

Zwrotnice głośnikowe

- zapomniane ogniwo, część 1

Artykuł ten jest adresowany do majsterkowiczów próbujących zbudować własne kolumny. Nie jest przewodnikiem konstruktorskim, lecz zwraca uwagę na wiele szczegółów układowych i elementowych, co powinno umożliwić świadomy wybór zwrotnic lub ich wstępną ocenę. Mamy nadzieję, że tym artykułem wyjaśnimy wiele zagadnień związanych z odpowiednim łączeniem głośników i rozwiejemy niektóre mity krążące na temat zwrotnic, a wynikające z braku pełnej wiedzy na ten temat.

Każdy łańcuch jest tylko tak mocny, jak najsłabsze jego ogniwo! Warto pamiętać o tej, nie tylko filozoficznej, prawdzie, gdy przyglądamy się swojemu kącikowi audio.

Ku memu zdziwieniu, wielu użytkowników domowego sprzętu nagłaśniającego z niebywałą wnikliwością szuka w dołączanych do niego opisach danych katalogowych lub danych technicznych swoich cacuszek. Często parametry te nie mają bezpośredniego wpływu na jakość uzyskiwanego dźwięku. Jeśli już wpływ taki mają, to znikomy procent słuchaczy uświadomi sobie znaczenie danego parametru. Nie przeszkadza im to jednak przeliczywać się poszczególnymi wskaźnikami. Zazwyczaj licytacja idzie w złym kierunku! Ale co zrobić, gdy ucho nie jest w stanie, a wiedzy nie staje? Również producenci zaczynają podawać szczegóły konstrukcyjne mające oczywiście wpływ na jakość, często jednak w sposób niemierzalny lub nieistotny dla normalnego słuchacza.

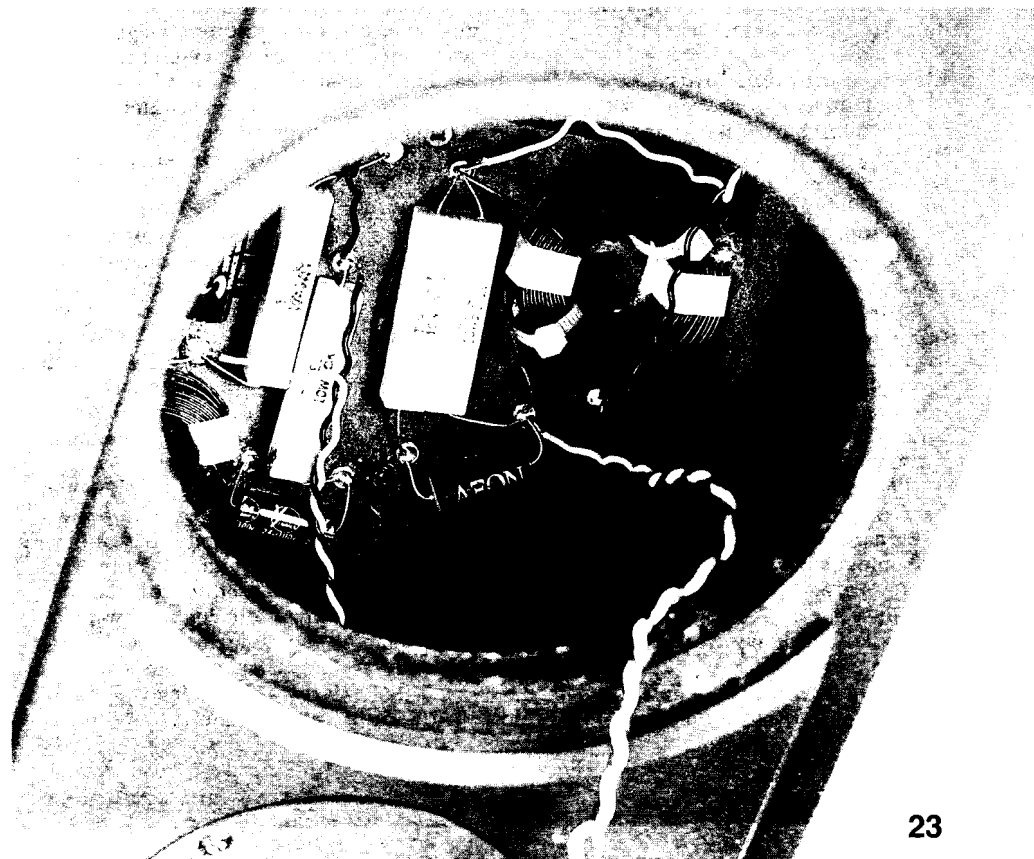
Przykładem może być informowanie nabywcy odtwarzacza kompaktowego o długości fali światła diody laserowej czy częstotliwości próbkowania przetwornika cyfrowo-analogowego. Producenci wzmacniaczy zaczynają pisać nie tylko o klasie pracy, ale podają wręcz rozwiązania układowe. Wiemy, że wybrany przez nas sprzęt ma końcówkę mocy „na fetach”, płyt-

