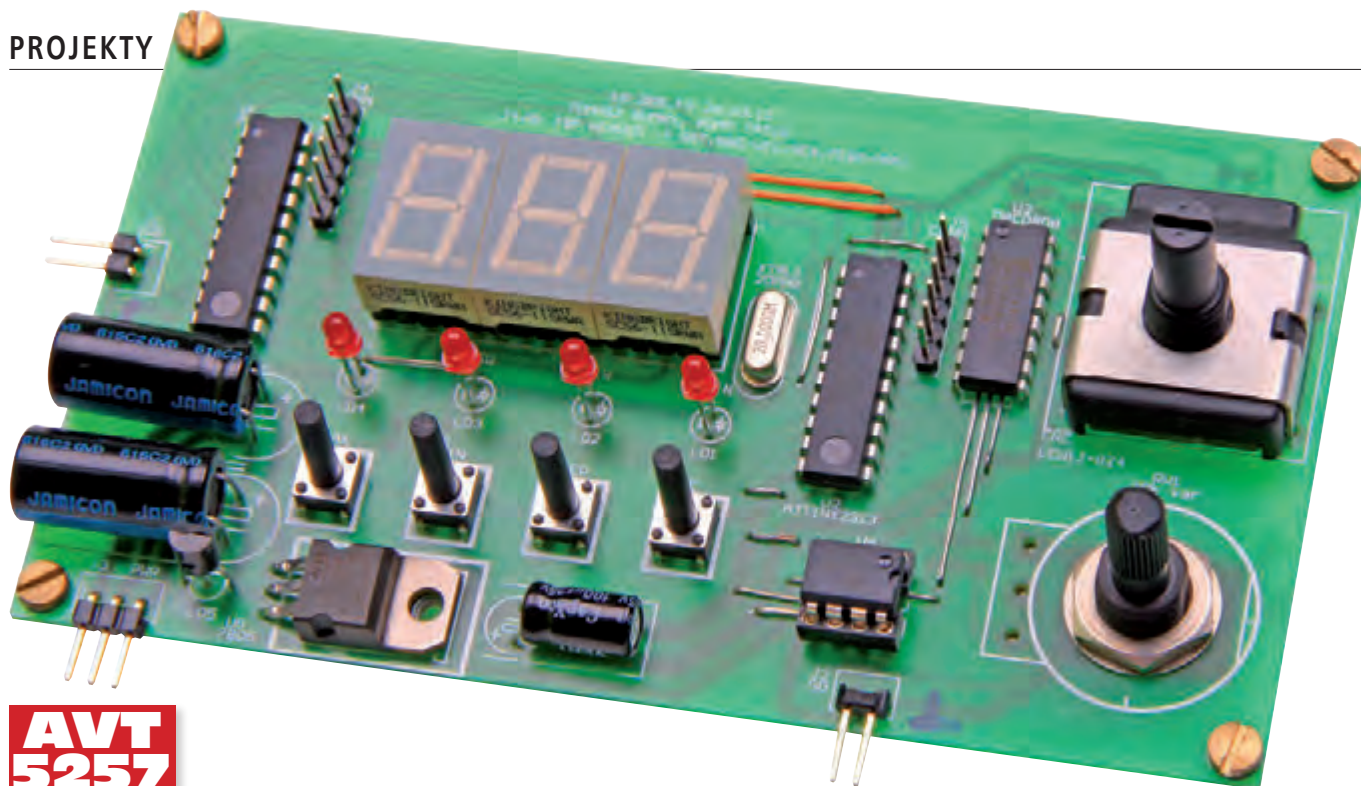



**AVT  
5257**

# Przestrajany cyfrowo generator akustyczny

Generator funkcyjny o częstotliwości akustycznej jest podstawowym przyrządem stosowanym do określania parametrów urządzeń audio. Za jego pomocą można wykonać pomiary podstawowych parametrów toru audio, takich jak: pasmo przenoszenia, moc, poziom zawartości harmonicznych.

**Rekomendacje:** *Taki generator jest podstawowym przyrządem pomiarowym, który przyda się w pracowni każdego elektronika konstruktora czy serwisanta.*

Najczęściej stosowanym źródłem napięcia o przebiegu sinusoidalnym jest generator z mostkiem Wiena (**rysunek 1**). Ten stosunkowo prosty układ, jeśli zostanie poprawnie zaprojektowany, zapewnia bardzo małe zniekształcenia generowanego sygnału. Niestety, jego przestrajanie jest kłopotliwe, bo odbywa się przez równoczesną zmianę parametrów dwóch obwodów RC (szeregowego i równoległego). Najtrudniejsze jest jednak zapewnienie stabilności amplitudy sygnału wyjściowego, co w znacznym stopniu wpływa na poziom zniekształceń. Do tego celu w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego włącza się fototranzystory, termistory lub polowe tranzystory złączowe, a tymi elementami steruje sygnał wyjściowy generatora poprzez odpowiednio żarówkę (lub LED), grzejnik lub napięciowy detektor wartości szczytowej napięcia.

Układ z mostkiem Wiena jest najczęściej spotykany w generatorach wzorcowych wysokiej klasy. W tym przypadku cechą charakterystyczną jest stosunkowo prosty układ oscylatora i bardzo rozbudowany układ stabilizacji amplitudy.

Podobne problemy występują w generatorze z obwodem *podwójne T* (**rysunek 2**), jednak w tym przypadku częstotliwość zależy aż od sześciu elementów (RCR i CRC).

Podobnie kłopotliwe jest przestrajanie generatora z przesuwnikiem fazowym (**rysunek 3**). Zmiana częstotliwości generowanego sygnału wymaga równoczesnej zmiany parametrów trzech układów RC. Z tego powodu to rozwiązanie stosuje się głównie w źródłach sygnału o stałej częstotliwości.

Zgodnie z twierdzeniem Fouriera, fala prostokątna składa się z przebiegów sinusoidalnych o częstotliwościach będących

## AVT-5257 w ofercie AVT:

AVT-5257A – płytka drukowana  
AVT-5257B – płytka drukowana + elementy

## Podstawowe informacje:

- Zakres częstotliwości sygnału generowanego: 10 Hz...100 kHz.
- Ręczne ustawianie częstotliwości bez przełączania zakresów (256 kroków rozmieszczonych logarytmicznie).
- Wyświetlanie nastawionej częstotliwości na 3-cyfrowym wyświetlaczu 7-segmentowym LED w postaci: XX.X, XXX [Hz], X.XX, XX.X [kHz].
- Przełączany kształt przebiegu wyjściowego: sinus, prostokąt, trójkąt, piła (narastająca).
- Zniekształcenia harmoniczne: 0,7% przy 100 Hz; 0,5% przy 1 kHz, 0,3% przy 10 kHz.
- Wyjście buforowane z potencjometrem regulacji poziomu wyjściowego.
- Maksymalne napięcie sygnału wyjściowego:  $\pm 1,25$  V względem masy (2,5 Vpp).
- Tryb automatycznego przestrajania generatora w nastawianym zakresie częstotliwości.
- Dodatkowe wyjście napięcia piłokształtnego proporcjonalnego do częstotliwości przebiegu wyjściowego.
- Znacznik częstotliwości (na ekranie oscyloskopu w trybie X-Y).
- Zasilanie z transformatora z dzielnym uzwojeniem 2×7...9 VAC.

