

Eliminator hałasów, część 1

Zagadnienie likwidacji zakłóceń akustycznych, zwanych potocznie hałasem jest problemem, nad którym głowią się całe pokolenia akustyków i konstruktorów urządzeń elektronicznych. W artykule prezentujemy urządzenie, które - jak twierdzi autor działa...

Urządzenie przedstawione w artykule zostało w pełni sprawdzone i przetestowane. Przeznaczone jest przede wszystkim dla tych elektroników - amatorów, których zamiarem jest wykonanie jego kopii, nie zaś majsterkowanie w oparciu o garść informacji i kilka schematów. Jeśli w systemie zostaną zastosowane podane w wykazie elementy mikrofony oraz słuchawki, to całość powinna przynieść bardzo dobre efekty. Użycie innych mikrofonów lub słuchawek nie zapewnia uzyskania podobnych rezultatów.

Parametry urządzenia w dużym stopniu zależne są od jakości zastosowanych mikrofonów i uzyskanie dobrych wyników przy zastosowaniu tanich mikrofonów nie wydaje się możliwe. Jakość słuchawek wydaje się mieć nieco mniejsze znaczenie, ale i one powinny być przyzwoitej klasy.

Wstęp

Należy oczywiście uprzedzić wszystkich potencjalnych użytkowników, że przedstawiane urządzenie nie zapewnia 100% skuteczności tłumienia zakłóceń. Nie pozwoli ono na odsłuch całkowicie wolny od tła akustycznego, ale pracując w trybie zwykłym zapewni dosyć wysokie tłumienie zakłóceń znajdujących się w niższej i średniej części pasma akustycznego.

Trudno jest dokonać precyzyjnych pomiarów skuteczności takiego urządzenia. Szacowane tłumienie zakłóceń wynosi od 20dB do 30dB, inaczej mówiąc amplituda zakłóceń zostaje zredukowana 10-krotnie lub nawet 30-krotnie.

Działanie układu na krańcach pasma akustycznego jest gorsze ze względu na rozbieżności charakterystyk fazowych i amplitudowych mikrofonów i słuchawek. Także w środkowej części pasma, gdzie układ sprawuje się najlepiej, mogą wystąpić pewne nierównomierności tłumienia.

Tryb drugi, to praca urządzenia z bardzo wysoką skutecznością, ale w bardzo wąskim pasmie częstotliwości. Oczywiście tryb ten nie

może być skuteczny w przypadku większości dźwięków dochodzących z otoczenia, natomiast w przypadku np. wiatraczka chłodzącego zasilacz komputera może okazać się rewelacyjny.

Tym razem również trudno jest dokładnie określić stopień tłumienia zakłóceń, jednak przy starannym wykonaniu układu osiągnięcie tłumienia przekraczającego 40dB, dla sygnału o określonej częstotliwości z pojedynczej częstotliwości w środkowej części pasma akustycznego, wydaje się możliwe. Oznacza to co najmniej 100-krotne stłumienie amplitudy.

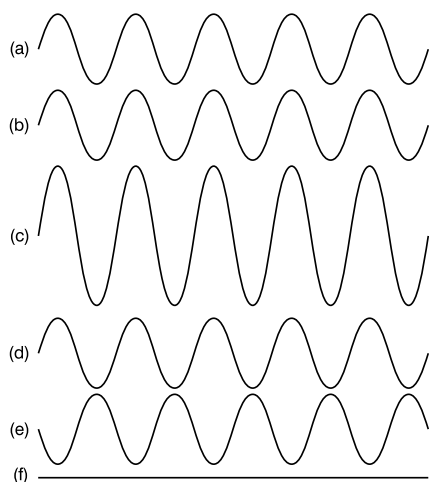
Urządzenie jest wyposażone w wejście stereo i może współpracować z walkmanami, odbiornikiem TV, sprzętem Hi-Fi, itp. Umożliwia więc odsłuch muzyki czy oglądanie programów TV przy obniżonym poziomie zakłóceń.

W odróżnieniu od prymitywnych środków, takich jak stopery do uszu, które nie pozwalają na słuchanie żadnych dźwięków, urządzenie posiada zasadniczą zaletę elektronicznych układów do redukcji zakłóceń - pozwala na słuchanie wszystkich dźwięków, które można do niego wprowadzić w postaci sygnałów elektrycznych.

