



Samodzielne konstruowanie zespołów głośnikowych

Budowa, zasada działania i niektóre podstawowe parametry głośnika dynamicznego

Na początku naszych rozważań wprowadźmy jedno użyteczne rozróżnienie - pod pojęciem *głośnik* będzie zawsze występował pojedynczy głośnik, natomiast kompletne urządzenie (głośniki ze zwrotnicą w obudowie) będzie nazywane *zespolem głośnikowym*. Załóżmy też, że *układ głośnikowy* to hipotetyczny komplet głośników do zespołu głośnikowego (gdy nieistotne są kwestie obudowy).

Najpopularniejszym rodzajem głośnika jest głośnik dynamiczny. Spotykany jest on w zdecydowanej większości zespołów głośnikowych, i w zasadzie jako jedyny rodzaj głośnika jest brany pod uwagę przez hobbistów. Nie będziemy więc tracić miejsca na przedstawianie niepraktycznych ciekawostek pod postaciami innych rodzajów głośników, ale od razu przejdziemy do omówienia głośnika dynamicznego, który będzie nam towarzyszył aż do końca cyklu wykładów.

Zadaniem każdego rodzaju głośnika jest zamiana energii elektrycznej, dostarczonej ze wzmacniacza, na energię akustyczną - falę dźwiękową, która będzie cieszyć nasze uszy. Głośnik dynamiczny dokonuje tej zamiany wykorzystując zjawisko powstawania siły poruszającej cewką, przez którą płynie zmienny prąd elektryczny, gdy ta znajduje się w stałym polu magnetycznym (stąd też głośnik dynamiczny nazywany jest również magnetoelektrycznym). Ruch cewki odzwierciedla zmiany przyłożonego do niej napięcia. Do cewki przymocowana jest membrana, która poruszając się wraz z cewką powoduje zaburzenie powietrza, a w ślad za tym powstanie fali akustycznej.

Efektywność głośnika

Sprawność energetyczna typowych głośników dynamicznych jest bardzo mała, wynosi najwyżej kilka procent, często poniżej pro-

centa. Oznacza to, że np. 100W doprowadzonej mocy elektrycznej zamienia się np. na 1W mocy akustycznej - reszta zamienia się w ciepło. Jest to informacja ważna o tyle, że wyjaśniająca, iż głośnik o mocy znamionowej np. 100W może **przyjąć** 100W mocy elektrycznej. **Odda** znacznie mniej watów mocy akustycznej, ale nie przyjęło się wyrażać jej w watach. Zamiast tego otrzymujemy parametr efektywności, która jest właśnie miarą sprawności. Efektywność to ciśnienie akustyczne, jakie otrzymamy w odległości 1m od głośnika (lub zespołu głośnikowego) przy dostarczeniu 1W lub 2.83V. Dostarczenie 1W pozwala określić efektywność mocową, dostarczenie 2.83V efektywność napięciową. Dla głośnika o impedancji 8 omów przyłożenie 2.83V oznacza dostarczenie 1W, więc efektywność mocowa i napięciowa są w tym przypadku równe. Inaczej dla głośnika 4-omowego, gdzie 2.83V oznacza dostarczenie 2W. Dlatego efektywność napięciowa głośników 4-omowych jest dwa razy wyższa od ich efektywności mocowej. Efektywność wyrażana jest w decybelach (dB), które są

miarą skali logarytmicznej. W tym przypadku oznacza to, że 3dB określają różnicę dwukrotną, 6dB czterokrotną, 12dB osmiokrotną, itd., a np. 10dB różnicę dziesięciokrotną. Głośnik 90-decybelowy ma efektywność dwukrotnie wyższą od 87-decybelowego. Inaczej mówiąc, ten pierwszy wytworzy dwa razy wyższe ciśnienie akustyczne przy takiej samej dostarczonej mocy elektrycznej.

Efektywność jest bardzo ważnym parametrem, decydującym w takim samym stopniu o możliwościach do osiągnięcia natężeniach dźwięku, co moc znamionowa. Można powiedzieć, że maksymalne natężenie dźwięku, jakie głośnik może wytworzyć, jest iloczynem mocy i efektywności.

Parametr efektywności, podobnie jak moc znamionowa, nie powinien być jednak kojarzony wprost z jakością głośnika. Jest wiele wymyślonych głośników, które mają niskie efektywności, a doskonale inne parametry. Gdybyśmy przyjrzeni się bliżej konstrukcji i parametrom głośnika i całego zespołu głośnikowego, dojrzelibyśmy ciekawą zależność - aby uzyskać szerokie pasmo przenoszenia albo wysoką moc, trzeba się zgodzić na kompromis w efektywności, i na odwrot.

Impedancja znamionowa

Cewka drgająca głośnika ma określoną rezystancję (R_e) i indukcyjność (L_e). Charakterystyka impedancji rośnie od wartości niewiele większej od wartości rezystancji cewki drgającej dla najniższych częstotliwości, do wartości znacznie wyższej przy częstotliwościach wysokich. Jednocześnie, wskutek zjawiska rezonansu układu drgającego, który występuje we wszystkich głośnikach dynamicznych, na charakterystyce impedancji głośnika pojawia się jedno wyraźne maksimum. Minimum wartości impedancji, leżące na skali częstotliwości bezpośrednio powyżej tego maksimum, służy do wyznaczania impedancji znamionowej. Wartość impedancji znamionowej standaryzuje się najczęściej do wartości 8 lub 4 omów, rzadziej do 6 omów, tak aby we wspomnianym minimum wartość impedancji nie była niższa o więcej niż 25% od zadeklarowanej impedancji znamionowej. Np. jeśli w minimum impedancja ma wartość 6,5 oma, to producent ma prawo określić głośnik jako znamionowo 8-omowy. Jednocześnie sama rezystancja cewki ma wartość jeszcze niższą. W głośnikach znamionowo 8-omowych rezystancja cewki drgającej wynosi zwykle 5 - 5,5 oma, w głośnikach znamionowo 4-omowych około 3 omów.

Impedancja znamionowa nie ma żadnego związku z jakością głośnika. Do niektórych projektów lepiej pasują głośniki

8-omowe, do innych 4-omowe (jest to związane z charakterystykami współpracującego wzmacniacza).

Moc znamionowa - próba 100 godzin

Moc znamionowa to moc elektryczna, jaką można dostarczyć do głośnika w sposób ciągły. Nowoczesna norma IEC 268-5 mówi o próbie 100 godzin. W tym czasie dostarcza się do głośnika sygnał - szum, którego widmo częstotli-

wościowe odpowiada ustalonemu przez normę widmu przeciętnego sygnału muzycznego. Większość energii w takim sygnale (i w muzyce) kumuluje się na przedłomie niskich i średnich częstotliwości, w okolicach 200Hz, i spada nieco w kierunku najniższych, a wyraźnie w kierunku wyższych częstotliwości. Jednocześnie głośniki przeznaczone do pracy nie w całym pasmie, ale w jego wybranych zakresach (średniotonowe, wysokotonowe), próbowane są odpowiednim dla nich fragmentem podstawowego sygnału testującego (głośniki podłączone są przez odpowiednie filtry).

Jednym z najważniejszych parametrów głośnika jest jego charakterystyka przenoszenia. Wymaga ona jednak znacznie obszerniejszego omówienia.