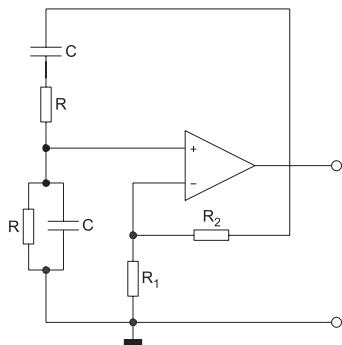
## Dodatkowe materiały na CD i FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 14635, pass: 6uc6e4d  
• wzory płytek PCB  
• karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w **wykazie elementów** kolorem czerwonym

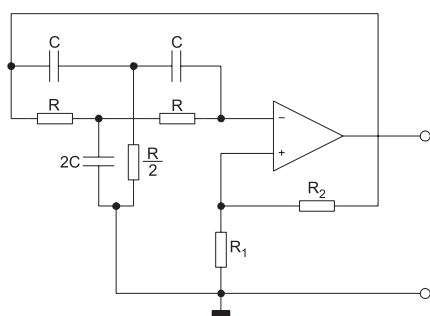
## Projekty pokrewne na CD i FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)  
AVT-5155 Generator DDS (EP 10-11/2008)  
AVT-1474 Generator fali prostokątnej o regulowanym współczynniku wypełnienia (EP 8/2008)

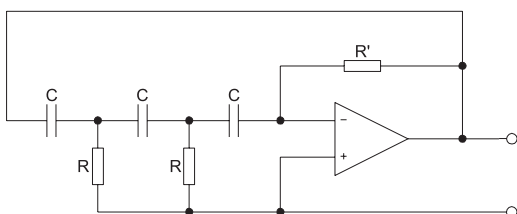
wielokrotnością częstotliwości podstawowej, zatem po odfiltrowaniu z przebiegu prostokątnego wszystkich wyższych harmonicznych powinien zostać czysty sygnał sinusoidalny o częstotliwości podstawowej.



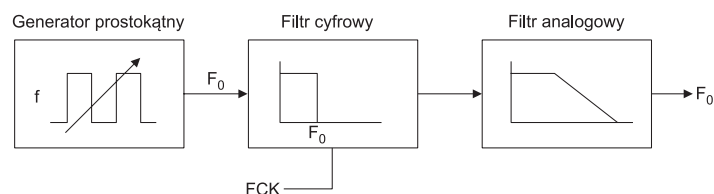
Rysunek 1. Schemat generatora z mostkiem Wiena



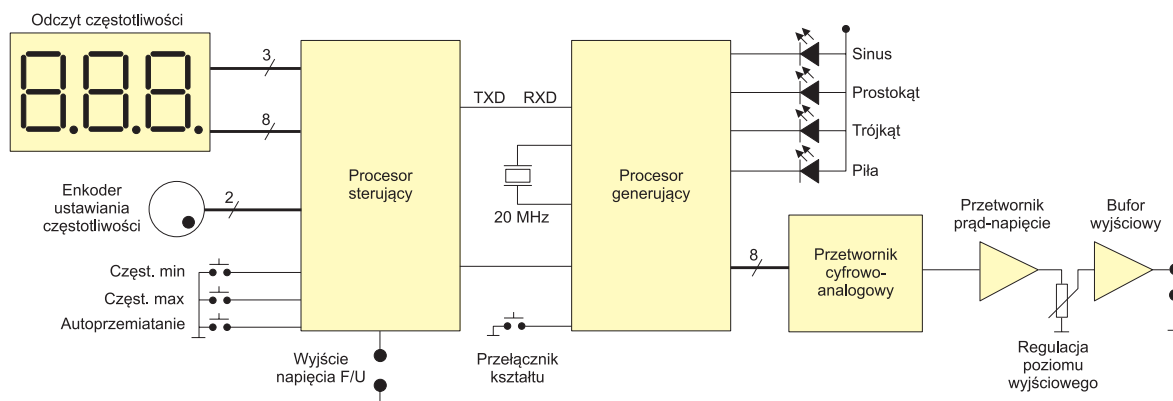
Rysunek 2. Schemat generatora z układem podwójnym T



Rysunek 3. Schemat generatora z przesuwnikiem fazowym



Rysunek 4. Generator cyfrowy z filtracją sygnału harmonicznego



Rysunek 5. Schemat blokowy generatora DDS z dwoma procesorami

W tym przypadku o parametrach sygnału wyjściowego decydują parametry filtra, który można zrealizować standardowo jako filtr analogowy.

W podstawowym układzie generatora tego typu, fala prostokątna z wyjścia generatora trafia na wejście filtra dolnoprzepustowego. Konieczność współbieżnego przestrajania generatora i filtra ogranicza zakres stosowania tego rozwiązania w generatorach laboratoryjnych.

Zupełnie nowe możliwości stwarza zastosowanie filtrów z przełączanymi pojemnościami (rysunek 4). W popularnych układach scalonych tego rodzaju (np. MAX297) częstotliwość graniczna jest 50- do 256-krotnie niższa od częstotliwości sygnału zegarowego. Dzięki temu można stosunkowo łatwo uzyskać przestrajanie w szerokim zakresie częstotliwości. Wystarczy zbudować generator sygnału prostokątnego przestrajany lub wyposażony w przełączany dzielnik częstotliwości i podać ten sygnał na wejście taktujące filtra. Ten sam sygnał po podzieleniu przez współczynnik z zakresu 50...256 należy podać na wejście filtra, a na wyjściu filtra pojawi się całkiem przyzwoity, choć nieco „poszatkowany” sinus, w którym główną składową zakłócającą jest częstotliwość taktująca filtra cyfrowego. Ze względu jednak na jej znaczną „odległość” od składowej podstawowej, można ją łatwo odfiltrować dolnoprzepustowym filtrem analogowym.

