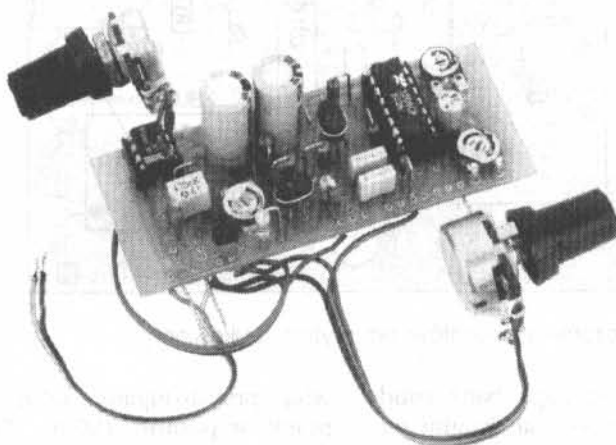


Generator przestrajany napięciem - wobulator

część 1

kit AVT-184

Proponujemy wykonanie modułu generatora przestrajanego napięciem z wykorzystaniem popularnego układu scalonego XR2206. Ten niemłody już układ oferuje szerokie możliwości i wciąż jest atrakcyjny dla konstruktorów. Przedstawiany dziś moduł zaprojektowany jest maksymalnie uniwersalnie i stanowić może „serce” mniej lub bardziej skomplikowanych przyrządów. W najprostszej wersji, uzupełniony o zasilacz, przełączniki, potencjometry i ewentualnie bufor wyjściowy, będzie znakomitym generatorem funkcji. W wersji bogatszej, wyposażony w rozbudowane obwody sterowania, stanie się wobulatorem z możliwością sterowania przez komputer lub mikroprocesor.



Postawionym na początku celem było wykonanie uniwersalnego modułu generatora, który miałby możliwość wobulacji. Chodziło o opracowanie modułu, który stanie się głównym blokiem wobulatora m. cz.

Dlaczego wobulatora? W praktyce elektronicznej bardzo często zachodzi potrzeba zmierzenia charakterystyki częstotliwościowej wykonywanego układu, np. filtru czy całego wzmacniacza. Wykonanie takich pomiarów „na piechotę” jest możliwe, ale często niezmiernie uciążliwe, szczególnie gdy zachodzi konieczność wprowadzenia zmian w przebiegu takich charakterystyk. Z tych względów opisany moduł będzie łakomym kąskiem dla większości „praktykujących” elektroników.

Opis układu scalonego

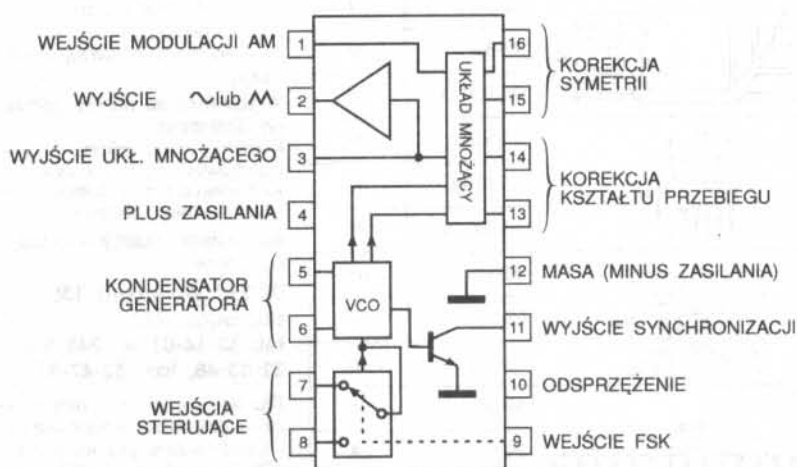
Podstawą konstrukcji jest znany od lat układ firmy Exar XR2206. Jest to generator funkcji pozwalający uzyskać przebiegi: prostokątny oraz sinusoidalny albo trójkątny w zakresie częstotliwości od ułamków herca do kilkuset kHz. Najważniejszą z naszego punktu widzenia zaletą jest możliwość zmiany częstotliwości za pomocą napięcia lub prądu i to w olbrzymim zakresie 1:2000. Umożliwia to zmianę częstotliwości w granicach całego pasma akustycznego na jednym zakresie generatora.

