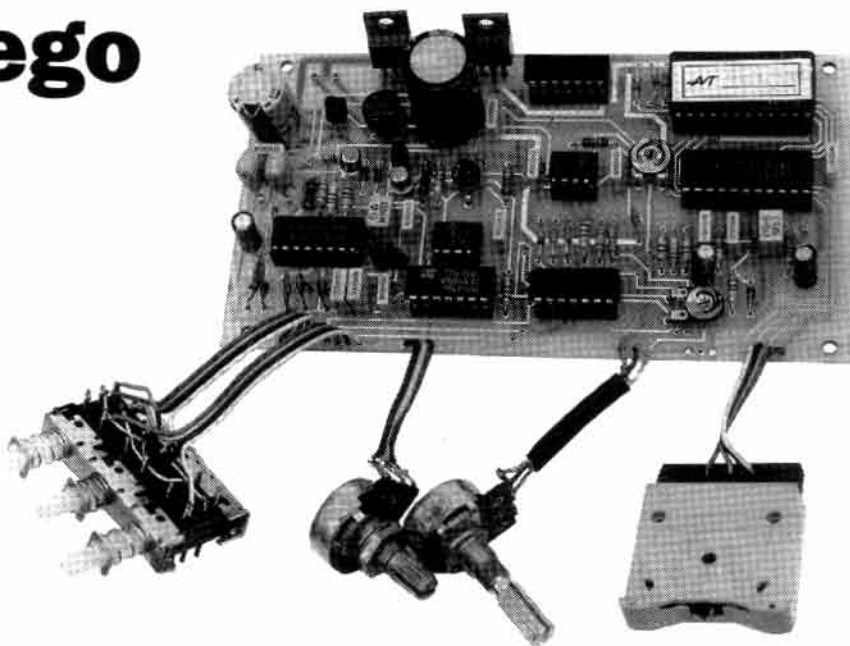


# Generator funkcyjny i wobulator dla zakresu akustycznego

## kit AVT-221

*Geneza pomysłu przedstawionego układu jest dobrą ilustracją popularnego przysłowia, że „szewc bez butów chodzi”. Kiedy podczas pracy nad jakimś układem akustycznym znów stwierdziłem, że nie mam pod ręką żadnego generatora doszedłem do wniosku, że czas coś z tym zrobić. Oczywiście, najlepiej samemu zbudować taki przyrząd.*



Generator nie musi mieć wyśrubowanych parametrów, sygnał powinien jednak pokrywać zakres akustyczny, a napięcie wyjściowe musi mieć stabilną, regulowaną amplitudę. Zastanawiając się nad rozwiązaniem problemu brałem pod uwagę możliwość zastosowania tranzystorów lub wzmacniacza operacyjnego w klasycznych układach generatorów. A gdyby projektowany generator mógł być uniwersalny i miał możliwość generowania sygnałów o różnych kształtach?

Rozwiązania oparte na scalonych generatorach funkcyjnych są niestety dość drogie, doszedłem zatem do wniosku, że wszystkie potrzebne funkcje można uzyskać posługując się przetwornikiem cyfrowo-analogowym. Jeśli bowiem do układu przetwornika będą sekwencyjnie wpisywane wyliczone uprzednio chwilowe wartości napięcia, to na jego wyjściu otrzymamy sygnał analogowy o żądanym kształcie. Na **rysunku 1** jest przedstawiony schemat będący

efektem przyjętych założeń i eksperymentów.

Element wykonawczy to przetwornik C/A oznaczony symbolem NE5018. Jest to przetwornik 8-bitowy, co oznacza, że na wyjściu analogowym  $V_{out}$  może pojawić się napięcie o 256 różnych poziomach. Informacja o tym, jaka wartość napięcia ma się pojawić na wyjściu, wpisywana jest do przetwornika za pośrednictwem portu wejściowego oznaczonego jako DB0...DB7. Dana cyfrowa zostaje zapamiętana w rejestrze i wykorzystana przez przetwornik w momencie gdy na wejściu sterującym LE pojawi się opadające zbocze impulsu wpisyującego.