Dokładniejsze przyjrzenie się budowie i parametrom głośnika dynamicznego będzie sensowniejsze po dokonaniu już podziału na poszczególne typy - głośniki niskotonowe, nisko-średniotonowe, średniotonowe i wysokotonowe. Przed tym jednak wypada powiedzieć kilka zdań, dlaczego takie typy występują. Jak łatwo można się domyśleć, dlatego, że nie można stworzyć jednego głośnika przetwarzającego całe pasmo częstotliwości akustycznych, przy zadowalająco niskim poziomie zniekształceń.

Aby przetwarzać niskie częstotliwości, należy „przepompowywać” w jednym cyklu ruchu membrany duże masy powietrza. Można to osiągnąć poprzez dopuszczenie do dużych amplitud i zastosowanie dużej powierzchni membrany. Ale im większa średnica membra-

*Są rzadkie wyjątki. Istnieją niekonwencjonalne głośniki (nie magnetoelektryczne), które równocześnie przetwarzają średnie i wysokie częstotliwości, i są one łączone w układy z głośnikami niskotonowymi.

ny, tym niższa górna częstotliwość graniczna, jaką głośnik może przetwarzać. W ten sposób duże głośniki dynamiczne dostosowane do przetwarzania niskich częstotliwości nie mogą przetwarzać częstotliwości wysokich, i dla przetwarzania pełnego pasma trzeba stosować więcej niż jeden głośnik. Najprostszym praktycznym rozwiązaniem jest układ dwudrożny dwugłośnikowy. Wypada już w tym miejscu zaznaczyć, że „dwudrożny” wcale nie musi oznaczać dwugłośnikowego, dlatego dla ścisłego opisu układu głośnikowego należy przedstawiać zarówno liczbę „dróg”, jak i liczbę głośników. W układzie dwudrożnym dwugłośnikowym jeden głośnik obsługuje zakres niskich i średnich tonów, drugi zakres tonów wysokich*. Ale mogą też być układy dwudrożne trójgłośnikowe, w których zakres niskich i średnich tonów obsługują równocześnie dwa jednakowe głośniki. Układ, w którym jeden z dwóch podobnych głośników przetwarza niskie i średnie tony, a drugi tylko niskie (oczywiście trzeci przetwarza zawsze wysokie), nazywany jest układem dwu-i-półdrożnym. Układy trójdrożne mogą mieć bardzo różne konfiguracje, najprostszą to oczywiście trójgłośnikową, ale mogą być i czterogłośnikowe (z dwoma średniotonowymi lub dwoma niskotonowymi), albo pięciogłośnikowe (z dwoma średniotonowymi i dwoma niskotonowymi, albo z jednym średniotonowym i trzema niskotonowymi). Układy liczniejsze niż trójdrożne (czterodrożne, pięciodrożne) są bardzo rzadko spotykane. Liczba „dróg” oznacza więc liczbę podzakresów, na jakie podzielono w zwrotnicy pasmo akustyczne, natomiast liczba głośników to po prostu liczba głośników, z których czasami więcej niż jeden przetwarza ten sam podzakres. Ogólnie, liczba „dróg” nie może być większa od liczby zastosowanych głośników**.

Im większa średnica membrany, tym niższa górna częstotliwość graniczna.

Dwudrożne czy trójdrożne?
Popularnym tematem wśród konstruktorów i samych użytkowników jest kwestia, jakie układy są lepsze - dwudrożne czy trójdrożne. Zwolennicy układów dwudrożnych argumentują, że zmniejszeniu liczby „dróg” towarzyszy uproszczenie zwrotnicy, i redukcja

Dwudrożne czy trójdrożne?

Popularnym tematem wśród konstruktorów i samych użytkowników jest kwestia, jakie układy są lepsze - dwudrożne czy trójdrożne. Zwolennicy układów dwudrożnych argumentują, że zmniejszeniu liczby „dróg” towarzyszy uproszczenie zwrotnicy, i redukcja

** Są rzadkie wyjątki. Istnieją głośniki dwucewkowe (nisko-średniotonowe), pozwalające każdą z cewek zasilać sygnałem innego podzakresu. Wówczas najczęściej jedna cewka zasilana jest tylko niskimi częstotliwościami, a druga niskimi i średnimi, i wraz z głośnikiem wysokotonowym można wówczas stworzyć układ dwu-i-półdrożny dwugłośnikowy).

wnoszonych przez nią zniekształceń fazowych. Konstruktorzy przekonani do układów trójdrożnych twierdzą, że dla najlepszego przetwarzania średnich częstotliwości konieczny jest wyspecjalizowany głośnik średniotonowy.

Nie ma jednak sensu zapisywanie się w poczet wiernych zwolenników takiej czy innej opcji. Obydwa rozwiązania mają swoje zalety i ograniczenia, żadne z nich nie jest bezwzględnie lepsze od drugiego, a wybór zależy od wielu czynników. Ogólne wskazówki są takie - jeśli chcesz zbudować mały zespół głośnikowy, o objętości netto kilkudziesięciu litrów, z pewnością znajdziesz do tego celu doskonały 17-18cm głośnik nisko-średniotonowy, który pozwoli zbudować racjonalny układ dwudrożny. Uzupełnianie dobrego 17-18cm głośnika nisko-średniotonowego

dotychczasowym głośnikiem średniotonowym rzadko kiedy jest uzasadnione, przy wzroście kosztów prowadzi do skomplikowania układu, utrudnienia prac projektowych, i grozi uzyskaniem rezultatów wręcz gorszych niż w przypadku ograniczenia się do układu dwudrożnego. Jeśli jednak pragniesz użyć dużego głośnika niskotonowego w dużej obudowie, zaprowadzi cię to do zastosowania układu trójdrożnego - z 20-25cm głośnika, nie mówiąc już o większych, trudno jest, za nielicznymi wyjątkami, uzyskać dobre przetwarzanie średnich częstotliwości. No dobrze, ale czy budować małe, czy duże zespoły głośnikowe? Duże, wraz z dużymi głośnikami niskotonowymi, wydają się gwarantować lepsze przetwarzanie niskich częstotliwości i większą moc. Statystycznie ujmując tak, ale nie jest to regułą. 15-litrowa „rega-

łówka” z najwyższej klasy 17-18cm głośnikiem nisko-średniotonowym może lepiej przetwarzać niskie częstotliwości od 50-litrowej kolumny z tanim głośnikiem o średnicy 25-cm.

Jak to możliwe, przedstawimy dokładniej przy analizie parametrów głośników niskotonowych.

Na końcu wypadła jeszcze zwrócić uwagę, że znacznie łatwiej, nawet zaawansowanym konstruktorom, jest dopracować układ dwudrożny, ew. dwu-i-półdrożny, niż trójdrożny. Samo użycie dużej liczby, nawet wysokiej jakości głośników, w ramach „bezkompromisowego” projektu, nie daje jeszcze gwarancji, że ostateczny rezultat będzie choćby zadowalający. Proste układy znacznie ułatwiają pracę i dają większą szansę pomyślnego jej zakończenia.

