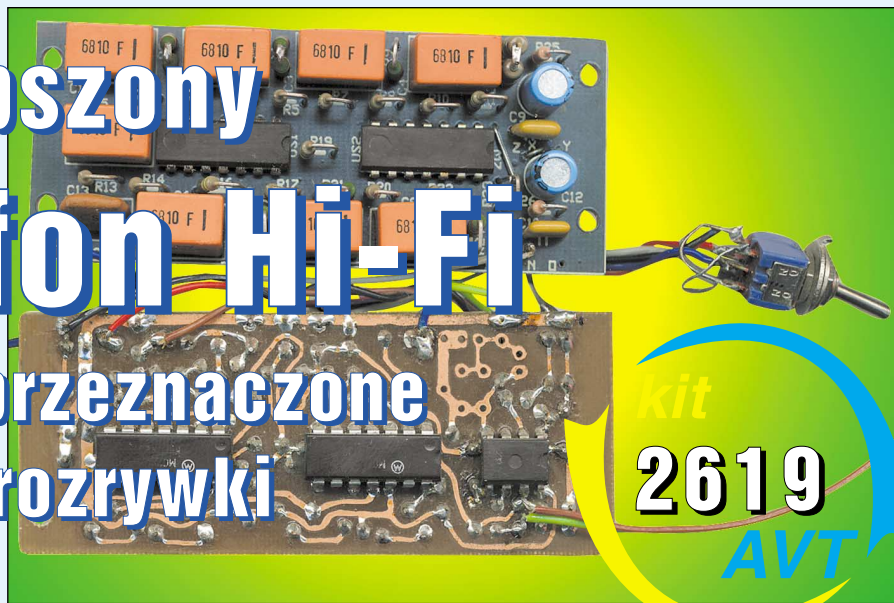




Nowy, ulepszony Transofon Hi-Fi

dwa moduły przeznaczone
nie tylko dla rozrywki



kit
2619

AVT

Transofon Hi-Fi Precyzyjny szerokopasmowy przesuwnik fazy Podwójny ekonomiczny układ mnożący część 1

Projektem głównym w EdW 3/1997 był *Transofon - układ do zmiany wysokości głosu*. Zaprezentowany *transofon* wzbudził wielkie zainteresowanie, co objawiło się także wielką liczbą sprzedanych kitów. Nazwę *transofon* zaproponował jeden z naszych Czytelników. Układ, zgodnie z nazwą, służy do zmiany wysokości głosu - przesuwa w górę lub w dół sygnały pasma akustycznego.

Zmiana częstotliwości już o 40...50Hz powoduje, że nie można rozpoznać osoby po głosie. Nieco większa zmiana powoduje, że mężczyzna będzie mówił głosem kobiety (podwyższenie częstotliwości), a kobieta - głosem męskim (obniżenie częstotliwości).

Przesunięcie o kilkaset herców daje wręcz kosmiczne efekty.

Znane są różne, analogowe i cyfrowe układy realizujące takie zadanie. Zazwyczaj jednak jakość dźwięku jest mizerna, pasmo wąskie, a ubocznymi efektami są szumy, zniekształcenia i inne niepożądane produkty.

Opisywany w artykule układ to *transofon* o rewelacyjnych parametrach. Zakres częstotliwości pracy (50Hz...15kHz) jest znacznie szerszy, niż zakres widmowy mowy ludzkiej. Układ przesuwa częstotliwość nie dając odczuwalnych szkodliwych efektów ubocznych, takich jak gwizdy czy inne produkty

intermodulacji. Jakość przetworzonego dźwięku pozostaje znakomita.

Nie trzeba chyba dodawać, iż *transofon* może być wykorzystany dla rozrywki i innych niezbyt poważnych celów - niedawno do Redakcji zadzwonił Czytelnik z Białegostoku z niecodzienną prośbą. Z powodów, które u wielu mogą wywołać uśmiech zdziwienia, chce dołączyć porządny *transofon* do telefonu, żeby go nie rozpoznano po głosie z drugiej strony linii.

Zaprezentowany układ znajdzie także inne, znacznie poważniejsze zastosowania. Krótkofalowcy wykorzystujący technikę SSB z pewnością zainteresują się modułem precyzyjnego, szerokopasmowego przesuwnika fazy. Z projektem zapoznają się też osoby zajmujące się nagłaśnianiem obiektów - układ pierwotnie projektowany był jako układ antywzbudzeniowy, zmniejszający podatność systemu na samowzbudzenie na drodze głośniki-mikrofon.

Zasada działania

Przedstawiony układ przesuwa widmo częstotliwości w górę lub w dół. Powszechnie stosowanym sposobem przesuwania pasma częstotliwości jest użycie mieszacza. Do realizacji postawionego zadania nie wystarczy

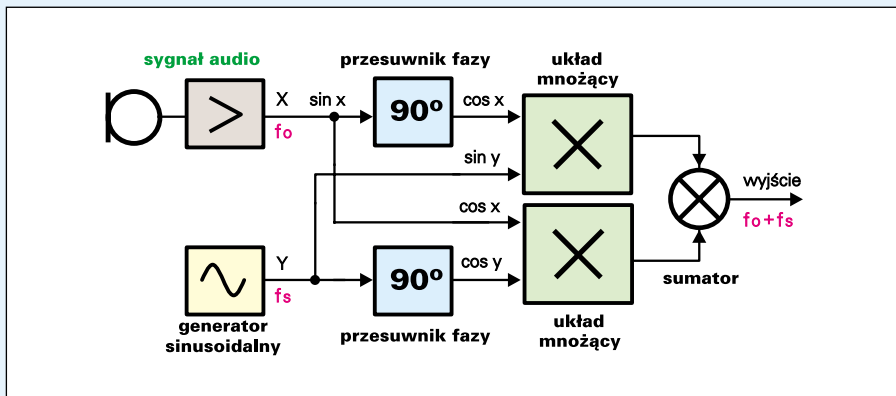
ani klasyczny mieszacz, ani nawet mieszacz zrównoważony. Potrzebny jest bardziej skomplikowany układ, zawierający kilka bloków, w tym dwa mieszacze i dwa filtry. Trzy sposoby przesuwania widma częstotliwości opisano we wspomnianym numerze EdW (3/97) na stronie 62 w artykule Zabawy z dźwiękiem. W *Transofonie*, zaprezentowanym w EdW 3/97 na stronie 7 wykorzystano pierwszą z metod przesuwania częstotliwości.