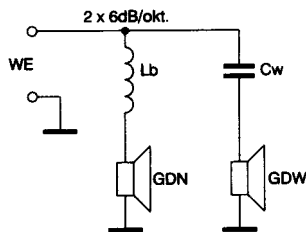
kie sprzężenie zwrotne, stabilizowane punkty pracy wzmacniacza napięciowego, transformatory zasilacza nawinięte miedzią beztlenową, specjalne, złożone kondensatory elektrolityczne do filtrowania itd. Tak perfekcyjnie wykonane źródła zasilania oraz wzmacniacz przenoszący od 0Hz do 100kHz zawsze zostają obciążone zestawem głośnikowym. Zestaw ten jest wnikliwie oglądany przez klienta pod kątem liczby głośników (przeważnie im więcej, tym lepiej), rozmiarów i rodzaju głośników. Czasami istotne dla kupującego jest również to, czy zaciski wejściowe są aby na pewno złożone!

Jeśli zaliczasz się do tych niewielu ludzi, którzy potrafią rozpoznać uchem, jakiej firmy miotełek jazzowych akurat teraz użył perkusista lub ile procent czystego srebra mają talerze używane przez zespół X na koncercie w Y, to musisz ocenić jedynie możliwości swojego portfela i studiować rzeczywiście skrupulatnie wszystkie dane o sprzęcie!

Wszystkie szczegóły konstrukcyjno-układowe są oczywiście ważne. Należy jednak zdawać sobie sprawę z ich wagi i znaczenia - można przecież kupić opony Pirelli do konnej furmanki - tylko po co?! Działanie takie wydaje się pozbawione sensu.

O wspomnianych wyżej elementach toru akustycznego można wiele przeczytać w różnego rodzaju publikacjach. Możemy określić dość dokładnie ich klasę, czyli wypadkowy wskaźnik ja-





Rys. 1.

kości, począwszy od tunera, odtwarza-
cza CD czy magnetofonu, poprzez
korektor, wzmacniacz, odpowiednie
kable głośnikowe, a na gotowej kolum-
nie głośnikowej kończąc. Uświadamia
też wpływ parametrów filtrów na
jakość toru akustycznego, w porówna-
niu z parametrami pozostałych ele-
mentów tego toru, czyli innych ogniw
obróbki sygnału.

W przypadku kolumn głośnikowych
parametry podawane przez producenta
mówią najmniej. Dlatego klienci przy-
glądają się dokładnie użytym głośni-
kom oraz, coraz częściej, poddają
kolumny subiektywnym badaniom od-
słuchowym. Ze względu na astron-
omiczne ceny dobrych zestawów, ko-
lumnę głośnikową są wciąż najczęściej
samodzielnie montowanym elementem
domowego wyposażenia audio.

W łańcuszku sygnału akustycznego
znajduje się również zwrotnica, o któ-
rej zazwyczaj zapominamy. Ogólne
wyobrażenie jest takie, że wystarczy
zdobyć niezłe głośniki, skopiować obu-
dowę z dobrego „przodka” i gotowe.
A zwrotnica?

Na podstawowe pytanie: kupić go-
tową zwrotnicę czy wykonać ją same-
mu, można odpowiedzieć dopiero po
zapoznaniu się z parametrami zwrot-
nic, ich funkcją, możliwościami wy-
konawczymi i określeniu wymagań. Dy-
lemat ten będzie więc rozstrzygnięty
dopiero pod koniec artykułu.

Etapy i nomenklatura

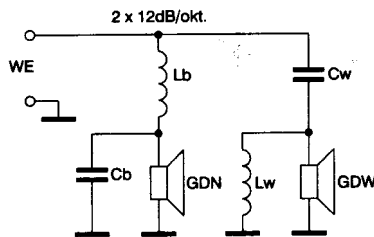
Decydując się na samodzielną bu-
dowę kolumn głośnikowych natknijemy
się na problem filtrów, czyli zastoso-
wania odpowiedniej zwrotnicy. Budo-
wanie dobrych zestawów głośniko-
wych to zajęcie trudne, pracochłonne
i wymagające prawie absolutnego słu-
chu.

