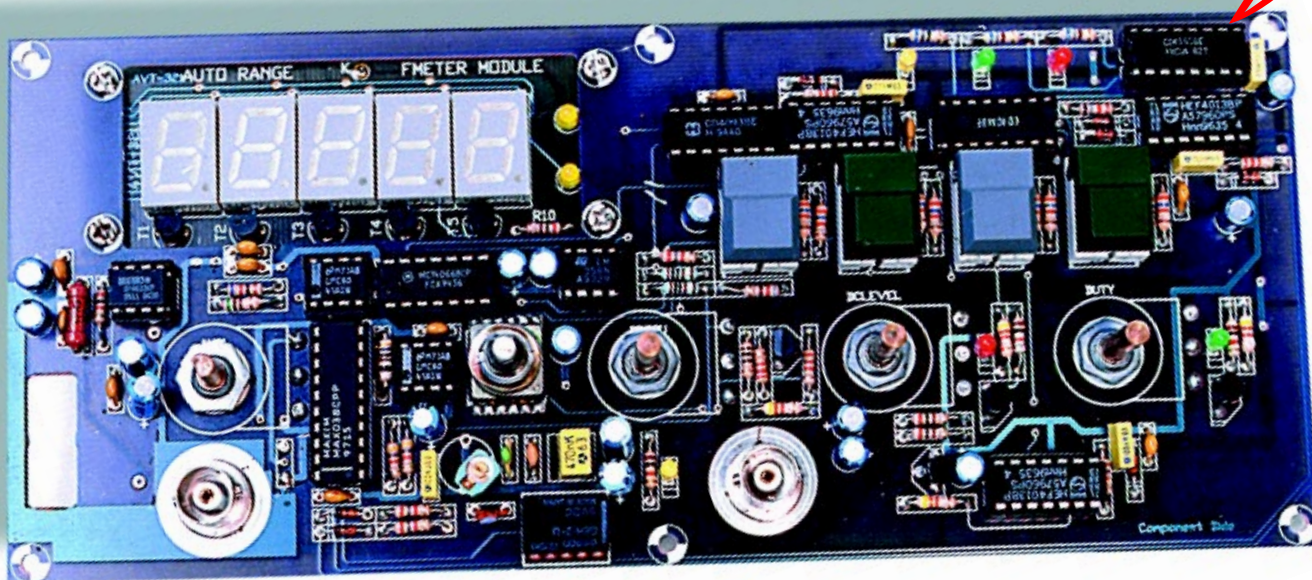


# Generator funkcyjny 10MHz, część 1

## kit AVT-360

**PROJEKT  
Z OKŁADKI**



*Jest to pierwsza część artykułu poświęconego omówieniu konstrukcji nowoczesnego generatora funkcyjnego z układem MAX038. Urządzenie tego typu jest niezbędne w pracowni elektronicznej, czego dowodem jest ogromna popularność kitu AVT-30 i jego pochodnych. W tej części przybliżamy najważniejsze podzespoły zastosowane w generatorze, opisujemy jego możliwości i konstrukcję. Drugą część poświęcimy omówieniu zasad obowiązujących podczas montażu i uruchomienia układu.*

*Jest to pierwszy opis kompletnego urządzenia wykorzystującego układ MAX038, jaki pojawił się w krajowej literaturze i czasopiśmie. Ale nie jest to jedyny powód dla którego warto ten artykuł przeczytać!*

Artykuł rozpocznę od silnego uderzenia się w piersi. Od kilku miesięcy zapowiadaliśmy bowiem publikację (przyczynił się do tego!) artykułu o laboratoryjnym generatorze funkcyjnym, który miał generować sygnały aż do 20MHz. O ile wykonanie takiego generatora nie stanowi obecnie zbyt dużej trudności, to ogromne kłopoty napotkałem podczas projektowania wyjściowego stopnia mocy. Nie chcąc przekładać na kilka kolejnych miesięcy publikacji artykułu prezentującego konstrukcję urządzenia tak bardzo potrzebnego w laboratorium elektronika, zdecydowałem się na niewielką modyfikację projektu - w ten sposób powstał artykuł pod tytułem „Generator funkcyjny 10MHz“.

