

Prosty generator przebiegu sinusoidalnego

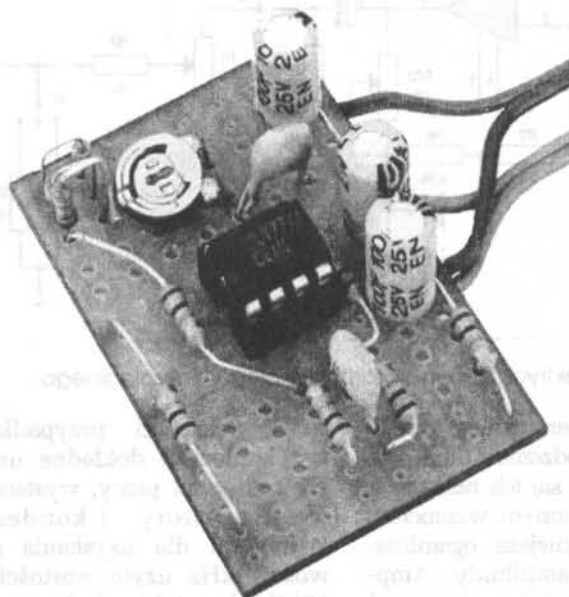
kit AVT-192

Ten opis otwiera serię artykułów o generatorach przebiegów sinusoidalnych.

Najpierw przedstawimy najprostszy generator przebiegu sinusoidalnego o parametrach wystarczających do wielu zastosowań.

Układ jest szczególnie polecany dla początkujących; oprócz wartości praktycznej posiada walor dydaktyczny - pozwala „dotknąć” jednego z filarów elektroniki: generatora z mostkiem Wiena.

W następnych artykułach przedstawimy inne rozwiązania generatorów, w tym układy o skrajnie małych zniekształceniach.



Każdy, nawet najmniej zaawansowany elektronik potrafi zbudować użyteczny generator przebiegu prostokątnego. Wystarczą do tego dwie bramki logiczne lub dwa tranzystory i kilka elementów biernych.

Zdecydowanie trudniej jest zbudować użyteczny generator przebiegu sinusoidalnego. Na pierwszy rzut oka sprawa jest prosta - w podręcznikach znajdziemy co najmniej kilka schematów, między innymi taki jak na **rysunku 1**. Dla ułatwienia przyjmuje się $R1=R2$ i $C1=C2$. Wtedy dla częstotliwości $f_0 = 1/2\pi RC$ przebiegi w punktach A i B mają tę samą fazę, a przebieg w punkcie B ma amplitudę trzy razy mniejszą niż przebieg w punkcie A. Dla częstotliwości f_0 występuje więc dodatnie sprzężenie zwrotne, tyle że ze współczynnikiem 1/3.

Jeśli dobierze się elementy drugiej gałęzi sprzężenia zwrotnego ($R3, R4$) tak, aby wzmacnienie wynosiło 3, to całkowite wzmacnienie układu dla częstotliwości f_0 będzie równe 1 i wystąpią trwałe oscylacje.

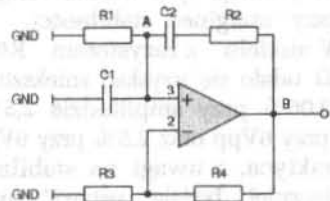
Patrząc od strony wejścia nieodwracającego (nóżka 3) wzmacnienie wynosi $A = (R3 + R4)/R3 = 1 + R4/R3$, stosunek $R4/R3$ musi być więc równy 2.

Praktyczny problem polega na tym, że wskutek nieuchronnych zmian parametrów elementów, nawet bardzo małe zmiany wzmacnienia spowodują bądź zanik drgań, bądź wzrost amplitudy, aż do wystąpienia zniekształceń, czyli dojścia do zakresu napięć nasycenia na wyjściu wzmacniacza operacyjnego.

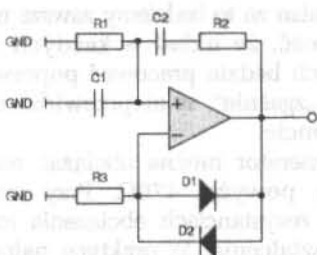
Taki podstawowy układ z **rysunku 1** nie ma znaczenia praktycznego. Dla uzyskania stałej amplitudy na wyjściu należy w jakiś sposób uzależnić wzmacnienie od wielkości amplitudy. Inaczej mówiąc, zmiany amplitudy powinny wywoływać zmianę stosunku podziału dzielnika $R4/R3$.