W prezentowanym teraz układzie wykorzystano opisany tamże sposób trzeci. Podobny sposób jest wykorzystywany od dawna przez krótkofalowców do wytwarzania sygnału pojedynczej wstęgi bocznej w transceiverach SSB.

Z grubsza rzecz biorąc polega on na zastosowaniu dwóch modulatorów, do których doprowadza się sygnał fali nośnej i sygnał akustyczny, z tym że wymagane są po dwa sygnały: jeden „normalny”, drugi przesunięty w fazie o 90°.

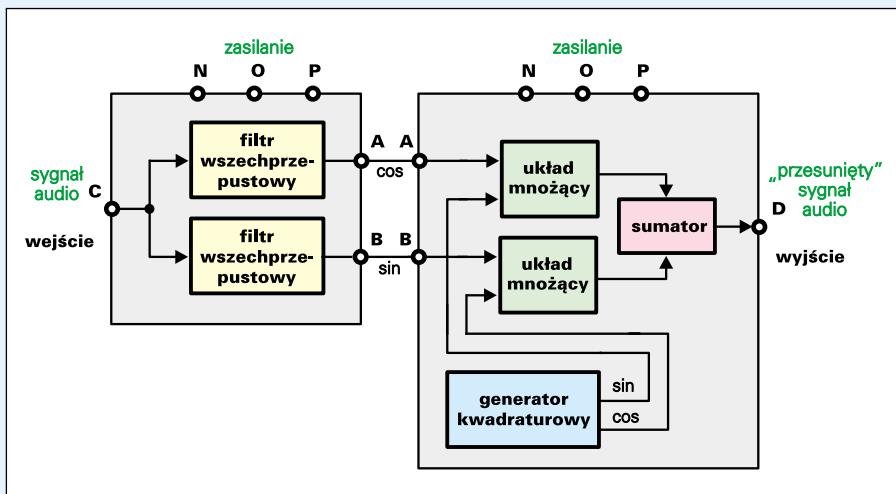
Działanie układu opiera się na znanym ze szkoły wzorze na sinus sumy kątów:
 $\sin(x + y) = \sin x \cdot \cos y + \cos x \cdot \sin y$
 Ze wzorów redukcyjnych wynika że:
 $\sin(90^\circ \pm x) = \cos x$
 co oznacza, że różnica między przebiegami sinusoidalnym i kosinusoidalnym polega tylko na przesunięciu w fazie o 90°.

Opisane operacje matematyczne można przeprowadzić w układzie elektronicznym. Można to zrealizować cyfrowo, wykorzystując specjalizowane procesory DSP, można też wykorzystać sposób analogowy. Ogólną ideę przesuwania częstotliwości w sposób analogowy przedstawia **rysunek 1**. Wykorzystuje się tu dwa układy mnożące, przy czym, zgodnie z podanymi właśnie wzorami, mnożeniu podlegają sygnały przesunięte w fazie o 90° ($\pi/2$).



Rys. 1 Zasada działania

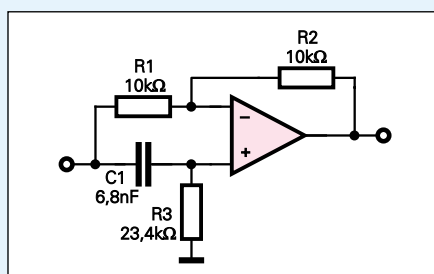
Rys. 2 Schemat blokowy



Przesunięcie o 90° przebiegu o ustalonej częstotliwości f_s nie przedstawia większego problemu. Dużo trudniej przesunąć o jednakowy kąt sygnały z szerokiego paśmie częstotliwości akustycznych. W krótkofalarstwie pasmo użyteczne nie przekracza $2,5\text{kHz}$, więc wykorzystywane układy przesuwników fazowych nie są zbyt skomplikowane. Podczas projektowania prezentowanego układu postawiono cel znacznie trudniejszy - zakres użyteczny co najmniej od 100Hz ... 10kHz . Składowe sygnały mogą ludzkiej mieszczą się właśnie w takim paśmie. Ponadto, aby w sposób stosunkowo prosty zapewnić wymaganą różnicę faz przebiegu dla różnych częstotliwości f_s , zamiast generatora i przesuwnika zastosowano tak zwany generator kwadraturowy,

który ze swej natury jest źródłem sygnałów przesuniętych w fazie dokładnie o 90° .

Prezentowany układ transfonu, czyli przesuwnika widma częstotliwości składa się z dwóch modułów. Jeden jest przesuwnikiem fazy, drugi zawiera układ mnożący i generator kwadraturowy. Uproszczony schemat blokowy proponowanego „analogowego” rozwiązania pokazany jest na **rysunku 2**.

