

Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów W głośnikowym żywiole, część 4

Dzisiaj obudowy zamknięte są w regresie, bowiem konstruktorzy opanowali wcale niełatwą sztukę strojenia bass-refleksu, a większa siła basu z niego pochodząca spotyka się z życzliwym przyjęciem użytkowników. Nawet większość podstawkowych (kompaktowych) zespołów głośnikowych jest dzisiaj typu bass-reflex (choć określenie *kompakt* przestało być w swoim prawidłowym sensie w ogóle używane, zamiast niego funkcjonuje „monitor“ lub „monitorek“).

Obudowa zamknięta do końca jednak nie wyginęła. Jest wybierana albo przez konstruktorów świadomych jej zalet i ceniących je wyżej niż zalety bass-refleksu, albo w sytuacjach, gdy mamy nieodpowiedni głośnik lub mało o nim wiemy, czy wreszcie kiedy konstruktor nie ma wystarczających umiejętności dla prawidłowego zaprojektowania bass-refleksu. Gdy nie znamy żadnych parametrów głośnika, obudowa zamknięta jest ostatecznie najlepsza. Chociaż „na ślepo“ z pewnością nie uzyskamy optymalnych rezultatów, to przynajmniej skutki błędów nie będą tak bolesne, jak w przypadku źle dostrojonych bass-refleksów. Parametry



Subwoofer Dali SW15. Obudowa zamknięta, choć w konstrukcjach pełnopasmowych zespołów głośnikowych dzisiaj rzadko spotykana, jest często wykorzystywana w konstrukcjach subwooferów aktywnych. Dlaczego? Wcześniejszy, ale łagodniejszy (w stosunku do bass-reflexu) spadek charakterystyki łatwo skorygować elektronicznie, poprzez zintegrowane w subwooferach aktywnych wzmacniacze.

Przegląd obudów głośnikowych rozpoczynamy od najprostszej - obudowy zamkniętej. Dwadzieścia, trzydzieści lat temu była spotykana najczęściej, zwłaszcza wśród małych zespołów głośnikowych („compact“), co utrwaliło mylne przekonanie, że obudową „kompaktową“ jest właśnie obudowa zamknięta - nawet gdy jest bardzo duża.

obudowy zamkniętej można też przy odrobinie wprawy liczyć nawet „w myślach“.

Obudowa zamknięta - obudowa najprostsza?

Tak, jest ona najprostsza i funkcjonalnie i wydawałoby się, że konstrukcyjnie też - jeżeli weźmie się pod uwagę obudowy spotykane w praktyce. Jednak trzeba też wziąć pod uwagę obudowę pod postacią odgrody, zwaną odgradą otwartą. Jeżeli z pojęciem „obudowa“ kojarzymy sposób zorganizowania przetwarzania sygnałów o niskich częstotliwościach, to czy sposób ten jest optymalny, czy nie, zawsze funkcjonuje w jakiejś postaci, więc nie wypada w zgodzie z taką terminologią powiedzieć, że głośnik może w ogóle nie mieć obudowy - brak nawet śladowej odgrody nazwalibyśmy wtedy formalnie nieskończenie małą odgradą, tak jak definiujemy abstrakcyjną nieskończenie wielką odgradę jako takie warunki pracy, w których promieniowanie przedniej strony membrany jest całkowicie izolowane od promieniowania tylnej strony, bez żadnego wpływu na parametry głośnika, jaki wywierają na obudowa zamknięta czy obudowa w postaci linii transmisyjnej.

Odgroda otwarta (skończona), chociaż może wyglądać prosto (kawałek deski), jednak w swoim działaniu nie jest tak banalna. Wywołuje dipolową charakterystykę kierunkową, a wypadkowe ciśnienie przed głośnikiem (na osi głównej) można obliczyć z rachunku wektorowego ciśnień promieniowanych przez obydwie strony membrany, pozostających w przeciwnych fazach. Ale obudowę dipolową zostawimy sobie na deser, teraz skupiamy się już na obudowie zamkniętej.