Istnieją różne sposoby osiągania tego celu, tak czy inaczej konieczne jest użycie elementu nieliniowego jako $R3$ lub $R4$. W najprostszym przypadku elementem stabilizującym amplitudę jest dioda, a właściwie dwie przeciwobnie połączone diody. Pokazuje to **rysunek 2**.

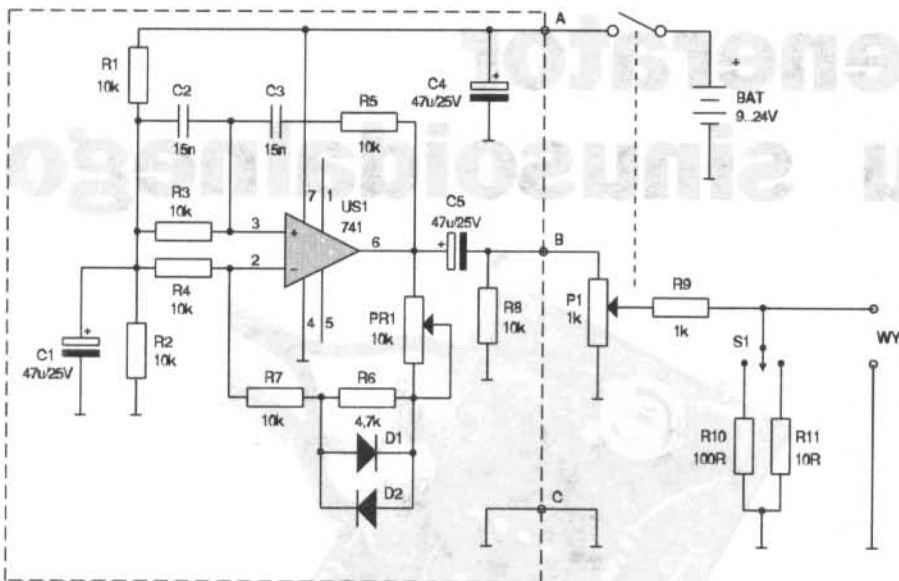
Przy małych amplitudach na wyjściu (poniżej 0,5V) diody praktycznie nie przewodzą, ich rezystancja dynamiczna jest duża, wzmacnienie zależy od stosunku rezystancji dynamicznej diod i rezystancji $R3$ jest na pewno większe od 3 - zwiększa się amplituda drgań. Napięcie szczy-



Rys. 1. Elementary układ generatora z mostkiem Wiena



Rys. 2. Generator z diodową stabilizacją amplitudy



Rys. 3. Schemat elektryczny generatora przebiegu sinusoidalnego

towe przebiegu generowanego powoduje teraz przewodzenie diod, co znaczy, że zmniejsza się ich rezystancja dynamiczna. Tym samym wzmacnienie również się zmniejsza, ograniczając dalszy wzrost amplitudy. Amplituda oscylacji zależy więc od napięcia przewodzenia diod i oczywiście zmienia się z temperaturą o około $2\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Niestety, diody zmniejszają swoją rezystancję dynamiczną tylko wtedy, gdy przewodzą, czyli w szczytach przebiegu; na wyjściu otrzymamy więc przebieg niewiele podobny do sinusoidalnego. Dla uzyskania lepszych efektów należy nieco rozbudować obwód - praktyczne rozwiązanie pokazano na rysunku 3.

Układ jest przystosowany do zasilania pojedynczym napięciem o wartości $6\text{...}36\text{V}$, zależnym od napięcia pracy kondensatorów elektrolitycznych. „Sztuczną masę” wytwarzają R1, R2 i C1.

Elementy mostka: $R3 = R5$ i $C2 = C3$ określają częstotliwość pracy. Ich wartości mogą być zmieniane w szerokim zakresie, byle rezystancja nie przekraczała kilkuset kiloomów (z uwagi na prądy polaryzacji i rezystancję wejściową wzmacniacza operacyjnego).

Dla częstotliwości nie większych niż kilka kiloherców z powodzeniem można użyć prehistorycznego układu 741. Dla większych częstotliwości należy użyć szybszych układów. W modelu wypróbowano wzmacniacze 741 (ULY7741), TL061 oraz LF356. Przy częstotliwości 1kHz wyniki były jednakowe.