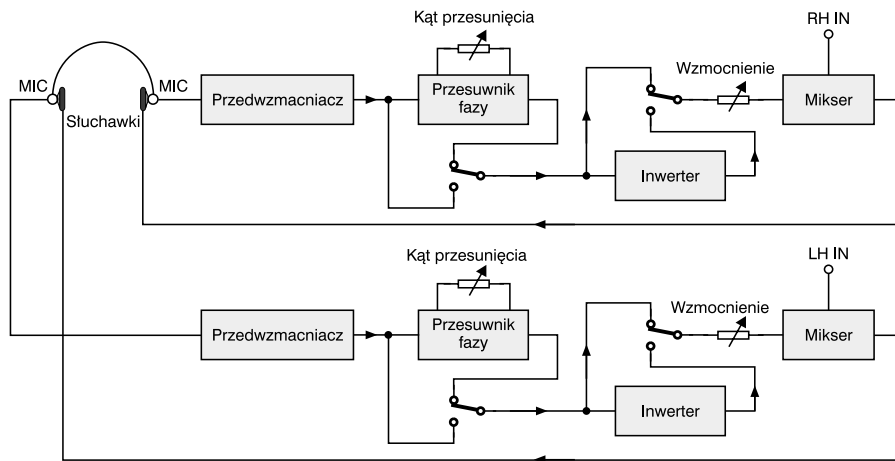
Dwie fazy

System eliminacji zakłóceń wykorzystuje fakt, że będące w przeciwfazie sygnały po dodaniu do siebie dają w wyniku zero. Innymi słowy, urządzenie wytwarza sygnał, którego faza jest przeciwna do fazy zakłócenia - ma taką samą wartość amplitudy, ale przeciwną polaryzację (rys. 1).

Być może termin „polaryzacja” nie został tu użyty w najwłaściwszy sposób, ale chodzi o podniesienie ciśnienia dźwięku, mające na celu przeciwdziałanie jego spadkowi i na odwrót. Wynik dodania do siebie dwóch sygnałów, których amplitudy i fazy są jednakowe, przedstawiony został w górnej części rys. 1, natomiast przypadek równych amplitud i przeciwnych faz - w części dolnej tego rysunku. Nie jest istotne, czy rozważane sygnały są elektryczne czy mechaniczne - skutek



Rys. 1. Dodawanie sygnałów w fazie (a) i (b) prowadzi do powstania sygnału o podwyższonym poziomie (c). Dodawanie sygnałów w przeciwfazie (d) i (e) prowadzi do stłumienia sygnału (c).



Rys. 2. Schemat blokowy eliminatora zakłóceń.

jest zawsze taki sam. Sygnały są dodawane, a więc w przypadku zgodnych faz sygnał będący wynikiem tej operacji ma amplitudę dwukrotnie większą. Sygnały o fazach przeciwnych dają w wyniku zero.

Omawiany przypadek dotyczy prostych przebiegów sinusoidalnych, ale przedstawiana zasada obowiązuje w przypadku przebiegów o dowolnie skomplikowanych kształtach. Jeśli doprowadzi się do tego, że dodawane sygnały będą miały przeciwne fazy i jednakowe amplitudy, w wyniku zawsze uzyskamy zerowy sygnał.

Łatwo w elektronice

Taka metoda eliminacji zakłóceń jest powszechnie stosowana w elektronice i w zakresie częstotliwości akustycznych uzyskanie wysokiego tłumienia nie przedstawia szczególnych trudności. Elektroniczne odwrócenie fazy sygnału i podanie go potem na słuchawki daje żądany efekt. Układ elektroniczny zapewniający inwersję fazy nie przedstawia żadnego problemu technicznego - niektóre wzmacniacze z natury odwracają fazę sygnału.

Wydaje się więc, że wykonanie urządzenia zapewniającego znaczne wytłumienie fali akustycznej nie powinno stanowić problemu. Rzeczywistość nie wygląda jednak aż tak dobrze.

Trudno w akustyce

Uzyskanie wysokiego stopnia wytłumienia fali dźwiękowej nie jest trudne z punktu widzenia elektroniki, trudność sprawia natomiast aspekt akustyczny takiego

przedsięwzięcia. Przetworniki elektroakustyczne nie są doskonałe, ale stosując nowoczesne podzespoły można uzyskać bardzo niski poziom zniekształceń fazy i amplitudy.

