



# Redukcja zakłóceń w lampowych wzmacniaczach m.cz. (1)

*Wydawać by się mogło, że lampy już dawno odeszły do lamusa, a jednak konstrukcje wysokiej klasy lampowych wzmacniaczy małej częstotliwości cieszą się rosnącą popularnością. Z tego powodu postanowiliśmy wyjść naprzeciw potrzebom konstruktorów zajmujących się wzmacniaczami lampowymi i opisać metody redukcji zakłóceń pozwalające na uzyskanie dobrej jakości brzmienia.*

Podczas konstruowania wzmacniaczy niskiej częstotliwości przed elektronikiem pojawia się problem maksymalnego obniżenia poziomu szumów na wyjściu wzmacniacza. Jest to szczególnie ważne we wzmacniaczach zapisu i odczytu magnetofonów, wzmacniaczach niskiej częstotliwości z wejściem mikrofonowym, różnego rodzaju wzmacniaczach studyjnych itp. Z tego powodu opis niektórych metod i rozwiązań układowych dających możliwość obniżenia poziomu szumów własnych na wyjściu wysokiej jakości wzmacniacza niskiej częstotliwości może wzbudzić pewne zainteresowanie radioamatorów, zajmujących się konstruowaniem wzmacniaczy podobnych typów.

Pod pojęciem napięcia szumów wzmacniacza niskiej częstotliwości przeważnie rozumiemy pewne zmienne napięcie obecne na wyjściu wzmacniacza przy braku napięcia sygnału na jego wejściu. Szumy na wyjściu wzmacniacza można podzielić na wewnętrzne, powstające w samym wzmacniaczu i zewnętrzne, tzn. takie, które trafiły na wejście wzmacniacza razem z napięciem sygnału.

Jest oczywiste, że w wypadku idealnego, „nieszumiącego” wzmacniacza, przy zerowym napięciu wejściowym (wejście jest zwarte do

#### Literatura:

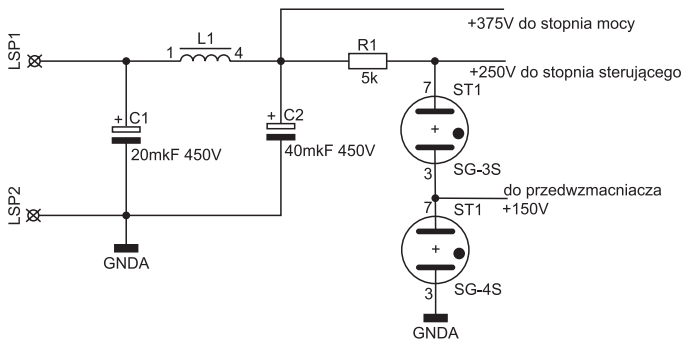
W.B. Grigorov „Снижение уровня шумов в усилителях низкой частоты” (Sniżenie urownia szumow w usiltieliach nizkoj czastoty), Moskwa 1956.

masy) napięcie wyjściowe wzmacniacza także powinno być równe zero. Jednak na wyjściu rzeczywistego wzmacniacza zawsze istnieje pewne napięcie szumu wewnętrznego. Istnienie tego napięcia jest spowodowane następującymi zjawiskami:

- Różnego rodzaju zakłóceniami prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz (przydźwięk sieciowy). Chodzi tutaj głównie o przydźwięk sieciowy wywołany złą filtracją napięcia anodowego w prostowniku. W przydźwięku obecne są pierwsza i (przeważająco) druga częstotliwość harmoniczna.
- Zakłóceniami innych częstotliwości z zakresu słyszalnego, niezwiązanych bezpośrednio z częstotliwością napięcia zasilającego.
- Wewnętrznymi szumami lamp elektronowych i elementów składowych.

W sumarycznym napięciu szumów na wyjściu wzmacniacza lampowego zwykle ponad 80% energii szumów przypada na zakłócenia spowodowane przez przemienny prąd zasilania i jego częstotliwości harmoniczne (przydźwięk sieciowy).