W większości przypadków nie jest konieczne dokładne ustawianie częstotliwości pracy, wystarczą typowe rezystory i kondensatory. W modelu dla uzyskania częstotliwości 1kHz użyto wartości 15nF i $10\text{k}\Omega$, bo takie były pod ręką. Można zastosować inne, np. $3,3\text{nF} + 47\text{k}\Omega$ itp.

Dla utrzymania generacji musi być spełniony podany wcześniej warunek - całkowite wzmacnienie układu musi być równe jeden. Dla wzbudzenia drgań potrzebne jest wzmacnienie nieco większe. Jeśli rezystor R4 ma wartość $10\text{k}\Omega$, to aby nastąpiło wzbudzenie drgań suma rezystancji R6, R7 i PR1 musi być nieco większa niż $20\text{k}\Omega$. Gdy w układzie pojawi się przemienny przebieg sinusoidalny diody zaczną przewodzić w szczytach przebiegu, wypadkowa rezystancja gałęzi R6 R7 PR1 D1 D2 zmniejszy się i drgania będą stabilizowane na określonym poziomie. Tym razem wpływ diod nie jest już tak duży i zniekształcenia będą mniejsze.

Podczas prób, gdy napięcie zasilające wynosiło 15V , a rezystor R6 miał wartość poniżej $2\text{k}\Omega$, przy pokręcaniu suwakiem potencjometru PR1 układ albo nie generował, albo powstający przebieg miał obcięte wierzchołki. Jest to oczywiste - po powstaniu drgań, napięcie na R6 było mniejsze niż próg przewodzenia diod i układ działał tak, jakby tych diod w ogóle nie było, czyli według rysunku 1.

Przy drugiej skrajności, gdy R6 miał wartość $10\text{k}\Omega$, bez problemu

można było za pomocą PR1 ustawić amplitudę generowanego przebiegu w szerokich granicach. Jednak zniekształcenia otrzymanego przebiegu były znaczne, rzędu kilku procent. Najmniejsze zniekształcenia ($0,7\%$) uzyskano przy napięciu generowanym równym $1,5\text{Vpp}$.

Wypróbowano działanie układu z innymi wartościami R6. Jak należało się spodziewać, czym mniejsza wartość R6 (ale powyżej $2\text{k}\Omega$), tym mniejsze zniekształcenia udawało się osiągnąć. Ale nie ma róży bez kolców.

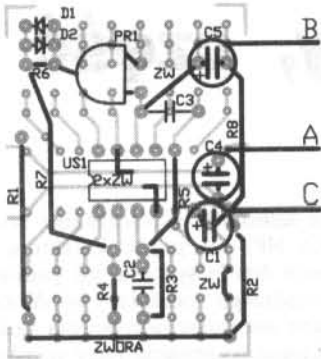
Przy $R6 = 2,2\text{k}\Omega$ i napięciu wyjściowym $8,5\text{Vpp}$ uzyskano zawartość harmonicznych poniżej $0,05\%$ ale trudno było za pomocą PR1 „znaleźć” właściwy punkt pracy - przy minimalnych ruchach suwakiem PR1 albo drgania były za duże i następowało obcinanie wierzchołków, albo drgania zupełnie zanikały. W praktyce należy się też liczyć z nieuniknionymi zmianami parametrów z upływem czasu i pod wpływem temperatury. Szczególnie dotyczy to tanich, popularnych węglowych próbków, które z natury nie są zbyt stabilne - można więc jako PR1 użyć lepszego, nawet wieloobrotowego potencjometru cermetowego.

Ponieważ dla osiągnięcia najmniejszych zniekształceń ustawiamy PR1 na możliwie najmniejszą dopuszczalną rezystancję, może to łatwo doprowadzić do zaniku drgań.

Dla uniknięcia problemów ze stabilnością należy zastosować R6 o większej wartości. Zalecane wartości wynoszą $3,3\text{...}4,7\text{k}\Omega$. Czym większa rezystancja tym można osiągnąć większy margines stabilności.

