się natomiast liczyć z możliwością pomyłek, jeśli chodzi o wartości elementów, łatwo pomylić paski rezystorów, a czasem zdarza się, że element ma inną wartość, niż wynika z nadruku.

Jeśli połączenia i elementy są właściwe, należy po kolei sprawdzić oscyloskopem sygnały w poszczególnych punktach układu. Jeśli generator nie pracuje, przede wszystkim należy sprawdzić, czy występują prawidłowe napięcia zasilające ($\pm 12V$). Następnie trzeba sprawdzić z pomocą oscyloskopu, czy w punktach G i H występują odpowiednio przebiegi trójkątny i prostokątny. Jeśli nie, należy oscyloskopem lub woltomierzem zmierzyć napięcia w poszczególnych punktach układu i na podstawie podanego wcześniej opisu i rysunku 2 określić przyczynę niesprawności.

W dalszej kolejności trzeba sprawdzić pracę przetwornika trójkąt/sinus, oraz bufora wyjściowego U4B. W sumie układ nie jest wcale skomplikowany i nie powinno być kłopotów z odszukaniem ewentualnej pomyłki. W razie kłopotów warto poprosić o pomoc kogoś, kto „świeżym okiem” spojrzy na problem, i łatwiej odnajdzie pomyłkę.

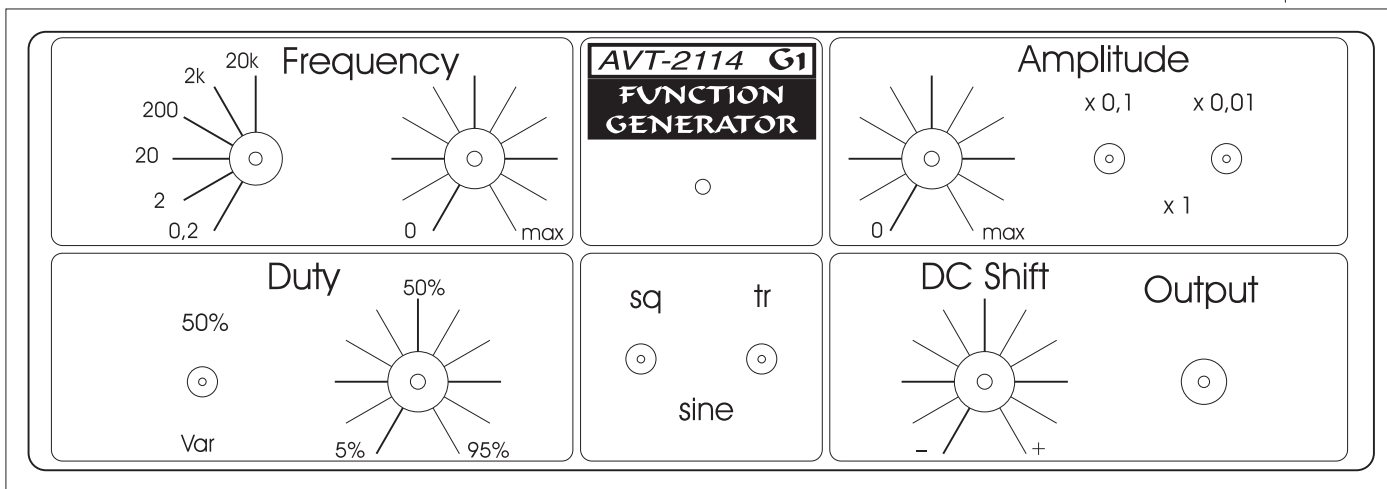
Z podanych względów osoby, które nie czują się mocne w elektronice, mogą przez zmontowaniem, sprawdzić z pomocą miernika uniwersalnego rzeczywiste wartości rezystorów i ewentualnie kondensatorów.

Przy umieszczaniu układu w obudowie należy zwrócić uwagę na kwestie bezpieczeństwa. Na płycie przewidziano miejsce na bezpiecznik sieciowy. Zastosowany transformator nie wymaga w zasadzie takiego bezpiecznika, dlatego w wykazie elementów został on pominięty. Przewody sznura sieciowego będą wtedy przyłutowane do płytki od strony druku. Jeśli ktoś chce, może zastosować bezpiecznik zwłoczny (WTAT) o jak najmniejszym prądzie: 35...100mA. Wtedy należałoby jednak zabezpieczyć obwód bezpiecznika przez przypadkowym dotknięciem (przy zdjętej górnej pokrywie).



Opis regulatorów i obsługa przyrządu

Jak wszystkie urządzenia z tej serii, generator nie ma wyłącznika sieciowego – będzie zasilany ze wspólnej listwy sieciowej. Włączenie do sieci sygnalizuje dioda LED umieszczona na płycie czołowej.



Rys. 8. Projekt opisu płyty czołowej.

Na rysunku 8 pokazano projekt płyty czołowej, wyróżnione są na niej grupy regulatorów.

Przełącznik i potencjometr opisane FREQUENCY służą do ustawienia potrzebnej częstotliwości.

Wielkość sygnału wyjściowego można dokładnie ustawić z pomocą regulatorów z grupy AMPLITUDE. W dolnym położeniu przełączników tej grupy sygnał jest największy (x1). Z pomocą przełączników można go stłumić dziesięć-, sto- i tysiącrotnie.