Nie ma mikrofonów o idealnie płaskiej charakterystyce częstotliwościowej w całym pasmie akustycznym. Podobnie jest z przetwornikami elektroakustycznymi: słuchawkami i głośnikami, które są przyczyną znacznych zniekształceń amplitudowych, a ich charakterystyka częstotliwościowa w znacznym stopniu odbiega od płaskiej. Zazwyczaj ich charakterystyka fazowa także odbiega od liniowej. Tak więc, mimo że układ elektroniczny może posiadać niemal perfekcyjne własności i być zarazem bardzo prosty, jeśli użyte przetworniki nie będą miały odpowiednio dobrych parametrów, system eliminacji zakłóceń będzie słabej jakości.

Wiele niedrogich słuchawek wydaje się mieć bardzo dobre parametry i sięganie po najdroższe na rynku słuchawki chyba nie ma sensu. Inaczej przedstawia się sprawa w przypadku mikrofonów - wszelkie próby uzyskania wysokiego tłumienia przy użyciu różnego rodzaju tanich mikrofonów zawiodły. Niekiedy nawet nie udawało się zauważyć zmiany poziomu zakłóceń!

Mikrofony zastosowane w omawianym systemie eliminacji zakłóceń są drogie, jeśli jednak ktoś nie jest skłonny zapłacić aż tyle za mikrofony, nie może oczekiwać rozsądnych wyników działania całości. Dobrej jakości mikrofon elektretowy to minimum, przy

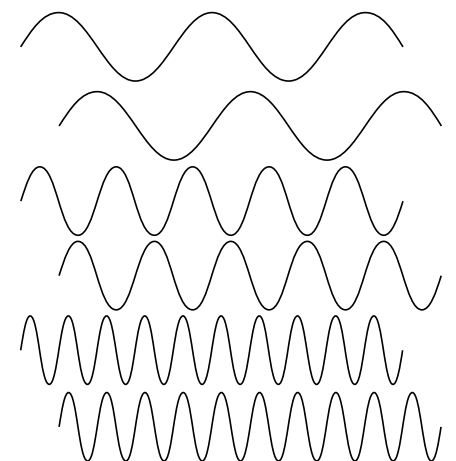
którym można myśleć o przyzwoitym działaniu urządzenia.

Można oczywiście eksperymentować z wszelkimi innymi typami mikrofonów, nawet z tanimi mikrofonami dynamicznymi, w takim przypadku jednak autor nie przyjmuje reklamacji, jeśli urządzenie całkowicie zawiedzie.

Z powodów wyjaśnionych poniżej, mikrofony należy zamontować na słuchawkach. Całość byłaby trudna w eksploatacji, jeśli przy każdym uchu znajdowałby się duży mikrofon. Mikrofony zaproponowane w wykazie elementów są bardzo małe i lekkie, a tylko kable łączące z nimi stanowią główne elementy utrudniające używanie urządzenia.

Problem odległości słuchający-źródło dźwięku

Schemat blokowy eliminatora zakłóceń przedstawia rys. 2. W skład urządzenia wchodzi mikrofony zamocowane do słuchawek. Użycie głośników mogłoby się wydać proste i skuteczne. Byłoby wygodniejsze dla użytkownika, pojawiają się jednak pewne przeszkody natury praktycznej. Użycie słuchawek jest proste i skuteczne. Każde ucho znajduje się w niewielkiej odległości od przetwornika dźwięku. W przypadku zestawów głośnikowych odległość uszu i głośników byłaby znaczna, a dźwięk rozchodzi się w powietrzu z ograniczoną prędkością - w ciągu 3ms przebywa dystans 1m. Nawet w przypadku odległości słuchający - głośniki wynoszącej około 2m różnica między dźwiękiem wytwarzanym przez



Rys. 3. Wpływ opóźnienia na zależność fazową między sygnałami zależy od ich częstotliwości.

głośniki a słyszaniem przez użytkownika byłaby bardzo znaczna. Trzeba pamiętać o tym, że opóźnienie 0,5ms wystarcza, by sygnał o częstotliwości 1kHz zmienił fazę na przeciwną.

Jak wynika z rys. 3, wpływ opóźnienia na relację faz dwóch sygnałów zależy jest od ich częstotliwości. W przypadku przebiegów znajdujących się w górnej części rysunku częstotliwość jest stonkowo niska, a sygnały - mimo opóźnienia - są nadal niemal w zgodnej fazie. W przypadku przebiegów znajdujących się w środkowej części rysunku częstotliwość jest dwukrotnie większa niż poprzednio, a to samo opóźnienie sprawia, że sygnały są w przeciwfazie. W ostatnim przypadku częstotliwość jest również dwa razy większa niż w poprzednim, ale tym razem opóźnienie sprawia, że sygnały są w zgodnej fazie.

