



#### Podstawowe parametry:

- płynna regulacja wzmacnienia dwóch kanałów toru audio od całkowitego stłumienia do +10 dB,
- płynna regulacja balansu,
- płynna regulacja wzmacnienia tonów niskich oraz wysokich, z możliwością ich wypuklenia oraz wytłumienia,
- układ wykonany na tanich, łatwo dostępnych podzespołach,
- zasilanie pojedynczym napięciem w zakresie 12...30 V,
- pobór prądu około 10 mA.

\* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączonej płytce drukowanej (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 wylutowane w płytce PCB),
  - wersja [A] – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.
- Kity, w których występuje układ scalony wymagają zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A-1] – płytka drukowana [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 stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: [kity@avt.pl](mailto:kity@avt.pl)

W ofercie AVT\*  
**AVT5975**

# Regulator barwy dźwięku, głośności i balansu

*Zadaniem tego układu jest modyfikowanie dźwięku w naszym zestawie audio. Za jego pomocą można zarówno płynnie regulować głośność, jak i balans między kanałami. Do tego można w bardzo prosty sposób zmieniać wzmacnienie zarówno wysokich, jak i niskich tonów. Gratka dla melomanów, którzy lubią eksperymentować z brzmieniem!*

Pomimo stosowania cyfrowych procesorów dźwięku, moda na regulację w pełni analogową nie przemija. Wielu fanów muzyki chce ingerować w brzmienie swojego zestawu audio przy użyciu zwykłych pokręteł – takich, jakie były w sprzętach sprzed dekad. Obecne rozwiązania, mimo iż bardzo precyzyjne i atrakcyjne wizualnie, jak na przykład sterowanie equalizerem z poziomu kolorowego ekranu dotykowego – mają tyle samo zwolenników co przeciwników.

Ten układ umożliwia regulację głośności, balansu między kanałami oraz zawartości niskich i wysokich tonów w taki sposób, w jaki odbywało się to w dawnym sprzęcie audio. Czy to rozwiązanie jest gorsze, czy też lepsze od swojego cyfrowego odpowiednika, to już zależy od osobistych preferencji. Na pewno dużą zaletą tego układu jest dobra dostępność wszystkich podzespołów potrzebnych do jego budowy – wzmacniacze operacyjne, rezystory, kondensatory i potencjometry, żądanych specjalizowanych układów scalonych czy drogich mikrokontrolerów!



## Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Wejściowy sygnał audio, który chcemy przetwarzać, podaje się na zaciski złącza J1. Jego obciążeniem, zarówno dla składowej zmiennej, jak i ewentualnej składowej stałej, jest ścieżka oporowa podwójnego potencjometru. Już na samym wejściu dokonuje się regulacja głośności tym właśnie potencjometrem, tutaj też można całkowicie wyciszyć dźwięk.

Ślizgacze potencjometru P1 stanowią wyjście sygnału dla następnych stopni. Ponieważ układ jest zasilany pojedynczym napięciem stałym, zaś sygnał audio ma naturę bipolarną, konieczna była separacja składowej

stałej między wejściem a dalszymi członami układu. Zajmują się tym kondensatory C1 i C2, których pojemność jest na tyle duża, że nie mają istotnego wpływu na charakterystykę przenoszenia układu w jej części możliwej do usłyszenia. Wraz z rezystorami R1 i R2, które polaryzują te kondensatory potencjałem równym połowie napięcia zasilającego, tworzą filtr górnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia... 22 mHz. Nie ma szans, by taki filtr wpływał na dźwięk w słyszalny sposób.

