

Generator kwadraturowy

Do czego to służy?

W każdej pracowni elektronicznej potrzebne są generatory. O ile bez większych problemów można zbudować generatory przebiegów prostokątnych, o tyle budowa generatorów przebiegu sinusoidalnego, wcale nie jest tak łatwa, zwłaszcza jeśli chodzi o generatory dające przebieg nieznkształcony, o małej zawartości harmonicznych.

W artykule opisano prosty generator przebiegu sinusoidalnego, wykonany z użyciem podwójnego wzmacniacza operacyjnego. Bez kłopotu można uzyskać zawartość zniekształceń nieliniowych poniżej 0,2%, co z powodzeniem wystarczy do wielu zastosowań. Opisany układ może służyć jako warsztatowy generator przebiegu sinusoidalnego.

Przedstawiony generator ma jednak nie jedno, ale dwa wyjścia, na których dostępne są jednocześnie dwa przebiegi (sinusoidalne) przesunięte w fazie o 90 ($\pi/2$). Patrząc z matematycznego punktu widzenia, są to przebiegi: sinusoidalny i kosinusoidalny. Jak wiadomo ze znanego ze szkoły wzoru:

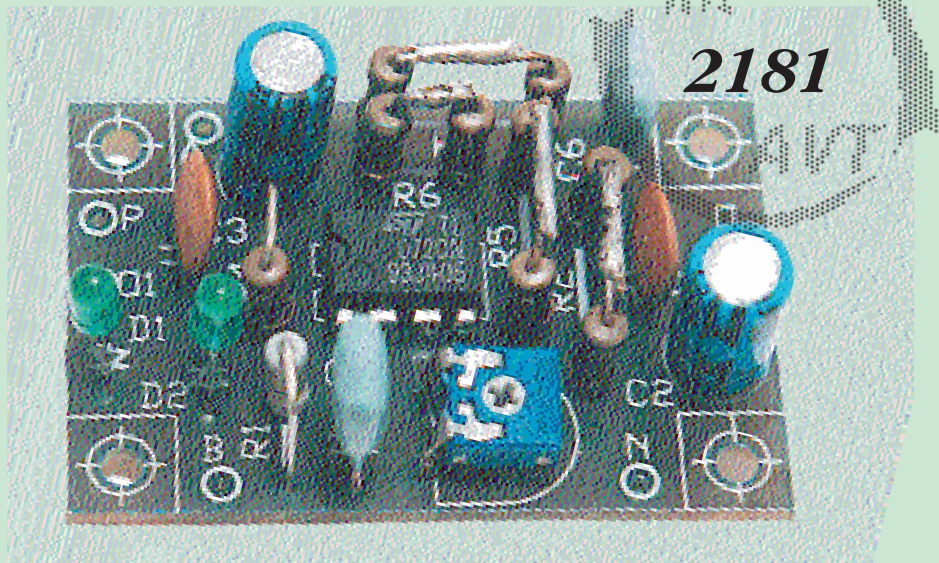
$$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$$

Dla początkujących podany wzór nie ma żadnego znaczenia, bo wykorzystają tylko jeden z przebiegów. Bardziej zaawansowani mogą wykorzystać oba przebiegi do bardzo ciekawych celów. Na przykład w niektórych układach przetwarzania sygnałów potrzebne są sygnały sinusoidalny i kosinusoidalny. Zamiast stosować przesuwniki fazowe, wystarczy zastosować opisany dalej generator.

Podaną zależność wykorzystuje się też w obwodach automatycznej regulacji amplitudy, gdzie przy zastosowaniu układów mnożących uzyskuje się bez żadnego opóźnienia sygnał proporcjonalny do amplitudy generowanych drgań (ściślej do kwadratu amplitudy). To zagadnienie jest jednak dość skomplikowane i nie będzie szczegółowo analizowane.

Jak to działa?