Dane o wytwarzanym sygnale przetwornik pobiera z pamięci EP-ROM, w której zapisane są wzorce wszystkich generowanych przebiegów. Ponieważ sygnał sinusoidalny to ciąg powtarzających się okresowo przebiegów, więc w EP-ROM-ie wystarczy zapamiętać parametry jednego okresu generowanego sygnału. Na jeden okres

przypada 256 kroków i zmian napięcia tworzących generowany sygnał.

Zegarem taktującym jest układ U3A. Jest to sterowany napięciowo układ generatora (VCO), wytwarzający na wyjściu Y sygnał prostokątny. Częstotliwość sygnału zależy od pojemności dołączonej do wejść Cx oraz od poziomu napięcia sterującego podanego na wejście FC. Sterowanie napięciowe układu oznaczonego jako LS629 (lub LS124 w starszej wersji) różni go od generatorów zbudowanych z układów cyfrowych typu LS121 lub LS123, w których częstotliwość reguluje się przez zmianę zewnętrznie dołączanej oporności.

Układ LS629 posiada jeszcze dwa dodatkowe wejścia: EN do blokowania generatora i RNG do zmiany zakresu, które jednak nie są wykorzystane.

Impulsy z wyjścia U3A podawane są na asynchroniczny licznik binarny U4, na którego wyjściach sekwencyjnie pojawia się

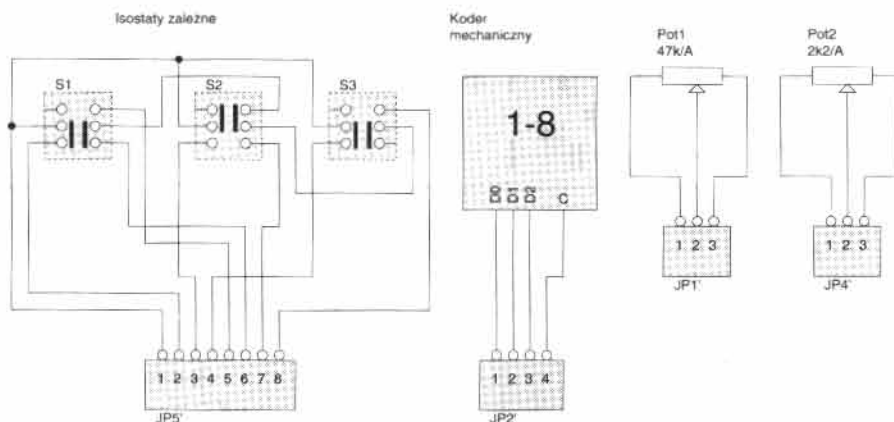


dane o adresach 256...511 itd. Tak więc wybór generowanego sygnału zależy od adresu podanego na gniazdo JP2.

Jak już wcześniej zostało powiedziane, dane zostają przekazane do układu przetwornika U2. Jest on zasilany dwoma napięciami +12V i -12V. Potencjometr PR1 pozwala precyzyjnie ustawić symetrię sygnału względem napięcia odniesienia 0V. Napięcia wyjściowe przetwornika mieszczą się w zakresie -5V do +5V. Można także uzyskać sygnał wyjściowy z zakresu 0V...10V, ale wymaga to odcięcia wyprowadzenia 15 od reszty układu. Wyjście przetwornika powinno być obciążone opornością nie mniejszą niż 2kΩ. W prezentowanym układzie obciążeniem jest potencjometr płynnego ustawiania amplitudy sygnału wyjściowego. Sygnał z suwaka Pot2 podawany jest na wejście U5B, a z jego wyjścia na wyjście bezpośrednie generatora JP3-2. Układ U5B pełni rolę wtórnika separującego.

Częstotliwość sygnału wyjściowego generatora jest proporcjonalna do częstotliwości zegara taktującego ustawianej potencjometrem Pot1. Gdy różnie częstotliwość zegara, różnie także częstotliwość sygnału wyjściowego, tyle tylko, że jest ona zawsze 256 razy niższa.