W przypadku systemu z głośnikami dźwięki i „antydzwięki“ dla pewnych częstotliwości będą miały fazy zgodne, dla innych zaś - przeciwne. Można wprawdzie zastosować obwód opóźniający, kompensujący opóźnienie wynikające z propagacji dźwięku, ale komplikuje to układ i w praktyce nie zapewnia zadowalających rezultatów.

Jedną z przyczyn jest to, że dźwięki mogą docierać do słuchającego bezpośrednio z głośnika oraz w wyniku odbić od ścian pomieszczenia, sufitu itp. Droga dźwięków odbitych jest dłuższa niż droga dźwięków pochodzących bezpośrednio z głośnika i nie można dokładnie jej określić, a więc faza dźwięków odbitych będzie różnić się od fazy dźwięków dochodzących bezpośrednio w sposób przypadkowy.

Ucho-ucho

Kolejny problem występujący w przypadku zastosowania głośników polega na tym, że dźwięk pochodzący z głośnika dociera do każdego ucha w innej fazie. Różnice faz są zazwyczaj niewielkie, jednak w przedstawianym urządzeniu jest wymagana duża zgodności faz i różnice te mogą być bardzo istotne.

Użycie słuchawek umożliwia wygenerowanie oddzielnego „antydzwięku“ dla każdego ucha, co daje lepsze rezultaty niż podawanie na obie słuchawki tego samego dźwięku. Umieszczając słuchawki i mikrofony bardzo blisko siebie można bardzo dokładnie wygenerować „antydzwięki“, nie uciekając się do stosowania obwodów opóźniających. Aby uniknąć

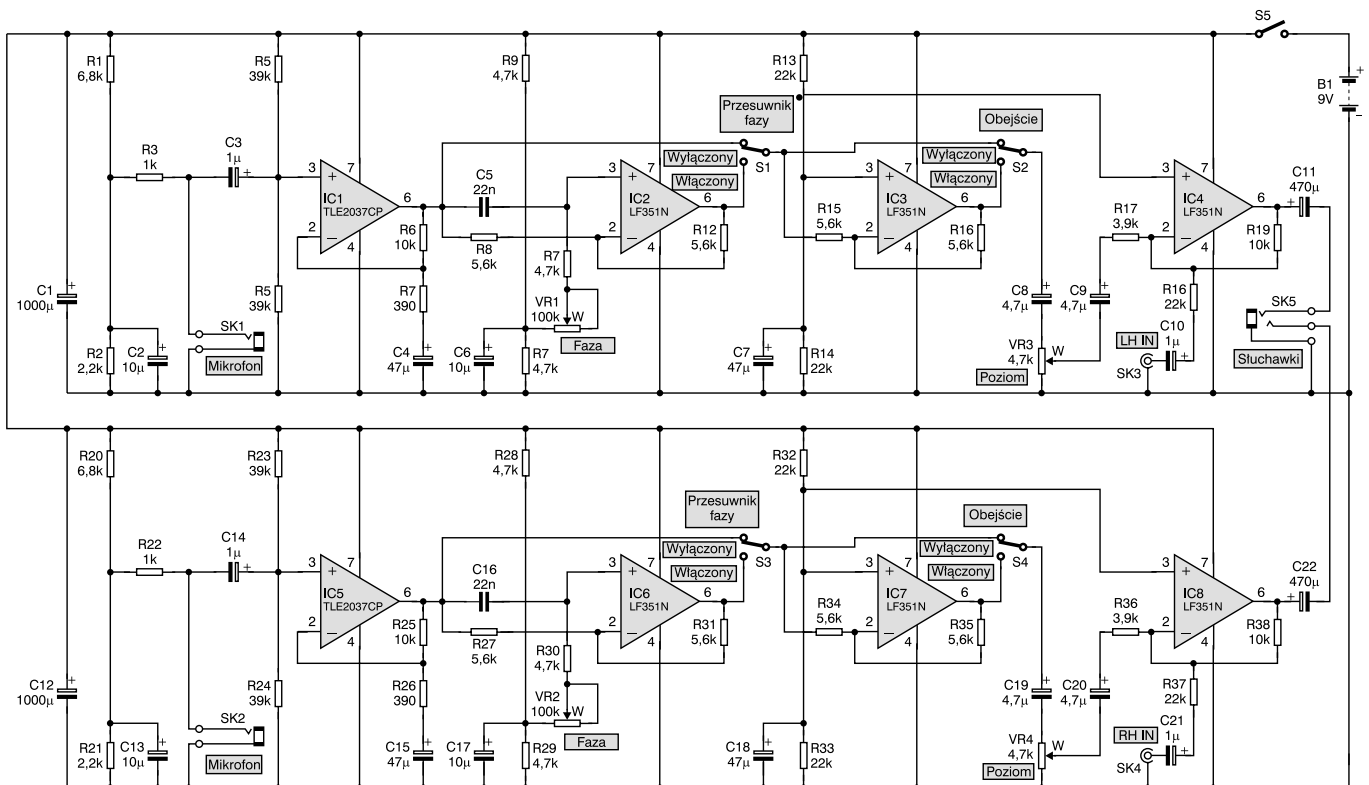
sprzężenia akustycznego i wynikających zeń oscylacji, należy między każdą słuchawką i mikrofonem pozostawić nieco przestrzeni. Wydaje się, że odległości, które należy zachować, są bardzo niewielkie.