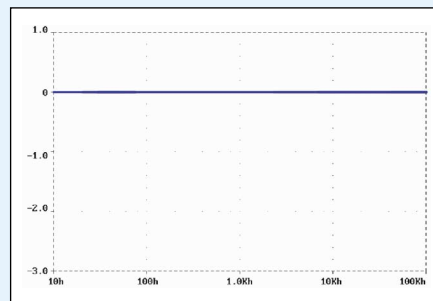


Rys. 3

Przesuwnik fazy

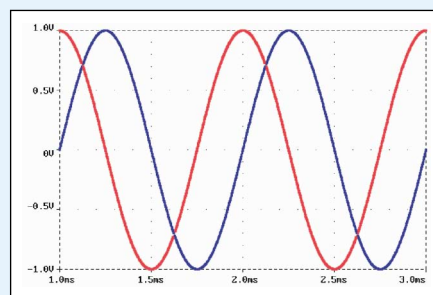
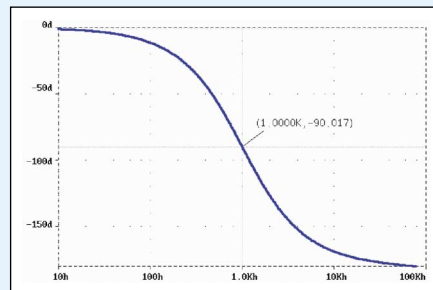
Założono, że układ przesuwnika fazowego ma przesunąć dokładnie o 90° fazę sygnałów co najmniej w zakresie 100Hz ... 10kHz . Fazę trzeba przesunąć, natomiast amplituda prze-

biegu ma pozostać niezmienną. Na **rysunku 3** pokazany jest układ, który umożliwi zrealizowanie postawionego celu. Jest to rodzaj filtru. Nazywany jest filtrem **wszechprzepustowym**. **Rysunek 4** pokazuje, że amplituda przebiegu pozostaje niezmienną w całym paśmie akustycznym. Na **rysunku 5** pokazana jest charakterystyka fazowa układu z **rysunku 3**. Elementy układu ($C1$, $R3$) zostały tak dobrane, że przesunięcie fazy dla częstotliwości 1kHz wynosi dokładnie 90° , co pokazuje też **rysunek 6**. Niestety, jak widać na **rysunku 5**, przesunięcie fazy nie jest stałe, tylko zależy od częstotliwości. Na pewno jeden taki filtr nie zrealizuje postawionego zadania.



Rys. 4

Rys. 5



Rys. 6

Wystarczy jednak zbudować dwa niezależne tory zbudowane z kilku takich ogniw o precyzyjnie dobranych parametrach, by różnica fazy na ich wyjściach była równa 90° w szerokim zakresie częstotliwości. Okazało się, że potrzebne są dwa tory, z których każdy będzie zawierał po cztery odpowiednio dobrane ogniwa filtru wszechprzepustowego.

Pełny schemat ideowy precyzyjnego przesuwacza fazy pokazany jest na **rysunku 7**.

Moduł może być zasilany napięciem symetrycznym $\pm 4,5... \pm 18V$ albo napięciem pojedynczym w zakresie $9...25V$ (do $36V$ przy zastosowaniu C11 o wyższym napięciu pracy). Zależnie od rodzaju zasilania, należy wykonać połączenie oznaczone X-Y (zasilanie symetryczne) albo X-Z (zasilanie niesymetryczne).

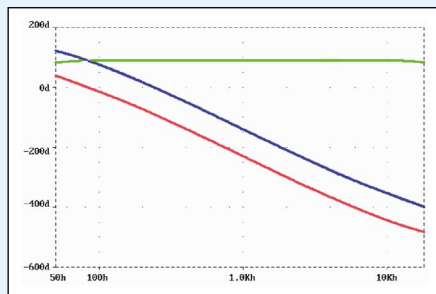
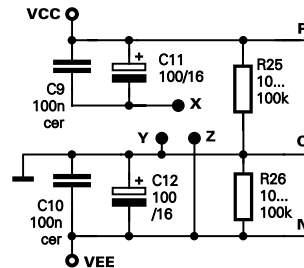
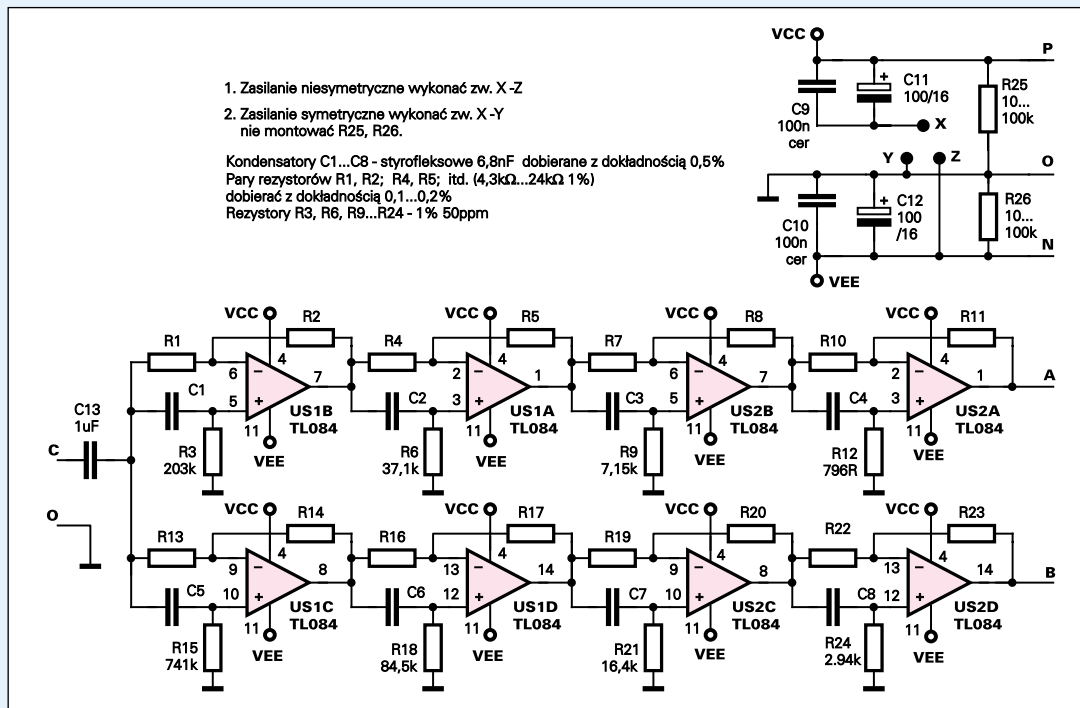
Działanie układu jest oczywiste. Każdy moduł filtru wszechprzepustowego przesuwają fazę sygnału. W rezultacie sygnały o większych częstotliwościach pojawiające się na wyjściach A, B są przesunięte o kąt dużo większy niż 90° . Istotny jest fakt, że stałe

czasowe C1R3, C2R6, C3R9, ... C8R24 są tak dobrane, że różnica fazy przebiegów na wyjściach A, B wynosi 90° .