Głośniki niskotonowe i nisko-średniotonowe

Budowa dynamicznego głośnika niskotonowego może służyć jako ilustracja klasycznej budowy głośnika dynamicznego. Głośnik nisko-średniotonowy nie różni się poważnie w swojej konstrukcji od niskotonowego; zdolność przetwarzania średnich częstotliwości uzyskuje przede wszystkim dzięki mniejszej średnicy, jak również poprzez zoptymalizowanie właściwości membrany (materiał, geometria) pod kątem przetwarzania szerszego zakresu częstotliwości. Większość głośników średniotonowych także bardzo przypo-

mina klasyczny głośnik niskotonowy, mają one oczywiście odpowiednio małe średnice membran, a także nie są przystosowane do pracy przy dużych amplitudach (których przetwarzanie średnich częstotliwości nie wymaga). Dopiero zdecydowana większość współczesnych głośników wysokotonowych (i niewielka część średniotonowych) odbiega w swojej konstrukcji od schematu głośnika ze stożkową membraną, jako że mają one membrany kopułkowe, i w ślad za tym również inną konstrukcję pozostałych elementów.

W układzie magnetycznym, a dokładnie w szczeliny magnetycznej, znajduje się cewka, do niej przymocowana jest membrana. Zawieszenia: dolne (przyklejane do cewki w pobliżu połączenia z membraną) i górne (przyklejane do obrzeża membrany) pozwalają na osiowy ruch cewki z membraną. Układ magnetyczny i zawieszenia mocowane są do kosza, stanowiącego szkielet całej konstrukcji.

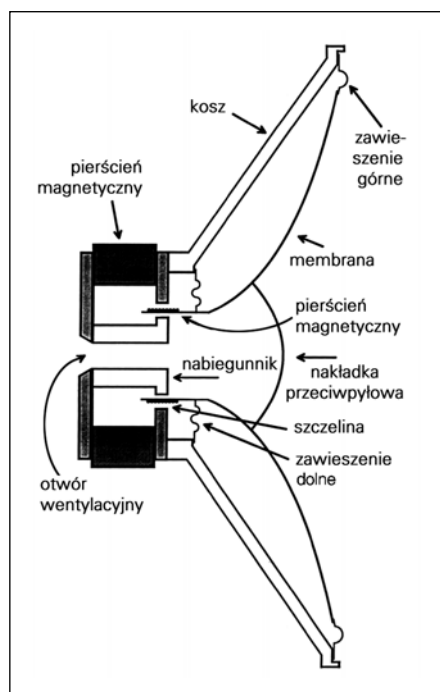
Siła poruszająca cewkę

Układ magnetyczny, zbudowany najczęściej na bazie ferrytowego pierścienia, ma za zadanie wytworzyć jak najsilniejsze pole magnetyczne w szczeliny. Ale ostatecznie siła, z jaką będzie poruszana cewka, zależy od iloczynu $B \cdot l$, gdzie B jest gęstością strumienia magnetycznego w szczeliny, a l długością przewodnika (druetu uzwojenia cewki) znajdującego się w tym strumieniu.

Wraz z przepływem prądu przez cewkę, będzie się ona poruszać. Gdyby wysokość uzwojenia (wysokość cewki) była dokładnie taka jak wysokość szczeliny, co zmaksymali-

zowało by iloczyn $B \cdot l$ w stanie spoczynku, nawet mały ruch cewki powodowałby zmniejszenie się liczby zwojów pozostających w szczeliny, a w ślad za tym zmniejszenie l i zmniejszenie $B \cdot l$. Układ działałby nieliniowo, co powodowałoby powstawanie dużych zniekształceń. Sposobem zapobieżenia temu zjawisku jest zastosowanie albo szczeliny znacznie dłuższej od cewki

(w ramach dopuszczalnej amplitudy cała cewka znajduje się w szczeliny, w polu magnetycznym o stałej gęstości), albo cewki znacznie dłuższej niż szczelina (w ramach dopuszczalnej amplitudy w szczeliny znajduje się zawsze ta sama ilość zwojów). To drugie rozwiązanie jest znacznie częściej spotykane. W obu przypadkach w ramach dopuszczalnej amplitudy wartość $B \cdot l$ pozostaje stała, co jest warunkiem liniowej pracy. Maksymalną amplitudę, przy której spełniony jest ten warunek, nazywa się **(maksymalną) amplitudą liniową**. Kosztem uzyskania dużej liniowej amplitudy jest obniżenie wartości współczynnika $B \cdot l$ (choć pozostaje on na stałym poziomie w całym zakresie liniowej pracy), i wskutek tego obniżenie efektywności, bowiem przy układzie z wysoką cewką dużą część zwojów, a więc dużą część przewodnika i płynącego w nim prądu „skazujemy” na pracę jałową - pozostawanie poza szczeliny i nie uczestniczenie w tworzeniu siły, podobnie w przypadku z wysoką szczeliny cały czas „marnuje się” duża część pola magnetycznego. Tymczasem, jak już wspominaliśmy, głośniki niskotonowe wymagają dużych amplitud. Konstruktor głośnika niskotonowego musi więc wybrać jakiś kompromis - czy da duży zapas cewki po obu



Rys 1. Konstrukcja głośnika niskotonowego

stronach szczeliny, pozwalając w ten sposób na liniową pracę przy dużych amplitudach, ale redukując efektywność, czy odwrotnie. Oczywiście w praktyce szuka się „złotego środka”. Pole manewru jest tym większe, im... większy i silniejszy układ magnetyczny. Przy bardzo dużym **B** można bowiem pozwolić sobie na mniejsze **I**, czyli pozostawienie nawet większej części uzwojenia poza szczeliną, i uzyskać wystarczającą wartość **BxI** i zadowalającą efektywność. Przy skromnych układach magnetycznych trzeba oszczędzać i tu, i tam. Tak więc duże układy magnetyczne nie powinny się kojarzyć wyłącznie z dużymi efektywnościami. W głośnikach niskotonowych służą w równej mierze dopuszczeniu do dużych amplitud liniowej pracy. Do możliwości układu magnetycznego i cewki muszą być jednak dostosowane możliwości zawieszeń. One również powinny pracować liniowo w założonym zakresie, co uzyskuje się stosując ich specjalne profile i materiały. Amplituda, jaką może znieść układ drgający głośnika bez uszkodzenia, choćby po przekroczeniu amplitudy liniowej, nazywa się **amplitudą maksymalną**.

W głośnikach niskotonowych duże układy magnetyczne służą w głównej mierze dopuszczeniu do dużych amplitud liniowej pracy

Zawieszenie membrany - parametry Thiele'a i Smalla

Parametry zawieszeń membrany decydują o bardzo ważnym parametrze głośnika - podatności układu drgającego, który wraz z masą drgającą określa z kolei częstotliwość rezonansową (częstotliwość podstawowego rezonansu mechanicznego) układu drgającego, jeden z najważniejszych parametrów głośnika niskotonowego.

$$F_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_s \times M_d}} \quad 1)$$

F_s - częstotliwość rezonansowa głośnika swobodnie zawieszono

C_s - podatność zawieszeń

M_d - masa drgająca

Potocznie uważa się, że częstotliwość rezonansowa określa dolną częstotliwość graniczną głośnika. Z grubsza rzecz biorąc tak jest, jednak po pierwsze - parametr **F_s** określa częstotliwość rezonansową głośnika swobodnie zawieszono (bez obudowy), natomiast w obudowie zamkniętej rezonans ten nieuchronnie przesunie się w stronę wyższych częstotliwości (o ile, zależy od objętości obudowy), a w obudowie bass-reflex nastąpią jeszcze bardziej skomplikowane zjawiska, po drugie, nawet kształt charakterystyki częstotliwościowej głośnika w zakresie niskich częstotliwości zależy nie tylko od częstotliwości rezonansowej, ale i od dobroci układu rezonansowego:

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \times Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}} \quad 2)$$

Q_{ts} - dobroć całkowita układu rezonansowego głośnika swobodnie zawieszono.