Nie mniej pożyteczną cechą jest możliwość sterowania wielkością amplitudy przebiegu wyjściowego za pomocą napięcia stałego.

Obie te cechy predestynują moduł do wykorzystania w automatycznych systemach pomiarowych sterowanych komputerem.

Układ wyprowadzeń i główne bloki wewnętrzne układu XR2206 pokazano na rysunku 1.

Wyprowadzenie 1 jest wejściem modulacji amplitudy. Zauważmy, iż nóżka 2 jest wyjściem generatora i występuje na niej tylko jeden z przebiegów generowanych: trójkątny albo sinusoidalny; nie ma więc sposobu na uzyskanie obu tych przebiegów jednocześnie (nie jest to zresztą potrzebne). Wartość rezystora dołączonego do końcówki 3 decyduje o wielkości amplitudy wyjściowej na nóżce 2 (tak więc amplituda wyjściowa zależy od



Rys. 1. Układ wyprowadzeń i główne bloki XR2206

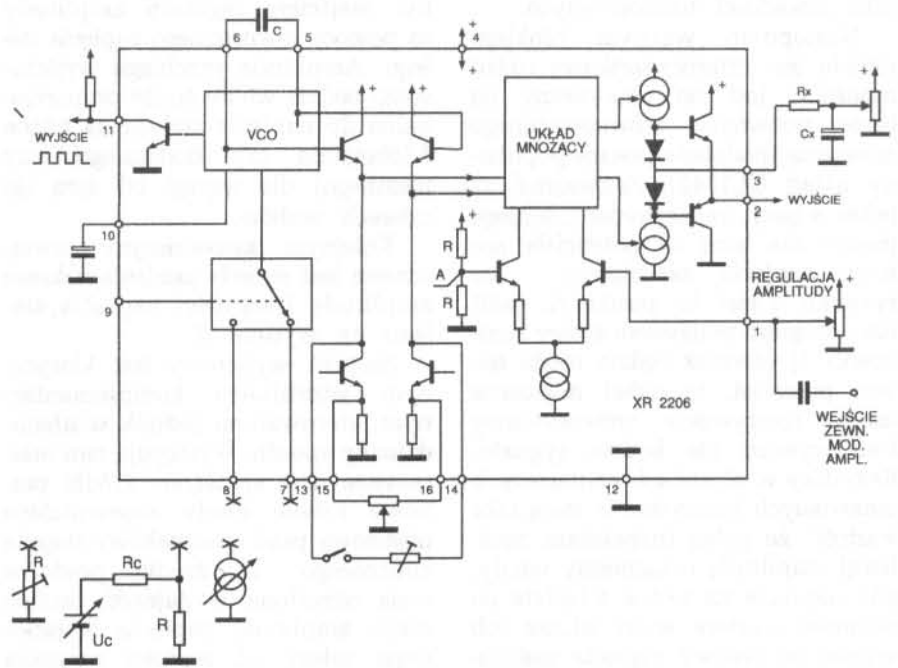
dwóch czynników). Do końcówek 5 i 6 dołącza się kondensator C określający zakres generowanych częstotliwości. Wyprowadzenia 7 i 8 to wejścia sterujące. Zależnie od stanu logicznego na nóżce 9 aktywne jest tylko jedno z wejść - 7 lub 8. Wartość prądu płynącego między wejściem sterującym (n. 7 lub 8) a masą decyduje o szybkości ładowania/rozładowania kondensatora C, czyli o częstotliwości wyjściowej. Do nóżki 10 zawsze dołącza się kondensator odsprężający zasilanie wewnętrznych bloków układu scalonego. Wyprowadzenie 10 jest wyjściem przebiegu prostokątnego typu otwarty kolektor. Po dołączeniu rezystora między to wyjście a (+) zasilania międzyszczytowa wartość napięcia przebiegu prostokątnego jest równa napięciu zasilania.