Nie oznacza to, że „broń“ została złożona. Wady pierwotnej wersji wzmacniacza, wykonanego w technice dyskretnej,

nie są na tyle istotne, aby zarzucić taką koncepcję realizacji stopnia wyjściowego. „Dopieszczenie“ tej konstrukcji pochłonie jednak jeszcze trochę czasu. Przy okazji możliwości kolejnej wersji zostaną nieco powiększone.

Tyle tytułem wstępu, przejdźmy zatem do prezentacji dwóch najważniejszych bohaterów naszego artykułu.

### Podstawowe cechy generatora AVT-360

- ✓ generuje on trzy podstawowe przebiegi funkcyjne: sinusoidę, trójkąt i prostokąt. Dzięki możliwości regulacji współczynnika wypełnienia można uzyskać także przebiegi piłkowsztatne narastające lub opadające,
- ✓ istnieje możliwość regulacji następujących parametrów przebiegu wyjściowego: częstotliwości, amplitudy, składowej stałej, współczynnika wypełnienia (nie dotyczy przebiegu sinusoidalnego),
- ✓ istnieje możliwość zastosowania miernika częstotliwości sygnału wyjściowego, który można wykorzystać także do mierzenia sygnałów zewnętrznych,
- ✓ wzmacniacz wyjściowy jest wyposażony w zabezpieczenie antyzwarciowe.

## Rozważania wstępne

Opracowanie konstrukcji generatora funkcyjnego wymagało rozwiązania dwóch istotnych problemów:

1. W jaki sposób kształtować w bardzo szerokim zakresie częstotliwości sygnał sinusoidalny.
2. Jaki stopień końcowy zastosować, aby uzyskać na jego wyjściu dużą amplitudę sygnału sinusoidalnego bez zniekształceń oraz krótkie czasy narastania zbczy sygnału prostokątnego.

Pierwszy problem wynika z faktu, że standardowe układy aproksymujące (z diodami i dzielnikami napięcia) można zoptymalizować dla niewielkiego zakresu amplitud sygnału wyjściowego i stosunkowo wąskiego zakresu częstotliwości. Problem ten dał się jednak rozwiązać w prosty sposób - alternatywą dla standardowego układu generacyjnego oraz układów formujących przebiegi wyjściowe było zastosowanie scalonego generatora funkcji - układu MAX038 firmy Maxim.

Jego schemat blokowy przedstawiono na rys.1. W strukturze tego układu znajdują się wszystkie elementy niezbędne do wytworzenia przebiegu sinusoidalnego, piłokształtnego (trójkątnego) oraz prostokątnego, w zakresie częstotliwości od ok. 0,01Hz do ponad 20MHz (a nawet 40MHz).

Dzięki przemyślanej konstrukcji układów formujących przebiegi wyjściowe możliwa jest regulacja wypełnienia generowanych przebiegów. Sygnały z wyjść układów formujących podawane są na wejścia multiplexera analogowego i następnie na bufor wyjściowy. Na jego wyjściu otrzymujemy sygnał o kształcie wybranym przy pomocy wejść cyfrowych, oznaczonych A0 i A1 (tab.1). Amplituda sygnału, niezależnie od jego kształtu i częstotliwości, wynosi ok. 2V<sub>pp</sub>.

W strukturze układu MAX038 zintegrowano także źródło napięcia odniesienia (wartość napięcia referencyjnego wynosi 2,5V) oraz detektor fazy, który można wykorzystać jako układ detekcyjny w pętli PLL stabilizującej częstotliwość sygnału wyjściowego. Sygnał z buforowanego wyjścia układu MAX038 wymaga wzmocnienia, aby możliwe było wykorzystanie go w laboratoryjnym generatorze funkcji.

Jednym z najprostszych wyjść jest zastosowanie bardzo szybkiego wzmacniacza operacyjnego z wyjściowym stopniem o dużej mocy. W ten sposób rozwiązujemy drugi z wymienionych problemów.