W połączeniu z układami matryc programowalnych, służących za źródło sygnałów taktujących, to rozwiązanie pozwala w prosty sposób otrzymywać równocześnie przebieg prostokątny i sinusoidalny o dużej stabilności częstotliwości i stałej amplitudzie w całym zakresie przestrajania. Po

dodaniu licznika rewersyjnego i przetwornika cyfrowo-analogowego można otrzymać również sygnał piłokształtny i trójkątny.

## Generator w układzie scalonym

Producenci układów scalonych już dawno zauważyli zapotrzebowanie na układy generatorów. Legendarny układ 555 w konfiguracji multiwibratora astabilnego dostarcza falę prostokątną, ale napięcie na kondensatorze jest zbliżone do piły lub trójkąta (zależnie od rezystancji odpowiedzialnej za ładowanie i rozładowanie pojemności).

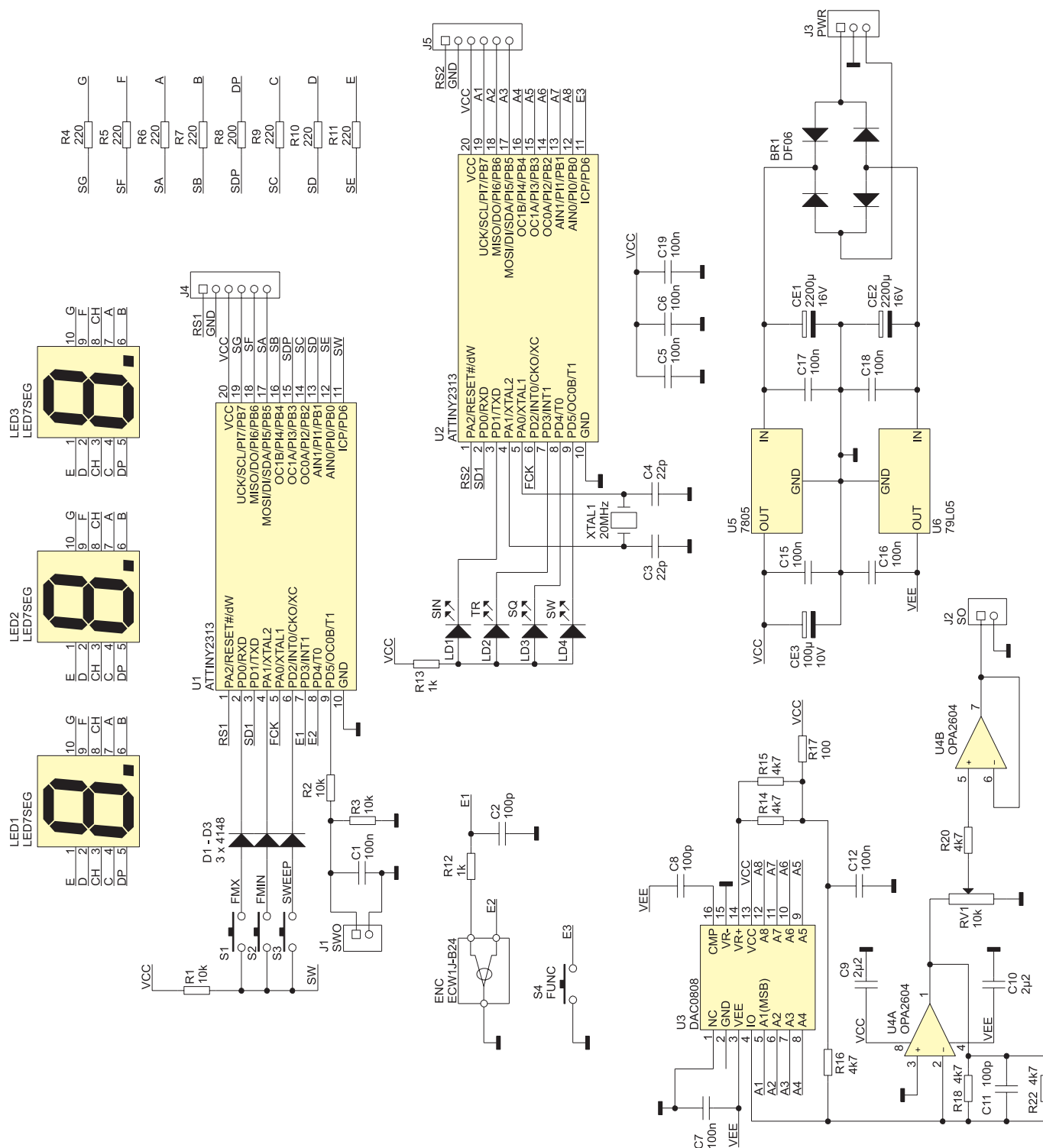
Układy XR2206 oraz ICL8038, i jego nowsza wersja MAX038, umożliwiają uzyskanie przebiegu trójkątnego, sinusoidalnego i prostokątnego. Pewną trudnością w stosowaniu tych układów jest osobne wyjście przebiegu prostokątnego i różne amplitudy sygnałów trójkątnego i sinusoidalnego. Wprawdzie w kartach katalogowych można uzyskać poziom zniekształceń przebiegu sinusoidalnego poniżej 1%, ale sposób uzyskiwania tego kształtu (przez obcinanie trójkąta) każe traktować te dane z dużą ostrożnością.

Zaletą wszystkich wymienionych układów scalonych jest szeroki zakres przestrajania przez zmianę jednej rezystancji. Niestety, poza timerem 555 pozostałe układy nie są już produkowane i ich ceny są stosunkowo wysokie.

Na koniec wypada wspomnieć o również nieprodukowanych już układach ML2035 (ML2036) firmy Micro Linear. Wyposażone w generator (z zewnętrznym rezonatorem kwarcowym) i programowanym dzielnikiem częstotliwości taktującym licznik, który adresował pamięć stałą z zapisanymi próbkami funkcji sinus oraz przetwornik C/A były jednymi z pierwszych scalonych układów generujących przebieg sinusoidalny całkowicie cyfrowo.

Ostatnio pojawiło się wiele układów umożliwiających praktyczną realizację generatorów z bezpośrednią syntezą cyfrową.

Przykładem takiego układu może być AD9834 i podobne firmy Analog Devices. Te układy mają możliwość ustawiania częstotliwości, z absurdalnym wręcz krokiem, rzędu ułamka herca nawet do 200 MHz. Przykłady wykorzystania tego układu pojawiły się już na łamach „Elektroniki Praktycznej”.