Q_{ms} - dobroć części mechanicznej

Q_{es} - dobroć części elektrycznej

Powyższy wzór nie będzie miał wielkiego znaczenia praktycznego, w odróżnieniu od samego parametru **Q_{ts}**.

Wprowadźmy jeszcze jeden parametr:

V_{as} - objętość ekwiwalentna, czyli objętość powietrza, które poddane sprężaniu przez powierzchni

wierchnię membrany danego głośnika, ma podatność taką samą, jak zawieszenia tego głośnika.

W ten sposób skompletowaliśmy trzy parametry (**F_s**, **Q_{ts}**, **V_{as}**), nazywane parametrami Thiele'a - Smalla. Zrozumienie istoty tych parametrów i swobodne posługiwanie

się nimi jest niezbędne dla umiejętności projektowania obudów głośnikowych. Do tego tematu jeszcze powrócimy, tutaj przedstawimy jeszcze kilka ważnych cech głośników niskotonowych.

Nowoczesne konstrukcje głośników

R_m to parametr mechanicznych strat w głośniku. Im niższy, tym lepiej, zwłaszcza dla głośników niskotonowych. Zależy w dużej mierze od materiału z jakiego wykonany jest karkas cewki. W nowoczesnych głośnikach jest on wykonany najczęściej z aluminium, albo z kaptonu. Aluminium jest lżejsze i ma większą pojemność cieplną, a więc głośnik

może znieść większe obciążenie termiczne, jednak w przypadku głośników niskotonowych ograniczenie ich mocy znamionowej jest raczej natury amplitudowej, niż cieplnej (głośniki niskotonowe na skutek przeciążenia zostają najczęściej uszkodzone mechanicznie, podczas gdy średnionowe i wysokotonowe najczęściej zostają „spalone”). Natomiast kapton ma niższą przewodność, a w kaptonowym karkasie powstają mniejsze prądy wirowe, które powodują zwiększanie strat. **R_m** nie jest parametrem Thiele'a - Smalla, nie jest brany pod uwagę przy obliczeniach, w ramach podstawowej teorii nie wpływa ani na charakterystykę częstotliwościową, ani impulsową, jednak doświadczenia prowadzą do wniosku, że ma wpływ na słyszalną jakość przetwarzania niskich częstotliwości. Dlatego optymalnym materiałem na karkas głośnika niskotonowego jest kapton, a na karkasy średnio i wysokotonowych - aluminium.

Panuje dzisiaj wśród konstruktorów zgoda co do tego, że membrana głośnika niskotonowego powinna być maksymalnie sztywne (nie ma już takiej zgody co do właściwości membran głośników średnionowych, a tym bardziej wysokotonowych). Dlatego najchętniej stosowane tu materiały to sztywne struktury wielowarstwowe, metale, utwardzana celuloza. Dodatkowe usztywnienie można wprowadzić dzięki zastosowaniu nakładki przeciwpływowej o dużej średnicy (centralna, najczęściej doklejana część membrany, wklęsła lub wypukła).

Uzyskaniu dużej sztywności służy duża masa membrany (poprzez odpowiednią jej

Fot. 1 Nowoczesny 22-cm głośnik niskotonowy VIFA Premium Line PL22WR09



grubość). Niektóre nowoczesne materiały pozwalają uzyskać dużą sztywność już przy relatywnie małej masie. Małą masę drgającą utożsamia się z „szybkością” głośnika. Jednak głośnik jest układem elektromagnetycznym, i jego właściwości impulsowe zależą od czynników zarówno mechanicznych, takich jak masa membrany, i elektromagnetycznych, takich jak wspomniany współczynnik siły $B \cdot l$. Jeśli dużej masie membrany towarzyszy odpowiednio silny magnes i wysoka wartość iloczynu $B \cdot l$, to można uzyskać bardzo dobre charakterystyki impulsowe; jeśli nawet lekka membrana napędzana jest przez bardzo słaby układ magnetyczny, to charakterystyki impulsowe nie będą najlepsze. Jednocześnie w konstrukcji głośników niskotonowych wcale nie należy dążyć do minimalizowania masy membrany - **im większa masa drgająca, tym niższa częstotliwość rezonansowa**.

Głośniki niskotonowe na skutek przeciążenia zostają najczęściej uszkodzone mechanicznie, podczas gdy średniotonowe i wysokotonowe najczęściej zostają „spalone”.

Nowoczesne głośniki niskotonowe pozwalają na odprowadzanie ciśnienia wytwarzanego pod nakładką przeciwpylową, poprzez kanał w nabiegunniku i otwór z tyłu układu ma-

gnetycznego. Niektóre konstrukcje mają również szczelinę biegnącą dookoła nad układem magnetycznym, którą uchodzi ciśnienie spod dolnego zawieszenia. Wysokiej jakości głośniki - nisko i średniotonowe - mają kosze odlewane z metali lekkich. Mają one kilka przewag nad koszami wytłaczanymi z blachy. Po pierwsze nie wykazują silnych rezonansów (nie „dzwonią”, jak kosze blaszane), po drugie są sztywne, i stanowią lepsze oparcie dla ciężkich układów magnetycznych i precyzyjnego dopasowania szczeliny magnetycznej i cewki drgającej, po trzecie są niemagnetyczne, po czwarte są... bardziej estetyczne, nie wymagają po zainstalowaniu stosowania pierścieni ozdobnych. Niestety, są dość kosztowne, tak więc niespotykane w tanich głośnikach. Coraz częściej wprowadza się też kosze z tworzyw sztucznych - znacznie tańsze od odlewanych, a lepsze od blaszanych, jednak rzadko są one spotykane w głośnikach niskotonowych dużego kalibru.

Przypomnijmy:

Podstawowe parametry głośnika niskotonowego, niezbędne dla projektowania obudowy, to parametry Thiele’a -Smalla:

- F_s [Hz] - częstotliwość rezonansowa (głośnika swobodnie zawieszono)
- Q_{ts} (parametr niemierny) - dobroć całkowita układu rezonansowego (głośnika swobodnie zawieszono), gdzie na dobroć całkowitą składają się:
 - Q_{es} - dobroć części elektrycznej
 - Q_{ms} - dobroć części mechanicznej
- V_{as} [dm³] - objętość ekwiwalentna
- Siła układu napędowego** wyrażana jest iloczynem: $B \cdot l$ [Tm]
- Inne parametry, związane z przetwarzaniem niskich częstotliwości, to:
 - S_d [cm²] - efektywna powierzchnia membrany
 - M_d [g] - masa drgająca
 - R_m [Ns/m] - straty mechaniczne
- Dla oceny obciążalności głośnika konieczna jest znajomość:
 - Mocy znamionowej [W]**
 - Dopuszczalnego wychylenia**, liniowego i maksymalnego (+/-) [mm]
- Dla dopasowania do pozostałych głośników zespołu głośnikowego i projektowania zwrotnicy musimy znać:
 - Efektywność (2,83V/1m) [dB]**
 - R_e - rezystancję cewki drgającej [Ω]
 - L_e - indukcyjność cewki drgającej [mH]