Oprócz odpowiednio szerokiego pasma przenoszenia wzmacniacz ten powinien charakteryzować się dużą szybkością narasta-

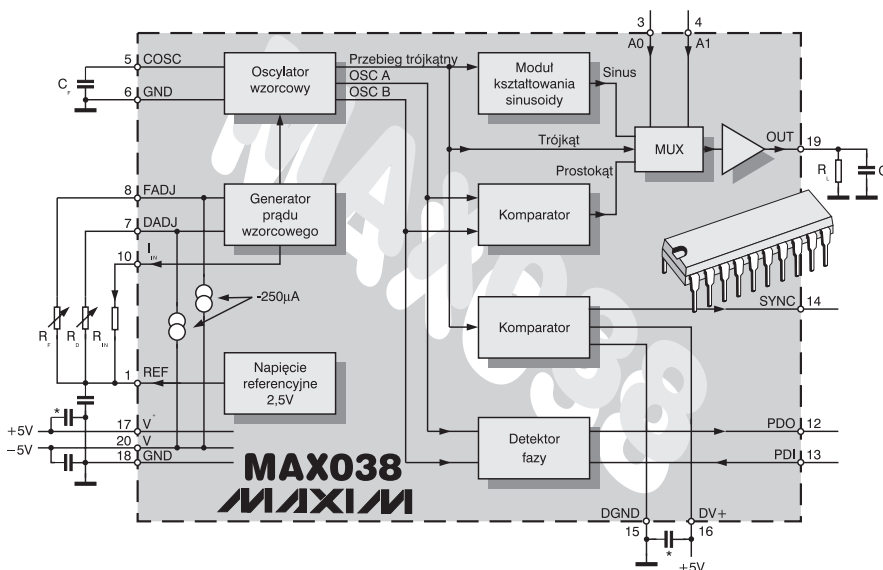
### Parametry i możliwości generatora

- ✓ zakres generowanych częstotliwości: 0,25Hz..10MHz,
- ✓ ilość podzakresów: 5,
- ✓ maksymalna amplituda sygnału wyjściowego: 10V<sub>pp</sub>,
- ✓ zakres regulacji składowej stałej sygnału wyjściowego: -4,8..+4,8V,
- ✓ zakres regulacji współczynnika wypełnienia: 25..75%,
- ✓ impedancja wyjściowa: 50Ω,
- ✓ maksymalny prąd wyjściowy: 100mA,
- ✓ dopuszczalny prąd wyjściowy: 150mA,
- ✓ zalecane napięcie zasilania: 2x15VAC/50W.

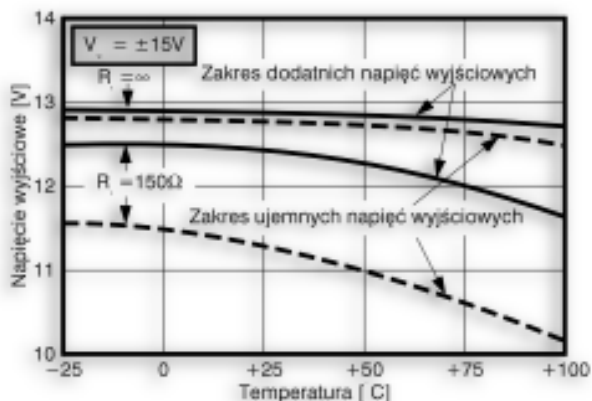
nia sygnału na wyjściu. Ograniczenie szybkości narastania mogłoby spowodować zniekształcenie sygnału prostokątnego przy większych częstotliwościach wyjściowych, co jest niedopuszczalne w przypadku generatorów funkcyjnych.

Po analizie parametrów dostępnych na naszym rynku wzmacniaczy operacyjnych wybór padł na układ OPA603, produkowany przez firmę Burr Brown. Oto najważniejsze motywy takiego wyboru:

- ✗ wydajność prądowa stopnia końcowego tego układu jest bardzo duża (150mA), przy czym zakres zmian napięcia wyjściowego jest bardzo stabilny w funkcji rezystancji obciążenia (rys.2),
- ✗ stopień końcowy wyposażony jest w ogranicznik prądowy, który zabezpiecza go przed uszkodzeniem wywołanym zwarcieniem,
- ✗ wzmacniacz ten ma bardzo dużą szybkość narastania sygnału na wyjściu (min. 1000V/μs), co zapobiega powstawaniu zniekształceń podczas wzmacniania sygnału prostokątnego,
- ✗ układ cechuje stabilne wzmocnienie w bardzo szerokim pasmie częstotliwości, dzięki czemu amplituda napięcia wyjściowego jest niezmienna także dla dużych sygnałów (rys.3),
- ✗ obszar bezpiecznej pracy jest stosunkowo duży (rys.4) - w typowych warunkach termicznych możliwe jest bezpieczne wytracenie w strukturze układu mocy ok. 1,25..1,5W.



Rys. 1. Budowa wewnętrzna układu MAX038.



Rys. 2. Wykres zależności napięcia wyjściowego od obciążenia w funkcji temperatury.

Argumentem, który przeważył szalę podczas podejmowania decyzji o wyborze układu była także jego cena. Wzmacniacz OPA603 okazał się być najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem, spośród układów dostępnych na rynku.

**Opis układu**

Schemat elektryczny generatora przedstawiony został na rys.5. Jest to, jak widać, urządzenie dość rozbudowane i zawiera bardzo wiele podzespołów cyfrowych. Spełniają one przede wszystkim funkcje pomocnicze, a najważniejszym elementem urządzenia jest układ US1.

Jak już wcześniej zasygnalizowano, w jego wnętrzu zintegrowane są wszystkie elementy niezbędne do prawidłowej generacji sygnałów: prostokątnego, trójkątnego i sinusoidalnego. Przełącznik obrotowy Po1 spełnia rolę selektora zakresu generowanych częstotliwości. Przy

jest oznaczone IIN. Prąd ten jest zależny od napięcia na suwaku potencjometra P4. Napięcie to jest buforowane przez wzmacniacz US4, który pracuje w układzie wtórnika napięciowego. Rezystor R12 dobrano tak, aby prąd zasilający wejście IIN mieścił się w granicach dopuszczonych przez producenta.

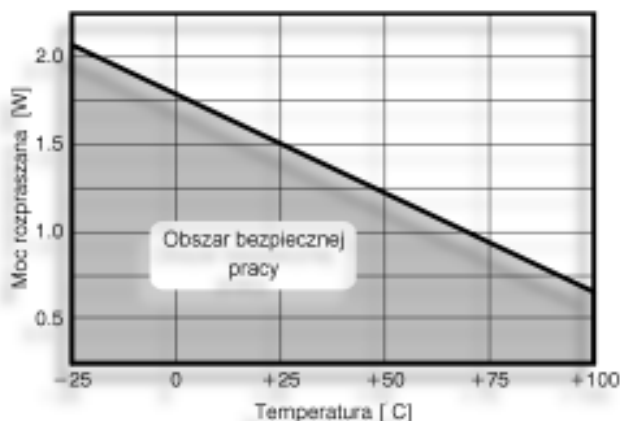
Wypełnienie przebiegu można modyfikować przy pomocy napięcia przykładanego do wejścia DADJ. Ważna jest nie tylko wartość tego napięcia, lecz także jego polaryzacja. Zalecany przez firmę Maxim zakres zmian tego napięcia wynosi ok. -2,3..+2,3V. O ile uzyskanie stabilnego napięcia dodatniego nie stanowi zbytniego problemu (mamy przecież do dyspozycji wysokostabilne źródło napięcia o wartości 2,5V, które znajduje się we wnętrzu układu MAX038), to uzyskanie napięcia ujemnego

**Tabela 1. Tabela prawdy dla wejść A0, A1 układu MAX038.**

Kształt przebiegu	A0	A1
Prostokąt	0	0
Trójkąt	1	0
Sinus	X	1

wymagało zastosowania dodatkowego inwertera (wzmacniacza odwracającego). Jego rolę spełnia wzmacniacz operacyjny US3B, pracujący w konfiguracji odwracającej o wzmacnieniu równym -1V/V (jest ono ustalone przez wartości rezystorów R7/R6). Taką konfigurację wzmacniacza powoduje, że na jego wyjściu otrzymujemy napięcie o wartości bardzo bliskiej napięciu wejściowemu, lecz o odwróconej polaryzacji.