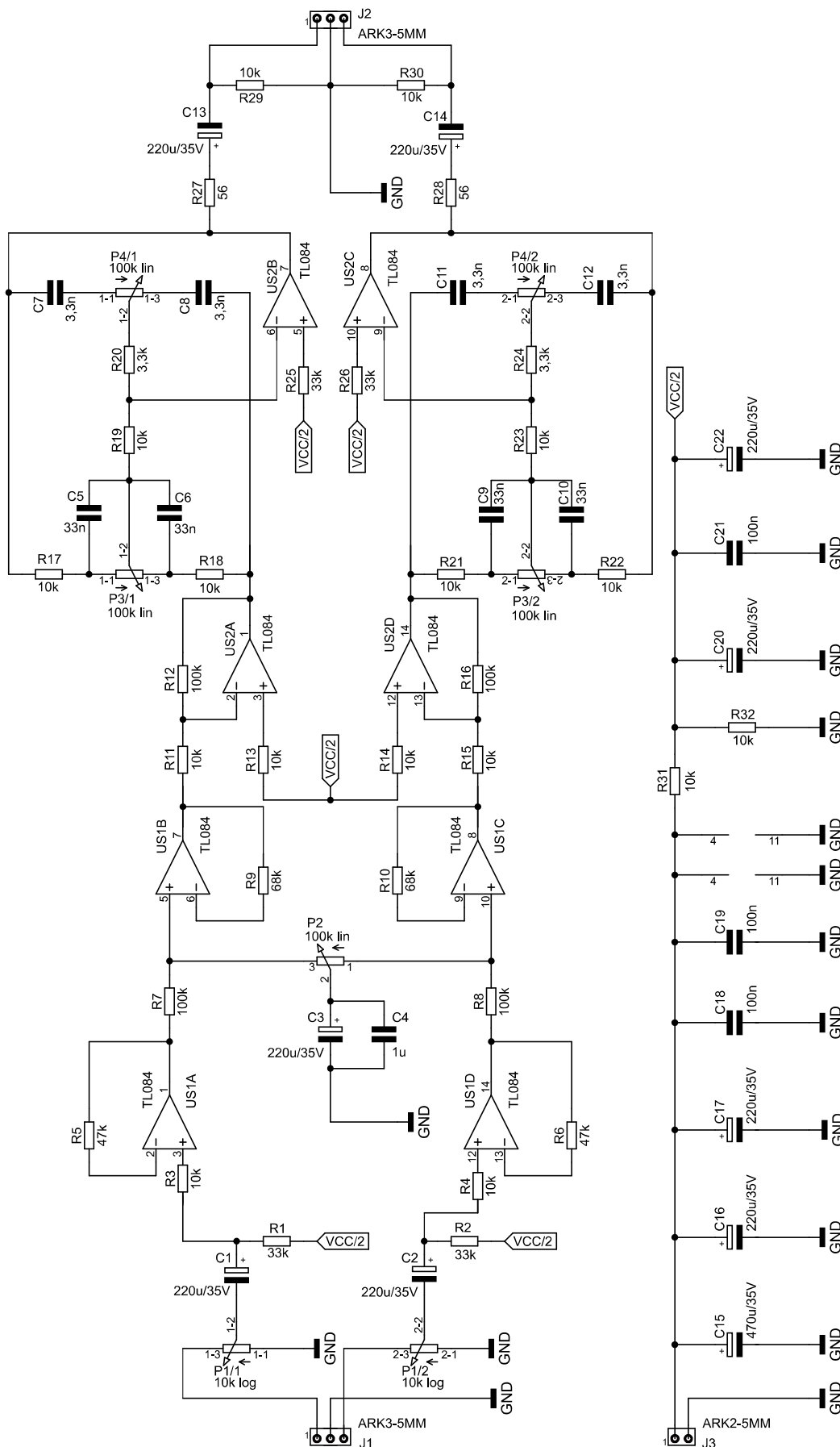
Tak duża wartość rezystorów R1 i R2 wynika również z jeszcze jednego faktu: stanowią one obciążenie dla składowej zmiennej sygnału audio podawanego na wejście, czyli zaciski złącza J1. Chcemy, aby charakterystyka

regulacji potencjometrem była możliwie zbliżona do logarytmicznej, zaś te rezystory ją odkształcają. Dlatego ważne jest, by stosunek ich rezystancji do rezystancji

ścieżek oporowych potencjometru P1 był możliwie wysoki.