Podstawowy schemat ideowy generatora realizującego zmienne stanu, zwane go też generatorem kwadraturowym pokazano na **rysunku 1** (znane są także inne rozwiązania układowe takich generatorów, zawierające albo trzy wzmacniacze operacyjne, albo trzy obwody RC). Przede wszystkim należy zauważyć obecność w układzie dwóch kondensatorów C tworzących ze współpracującymi rezystorami obwody (całkujące) RC. Zastosowane rezystory mają ściśle ustalone wartości –



w układzie występują rezystory o pewnej rezystancji R oraz o dwukrotnie większej rezystancji 2R.

Wszyscy wiedzą, że w kondensatorze (i obwodzie RC) napięcie opóźnia się względem prądu. Można się słusznie domyślać, że w prezentowanym układzie występują dwa stopnie przesuwania fazy, wykorzystujące wspomniane dwa kondensatory.

Warunkiem wzbudzenia drgań jest także przesunięcie fazy, by uzyskać dodatnie sprzężenie zwrotne. Ale właściwa faza to nie wszystko. Konieczne jest także całkowite wzmocnienie układu wynoszące teoretycznie dokładnie 1. Taki warunek spełniony jest w układzie z rysunku 1.

Jeśli całkowite wzmocnienie (wyznaczone między innymi stosunkiem rezystorów RA) byłoby dużo większe, zamiast przebiegu sinusoidalnego uzyska się na wyjściu sygnał zbliżony do prostokątnego. Jeśli wzmocnienie byłoby mniejsze do 1, to układ się nie wzbudzi i nie będzie generatorem.

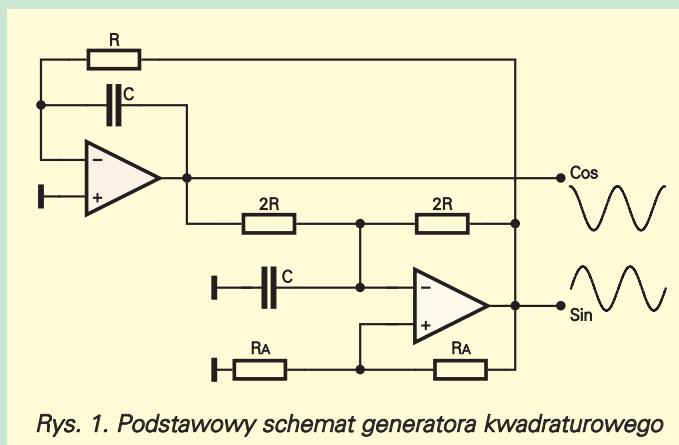
Warunkiem powstania drgań sinusoidalnych jest więc precyzyjne dobranie wypadkowego wzmocnienia całego układu. I to jest główny problem praktyczny przy kon-

struowaniu generatorów sinusoidalnych, bo wzmocnienie zależy od wielu czynników, na przykład od temperatury. Jeśli wzmocnienie choć odrobinę spadnie, amplituda sygnału szybko się zmniejszy i układ przestaje generować. Jeśli wzmocnienie jest zbyt duże, amplituda szybko rośnie, wzmacniacze operacyjne się nasycają, i przebieg sinusoidalny ma obcięte wierzchołki, a tym samym zawartość harmonicznych radykalnie wzrasta do co najmniej kilku procent.

Teoretycznie ustalenie właściwego wzmocnienia jest możliwe przez zastosowanie rezystorów i kondensatorów o dokładnie dobranych wartościach. **W praktyce występują liczne czynniki wpływające na wzmocnienie, dlatego należy:**

- ustawić wzmocnienie nieco ponad 1 (by generator w miarę szybko zaczął pracę po włączeniu zasilania)
- wprowadzić obwód lub element automatycznie regulujący wzmocnienie w zależności od poziomu sygnału na wyjściu.