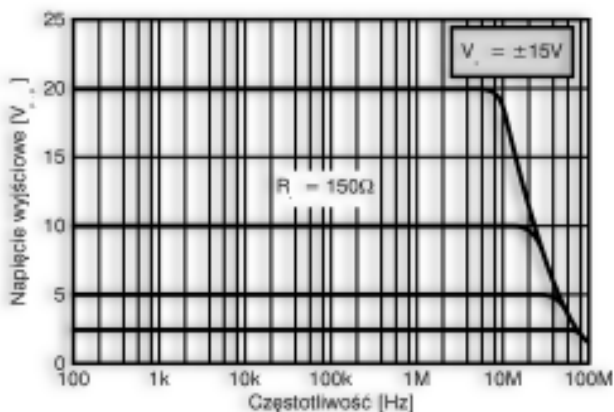
Potencjometr P1 wraz z rezystorami R8, R9 włączony jest więc



Rys. 4. Obszar SOAR dla układu OPA603.

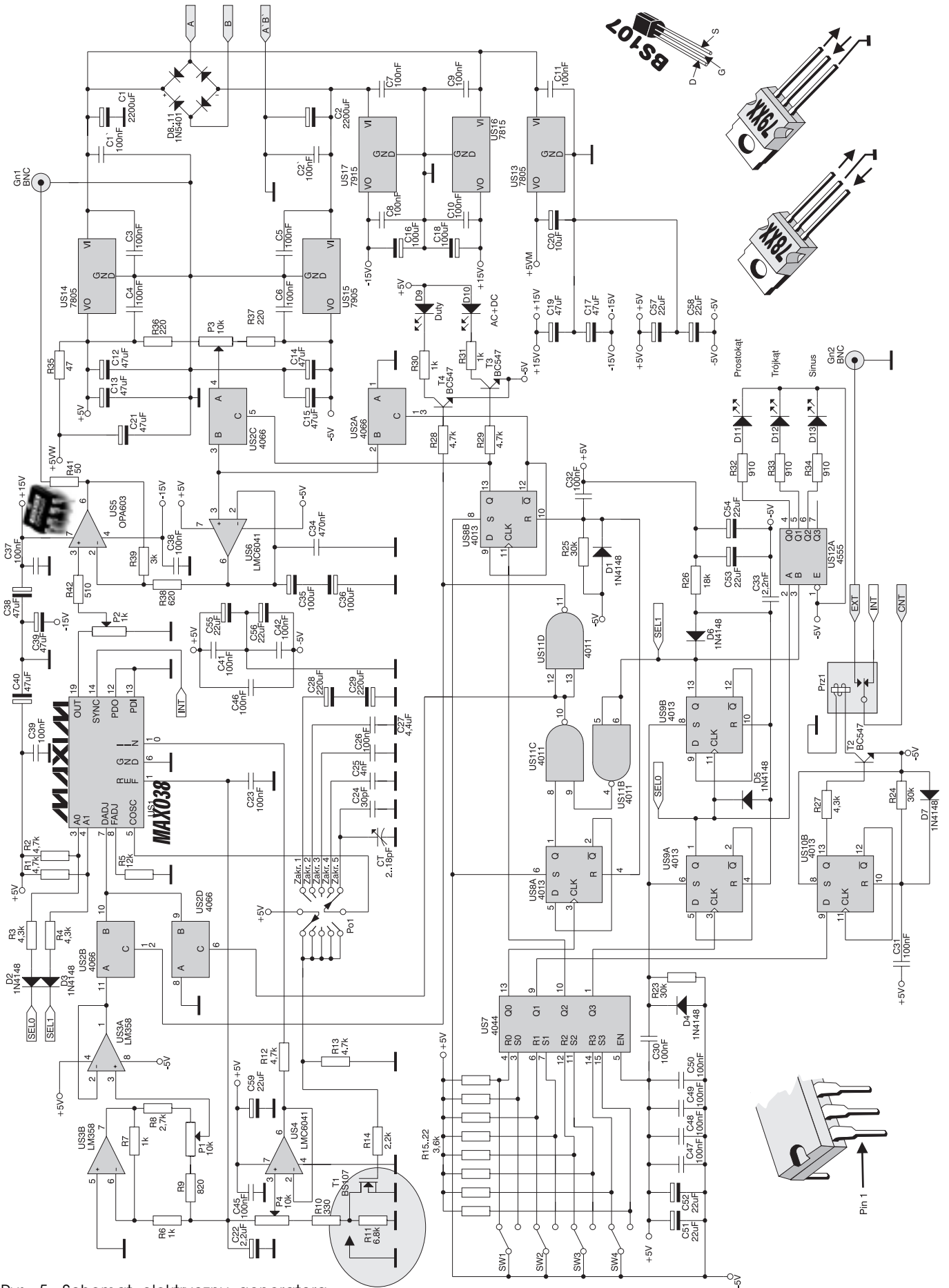
między potencjały -2,5V i +2,5V (względem masy układu), umożliwiając płynną zmianę wartości napięcia na suwaku P1. Wzmacniacz US3A pracuje jako wtórnik napięciowy, a jego zadaniem jest zmniejszenie impedancji wyjściowej źródła zasilającego wejście DADJ.

