

Filtr szumów do gramofonu analogowego, część 1

Płyty winylowe nie są już wytwarzane przemysłowo na szerszą skalę - zastąpiły je niemal całkowicie płyty CD.

Jak się jednak okazuje, stosunkowo wiele osób nadal przechowuje duże kolekcje winylowych płyt długogrających.

Większość muzyki nagranej na tych płytach jest dostępna także na płytach kompaktowych, ale dosyć znaczna ilość nagrań na takie wydanie nadal czeka.

Zresztą, jeśli nawet te ulubione stare przeboje wydano już na CD, kupowanie ich po raz wtóry może po prostu okazać się zbyt kosztowne!

Dzięki filtrowi, który prezentujemy w artykule Twoje stare płyty będą brzmiały znacznie lepiej!

Mimo że płyty długogrające są przestarzałym nośnikiem dźwięku, wydaje się prawdopodobne, że jeszcze przez wiele lat będą szeroko wykorzystywane. Gramofony i adaptory są nadal dostępne w handlu i sprzedaje się je w dużych ilościach.

Pozostaje problem uzyskania rozsądnie dobrej jakości dźwięku, z coraz bardziej zużytej płyty. Wykorzystywanie wysokiej jakości sprzętu do odtwarzania płyt i odpowiednich akcesoriów do czyszczenia powierzchni ograniczy nieco ich zużycie, niemniej jednak z upływem lat musi pojawiać się coraz silniejszy szum powodowany przez pogarszający się stan powierzchni płyty.

Standardowym sposobem eliminacji tego szumu jest umieszczenie w torze odtwarzanego dźwięku filtru dolnoprzepustowego o częstotliwości odcięcia zazwyczaj około 5-7kHz.

Szum powierzchni powstaje w wyniku obecności małych uszkodzeń ścian rowka lub gromadzących się w rowkach cząsteczek kurzu. Bardzo niewielkie rozmiary tych uszkodzeń oraz cząsteczek sprawiają, że powstające trzaski są bardzo krótkie, a ich widmo sytuuje się zazwyczaj w górnej części pasma akustycznego, tj. od 5kHz do 20kHz.

Ponieważ widmo szumów powierzchni płyty leży raczej wysoko, wytłumienie wyższych częstotliwości zapewnia także znaczną redukcję poziomu tych zakłóceń. Traci się przy tym nieco z wierności odtwarzania, gdyż tłumiony jest także sygnał użyteczny. Powstający dźwięk jest mniej „jasny“, ale w przypadkach, gdy zakłócenia powodowane stanem powierzchni są dosyć duże, poprawa jakości wynikająca z ich eliminacji warta jest utraty wyż-

szych tonów.

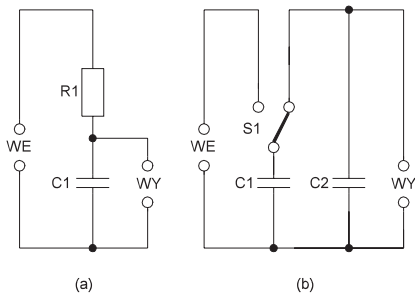
Wydaje się, że nie przyjęto standardu nachylenia charakterystyki filtru eliminującego szumy płyty. Maksymalne wykorzystanie regulacji tonów wysokich niewątpliwie zapewni ograniczenie poziomu tych szumów, ale szybkość opadania charakterystyki układu regulacji wynosząca 6dB/okt oznacza, że poprawa będzie ograniczona, a ponadto wprowadzone zostanie pewne tłumienie sygnałów o częstotliwościach niższych.

Powszechnie uważa się, że szybkości opadania 12dB/okt lub 18dB/okt dają lepsze rezultaty, czasami nawet stosuje się układy o szokującej szybkości opadania charakterystyki 100dB/okt. Jednakże z punktu widzenia większości upodobań jest to zbyt silna i nieodpowiednia do odsłuchu muzyki filtracja.