Aby samodzielnie zbudować „dob-
rą” kolumnę należy:

- zastosować odpowiednie głośniki;
- wykonać właściwą obudowę;
- dobrać zwrotnicę odpowiedniej klasy
do zastosowanych głośników i zało-
żeń jakościowych.

Pamiętać należy, że niespełnienie
choćby jednego z powyższych warun-
ków całkowicie zniweczy trud i nie
zrekompensuje kosztów poniesionych
przy realizacji pozostałych! Dlatego tak
ważne jest, aby świadomie wybierać
nie tylko markowy głośnik, ale i sto-
sowną zwrotnicę głośnikową.

Z punktu widzenia elektrycznego,
zwrotnica jest złożeniem co najmniej



Rys. 2.

dwóch filtrów prądowych. Pojedyncze
filtry są stosowane również w kolum-
nach. Dla jasności określeń użyta
zostanie wówczas wyraźnie nazwa
„filtr”. Ze względu na panujący bała-
gan nomenklatury umówmy się, że
używając określenia „zestaw głośni-
kowy” rozumiemy pod nim cały system
złożony często z kilku „kolumn głoś-
nikowych”, nie wdając się w dywaga-
cje nad mniejszą czy większą popra-
wnością tych określeń. I tak na
przykład domowy zestaw głośnikowy
może składać się z kolumny sub-baso-
wej i dwóch kolumn satelitarnych.

Do czego służą zwrotnice głośnikowe?

Zwrotnica głośnikowa spełnia trzy
podstawne zadania w układzie:

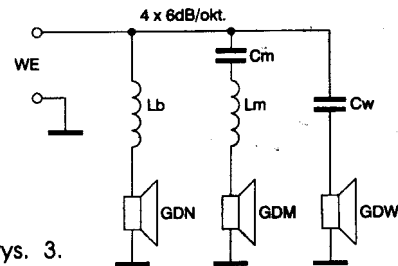
1. Rozdziela dostarczony sygnał aku-
styczny, mieszczący się zwykle
w przedziale częstotliwości od 20
Hz do 20000 Hz, pomiędzy głośniki
wyspecjalizowane w przetwarzaniu
sygnału pewnych zakresów częstot-
liwości. Dodatkowo zwrotnica po-
zwala jednocześnie na efektywne
zabezpieczenie głośników przed
zniszczeniem przez sygnał o nieod-
powiedniej dla danego głośnika czę-
stotliwości. Fachowcy twierdzą, że
nic tak skutecznie nie zabezpiecza
głośników, jak dobra zwrotnica!

I tak, w zestawie dwudrożnym, do
głośnika nisko-średniotonowego kiero-
wana jest ta część sygnału, która
zawiera częstotliwości od 0 do ok.
4000 Hz. Sygnał o pozostałej części
widma jest doprowadzany do głośnika,
który potrafi przetworzyć go znacznie
lepiej. Zwykle jest to głośnik tubowy
lub kopułkowy.

Rozdzielenie sygnału jest potrzebne
nie tylko dlatego, że głośnik niskoto-
nowy nie może przetworzyć w fałę
akustyczną sygnału prądowego o czę-
stotliwości np. 12 kHz, ale również
dlatego, że prądy o częstotliwościach
nie przetwarzanych przez głośnik, pły-
nęłyby przez niego, niepotrzebnie ob-
ciążając cewkę głośnika oraz wzmac-
niacz.

W wielu kolumnach głośnikowych
niskiej jakości, gdzie wysokotonowy
głośnik odseparowano jedynie konden-
sátorem, ma miejsce taki właśnie przy-
padek. Na tak oszczędne rozwiązanie
można sobie pozwolić jedynie w przy-
padku małej mocy wzmacniacza i za-
pasu mocy głośnika niskotonowego.