Zwłaszcza w nomenklaturze brytyjskiej spotykało się (dzisiaj rzadziej) pojęcia nieskończonej odgrody (*infinite baffle*) i akustycznego zawieszenia (*acoustic suspension*), stosowane dla opisu obudowy zamkniętej. Można przyjąć, chyba w zgodzie z intencjami stosujących te określenia, że tak rozumiana „nieskończona odgroda“ to obu-

dowa zamknięta w niewielkim stopniu wpływająca na parametry zastosowanego w niej głośnika, czyli taka, w której podatność „poduszki powietrznej“ jest znacznie większa od podatności zawieszonych samego głośnika, tym samym w niewielkim stopniu wpływając na ostateczną podatność układu zawieszonych. Natomiast akustyczne zawieszenie to obudowa wtrącająca relatywnie małą podatność w porównaniu do podatności zawieszonych samego głośnika, determinując tym samym podatność całkowitą układu. Jednak żadnej wyraźnej granicy między parametrami jednej i drugiej „odmiany“ obudowy zamkniętej nie można określić i w praktyce takie rozróżnienie nie ma znaczenia, a te dość archaiczne określenia (podobnie jak *kompakt*) wspominamy tylko dla wyjaśnienia ewentualnych nieporozumień. Dla współczesnego konstruktora obudowa zamknięta to obudowa zamknięta - mała czy duża.

Zmieniamy podatność

Pierwotną przyczyną stosowania obudowy zamkniętej jest dążenie do wytłumienia fali promieniowanej przez tylną stronę membrany, która jest w fazie przeciwnej wobec wykorzystywanej fali promieniowanej przez przednią stronę membrany. Jednak zainstalowanie głośnika w obudowie zamkniętej nie pozostaje bez wpływu na jego parametry (głośnika z obudową).

Udało nam się już powyżej wspomnieć o parametrze podatności. Szeroko przedstawialiśmy go w poprzednim odcinku, wyjaśniając, że na całkowitą podatność zawieszonych samego głośnika składają się podatności zawieszenia dolnego i górnego. Zainstalowanie głośnika w obudowie zamkniętej powoduje pojawienie się kolejnego zawieszenia - utworzonego przez powietrze zamknięte w obudowie, wykazujące się sprężystością - o podatności określonej przez objętość tego powietrza i powierzchnię membrany nań działającą (przypomnijmy, że objętość ekwiwalentna V_{as} to objętość o podatności takiej samej, jak podatność zawieszonych samego głośnika). Można uznać, że sam



Zespoły głośnikowe Keosa firmy Linn - zwłaszcza brytyjscy konstruktorzy mieli dużo przekonania (i jeszcze trochę mają) do obudów zamkniętych.

głośnik zawsze pozostaje tylko głośnikiem, a jego parametry pod wpływem obudowy nie ulegają zmianie (bo przecież podatność jego zawiesznień jest taka, jak była), ale można też powstały układ głośnik-obudowa zinterpretować jako „nowy” głośnik i stwierdzić, że parametry głośnika uległy zmianie. Zmiany te wywołuje właśnie zmiana podatności układu zawiesznień. Powołując się na wzory 1, 3 i 4 z poprzedniego odcinka, stwierdzamy, że zmiana podatności wywołuje zmiany podstawowych parametrów Thiele'a-Small'a - częstotliwości rezonansowej f_s , dobroci elektrycznej Q_{es} i dobroci mechanicznej Q_{ms} (a więc i wynikającej z nich dobroci wypadkowej Q_{ts}). Moż-

na też twierdzić, że zmianie ulega również objętość ekwiwalentna (wzór 2), ale na szczęście, przy obliczaniu obudów zamkniętych, nie ma to praktycznego znaczenia. Ostatecznie bowiem o kształcie charakterystyki przetwarzania decyduje częstotliwość rezonansowa f_c i dobroć całkowita Q_{tc} głośnika zabudowanego, a objętość ekwiwalentna (głośnika niezabudowanego) jest tylko parametrem dla obliczenia f_c i Q_{tc} .

