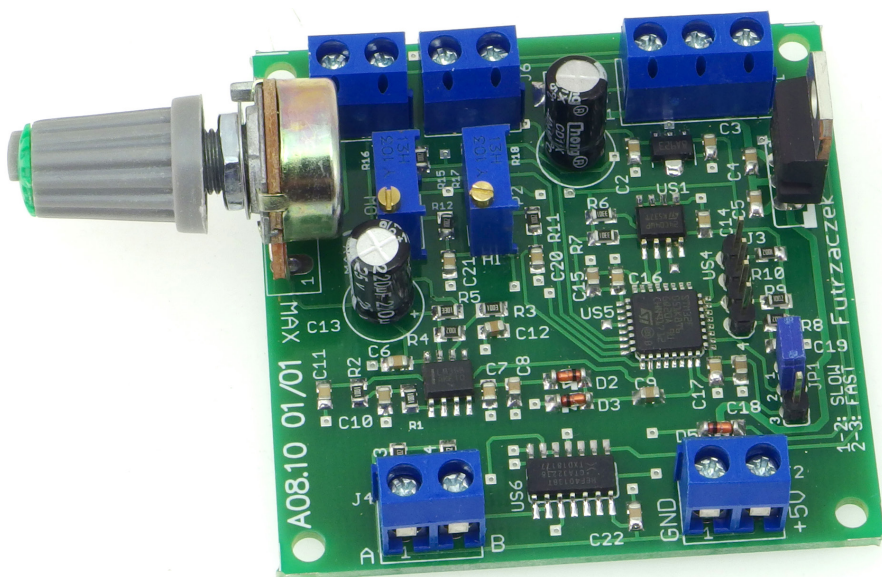


# Cyfrowy generator sygnału sinusoidalnego

Większość prostych generatorów sygnału sinusoidalnego jest realizowana w sposób analogowy, np. z użyciem mostka Wiena. Rodzi to jednak problemy ze stabilnością amplitudy i częstotliwości sygnału. W przedstawionym układzie synteza sygnału odbywa się na drodze czysto cyfrowej, więc jego parametry są precyzyjnie ustalone.



Dodatkowe materiały do pobrania ze strony [www.media.avt.pl](http://www.media.avt.pl)

**W ofercie AVT\* AVT-5742**

#### Podstawowe parametry:

- generacja sygnału sinusoidalnego o częstotliwości z zakresu 1 Hz...10 kHz,
- częstotliwość zadawana przyciskami lub enkoderem,
- możliwość zawężenia zakresu regulacji zarówno od góry, jak i od dołu,
- amplituda z zakresu 0...1,8 V regulowana potencjometrem,
- zerowa składowa stała napięcia wyjściowego,
- zapamiętywanie ustalonej częstotliwości,
- wbudowany stabilizator napięcia 5 V,
- zasilanie napięciem stałym 8 V...20 V.

#### Projekty pokrewne na [www.media.avt.pl](http://www.media.avt.pl):

AVT-5709	Generator przebiegu prostokątnego 10 kHz...33 MHz (EP 8/2019)
AVT-5684	Cyfrowy generator sygnału prostokątnego 1 Hz...499 kHz (EP 7/2019)
AVT-5665	Generator cyfrowy (EP 3/2019)
AVT-1993	Kieszonkowy generator funkcyjny (EP 8/2018)
AVT-3111	Cyfrowy generator DDS z układem AD9850 - DDS wg SQ5RWQ (SR 9/2014)
AVT-5418	Cyfrowy generator sygnału prostokątnego (EP 10/2013)
AVT-1728	Generator HF z powielaniem częstotliwości (EP 3/2013)
AVT-1569	Generator akustyczny 20 Hz...20 kHz (EP 5/2010)
AVT-1474	Generator fali prostokątnej o regulowanym współczynniku wypełnienia (EP 8/2008)
AVT-5124	Generator funkcyjny DDS (EP 2/2008)
AVT-2846	Generator funkcyjny 0,1 Hz...20 MHz (Edw 11/2007)
AVT-1436	Generator zegarowy 1 kHz...30 MHz (EP 8/2006)
AVT-2764	Częstościomierz i generator na PC (Edw 9/2005)
AVT-2633	Generator impulsów (Edw 6/2002)
AVT-1327	Mini-generator funkcyjny (EP 10/2001)

#### Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

##### Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-om (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kitu w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A\*] - płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja

##### Wersja [UK] - zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: [kity@avt.pl](mailto:kity@avt.pl).

Opisany układ może z powodzeniem służyć jako niedroga alternatywa dla prostych generatorów sygnału sinusoidalnego. Umożliwia dokładne ustalenie częstotliwości, więc można nim np. zdejmować charakterystyki częstotliwościowe układów działających w paśmie akustycznym.

Nie posiada wbudowanego wyświetlacza, lecz każdy współczesny oscyloskop cyfrowy, który i tak jest niezbędny podczas wykonywania pomiarów, może go z powodzeniem zastąpić.

## Budowa

Schemat ideowy układu pokazano na rysunku 1. Można w nim wydzielić trzy części: cyfrową (sterującą), analogową (sygnałową) i zasilającą. W części cyfrowej, głównym podzespołem jest mikrokontroler typu STM32F051K8T6, który posiada jedno, bardzo istotne peryferium - wbudowany przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC), który umożliwia wytworzenie sygnału analogowego o wysokiej jakości, ponieważ dysponuje 12-bitową rozdzielczością.

Mikrokontroler komunikuje się z zewnętrzną pamięcią EEPROM za pomocą interfejsu I<sup>2</sup>C. Linie danych (SDA) oraz zegara (SCL) muszą być podciągnięte do dodatniej linii zasilania przez rezystory, które umożliwiają uzyskanie wysokiego stanu logicznego. Przyciski sterujące można podłączyć do złącz J5 i J6. Ich wciskanie będzie powodowało, odpowiednio, zwiększanie oraz zmniejszanie częstotliwości wyjściowej.

Rezystory R16 i R18 służą do ochrony wejść mikrokontrolera przed uszkodzeniem, które mogą wywołać wyładowania elektrostatyczne. Po pierwsze, ograniczają prąd diod zabezpieczających owe wejścia. Ponadto, po uwzględnieniu niezerowej pojemności wejściowej wyprowadzenia, zwiększają czas narastania napięcia, co pozwala diodom na wejście w stan przewodzenia.

Przy użyciu zworki JP1 można wybrać tryb pracy układu: „wolny” lub „szybki”. „Wolny” polega na jednokrotnej reakcji układu (zmianie o 1 Hz) przy każdym zwarceniu zacisków złącza J5 lub J6. Z kolei, tryb „szybki” umożliwia płynną zmianę częstotliwości po dłuższym przytrzymaniu. Tryb „wolny” może zostać użyty do sterowania układem przy użyciu enkodera. Do złącza J4 należy dołączyć