Mając sygnał dźwiękowy z nadaną nową składową stałą, warto byłoby ustabilizować

impedancję wewnętrzną jego źródła. Jest to bardzo proste do zrobienia – wystarczy użyć wtórników napięciowych. Zostały zrealizowane na wzmacniaczach operacyjnych



Rysunek 1. Schemat ideowy układu regulatora audio

US1A i US1D. Rezystory R3 i R4 ograniczają prąd płynący przez bramki tranzystorów stopni wejściowych, gdyby na wejście został przyłożony impuls napięcia o wartości szczytowej większej od połowy napięcia zasilającego. Z kolei rezystory R5 i R6 kompensują wpływ wejściowych prądów polaryzujących tranzystory stopni wejściowych wzmacniaczy operacyjnych. Wprawdzie TL084 ma na swoich wejściach tranzystory unipolarne (FET), toteż ten problem nie jest znaczący, lecz ktoś może chcieć zastosować w swoim układzie inny rodzaj wzmacniaczy operacyjnych, na przykład bardzo tanich LM324. Ich wejścia są obsługiwane przez tranzystory bipolarne, w których natężenie prądów baz stopni wejściowych jest już niemożliwe do zaniedbania, a w każdym razie zaniedbywać się go nie powinno.

Po nadaniu składowej stałej o znanej i pożądanej wartości oraz zredukowaniu impedancji wewnętrznej źródła sygnału niemal do zera sygnał przechodzi przez układ regulacji balansu. Jego budowa jest bardzo prosta: potencjometr P2 oraz rezystory R7 i R8 tworzą dzielnik napięcia. Ślizgacz potencjometru P2 jest (dla składowej zmiennej) zwarty z masą dzięki kondensatorom C3 i C4, więc jego potencjał nie ulega zmianom. Jeżeli ślizgacz znajduje się na środku ścieżki oporowej, wówczas każdy z wcześniej wymienionych rezystorów jest obciążony rezystancją 50 k $\Omega$ , co wprowadza do obu torów sygnału tłumienie około 10 dB. Skręcenie ślizgacza w któreś ze skrajnych położeń tłum jedną gałąź do całkowitego wyciszenia (zwarcie sygnału przez kondensatory do masy), zaś w drugiej wprowadza tłumienie 6 dB z racji obciążania rezystora 100 k $\Omega$  (R7 lub R8) rezystancją równą 100 k $\Omega$  (cała ścieżka oporowa potencjometru P2).

Za regulatorem balansu można znaleźć wtórnik napięciowy na wzmacniaczach operacyjnych US1B i US1C. Rezystory R9 i R10 kompensują wpływ prądów polaryzujących bramki tranzystorów wejściowych – każde z wejść nieodwracających jest sterowane przez rezystancję składającą się z równoległego połączenia rezystancji 100 k $\Omega$  (z wyjścia poprzedniego stopnia) i 200 k $\Omega$  (szeregowe połączenie rezystancji P2 i rezystora wyjściowego drugiego wtórnik). Ma to na celu ustabilizowanie impedancji sterującej następnym stopniem, bowiem jest nim wzmacniacz

odwracający, którego rezystancja wejściowa jest równa 10 k $\Omega$ . Wzmocnienie tego stopnia wynosi, co do wartości bezwzględnej, 10 V/V, czyli 20 dB. Pozwala to na uzyskanie wzmocnienia całego urządzenia wyższego od 0 dB, jak również niweluje częściowo wpływ następnego – i zarazem ostatniego stopnia – który wprowadza tłumienie (podobnie jak regulator balansu) i odwraca fazę.

O czym mowa? Dotychczas korekcja charakterystyki przenoszenia nie była wspomniana ani słowem, więc warto w końcu się z nią zabrać. To ostatni stopień toru sygnałowego w tym układzie. Pozwala na modyfikowanie wzmocnienia zarówno niskich tonów (potencjometrem P3), jak i wysokich – używając do tego potencjometru P4. Podwójne potencjometry zastosowane w tym miejscu pozwalają na uzyskanie współbieżnej regulacji w obu kanałach. Ewentualne nierównomierności między ich sekcjami nie będą drastycznie odczuwalne, bowiem ludzkie ucho jest słabo wyculone na niewielkie rozbieżności w charakterystykach częstotliwościowych między lewym i prawym kanałem toru audio.