We wzmacniaczach m.cz., przy ich względnie niskiej czułości (rzędu jednostek lub setek miliwoltów) wewnętrzne szumy lamp elektronowych nie mają aż tak decydującego znaczenia, jak np. w układach wzmacniaczy wysokiej częstotliwości pracujących w zakresach fal krótkich i ultrakrótkich. Jednak przy konstruowaniu wzmacniaczy m.cz. o szczególnie wysokich parametrach i dużym współczynniku wzmacnienia, nie sposób zlekceważyć parametrów szumowych lamp pracujących w stopniu wejściowym.



Rys. 1. Zastąpienie kondensatora wyjściowego stabilizoltami

W wysokiej jakości wzmacniaczach przy czułości rzędu 0,2...1 mV już zakłócenia o poziomie kilku mikrowoltów tworzą słyszalny przydźwięk na wyjściu wzmacniacza. Za dopuszczalny w praktyce poziom przydźwięku można uważać -60 dB, chociaż w niektórych wzmacniaczach szczególnie wysokiej jakości wymagany i osiągnąć jest poziom przydźwięku rzędu -80 dB.

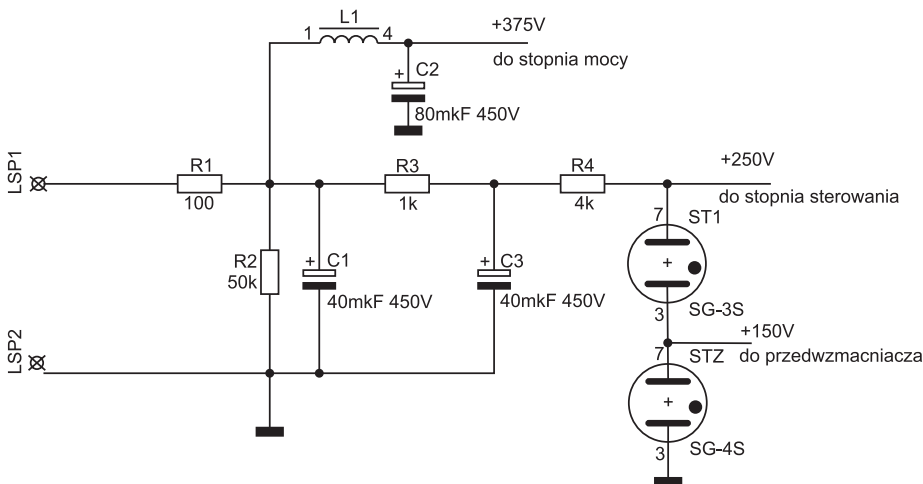
**Sposoby usunięcia przydźwięku**

Przy konstruowaniu wzmacniaczy wysokiej jakości zwalczanie przydźwięku sieciowego jest zadaniem dość złożonym. Przy czułości wzmacniacza 0,1...0,6 mV zaburzenia rzędu 4...5 μV indukowane w pierwszym stopniu wzmacniacza stwarzają tak silny przydźwięk na wyjściu wzmacniacza, że normalna praca głośników staje się niemożliwa. Głównymi przyczynami wyniknięcia przydźwięku sieciowego są:

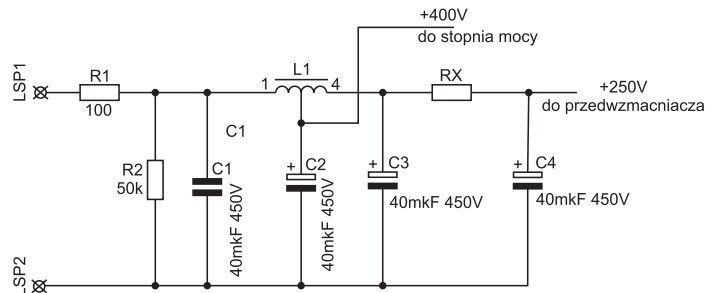
- niedostateczna filtracja napięcia anodowego (przydźwięk pierwszej harmonicznej 100 Hz po prostowniku dwupołkowy);
- niedostateczna izolacja między włóknem żarzenia i katodą w pierwszych lampach wzmacniacza, a także niedostateczna bezwładność cieplna katod tych lamp (przydźwięk 50 Hz i 100 Hz);
- indukowanie zmiennego napięcia i jego harmonicznych na elementach składowych położonych w pobliżu transformatora, dławika filtra itp.;
- zastosowanie w pierwszych stopniach wzmacniacza nie dość dobrze ekranowanych elementów, mających wysoką rezystancję i dlatego szczególnie podatnych na indukowanie prądu zmiennego (oporniki rzędu 1 MΩ i większe, dławiki o wysokiej oporności i inne);
- niesymetryczne uziemienie przewodów żarzenia lub wykorzystanie jako jednego z nich korpusu.

Zwalczanie przydźwięku sieciowego polega na podjęciu działań w dwóch głównych kierunkach:

- likwidacji przyczyn pojawienia się przydźwięku (np. polepszenie jakości filtracji napięcia anodowego, zasilanie żarzenia lamp przedwzmacniacza prądem stałym, bardziej racjonalny montaż i ekranowanie pewnych węzłów wzmacniacza itp.);



Rys. 2. Przykład praktycznej realizacji zasilacza wzmacniacza lampowego



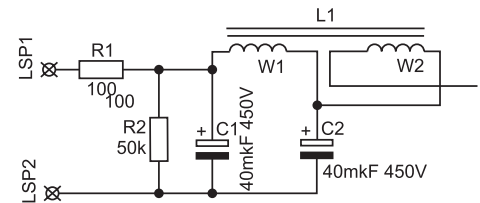
Rys. 3. Rezystor RX poprawiający dolny próg pasma przenoszenia

- zastosowaniu metody kompensacyjnej polegającej na sztuczny wprowadzeniu w skład sygnału napięcia o tej samej częstotliwości i amplitudzie, co napięcie przydźwięku, ale o fazie przesuniętej o 180°.

Przyjrzymy się bardziej szczegółowo wymienionym wyżej metodom likwidacji przydźwięku sieciowego.

**Poprawa jakości filtracji napięcia anodowego**

Znaczne podwyższenie jakości filtracji napięcia anodowego może być osiągnięte poprzez zwiększenia indukcyjności tłumika filtra do 30...40 H, zwiększenie pojemności kondensatorów filtra, zastosowanie filtra typu π itd. W tym samym celu jest stosowane bocznikowanie anod lamp prostowniczych do ziemi kondensatorami o pojemności rzędu 0,01...0,02 μF.



Rys. 4. Zastosowanie dławika przeciwobnego

Nieraz do zwiększenia poziomu przydźwięku jest wywołane podwyższonym upływem elektrolitycznych kondensatorów filtra, co może być wywołane pracą kondensatora przy podwyższonej temperaturze (np. po umieszczeniu kondensatora zbyt blisko lampy prostowniczej lub wyjściowej lampy dużej mocy).