Rysunek 8 pokazuje charakterystyki fazowe. Linie niebieska i czerwona pokazują przesunięcie fazy obu torów, zmierzone na wyjściach A i B. Jak widać, dla najwyższych częstotliwości akustycznych przekracza ono 360° ! Przesunięcie o 360° oznacza po prostu opóźnienie sygnału o jeden okres, ale nie jest to istotne w tym przypadku. Linia zielona na rysunku 8 pokazuje różnicę fazy między sygnałami wyjściowymi. Już ten rysunek pokazuje, że uzyskany wynik jest dobry.

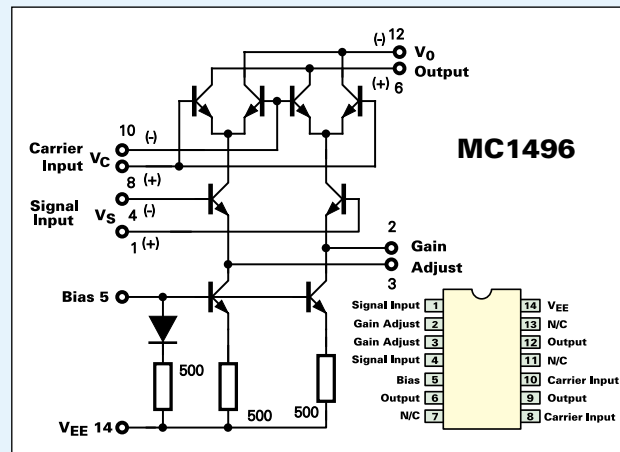
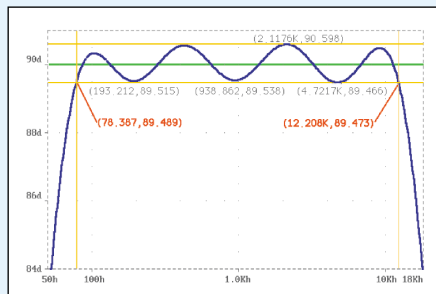
wanie identycznych kondensatorów ($6,8nF$) oraz rezystorów o wartości dokładnie takiej jak podano na schemacie. Przy zastosowaniu elementów o tolerancji 1% należy liczyć się z błędem fazy dochodzącym do $1,5$ stopnia, co i tak będzie znakomitym wynikiem. Oczywiście można też zastosować rezystory i kondensatory o tolerancji 5% - wtedy błąd fazy może przekroczyć 5 stopni, ale do mniej wymagających zastosowań taka dokładność z powodzeniem wystarczy.

Rys. 7 Przesuwnik fazy



Rys. 8 Charakterystyki fazowe

Rys. 9 Charakterystyki wypadkowe



Rys. 10 Układ MC1496

Jak pokazuje w zbliżeniu rysunek 9, dokładność przesuwnika jest wręcz rewelacyjna. W zakresie częstotliwości $78,3Hz...12,2kHz$ błąd przesunięcia fazy jest mniejszy niż pół stopnia! Oczywiście warunkiem uzyskania takiej precyzji jest zastosowanie

„górnych” tranzystorów.

Pełny schemat modułu mnożącego pokazany jest na rysunku 11. Układ może być zasilany napięciem symetrycznym albo pojedynczym. W większości przypadków układ będzie zasilany pojedynczym napięciem rzędu $12V$ i wtedy nie trzeba montować elementów C8, C9, C12, U5.

Moduł mnożący

W urządzeniu pracują analogowe układy mnożące. Obecnie układy takie są łatwo dostępne, ale jak wiadomo, są dość drogie. Pierwszy próbny model (z innym przesuwnikiem fazowym) został wykonany prawie dziesięć lat temu i zawierał układy mnożące Motoroli MC1495, kupione okazynie na warszawskim Wolumenie. Potem okazało się, że zakup dalszych egzemplarzy kostek MC1495 lub MC1494 okazałyby się zbyt kosztowny, więc przeprojektowano układ. Przeprowadzono próby nawet z krajową kostką UL1042. W proponowanej wersji wykorzystywane są znane od dawna, popularne i tanie kostki Motoroli MC1496. Układ MC1496 jest modulatorem zrównoważonym i przy niezbyt dużych sygnałach podawanych na „górne piętro” z powodzeniem pełni rolę układu mnożącego. Schemat wewnętrzny kostki MC1496 i wyprowadzenia są pokazane na rysunku 10. Sygnały wejściowe (napięciowe) podawane są na bazy tranzystorów „dolnych” i „górnych”. Po ich analogowym pomnożeniu sygnałem wyjściowym jest prąd kolektorów

Rezystory R1, R32, R2, R3 tworzą dzielnik napięcia, polaryzujący układy mnożące i generator.

Wzmacniacze operacyjne kostki U3 pracują w układzie generatora kwadraturowego. Elementy C5, C5, R24...R29 wyznaczają częstotliwość. Dodatkowy rezystor R30 jest potrzebny, żeby generator rozpoczął pracę po włączeniu zasilania. Rezystor R31 i dwie diody LED ograniczają amplitudę generowanego przebiegu, zapobiegając nasyceniu wzmacniaczy. Sygnały z wyjść wzmacniaczy kostki U3, wzajemnie przesunięte o 90°, są doprowadzone do wejścia „dolnego piętra” układów mnożących U1, U2 (nóżki nr 1).