Impedancja wyjściowa tego stopnia jest bliska zeru, więc można z niego sterować następnym urządzeniem bez konieczności stosowania dodatkowych wtórników. Kondensatory elektrolityczne C13 i C14 odcinają składową stałą, która była dotychczas utrzymywana w całym torze sygnałowym, zaś rezystory R29 i R30 odpowiadają za prawidłową polaryzację tych kondensatorów. Zadaniem R27 i R28 jest dopasowanie impedancji wyjściowej układu do impedancji charakterystycznej kabla ekranowanego łączącego bloki audio. Unika się w ten sposób

również ryzyka (trudnego do okiełznania) wzbudzenia się wzmacniaczy operacyjnych przy obciążeniu ich wyjść znaczącą pojemnością długiego przewodu.

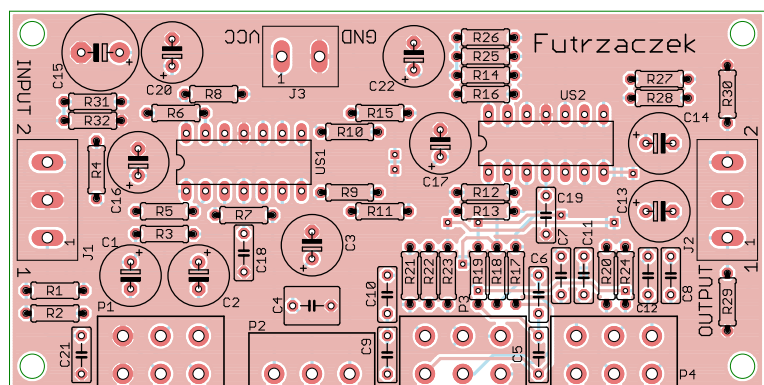
Na koniec opisu schematu ideowego trzeba uwzględnić źródło potencjału równego połowie napięcia zasilającego układ. Jest nim dzielnik rezystancyjny, który składa się z R31 i R32. Kondensatory C20...C22 filtrują to napięcie i w możliwie dużym stopniu eliminują z niego składową zmienną.

## Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 100×50 mm. Jej schemat został pokazany na rysunku 2. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów, których w tym układzie znajduje się całkiem pokaźna liczba. Pod układy scalone US1 i US2 proponuję zastosować podstawki, aby ułatwić ich wymianę w razie ewentualnego uszkodzenia lub na potrzeby własnych eksperymentów brzmieniowych. W pełni zmontowany układ można zobaczyć na fotografii 1.

Poprawnie zmontowany układ jest gotowy do działania bez dodatkowych czynności uruchomieniowych. Do zasilania powinno służyć napięcie stałe o wartości z przedziału 12...30 V. Pobór prądu przez układ słabo zależy od napięcia zasilającego i wynosi około 10 mA – bez doprowadzonego sygnału i bez obciążonych wyjść. Zasilanie układu podłącza się do zacisków złącza J3, trzeba przy tym pamiętać o prawidłowej polaryzacji.



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

**Wykaz elementów**, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczyńska 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