Wreszcie wzory służące tym obliczeniom:

Częstotliwość rezonansowa głośnika w obudowie f_c [Hz] wyrażona jest wzorem:

$$f_c = f_s \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_{ab}} + 1} \quad [8]$$

gdzie:

f_s - częstotliwość rezonansowa głośnika niezabudowanego [Hz],

V_{as} - objętość ekwiwalentna [m^3],

V_{ab} - objętość obudowy niewytlumionej [m^3],

i analogicznie:

Dobroć całkowita głośnika w obudowie Q_{tc} wyrażona jest wzorem:

$$Q_{tc} = Q_{ts} \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_{ab}} + 1} \quad [9]$$

gdzie:

Q_{ts} - dobroć całkowita głośnika niezabudowanego,

V_{as} - objętość ekwiwalentna [m^3],

V_{ab} - objętość obudowy niewytlumionej [m^3].

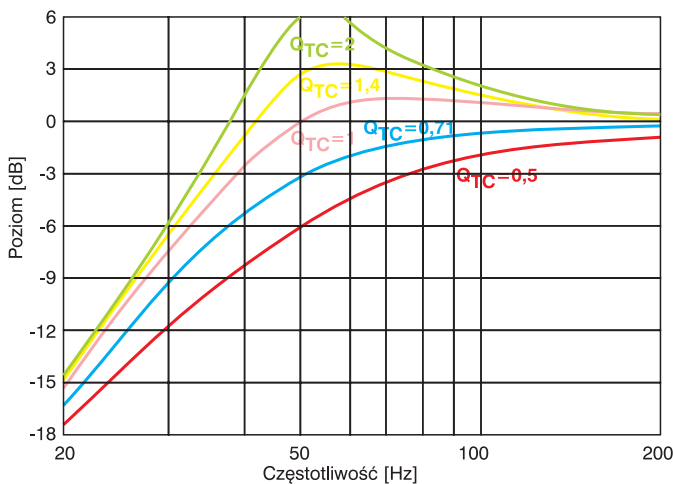
Jak widać, po zabudowaniu głośnika jego częstotliwość rezonansowa i dobroć wzrastają - i to w takim samym stopniu. Stosunek V_{as} do V_{ab} określany jest jako α :

$$\alpha = \frac{V_{as}}{V_{ab}} \quad [10]$$

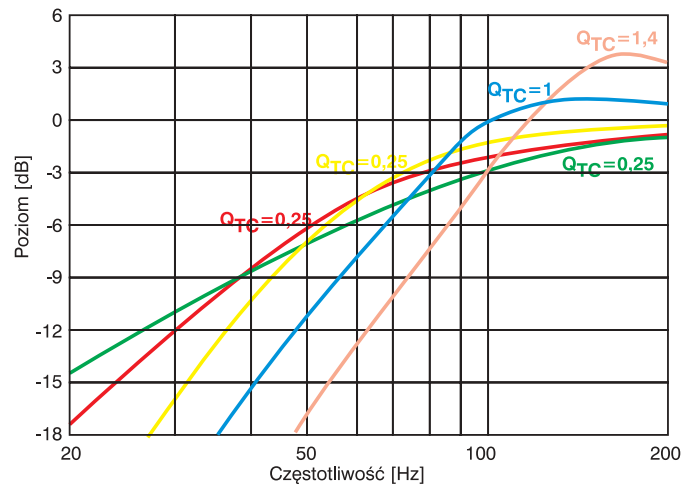
Im większa jest wartość współczynnika α , tym większy wpływ na całko-

witą podatność ma podatność powietrza w obudowie, bowiem oznacza to stosowanie obudów o relatywnie małej objętości w stosunku do objętości ekwiwalentnej głośnika, a więc o małej podatności. Warto zwrócić uwagę na dwa szczególne przypadki - kiedy obudowa ma objętość równą objętości ekwiwalentnej, wówczas częstotliwość rezonansowa i dobroć całkowita wzrosną o pierwiastek z dwóch. Kiedy obudowa ma objętość równą 1/3 objętości ekwiwalentnej, wówczas parametry te wzrosną dwukrotnie. Jednak o ile wzrosną - jest sprawą drugorzędą; pierwszorzędą natomiast, do jakiego poziomu. Kluczowa jest tutaj wartość Q_{tc} , której znaczeniu wreszcie przyjrzymy się bliżej.