Jak widać na schemacie elektrycznym z rys.5, napięcie z wyjścia wtórnika US3A podawane jest na wejście DADJ poprzez klucz analogowy US2B. Klucz ten wraz z US2D, spełnia rolę multipleksera analogowego, który umożliwia sterowanie wejścia DADJ napięciem regulowanym (co powoduje zmianę współczynnika wypełnienia) lub zwierania to wejście do masy. Zasto-

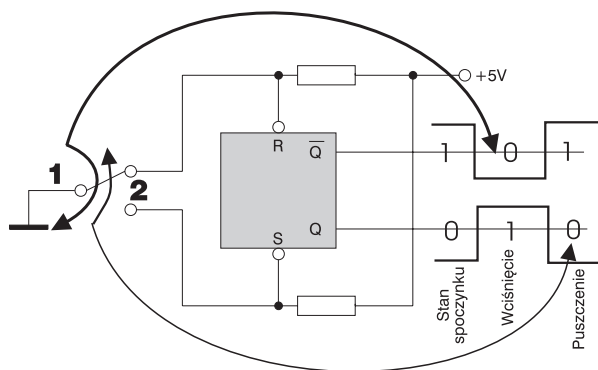


Rys. 3. Wykres zależności amplitudy napięcia wyjściowego od częstotliwości.





Rys. 5. Schemat elektryczny generatora.



Rys. 6. Działanie przetrzutników tłumiących drgania styków.

sowanie takiego rozwiązania jest konieczne, ponieważ regulacja wypełnienia nie zawsze jest wykorzystywana podczas prac laboratoryjnych, a w przypadku korzystania z sygnałów sinusoidalnych jej wpływ jest wręcz szkodliwy.

Odpowiednie sterowanie pracą tych kluczy umożliwia prosty układ logiczny, składający się z: bramek NAND US11B, US11C, US11D i przetrzutnika US8A. Bramki tworzą układ logiczny zapobiegający możliwości włączenia regulatora wypełnienia wtedy, gdy wybrano jako przebieg wyjściowy sinusoidę. Działanie tej części układu polega na wykrywaniu stanu „1” na wyjściu US9B i blokowaniu bramki US11C przez poziom „0” z wyjścia bramki US11B.

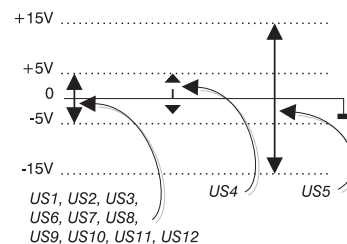
O kształcie generowanego przebiegu decydują stany logiczne wejść A0 i A1 układu US1 (tab.1). Wejścia te sterowane są z wyjść przetrzutników US9A i US9B. Przerzutniki skonfigurowano jako dwójki liczące połączone kaskadowo. Uzyskano w ten sposób 2-bitowy licznik liczący w cyklu 0..2.