O ile skierowanie całego sygnału
w kolumnie dwudrożnej na głośnik



Rys. 3.

niskotonowy zagraża jedynie wzmac-
niaczowi oraz powoduje „wyjadanie”
części sygnału, którą mógłby przetwo-
rzyć głośnik wysokotonowy, o tyle nie-
możliwe jest skierowanie całego syg-
nału na głośnik wysokotonowy. Głoś-
nik ten, przystosowany do przetwarza-
nia wysokich częstotliwości, „nie prze-
żyje” zasilania sygnałem niskotonow-
ym. Większość mocy akustycznej jest
niesiona niskimi częstotliwościami,
dlatego rzeczywiste, dopuszczalne mo-
ce głośników wysokotonowych wahają
się od ułamków, do pojedynczych
watów! Celowo podawane przez wy-
twórców (chyba ze względów reklamo-
wych) moce głośniczków, np. kopuł-
kowych, informują „do jakiej nominal-
nej mocy zestawu” może być użyty
dany głośnik. Można się tego dowie-
dzieć dopiero po wnikliwym zapozna-
niu z pełnymi danymi katalogowymi
głośniczka.

Właśnie z powyższych powodów,
nawet najprostsze dwudrożne zestawy
posiadają namiastkę zwrotnicy w po-
staci kondensatora zabezpieczającego
głośniczek wysokotonowy. Oczywiście,
impedancja takiej kolumny w funkcji
częstotliwości pozostawia wiele do
życzenia. Rozdzielenie sygnału aku-
stycznego na dwa bardzo dobre, wys-
pecjalizowane głośniki jest w pełni
wystarczające do odsłuchu domowego,
co potwierdzają nowe konstrukcje wy-
sokiej klasy zestawów, czołowych firm
światowych. Zestawy trójdrożne stosu-
je się wówczas, gdy posiadane głośniki
nie są w stanie pokryć całego pasma
akustycznego lub w zestawach specja-
lizowanych, konstruowanych dla spe-
cyficznych aplikacji.

Dzielenie sygnału na więcej niż trzy
tory, przy parametrach obecnie produ-
kowanych głośników, wydaje się nie-
celowe. Budowanie natomiast kolumn
pięcio- i więcej kanałowych świadczy
jedynie o niezrozumieniu istoty dziele-
nia pasma akustycznego i może wyraż-
nie pogorszyć przetwarzany obraz mu-
zyczny ze względu na nakładanie się
wielu problemów elektronicznych
i akustycznych. W warunkach amators-
kich należy stanowczo poprzestać na
układach trójdrożnych z sugestią zdo-
bycia bardzo dobrych głośników i bu-
dowy zestawu dwudrożnego!

2. Zabezpiecza wzmacniacz przed spad-
kiem wypadkowej impedancji całego
zestawu, różnie połączonych głośni-
ków, poniżej dozwolonej dla danego
wzmacniacza wartości (najczęściej
4Ω).

Gdyby do kolumny doprowadzić sygnał sinusoidalny o częstotliwościach rosnących od zera do 20 kHz, to w poprawnie skonstruowanym układzie „grałyby“ kolejne głośniki, zachodząc na siebie łagodnie w punktach podziału, a impedancja wypadkowa (widziana przez wzmacniacz), dla każdej częstotliwości, byłaby większa od nominalnej.

Niestety, w praktyce sygnał nie jest sinusoidą, lecz zawiera bardzo dużo harmonicznych, co powoduje, że filtry kierują „dźwięk“ do dwóch lub więcej głośników jednocześnie, a to może powodować przeciążanie wzmacniacza. Oczywiście, problemy spadku impedancji zespolonej są o wiele bardziej złożone.

Ze względu na charakter artykułu nie zagłębiany się w teoretyczne wywody, podkreślając, że jakość zastosowanych zwrotnic ma podstawowe znaczenie dla utrzymania właściwej impedancji oraz fazy w całym pasmie, a co za tym idzie, dla bezpiecznej pracy wzmacniacza.

3. Koryguje wypadkowy obraz dźwiękowy. Ważną, a często celowo nie eksponowaną, funkcją zwrotnicy jest korygowanie niedostatków gotowej kolumny. Za pomocą zwrotnicy można również kształtować, podobnie jak korektorem (z tą jednak różnicą, że na stałe) ogólny obraz dźwiękowy kolumny. W praktyce wykorzystuje się to często w kolumnach specjalnych (np. ograniczając pasmo w kolumnach kościelnych). Innym razem precyzyjnie niwelując nierównomierność charakterystyki w kolumnach monitorowych (badawczo-pomiarowe kolumny bez podbarwień).