REKLAMA

Specjalistyczne szkolenia dla elektroników i automatyków

**TECHDAYS**

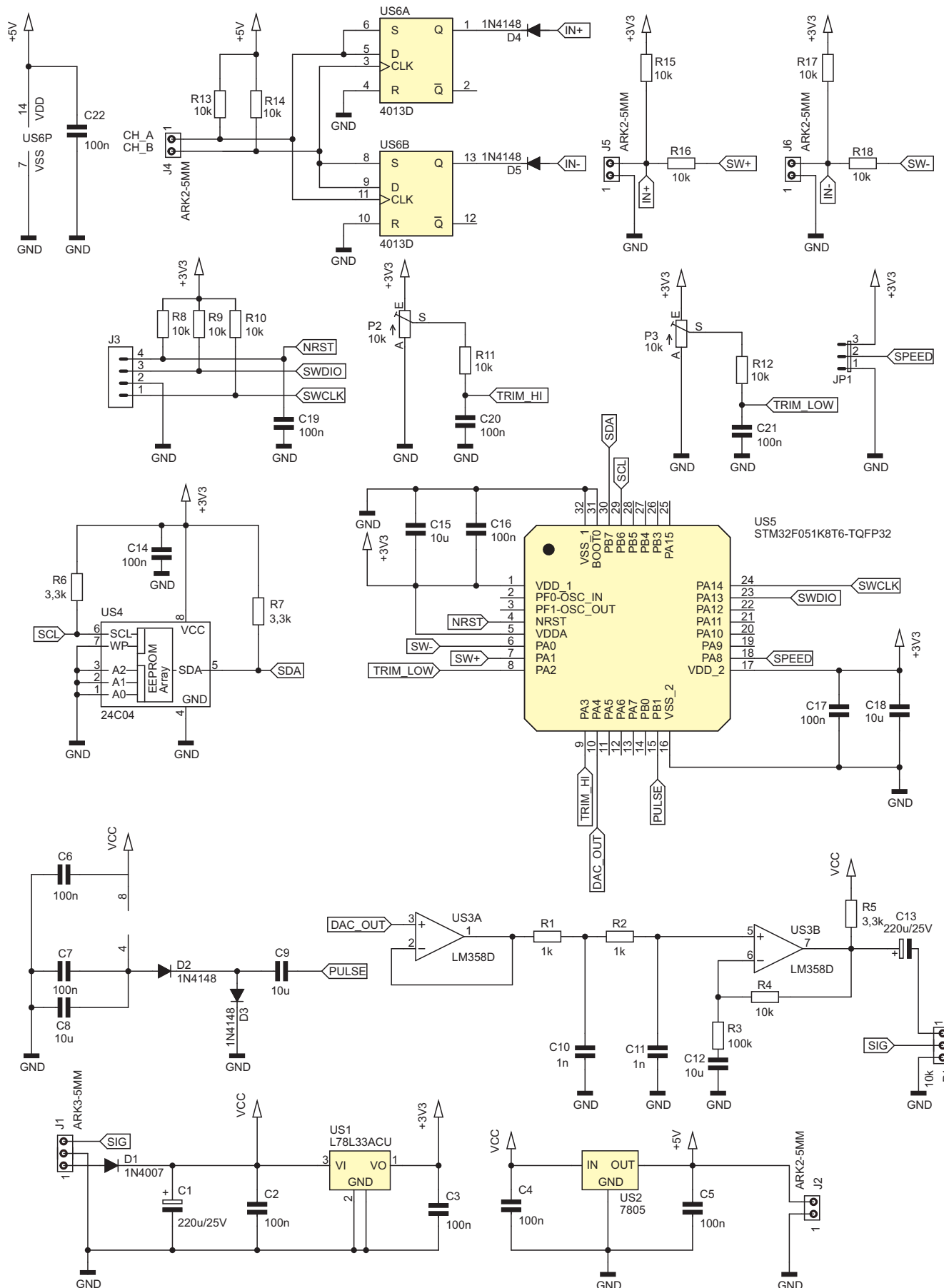
[techdays@techdays.pl](mailto:techdays@techdays.pl)  
TECHDAYS.PL

CERTYFIKOWANY PARTNER SZKOLENIOWY  
life augmented

jego wyjście kwadraturowe. Układ złożony z dwóch przerzutników typu D ma za zadanie rozpoznać kierunek obrotu jego osi

i wygenerować sygnały odpowiadające wciśnięciu przycisków. Tryb „szybki” jest z kolei przydatny do sterowania układem przy

użyciu przycisków monostabilnych. Dłuższe zwarcie zacisków spowoduje samoczynną zmianę częstotliwości.

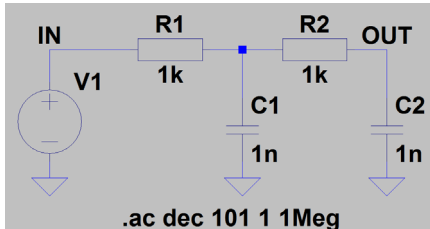


Rysunek 1. Schemat ideowy układu

Stanem aktywnym na wyjściu przerzutników D jest stan niski, toteż sprzęgnięto je z pozostałą częścią układu za pomocą diod 1N4148. Jeżeli układ sterowany jest przyciskami, potencjał katod tych diod wynosi +5 V i pozostają one stale zatkane. W momencie obracania enkodermem, katody są okresowo ściągane do potencjału 0 V, co otwiera diody i umożliwia mikrokontrolerowi rozpoznanie niskiego stanu logicznego – potencjał anody wynosi wtedy ok. 0,7 V, zaś próg napięcia interpretowanego jako logiczne „0” to około 1 V.