Górna częstotliwość odcięcia filtrów eliminujących szumy płyty jest zazwyczaj wynikiem kompromisu. Jeśli płyta jest zużyta w umiarkowanym stopniu, częstotliwość odcięcia zapewniająca najlepsze rezultaty może być stosunkowo wysoka i wynosić 8-9kHz. W przypadku płyty znajdującej się w nie najlepszym stanie potrzebna może być znacznie niższa wartość tej częstotliwości, np. 3-4kHz.

Prezentowany poniżej regulowany filtr szumów płyty posiada nachylenie charakterystyki 30dB/okt, co jest wartością wystarczająco dużą, by zapewnić dobre tłumienie szumów, nie wpływając w nadmiernym stopniu na sygnał muzyczny.

Wykorzystanie kondensatorów przełączanych umożliwi regulację częstotliwości granicznej filtru w żądanym zakresie. Spadek modułu o -6dB można uzyskać dla częstotliwości od 3kHz do 9-10kHz dostosowując filtrację do



Rys. 1. Filtr RC (a) oraz jego odpowiednik z przełączanymi kondensatorami (b).

stanu powierzchni odtwarzanej płyty. Możliwość ta, jak również stosunkowo duże nachylenie charakterystyki sprawiają, że praktycznie w przypadku każdej płyty można uzyskać doskonale rezultaty.

Można bez trudu zaprojektować konwencjonalne filtry aktywne zapewniające nachylenie charakterystyki sięgające 30dB/okt. Jednak tak duże nachylenie przy regulowaniu częstotliwości odcięcia są kłopotliwe w realizacji: wymagałoby to zastosowania pięciosekcyjnego potencjometru w każdym kanale sygnału.

Filtry z przełączanymi pojemnościami

Wygodniejsze ze względów praktycznych rozwiązanie zapewniają filtry z przełączanymi pojemnościami. Umożliwiają one uzyskanie dużego nachylenia charakterystyki, natomiast częstotliwość odcięcia jest w nich regulowana przez zmianę częstotliwości sygnału taktującego przełącznik.

Podstawowe ogniwo filtru z przełączanymi pojemnościami jest bardzo podobne do tradycyjnego filtru RC - oba układy przedstawia rys.1. W przypadku niskich częstotliwości sygnału ła-

dunek kondensatora C1 nadąża za zmianami napięcia wejściowego, a straty sygnału w układzie są niewielkie. Przy wyższych częstotliwościach, by utrzymać sygnał wyjściowy na poziomie sygnału wejściowego, natężenie prądu przepływającego przez C1 musiałoby być wyższe. Rezystor R1 ogranicza natężenie prądu i przy pewnej częstotliwości poziom napięcia wyjściowego zacznie maleć. Dla częstotliwości sygnału powyżej tego progu w układzie powstają coraz większe straty sygnału, przy czym spadek poziomu sygnału wyjściowego ze wzrostem częstotliwości wynosi 6dB/okt. Innymi słowy, podwojenie częstotliwości powoduje dwukrotny wzrost tłumienia sygnału w układzie.

Odpowiednik filtru dolnoprzepustowego RC zrealizowany w technice pojemności przełączanych znajduje się na rys1.b. Rezystor został zastąpiony przez kondensator C1 i przełącznik S1. W praktyce S1 jest przełącznikiem elektronicznym, sterowanym sygnałem zegarowym. C2 odpowiada kondensatorowi C1 filtru RC. Działanie układu polega na dołączaniu C1 do wejścia, dzięki czemu następuje ładowanie tego kondensatora do poziomu wejściowego, a następnie podłączeniu C1 do C2, po czym następuje zmiana ładunku C2. Zazwyczaj układ działa w sposób ciągły, a częstotliwość zegara leży w zakresie od 20kHz do 1MHz. Jeśli napięcie wejściowe nie zmienia się, kondensator C2 zostaje szybko naładowany do tego właśnie napięcia. Kondensator C1 jest okresowo doładowywany sygnałem wejściowym i oddaje swój ładunek do kondensatora C2, szybko wyrów-

nując poziomy napięć panujących na C1 i C2. Jeśli napięcie wejściowe wzrasta, dzięki opisanemu wyżej działaniu ładunek w C2 zostanie zwiększony. Spadek napięcia wejściowego spowoduje przekazanie części ładunku z C2 do C1 tak, by panujące na kondensatorze C2 napięcie nadążało za napięciem wejściowym.