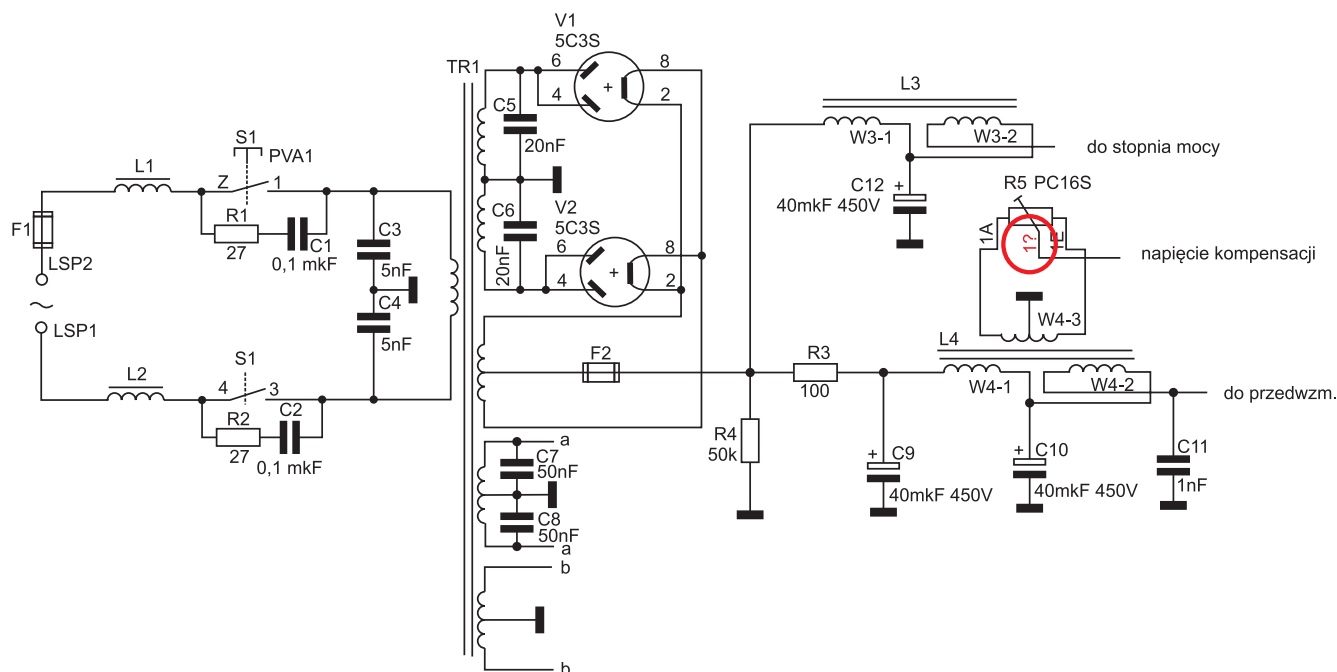
Znaczne polepszenie filtracji można osiągnąć poprzez zamianę wyjściowego kondensatora filtra na dwa stabilizolty (gazowe stabilizatory napięcia) typu SG-3S i SG-4S (rys. 1).

Zastosowanie stabilizoltów zamiast wyjściowego kondensatora filtra jest równoważne podłączeniu dużej pojemności (około 500 μF), co oprócz dobrej filtracji napięcia anodowego umożliwia znaczne polepszenie charakterystyki fazowej wzmacniacza w zakresie niskiej częstotliwości (rys. 2).

We wzmacniaczach z głębokim sprzężeniem zwrotnym wymagania odnośnie do liniowości charakterystyki fazowej w zakresie niskich częstotliwości wzrastają. W tym wypadku nie należy podłączać napięcia anodowego bezpośrednio do wyjścia dławika-filtra zasilania, używając zamiast tego rezystora (RX na rys. 3). Daje to możliwość obniżenia dolnej granicy pasma przenoszenia do około 20...30 Hz.

Tym sposobem można zasilac wszystkie stopnie jakościowego wzmacniacza, oprócz wyjściowego, ponieważ stabilizolty typu SG-3S i SG-4S mogą stabilizować napięcie we względnie niedużym zakresie prądowym, od 5 do 30 mA.

Zasilanie wyjściowego stopnia mocy realizuje się tradycyjnie, używając dławika z odczepem, do którego jest podłączony dodatkowy kondensator filtrujący (rys. 3), co



Rys. 5. Schemat bloku zasilania wzmacniacza lampowego wysokiej jakości

znacznie poprawi parametry zasilania. Wysoka jakość filtracji i dobra charakterystyka fazowa w zakresie niskich częstotliwości mogą być też zrealizowane przez specjalny sposób włączenia dławika. Pokazano go na rys. 4. Dławik składa się z dwóch jednakowych uzwojeń W1 i W2, włączonych przeciwsośnie. Przy takim połączeniu strumienie magnetyczne wytwarzane przez składową stałą prądu przepływającego przez uzwojenia dławika wzajemnie się kompensują, co stwarza możliwość przepuszczania przez dławik prądu stałego o dużym natężeniu, bez zagrożenia nasycenia się rdzenia. Składowa zmienna jest odfiltrowywana przez cewkę W1.