Na płytce zostały umieszczone dwa wieloobrotowe potencjometry montażowe, które służą zawężeniu dostępnego zakresu regulacji. Ich położenie jest odczytywane przy użyciu wbudowanego w mikrokontroler 12-to bitowego przetwornika ADC. Napięcie wchodzące na przetwornik podlega odfiltrowaniu z zakłóceń przy użyciu prostego układu RC. Jego zadaniem jest również zawężenie pasma dla szumu, przez co ustalona wartość nie fluktuuje.

Wyjście przetwornika cyfrowo-analogowego posiada znaczącą impedancję. Z tego powodu, przed filtrem regeneracyjnym trzeba wstawić wtórnik napięciowy, który ją zmniejszy. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie wzmacniacza operacyjnego typu LM358, gdyż jego parametry są całkowicie do tego wystarczające.



Rysunek 2. Schemat symulacyjny filtra dolnoprzepustowego

#### Wykaz elementów:

##### Rezystory:

R1, R2: 1 kΩ SMD0805  
R3: 100 kΩ SMD0805  
R4, R8...R18: 10 kΩ SMD0805  
R5...R7: 3,3 kΩ SMD0805  
P1: 10 kΩ jednoobrotowy liniowy 16 mm THT  
P2, P3: 10 kΩ wieloobrotowy montażowy THT

##### Kondensatory:

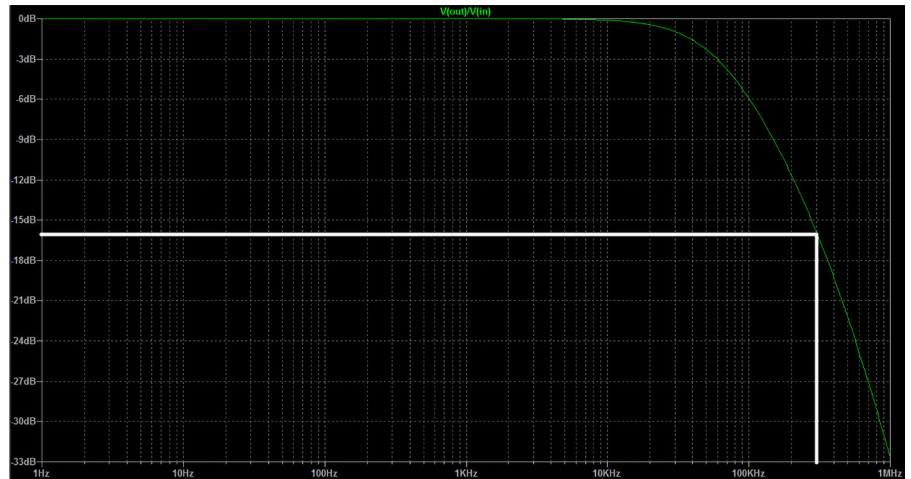
C1, C13: 220 μF/25 V THT raster 3,5 mm  
C2...C7, C14, C16, C17, C19...C22: 100 nF/50 V SMD0805  
C8, C9, C12, C15, C18: 10 μF/10 V SMD0805  
C10, C11: 1 nF SMD0805

##### Półprzewodniki:

D1: 1N4007 MELF  
D2...D5: 1N4148 MiniMELF  
U1: L78L33ACU SOT89  
U2: 7805 TO220  
U3: LM358 S08  
U4: 24C04 S08  
U5: STM32F051K8T6 TQFP32  
U6: CD4013 S014