W chwili pojawienia się stanu 3 (czyli jedynek na wyjściach Q US9A i US9B) obydwie przetrzutniki są zerowane. Detekcja stanu 3 oraz zerowanie przetrzutników jest możliwe dzięki zastosowaniu bramki logicznej AND, wykonanej z dwóch diod impulsowych - D5 i D6. Rezystor R26 umożliwia pojawienie się logicznej „1” na wejściach zerujących przetrzut-

ników US9A i US9B. Kondensator C33 powoduje, że po włączeniu zasilania licznik US9A/B ustawia się zawsze takim samym stanie.

Układ US12A jest dekodernem 2-bitowego kodu dwójkowego na 1 z 4. Jego wyjścia zasilają diody świecące D11..13 sygnalizując, jaki przebieg w danej chwili jest

generowany. Wejścia adresowe tego układu są dołączone do wyjść Q licznika US9A/B. Rezystory R32..34 ograniczają prąd



Rys. 7. Sposób zasilania układów scalonych generatora.

płynący przez diody świecące D11..13.

Wejścia A0 i A1 układu US1 nie są sterowane bezpośrednio z wyjść licznika US9A/B. Wynika to z faktu, że na są one przystosowane do sterowania poziomami logicznymi zgodnymi

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

- P1, P3, P4: 10kΩ/A
- P2: 1kΩ/A
- R6, R7, R30, R31: 1kΩ
- R1, R2, R13, R28, R29: 4,7kΩ
- R3, R4: 4,3kΩ
- R5: 12kΩ
- R8: 2,7kΩ
- R9: 820Ω
- R10: 330Ω
- R11: 6,8kΩ
- R12: 4,7kΩ
- R14: 2,2kΩ
- R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22: 3,6kΩ
- R23, R24, R25: 30kΩ
- R26: 18kΩ
- R27: 4,3kΩ
- R32, R33, R34: 910Ω
- R35: 47Ω
- R36, R37: 220Ω
- R38: 620Ω
- R39: 3kΩ
- R41: 50Ω
- R42: 510Ω

### Kondensatory

- C1', C2', C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C23, C30, C31, C32, C37, C38, C39, C41, C42, C45, C46, C47, C48, C49, C50: 100nF
- C12, C13, C14, C15, C17, C19, C21, C38, C39, C40: 47μF/25V
- C1, C2: 2200μF/35V
- C16, C18, C35, C36: 100μF/25V
- C20: 10μF/25V
- C22: 2,2μF/16V
- C24: 30pF

- C25: 4,7nF
- C26: 100nF
- C27: 4,4μF (2,2μF+2,2μF)
- C28, C29: 220μF/10V
- C33: 2,2nF
- C34: 470nF
- C51, C52, C53, C54, C55, C56, C57, C58, C59: 22μF
- CT: 2..18pF trymer

### Półprzewodniki

- D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: 1N4148
- D9, D10, D11, D12, D13: LED φ3 lub φ5
- D8, D9, D10, D11: 1N5401
- T1: BS107
- T2, T3, T4: BC547
- US1: MAX038CPP
- US2: 4066
- US3: LM358
- US4, US6: LMC6041
- US5: OPA603
- US7: 4044
- US8, US9, US10: 4013
- US11: 4011
- US12: 4555
- US13, US14: 7805
- US15: 7905
- US16: 7815
- US17: 7915

### Różne

- Gn1, Gn2: BNC50 (przykręcane do obudowy)
- Po1: Mikrostyki
- Prz1: Przekaznik G6H-2-U Omron (lub podobny)
- SW1, SW2, SW3, SW4: mikroprzełączniki

**Tabela 2. Częstotliwości sygnału wyjściowego w podzakresach.**

Zakres	Częstotliwość minimalna [Hz]	Częstotliwość maksymalna [Hz]
1	0,25	10
2	10	250
3	250	10k
4	10k	250k
5	250k	10M

ze standardem TTL (napięcia z zakresu 0..+5V), a wszystkie układy w cyfrowej części przyrządu są zasilane napięciem -5/+5V.