Zasada działania

Jak wynika ze schematu przedstawionego na rys. 2, urządzenie zawiera dwa identyczne tory przetwarzania sygnału. Poniższy opis dotyczy więc każdego z nich.

Sygnał wyjściowy mikrofonu ma bardzo niski poziom i należy go wzmocnić wykorzystując niskoszumny przedwzmacniacz. Układ przesuwnika fazowego można wykorzystać do uzyskania pełnej eliminacji w wąskim pasmie częstotliwości regulując kąt opóźnienia fazowego. Jeśli urządzenie pracuje w szerokim pasmie, stopień ten można ominąć.

Kolejny stopień stanowi zwykły inwerter. Sygnał pochodzący z mikrofonu może zostać wykorzystany do uzyskania sygnału (i dźwięku) będącego w przeciwfazie lub w fazie ze słyszonym dźwiękiem (w tym drugim przypadku dając wrażenie wyższego poziomu). Zależnie od potrzeby, inwerter może być włączony w tor sygnału i układ będzie dawał



Rys. 4. Schemat elektryczny eliminatora zakłóceń.

dźwięk w przeciwfazie.

Regulacja poziomu pozwala na taki dobór wartości sygnału docierającego do słuchawek, by uzyskać jak największe tłumienie zakłócenia. Układ sumujący dodaje odsłuchiwany sygnał akustyczny i sygnał mający zapewnić eliminację zakłóceń oraz wysterowuje słuchawki.

Działanie układu

Schemat elektryczny eliminatora zakłóceń przedstawiono na rys. 4. Oba kanały są identyczne, w związku z czym omówiony zostanie tylko jeden z nich - kanał lewy.

Przedwzmacniacz toru zbudowany został na wzmacniaczu operacyjnym IC1, przeznaczonym specjalnie do zastosowań w niskoszumnych układach audio o małych zniekształceniach. Wzmacniacz pracuje w układzie nieodwracającym, a jego wzmacnienie wynosi około 27[V/V]. Układ wejściowy może wyglądać nieco dziwnie, co wynika z potrzeby zapewnienia możliwości współpracy z mikrofonem elektretowym z wbudowanym przedwzmacniaczem.

Większość takich mikrofonów posiada dosyć długie przewody zakończone dużych rozmiarów wtykiem, mieszczącym baterię zasilającą przedwzmacniacz. W przedstawianym zastosowaniu potrzebny jest mikrofon z krótkim kablem, a dwóch długich przewodów z dużymi wtykami należy unikać. W przypadku mikrofonów podanych w wykazie elementów sprawa jest prosta: należy obciąć kable (zachowując niezbędną długość) i zakończyć je miniaturowymi wtykami 3,5mm. Wbudowane w mikrofony przedwzmacniacze będą wtedy zasilane napięciem pochodzącym z urządzenia (obwód z elementami R1, R2, R3 i C2).

Jeśli ktoś nie chcąc utracić gwarancji nie zamierza skracać kabli mikrofonowych i chce je użyć z oryginalnymi kablami i wtykami, nie powinien montować elementów R1, R2, R3, R20, R21, R22 oraz C2 i C13.

Sygnał wyjściowy wzmacniacza IC1 jest podawany na przesuwnik fazy zbudowany na układzie IC2. Jest to nieco zmodyfikowany układ wzmacniacza od-

wracającego. Rezystory R8 i R12 tworzą pętlę sprzężenia zwrotnego i ustalają wzmacnienie układu, które wynosi 1[V/V].