Rysunek 6. Schemat elektryczny generatora

Dla niezbyt dużych częstotliwości (poniżej 100 kHz) pętlę syntezującą przebieg wyjściowy można zrealizować programowo. Inspiracją takiego rozwiązania był projekt Jaspera Hansena opisany na stronie [www.myplace.nu/avr/minidds](http://www.myplace.nu/avr/minidds). Okazuje się, że pamięć popularnego i taniego mikroprocesora ATtiny2313 wystarcza do zapamiętania próbek dla kilku kształtów przebiegów wyjściowych, a moc obliczeniowa pozwala dostatecznie szybko dokonać niezbędnych obliczeń. Dlatego zdecydowaliśmy się na użycie podobnego rozwiązania w projekcie generatora.

### Założenia projektu

Głównym założeniem projektu było zbudowanie jak najmniejszym kosztem generatora, który bez przełączania zakresów da się przestrajać od 10 Hz do 100 kHz. Układ nie powinien wymagać strojenia i regulacji, a pozostałe parametry powinny być zbliżone do tych, jakie mają scalone generatory funkcyjne, czyli kształt przebiegu na wyjściu: sinusoidalny, trójkątny i prostokątny, napięcie wyjściowe ok. 1 V<sub>rms</sub>/1 kHz, zniekształcenia THD+N < 1%. Ponadto, przyrząd powinien wskazywać częstotliwość przebiegu wyjściowego, aby uniknąć

konieczności używania dodatkowego częstotliciemierza.

### Budowa generatora

Już pobieżna analiza zależności czasowych wykazała, że procesor, który będzie obliczał kolejne fazy sygnału, pobierał próbki z pamięci i wysyłał je do przetwornika C/A, nie może zajmować się niczym innym. W przeciwnym przypadku w generowanym sygnale pojawią się przypadkowe skoki fazy. Wymusiło to podział zadań pomiędzy dwa procesory: sterujący i generujący (rysunek 5).



Procesor sterujący zajmuje się:

- odczytywaniem stanów na wyjściach enkodera obrotowego,
- sprawdzaniem stanu przycisków: Fmin, Fmax i Sweep,
- wyświetlaniem sekwencyjnym na wyświetlaczach LED,
- wystawianiem napięcia na wyjściu „przestrzajającym”,
- wysyłaniem nastawy częstotliwości do procesora generującego.

Procesor generujący, niemal przez cały czas, oblicza kolejne adresy próbek i pobiera je z pamięci. Proces ten jest wstrzymywany tylko na czas obsługi:

- przerwania od portu szeregowego, gdy jest odbierana nowa nastawa częstotliwości,
- przerwania zewnętrznego od przycisku zmiany kształtu generowanego przebiegu Func.

Wskaźnik kształtu przebiegu, złożony z czterech diod LED, jest sterowany statycznie i nie zajmuje czasu procesora.

Próbki obliczone przez procesor generujący są przesyłane na wejście równoległe przetwornika C/A z wyjściem prądowym. Prąd wyjściowy jest zamieniany na napięcie i przez potencjometr regulacji poziomu podawany na bufor wyjściowy.

Procesor sterujący (U1) jest taktowany sygnałem prostokątnym o częstotliwości 20 MHz, otrzymywanym z wyjścia CKOUT procesora generującego (6-U2). Takie rozwiązanie pozwoliło zaoszczędzić jeden rezonator kwarcowy, a równocześnie umożliwiło bezbłędną transmisję szeregową między procesorami z szybkością 1 Mbit/s (**rysunek 6**).

Wspólna katoda każdego z trzech wyświetlaczy 7-segmentowych (LED1...3) jest podłączona bezpośrednio do portu procesora. Segmenty wyświetlaczy są połączone równoległe i przez rezystory ograniczające prąd (R4...R11) zasilane z portu procesora sterującego. Wyjścia wybierające cyfry (CH, CD, CU) równocześnie służą do adresowania jednego z trzech przycisków monostabilnych (S1, S2, S3). Procesor odczytuje stan tych przycisków poprzez wspólną linię SW, wchodzącą na wejście PD6 (11-U1). Do wejść procesora E1 i E2 (7, 8-U1) jest dołączony enkoder obrotowy służący do ustawiania częstotliwości. Z wyjścia PWM (9-U1), po podzieleniu i odfiltrowaniu (R2/R3, C1), uzyskuje się napięcie proporcjonalne do aktualnej częstotliwości przebiegu wyjściowego.

Procesor generujący U2 jest taktowany sygnałem z oscylatora kwarcowego XTAL1 o częstotliwości 20 MHz. Do wejścia E3 (11-U2) jest podłączony włącznik monostabilny S4, służący do przełączania kształtu generowanego sygnału. Aktualnie wybrany kształt wskazuje jedna z czterech diod LED (LD1...4) podłączonych do wyjść 3, 7, 8, 9 układu U2.

Obliczone przez procesor generujący próbki są przesyłane przez 8-bitową magi-

strale równoległą (12...19-U2) na wejścia przetwornika C/A (5...12-U3). Prąd referencyjny dla tego przetwornika jest uzyskiwany z napięcia zasilania +5 V filtrowanego przez R17/C12 i równolegle połączonych rezystorów R14||R15. Do wyjścia przetwornika wpływa część prądu referencyjnego równa:

Dla zastosowanych elementów prąd zmienia się w przedziale 0...–2,12 mA. Po zsumowaniu z prądem rezystora R16 do wyjścia przetwornika C/A wpływa prąd o natężeniu 1,06 mA...+1,06mA.

W części analogowej układu generatora zastosowano szybki, podwójny wzmacniacz operacyjny OPA2604 (U4). Pierwszy ze wzmacniaczy (U4A) przetwarza prąd z przetwornika C/A na napięcie. Na jego wyjściu (1-U4A) uzyskujemy sygnał zmieniający się w przedziale  $\pm 2,5$  V. To napięcie, po filtracji dolnoprzepustowej (C11), jest doprowadzone do potencjometru regulacji poziomu wyjściowego (RV1). Napięcie z suwaka potencjometru jest podawane na wejście wtórnika napięciowego (U4B). Zapewnia on stabilne sterowanie impedancji obciążenia powyżej 1 k $\Omega$ , przy pojemnościach do 1 nF, co całkowicie wystarcza w typowych zastosowaniach.

Zasilanie układu U4 jest filtrowane przez kondensatory ceramiczne C9 i C10, umieszczone bezpośrednio przy wyprowadzeniach zasilania.

Do zasilania układów generatora przewidziano transformator z dzielonym uzwojeniem wtórnym. Napięcie tych uzwojeń jest prostowane i stabilizowane do wartości  $\pm 5$  V. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskanie napięcia wyjściowego bipolarnego względem masy, bez potrzeby przesuwania potencjału masy lub stosowania pojemności sprzęgającej na wyjściu generatora, usuwającej składową stałą i przy okazji zniekształcającej jego przebieg wyjściowy.