**Rezystory:** (THT o mocy 0,25 W)

R1, R2, R25, R26: 33 k $\Omega$

R3, R4, R11, R13...R15, R17...R19, R21...R23, R29...R32: 10 k $\Omega$

R5, R6: 47 k $\Omega$

R7, R8, R12, R16: 100 k $\Omega$

R9, R10: 68 k $\Omega$

R20, R24: 3,3 k $\Omega$

R27, R28: 56  $\Omega$

P1: 10 k $\Omega$  podwójny logarytmiczny jednoobrotowy, do obudowy

P2: 100 k $\Omega$  pojedynczy liniowy jednoobrotowy, do obudowy

P3, P4: 100 k $\Omega$  podwójny liniowy jednoobrotowy, do obudowy

**Kondensatory:**

C1...C3, C13, C14, C16, C17, C20, C22: 220  $\mu$ F 35 V raster 3,5 mm

C4: 1  $\mu$ F raster 5 mm MKT

C5, C6, C9, C10: 33 nF raster 5 mm MKT

C7, C8, C11, C12: 3,3 nF raster 5 mm MKT

C15: 470  $\mu$ F 35 V raster 5 mm

C18, C19, C21: 100 nF raster 5 mm MKT

**Półprzewodniki:**

US1, US2: TL084 DIP14 (opis w tekście)

**Pozostałe:**

J1, J2: ARK3/500

J3: ARK2/500

Dwie podstawki DIP14

Co istotne, napięcie to powinno być pozbawione zakłóceń, których źródłem mogą być tanie przetwornice impulsowe lub bardzo ekonomicznie wykonane zasilacze transformatorowe. Z uwagi na konieczność redukcji poziomu tętnień oraz zakłóceń napięcia zasilającego do minimum zalecałbym użycie stabilizatora liniowego do zasilania tego układu.

Z uwagi na występowanie w torze sygnałowym układu kondensatorów elektrolitycznych o znacznych pojemnościach, po włączeniu zasilania trzeba poczekać na ustabilizowanie się potencjałów między ich zaciskami. Układ prototypowy potrzebował nieco ponad minuty na rozgrzanie się, w tym czasie może on nie przenosić sygnału lub go zniekształcać, jak również na wyjściu może pojawić się składowa przejściowa. Z tego powodu zalecam włączanie niniejszego regulatora na samym początku uruchamiania zestawu audio, zaś końcówki mocy na samym końcu – tak jak ma to miejsce w zaleceniach dotyczących eksploatacji każdego innego sprzętu elektroakustycznego.

Potencjometry P1...P4 są rozmieszczone w równomiernych odstępach wynoszących 20 mm, w tym również 20 mm od bocznych krawędzi laminatu. Dla porządku ich role są następujące:

- P1: regulacja głośności, skrajne lewe położenie oznacza wyciszenie;
- P2: regulacja balansu, środkowe położenie jest neutralne, zaś skrajne lewe położenie pozostawia tylko sygnał z wejścia 1;
- P3: regulacja niskich tonów (tak zwany bass), skrajne lewe położenie tłumi niskie tony;
- P4: regulacja wysokich tonów (tak zwany treble), skrajne lewe położenie tłumi wysokie tony.

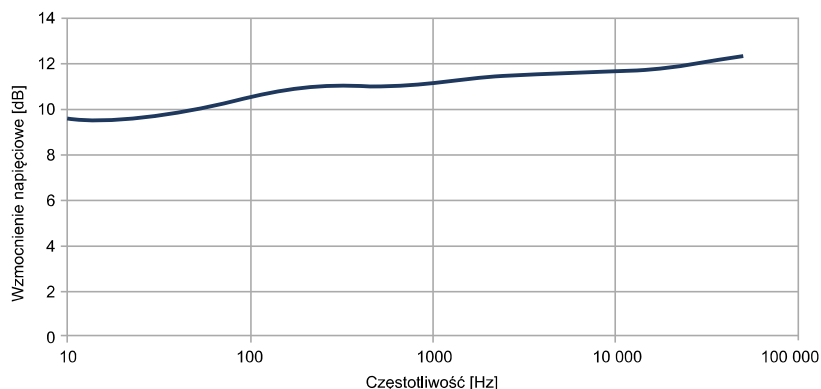
### Eksploatacja

Napięcie zasilające układ rzutuje na maksymalną amplitudę sygnału wyjściowego, jaka może zostać obsłużona bez widocznych zniekształceń. Doświadczenia przeprowadzone w trakcie testów wykazały, że przy napięciu 12 V na wyjściu układu może pojawić się sygnał o wartości międzyszczytowej do 8,5 V. Z kolei przy 24 V ten limit wzrasta do 16,5 V. Mowa jest tutaj jedynie o zniekształceniach nieliniowych, wynikających z „obcinania”, z pominięciem wpływu efektu *Slew Rate*. Na szczęście ten parametr w przypadku TL084 ma wysoką wartość (do 20 V/ $\mu$ s), więc będzie miał szansę być odczuwalny jedynie przy składowych o bardzo wysokiej częstotliwości i amplitudzie.