Ciekawą funkcję pełnią nóżki 13 i 14. Jeśli nie są one między sobą połączone, to na końcówce wyjściowej 2 występuje przebieg trójkątny. Jeśli między te końcówki dołączymy rezystor o wartości około 200...300Ω, to na wyjściu 2 otrzymamy przebieg sinusoidalny. Wartość tego rezystora decyduje o współczynniku zniekształceń nieliniowych i w praktycznych układach stosuje się tu zwykle potencjometr montażowy 470Ω. Końcówki 15 i 16 są wykorzystywane do uzyskania symetrii przebiegu wyjściowego; dołącza się do nich potencjometr montażowy o wartości 22kΩ.

Dla pełnego zrozumienia funkcjonowania tej interesującej kostki przyjrzyjmy się **rysunkowi 2** przedstawiającemu w dużym uproszczeniu węzłowe obwody układu wewnętrznego kostki XR2206.

Układ generatora z rysunku 2 jest zasilany pojedynczym napięciem 10...26V.

Głównym blokiem jest generator sterowany prądem CCO (Current Controlled Oscillator; co ciekawe, w katalogu producenta używa się powszechnie znanej, a nieprecyzyjnej w tym wypadku nazwy VCO - Voltage Controlled Oscillator - dlatego i my pozostaliśmy przy VCO). Sposób działania VCO nie ma tu większego znaczenia - istotne jest, że użytkownik ma do wyboru dwa niezależne wejścia sterujące częstotliwością generatora (n. 7 i 8). Oba te wejścia są punktami o małej



Rys. 2. Uproszczony schemat wewnętrzny układu XR2206

impedancji i występuje na nich napięcie około +3V względem końcówki 12. Jak wspomnieliśmy, jest to generator sterowany prądem i o częstotliwości decyduje prąd aktualnie czynnej końcówki sterującej. Najprostszym sposobem regulacji tego prądu jest zastosowanie zmiennego rezystora włączonego między końcówkę 7 (lub 8) a ujemne napięcie zasilania - **rys. 2a**. Częstotliwość wyjściowa wyniesie wtedy po prostu:

$$f = 1 / RC$$

Gdybyśmy zastosowali układ do napięciowej regulacji częstotliwości według **rys. 2b**, to częstotliwość będzie równa:

$$f = 1 / RC [1 + Rc/R (1 - Uc/3)]$$

gdzie Uc - napięcie sterujące w V.

Inną możliwością jest zastosowanie źródła prądowego wg **rys. 2c**. Wtedy:

$$f = 320 * I / C$$

gdzie $[I] = mA$, $[C] = \mu F$, $[f] = Hz$. Zalecany zakres prądów wynosi 1μA...3mA.

W każdym przypadku największy prąd końcówek 7 i 8 nie powinien przekroczyć 6mA z uwagi na niebezpieczeństwo uszkodzenia układu.

Końcówka 9 umożliwia wybór aktualnie czynnego wejścia i oznaczana jest FSK INPUT. Rzeczywiście, kostka idealnie nadaje się do budowy nadajnika FSK, ponieważ za

pomocą dwóch rezystorów można ustawić wymagane częstotliwość pracy, a przy kluczowaniu (przełączaniu) sygnałem logicznym częstotliwość będzie się zmieniać bez skoku fazy. Należy zawsze pamiętać, że wejście przełączające (nóżka 9) ma poziomy przełączania zgodne z poziomami TTL, ale odniesionymi do minusa zasilania, czyli nóżki 12 (pozostawienie n. 9 "w powietrzu" traktowane jest jako stan wysoki i czynne jest wejście sterujące VCO dołączone do nóżki 7). Ma to znaczenie przy zasilaniu symetrycznym, bowiem wtedy, aby przejść z poziomu masy do poziomowi minusa zasilania, należy zastosować układ translacji poziomów.