Ponieważ przebiegi wytwarzane są przy pomocy przetwornika C/A, sygnał wyjściowy posiada wszystkie cechy charakterystyczne dla kwantyzacji cyfrowej: stabilną amplitudę, niezmienną liniowość ale też i miniaturowe schodki nałożone na sygnał wyjściowy, będące śladem 256 kolejnych kroków składających się na sygnał wyjściowy. Zazwyczaj ich obecność nie stanowi wielkiego problemu, jednak niekiedy wygodniej mieć sygnał oczyszczony z pozostałości po obróbce cyfrowej. Do tego celu służy układ kluczy analogowych U6. Zastosowano najprostszymi wariant filtracji z układem RC. Kondensatorem filtrującym jest C16, a włączane kolejno klucze układu U6 bocznikują rezystor R10 zmieniając stałą czasową filtru w zależności od zakresu częstotliwości. Ponieważ w ramach jednego podzakresu częstotliwość wyjściowa generatora



Rys. 2. Sposób połączenia zespołu Isostatów, potencjometrów i mechanicznego kodera 1-8.

zmienia się ok. dziesięciokrotnie, dobrane stałe czasowe filtru są kompromisem między skutecznością filtracji sygnału wyjściowego a jego tłumieniem przy skrajnych położeniach potencjometru regulacji częstotliwości. Odfiltrowany sygnał poprzez wtórnika U5A podany jest na wyjście JP3-1.

Łatwość sterowania zegara taktującego przy pomocy napięcia sprawiła, że na bazie generatora funkcyjnego w prosty sposób można skonstruować wobulator m.c.z. Wystarczy tylko na wejście sterujące FC U3A zamiast napięcia sterującego z Pot1 podać liniowo narastający przebieg piłowy o małej częstotliwości, żeby w ramach jednego podzakresu częstotliwości uzyskać jego przemiatanie. Do formowania tego przebiegu służą układy U3B, U7, U8. Układ U3B to druga, niezależna struktura generatora VCO. Z wyjścia Y impulsy podawane są na część dekady LS90 dzielącą przez 5. Na wyjściu QD otrzymujemy niesymetryczny przebieg prostokątny, w którym część dodatnia impulsu jest pięciokrotnie krótsza od części ujemnej. Układ U8 działa jak integrator formujący liniowo rosnące napięcie, które po osiągnięciu poziomu +5V zostaje zerowane dodatnim impulsem kasującym z U7. Wytworzony w ten sposób przebieg piłowy po przesunięciu składowej stałej na diodach D1, D2 do poziomu ok. 0,1V, poprzez wtórnika U8A i przełącznik wyboru trybu pracy generatora SW1 steruje częstotliwością zegara U3A i w efekcie wobulacją sygnału na wyjściu JP3 w ramach wybranego podzakresu generatora.

## Montaż i uruchomienie

Montaż i uruchomienie przyrządu należy rozpocząć od zaprojektowania i zaprogramowania EPROM-u. Oczywiście, rodzaj i ilość sygnałów, które ma wytwarzać generator funkcyjny zależy od potrzeb użytkownika. Podam tu przepisy na kształty podstawowych sygnałów, które znalazły się w EPROM-ie wykonanego modelu.

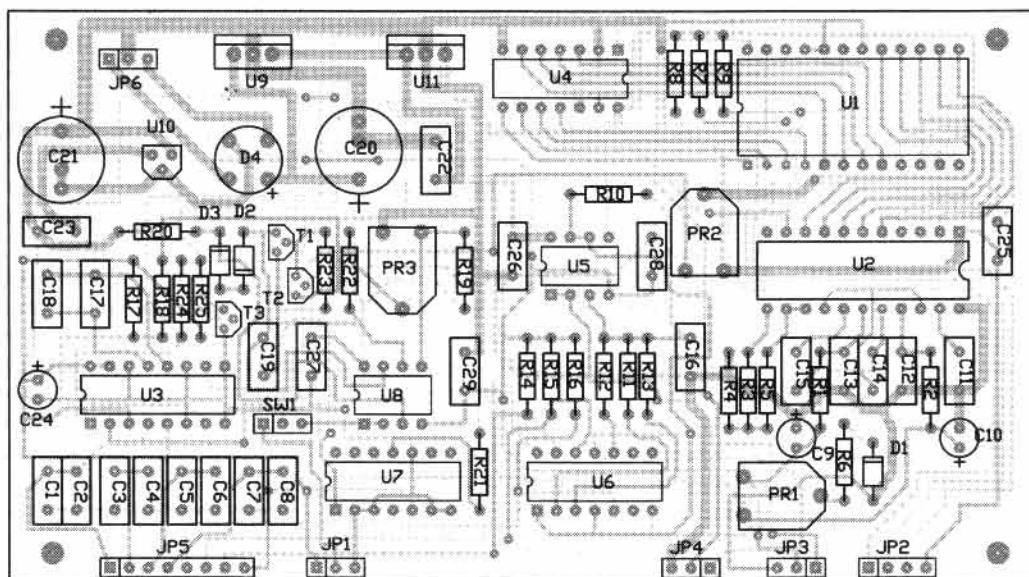
Najprostszym do zaprogramowania jest przebieg prostokątny. Jeżeli będzie on programowany jako przebieg pierwszy, to w EPROM-ie do komórek o adresach od 0 do 127 należy wpisać wartość 0 a do komórek o adresach od 128 do 255 wartość 255.