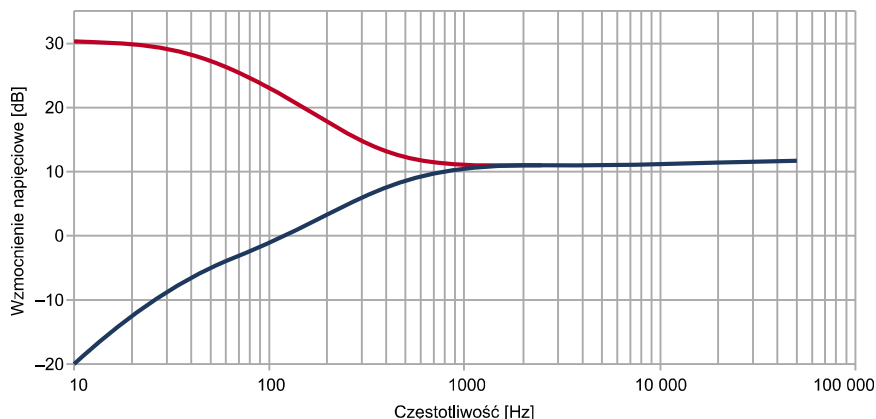
Działający prototyp został przetestowany pod kątem charakterystyki przenoszenia. Wszystkie pomiary były wykonywane przy napięciu zasilającym wynoszącym 12 V oraz z udziałem sygnału wejściowego o wartości międzyszczytowej 100 mV. Sygnał ten miał przebieg



Fotografia 1. Widok zmontowanego układu



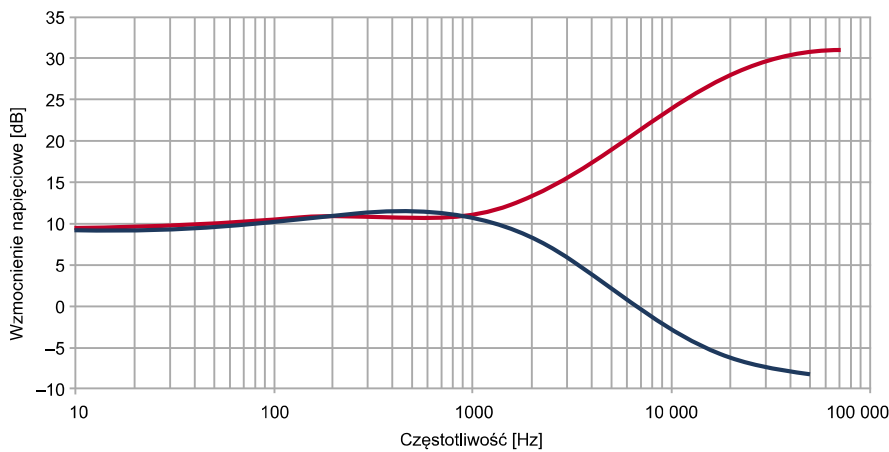
Rysunek 3. Charakterystyka przenoszenia układu przy neutralnym położeniu potencjometrów P2, P3 i P4



Rysunek 4. Charakterystyka przenoszenia układu przy skrajnych położeniach potencjometru P3

sinusoidalnie zmienny, o częstotliwości z zakresu 10 Hz...50 kHz. Wyjście układu było obciążone jedynie sondą oscyloskopu. Badane było tylko jedno wejście i jedno wyjście. Potencjometr P1 był skrócony na maksimum głośności (w prawo).