Rysunek 2 pomaga też zrozumieć nieco dziwny, a przecież prosty sposób wyboru kształtu przebiegu na wyjściu 2. Bez rezystora R_a układ generuje przebieg trójkątny. Dołączenie R_a obciąża w pewien sposób generator i powoduje po prostu spłaszczenie obu wierzchołków „trójkąta”. Czym mniejsza rezystancja R_a , tym większe spłaszczenie; dla pewnej wartości R_a przebieg wyjściowy jest bardzo zbliżony do sinusoidy i można osiągnąć współczynnik zawartości harmonicznych w granicach 0,5...1%.

Potencjometr PR1 służy do uzyskania dokładnej symetrii przebiegu i też jest niezbędny do uzyskania podanego niewielkiego współczyn-

nika zawartości harmonicznych.

Następnym ważnym blokiem układu jest czteroćwiartkowy układ mnożący. Jest on zbudowany na bazie podwójnie zrównoważonego mieszacza (podobnie pracuje popularny układ UL1042). Zauważmy, iż jeden z pary tranzystorów „dolnego piętra” ma bazę na potencjale połowy napięcia zasilającego - na rysunku 2 jest to punkt A. Jeśli baza drugiego tranzystora z pary (końcówka 1) również będzie miała ten sam potencjał, to układ mieszacza będzie rzeczywiście zrównoważony i na wyjściu nie będzie sygnału. Rezystory w obwodach emiterowych omawianych tranzystorów mają taką wartość, że pełną (największą możliwą) amplitudę osiągniemy wtedy, gdy napięcie na nóżce 1 będzie co najmniej o cztery wolty niższe lub wyższe od połowy napięcia zasilającego.

Ma to duże znaczenie praktyczne. Po pierwsze, zarówno zwiększanie, jak i zmniejszanie napięcia na nóżce 1 w stosunku do $U_z/2$ daje taki sam efekt liniowego zwiększania amplitudy przebiegu na wyjściu, zmienia się tylko jego faza. Otrzymujemy układ, który w zależności od poziomu napięcia stałego na nóżce 1 może być zarówno zwykłym modulatorem AM, jak i modulatorem zrównoważonym tłumiącym częstotliwość nośną (generowaną w układzie), a wytwarzającym tylko wstęgi boczne. Niestety, maksymalna częstotliwość nośna generowana przez VCO wynosi około 1MHz.

Po drugie, jeśli zasilamy układ napięciem bipolarnym dokładnie symetrycznym, to nóżka 1 może

być wejściem regulacji amplitudy za pomocą zewnętrznego napięcia stałego. Amplituda przebiegu wyjściowego będzie wtedy ściśle proporcjonalna do napięcia stałego na nóżce 1 (obojętnie czy dodatniego, czy ujemnego) dla napięć od zera do czterech woltów.

Kolejnym interesującym rozwiązaniem jest sposób ustalania zakresu amplitudy i wartości napięcia stałego na wyjściu 2.

Stopień wyjściowy jest klasycznym wtórnikiem komplementarnym, sterowanym jednak w niecodzienny sposób. Występują tam mianowicie dwa sprężone źródła prądowe i dwie diody zapewniające niezerowy prąd spoczynkowy stopnia końcowego. Te źródła prądowe mają określoną wydajność, wobec czego amplituda napięcia wyjściowego zależy od wartości rezystora R_x , który przecież jest (rozpatrując działanie układu dla prądów zmiennych) obciążeniem dla tych źródeł. Wartość kondensatora C_x powinna być taka, aby dla najmniejszej częstotliwości pracy impedancja kondensatora była zdecydowanie mniejsza od rezystancji R_x .

