

Zwrotnice głośnikowe

- zapomniane ogniwo, część 2

W drugiej części artykułu autor szczegółowo omawia kryteria doboru zwrotnic głośnikowych, przedstawia także wymagania stawiane elementom stosowanym w zwrotnicach.

Kryteria wyboru zwrotnic

Z tak wielu rodzajów filtrów trzeba wybrać najbardziej odpowiedni. Podane niżej wskazówki oraz omówienie poszczególnych rozwiązań powinny pomóc w wyborze.

Dla określenia, jaką zwrotnicę zastosować, należy odpowiedzieć sobie na poniższe pytania:

1. Jakiej klasy wyrób chcę uzyskać?

Czy budowany przeze mnie zestaw jest oszczędnościowy i wszystko ma być przede wszystkim tanie, a jakościowo jedynie dostateczne? Czy przeciwnie - posiadam bardzo dobre głośniki i chcę uzyskać wyrób wysokiej klasy? A może coś pośredniego?

W pierwszym przypadku można pokusić się nawet o wykonanie najprostszej zwrotnicy samemu. Jeśli jednak oczekujemy lepszych rezultatów, stanowczo polecam zakup gotowych zwrotnic dobrej firmy (istnieją takie w kraju). Na bardzo dobre zwrotnice nie należy żałować pieniędzy, ponieważ jest to inwestycja jednorazowa, na lata, i pozwala na ewentualną, późniejszą wymianę głośników na lepsze.

2. Ile kanałów ma mieć moja kolumna i dlaczego?

Aby odpowiedzieć na to pytanie, trzeba zapoznać się z parametrami posiadanych głośników lub wybrać odpowiednie głośniki. Obecnie produkowane głośniki pozwalają na dobre odtwarzanie całego pasma akustycznego przy jednym podziale (dwa głośniki). Trójdrożne kolumny powstają wówczas, gdy mamy słabsze jakościowo głośniki, a chcemy uzyskać określony zapas mocy lub specyficzne podbarwienia dźwięku. Parametrem najistotniejszym jest pasmo pracy głośnika, czyli zakres przetwarzanych częstotliwości. Mamy na przykład typowy głośnik niskotonowy (woofer) o zakresie pracy 45..1000 Hz oraz głośnik wysokotonowy kopułkowy z zakresem 8000..22000 Hz. Takie głośniki nie mogą pracować w zestawie dwudrożnym, ponieważ częstotliwości od 1000..8000 Hz (całe pasmo średniotonowe) nie będzie przetwarzane należycie i trzeba dodać głośnik średniotonowy. Dysponując natomiast głośnikiem nisko-średniotonowym 35..6000 Hz oraz głośnikiem tubowym 4000..20000 Hz można z powodzeniem wykonać kolumnę dwudrożną. Odradzam samodzielną budowę kolumn więcej niż trójdrożnych!

3. Jakiej mocy wybrać zwrotnicę?

Żelazną zasadą jest, że zwrotnica powinna być takiej mocy, jakiej mocy jest wzmacniacz. Oczywiście, można

zastosować zwrotnicę o większej mocy - "na zapas". Zwrotnice o większych dopuszczalnych mocach są lepsze, ale i droższe. Zastosowano w nich przede wszystkim większe przekroje drutów na cewki. Oznacza to wyższe dobroci cewek, a przez to mniejsze straty mocy czynnej na elementach zwrotnicy i lepszą dynamikę.

Najczęstszym błędem przy zakupie zwrotnic jest dopasowywanie jej mocy do maksymalnej mocy głośników.

Zasady doboru mocy głośników do posiadanego sprzętu stanowią oddzielne zagadnienie i nie są przedmiotem tego artykułu.

4. Jaką impedancję mają głośniki?

Należy pamiętać, że żaden z przewidzianych do zastosowania głośników nie może mieć impedancji minimalnej mniejszej od minimalnej impedancji wyjściowej wzmacniacza!

Nie jest prawdą, że impedancje kolumny i wzmacniacza muszą być dopasowane. Są to jakieś „przecieki“ teorii mikrofalowych do obiegowych informacji amatorów. Nie można jedynie przekraczać minimalnej impedancji obciążenia wzmacniacza, podanej przez producenta.

5. Czy zwrotnica powinna mieć dodatkowe elementy zabezpieczające?

Spotyka się zwrotnice z zabezpieczeniami głośników przed przeciążeniem. Należy pamiętać, że zabezpieczenia te służą w zasadzie tylko w przypadkach awaryjnej lub nienormalnej pracy kolumny. W normalnych warunkach doskonałym zabezpieczeniem jest dobra zwrotnica!