##### Inne:

J1: ARK3/500  
J2, J4...J6: ARK2/500  
J3: goldpin 4 pin męski THT 2,54 mm  
JP1: goldpin 3 pin męski THT 2,54 mm + zworka



Rysunek 3. Uzyskana w symulacji charakterystyka amplitudowa filtra

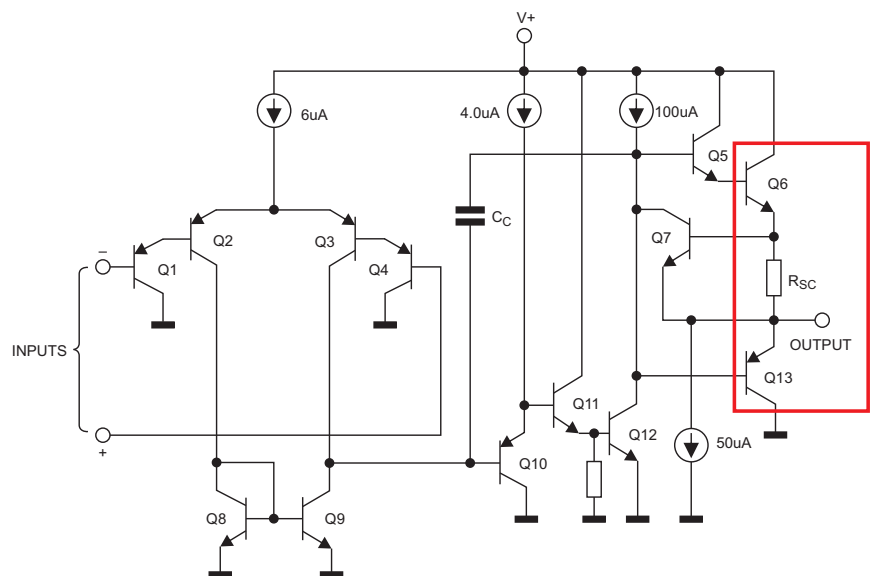
Schemat symulacyjny zastosowanego filtra dolnoprzepustowego znajduje się na **rysunku 2**. Został wykonany w programie Ltspice. Wyjście wtórnik można zamodelować jako niemal idealne źródło napięciowe, zaś wejście następnego stopnia jako rozwarcie (brak obciążenia), co zostało uczynione. Na **rysunku 3** widoczny jest wynik symulacji. Do 10 kHz charakterystyka jest niemal idealnie płaska, co jest pożądane w generatorze sygnałowym – raz ustawiona amplituda nie będzie ulegała zmianom przy regulacji częstotliwości. Grubą linią zaznaczono częstotliwość próbkowania, czyli 300 kHz. Zadaniem filtra (oraz następnych stopni) jest jak najsilniejsze stłumienie tej składowej oraz jej harmonicznych. Tutaj widać, że tłumienie dla tej częstotliwości to ok. 16 dB.

Za filtrem jest prosty wzmacniacz nieodwracający, zbudowany na drugiej połowce układu LM358. Jego wzmacnienie wynosi 1,1 V/V, stąd tak nieczęsto spotykane wartości rezystorów R3 i R4 – zazwyczaj są one zamienione. Kondensator C12 sprzęga dolne wyprowadzenie R3 z masą układu dla

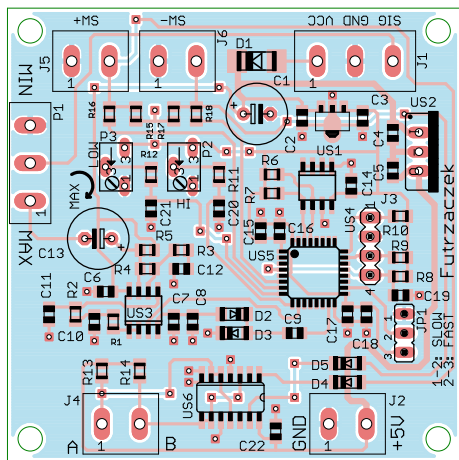
składowej zmiennej, dzięki czemu ten obwód w ogóle ma wzmocnienie, a jednocześnie nie zależy ono od poziomu składowej stałej w sygnale wejściowym. Składowa stała jest natomiast definitywnie usuwana przez kondensator elektrolityczny C13. Jego obciążeniem jest potencjometr P1, którym można płynnie regulować amplitudę sygnału.