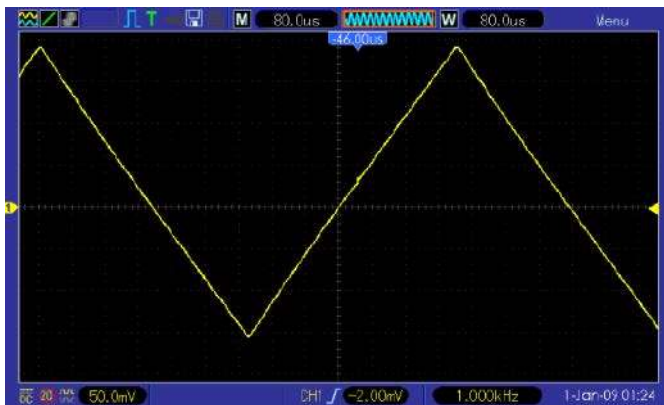
Charakterystykę amplitudową układu przy środkowym położeniu potencjometrów P2, P3 i P4 obrazuje rysunek 3. Wzmocnienie układu wynosi około 11 dB, w przybliżeniu można przyjąć, że z rozrzutem wynoszącym 1 dB od tej wartości przy krańcach



Rysunek 5. Charakterystyka przenoszenia układu przy skrajnych położeniach potencjometru P4

pasma przenoszenia. Jak okaże się dalej, modyfikacje można wprowadzać w naprawdę znaczącym stopniu, więc ten jednodocybelowy odchył łatwo da się skompensować. Charakterystyka nie zawiera istotnych zafalowań, więc ustawienie potencjometrów w połowie umożliwia uzyskanie

niemal przezroczystego przedwzmacniacza. Możliwości regulacji w zakresie niskich tonów można zobaczyć na rysunku 4. Linia czerwona obrazuje przebieg



Rysunek 6. Oscylogram napięcia trójkątnego na wyjściu układu

charakterystyki przenoszenia układu przy skrajnie prawym położeniu potencjometru P3. Możliwe jest podbicie o ponad 20 dB względem poziomu neutralnego, który wynosi

– jak ustalono wcześniej – około 11 dB. Z kolei linia niebieska odzwierciedla przebieg tej charakterystyki przy osi P3 skróconej w lewo, co odpowiada tłumieniu. Jak widać, tłumienie może sięgać około 30 dB. Wpływ tego regulatora zanika dla częstotliwości od 1 kHz wzwyż. P2 i P4 były ustawione w pozycjach neutralnych.

Z kolei wpływ regulacji potencjometrem P4 można zobaczyć na rysunku 5. Kolory linii są takie same, jak na poprzednim wykresie. Skrajnie prawe położenie – podbicie, czyli linia czerwona – umożliwia zwiększenie wzmocnienia nawet o 20 dB, lecz przyjmując 20 kHz jako kraniec pasma akustycznego, wzrost ten może sięgać około 17 dB. Z kolei stłumienie, obrazowane przez linię niebieską, również może sięgać około 17 dB na krańcu pasma częstotliwości słyszalnych.

Na koniec została zbadana charakterystyka fazowa układu poprzez obserwację jakości przenoszenia sygnału trójkątnego. Oscylogram ten znajduje się na rysunku 6. Sygnał o tym kształcie jest bardzo podatny na zniekształcenia wywołane zafalowaniami w charakterystyce fazowej układu, przez który jest przepuszczany. Tutaj takich anomalii nie ma, zatem faza jest odwzorowywana prawidłowo we wszystkich składowych harmonicznym. Częstotliwość wynosiła 1 kHz, wartość międzyszczytowa 100 mV, neutralne położenie potencjometrów P2, P3 i P4.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:

<https://www.ti.com/lit/an/sloa042/sloa042.pdf>

REKLAMA

Czytaj artykuły  
zanim zostaną  
wydane  
w formie  
papierowej

[www.ep.com.pl/EPwtoku](http://www.ep.com.pl/EPwtoku)