Układ taki przekazuje sygnał z wejścia na wyjście z minimalnymi stratami tylko wtedy, kiedy częstotliwość przełączania S1 jest znacznie wyższa niż częstotliwość sygnału wejściowego. Pojemność C1 jest bowiem znacznie niższa od C2, w związku z czym przekazanie na wyjście znacznej zmiany poziomu wejściowego wymaga kilku operacji przekazania ładunku. Podobnie jak w układzie RC, kondensator i przełącznik są w stanie przekazać ograniczoną wielkość ładunku do/z kondensatora wyjściowego i powyżej pewnej częstotliwości układ zaczyna wykazywać cechy filtru dolnoprzepustowego, o szybkości opadania charakterystyki równej 6dB/okt.

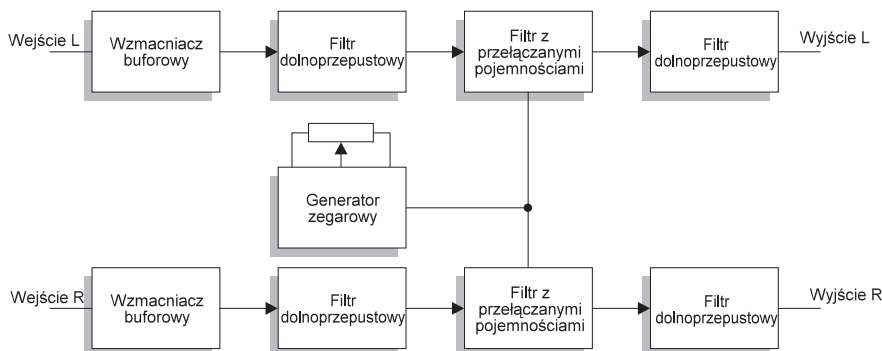
Częstotliwość graniczna układu jest zależna od częstotliwości sygnału taktującego przełącznik S1 oraz stosunku pojemności C1 i C2. Praktyczne układy filtrów z przełączanymi pojemnościami są projektowane w taki sposób, by ich częstotliwość odcięcia była równa 0.01 lub 0.02 częstotliwości zegara.

Opis układu

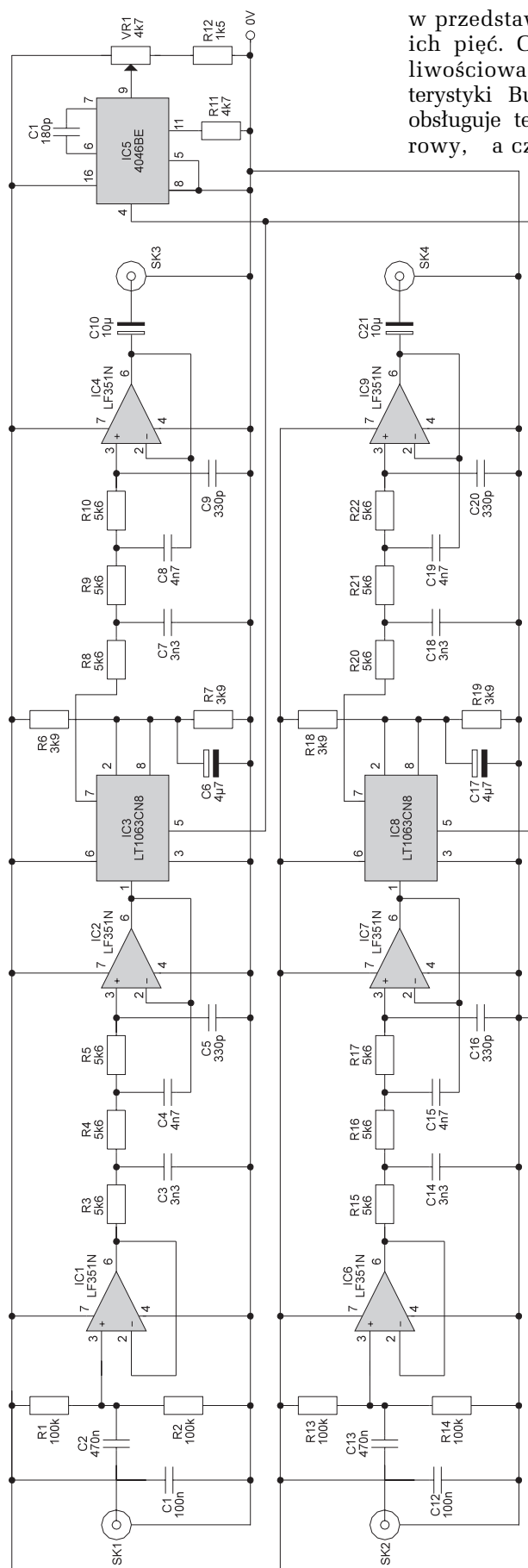
Schemat blokowy rozwiązania zastosowanego w strojonym filtrze szumów płyt przedstawia rys.2. Oba kanały stereo są identyczne.