W przypadku przebiegu piłowego napięcie na wyjściu generatora powinno liniowo narastać, by na początku kolejnego okresu gwałtownie opaść i znowu liniowo narastać. W przypadku tego przebiegu do kolejnych komórek pamięci EPROM należy wpisać wartości rosnące o 1 tj. 0,1,2 itd.

Przebieg trójkątny to napięcie liniowo narastające do połowy czasu trwania impulsu, a potem liniowo opadające. Taki impuls wymaga wpisania do kolejnych komórek pamięci o adresach mniejszych od 128 wartości od 0 rosnących o 2 a do większych od 128 malejących o 2.

Impuls trapezowy składa się z czterech symetrycznych odcinków. Najpierw napięcie liniowo narasta - komórki pamięci o kolejnych adresach otrzymują wartości zwiększające się o 4, potem wpisane dane mają wartość 255 i następnie liniowo opada - wartość danych w kolejnych komór-





Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej generatora

kach zmniejsza się o 4 i przez ostatnią część trwania okresu utrzymuje wartość minimalną.

Największy kłopot będzie z wyliczeniem kształtu modelowej sinusoidy; w tym przypadku trzeba odwołać się do pomocy trygonometrycznej funkcji sinus. Wzór do wyliczenia wartości, jaką trzeba wpisać do EPROM-u w kolejnym kroku, będzie miał postać:

$$y = 127 \cdot \sin \frac{2\pi}{256 \cdot x} + 127$$

gdzie y jest wynikiem zaokrąglonym do wartości całkowitych, x - numerem kroku w zakresie od 0 do 255. Obliczenia dokonywane są w radianach.

Po zaprogramowaniu EPROM-u należy zmontować płytkę wlotując układy scalone w miarę uruchamiania kolejnych części układu.

Generator został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów na tej płytce pokazuje rysunek 3, mozaikę ścieżek przedstawiono na wkładce.

Do płytki możliwie najkrótszymi przewodami należy dołączyć przełącznik zależny typu Isostat (schemat jego połączeń pokazano na rysunku 2), potencjometr Pot1 oraz Pot2, ten ostatni najlepiej przewodami ekranowanymi. Do wyboru numeru generowanego sygnału w urządzeniu modelowym użyto kodera mechanicznego. Po dołączeniu transformatora zasilacz powinien dostarczać symetrycznego na-

pięcia zasilającego +12V, -12V. Pobór prądu dla napięcia ujemnego wynosi ok. 20mA toteż zastosowano stabilizator miniaturowy. Prąd napięcia dodatniego wynosi ok. 150mA. Stabilizator U9 potrzebuje niewielkiego radiatora.

Po wlutowaniu U3 i ustawieniu przełącznika SW1 w pozycji

jak na schemacie należy skontrolować częstotliwości impulsów zegarowych na U3-7. Przy niewciśniętym żadnym klawiszu przełącznika w skrajnych położeniach potencjometru Pot1 częstotliwości zegara powinny wynosić: 7,94MHz i 1,07MHz, po wciśnięciu S1 1,06MHz i 0,108MHz, po zwolnie-