Obudowa głośnikowa zamknięta

Głośnik dynamiczny powoduje zaburzenie środowiska, a wskutek tego falę dźwiękową po obydwu stronach membrany. Kiedy jednak membrana porusza się do przodu (w stronę słuchacza znajdującego się przed głośnikiem), i spręża powietrze przed sobą, w takim samym stopniu rozpręża je z tyłu; przy ruchu do tyłu odwrotnie. Fazy fal akustycznych promieniowanych do przodu i do tyłu są dokładnie przeciwne. Ponieważ fale niskich częstotliwości mają długości znacznie większe niż wymiary głośnika, więc głośnik niezabudowany nie jest w stanie wytworzyć rzeczywistego ciśnienia akustycznego w zakresie niskich częstotliwości, bowiem następuje akustyczne „zwarcie” - ciśnienie powodowane przez przednią stronę membrany natychmiast „znosi się” z ciśnieniem, o tej samej wartości, ale dokładnie przeciwnym znaku, powodowanym przez tylną stronę membrany.

Obudowa zamknięta

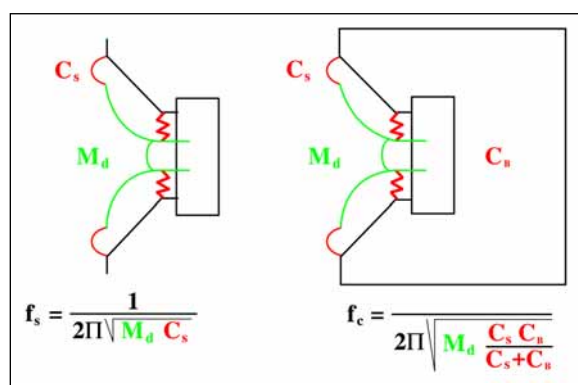
Dlatego, aby głośnik niskotonowy pracował efektywnie, konieczne jest zastosowanie obudowy, której zadaniem jest albo eliminacja fali promieniowanej przez tylną stronę membrany, albo poprzez uruchomienie akustycznych układów rezonansowych wypro-

miemieniowanie fali od tylnej strony membrany w fazie zgodnej (przynajmniej w wybranym zakresie częstotliwości) z fazą promieniowania przedniej strony membrany.

Aby głośnik niskotonowy pracował efektywnie, konieczne jest zastosowanie obudowy.

Według prostej zasady eliminacji energii tylnej strony membrany działają obudowy zamknięte. Teoretycznie, cała energia powinna zostać pochłonięta, w praktyce duża jej część zostaje przekazana ściankom, które wibrują, część po odbiciach wraca do membrany głośnika; między ściankami równoległymi powstają fale stojące. Zjawiska te powodują słyszalne rezonanse i podbarwienia dźwięku, którym przeciwdziała się

odpowiednio solidną konstrukcją skrzynki (ścianki grube i o dużej stratności wewnętrznej, uszlachetniane np. matami bitumicznymi),



Rys. 2 Częstotliwość rezonansowa głośnika niezabudowanego (f_s) określona jest przez masę drgającą (M_d) i podatność jego zawiesznień (C_s). Częstotliwość rezonansowa głośnika zabudowanego (f_c) zależy również od podatności powietrza w obudowie (C_b). Dodatkowa podatność zmniejsza całkowitą podatność układu rezonansowego (podatności dodają się tak, jak pojemności kondensatorów łączonych szeregowo), i podnosi częstotliwość rezonansową.

właściwymi proporcjami jej wymiarów wewnętrznych (dla równomiernego rozłożenia rezonansów), i optymalnym jej wytlumieniem.

Są to działania uniwersalne, dotyczące głośników o różnych parametrach, jak również obudów innych rodzajów (np. bass-reflex). Inną sprawą, indywidualną dla każdego modelu stosowanego głośnika, jest obliczenie optymalnej objętości obudowy zamkniętej.

Obudowa zamknięta nie tylko odizoluje falę tylnej strony membrany (oby jak najskuteczniej, ale w zasadzie nie zależy to już od jej objętości), lecz również zmienia niektóre parametry samego głośnika. W jakim stopniu zmieni, to właśnie zależy od jej objętości. Im obudowa większa, tym zmiany mniejsze. Hipotetyczna nieskończenie wielka obudowa w ogóle nie zmienia parametrów zainstalowanego w niej głośnika. Jakie zmiany i jakich parametrów więc zachodzą w praktycznej obudowie, o skończonej objętości?

Częstotliwość rezonansowa

Powietrze zamknięte w obudowie stanowi dodatkowe zawieszenie dla membrany głośnika. Tak więc oprócz zawieszeń samego głośnika (górny i dolny resor), membrana „hamowana” jest jeszcze przez poduszkę powietrzną (rys. 2). Podatności zawiesznień dodają się jak pojemności kondensatorów - wypadkowa podatność jest mniejsza od najmniejszej z podatności. Inaczej mówiąc, dołączona podatność powietrza w obudowie zmniejsza całkowitą podatność układu rezonansowego, „usztywniając” membranę, i podnosząc częstotliwość rezonansową. Im mniejsza objętość obudowy, tym mniejsza podatność, i tym wyżej przesunięty rezonans. Jest to zresztą zjawisko powszechnie znane. Np. im struna bardziej naciągnięta, czyli mniej podatnie zawieszona, tym wyżej nastrojona.

Dlatego parametr f_s - częstotliwości rezonansowej głośnika swobodnie zawieszzonego - jest nie do utrzymania po założeniu głośnika do obudowy zamkniętej. Częstotliwość rezonansowa nieuchronnie wzrośnie, do częstotliwości określanej już symbolem f_c - czyli częstotliwości rezonansowej głośnika w obudowie zamkniętej. Znając f_s i drugi z parametrów Thiele'a - Smalla - V_{as} , czyli objętość ekwiwalentną, łatwo możemy obliczyć f_c dla dowolnej niewytlumionej obudowy o objętości V_b :

$$f_c = f_s \times \sqrt{(1 + V_{as} / V_b)} \quad 3)$$

Stosunek V_{as} / V_b jest w literaturze oznaczany symbolem alfa.

Jak łatwo sprawdzić, zastosowanie obudowy o objętości równej V_{as} spowoduje podniesienie częstotliwości rezonansowej o $\sqrt{2}$, bowiem V_{as} to objętość powietrza dla danej

powierzchni membrany o takiej samej podatności jak podatność zawiesznień określonego głośnika, uzyskujemy więc wypadkową podatność dwa razy niższą, a we **wzorze 1**) na częstotliwość rezonansową podatność, tak jak i masa drgająca, są w mianowniku pod pierwiastkiem. Nie należy jednak rozumieć, że V_{as} jest optymalną objętością obudowy, choć może tak być w szczególnym przypadku.

Kierując się dążeniem do uzyskania jak najniższej częstotliwości rezonansowej f_c (choć nieuchronnie zawsze wyższej od f_s), dla osiągnięcia jak najszerszego pasma przenoszenia od strony niskich częstotliwości, dążylibyśmy do stosowania jak największych obudów. I właśnie w tym miejscu najważniejszą jest bliżej przedstawić trzeci parametr Thiele'a - Smalla - dobroć całkowitą układu rezonansowego Q_{tc} .