Buforowy wzmacniacz wejściowy zapewnia odpowiednio niską impedancję źródła sterującego drugiego stopień toru, którym jest klasyczny filtr aktywny RC. Jego częstotliwość odcięcia jest zbliżona do górnej granicy tonów słyszalnych i nie wpływa on w sposób znaczący na filtrację szumów pochodzących z płyty. Jego zasadniczym zadaniem jest eliminacja sygnałów o wyższych częstotliwościach które, podane na filtr z przełączanymi pojemnościami mogłyby spowodować powstanie tonów interferencyjnych.

Stosowane w praktyce filtry z przełączanymi pojemnościami zawierają większą liczbę stopni -



Rys. 2. Schemat blokowy filtru szumów powierzchni płyt.



Rys. 3. Schemat ideowy filtra szumów powierzchni płyty.

w przedstawianym przypadku jest ich pięć. Charakterystyka częstotliwościowa jest zbliżona do charakterystyki Butterwortha. Oba kanały obsługuje ten sam generator zegarowy, a częstotliwość graniczna jest równa 0.01 częstotliwości zegara ($\pm 0.5\%$).

Na wyjściu układu znajduje się kolejny filtr dolnoprzepustowy. Poziom sygnał zegarowy na wyjściu filtra z przełączanymi pojemnościami jest bardzo niski i wynosi około $50\mu\text{V}$ (wskuteczna), co nie wymagałoby filtracji. Jednakże sygnał na wyjściu tego filtra ma kształt schodkowy, jak np. sygnał audio na wyjściu konwertera C/A. Zawartość wysokiej częstotliwości w sygnałowym wyjściu filtra z przełączanymi pojemnościami nie musi być przyczyną kłopotów, ale na wszelki wypadek dobrze jest mocno ją wytłumić.

Schemat ideowy toru sygnałowego filtra przedstawiony został na rys.3. Ponieważ oba kanały są identyczne, omówiony zostanie wyłącznie kanał prawy. Układ IC1 stanowi wejściowy wzmacniacz buforowy o impedancji wejściowej $50\text{k}\Omega$, wynikającej z wartości rezystancji R1 i R2. Wzmacniacz ten steruje konwencjonalny aktywny filtr dolnoprzepustowy trzeciego rzędu (nachylenie charakterystyki $18\text{dB}/\text{okt.}$) o częstotliwości granicznej około 16kHz , zbudowany na wzmacniaczu IC2.