Dociekliwy Czytelnik może w tym miejscu zwrócić uwagę na rezystor R5, którego jedynym zadaniem w tym układzie jest pozornie niepotrzebne obciążenie wyjścia układu US3B. Ma on bardzo ważne zadanie – stale polaryzuje jeden z tranzystorów wyjściowych stopnia końcowego we wzmacniaczu operacyjnym, którego schemat wewnętrzny jest widoczny na **rysunku 4**. Zapewniając dopływ prądu z dodatniej linii zasilania powoduje on, że tranzystor Q13 jest stale otwarty, ponieważ „wsysa” ten prąd emiterem. Zapobiega to powstawianiu w tym miejscu zniekształceń skrośnych.

Bez tej dodatkowej polaryzacji, uzyskiwana sinusoida miała nieprawidłowy przebieg w okolicy przejścia przez zero, co było



Rysunek 4. Schemat ideowy układu LM358 z zaznaczonym stopniem wyjściowym (źródło: nota katalogowa Texas Instruments)



Rysunek 5. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

spowodowane znalezieniem się wartości chwilowej sygnału w strefie nieczułości wyjściowego wtórnika komplementarnego. W obecnej sytuacji, praktycznie cały czas pracuje wyłącznie tranzystor Q13, lecz to nie jest przeszkodą, gdyż nad utrzymaniem niskiego poziomu zniekształceń czuwa pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Z tym schematem związana jest jeszcze jedna, rzadko wspomnianą cechą układu typu LM358. O ile napięcie wejściowe może być równe potencjałowi ujemnej linii zasilającej, o tyle stopień wyjściowy już tego zapewnić nie może. Nawet nasycając w pełni tranzystor Q12, potencjał emitera Q13 musi być o około 0,7 V wyższy od potencjału jego bazy, więc minimalne napięcie wyjściowe będzie o tyle wyższe od potencjału ujemnej linii zasilającej.

Wtórnik US3A nie mógłby pracować poprawnie, gdyby jego zacisk GND dołączono do masy, gdyż zakres napięć wyjściowych przetwornika C/A wynosi od 0 V do 3,3 V. Został w tym celu dodany prosty generator napięcia ujemnego, w którym główną rolę odgrywa mikrokontroler. Jeden z jego liczników (TIM14) służy do wytwarzania ciągłego sygnału prostokątnego o częstotliwości 50 kHz i wypełnieniu 50%. Dwu-diodowy układ wytwarza napięcie ujemne o wartości około -2 V, co jest w zupełności wystarczające do prawidłowej pracy wszystkich obwodów wzmacniacza operacyjnego.

Układ jest przystosowany do zasilania napięciem stałym o wartości z przedziału 8...20 V. Jako stabilizatory niezbędnych napięć – czyli 3,3 V oraz 5 V – zostały użyte układy liniowe, gdyż pobór prądu jest niewielki. Napięcie 5 V zostało przewidziane, przede wszystkim, na potrzeby enkoderów optycznych, gdyż takowe są przystosowane głównie do niego, np. 62AG22-L5-P firmy Grayhill.

Dodatnia linia zasilająca wzmacniacz operacyjny jest pobierana wprost z napięcia zasilającego układ. Dzięki temu, ma on bardzo duży margines między maksymalnym napięciem wyjściowym a zasilającym.

### Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 60×60 mm, której wzór ścieżek oraz schemat montażowy pokazano na rysunku 5. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe. Wszystkie podzespoły, które wchodzi w skład tego układu, są montowane po stronie wierzchniej (TOP). Przeważającą część stanowią elementy w obudowach przystosowanych do montażu powierzchniowego, więc od nich polecam rozpoznać lutowanie.