W niektórych generatorach sinusoidalnych do stabilizacji wzmocnienia stosuje się element nieliniowy: miniaturową żaróweczkę lub termistor. W innych o wymaganą wartość wzmocnienia troszczy się złożony obwód regulacyjny z tranzystorem FET lub fotorezystorem. W jeszcze innych generatorach do regulacji wzmocnienia (a tym samym stabilizacji amplitudy na wyjściu) stosuje się analogowe układy

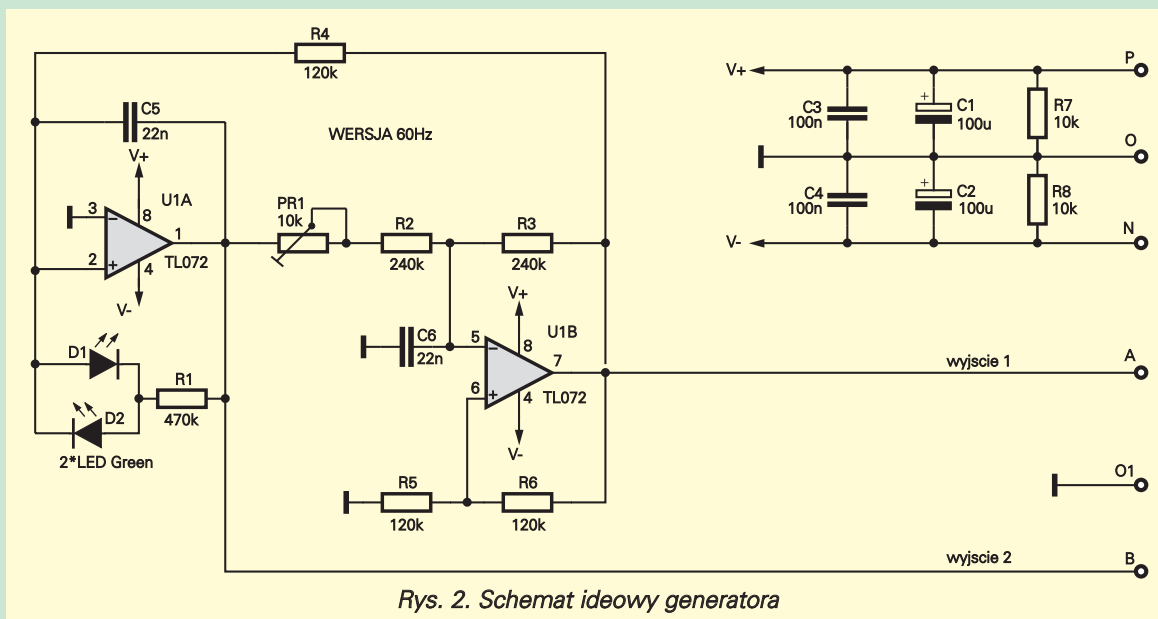


Rys. 1. Podstawowy schemat generatora kwadraturowego

mnożące. Wszystkie wymienione sposoby przy starannym zaprojektowaniu układu pozwalają uzyskać wartość zniekształceń poniżej 0,01%. Jednocześnie sposoby te mają swoje wady.

Innym, bardzo prostym sposobem jest zastosowanie elementu nieliniowego w postaci diod Zenera. Diody takie zaczynają przewodzić dopiero wtedy, gdy amplituda przebiegu na wyjściu wzmacniacza przekroczy napięcie tych diod Zenera. Przepływ prądu można traktować jako zmniejszenie się rezystancji (dynamicznej) tych diod. Czyli diody te pracują w roli zmiennej rezystancji: jest ona nieskończenie duża przy małych amplitudach sygnału wyjściowego i maleje przy przekroczeniu pewnego progu.

Ta zmienna rezystancja diod Zenera przy dużych poziomach sygnału ograni-



Rys. 2. Schemat ideowy generatora

cza wzmacnienie, nie pozwalając na dalszy wzrost sygnału. Oczywiście wprowadzenie do układu takiego elementu nieliniowego wiąże się z pewnym zniekształceniem sygnału.

Pełny schemat ideowy modułu generatora kwadraturowego pokazany jest na rysunku 2. W roli zmiennej rezystancji pracują dwie włączone przeciwsośnie diody LED D1 i D2, pełniące rolę diod Zenera (rezystancji zależnej od amplitudy przebiegu).