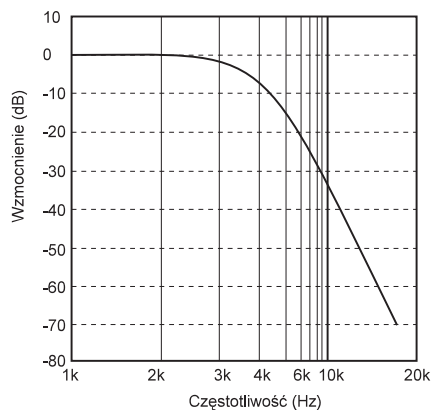
Układ IC3 to filtr z przełączanymi pojemnościami typu LTC1063CN8. Mimo że filtry z przełączanymi pojemnościami często są tzw. filtrami zmiennych stanu i umożliwiają uzyskanie różnych rodzajów charakterystyk, układ LTC1063CN8 - bez dodatkowych elementów aktywnych - może pracować wyłącznie jako filtr dolnoprzepustowy, co jednak w przewidywanym zastosowaniu nie stanowi ograniczenia. Układ wymaga niewielkiej liczby elementów zewnętrznych. Oprócz filtrów wejściowego i wyjściowego oraz generatora zegarowego potrzebne są rezystory R6, R7 i kondensator elektrolityczny C6. Zapewniają one polaryzację połową napięcia zasilania wyprowadzeń regulacji poziomu masy oraz wyjścia (wyprowadzenia 2 i 8).

Układ LTC1063CN8 został zaprojektowany z myślą o zastosowaniu w układach o symetrycznym napięciu zasilania, ale działa prawidłowo także wtedy, gdy zastosuje się asymetryczne zasilanie oraz układ tworzący masę sygnałową dla połowy napięcia zasilania. Regulacja stałego napięcia wyjściowego jest wykorzystywana tylko w układach działających od 0Hz , do dodania bądź usunięcia składowej stałej. W omawianym układzie potencjał podany na wejście tej regulacji jest równy połowie napięcia zasilania.

Wejście i wyjście IC3 zostało sprzężone stałoprądowo z pozostałą częścią układu - zresztą sprzężenie takie zastosowano w całym torze sygnału, z wyłączeniem wejścia i wyjścia sprzęgniętych pojemnościowo. Układ IC4 pełni rolę bufora wyjściowego i filtra dolnoprzepustowego, identycznego jak filtr poprzedzający układ IC3.

Układ taktujący

Układ LTC1063CN8 posiada wewnętrzny generator zegarowy wymagający podłączenia z zewnątrz tylko rezystora i kondensatora. Niestety, wewnętrzny generator pracuje z częstotliwościami do około 500kHz . Jeśli maksymalna częstotliwość odcięcia filtra ma wynosić $9\text{-}10\text{kHz}$, a częstotliwość zegarowa winna być 100-krotnie od niej wyższa, to



Rys. 4. Charakterystyka częstotliwościowa filtra przy nastawie częstotliwości spadku o -6dB równej 5kHz.

maksymalna częstotliwość zegara powinna sięgać 1MHz. W związku z tym jest wykorzystywany zewnętrzny generator zegarowy zbudowany na układzie IC5. Jest to układ PLL wykonany w technologii CMOS o niskim poborze mocy, w którym wykorzystuje się wyłącznie generator sterowany napięciem, a pozostałe bloki układu PLL nie są używane. Elementy R11 i C11 ustalają stałą czasową zegara. Potencjometr VR1 i rezystor R12 dają napięcie sterujące układu IC5, umożliwiając regulację częstotliwości generatora w przedziale 300kHz do około 950kHz. Na wyjściu układu IC5 obecny jest sygnał prostokątny w standardzie CMOS, którymysterowany zostaje układ LTC1063CN8.

Charakterystykę częstotliwościową filtra szumów płyty, przy nastawie dolnej częstotliwości granicznej około 5kHz (-6dB), przedstawia rys.4. Maksymalnie płaska charakterystyka zapewnia minimalne straty sygnału tuż poniżej częstotliwości granicznej, nato-

miast powyżej tej częstotliwości następuje szybki spadek charakterystyki, który wynosi 30dB/okt., co w sumie zapewnia bardzo dobre rezultaty.