Jedyną czynnością uruchomieniową, jakiej wymaga ten układ, jest zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera używając do tego specjalnie przeznaczonego złącza J3. Znajdują się na nim wyprowadzenia interfejsu SWD, ułożone według kolejności pokazanej w tabeli 1. Należy w tym celu zasilić płytkę napięciem stałym o wartości z przedziału 8...20 V, podłączając zasilacz do odpowiednich zacisków złącza J1. Pobór prądu nie przekracza 30 mA.

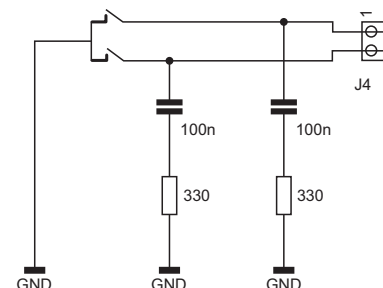
### Eksplotacja

Na płytce znajduje się zworka JP1, która umożliwia wybranie jednego z dwóch trybów pracy:

- 1-2: Tryb wolny. Jednokrotne zwarcie zacisku SW+ lub SW- powoduje zmianę częstotliwości o 1 Hz. Użyteczny przy sterowaniu enkoderem, gdyż jeden krok enkodera przekłada się na skok o 1 Hz,
- 2-3: Tryb szybki. Jednokrotne zwarcie SW+ lub SW- zmienia częstotliwość o 1 Hz, a dłuższe przytrzymanie powoduje samoczynną zmianę częstotliwości. Im dłużej zwarte jest wejście, tym szybciej zmienia się częstotliwość. Użyteczny przy sterowaniu przyciskami, podłączonymi do J5 i J6.

Potencjometry wieloobrotowe pozwalają na zawężenie zakresu regulacji: P2 „od góry”, zaś P3 „od dołu”. Działają one niezależnie od siebie, a regulacja ta odbywa się liniowo w funkcji kąta obrotu ich osi. Sprawdzenie, czy aktualnie ustawiona częstotliwość nie wychodzi poza ograniczenia, odbywa się po zwarceniu wejścia SW+ lub SW-. Potencjometr P2 pozwala na ustawienie maksymalnej częstotliwości równej 10 kHz – obracając jego oś w kierunku

Numer wyprowadzenia	Nazwa linii
1	SWCLK
2	GND
3	SWDIO
4	NRST



Rysunek 6. Przykładowy filtr RC poprawiający pracę enkodera mechanicznego

zaznaczonym na płytce jako MAX – lub zmniejszenie jej do nawet 2 kHz. Z kolei, przekręcając oś P3 w kierunku MAX można zwiększyć częstotliwość minimalną do 100 Hz. W pozycji minimalnej, wynosi ona 1 Hz.

Amplituda wyjściowego napięcia sinusoidalnego może być płynnie regulowana potencjometrem P1. Z tego powodu rezystancja wyjściowa układu ulega zmianie: od niemal zera w skrajnych pozycjach, do około 5 kΩ w środkowym położeniu ślizgacza.

Wyprowadzenia sygnałowe enkodera inkrementalnego należy podłączyć do złącza J4. Jeżeli jest to enkoder mechaniczny, zawierający elementy stykowe, może być konieczne dodanie do jego wyprowadzeń układów RC. Przykładowe rozwiązanie takich filtrów znajduje się na rysunku 6. Enkoder optyczny nie będzie wymagał takich dodatków, gdyż zmianom stanów wyjść nie towarzyszą niepożądane oscylacje.

Na zaciski złącza J2 zostało wyprowadzone stabilizowane napięcie o wartości 5 V. Może ono służyć np. do zasilania obwodów enkodera optycznego. Obciążając je większym prądem, należy mieć na uwadze nagrzewanie się układu US2, do którego należy wówczas dodać radiator.

Pamięć EEPROM, w której przechowywane są informacje na temat ustawionej częstotliwości, ma ograniczoną liczbę cykli zapisu i odczytu. Z tego powodu, zapis do niej odbywa się po dwóch sekundach od ostatniej zmiany częstotliwości.

Michał Kurzela, EP