Stabilizatory są zasilane napięciem prostowanym w mostku BR1 i filtrowanym przez kondensatory elektrolityczne CE1 i CE2. Napięcie dodatnie stabilizuje układ 7805 (U5). Ze względu na niewielki pobór prądu, do stabilizacji napięcia ujemnego wystarcza układ 79L05 (U6).

Transformator sieciowy o mocy 2...4 VA można umieścić w obudowie wtyczkowej. Napięcie uzwojeń wtórnych powinny wynosić 7...9 V.

## Oprogramowanie generatora

Program procesora sterującego przygotowano w języku C, w zintegrowanym środowisku ICCAVR firmy ImageCraft.

Działanie programu opiera się na przerwaniu interwałowym wywoływanym co 3,2 ms. Procedura obsługi tego przerwania adresuje sekwencyjnie kolejne wyświetlacze LED i odczytuje stan przycisków Fmin, Fmax i Sweep.

## Wykaz elementów

### Rezystory:

R1...R3: 10 k $\Omega$  (1206)  
R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11: 220  $\Omega$  (1206)  
R12, R13: 1 k $\Omega$  (1206)  
R14, R15, R16, R18, R19, R20: 4,7 k $\Omega$  (1206)  
R17: 100  $\Omega$  (1206)  
RV1: 10 k $\Omega$  (potencjometr)

### Kondensatory:

C1, C5...C7, C12, C15...C19: 100 nF (1206)  
C2, C8, C11: 100 pF (1206)  
C3, C4: 22 pF (1206)  
C9, C10: 2,2  $\mu$ F (1206)  
CE1, CE2: 2200  $\mu$ F/16 V  
CE3: 100  $\mu$ F/10 V

### Półprzewodniki:

D1...D3: 1N4148  
BR1: DF06S  
LD1...LD4: LED 3 mm  
LED1, LED2, LED3: wyświetlacz Sx56-11  
U1, U2: ATtiny2313 (DIP20)  
U3: DAC0808  
U4: OPA2604 (DIP8)  
U5: 7805 (TO-220)  
U6: 79L05 (TO-92)

### Inne:

ENC: enkoder obrotowy ECW1J-B24  
J1: wejście s. przestrzajania  
J2: wyjście  
J3: zasilanie  
J4, J5: SIP6  
S1...S4: mikroprzyciski  
XTAL1: kwarc 20 MHz

Poruszenie osi enkodera obrotowego wywołuje przerwanie zewnętrzne INT1, które odczytuje stan wyjść enkodera. Dzięki temu nawet szybkie kręcenie gałką jest interpretowane poprawnie.

Zmiana nastawionej częstotliwości powoduje uaktualnienie liczby wyświetlanej na wyświetlaczach LED, wysłanie nowej wartości do procesora generującego i ustawienie odpowiedniego napięcia na wyjściu SWO. Każda z 256 możliwych częstotliwości została zakodowana w postaci gotowej do wyświetlenia. Wprawdzie zajęło to niemal połowę pamięci programu, ale radykalnie skróciło czas obsługi wyświetlaczy.

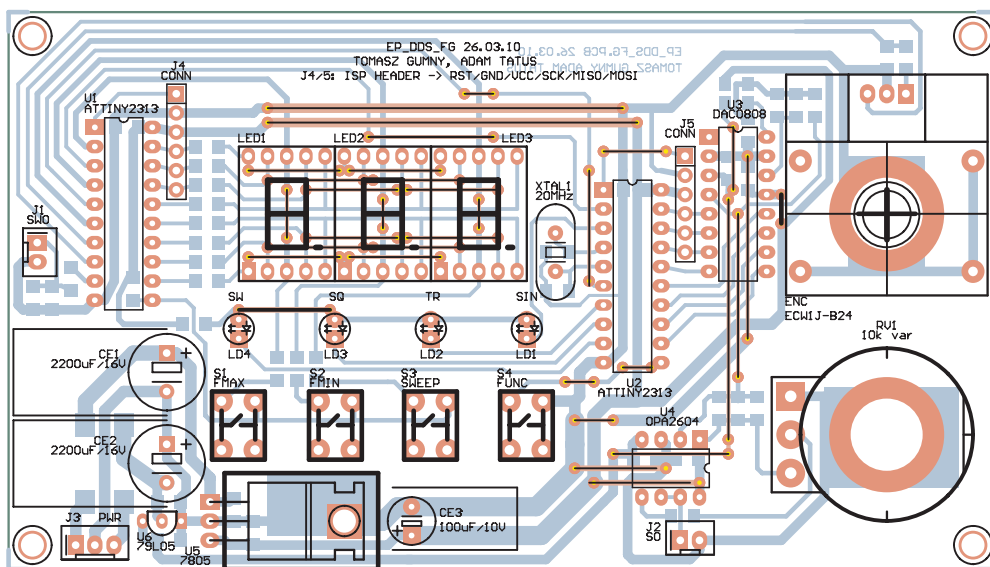
Po uruchomieniu funkcji autoprzemieszczania (Sweep), program samoczynnie wysyła do procesora generującego kolejne częstotliwości, od Fmin do Fmax. W tym trybie, niezależnie od różnicy Fmax–Fmin, amplituda napięcia piłokształtnego na wyjściu SWO zawsze wynosi 2,5 V, co pozwala efektywnie wykorzystać całą szerokość ekranu oscyloskopu w trybie X-Y.

Dodatkowo, program zapisuje w pamięci EEPROM ostatnio ustawioną częstotliwość. Wartość ta jest przywracana przy ponownym załączeniu zasilania.