Dobroć układu rezonansowego

Wartość tego parametru, analogicznie jak częstotliwość rezonansowa, i w tym samym stopniu, ulega zwiększeniu po zainstalowaniu głośnika w obudowie, i „zamianie” na Q_{tc} - a więc dobroć całkowitą głośnika w obudowie zamkniętej:

$$Q_{tc} = Q_{ts} \times \sqrt{(1 + V_{as} / V_b)} \quad 4)$$

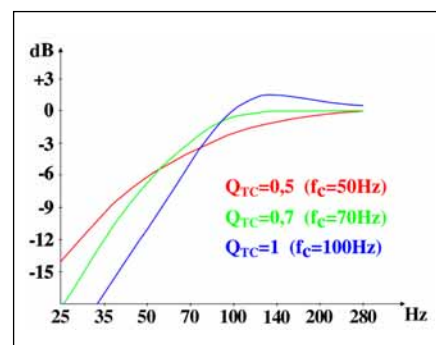
W tym przypadku jednak nie jest naszym celem osiągnięcie jak najniższej wartości dobroci, ale osiągnięcie wartości optymalnej, która, można uznać, zawiera się w szerokich granicach 0,5-1. Występuje tutaj nie tyle duża rozbieżność opinii, co duży wybór różnych charakterystyk, spośród których każdą można uznać za dopuszczalną. Wartość dobroci Q_{tc} mówi nam, jaki jest iloraz poziomu ciśnienia akustycznego przy częstotliwości rezonansowej w stosunku do ciśnienia w pasmie przepustowym głośnika. Przekładając ten stosunek na logarytmiczną skalę decybelową, można jako charakterystyczne przykłady podać, że dobroć 0,5 oznacza -6dB przy częstotliwości rezonansowej, dobroć 0,7 odpowiada -3dB, a przy dobroci 1 przy częstotliwości rezonansowej mamy ciśnienie takie jak w pasmie przepustowym. Jak wyglądają trzy charakterystyki dla przedstawionych w tym przykładzie dobroci, dla określonego typu głośnika, przedstawiono na rys. 3.

Nie samą charakterystyką częstotliwościową głośnik żyje - charakterystyka impulsowa

Widzimy więc, że o ile chcemy utrzymać jak najniższą częstotliwość rezonansową, to wystąpi przy niej większy spadek ciśnienia, niż przy częstotliwości rezonansowej leżącej

wyżej (dla określonego typu głośnika instalowanego w różnej wielkości obudowach). Przy niskich dobrociach występuje wcześniejsze opadanie charakterystyki i osłabienie ciśnienia w szerokim użytecznym zakresie powyżej częstotliwości rezonansowej; zyskujemy jedynie na samym skraju pasma. Tylko ta rodzina charakterystyk przekonywałaby więc raczej do osiągania wyższych, niż niższych dobroci z przedstawionego przedziału 0,5-1, zwłaszcza, że pozwalało by to stosować relatywnie mniejsze obudowy, niż przy założonych niższych wartościach dobroci, ale właśnie tutaj w grę zaczynają wchodzić jeszcze inne właściwości głośnika. Nie samą charakterystyką częstotliwościową głośnik żyje. Wraz z dobrocią zmieniają się charakterystyki impulsowe, i są niestety najlepsze dla dobroci o wartości 0,5, i pogarszają się wraz z jej wzrostem. Przed konstruktorem stoi więc wybór - transakcja wiązana - określona charakterystyka częstotliwościowa (spośród osiągalnych dla danego głośnika) wiąże się z konkretną charakterystyką impulsową. „Bezkompromisowe” układy z dobrocią w okolicach 0.5 charakteryzują się subiektywnie szybkim, suchym i najczęściej szczytupnym basem; przy dobroci ok. 1 bas jest mocniej zaznaczony, choć już nie tak dokładny i rzadko będzie sięgał w najniższe rejestry.

W tym miejscu wypada jednak stwierdzić, że **praktycznie każda obudowa zamknięta o dobroci nie większej niż 0.7 ma lepsze charakterystyki impulsowe od jakiegokolwiek obudowy typu bass-reflex**. Jest to powód, dla którego prostą obudowę zamkniętą



Rys. 3 Charakterystyki przetwarzania w okolicach częstotliwości podziału, dla głośnika o przykładowych parametrach (np. $f_s=30\text{Hz}$, $Q_{ts}=0,3$), zastosowanego w trzech różnej wielkości obudowach, prowadzących do osiągnięcia $Q_{tc}=0,5$ (wówczas $f_c=50\text{Hz}$), $Q_{tc}=0,7$ ($f_c=70\text{Hz}$) i $Q_{tc}=1$ ($f_c=100\text{Hz}$). Dla niskiej dobroci widać zysk w zakresie najniższych częstotliwości, dla wyższych - w efektywności w okolicach częstotliwości rezonansowej.

stosują nie tylko początkujący majsterkowi-
cze, ale i wielu renomowanych producentów,
choć należą oni do mniejszości względem
producentów wybierających obudowy
z otworem.