Zabezpieczenia aktywne, tyrystorowe są drogie i często ich działanie pozostawia wiele do życzenia. Stosuje się je wyłącznie w kolumnach estradowych o dużych mocach i w małą przewidywalnych warunkach pracy.

Zabezpieczenia bierne można wykonać przy pomocy włączonej w szereg z chronionym głośnikiem żarówki. Żarówka, jako nieliniowy element rezystancyjny, stanowi wspaniałe działające zabezpieczenie. Niestety posiada wadę wykluczającą ją praktycznie z użycia. Żarówka taka musi być bardzo precyzyjnie dobrana do danego głośnika, a nawet rodzaju muzyki, aby spełniała efektywnie swoje zadanie i jednocześnie nie przepalała się co chwila.

Ostatnio spotyka się w układach, włączone szeregowo z głośnikami, automatyczne, niezniszczalne bezpieczniki polimorficzne tzw. Poly-Switch. Są one bardzo modne, jednak posiadają przykrą cechę wynikającą z kształtu sygnału i specyfiki działania. Aby sku-

tecznie zabezpieczyć głośnik przed zniszczeniem, bezpiecznik musi zadziałać szybko. Bardzo szybki bezpiecznik zaczyna zwierać wartości szczytowe sygnału, podczas gdy wartości skuteczne nie są jeszcze niszczące dla głośnika. Można dobrać wolniejszy bezpiecznik, ale wówczas granica między zniekształcaniem dźwięku a progiem bezpieczeństwa głośnika jest zależna od rozkładu mocy w sygnale.

Oznacza to, że w zależności od kształtu sygnału (rodzaju muzyki) albo sygnał będzie przycinany zbyt „gorliwym” bezpiecznikiem albo ochrona głośnika będzie zbyt wolna.

Obecnie przed skutkami awarii sprzętu skutecznie ochraniają same wzmacniacze. Zabezpieczają przed pojawieniem się napięcia stałego na wyjściach głośnikowych, mają wbudowane antyszokowe układy tzw. miękkiego startu lub opóźnienie przyłączenia głośników. Końcówki mocy chronione są przeciwzwarcio, termicznie i przeciwprzeciążeniowo.

Analizując powyższe argumenty zauważamy, że specjalne układy zabezpieczające głośniki przed zniszczeniem, a umieszczane na zwrotnicy, mają coraz mniejsze znaczenie.

6. Czy zwrotnica ma spełniać dodatkowe funkcje korygujące?

W konstrukcji kolumny wyodrębnić można dwa nurty.

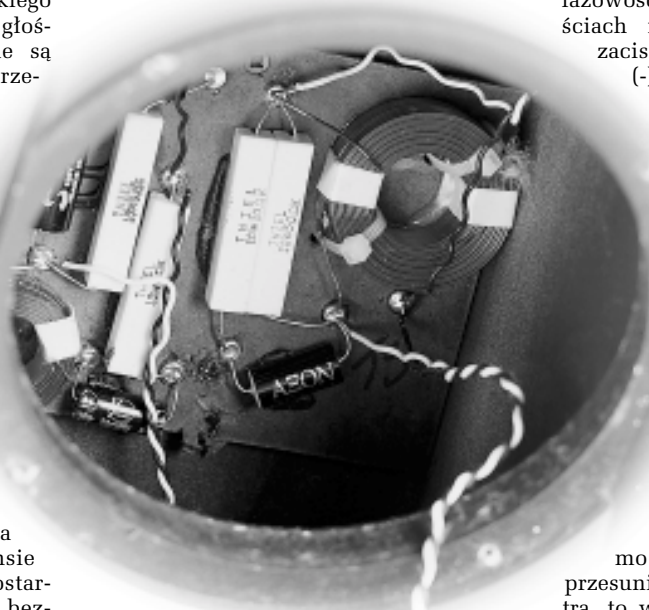
Pierwszy, zwany „japońskim”, a później też „europejskim” zakłada, że kolumna powinna jak najwierniej, w sensie elektrycznym, odwzorowywać dostarczony do niej sygnał, czyli być bezdusznym monitorem. Ewentualne podbarwienia i korekcie dźwięku może przeciw słuchacz wykonać sobie samodzielnie za pomocą licznych korektorów barwy, wielopunktowych equalizerów parametrycznych itp. urzążeń, zgodnie z indywidualnymi upodobaniami i warunkami odsłuchowymi. Powyższa szkoła preferuje klientów znających się na rzeczy oraz mających ambicje do samodzielnego reżyserowania dźwięku.