O maksymalnej amplitudzie wyjściowej decyduje wartość R_x . Dla przebiegu trójkątnego będzie to amplituda około 160mV/k Ω , dla sinusa około 60mV/k Ω .

Na przykład stosując R_x o wartości 47k Ω uzyskamy przebieg sinusoidalny o wartości międzyszczytowej ok. 5V.

Dzięki zastosowaniu źródeł prądowych, a nie napięciowych, możliwe stało się też proste regulowanie wartości napięcia stałego na wy-

jściu 2 (DC OFFSET) - będzie to napięcie stałe o praktycznie takiej samej wartości, jak w punkcie B.

Typowy schemat aplikacyjny układu XR2206 jest pokazany na **rysunku 3**. Przy zasilaniu napięciem symetrycznym rezystor R_3 należy dołączyć wprost do masy. Przy zamkniętym przełączniku S_1 układ generuje falę sinusoidalną, przy otwartym - trójkątną. Elementy R_a i PR_1 pozwalają uzyskać minimum zniekształceń nieliniowych przebiegu sinusoidalnego.

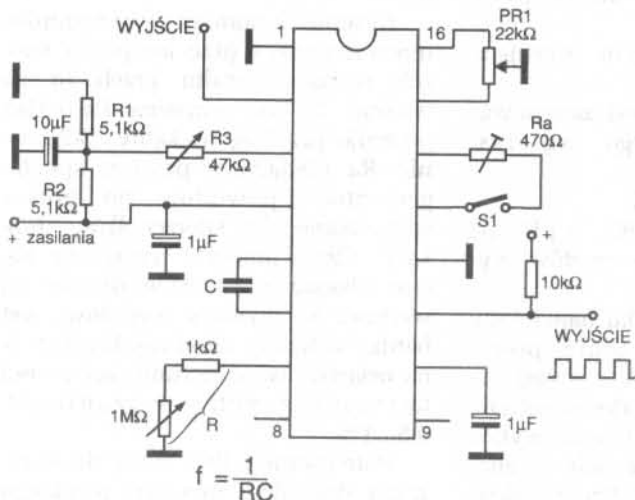
Rysunek 4 przedstawia kolejny przykład zastosowania. Na wyjściu 2 otrzymujemy przebieg piłokształtny, gdzie nachylenie obydwu zbroczy można niezależnie regulować doborem rezystorów R_1 i R_2 . Na nóżkach 9 i 11 dostępny jest przebieg prostokątny o odpowiednim do wartości R_1 i R_2 współczynniku wypełnienia.

Opis modułu generatora

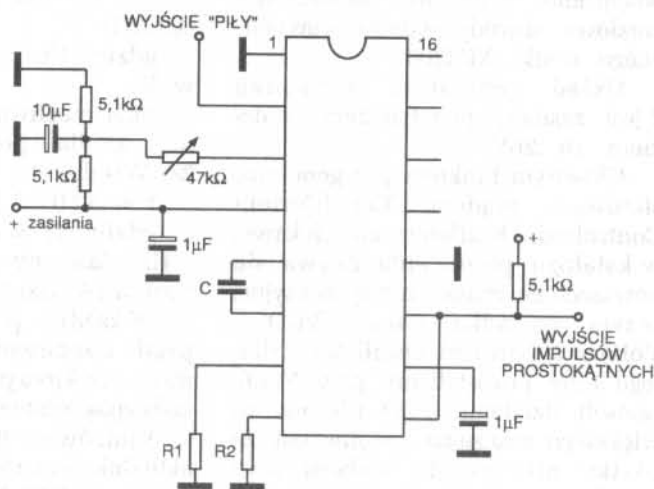
Schemat elektryczny modułu jest pokazany na **rysunku 5**. Układ musi być zasilany napięciem symetrycznym $\pm 5... \pm 12V$. W wersji podstawowej, przewidzianej do wobulatora, wykorzystuje się tylko przebieg sinusoidalny, niemniej jednak jest możliwe przełączanie trójkąt/sinus - należy wtedy wykorzystać punkty R, S i przeciąć zwierającą je ścieżkę.