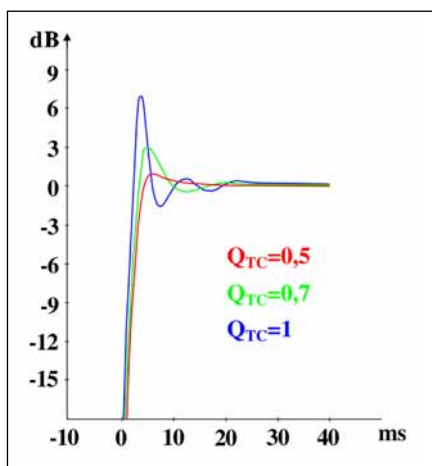
Wnioski

Jak widać ze wzorów 3) i 4), częstotliwość
rezonansowa f_c i dobroć Q_{tc} muszą być wy-
ższe od odpowiednio f_s i Q_{ts} (dopiero w hi-
potetycznej nieskończenie wielkiej obudo-
wie $f_c=f_s$ i $Q_{tc}=Q_{ts}$). Dlatego parametry sa-
mego głośnika - f_s i Q_{ts} - określają teoretycz-
ną dolną granicę przedziału osiągalnych f_c
i Q_{tc} dla głośnika w obudowie. W praktyce f_c
i Q_{tc} rzadko kiedy może być bliskie odpo-
wiednio f_s i Q_{ts} , zwłaszcza gdy wartość V_{as}
jest dość duża. Dla ogólnej orientacji można
założyć, że Q_{tc} i f_c „muszą” być wyższe od
 Q_{ts} i f_s o co najmniej 2, dla relatywnie dość
dużych obudów przy określonej wielkości
głośnika (rzadko stosuje się obudowy o obję-
tości większej od objętości ekwiwalentnej),
a najczęściej będą wyższe ok. 2 razy, dla
obudów o umiarkowanej objętości. Jeśli więc
w zestawie parametrów widzimy obiecujące
 $f_s=25\text{Hz}$, musimy zgodzić się, że f_c będzie
nie niższe od ok. 35Hz, a w praktyce bliskie
50Hz. Oczywiście, zawsze należy się cieszyć
z niskiej wartości f_s , ale radość może być peł-
na, gdy towarzyszy jej również niska wartość
 V_{as} . Wówczas łatwiej będzie uzyskać f_c nie
o wiele większe od f_s . Generalnie, większe
głośniki mają większe wartości V_{as} (co wy-
nika przede wszystkim z faktu, że podatność
powietrza w obudowie jest zależna nie tylko
od jego objętości, ale i od powierzchni dzia-
lającej nań membrany), więc większe głośniki
wymagają statystycznie większych obudo-
w, lecz w ramach tej samej wielkości gło-
śników rozrzut wartości V_{as} też może być
bardzo duży. Biorąc pod uwagę ponadto, że
parametry Q_{ts} i f_s również mogą przybierać
różne wartości, trudno jest „na oko” przewi-
dzić, jaka obudowa jest odpowiednia dla
głośnika określonej wielkości, jeśli chcemy
świadomie kształtować charakterystykę czę-
stotliwościową. Użycie np. 15-litrowej obudo-
wy do głośnika 18-cm może dać w rezul-
tacie wartość Q_{ts} w całym przedziale 0.5 - 1,
a więc zupełnie różne właściwości. Z drugiej
strony, ponieważ każdą wartość z tego
przedziału można uznać za dopuszczalną,
więc obudowa zamknięta jest jednak bez-
piecznym rozwiązaniem albo dla niezdel-
nych majsterkowiczów, którzy nie chcą do-
konać żadnych obliczeń, lub nie mają wła-
snego zdania, czy chcą osiągnąć Q_{ts} na po-
zomie 0.5 czy 0.1, lub gdy parametry Thie-
le'a - Smalla dla stosowanego głośnika z ja-
kichś powodów są trudne do ustalenia. To są
jednak przypadki patologiczne, każdy świa-
domy klasowo konstruktor powinien opano-
wać kilka powyższych wzorów i namiętnie
ich używać.

Przykłady

Rozważmy kilka charakterystycznych przy-
padków. W pierwszym przykładzie weźmy
dwa jednakowej wielkości głośniki, mające
takie same częstotliwości rezonansowe f_s , ta-
kie same dobroci Q_{ts} , ale znacznie różniące
się V_{as} . Dla obydwu głośników osiągalne są
takie same charakterystyki, ale dla głośnika
o wyższym V_{as} w odpowiednio większych
obudowach. Dla głośników o tej samej wiel-
kości (równej powierzchni membran) wy-
ższa wartość V_{as} wynika wprost z większej
podatności zawiesznień; jak pokazuje wzór 1),
duża podatność zawiesznień (w tym samym
stopniu jak duża masa membrany) służy niskiej
częstotliwości rezonansowej f_s . Jeśli więc
dwa tej samej wielkości głośniki mają równe
 f_s i różne V_{as} , to muszą też różnić się masa-
mi membran (głośnik o wyższym V_{as} będzie
miał mniejszą masę membrany). Do jakich
wniosków zmierzamy? Tę samą częstotli-
wość rezonansową f_s można uzyskać albo
mniejszą masą membrany i większą podatno-
ścią zawiesznień, albo większą masą i mniej-
szą podatnością. Dla konstruktora zespołu gło-
śnikowego wygodniejsza jest druga kombi-
nacja, bo wymaga mniejszej obudowy dla
osiągnięcia tej samej częstotliwości f_c i do-
broci Q_{ts} . Na tym przykładzie prześledźmy
też, jak zmienia się charakterystyka dla dane-
go głośnika, wraz ze zmianą objętości obu-
dowy (rys. 3)

W drugim przykładzie weźmy dwa gło-
śniki o takich samych f_s , V_{as} , ale różniących
się Q_{ts} . (Q_{ts} pierwszego głośnika niech bę-
dzie dwa razy większe niż drugiego). W ślad
za tym, jak łatwo wykazać za pomocą wzor-
ów 3) i 4), w obudowach o dowolnych, ale
jednakowych dla obydwu głośników objęto-
ściach, głośnik pierwszy będzie osiągał dwa
razy większe wartości Q_{tc} niż głośnik drugi
(i takie same wartości f_c); jednocześnie,
chcąc osiągnąć taką samą wartość Q_{tc} dla oby-
dwu głośników, w przypadku pierwszego



Rys. 4 Charakterystyki impulsowe
głośnika w obudowie zamkniętej,
dla $Q_{tc}=0,5, 0,7$ i 1

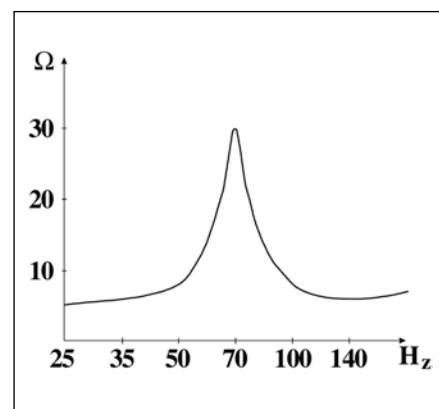
trzeba będzie stosować znacznie większą
obudowę, ale dzięki temu f_c będzie niższe!
O ile dążymy do określonej, wybranej jako
optymalnej wartości Q_{tc} , to im przy tym niż-
sza częstotliwość f_c , tym lepiej. Rzecz
w tym, że zbyt niskie wartości Q_{ts} w stosun-
ku do f_s , przenoszone na relację Q_{tc} do f_c ,
zawężają pasmo przenoszenia.

„Regułą kciuka” jest, że zadowalające pa-
smo przenoszenia w obudowach zamknię-
tych uzyskuje się dla głośników, dla których
stosunek $f_s/Q_{ts} < 100$. Jednak za głośniki naj-
lepsze do obudów zamkniętych, pod wzglę-
dem nisko leżącej częstotliwości granicznej,
należy uznać takie, których $f_s/Q_{ts} < 70$.

Ciekawostką jest, że utożsamiane z wy-
soką jakością głośniki z dużymi układami
magnetycznymi mają najczęściej niskie
wartości Q_{ts} (gdyż mają wysokie współ-
czynniki B_l), dające w rezultacie stosunek
 f_s/Q_{ts} znacznie wyższy od 100. Podobny
głośnik z mniejszym układem magnetycz-
nym miałby znacznie wyższą dobroć Q_{ts} ,
przez co zdolny byłby do uzyskiwania niż-
szych częstotliwości granicznych, choć
w większych obudowach. Dlatego poszuku-
jąc głośnika do obudowy zamkniętej nie na-
leży zachłystywać się najbardziej okazałymi
układami magnetycznymi najdroższych gło-
śników, które tutaj mogą wręcz ograniczać
możliwości.

Obudowa nieskończenie wielka

Wróćmy jeszcze do kwestii wyboru dobroci
 Q_{tc} . Oprócz opisanego związku z charaktery-
stykami amplitudową i impulsową, wraz ze
zmianą Q_{tc} zmienia się maksymalna ampli-
tuda membrany przy danym sygnale ze
wzmacniacza - wynika to z widocznego na



Rys. 5 Charakterystyka impedancji
głośnika w obudowie zamkniętej
w okolicach częstotliwości rezo-
nansowej - podobnie jak w przy-
padku głośnika swobodnie za-
wieszzonego, zaznacza się tylko
jedno maksimum, położone przy
częstotliwości rezonansowej
(w tym przykładzie 70Hz).

charakterystykach amplitudowych lepszego przetwarzania częstotliwości z samego skraju pasma przy niskich dobrociach. Niestety, owo lepsze przetwarzanie może leżeć już w zakresie infrasonicznym, i być dla naszego ucha bezużyteczne, a jednak sam głośnik jest obciążony pracą na dużych amplitudach, co rzutuje na poziom zniekształceń. Tak więc określony głośnik pracuje bardziej komfortowo w obudowie zamkniętej raczej mniejszej niż większej, przy dobrociach wyższych niż niższych (głośnik jest najbardziej narażony na mechaniczne przeciążenie gdy pracuje bez obudowy, czyli jakby w obudowie nieskończenie wielkiej).