W zakresie niskich częstotliwości kondensator C5 ma bardzo niewielki wpływ na działanie układu, a całość działa jak zwykły układ odwracający. Przy wzroście częstotliwości reaktancja kondensatora C5 maleje, a charakter układu stopniowo zmienia się na nieodwracający. Przesunięcie fazowe układu zmienia się więc ze wzrostem częstotliwości od 180° do 0°. Dla danej częstotliwości przesunięcie to można regulować potencjometrem VR1.

Za przesuwnikiem fazowym znajduje się układ inwertera o jednostkowym wzmacnieniu układu IC3. Jeśli inwerter znajduje się w torze sygnału, do przesunięcia fazowego należy dodać 180°. Całkowity zakres uzyskiwanego przesunięcia wynosi więc 0° do 360°. Jeśli przesuwnik fazowy nie jest potrzebny, można go ominąć używając przełącznika S1.

Potencjometr VR3 umożliwia regulację poziomu, a sygnał z suwaka potencjometru podawany jest na układ sumujący zbudowany na wzmacniaczu IC4. Jest to układ odwracający o dwóch wejściach. Dzięki obecności masy pozornej na wejściu 3 oba źródła sygnału nie obciążają się wzajemnie. Kondensator C11 sprzęga wyjście wzmacniacza IC4 ze słuchawkami (przez gniazdo SK5), których impedancja powinna wynosić około 35Ω.

Całkowity pobór prądu przez układ (oba kanały) wynosi około 18mA. Aby całość była odpowiednio lekka i nieduża, dobrze byłoby użyć niewielkich baterii, np. typu PP3. Jednak ze względu na znaczny pobór prądu lepiej jest zastosować baterie o większej pojemności, ponieważ baterie PP3 służyłyby tutaj bardzo krótko. Alternatywę stanowi użycie zestawu sześciu akumulatorów AA, co podniesie masę i rozmiary urządzenia, ale zapewni znacznie niższe koszty jego eksploatacji.

Robert Penfold, EPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Everyday Practical Electronics".

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R20: 6,8kΩ
 R2, R21: 2,2kΩ
 R3, R22: 1kΩ
 R4, R5, R23, R24: 39kΩ
 R6, R19, R25, R38: 10kΩ
 R7, R26: 390Ω
 R8, R12, R15, R16, R27, R31, R34, R35: 5,6kΩ
 R9, R10, R11, R28, R29, R30: 4,7kΩ
 R13, R14, R18, R32, R33: 22kΩ
 R17, R36: 3,9kΩ
 VR1, VR2: 100kΩ, potencjometr liniowy, obrotowy, węglowy
 VR3, VR4: 4,7kΩ, potencjometr logarytmiczny, obrotowy, węglowy

Kondensatory

C1, C12: 1000μF/10V, wyprowadzenia jednostronne
 C2, C6, C13, C17: 10μF/25V, wyprowadzenia jednostronne
 C3, C10, C14, C21: 1μF/50V, wyprowadzenia jednostronne
 C4, C7, C15, C18: 47μF/16V, wyprowadzenia jednostronne
 C5, C16: 22nF, poliestrowy
 C8, C9, C19, C20: 4,7μF/50V, wyprowadzenia jednostronne
 C11, C22: 470μF/10V, wyprowadzenia jednostronne

Półprzewodniki

IC1, IC5: TLE2037CP
 IC2, IC3, IC4, IC6, IC7, IC8: LF351

Różne

MIC1, MIC2: miniaturowy mikrofon elektretowy (ultraminiaturowy Maplin 600, ew. mocowany na klipsie, patrz tekst)
 SK1, SK2: monofoniczne gniazdo słuchawkowe jack 3,5mm (patrz tekst)
 SK3, SK4: gniazdo cinch
 SK5: stereofoniczne gniazdo słuchawkowe jack 3,5mm
 S1-S4: przełącznik jednobiegunowy dwupozycyjny
 S5: przełącznik jednobiegunowy jednopozycyjny
 B1: bateria 9V (PP3: patrz tekst)
 obudowa o wymiarach 200mm x 140mm x 45mm
 fragment płytki uniwersalnej 29 pasków x 62 otworów, słuchawki stereofoniczne (impedancja 22Ω..32Ω) z pałąkiem, podstawka 8-nóżkowa (8 szt.), końcówka do baterii, pokrętła (4 szt.), przewód (plecionka), cyna, kołki lutownicze