Dodatkowo, dla zmniejszenia zniekształceń nieliniowych, dodany został rezystor szeregowy R1.

Jak wspomniano wcześniej, aby układ startował w sposób pewny i szybki, wzmacnienie należy ustawić na wartość nieco większą niż 1. W układzie służy do tego potencjometr PR1.

Układ może być wykorzystany jako część większego urządzenia i wtedy zapewne będzie zasilany napięciem symetrycznym, dołączonym do punktów P, O, N. W takim wypadku nie potrzebne są rezystory R7 i R8.

Próby wykazały, że układ zawierający kostkę TL072(082) może być zasilany napięciem $\pm 3... \pm 15V$.

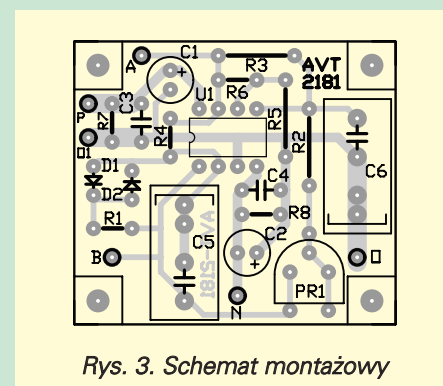
Układ może być także zasilany pojedynczym napięciem 6...30V – potrzebne są wówczas rezystory R7 i R8 wytwarzające sztuczną masę.

Montaż i uruchomienie

Generator można zmontować na płycie drukowanej pokazanej na rysunku 3.

Montaż jest klasyczny, nie sprawi trudności.

W układzie modelowym zastosowano niskoszumny układ TL072, ale w praktyce śmiało można stosować popularniejszą kostkę TL082; nie zmienia to właściwości generatora.



Rys. 3. Schemat montażowy

W zestawie AVT-2181 w roli kondensatorów C5 i C6 przewidziano zastosowanie albo precyzyjnych kondensatorów styrofleksowych o tolerancji 0,5%, albo dobieranych z dokładnością 0,5% kondensatorów MKT (MKSE). Kluczowe rezystory powinny być dobrej jakości rezystorami metalizowanymi o tolerancji 1%.

Na schemacie ideowym podano wartości elementów dla wersji o częstotliwości 60Hz.

W wykazie elementów podano też wartości dla częstotliwości 1kHz – takie elementy będą dostarczane w zestawie AVT-2181B.

Jak podano wcześniej, dla uzyskania innych częstotliwości pracy (1Hz...50kHz), zarówno wartości kondensatorów C5, C6, jak i rezystorów R2 – R6 mogą być zmieniane w szerokich granicach.

Niestety, nie jest możliwe proste przerobienie układu na generator przestrajany płynnie, bo wymagałoby to jednoczesnej zmiany wartości kondensatorów C5 i C6. Możliwe jest natomiast wykonanie generatora przestrajanego skokowo – wystarczy zastosować wielopozycyjny przełącznik dwuobwodowy i dołączać nim kondensatory o różnych wartościach.

c.d. na str. 56

Wykaz elementów

(opcja 60Hz)

Rezystory

R1: 470k Ω
R2, R3: 242k Ω 1% (składane z dwóch 121k Ω)
R4, R5, R6: 121k Ω 1%
R7, R8: 10k Ω
PR1: 10k Ω

Kondensatory

C1, C2: 100 μ F/16V
C3, C4: 100nF
C5, C6: 22,1nF 0,5% styrofleksowe lub 22nF MKT dobierane z tolerancją 0,5%

Półprzewodniki

D1, D2: LED 3mm ziel.
U1: TL072 lub TL082

(opcja 1kHz)

Rezystory

R1: 100k Ω
R2, R3: 45,2k Ω 1% (składane z dwóch 22,6k Ω)
R4, R5, R6: 22,6k Ω 1%
R7, R8: 10k Ω
PR1: 2,2k Ω

Kondensatory

C1, C2: 100 μ F/16V
C3, C4: 100nF
C5, C6: 6,81nF 0,5% styrofleksowe lub 6,8nF MKT dobierane z tolerancją 0,5%

Półprzewodniki

D1, D2: LED 3mm ziel.
U1: TL072 lub TL082

Uwaga!