Dwa punkty związane z nóżką 1 (H i J) mogą być wykorzystane zarówno do regulacji amplitudy za pomocą napięcia stałego, jak i do modulacji AM zewnętrznym przebiegiem zmiennym.

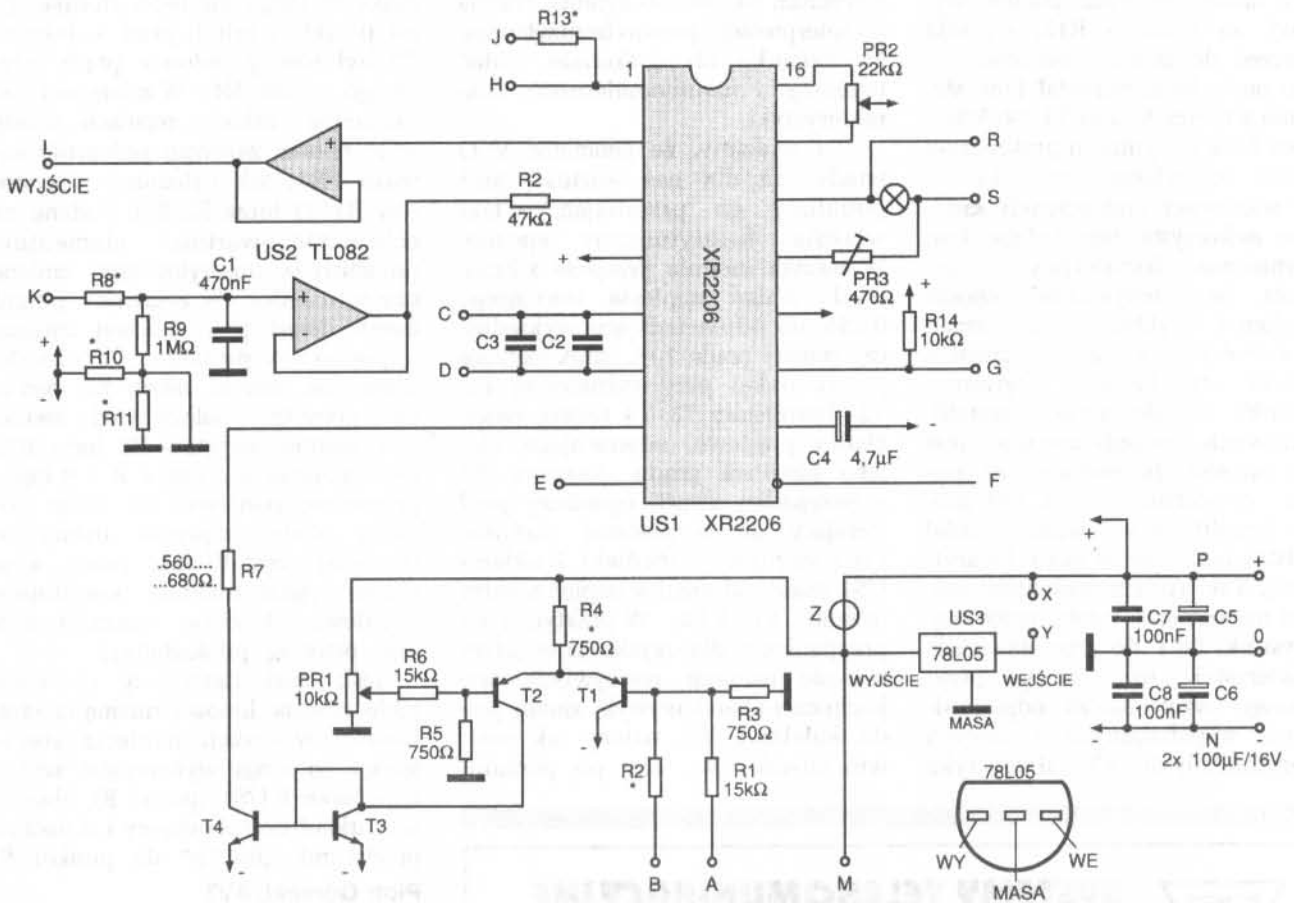
Wzmacniacz operacyjny US2b jest buforem wyjściowym, uniemożli-