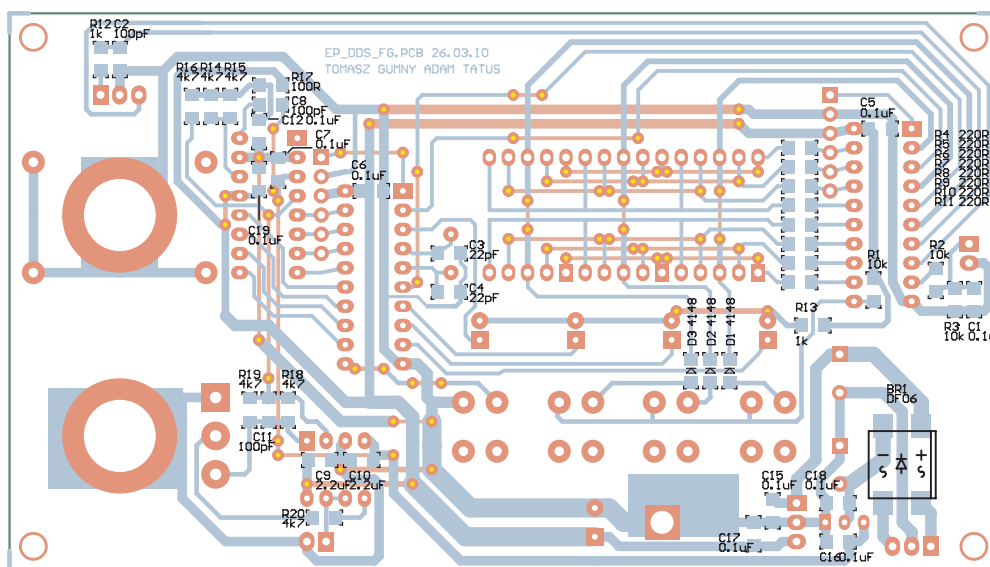
Program procesora generującego napisano w assemblerze. W zasadzie cały program to jedna nieskończona pętla, jak pokazano na **listingu 1**.

Działanie pętli może być wstrzymane przez jedno z dwóch przerw: 1





Rysunek 7. Rozmieszczenie elementów przewlekanych



Rysunek 8. Rozmieszczenie elementów SMD

- zewnętrzne ICP – wywoływane po naciśnięciu przycisku zmiany kształtu Func,
- od portu szeregowego – po otrzymaniu nowego numeru częstotliwości.

Naciśnięcie przycisku Func (S4) powoduje zgaszenie aktualnie świecącej diody (LD1...4) i zapalenie kolejnej oraz zmianę adresu bazowego tablicy, z której pobierane są próbki przebiegu wyjściowego, co skutkuje zmianą kształtu generowanego przebiegu.

Jeśli w buforze odbiorczym portu szeregowego pojawi się nowa nastawa, to z pamięci programu zostaje pobrane nowe przesunięcie, które dodawane do akumulatora DDS powoduje syntezy nowej częstotliwości.

Tablica próbek czterech funkcji (sinus, prostokąt, trójkąt i piła) zajmuje 1024 bajty (4×256 bajtów). Akumulator i przesunięcie są 24-bitowe (3 bajty), zatem tablica dla 256 różnych częstotliwości zajęła 768 bajtów (3×256 bajtów). W pozostałych 256 bajtach pamięci programu, poza pętlą syntezującą, zmieściło się m.in. zapamiętywanie

w pamięci EEPROM ostatnio generowanego kształtu i przywracanie tej wartości po załączeniu zasilania.

W materiałach dodatkowych znajduje się arkusz kalkulacyjny z tymi tablicami. Można tam znaleźć m.in. graficzny(!) tester wyświetlacza 7-segmentowego utworzony w Excelu.

## Montaż

Układ generatora zmontowano na jednostronnej płytce drukarskiej. Zastosowano elementy mieszane: bierne w technologii SMD, aktywne w obudowach do montażu przewlekanych. Rozmieszczenie elemen-

tów przewlekanych ilustruje **rysunek 7**, natomiast rozmieszczenie elementów SMD – **rysunek 8**.

Kolejność montażu jest typowa. Jako pierwsze montujemy zwory zwracając uwagę na ewentualne zwarcia przy dłuższych odcinkach. Następnie montujemy elementy SMD, złącza, kondensatory elektrolityczne (poziomo) oraz układy scalone. Stabilizator U5 warto wyposażyć w niewielki radiator. Pod układy scalone można zastosować podstawki. Większej uwagi wymaga montaż wyświetlacza i mikroprzełączników. Jako pierwsze montujemy mikroprzełączniki (najlepiej o wysokości 13...18 mm). Następnie, w zależności od długości wyprowadzeń wyświetlacza, stosujemy precyzyjne kielichowe gniazda goldpin lub kawałki rozciągniętych podstawek DIP, dla zapewnienia odpowiedniej odległości pomiędzy czołem wyświetlacza a przyciskiem mikroprzełącznika. Odległość dostosowujemy do grubości frontu obudowy. Aby swobodnie operować przyciskami, powinny być one zamontowane 1...2 mm powyżej, a wyświetlacz – zależnie od grubości szybki transferowej – ok. 1 mm poniżej powierzchni płyty czołowej. Diody LED można zrównać z powierzchnią panelu obudowy, umieszczając je w uprzednio przygotowanych otworach obudowy.

Ostatnimi elementami do montażu są enkoder i potencjometr. Warto zaopatrzyć się w enkoder z obejmą mocującą, stabilizującą go mechanicznie po wlutowaniu do

płytki. Potencjometr, zależnie od konstrukcji osi (np. Piher PC16), może być zamontowany od strony druku. Wtedy do montażu wykorzystujemy otwór w płytce drukarskiej, mocując w nim potencjometr za pomocą nakrętki i podkładki. W tym wypadku wyprowadzenia lutujemy bezpośrednio do druku. Konieczne może być skrócenie osi, tak aby wyrównać ją z osią enkodera. W przypadku potencjometru z wyprowadzeniami kątowymi przystosowanymi do druku, montujemy go od strony elementów, korzystając z odpowiednich otworów.

Gniazda sygnału wyjściowego (J2) i przestrajającego (J1) łączy się przewodami za

### Listing 1. Program główny procesora generującego

```
; fout = freqHML(24bit)*20 MHz/takt(9)/2^(8+8+8)
petla:
    add fazaL,freqL ; 1
    adc fazaM,freqM ; 1
    adc ZL,freqH ; 1 ZL == fazaH
    lpm probka,Z ; 3
    out PORTB,probka ; 1
    rjmp petla ; 2
;w sumie: 9 taktów
```