Podstawowe rodzaje zwrotnic i ich parametry

W akustyce powszechnie stosuje się rachunek decybelowy, a co za tym idzie skalę logarytmiczną, nie tylko w odniesieniu do ciśnienia akustycznych, ale również do określania wartości elektrycznych. Dlatego wszystkie wykresy tłumień są opisywane i przedstawione w skali logarytmicznej.

Wyjaśnienia wymaga jeszcze pojecie oktawy. Oktawą nazywamy taki dowolny przedział częstotliwości, którego wartość górnej granicy jest dwukrotnie większa od wartości granicy dolnej. Np. przedział częstotliwości od 1 kHz do 2 kHz to jedna oktawa. Również przedział od 16 Hz do 32 Hz, to też jedna oktawa. W akustyce przyjęto, że całe pasmo użytkowe (słyszalne), to 10 oktaw.

Kolejne oktawy temperowanej skali muzycznej to: 16,4-32,8-65,6-131,2-262,4-524,8-1049,6-2099,2-4198,4-8396,8-16793,4 Hz.

Pierwszego podziału zwrotnic można dokonać, ze względu na liczbę torów sygnału:

- zwrotnice dwudrożne - z jedną częstotliwością podziału;
- zwrotnice trójdrożne - z dwiema częstotliwościami podziału, itd;
- zwrotnice odgałęźnikowe - w istocie są to zwrotnice dwudrożne z bardzo niskim podziałem.

Sygnał niskotonowy kieruje się na zestaw sub- lub niskotonowy, a sygnał reszty pasma nie na głośnik, lecz na kolumnę satelitarną, która może być dwu- lub trójdrożna, z własną zwrotnicą. Zwrotnice odgałęźnikowe nazywamy też superbasowymi. W konstrukcjach filtrów głośnikowych przyjęto, że skrajne pasma nie są ograniczane. Oznacza to, że w zwrotnicy dwudrożnej pracuje filtr dolnoprzepustowy, od 0 Hz, a nie np. od 20 Hz, do częstotliwości podziału. Filtr górnoprzepustowy od częstotliwości podziału bez ograniczeń w górę, a nie np. do 20 kHz. Bywają oczywiście wyjątki, ale zdarzają się rzadko i jedynie w zastosowaniach specjalnych i profesjonalnych.

Drugi podział zwrotnic jest możliwy ze względu na impedancje obciążenia:

- zwrotnice typowe (4Ω);
- zwrotnice typowe (8Ω);
- zwrotnice mieszane (4/8 i 8/4Ω);
- zwrotnice nietypowe (np. „Bolero“ 6/15/15Ω).

Należy zwrócić uwagę, aby wyjścia zwrotnicy były dopasowane do przyłączanych głośników!

Trzeci podział zwrotnic jest możliwy ze względu na zastosowanie (częściowo pokrywa się to z ogólnie rozumianą jakością):

- zwrotnice popularne, do zastosowań w sprzęcie powszechnego użytku;
- wysokiej klasy, do zastosowań w sprzęcie dla audiofilii - TOP HI-FI;
- estradowe, zwykle dużej mocy i konstrukcyjnie dzielone na pojedyncze filtry;
- samochodowe, zaopatrzone we własną obudowę i dodatkowo zabezpieczone przed wstrząsami;
- specjalne, np. do indywidualnych systemów nagłośnieniowych, katedralnych, teatralnych itp.

Kolejnego, czwartego podziału zwrotnic można dokonać biorąc pod uwagę skuteczność tłumienia, czyli słabsze lub mocniejsze odseparowanie poszczególnych głośników od siebie:

- zwrotnice z filtrami 6 dB/okt;
- zwrotnice z filtrami 12 dB/okt;
- zwrotnice z filtrami 18 dB/okt;
- zwrotnice z filtrami 24 dB/okt. (rzadko spotykane);
- zwrotnice z tłumieniami mieszanymi.

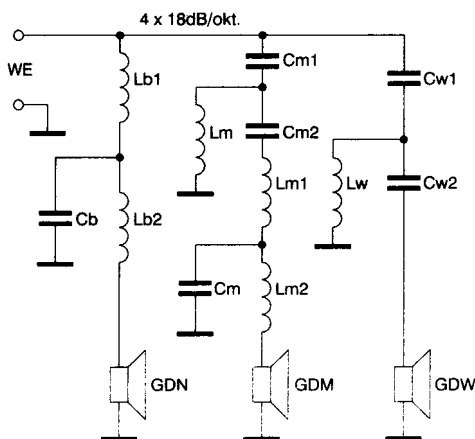
Silniejsze tłumienia nie są potrzebne, a ze względu na nieliniowy, impedancyjny charakter obciążenia, są w praktyce niewykonalne jako dobre filtry bierne.