Rys. 3. Podstawowa aplikacja układu XR2206



Rys. 4. Układ generatora napięcia piłokształtnego i prostokątnego o zmiennym wypełnieniu



Rys. 5. Schemat elektryczny modułu

wiąjącym uszkodzenie kostki generatora przez niekontrolowane zwarcia punktu L do masy lub napięć zasilających.

Rezystor R12 decyduje o wartości maksymalnej amplitudy wyjściowej. US1a pełni funkcję bufora (zamiast Cx z rys.2). Wejście K umożliwia regulację napięcia stałego na wyjściu - sygnał zmienny występuje wtedy na tle określonego napięcia stałego. W związku z możliwością wystąpienia napięć niezrównoważenia (zarówno wzmacniacza operacyjnego, jak i generatora) przewidziano miejsce na rezystory R11 (normalnie zwarty odcinkiem ścieżki) i R10 (można go bez kłopotu dołączyć zarówno do plusa jak i minusa zasilania).

W prostszych zastosowaniach R12 może być potencjometrem 47kΩ włączonym między nóżkę 3 i masę. Nie wykorzystamy wtedy US1a; punkt H należy wówczas zewrzeć do minusa zasilania.

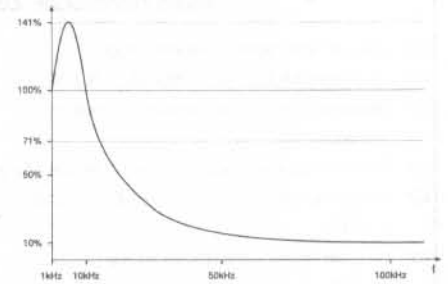
Na płytce przewidziano miejsce na dwa kondensatory C2 i C3. Umożliwi to dobranie wypadkowej pojemności, jeśli układ miałby być

jednozakresowym generatorem 20Hz...20kHz. Przy większej liczbie zakresów należy pozostałe kondensatory dołączać z zewnątrz do punktów C i D przełącznikiem.

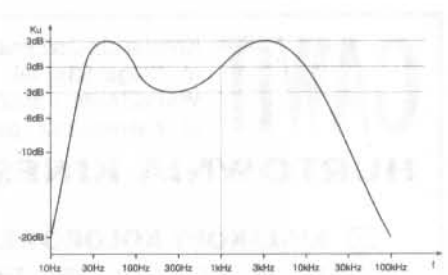
Na pomocniczym wyjściu G występuje przebieg prostokątny - może on być użyty do sterowania np. współpracującego miernika częstotliwości.

Punkty E i F umożliwiają w razie potrzeby dostęp do normalnie niewykorzystanych wejść sterujących.