Do wejścia „górnego piętra” kostek U1, U2 (nóżki nr 8) przez wejścia A, B są doprowadzone przesunięte w fazie sygnały audio z przesuwnika fazy. Warto zauważyć, że sygnały te są stłumione przez dzielniki R6,R8 oraz RP5+R7,R9 ze względu na dużą czułość „górnego piętra” kostek U1, U2.

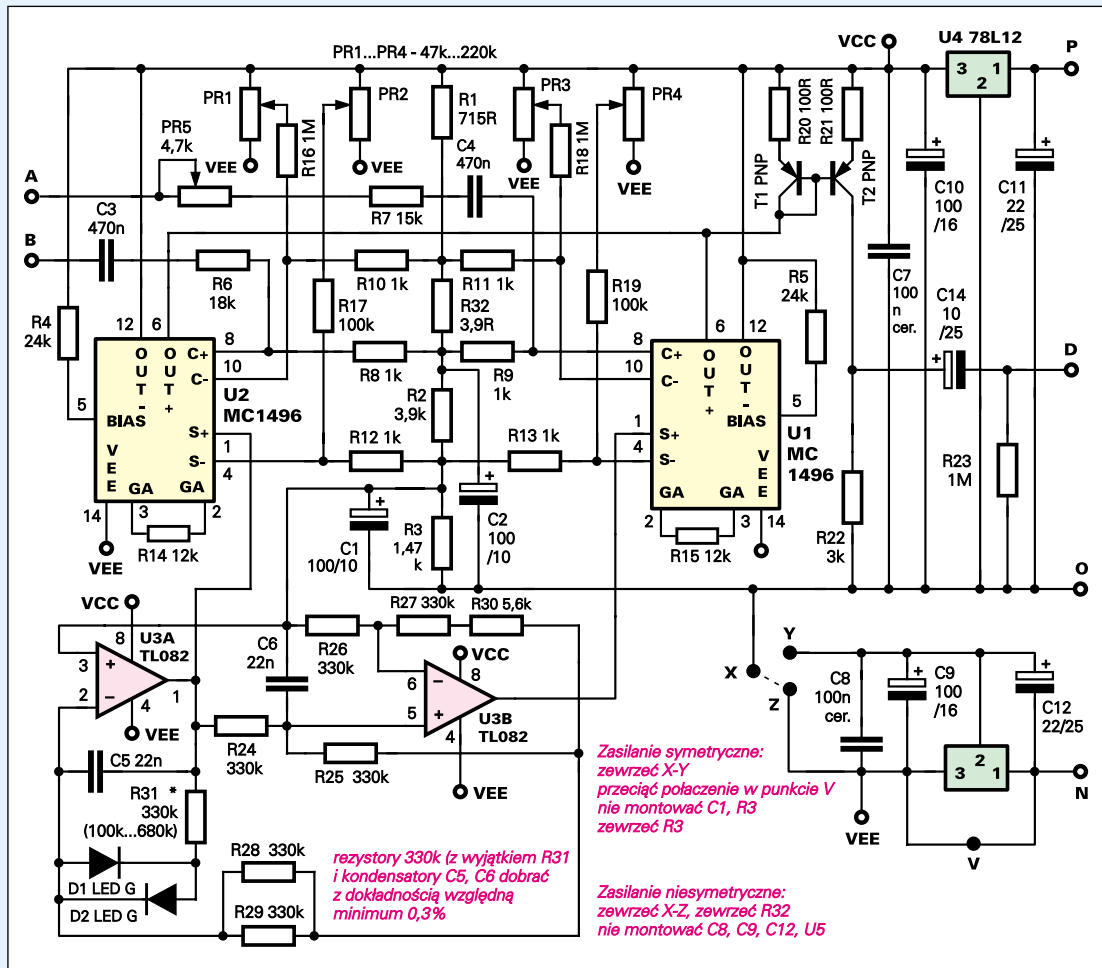
Potencjometry montażowe PR1...PR4 umożliwiają symetryzację wszystkich stopni układów mnożących. Potencjometr PR5 pozwala dodatkowo wyeliminować rozrzut wartości elementów w obu układach mnożących.

Sygnały prądowe z wyjść kostek U1, U2 (nóżki 6) są sumowane bezpośrednio „na drucie”. Obciążeniem nie jest jednak pojedynczy rezystor, tylko lustro prądowe z tranzystorami T1, T2 i rezystorami R20, R21. Dzięki obecności tego lustra, sygnał wyjściowy uzyskuje się na rezystorze R22, dołączonym jednym końcem do masy. Elementy

Rys. 11

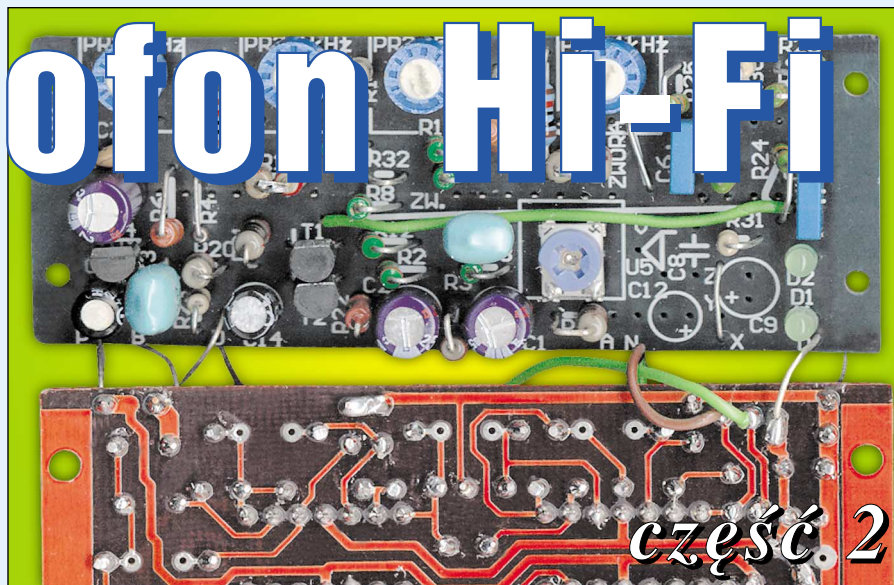
C14, R23 usuwają składową stałą i na wyjściu, w punkcie D uzyskuje się przesunięty w dziedzinie częstotliwości sygnał audio.