W skład zestawu AVT-2181 wchodzi elementy do budowy wersji generatora 1000Hz.

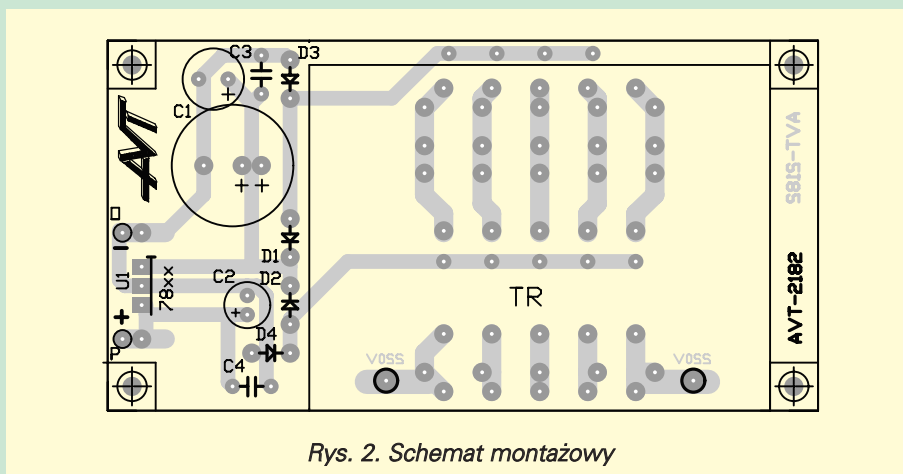
cyjnym. Ponieważ po wyprostowaniu napięcie wzrasta (prawie o 40%), a moc transformatora jest w przybliżeniu stała, a więc z zasilacza nie powinno się pobierać prądu stałego o wartości podanej w katalogu, tylko co najwyżej prąd 1,41 razy mniejszy – praktycznie do 70% wartości prądu podanego w katalogu. Wtedy moc pobierana z transformatora będzie mniej więcej równa mocy nominalnej wynikającej z przemnożenia napięcia i prądu podanych w katalogu.

Montaż i uruchomienie

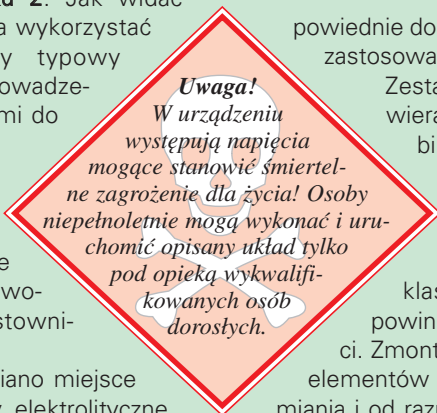
Zasilacz można zmontować na płytce pokazanej na **rysunku 2**. Jak widać układ ścieżek pozwala wykorzystać praktycznie dowolny typowy transformator z wyprowadzeniami przystosowanymi do wzlutowania w płytce.

W zależności od użytego transformatora trzeba też wykonać odpowiednie zwory, by połączyć uzwojenie wtórne z prostownikiem.

Na płytce przewidziano miejsce na dwa kondensatory elektrolityczne za prostownikiem, dzięki czemu w roli C1 można zastosować dwa kondensatory, na przykład 1000µF/25V, które będą od-



Rys. 2. Schemat montażowy



powiednie do ogromnej większości zastosowań.

Zestaw AVT-2182B nie zawiera transformatora i stabilizatora. Należy je zamówić oddzielnie lub zdobyć we własnym zakresie. Montaż układu jest klasyczny, nikomu nie powinien sprawić trudności. Zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchomienia i od razu powinien pracować poprawnie.