Aby zapobiec możliwości uszkodzenia obwodów wejściowych US1 zastosowano proste obwody ograniczające prąd wejść A0 i A1. Podstawowym elementem tego zabezpieczenia są rezystory R3 i R4. Rezystory R1, R2 „podciągają” wysoki poziom logiczny na wejściach A0 i A1 do wartości wymaganej dla poprawnej pracy układu US1.

Licznik US9A/B, podobnie jak i pozostałe przerzutniki D, sterowany jest impulsami zegarowymi z wyjść czterech przerzutników typu RS znajdujących się w układzie US7. Zadaniem tych przerzutników jest likwidacja ciągu impulsów generowanych przez styki przełączników, które powstają zawsze podczas ich przełączania. Sposób działania tych przerzutników wyjaśniono na rys.6.

Przerzutnik US10B pracuje w układzie dwójki liczącej. Z jego wyjścia sterowana jest baza tranzystora T2 i w konsekwencji przekaźnik Prz1. Przekaźnik spełnia rolę przełącznika wejść dla miernika częstotliwości - dzięki niemu można wybrać, czy mierzona będzie częstotliwość przebiegu podawanego na gniazdo BNC Gn2, czy też częstotliwość generowanego sygnału.

Przerzutnik US8B pracuje także w konfiguracji dzielnika przez 2. Z jego wyjść sterowane są dwa klucze analogowe US2A i US2C, które powodują włączenie lub wyłączenie układu regulacji składowej stałej. Wartość napięcia składowej stałej można zmienić przy pomocy suwaka potencjometra P3, który poprzez bramkę analogową US2C i wtór-

nik napięciowy US6 wpływa na poziom napięcia stanowiącego punkt masy pozornej wzmacniacza wyjściowego US5. Kondensatory C34..36 zwierają składową zmienną napięcia pojawiającego się w tym punkcie do rzeczywistej masy zasilania. Jeżeli rezygnujemy z regulacji składowej stałej bramka US2C zostaje zablokowana, a wejście wtórnika US6 zwiera do masy otwarta bramka US2A.

Z wyjścia Q przerzutnika US8B jest sterowany także tranzystor T3, który spełnia rolę bufora prądowego zasilającego diodę świecącą D10 (jej świecenie sygnalizuje włączenie regulacji składowej stałej).

Sygnał z wyjścia US1 jest podawany na wejście stopnia końcowego poprzez regulator poziomu, którego rolę spełnia potencjometr P2. Wzmocnienie stopnia końcowego wynosi ok. 5V/V, co pozwala osiągnąć na jego wyjściu sygnał o amplitudzie 10V<sub>pp</sub>. Rezystor R41 ogranicza prąd wyjściowy i zapewnia zgrubne dopasowanie impedancji wyjściowej wzmacniacza do impedancji wyjściowego gniazda BNC, które oznaczono Gn1.

Zasilacz generatora jest dość rozbudowany. W jego skład wchodzi następujące elementy:

- mostek prostowniczy z diodami D8..11,
- stabilizatory ±5V (układy US14 i US15),
- stabilizatory ±15V (układy US16 i US17),
- stabilizator +5V, zasilający opcjonalny moduł pomiaru częstotliwości.

Kondensatory C1 i C2 spełniają rolę głównego filtra tętnień, pozostałe kondensatory montowane pomiędzy biegunami zasilania zapewniają stabilne zasilanie dla części cyfrowej i analogowej generatora. Rys. 7 może być pomocny w analizie sposobu rozproszania zasilania do poszczególnych układów scalonych.

Rezystor R35 wraz z kondensatorem C21 spełniają rolę filtru usuwającego z linii zasilania impulsy zakłócające, które powstają w wyniku pracy układu buforującego wyjście SYNC US1. Impulsy prostokątne z tego wyjścia wykorzystywane są jako sygnał pomiarowy częstościomierza.

**Uwaga!** Połączenia zaznaczone na schemacie z rys.5 jako etykiety na białych polach, oznaczają połączenia znajdujące się na płytce drukowanej. Nie poprowadzono ich na schemacie ze względu na jego czytelność.

Funkcje elementów zaznaczonych na schemacie elektrycznym (rys.5) szarym polem omówimy w drugiej części artykułu.

**Piotr Zbysiński, AVT**