Zasilacz

Układ wymaga zasilania dobrze odfiltrowanym i dość stabilnym napięciem +12V. Pobór prądu nie powinien przekraczać 60mA, a przeciętnie wynosi około 40mA. Można byłoby nawet zastosować zasilanie z baterii o dużej pojemności (8 ogniw HP7), ale zasilacz sieciowy jest rozwiązaniem bardziej rozsądnym.

Zalecane rozwiązanie układowe zasilacza przedstawia rys.5. Jest to konwencjonalny dwupółkowy prostownik (T1 i D1 oraz D2) z niewielkim scalonym stabilizatorem napięcia +12V (IC10).

Do zasilania układu wystarczyłby zapewne transformator dostarczający prądu o natężeniu 100mA, ale ze względu na wymagania dotyczące napięcia wejściowego stabilizatora lepiej jest zastosować nieco większy transformator. Mogą to być transformatory o parametrach 12Vx200mA do 12Vx250mA, a także 15Vx100mA do 15Vx166mA.

Odłączanie filtra

Strojony filtr szumów płyt został zaprojektowany z myślą o pracy przy poziomach sygnału sięgających 2V i przy rozsądnie wysokich poziomach nie wprowadzi znacznych szumów i zakłóceń. Gdyby jednak umieścić wzmacniacz w torze sygnału między przetwornikiem magnetycznym i przedwzmacniaczem, stosunek sygnał/szum będzie bardzo niekorzystny.

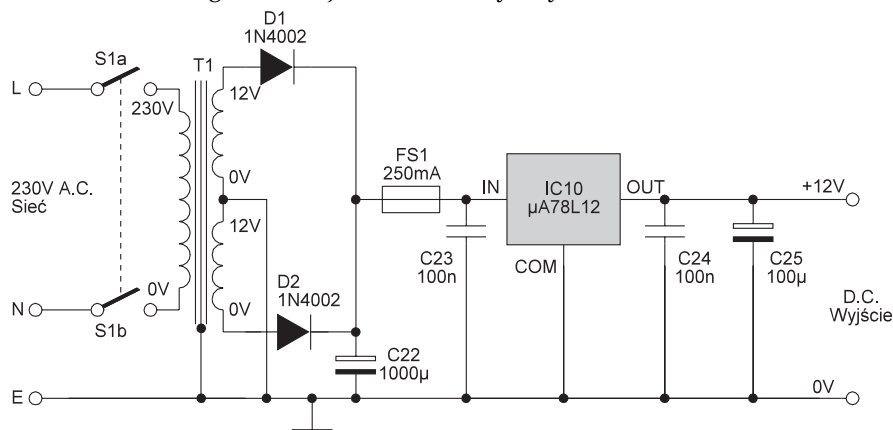
Filtr powinien zostać włączony między przedwzmacniacz RIAA a wzmacniacz mocy. Jeśli w posiadanym sprzęcie audio oba te moduły znajdują się w oddzielnych obudowach, nie będzie trudności z takim właśnie włączeniem filtra. Natomiast kombinowane zestawy przedwzmacniacz/wzmacniacz mocy najczęściej posiadają możliwość podłączenia zewnętrznego procesora dźwięku. Jeśli takiej możliwości nie ma, w większości przypadków pozostaje opcja „Tape Monitoring“.

W każdym z tych przypadków wbudowany we wzmacniacz przełącznik powinien umożliwić wyłączenie filtra z toru sygnału w sytuacjach, gdy nie jest on potrzebny. Jeśli filtr umieszczony zostanie między znajdującymi się w oddzielnych obudowach przedwzmacniaczem i wzmacniaczem, może okazać się niezbędne wyposażenie go w czterobiegunowy przełącznik (rys.6).

Inny sposób wykorzystania urządzenia to wyposażenie go w wewnętrzny wzmacniacz i podłączenie do wejścia AUX wzmacniacza (lub innego wysokosygnałowego wejścia). Wspomniany wcześniej przełącznik będzie potrzebny także w tym przypadku.

Robert Penfold, EwPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika „Everyday with Practical Electronics“.



Rys. 5. Proponowane rozwiązanie zasilacza sieciowego układu.