Drugi, zwany „amerykańskim”, preferuje takie kolumny, które po kupieniu i podłączeniu po prostu ładnie grają! W sprzeczności tej klasy nie przewiduje się żadnych regulatorów. Wzmacniacze posiadają jedynie regulację wzmocnienia. Całe kształtowanie obrazu dźwiękowego powierza się tu fachowcom w studiach nagraniowych i radiowych. Oczywiście, wówczas należy poświęcić dużo czasu na wybór i przy zakupie dobrać indywidualne cechy kolumny głośnikowej do swych upodobań i warunków odsłuchu.

Jeśli jesteśmy zwolennikami nurtu japońskiego, to zwrotnica do naszej

kolumny powinna co najwyżej wyrównać efektywność poszczególnych głośników. Są to zwykle proste tłumiki rezystancyjne dla głośnika wysokotonowego. Zwrotnica w tym przypadku jest prostsza i tańsza i nie wymaga indywidualnego strojenia. Jeśli natomiast oczekujemy od naszej kolumny ładnego grania od razu, czyli pewnych szczególnych cech, to można pomóc sobie odpowiednim ukształtowaniem sygnału przez zwrotnicę.

Częstym przypadkiem jest wstępne, fizjologiczne ukształtowanie tłumienia częstotliwości ok. 1000 Hz na poziomie minus 6dB, w stosunku do pozostałego pasma. Zwrotnice takie nadają się bardzo dobrze do typowego, cichego odsłuchu domowego. W kolumnach dyskotekowych lub „impresowych” zwrotnice korygujące nie są potrzebne.



W wielu przypadkach konstrukcji amatorskich, pomimo zastosowania bardzo dobrych głośników i właściwej zwrotnicy okazuje się, że uzyskany efekt nas nie zadowala. Zwykle przyczyną są niedostatki obudowy, zwłaszcza jeśli chodzi o tony niskie. Po próbach strojenia tunelu lub dobrania właściwej objętości obudowy możemy jeszcze pokusić się o uzyskanie zadowalających efektów, zwracając się do producenta dobrych zwrotnic o takie dostrojenie zwrotnicy, które zrekompensuje niedostatki naszej obudowy, oczywiście w granicach możliwości. Przy indywidualnym strojeniu barwy naszej kolumny, na analizatorze widma można na bieżąco obserwować zmiany charakterystyki w stosunku do przebiegów przed korektą.

Dodatkowe rozwiązania układowe

Przedstawione już układy są oczywiście najbardziej typowe, jednak nie jedyne. Spotyka się czasem inne, specyficzne rozwiązania układowe, wymagające odrębnej analizy.

Na zwrotnicach współpracujących ze wzmacniaczami wrażliwymi na przepięcia zwrotne, powstające na elementach indukcyjnych przy stromych zboczach opadających, są stosowane elementy antyprzepięciowe (iskierniki, transile, odgromniki itp.). Elementy takie zabezpieczają końcówki mocy typu MOS w starszych wzmacniaczach. W niektórych zwrotnicach można spotkać diody prostownicze. Pracują one jako jednopółkwe prostowniki sygnału akustycznego, w celu uzyskania stałego napięcia niewielkiej wartości do wstępnej polaryzacji kondensatorów elektrolitycznych. Zabieg taki znakomicie poprawia i stabilizuje parametry pracy elektrolitów.

Na wejściu sygnału do układu filtrującego oznacza się umownie przewód gorący i masowy dla zachowania fazowości w obu kanałach. Na wyjściach filtrów są oznaczone zwykle zaciski głośnika: gorący (+) i zimny (-). Zdarza się jednak, że podana przez producenta polaryzacja jest jedynie propozycją wynikłą z praktycznych odsłuchów. Może ona odbiegać od naszych własnych odczuć i należy spróbować odwrotnej polaryzacji głośnika wysokotonowego. Oczywiście taką odwrotkę trzeba wykonać w obydwu kanałach jednocześnie.

Przy bardziej rozbudowanych układach (więcej jak dwa ogniwa filtracyjne) dobrze jest przeprowadzić podobną próbę z głośnikiem średniotonowym. Pomimo iż teoretycznie można ustalić przesunięcie fazowe w danej gałęzi filtra, to w danej szerokości pasma pracy może zdarzyć się, że przesunięcie to zmienia się znacznie lub wręcz zmienia swój kierunek. Na te zjawiska nakładają się efekty akustyczne związane głównie z położeniem membran głośników względem siebie i ostatecznie decyduje o tak kompromis odsłuchowy.