Ciąg dalszy za miesiąc.
Piotr Górecki





Transofon Hi-Fi



Precyzyjny szerokopasmowy przesuwnik fazy Podwójny ekonomiczny układ mnożący

Montaż i uruchomienie

Projekt oznaczono trzema gwiazdkami nie ze względu na trudności montażowe. Montaż i uruchomienie nie są zbyt trudne, niemniej potrzebne będą mierniki do dokładnego pomiaru rezystancji i pojemności. Trzy gwiazdki wskazują, że do pełnego wykorzystania modułów potrzebna jest spora wiedza i doświadczenie. Zupełnie początkujący elektronicy podczas uruchamiania generatora z modułu mnożącego mogą napotkać na niespodzianki i trudności, których nie będą w stanie pokonać.

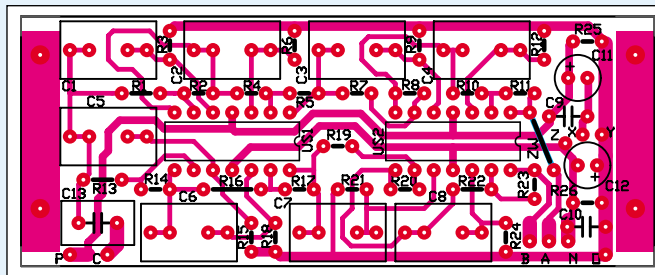
Moduł przesuwnika fazy można zmontować na płytce drukowanej pokazanej na **rysunku 12**. Zazwyczaj układ będzie zasilany pojedynczym napięciem, więc należy wykonać zworę X-Z i wlutować wszystkie podane elementy.

W dwóch modelach pokazanych na fotografiach wykorzystano precyzyjne kondensatory styroflexowe 6,81nF 0,5%. Wcześniej wykonano i sprawdzono także moduły przesuwnika fazy ze zwykłymi krajowymi kondensatorami MKSE020 6,8nF 10% dobieranymi w osemki z dokładnością lepszą niż 0,5%. W przypadku stosowania popularnych kondensatorów MKT 6,8nF warto przeprowadzić selekcję i z większej ich liczby wybrać egzemplarze o jednakowej pojemności z dokładnością względną co najmniej 1% (lepiej 0,5%). Żeby zachować pożądaną charakterystykę fazową, wszystkie kondensatory w module powinny mieć dokładnie taką samą pojemność. Bezwzględna wartość pojemności nie jest krytyczna i śmiało może wynosić 6...7,5nF - odchyłka od nominalu 6,8nF spowoduje jedynie

niewielkie przesunięcie całej charakterystyki z rysunku 9 w lewo lub w prawo.

Zastosowano rezystory 1-procentowe, a gdy zabrakło potrzebnego nominalu, złożono dwa takie rezystory, by uzyskać potrzebną rezystancję. W układzie należy w miarę możliwości stosować rezystory o tolerancji 1% lub lepszej. Dobieranie podanej wartości przez złożenie kilku rezystorów 5-procentowych nie jest zalecane ze względu na słabą stabilność cieplną wielu rezystorów 5-procentowych.

Rys. 12 Schemat montażowy



Jeśli jednak komuś nie zależy na dokładności, może zastosować zwykłe kondensatory MKT 6,8nF bez dobierania i 5-procentowe rezystory o nominalie najbliższym podanym wartościom, ale wtedy uzyskany efekt będzie trochę gorszy. Głos będzie bardziej zniekształcony, co zresztą w pewnych przypadkach może być zaletą.

Układ przesuwnika fazy zmontowany prawidłowo ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania ani regulacji. Dokładne sprawdzenie charakterystyki fazowej w wa-

runkach domowych jest trudne, wręcz niemożliwe, więc warto dokładnie sprawdzić omierzem wartości rezystorów przed wlutowaniem, a po zmontowaniu przeprowadzić dodatkową kontrolę wzrokową. Kto chce, może za pomocą dwukanałowego oscyloskopu sprawdzić przesunięcie sygnałów na wyjściach A, B.

Moduł mnożący można zmontować na jednostronnej płytce drukowanej pokazanej na **rysunku 13**. Tu też montaż nie powinien sprawić większych kłopotów. Punkty pracy układów mnożących wyznaczone są przez dzielnik rezystorów R1, R2, R3, R32. W za-

leżności od rodzaju i napięcia zasilania, rezystory te mogą mieć różne wartości. W wersji podstawowej rezystor R32 należy zastąpić zworą, R1 powinien mieć wartość 715...750Ω, R2 - 1kΩ, a R3 - 1,4...1,5kΩ.

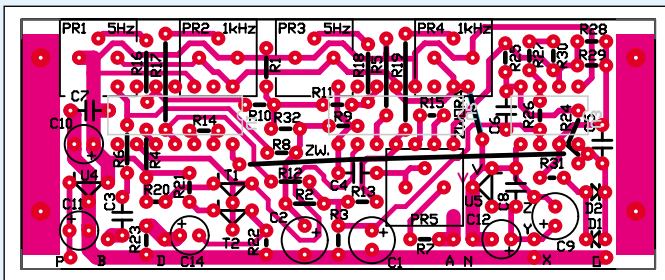
Płytki drukowane były projektowane przed siedmiu laty i mają wymiary zgodne z innymi modułami wykonanymi w tamtym czasie przez autora dla siostrzanej Elektroniki Praktycznej. Stąd marginesy na krótkich krawędziach i otwory do mocowania. Właśnie ze względu na ustalone wymiary modułów, układy scalone w układzie mnożącym są umieszczone i lutowane od strony ścieżek, co wyraźnie widać na fotografiach.