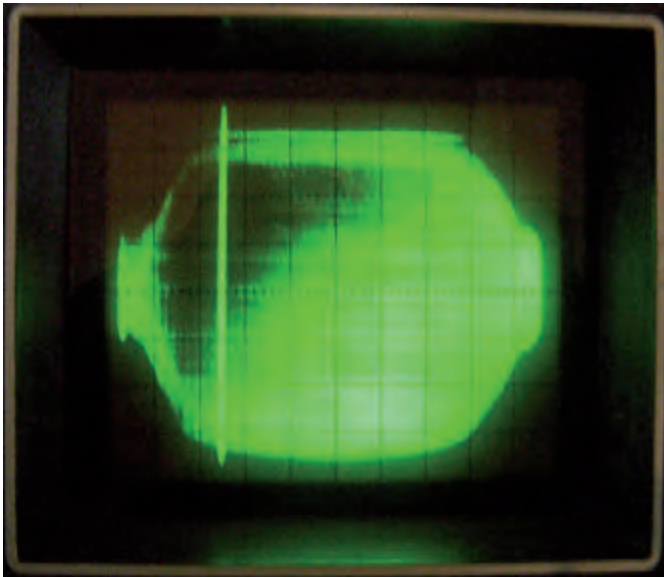
**Listing 2. Ustawienie Fusebitów**

```

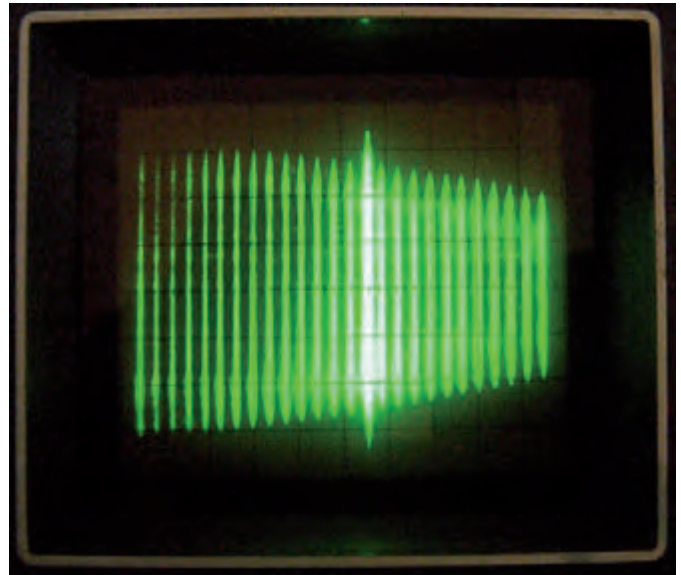
Procesor Generujący (U2)
/*****
; * DW EE   SPI WD  BOD  BOD  BOD  RST  CK  CK  SU  SU  CK  CK  CK  CK
; * EN SAVE EN  TON LEV2 LEV1 LEV0 DISBL DIV8 OUT T1 T0 SEL3 SEL2 SEL1 SEL0
; * 1 1     0  1  1     1  1     1  0  1  1  0  0  0  1  0  DEFAULT 0xffdf62
; * 1 1     0  1  1     0  1     1  1  0  0  1  1  1  1  1  ICCAVR 0xffdb9f
; * 0 0     1  0  0     1  0     0  0  1  1  0  0  0  0  0  PONYPROG 0x002460
; *****/

Procesor Sterujący (U1)
/*****
/ * DW EE   SPI WDT BOD  BOD  BODT  RST  CK  CK  CK  CK  CK  CK  CK  CK */
/ * EN SAVE EN  ON  LEVEL2 LEVEL1 LEVEL0 DISBL DIV8 OUT SUT1 SUT0 SEL3 SEL2 SEL1 SEL0 */
/ * 1 1     0  1  1     1  1     1  0  1  1  1  0  0  0  1  0  DEFAULT 0xFFDF62 */
/ * 1 1     0  1  1     0  0     1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  ICCAVR 0xFFD9E0 */
/ * 0 0     1  0  0     1  1     0  0  0  0  1  1  1  1  1  PONYPROG 0x00261F */
/ *****/

```



Rysunek 9. Charakterystyka od 10 Hz do 100 kHz, kursor na 100 Hz



Rysunek 10. Charakterystyka od 20 kHz do 50 kHz, kursor na 34 kHz (widoczny raster)

pomocą nasadek SIP lub KK. Jeżeli odcinki przewodów do złącz J1 i J2 przekraczają kilka centymetrów, warto zastosować przewód ekranowany.

Napięcie z transformatora sieciowego doprowadzamy do złącza J3.

### Uruchomienie generatora

Układ zmontowany ze sprawdzonych elementów nie wymaga regulacji. Do uruchomienia potrzebny jest miernik uniwer-

salny i oscyloskop. Po podłączeniu napięcia przemiennego do złącza J3, należy sprawdzić obecność napięć zasilania  $\pm 5$  V w odpowiednich punktach układu. Jeżeli nic nie budzi zastrzeżeń, należy zaprogramować procesory przygotowanymi plikami, zgodnie z opisem programowania procesorów.

Na płytce drukowanej generatora przewidziano miejsce na złącza ISP dla obu procesorów (U1 i U2). Ze względu na to, że płytka jest jednostronna, złącza są jednorzę-

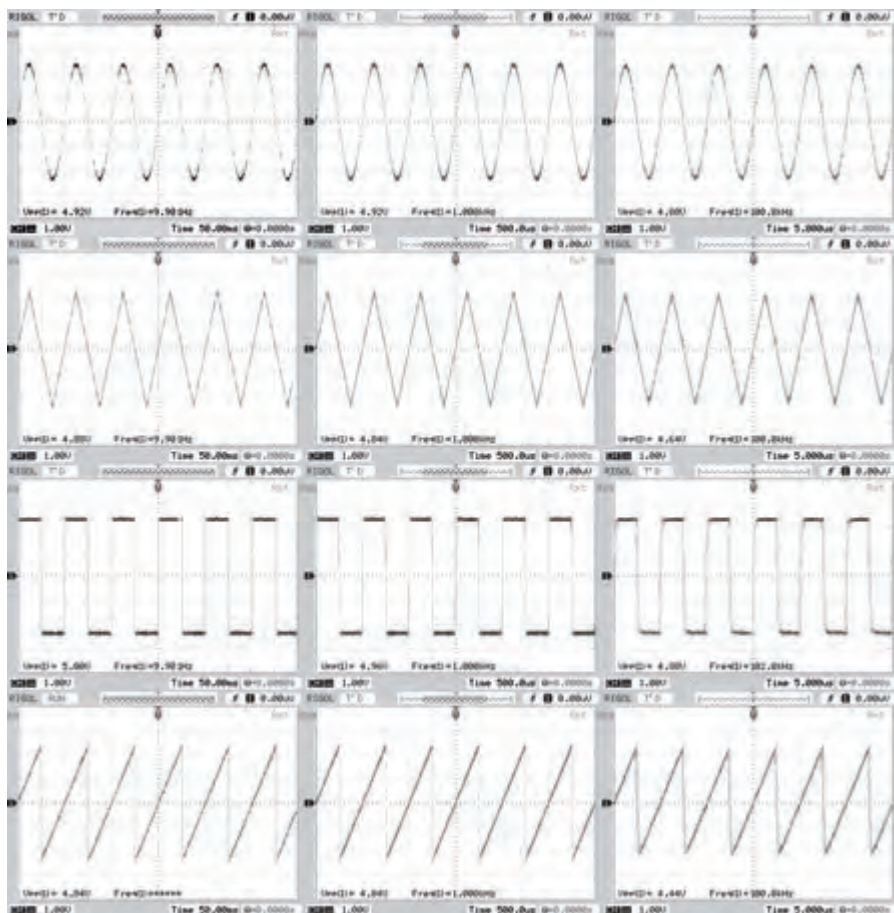
dowe, więc aby podłączyć standardowy programator z 6- lub 10-pinowym złączem IDC, konieczne jest wykonanie przejściówki.