Piotr Górecki
Zbigniew Orłowski

Wykaz elementów

Kondensatory

C1: 2200µF/25V lub 2 x 1000µF/25V
C2: 100µF/25V
C3, C4: 100nF ceramiczny

Półprzewodniki

D1-D4: 1N4001...7

płytką drukowaną wg rysunku 2

Uwaga!

Transformator sieciowy i stabilizator nie wchodzi w skład zestawu; należy je zamówić oddzielnie według potrzeb.

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako „kit szkolny” AVT-2182.

Generator kwadraturowy

Jeśli ktoś chciałby wykorzystać układ w roli prostego generatora przebiegu sinusoidalnego zasilanego z baterii 9V, może dodać obwód wyjściowy pokazany na **rysunku 4**.

Po zmontowaniu, układ generatora należy wyregulować. W zasadzie określenie regulacja jest zbyt poważne – należy ustawić odpowiednio potencjometr PR1. Przy skręceniu potencjometru na minimum rezystan-

cji układ może nie pracować, a może będzie pracował w każdej pozycji potencjometru PR1 (zależy to od nieuniknionego rozrzutu parametrów użytych elementów). Potencjometr należy ustawić na możliwie małą wartość, przy której układ pracuje stabilnie.

Czym większa rezystancja czynna potencjometru PR1, tym układ pewniej się wzbudza, stabilniej pracuje, ale przebieg wyjściowy ma większe zniekształcenia i nieco większą amplitudę. Mniejsza rezystancja czynna PR1 to mniejsze zniekształcenia, ale też większe ryzyko, że przy zmianach temperatury czy napięcia zasilania, układ przestanie generować.

Dobłą wskazówką przy ustawianiu wartości PR1 jest czas wzbudzenia się drgań po włączeniu zasilania. Jeśli pra-

widłowe drgania pojawiają się dopiero po kilku sekundach, to znaczy że potencjometr PR1 ma za małą wartość.

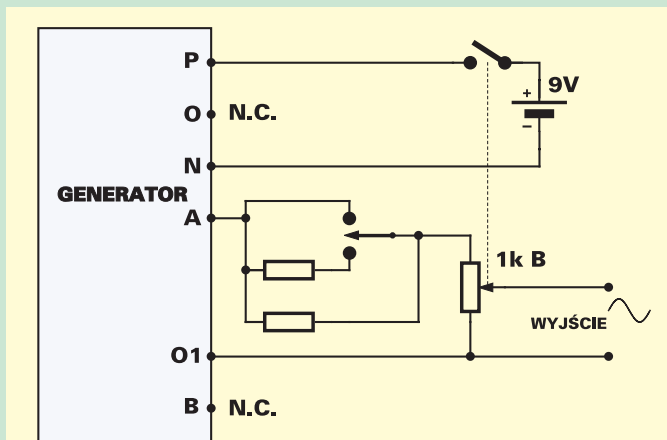
Próby przeprowadzone w układach modelowymi wykazały, iż bez trudu można osiągnąć zawartość harmonicznych poniżej 1%. W układach modelowych dobrą i stabilną pracę uzyskano przy niewielkiej rezystancji czynnej potencjometru PR1 i zawartości zniekształceń 0,15...0,2%.

Należy też wiedzieć, że czym większa rezystancja R1, tym mniejsze zniekształcenia.

Osoby, które nie mają miernika pojemności i cyfrowego omomierza, a tym samym nie potrafią dobrać precyzyjnie wartości kondensatorów i rezystorów, mogą zbudować opisany generator przy użyciu typowych elementów o tolerancji 5...20% i układ również powinien pracować. Co najwyżej zwiększy się trochę zawartość zniekształceń, a poziomy na wyjściach A i B mogą nie być jednakowe.

Piotr Górecki
Zbigniew Orłowski

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako „kit szkolny” AVT-2181.



Rys. 4. Dołączenie obwodów wyjściowych