Układy scalone z oczywistych względów należy montować na samym końcu, po

wlutowaniu pozostałych elementów i po starannym sprawdzeniu poprawności montażu. Po wlutowaniu układów scalonych dostęp do znajdujących się pod nimi pól lutowniczych będzie niemożliwy.

Większość rezystorów w module może mieć tolerancję 5%, bowiem potencjometry montażowe PR1...PR5 umożliwią pełną symetryzację obwodów mnożących. Inaczej jest z układem generatora z kostką U3. W ostatecznej wersji nie przewidziano potencjometru (który występował we wcześniejszych wersjach). Aby układ poprawnie pracował, należy zastosować rezystory R24...R29 o tolerancji 1%. W miarę możliwości zaleca się dodatkową selekcję rezystorów R24...R29, by rozrzut ich rezystancji nie przekraczał 0,3%. Do tego wystarczy jakikolwiek multimetr cyfrowy. Kondensatory C5, C6 mogą być 5-procentowe typu MKT, ale w miarę możliwości należałoby je dobrać, by różnica pojemności nie była 0,3%...1% lub lepsza, do czego będzie potrzebny multimetr z możliwością pomiaru pojemności.

Rys. 13 Schemat montażowy



Z kondensatorami C5, C6 o pojemności 22nF (rysunek 11) częstotliwość generatora wynosi około 50Hz. Pierwotny układ projektowany jako układ antywzбудzeniowy przesuwał częstotliwość o około 5Hz, a wartość C5, C6 wynosiła 220nF.

Wartość C5, C6 można zmienić w szerokim zakresie, ale zawsze powinny to być kondensatory o dokładnie takiej samej pojemności, dobrane za pomocą miernika.

W większości przypadków urządzenie będzie zasilane pojedynczym napięciem. Należy więc wykonać zworę X-Z, co połączy punkty O, N. Nie montować C8, C9, C12, U5, a w miejsce R32 wlutować zworę.

W wersji podstawowej przewidziano stabilizator U4 typu 78L12, więc napięcie zasilające podawane na punkty O, P (punkty O, N są zwarte) powinno wynosić 11...18V. Stabilizowane napięcie z U4 można też wykorzystać do zasilania modułu przesuwnika fazy.

Opisany układ może przesuwać częstotliwość zarówno w górę, jak i w dół. Do zmiany służy przełącznik S1 pokazany na rysunku 14.

Do uruchomienia i regulacji potrzebny będzie oscyloskop i generator. Uruchomienie całości należy zacząć od połączenia obu modułów według rysunku 2. W wersji podsta-

wowej końcówka O przesuwnika fazy ma zostać niepodłączona.

Najpierw należy sprawdzić, czy pracuje generator kwadraturowy, mierząc oscyloskopem przebieg na jednym z wyjść kostki U2 (nóżka 1 lub 7). Jeśli rezystory R24...R29 i kondensatory C5, C6 zostały wcześniej dobrane z dużą dokładnością (0,3% lub lepiej), układ od razu będzie generował drgania o ładnym, sinusoidalnym kształcie i amplitudzie około 3...3,2Vpp.

Jeżeli elementy te nie zostały starannie dobrane, być może trzeba będzie skorygować wartość R30: jeśli generator nie pracuje, należy zwiększać wartość R30, co w końcu spowoduje wzbudzenie generatora. Jeśli generator pracuje, ale przebieg jest zbyt duży lub ma obcięte wierzchołki, należy zmniejszyć wartość R30. Do takich prób w miejsce R30 warto włączyć potencjometr montażowy 10kΩ...22kΩ. Jeżeli nawet przy zwarciu R30 przebieg ma obcięte, spłaszczone wierzchołki lub amplituda jest większa niż 3,6Vpp, należy wlutować inne egzemplarze R24...R29

Uwaga! Po dobraniu R30 i uzyskaniu ład-

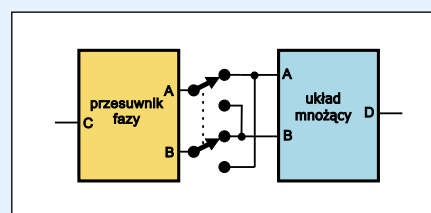
nego przebiegu sinusoidalnego, należy kilkakrotnie wyłączyć i załączyć zasilanie, a przy tym sprawdzić na oscyloskopie czy zawsze i jak szybko wystartuje generator. Przy zbyt małej wartości R30 generator może

się nie wzbudzić po włączeniu zasilania.

Następnie należy zwrócić do masy wejście modułu przesuwnika fazy (punkty C, O), dołączyć oscyloskop wyjścia modułu mnożącego (punkt D). Przy braku sygnału wejściowego należy ustawić potencjometry PR1 i PR3 tak aby przy największej czułości oscyloskopu uzyskać jak najmniejszy (najlepiej równy zero) sygnał 50Hz na wyjściu.

W następnej kolejności należy zatrzymać generator 50Hz, na przykład przez zwarcie R30, a na wejście modułu FAZA podać sygnał np. 1kHz 1Vpp i wyregulować potencjometry PR2 i PR4, PR5 na minimum sygnału 1kHz na wyjściu. Następnie należy uruchomić generator 50Hz. Na wyjściu powinien pojawić się przesunięty o 50Hz sygnał o amplitudzie jakiejś jak sygnał wejściowy 1kHz. Można to łatwo sprawdzić na oscyloskopie dwukanałowym.