Nie trzeba więc sztywno traktować zalecanych przez producentów zwrotnic polaryzacji. Doświadczenia z tym związane nie zagrażają głośnikom, filtrom ani wzmacniaczowi. Tym goręcej namawiam zatem do ich wykonywania!

Wpływ jakości użytych elementów na wierność odtwarzania dźwięku

Elementy indukcyjne

Cewki zastosowane do obróbki sygnału powinny spełniać dwa warunki:

1. Nie wnosić zniekształceń sygnału.
2. Mieć pomijalnie małą rezystancję (ok. 40-krotnie mniej niż głośnik - układy profesjonalne).

Pierwszy warunek spełniają jedynie cewki powietrzne (bezdzeniowe). Niestety, często spełnienie jednocześnie

warunku drugiego wymaga zastosowania drutu o średnicy powodującej gigantyczne rozmiary i cenę takiej cewki.

Szukając kompromisu dopuszcza się stosowanie, w zwrotnicach amatorskich, cewek o większej rezystancji (ok. 20-krotnie mniejszej niż rezystancja głośnika), albo cewek rdzeniowych. Podkreślić należy, że ostatnie lata przyniosły rewelacyjne, często chronione patentami, ferrytowe materiały magnetyczne, idealnie nadające się do zastosowań w akustyce.

Ważniejsza od rezystancji cewki jest jej dobroć, czyli stosunek oporności indukcyjnej do rezystancji. Jednak trudność posługiwania się dobrocią polega na tym, że musi ona być określona dla konkretnej częstotliwości. Bardziej doświadczeni Czytelnicy mogą spróbować obliczyć maksymalną, dopuszczalną rezystancję cewki, w przypadku gdy koniec pasma jej pracy przypada na 700 Hz, indukcyjność wynosi 1,6mH, a założona dobroć w tym punkcie wynosi minimum 10. (Odpowiedź: $R_{max}=0,7\Omega$).

W praktyce nie należy stosować cewek o dobroci mniejszej od 10 dla końcowego punktu jej pasma pracy. Powyższe uwagi pozwalają wyciągnąć wniosek, że im grubszego drutu użyto na cewkę, tym lepiej.

Jeśli zastosowano cewkę rdzeniową, należy zwrócić uwagę na to, żeby magnetowód był otwarty. Zapewniamy w ten sposób liniowy charakter indukcyjności w funkcji mocy przenoszonej przez rdzeń. Przekroczenie dopuszczalnego prądu w cewce powietrznej powoduje jedynie jej przegrzewanie i proporcjonalny wzrost strat. Przekroczenie dopuszczalnej obciążalności cewek rdzeniowych powoduje natomiast gwałtowną zmianę parametrów cewki i w konsekwencji niekontrolowaną pracę filtra.

Należy zwrócić uwagę na sposób zamocowania cewek. Wszelkie elementy mocujące (szpilki, obejmki, uszy itp.) powinny być wykonane z materiału niemagnetycznego. W przypadku cewek rdzeniowych nie powinny zamykać obwodu magnetycznego.

Elementy pojemnościowe (kondensatory)

Na temat typów kondensatorów stosowanych w akustyce powstało wiele mitów. Często powtarzane są wiadomości na ten temat, które były prawdziwe 20 lat temu, lecz obecnie są nieaktualne ze względu na rozwój techniki i udoskonalanie parametrów wytwarzanych elementów. I dlatego nieprawdą jest, że np. kondensatory elektrolityczne nie nadają się do pracy w filtrach akustycznych. Ważne jest, w której gałęzi filtracyjnej się one znajdują i czy przenoszą sygnał, czy jedynie zwierają jego część do masy. Ponadto są produkowane kondensatory bipolarne (elektrolityczne bezbiegunowe), specjalnie skonstruowane i przy-

stosowane do pracy w zakresie częstotliwości akustycznych. Tolerancja pojemności i jej wahania w funkcji temperatury takich elektrolitów również są niewielkie.

Produkowane dzisiaj kondensatory swymi parametrami przewyższają kondensatory starej generacji o rząd wielkości. W związku z tym traci znaczenie rodzaj dielektryka MKT czy MKP, a może lepiej MKS? Oczywiście w zwrotnicach najwyższej klasy stosuje się kondensatory o maksymalnie małym tangensie kąta stratności, ale moim zdaniem, bardziej dla porządku niż z przesłanek praktycznych. Zrozumiałe to może być jedynie w torze średnio- i wysokotonowym, i to tylko na bezpośrednio drodze sygnału. Najlepsze efekty osiąga się stosując kondensatory przystosowane do pracy impulsowej na napięcia 160V i większe.