W modelu z rezystorem $R6 = 4,7\text{k}\Omega$ udało się uzyskać zniekształcenia $0,06\%$ przy amplitudzie $2,5\text{Vpp}$ (1% przy 6Vpp oraz $2,5\%$ przy 9Vpp). W praktyce, z uwagi na stabilność bezpieczniej będzie ustawić nieco większą wartość napięcia wyjściowego ($4\text{...}5\text{Vpp}$) i pogodzić się ze zniekształceniami rzędu $0,15\text{...}0,7\%$. W zamian za to będziemy zawsze mieli pewność, że układ w każdych warunkach będzie pracował poprawnie i nie „zgaśnie” w nieprzewidzianym momencie.

Generator można obciążać rezystancją powyżej 470Ω . Przy mniejszych rezystancjach obciążenia rosną zniekształcenia. W praktyce najprościej jest użyć potencjometru $1\text{k}\Omega$ i ewentualnie dzielnika rezystorowe-



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce uniwersalnej

go, jak pokazano na rysunku 3.

Wypróbowano działanie układu przy zasilaniu z baterii 9V. Układ pracował poprawnie przy napięciach powyżej 7V. Taki bardzo prosty i tani układ znakomicie nadaje się do budowy małego, serwisowego generatora 1kHz. Na fotografii pokazano niezbędne elementy.

Moduł ten może być też użyty w wielu urządzeniach, gdzie potrzebny jest prosty generator przebiegu sinusoidalnego.

Montaż i uruchomienie

Montaż z powodzeniem można wykonać na małej płytce uniwersalnej AVT PU-03. **Rysunek 4** przedstawia rozmieszczenie elementów i układ zwór. Należy wykonać pięć zwór, niektóre lepiej jest umieścić od strony druku. Między innymi pod układem scalonym należy kilkunilimetrowymi kawałkami drutu wykonać połączenia szyn zasilających z nóżkami 4 i 7 US1.

Jak widać na rysunku 4, w niektóre otwory należy włożyć po dwie końcówki elementów - nie będzie żadnego problemu, bo otwory te mają średnicę 1,5mm.

Także końcówki niektórych elementów są krępowane nietypowo, niekiedy na ukos.

Po zmontowaniu układ należy dokładnie sprawdzić na zgodność ze schematami. Najczęstszą przyczyną kłopotów będą bowiem pomyłki w montażu.

Do uruchomienia potrzebny będzie tylko oscyloskop i źródło zasilania. Niewielu hobbystów ma dostęp do miernika zniekształceń, czy miernika selektywnego - dla naszego układu przyrząd taki nie jest konieczny. Przede wszystkim, po ustawieniu PR1 na największą wartość, na wyjściu powinny pojawić się drgania o częstotliwości około 1kHz. Przebieg będzie miał dużą amplitudę i będzie zniekształcony (obcięte wierzchołki). Następnie należy bardzo wolno zmniejszać czynną rezystancję PR1 - amplituda będzie się zmniejszać, aż do zaniku drgań. Teraz należy bardzo powoli cofnąć suwak PR1 aby znów pojawiły się drgania. Według podanych wcześniej wskazówek można ustawić potrzebną amplitudę. Czym mniejsza amplituda tym mniejsze zniekształcenia, ale większe ryzyko zaniku drgań.

Na koniec trzeba kilkakrotnie wyłączyć i włączyć zasilanie sprawdzając czy za każdym razem i jak szybko pojawią się drgania.

Dociekliwych Czytelników zachęcamy do eksperymentów przy różnych napięciach zasilania i różnych wartościach R6.

Gdyby układ nie chciał się wzbudzić należy sprawdzić napięcia stałe. Jak widać na schemacie, prawie wszystkie punkty układu powinny być na potencjale połowy napięcia zasilającego.

Piotr Górecki, AVT

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R2, R3, R4, R5, R7, R8: 10kΩ

R6: 4.7kΩ

R9: 1kΩ *

R10: 100Ω *

R11: 10Ω *

PR1: montażowy 10kΩ mały leżący

P1: potencjometr z wyłącznikiem 1...10kΩ A lub B *

Kondensatory

C1, C4, C5: 47...100μF/25V

C2, C3: 15nF foliowy

Półprzewodniki

D1, D2: dowolne, np. 1N4148

US1: ULY7741

Różne

płytki uniwersalna PU-03

obudowa *

gałka potencjometru *

złącze mini jack mono *

przełącznik trzyzycyjny *

* elementy nie wchodzące w skład zestawu AVT-192