Kolejny, piąty podział zwrotnic wynika z wypadkowego tłumienia kolumn:

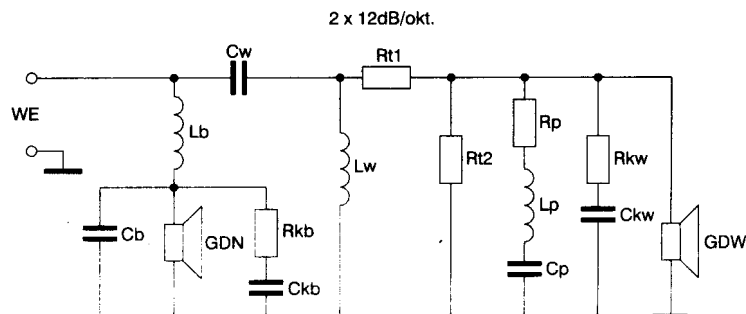
- zwrotnice liniowe;
- zwrotnice korygujące.

Ostatni, szósty podział zwrotnic wynika z zastosowanych przez konstruktora odpowiednich rozwiązań układowych:

- z pojedynczymi ogniwami filtrującymi (6 dB/okt, rys. 1);
- złożenia typu G (12 dB/okt, rys. 2);
- szeregowe obwody rezonansowe (6 dB/okt, rys. 3) - głośnik średniotonowy;
- złożenia typu T (18 dB/okt, rys. 4);
- układy mieszane;
- konstrukcje „pełne“ z korektorami impedancji głośników, szeregowymi pułapkami częstotliwości rezonansowych i z tłumikami efektywności (rys. 5).



Rys. 4.



Rys. 5.

Zwrotnica wykonana zgodnie z rys. 1 o nachyleniu 2x6 dB/okt.

Jest to najprostsza z możliwych, poprawnie działająca zwrotnica. Stosuje się ją w kolumnach o niewielkich wymaganiach na równomierność charakterystyki. Stosując taką zwrotnicę, należy zwrócić uwagę na podobną efektywność głośników, czyli zastosować dobry głośnik niskotonowy i „słaby” wysokotonowy. Obydwa jednak głośniki powinny mieć spory zapas mocy, ze względu na stosunkowo szerokie pasmo pracy.

Oczywiście, zagadnienie należy odwrócić. To zwrotnicę dobieramy do wymagań jakościowych i posiadanych głośników, a nie na odwrót! Wybór takiej zwrotnicy należy traktować jako oszczędnościowy, zapewniający niezbędne minimum jakościowe.

Zwrotnica wg rys. 2 o nachyleniu 2x12 dB/okt.

Najbardziej rozpowszechniony rodzaj zwrotnicy, ze względu na tłumienia wystarczające do dobrego zabezpieczenia głośników, brak niespodzianek fazowych oraz możliwość współpracy z różnymi głośnikami. Wystarczy zadbać jedynie o właściwe impedancje dołączanych głośników. W przedstawionym na rysunku przykładzie nie zastosowano elementów korekcji impedancji i efektywności głośników.

Zwrotnica wykonana wg rys. 3 o nachyleniu 4x6 dB/okt.

Najprostsza zwrotnica trójdrożna (typu ALTUS), spełniająca jedynie podstawowe funkcje zabezpieczające. Dostkonala do kolumn szkolnych, kawiarnianych i pomocniczych. Do głośnego słuchania muzyki rockowej w domu, gdy nad perfekcyjną jakością przedkładamy „czad“!

Zwrotnica wykonana wg rys. 4 o nachyleniu 4x18 dB/okt.

Układy o silnych tłumieniach stosujemy tam, gdzie chcemy maksymalnie „wycisnąć” głośniki. Ciągła moc doprowadzona do głośnika przez taką zwrotnicę może być zbliżona do maksymalnej mocy głośnika w jego pasmie pracy. Np. do głośnika o mocy nominalnej 60W (maksymalnej 100W) można bez obawy, w sposób ciągły, doprowadzać moc ok. 90W!