Na rys. 5 pokazano schemat bloku zasilania wzmacniacza wysokiej jakości, w którym zastosowano podobne włączenie dławika. Do zasilania przedwzmacniacza i wyjściowego stopnia mocy użyto dwóch osobnych filtrów z dwucewkowymi dławikami L3 i L4. Wyprowadzenia ich cewek są połączone przeciwsośnie. Użycie osobnych filtrów, oprócz wysokiej jakości filtracji, zapewnia bardzo dobrą separację przedwzmacniacza i stopnia wyjściowego.

Elementami wyjściowymi każdego z filtrów są odpowiednio cewki W3-2 i W4-2. Kondensator C11 na wyjściu dławika L4 służy do separacji w zakresie wysokich częstotliwości.

Dławik L4 ma jeszcze cewkę kompensacyjną W4-3 z uziemionym środkowym odczepem. Do tej cewki podłączony jest potencjometr R5, na którym otrzymujemy napięcie o odpowiedniej amplitudzie i fazie, przeznaczone do doprowadzenia na katodę pierwszej lampy przedwzmacniacza.

Zbudowany według schematu z rys. 5 zasilacz zapewnia dostatecznie wysoką jakość filtracji przy około dwukrotnie mniejszych rozmiarach rdzenia, jeśli porównać je z tradycyjnie stosowanymi dławikami jednocewkowymi.

Uwzględniając nieduże zużycie prądu przez przedwzmacniacz (zwykle około 10...20 mA), dławik L4 można wykonać jako mający znacznie większą liczbę zwojów niż dławik L3. Aby zabezpieczyć dobre warunki pracy lamp prostowniczych, na wejściu filtrów są włączone rezystory R3 i R4. Inną ich rolę jest niwelowanie gwałtownych skoków napięcia na kondensatorach elektrolitycznych filtra przy włączeniu prostownika, gdy lampy wzmacniacza jeszcze nie zaczęły pobierać prądu. Do tego samego celu służą rezystory R1 i R2 na schematach prostowników z rys. 3 i rys. 4.

Uzwojenie pierwotne transformatora sieciowego T1 jest włączone do sieci przez dławiki L1 i L2 o indukcyjności 60 mH. Wspólnie z kondensatorami C3 i C4 chronią one obwody zasilania przed wpływem różnych zakłóceń wysokiej częstotliwości pochodzących z sieci energetycznej. Te

same dławiki zapobiegają przedostawaniu się do sieci zaburzeń związanych ze stanami nieustalonymi przy włączaniu i wyłączaniu zasilania prostownika. Tę samą funkcję pełnią obwody R1-C1 i R2-C2 bocznikujące włącznik W1. Ponadto, zapobiegają one uszkodzeniu styków włącznika.

Jerzy Grnaderjan  
jurekl4@gazeta.pl

R E K L A M A



## KOMPLEKSOWE ROZWIĄZANIA DLA PRODUCENTÓW ELEKTRONIKI

- produkcja • modyfikacje • kompletacje •
- KLAWIATURY** dopasowane do aplikacji:
- membranowe • silikonowe • STK • PCB •
- OBUDOWY** najlepsze w swojej kategorii •
- od światowych liderów:

**OKW** elegancja i smak

**ROLEC** wyjątkowa ochrona

**MI** ładne i użyteczne

**apra norm** panelowe i 19"

## TECHNOLOGIE

bogaty wybór opcji:  
podświetlanie • ochrona  
EMI/RFI • połączenia  
elastyczne • folie SPeDO  
i wiele, wiele innych...



# ELEKTRONIK

www.lcel.com.pl

LC Elektronik 01-969 Warszawa ul. Pułkowska 58  
tel +48 22 569 53 00 fax +48 22 569 53 10