Rys. 14



Wykaz elementów

Przesuwnik fazy AVT-2619/1

Rezystory

R1,R2,R4,R5,R7,R8,R10,R11,R13,R14,R16,R17,R19,R20,R22,R23	10kΩ 1% (4,3...24kΩ 1%)
R3	203kΩ 1%
R6	37,1kΩ 1%
R9	7,15kΩ 1%
R12	796Ω 1%
R15	741kΩ 1%
R18	84,5kΩ 1%
R21	16,4kΩ 1%
R24	2,94kΩ 1%
R25,R26	10kΩ...100kΩ

Kondensatory

C1-C8	6,81nF 0,5% (lub selekcjonowane MKT 6,8nF)
C9,C10	100nF ceramiczny
C11,C12	100µF/16V
C13	1µF MKS lub MKT

Półprzewodniki

U1,U2	TL084 lub TL074
-------	-----------------

Moduł mnożący AVT-2619/2

Rezystory

R1	715Ω lub 750Ω 1% (750Ω 5%)
R2,R8-R13	1kΩ
R3	1,47kΩ 1% (1,5kΩ 5%)
R4,R5	7,5kΩ
R6	18kΩ
R7	15kΩ
R14,R15	2,4kΩ
R16,R18,R23	1MΩ
R17,R19	100kΩ
R20,R21	100Ω
R22	3kΩ
R24-R29,R31	332kΩ 1% patrz tekst
R30	5,6kΩ
R32	zwora
PR1-PR4	22...100kΩ miniatury
PR5	4,7kΩ (4,7...10kΩ) miniatury

Kondensatory

C1,C2,C10	100µF/16V
C3,C4	470nF
C5,C6	MKT 22nF dobrane z dokładnością względną 0,3%
C7	100nF ceramiczny
C11	22µF/16V
C14	10µF/25V

Półprzewodniki

D1,D2	LED G 3mm
T1,T2	BC558
U1,U2	MC1496
U3	TL082
U4	78L12 (78L09...78L15)
C8,C9,C12,U5	nie montować

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny:
Przesuwnik fazy - AVT-2619/1
Moduł mnożący - AVT-2619/2

Za pomocą PR5 należy zminimalizować modulację o częstotliwości 50Hz. Ze względu na kilka czynników sygnał wyjściowy nawet po starannej regulacji zmienia nieco swoją amplitudę - „waha się” z częstotliwością generatora. Jest to normalne, nie jest zauważalne na słuch podczas normalnej pracy układu.

Zakres amplitud sygnału wejściowego sięga około 2Vpp, a wzmocnienie wynosi około 1. W razie potrzeby wzmocnienie można zmieniać w przez zmianę wartości R22 (0,47...3,9kΩ). Aby uzyskać optymalne parametry, sygnał wejściowy audio powinien mieć amplitudę około 1Vpp. Oznacza to, że na punkt C przesuwnika fazy powinien być podany sygnał z wyjścia przedwzmacniacza albo z odtwarzacza, a nie mały sygnał wprost z mikrofonu

Możliwości zmian

Podane wartości elementów dobrane są do zasilania pojedynczym napięciem ze stabilizatora 9-woltowego U4. Przy innym napięciu zasilania oraz przy zasilaniu napięciem symetrycznym można we własnym zakresie zmienić wartości elementów, głównie R1, R2, R3 oraz R30, R31, D1, D2 i pracować z większymi sygnałami audio. Wymaga to

jednak sporego doświadczenia. Trzeba też starannie przeanalizować kartę katalogową układu MC1496.

Jeśli ktoś chce, może dodać na wyjściu urządzenia filtr obcinający resztki częstotliwości 50Hz, ale ich poziom jest na tyle mały, że nie jest to konieczne.

W literaturze elektronicznej przed laty pojawiła się koncepcja walki ze sprzężeniem akustycznym w systemach nagłośnieniowych przez przesuwanie całego widma akustycznego o kilka herców. Opisywany układ został opracowany przez autora w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych i jego przeznaczeniem było właśnie zmniejszenie ryzyka samowzbudzenia w modułowym systemie nagłośnieniowym, opisywanym w tamtych latach w *Elektronice Praktycznej*. W tamtym systemie zastosowano również kompresory-limitery z układami NE572, umieszczone we wszystkich torach wzmacniających i limitery te mają znaczny wpływ na efekt końcowy.

Przy nadmiernym wzmocnieniu toru układ się oczywiście wzbudzi, ale dzięki zastosowaniu limiterów i układu antywzbudzeniowego powstający dźwięk nie jest ciągłym gwizdem pracującego z pełną mocą wzmacniacza, tylko modulowanym „falującym” sygnałem

o zmiennej częstotliwości i stosunkowo niskiej głośności. Jest to istotną zaletą zastosowanego rozwiązania, dotyczy jednak sytuacji po powstaniu samowzbudzenia. Próby przeprowadzone z kilkunastoma wykonanymi egzemplarzami opisywanego układu przesuwającymi częstotliwość o 5Hz wykazały, że uzyskany efekt zapobiegania wzbudzeniom jest mniejszy od oczekiwań wynikających z entuzjastycznych opisów tego typu urządzeń spotykanych w ówczesnej literaturze, przy czym koszt i trudność wykonania precyzyjnej wersji przesuwnika częstotliwości jest znaczny. Choć zrezygnowano z tej metody walki ze wzbudzeniem systemu nagłośnienia, zainteresowani tematem na pewno zechcą przeprowadzić stosowne próby i przekonać się osobiście, co daje, a czego nie zapewnia przesuwanie częstotliwości o kilka herców.

Opisane moduły znajdują też inne zastosowanie, czy to jako wysokiej jakości transfon przeznaczony do deformacji głosu, czy też jako część innych urządzeń, na przykład transceiverów SSB. Między innymi z tego względu oba moduły dostępne są jako odrębne kity AVT.

Piotr Górecki