W przypadku zwrotnic 6 i 12dB zaleca się nie przekraczać mocy znamionowej (nominalnej). Zwrotnice 18dB/okt. polecam tym, którzy zdobyli bardzo dobre głośniki, ale za słabe mocowo do posiadanego wzmacniacza. Im większe tłumienie filtrów zwrotnicy, tym lepsze zabezpieczenie głośników! Zagadnienie można też odwrócić. Jeśli posiadamy duży zapas mocy na głośnikach w stosunku do wzmacniacza, nie musimy stosować drogich zwrotnic 18 dB.

Przedstawione na rys. 1.5 przykładowe rozwiązania układowe charakteryzują się dużą równomiernością tłumienia. Oznacza to, że na zboczach charakterystyki każdego filtra, z których złożona jest zwrotnica, nachylenie charakterystyki tłumienia jest jednakowe. Upraszcza to znacznie strojenie zwrotnicy i nie powoduje tzw. siodełek i wzmocnień mocy wypadkowej dla całego pasma. Charakterystyki poszczególnych filtrów powinny, w takich przypadkach, przecinać się na poziomie -3dB. Jedynie dla tłumień 6dB/okt., w zwrotnicach dwudrożnych, przyjmuje się często poziom -6dB. Dla charakterystyk napięciowych poziom -6dB odpowiada dwukrotnemu spadkowi napięcia. Przy operowaniu jednak pojęciami mocy, dwukrotny jej spadek wyraża się poziomem - 3dB w skali napięcia.

Na rys. 6 i 7 przedstawiono rzeczywiste charakterystyki zwrotnic trójdrożnych, obciążonych głośnikami, w których tłumienia nie są równomierne. Na rys. 6 zobczają opadające, tzn. krzywa tłumienia głośnika niskotonowego i prawe zbocze krzywej tłumienia głośnika średniotonowego, mają spadek 12dB/okt. Natomiast zobczają rosnące, tzn. lewe zbocze krzywej tłumienia głośnika średniotonowego i krzywa tłumienia głośnika wysokotonowego, mają nachylenie 6dB/okt. Częstotliwości podziału tej zwrotnicy wynoszą 1160 Hz i 6000 Hz.

Na rys. 7 tłumienie głośnika średniotonowego jest silniejsze (po 12dB/okt. z obu stron), natomiast zobczają głośnika nisko- i wysokotonowego mają tłumienia po 6dB/okt. Częstotliwości podziału to 700Hz i 4600Hz.

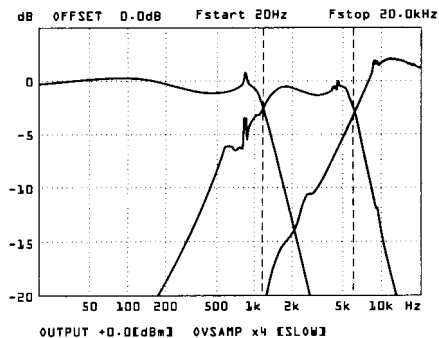
Funkcje elementów

W celu wyjaśnienia funkcji poszczególnych elementów konstrukcyjnych, najbardziej typowej 12dB zwrotnicy, omówiono je szczegółowo na przykładzie zwrotnicy dwudrożnej z rys. 5

Cewka Lb i kondensator Cb są właściwymi elementami filtrującymi sygnał dla głośnika niskotonowego.

Kondensator Cw i cewka Lw filtrują sygnał dla głośnika wysokotonowego. Dwójnik szeregowy Rkb, Ckb jest korektorem impedancji głośnika niskotonowego. Podobnie jak dwójnik Rkw, Ckw dla głośnika wysokotonowego.

Korektor impedancji w przypadku głośnika niskotonowego kompensuje indukcyjny charakter impedancji cewki głośnika dla dużych częstotliwości, dzięki czemu wypadkowa oporność cewki głośnika i korektora dla całego pasma pracy nie ulega gwałtownemu wzrostowi i jest zbliżona bardziej do rzeczywistej rezystancji. Pozwala to na mniejsze przesunięcia fazowe, co poza walorami akustycznymi umożliwia pełniejsze wydzielanie mocy rzeczywistej na cewce głośnika.



Rys. 6.

Szeregowo połączone elementy Rp, Lp i Cp stanowią pułapkę dostrojona do częstotliwości rezonansowej głośnika wysokotonowego. Pułapka taka wymaga bezwzględnie strojenia w gotowej zwrotnicy z podłączonym głośnikiem i dlatego jest rzadko stosowana. Jednak w zwrotnicach wyższej klasy, gdzie zadbano o liniowy przebieg charakterystyki filtrów, można spotkać „pułapki rezonansowe” również dla głośnika średniotonowego.