Charakterystyka impedancji głośnika w obudowie zamkniętej przypomina charakterystykę głośnika swobodnie zawieszzonego, a więc występuje na niej jedno wyraźne maksimum, wyznaczające częstotliwość rezonansową.

Pomiar charakterystyki impedancji i określenie położenia tego maksimum jest więc najprostszą metodą empirycznego określenia f_c .

Wytłumienie

Wszystkie powyższe rozważania i wzory dotyczą zastosowania obudowy niewytłumio-

nej. Jest to to dobry punkt wyjścia do zrozumienia podstawowej zasady działania obudowy zamkniętej, jednak w praktyce obudowa jest w mniejszej lub większej części wytłumiona. Wytłumienie spełnia kilka zadań. Po pierwsze, redukuje odbicia od wewnętrznych powierzchni ścianek i rezonanse obudowy, których energia może być przenoszona na zewnątrz zarówno poprzez vibracje ścianek, jak i przez membranę głośnika. Po drugie, wypełnienie obudowy materiałem tłumiącym akustycznie powiększa obudowę, dzięki czemu można zredukować jej rzeczywiste wymiary. Wielkość poprawki, jaką można w związku z tym przyjąć przy projektowaniu obudowy zamkniętej, waha się od 10 do 30%, w zależności od ilości i rodzaju materiału wytłumiającego. Co ciekawe, owe akustyczne powiększenie obudowy nie prowadzi w takim samym stopniu do obniżenia dobroci Q_{tc} i częstotliwości rezonansowej f_c - wytłumieniem znacznie silniej można oddziaływać na Q_{tc} (obniżyć nawet np. z 1 do 0,8, za pomocą gęsto upakowanej waty mineralnej), niż na częstotliwość rezonansową (trudno obniżyć f_s o więcej niż 10%). Silne wytłumienie i dzięki temu zmniejszanie objętości obudowy (dla uzyskania założonej wartości Q_{tc}) nie jest więc polecane, gdy stosunek f_s/Q_{ts} nie jest zbyt korzystny (jest wysoki), ponadto silne wytłumienie, zgodnie z relacjami z prób odsłuchowych, prowadzi do osłabienia dynamiki i konturowości basu. Jednak silne wytłumienie jest ratunkiem, gdy optymalna wartość Q_{tc} wymaga bardzo dużej objętości. W każdym przypadku wskazane jest zastosowanie minimum wytłumienia w postaci 2-3cm warstwy gąbki poliuretanowej na wszystkich

ściankach, przede wszystkim osłabiającej odbicia i fale stojące w obudowie.

Korekcja Q_{tc} ze względu na zewnętrzną rezystancję szeregową

Dobroć głośnika podłączonego przez cewkę biernego filtra dolnoprzepustowego (lub zasilanego ze wzmacniacza o dużej rezystancji wyjściowej - lampy), powinna zostać w praktyce skorygowana na skutek wpływu rezystancji tej cewki na dobroć elektryczną Q_{es} . Ponieważ o wartości Q_{ts} decyduje głównie Q_{es} , więc z niewielkim błędem poprawkę tę można wprowadzać wykorzystując znajomość wartości Q_{ts} , jeśli Q_{es} i Q_{ms} nie są znane.

$$Q_{ts}' = \frac{R_e + R_z}{R_e} \times Q_{ts} \quad (5)$$

Q_{ts}' - skorygowana wartość dobroci całkowitej głośnika swobodnie zawieszzonego;

R_e - rezystancja cewki drgającej głośnika

R_z - zewnętrzna rezystancja szeregową

W skrajnych przypadkach, przy bardzo dużych cewkach o rezystancjach sięgających 1Ω, podłączonych do głośników znamionowo 4-omowych, o rezystancjach cewek drgających ok. 3Ω, korekcja może sięgać nawet 30%, zwiększając Q_{ts} np. z 0,3 do 0,4. Najczęściej korekta ta zawiera się w granicach 10%. Wprowadzenie tej korekty zmusza do zastosowania większej obudowy (przy założonym Q_{tc}), nie wprowadzenie jej spowoduje wzrost Q_{tc} w takim samym stosunku, w jakim wzrasta Q_{ts} . Możliwość wprowadzenia znaczącej rezystancji szeregowej pozwala na uzyskanie niższej częstotliwości granicznej (zmniejszenie stosunku f_s/Q_{ts}), ale za cenę

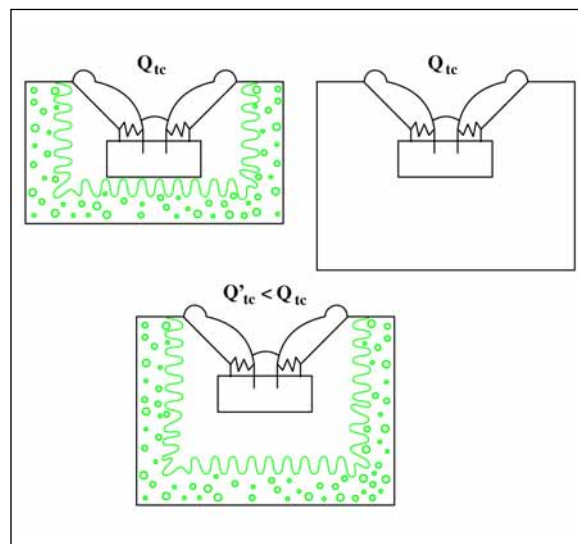
niższej efektywności (na szeregowej rezystancji odkłada się część napięcia) i przy zastosowaniu odpowiednio większej obudowy.

W praktyce, w podobnym, kilkunastoprocentowym stopniu, ale w przeciwnych kierunkach, na Q_{tc} wpływa z jednej strony wytłumienie obudowy (zmniejszając Q_{tc}), a z drugiej rezystancja szeregowa cewki filtra (zwiększając Q_{tc}). Wpływy te więc mogą się w dużej mierze zniósć, i ostatecznie w większości przypadków pominięcie w rachunkach zarówno faktu zastosowania wytłumienia, jak i wprowadzenia rezystancji szeregowej, nie prowadzi do dużych rozbieżności uzyskanych parametrów z projektowanymi.



Fot. Mimo dominacji obudów bass-reflex, obudowa zamknięta, przede wszystkim dzięki dobrym właściwościom impulsowym, ma wciąż swoich zwolenników. Na zdjęciu brytyjska kolumna Monitor Audio Studio 50, której wszystkie głośniki pracują w zamkniętych komorach.

Rys. 6 Zastosowanie wytłumienia obniża dobroć Q_{tc} . Efekt ten można wykorzystać, zmniejszając objętość obudowy, w stosunku do obliczonej z podstawowych wzorów, i uzyskując założoną dobroć Q_{tc} .



Andrzej Kisiel