Komplet plików do zaprogramowania generatora zawiera:

- INSTRUKCJA.TXT instrukcję programowania programem PonyProg z kablem STK200;
- GEN.E2S skrypt dla programu PonyProg;
- STER.HEX STER.EEP, pliki do zaprogramowania procesora U1;

R E K L A M A M A





Rysunek 11. Przykładowe przebiegi niemodulowane uzyskane z generatora

- DDS.HEX plik do zaprogramowania procesora U2.

Jeśli nie korzysta się z programu PonyProg i przygotowanego skryptu, to należy ustawić fusebity jak pokazano na **listingu 2**. Dla większości programatorów (np. AVRStudio) należy ustawić wartość fusebitów zgodną z ICCAVR. W przypadku wątpliwości, należy odczytać fusebity i wybrać tę wartość, która nie zmieni bitu SPIEN.

### Instrukcja obsługi

Przy wyświetlaniu częstotliwości świecąca kropka po prawej stronie najmniej znaczącej cyfry jest wskaźnikiem „kHz”. Zgaszona kropka oznacza, że wynik jest w „Hz”. Trzy cyfry wyświetlacza LED wskazują częstotliwość w przedziale od 10,0 Hz do 100 kHz następująco:

- 10,0...99,9 Hz: XX,X
- 100...999 Hz: XXX
- 1,00...9,99kHz: X,XX
- 10,0...99,9kHz: XX,XX

- 100 kHz: XXX.

#### Tryb generowania stałej częstotliwości.

W podstawowym trybie pracy na wyjściu SO (J2) generatora jest przebieg o kształcie wybranym przyciskiem Func i częstotliwości ustawionej enkoderem ENC. Kształt generowanego przebiegu można sekwencyjnie zmieniać przez naciśnięcie przycisku Func – wybrany kształt wskazuje świecąca dioda LED.

Napięcie na wyjściu SWO odpowiada aktualnej częstotliwości i zmienia się od 0 V (dla 10 Hz) do 2,5 V (dla 100 kHz).

**Tryb autoprzemiatania.** W odróżnieniu od większości generatorów z funkcją wobulatora, układ nie potrzebuje zewnętrznego źródła napięcia piłokształtnego. Krótkie naciśnięcie przycisku Sweep uruchamia autoprzemiatanie. Jego działanie jest sygnalizowane migotaniem cyfr na wyświetlaczu LED. W tym trybie generator przeobraża się automatycznie od Fmin=10 Hz do Fmax=100 kHz. Te granice zmienia się, kręcąc gałką enkodera przy wciśniętym

przycisku Fmin (lub Fmax), aż do uzyskania żądanej wartości.

Program nie pozwoli na ustawienie  $F_{min} \geq F_{max}$  i na bieżąco dokona takiego przeskalowania, aby na wyjściu SWO było 0 V przy Fmin i 2,5 V przy Fmax.

Tryb autoprzemiatania jest przeznaczony do szybkiego wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych wzmacniaczy, filtrów, itp., za pomocą oscyloskopu pracującego w trybie X-Y. W tym celu na wejście badanego urządzenia podajemy sygnał z wyjścia SO, a wyjście badanego urządzenia dołączamy do wejścia Y oscyloskopu. Na wejście X oscyloskopu podajemy sygnał z wyjścia SWO generatora. Za pomocą przycisków Fmin, Fmax i enkodera ustawiamy interesujący nas zakres częstotliwości i przyciskiem Sweep uruchamiamy tryb autoprzemiatania. Zwykle po niewielkiej korekcie przesunięć i czułości na ekranie oscyloskopu pojawia się zadowalający obraz (**rysunek 10**).

W trybie autoprzemiatania, sygnał o jednej częstotliwości jest generowany nieco dłużej niż pozostałych, co skutkuje jaśniejszym prążkiem na ekranie oscyloskopu. Wartość tej częstotliwości jest wyświetlana na migoczącym wyświetlaczu LED. Co więcej, kręcąc enkoderem, można zmieniać częstotliwość i odpowiadającą jej pozycję znacznika. Pozwala to dość dokładnie określić np. częstotliwość, przy której następuje 3-decybelowy spadek amplitudy na wyjściu badanego wzmacniacza.

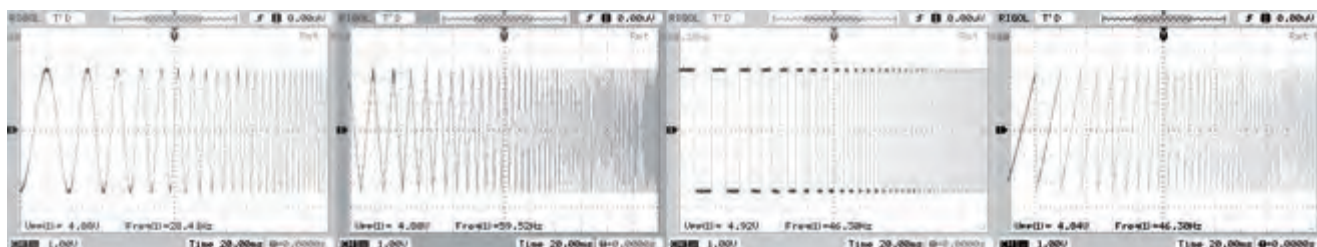
Zdjęcia poniżej przedstawiają uzyskaną w ten sposób charakterystykę przenoszenia prostego wzmacniacza na lampie 6Ż52P z transformatorem głośnikowym TWZ-1-9.

Ponowne naciśnięcie przycisku Sweep powoduje wyłączenie autoprzemiatania i powrót do normalnego trybu pracy generatora.

Przykładowe przebiegi niemodulowane przedstawiono na **rysunku 11**, natomiast przebiegi w trybie autoprzemiatania na **rysunku 12**.

**Tomasz Gumny**  
 tomasz.gumny@ep.com.pl  
**Adam Tatuś**  
 atatus@poczta.onet.pl

*Autorzy artykułu dziękują Tomkowi Drabasowi za przygotowanie tablic do programów dla obu procesorów.*



Rysunek 12. Przykładowe przebiegi modulowane uzyskane z generatora