Przewidziano też miejsce na dodatkowy stabilizator US3 (78L05) - może on zostać wykorzystany w niektórych prostszych zastosowaniach modułu. Połączenia jego elektrod, pokazane na rysunku 5, wyglądają cokolwiek dziwnie. Wszystko z tego powodu, że przy stosowaniu dobrze stabilizowanego zasilacza nie będzie on potrzebny, natomiast przy korzystaniu ze słabo stabilizowanych źródeł zasilania, np. z dwóch baterii 9V, należy go wlotować - będzie on stabilizować napięcie dla obwodów sterowania. Trzeba wówczas przeciąć ścieżkę plusa zasilania w miejscu oznaczonym na płytce



Rys. 6a. Przykładowa charakterystyka w skali liniowej



6b. Przykładowa charakterystyka w skali logarytmicznej

literą Z oraz zamontować zworę między punktami X, Y - dopiero wtedy US3 będzie mógł normalnie pracować. Przy zasilaniu z baterii

należy raczej regulować poziom wyjściowy za pomocą R12, a punkt H zewrzeć do minusa zasilania.

Do omówienia pozostał blok sterowania z tranzystorami T1-T4. Właśnie ten blok decyduje o praktycznej wartości omawianego modułu.

W większości praktycznych zastosowań najkorzystniejsza byłaby tzw. logarytmiczna charakterystyka przestrajania (w rzeczywistości chodzi o uzyskanie wykładniczych zmian częstotliwości przy liniowej zmianie napięcia sterującego). Ogromna większość charakterystyk częstotliwościowych przedstawiana jest w ten sposób, że zarówno oś pozioma - częstotliwości, jak i oś pionowa (amplituda lub wzmocnienie) przedstawiana jest w skali logarytmicznej. Taki sposób prezentacji graficznej ma ogromne zalety: porównajmy **rysunki 6a i 6b** przedstawiające charakterystykę tego samego przykładowego wzmacniacza odpowiednio we współrzędnych liniowych i logarytmicznych. Charakterystyka

z rysunku 6a jest nieczytelna, trudna do interpretacji, prawie bezużyteczna. Na rysunku 6b doskonale widać przebieg i nierównomierność charakterystyki.

Tu widzimy, że generator VCO wtedy ma dla nas wartość, jeśli potrafimy go przestrajac w taki właśnie, logarytmiczny sposób. W naszym module przejście z liniowych zmian napięcia sterującego 0...5V na odpowiadające wykładnicze zmiany prądu 1μA...2mA realizuje prosty układ pary różnicowej T1, T2. Tranzystory T3, T4 tworzą zwierciadło prądowe, odwracające niejako kierunek prądu. Rezystor R7 w przypadku awarii ograniczy prąd sterujący do bezpiecznej wartości. Prąd sterujący końcówki 7 układu US1 zależy od różnicy napięć między bazami T1 i T2. W praktycznych przypadkach, dla uzyskania w całym zakresie regulacji rzeczywiście wykładniczej charakterystyki zmian prądu kolektora T2, należy tak ustawić suwak PR1, aby po podaniu

maksymalnego napięcia sterującego na punkt A lub B prąd kolektora T2 był równy połowie prądu płynącego przez R4. W zależności od założonego zakresu regulacji należy więc dobrać zarówno położenie suwaka PR1, jak i stosunek rezystorów R1/R3 (oraz R2/R3). Podane na schemacie wartości elementów umożliwiają „logarytmiczną” zmianę częstotliwości w zakresie ponad trzech dekad przy liniowej zmianie napięcia w punkcie A 0...+5V. Często tak szeroki zakres nie będzie nam potrzebny; należy wtedy zwiększyć wartość rezystora R1 (oraz R2). Oba wejścia sterujące A i B będą potrzebne, ponieważ na jedno podamy stałe napięcie ustalające (średnią) częstotliwość pracy, a na drugie sygnał zmienny powodujący chwilową dewiację częstotliwości (np. przebieg piłokształtny).

Jeśli nasi Czytelnicy chcieliby także uzyskać liniową zmianę częstotliwości w funkcji napięcia sterującego, to mogą wykorzystać wolną końcówkę 8 US1 (punkt E), zbudować układ dopasowujący i dołączyć przełącznik „lin/log” do punktu F.

Piotr Górecki, AVT

Ciąg dalszy w EP 8/94