Grupa DUTY (CYCLE) pozwala zmieniać wypełnienie generowanych przebiegów. W większości przypadków wykorzystywane będą przebiegi o wypełnieniu 50%, dlatego typowo przełącznik powinien być ustawiony w górnym położeniu (50%). W tym położeniu przełącznika ustawienie potencjometru nie ma znaczenia.

Dwa przełączniki umieszczone pod diodą LED umożliwiają wybór kształtu przebiegu. W dolnym położeniu obu przełączników, na wyjściu pojawi się przebieg sinusoidalny (sine). Dla uzyskania przebiegu trójkątnego (triangle) lub prostokątnego (square) należy przestawić w górne położenie jeden z przełączników.

Zazwyczaj potrzebny jest przebieg zmienny bez składowej stałej. Dlatego potencjometr DC SHIFT powinien być ustawiony w środkowym położeniu. Dokładnie można ustawić ten potencjometr na zero woltów, dołączając do wyjścia woltomierz napięcia stałego, ustawiając potencjometr amplitudy na zero (wskręcony w lewo) i wyłączając tłumiki (x1).

Jak widać z podanego opisu, najczęściej wykorzystywane będą regulatory częstotliwości i amplitudy.

Możliwości zmian (dla zaawansowanych)

Przedstawiony przed miesiącem wyczerpujący opis działania generatora

Wykaz elementów

Rezystory

R1: 1,5kΩ
 R2, R3: 15...22kΩ
 R4, R24: 1kΩ
 R5, R8, R11: 10kΩ
 R6, R18: 100kΩ
 R7: 9,09kΩ 1%
 R9: 40,2 kΩ 1%
 R10: 24,3 kΩ 1%
 R12: 33kΩ
 R13: 5,6kΩ
 R14, R20, R22: 590Ω
 R15: nie stosować (patrz tekst)
 R16, R17: 1,2kΩ
 R19: 130Ω (120...150Ω)
 R21: 5,9kΩ
 R23: 59kΩ
 P1, P3, P4: 10kΩ liniowy
 P2: 220 kΩ liniowy

Kondensatory

C1, C12: 220nF foliowe MKT
 C2: 82pF
 C3: 1nF foliowy
 C4: 10nF foliowy
 C5: 100nF foliowy
 C6, C11: 1μF foliowy
 C7...C10: 2,2μF foliowy

C13, C14: 470μF/40V
 C15, C16: 100μ/16V
 C17: nie stosować

Półprzewodniki

D1 ... D4: 1N4001...7
 D5...D30: 1N4148
 D31: LED 5mm ziel. lub czerw.
 U1: LM7812
 U2: LM7912
 U3: TL082 (072)
 U4: NE5532
 TS 2/037

Pozostałe

S1: przełącznik obrotowy 12-pozycyjny
 S2...S4: przełącznik dwupozycyjny jednoobwodowy
 S5, S6: przełącznik dwupozycyjny dwuobwodowy pokrętła do potencjometrów i przełącznika S1
 płytka drukowana
 naklejka na płytę czołową
 obudowa plastikowa KRADEX 188×197×70mm
 przewód sieciowy

umożliwi bardziej doświadczonym elektronikom wprowadzić pewne zmiany.

Na pewno generator można uprościć, usuwając elementy służące do zmiany współczynnika wypełnienia przebiegu, oraz do regulacji składowej stałej. Wtedy generator można umieścić w mniejszej obudowie (i być może zasilać z dwóch baterii 9V). W przypadku zasilania baterijnego warto dla zmniejszenia poboru prądu zastosować obie kostki typu TL082 lub TL072.

Z drugiej strony, zaawansowani elektronicy mogą spróbować zwiększyć maksymalną częstotliwość generatora.

W opisanym układzie została ona ograniczona do około 20kHz. Przeprowadzone próby wykazały, że z tego typu wzmacniaczami operacyjnymi można uzyskać przyzwoite kształty przebiegów przy częstotliwościach do 50kHz. Ograniczeniem jest tu szybkość zastosowanych wzmacniaczy operacyjnych. Szybkość narastania napięcia wyjściowego (SR) wynosi dla kostek NE5532 – 9V/μs, a dla TL082(072) – 13V/μs. Możliwe jest wykorzystanie innych, szybszych podwójnych wzmacniaczy operacyjnych i wtedy można próbować uzyskać zakres częstotliwości do 100kHz lub 200kHz. W takim wypadku nie należy zmniejszać pojemności C2 poniżej 82pF, trzeba raczej zmniejszać rezystancję R18.

Przewidując możliwość takiej zmiany kostek, warto zastosować podstawki.

Jeśli wykonawca opisywanego generatora ma dostęp do miernika zniekształceń nieliniowych, powinien zmniejszyć zniekształcenia do poziomu 0,4...0,5% przez dokładniejsze dobranie R7 oraz zastosowanie R15. Rezystor R15 pozwala wyeliminować wpływ napięcia nierównoważenia wzmacniacza U4A i rozrzut parametrów zastosowanych diod. Dla konkretnej kostki U4 należy dobrać wartość i punkt dołączenia tego rezystora – zapewne będzie on miał wartość rzędu megaomów.

Piotr Górecki
 Zbigniew Orłowski