**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Rezystory**

- R1, R2: 10Ω
- R3: 100kΩ
- R4, R5: 4,7kΩ
- R6: 1MΩ
- R7, R9, R14, R16, R20: 10kΩ
- R10: 330kΩ
- R11, R18: 27kΩ
- R12: 2kΩ
- R13: 68Ω
- R17: 82kΩ
- R19: 68kΩ
- R21, R24: 1KΩ
- R22: 2,2kΩ
- R23: 7,5kΩ
- R25: 100Ω
- Pot1: 47kΩ/A
- Pot2: 2,2kΩ/A
- PR1: 22kΩ
- PR2: 10kΩ
- PR3: 4,7kΩ

**Kondensatory**

- C1: 150pF
- C2: 18pF
- C3: 390pF
- C4: 1,5nF
- C5: 1nF
- C6: 22nF
- C7, C13, C22, C23, C25...C29: 100nF
- C8: 150nF
- C9, C10: 33μF/16V

- C11: 100pF
- C12: 470nF
- C14: 22pF
- C15: 10nF
- C16: 3,3nF
- C17, C18: 1μF
- C19: 330nF
- C20: 1000μF/16V
- C21: 220μF/16V
- C24: 47μF/10V

**Półprzewodniki**

- D1...D3: 1N914
- D4: mostek prostowniczy 1A
- T1: BC559
- T2: 2N2222
- T3: 2N2369
- U1: 2732
- U2: 5018
- U3: 74LS629
- U4: 74LS393
- U5, U8: TL062
- U6: 4066
- U7: 74LS90
- U9: 7812
- U10: 79L12
- U11: 7805

**Różne**

- SW1: jumper
- podstawka 24 piny dla U1
- podstawka 22 piny dla U2
- koder mechaniczny 1-8
- isostat zależny 3-segmentowy

niu S1 i wciśnięciu S2 108kHz i 9,7kHz, po zwolnieniu S2 i wciśnięciu S3 9,7kHz i 0,9kHz. Po wlutowaniu układów U4, U5, włożeniu do podstawek U1 i U2 oraz wybraniu na koderze numeru przebiegu powinien się on pojawić na wyjściu JP3-1. W razie trudności z uzyskaniem prawidłowego sygnału należy skontrolować impuls na kolektorze T3. Powinien to być zanegowany impuls zegarowy o stromych zboczach.

Po ustawieniu podanych wyżej parametrów częstotliwość sygnału sinusoidalnego na wyjściu JP3-1 dla poszczególnych podzakresów będzie mieścić się w przedziałach 30,8kHz...4,17kHz, 4,2kHz...0,42kHz, 420Hz...38Hz, 40Hz...3,5Hz. Górny zakres uzyskanych częstotliwości zależy od jakości użytych elementów i wnoszonych przez nie opóźnień.

Częstotliwość sygnału wyjścio-

wego można zwiększyć bez uciekania się do zwiększania częstotliwości zegara taktującego. Wystarczy w cyklu 256 kroków zapisać w EPROM-ie nie jeden, ale dwa lub cztery okresy sinusoidy, dzięki czemu jej częstotliwość na wyjściu JP3 zwiększyła się dwu lub czterokrotnie. Oczywiście, jakość otrzymanych w ten sposób sygnałów pogorszy się, schodki na sygnale będą bardziej widoczne, ale dla wielu zastosowań taka jakość jest zupełnie zadowalająca.

Po wlutowaniu układu U6 na wyjściu JP3-1 powinien pojawić się sygnał z odfiltrowanymi „schodkami”. W przypadku przesunięcia częstotliwości poszczególnych podzakresów należy indywidualnie dobrać nowe wartości oporników R11-R13. Ostatnim etapem jest uruchomienie części wobulacyjnej. Po wlutowaniu układu

LS90 na wyjściu U7-11 powinien pojawić się dodatni impuls o czasie trwania ok. 20ms i okresie ok. 100ms. Po wlutowaniu U8 na wyjściu 1 powinien pojawić się dodatni impuls piły, której stromość reguluje się PR3, zaś amplitudę PR2 (powinna ona wynosić 5Vpp).

Przełączenie przełącznika SW1 i wybranie odpowiedniego zakresu częstotliwości spowoduje pojawienie się na wyjściu JP3 sygnału o zmiennej częstotliwości w cyklu o czasie trwania 100ms. Do badania pasma przenoszenia urządzeń akustycznych jako sygnału wobulowanego należy używać sygnału sinusoidalnego zawierającego jak najmniej składowych harmonicznnych.

**Ryszard Szymaniak**