Polskie oznaczenie tego typu kondensatorów z metalizowanym dielektrykiem foliowo-papierowym, to seria KFMP. Kondensatory tego typu o pojemnościach powyżej 3,3 μ F są jednak bardzo drogie. Należy zwrócić uwagę na napięcie pracy, które powinno być odpowiednio duże.

Rezystory

Stosować należy jedynie rezystory bezindukcyjne, drutowe. Najważniejszym parametrem jest dopuszczalna moc opornika. Rezystor zbyt małej mocy lub przekroczenie dopuszczalnej obciążalności zwrotnicy powoduje nie tylko zniszczenie elementu, lecz może stanowić poważne zagrożenie pożarowe. Przepalający się opornik może rozgrzać się nawet do kilkuset stopni Celsjusza!

W praktyce stosuje się zapas mocy od 4 do 6 razy, aby w normalnych warunkach pracy element nie rozgrzewał się nadmiernie. Spotkać można rezystory pięciowątowe przy małych wartościach rezystancji, małych mocach zwrotnic i zwrotnicach 4 Ω , aż do ok. 40-watowych w większych zwrotnicach.

Montaż samodzielny czy zakup gotowych zwrotnic?

Na rynku pojawia się wielu nowych producentów kolumn. Niestety, z przerażeniem stwierdzam, że niewielu z nich zdaje sobie sprawę z roli, jaką pełni zwrotnica, co odbija się wyraźnie na jakości gotowej kolumny. To prawda, że w kupowanej kolumnie zwrotnicy głośnikowej nie widać.

Nie może to być jednak powodem „superoszczędności produkcyjnych“! Większość oglądanych i mierzonych przeze mnie zwrotnic nie zasługiwała nawet na tę nazwę! Przypuszczam, że układy te powstają w trojaki sposób: 1. *Bezmyślne naśladownictwo układów z innych kolumn*

Dobrze, jeśli „przodek“ był dobrą (np. fabryczną) kolumną i wykonano wierną kopię. Zwykle jednak nie za-

chowuje się dobroci cewek (spotkałem cewkę główną głośnika niskotonowego nawiniętą drutem o średnicy 0,6 mm!) oraz przekrojów rdzeni. Gorzej, jeśli kopia pochodzi z kolumny nie najwyższego lotu.

2. Odwzorowanie układu z książki

W tym przypadku popełnia się poprzednie grzechy, pogarszając sprawę tym, iż w zasadzie często nie wiadomo do jakich głośników mamy schemat, czy jest to układ praktyczny, czy jedynie teoretyczny i odwzorowuje się, jak zwykle, jedynie parametry główne.

3. *Przypadek najgorszy - producent kolumn, niezwykle rzadko elektronicy, sami „konstruuja“ zwrotnice.* Używają do tego celu teoretycznych, książkowych wzorów, które w 99% zakładają, że głośnik jest rezystorem. Obliczenia takie, jak wykazuje praktyka, potrafią różnić się od rzeczywistości, w niektórych parametrach, nawet o 60%! (średnio o 20..30%).

Skutek tych praktyk jest taki, że zastosowana w kolumnie zwrotnica albo wyraźnie tłumi niektóre pasma, albo posiada różne tłumienia na różnych zboczach, przez co wprowadza straszliwe zniekształcenia fazowe albo wręcz powoduje przegrzewanie końcówki mocy (spadek impedancji znacznie poniżej dopuszczalnego minimum). Zaskoczony jestem tylko tym, iż dla większości młodych klientów nie ma to znaczenia!

Czyżby rosło nam pokolenie głuchych? Może dlatego egzystują jeszcze producenci skrzynek z głośnikami, bo trudno ich wyroby nazwać kolumnami!

Oczywiście, stosowane w produkcji zwrotnice nie są strojone! Aby właściwie zestroić zwrotnicę konieczny jest analizator widma akustycznego, a przyrzędem tym nie dysponują znane mi małe zakłady produkujące kolumny.

Na szczęście pojawiają się zakłady wyspecjalizowane w produkcji zwrotnic głośnikowych, które nie tylko wiedzą co robią, ale oferowany asortyment wyraźnie klasyfikują. Można więc świadomie kupić zwrotnicę tanio, o dostatecznych parametrach lub luksusową, płacąc oczywiście stosownie drożej.

Janusz Bogusławski

Autor dziękuje firmie PPH „JANBO“ z Wołomina za udostępnienie wybranych egzemplarzy zwrotnic oraz aparatury do pomiarów i sporządzenia przedstawionych wykresów (opublikowanych w pierwszej części artykułu).