Dzielnik złożony z rezystorów Rt1 i Rt2 jest typowym tłumikiem pozwalającym wyrównać efektywności głośników. Zwykle tłumienia wymagają głośniki średnio- i wysokotonowy, ponieważ są sprawniejsze od głośników niskotonowych.

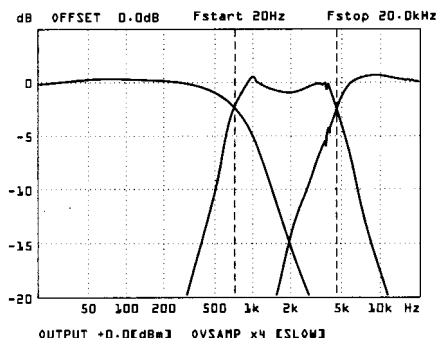
Dopuszczalna, przenoszona przez zwrotnicę moc elektryczna

Ten parametr jest wspólny dla wszystkich rodzajów zwrotnic. Obecnie górna granica mocy, dla której stosuje się filtry biernie, wynosi ok. 300W.

Dla większych mocy dobra zwrotnica osiąga monstrualne rozmiary i wysokie ceny. W takim przypadku rozsądniej jest zastosować zwrotnice aktywne w postaci przedwzmacniaczy pasmowych i kilku końcówek mocy.

Janusz Bogusławski

Autor dziękuje firmie PPH „JANBO” z Wołomina za udostępnienie wybranych egzemplarzy zwrotnic oraz aparatury do pomiarów i sporządzenia przedstawionych wykresów.



Rys. 7.

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 polecamy 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 (woofler) 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 jakies „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 mało przewidywalnych warunkach pracy.

Zabezpieczenia bierne można wykonać przy pomocy włączanej 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 przyłączania głośników. Końcówki mocy chronione są przeciwzwarciowo, 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 kolumn wyodrębnić można dwa nurty.

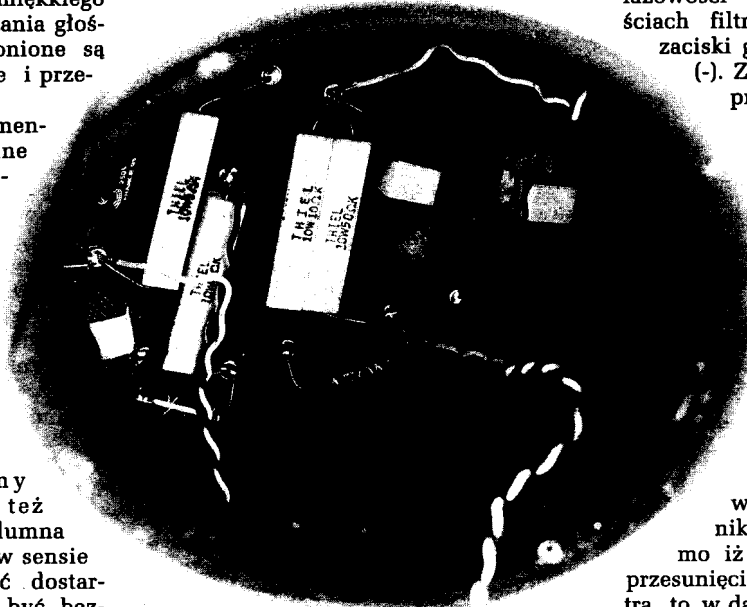
Pierwszy, zwany „japońskim”, a później też „europejskim” zakłada, że kolumna powinna jak najwierniej, w sensie elektrycznym, odwzorowywać dostarczony do niej sygnał, czyli być bezdusznym monitorem. Ewentualne podbarwienia i korekcie dźwięku może przecież słuchacz wykonać sobie samodzielnie za pomocą licznych korektorów barwy, wielopunktowych equalizerów parametrycznych itp. urządzeń, 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 „impresyjnych” 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 jednopółkolkowe 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 odwrotną 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 i tak kompromis odsłuchowy.

Nie trzeba więc sztywno traktować zaleceń 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 (bezdzieleniowe). 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 zamieniać 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 bezpośredniej 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 pięciowatowe 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* - producenci kolumn, niezwykle rzadko elektronicy, sami „konstruują“ 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 przyrządem 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 Bogustawski

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).