Charakterystyka przetwarzania głośnika w obudowie zamkniętej spada poniżej częstotliwości rezonansowej z nachyleniem 12 dB na oktawę (podobnie jak głośnika zamontowanego w hipotetycznej, „prawdziwej” nieskończonej wielkiej odgradzie, czyli w warunkach, w których promieniowanie tylnej strony membrany zostaje wyeliminowane bez żadnej zmiany parametrów głośnika). Jest to spadek najmniejszy z możliwych do uzyskania bez wprowadzania korekcji (bass-reflex ma spadek 24 dB/okt.), co samo w sobie jest korzystne. Jednak takie opisanie kształtu charakterystyki nie mówi wszystkiego. Nie jest bowiem tak, że do częstotliwości rezonansowej (patrzac od góry skali) charakterystyka biegnie liniowo, a przy częstotliwości rezonansowej gwałtownie się załamuje i spada od razu z nachyleniem 12 dB/okt. Charakterystyka zaczyna opadać jeszcze przed częstotliwością rezonansową (a jeszcze wcześniej może wykazywać „podbicie”) i poniżej częstotliwości rezonansowej zbliża się do asymptoty 12 dB/okt. - jednak jej dokładny kształt zależy właśnie od współczynnika dobroci Q_{tc} .



Rys. 1. Rodzina charakterystyk przetwarzania dla różnych Q_{tc} , przy ustalonym f_c (50 Hz)



Rys. 2. Rodzina charakterystyk przetwarzania dla skoordynowanych zmian Q_{tc} i f_c ($f_s=25$ Hz, $Q_{ts}=0,25$)



W zasadzie każda konstrukcja firmy B&W (na zdjęciu - model 603S3) ma otwory bass-reflex, zarazem użytkownik najczęściej znajduje w opakowaniu zatyczki z bardzo gęstej pianki, które pozwalają zupełnie zmienić sposób pracy obudowy - i zamienić ją w zamkniętą.

Wartość tego współczynnika wyraża, jaki jest stosunek ciśnienia przy częstotliwości rezonansowej do ciśnienia referencyjnego danego głośnika, czyli mówiąc krótko, jaki jest spadek ciśnienia przy częstotliwości rezonansowej. Wartość $Q_{tc} = 0,5$ oznacza spadek 6-decybelowy, $Q_{tc} = 0,7$ - ok. 3-decybelowy, a $Q_{tc} = 1$ wskazuje, że przy częstotliwości rezonansowej zostanie utrzymane ciśnienie referencyjne. Ponadto, należy się spodziewać, że przy Q_{tc} wyższych od 0,7, w zakresie powyżej częstotliwości rezonansowej, zacznie pojawiać się podbicie charakterystyki i podbicie to, coraz większe, będzie przesuwane się do samej częs-

totliwości rezonansowej f_c wraz z coraz wyższymi wartościami współczynnika Q_{tc} .

Porównanie charakterystyk dla różnych wartości Q_{tc} , przy określonym f_c (w tym przykładzie 50 Hz) pokazano na rys. 1. Konstruktor, posiadając dany głośnik, nie ma jednak możliwości wyboru wartości Q_{tc} przy danym f_c , bowiem jak już zauważyliśmy, wraz ze zmianą Q_{tc} , zmienia się f_c . Rodzinę charakterystyk w ten sposób sprzężonych pokazano na rys. 2.

Dla przykładowego głośnika o parametrach $f_s=25$ Hz, $Q_{ts}=0,25$, $V_{as}=100$ dm³. Jedną z charakterystyk odnosi się wprost do tych parametrów, tak jakby głośnik działał w nieskończonej wielkiej odgradzie, kolejne do głośnika w obudowie zamkniętej o różnych objętościach.

Co w tej sytuacji powinno determinować wybór charakterystyki? Nie tylko sam jej kształt. Z różnymi wartościami Q_{tc} wiążą się różne właściwości impulsowe. Teoretycznie najlepsze charakterystyki impulsowe mają układy o dobroci $Q_{tc} = 0,5$, a wraz z podnoszeniem wartości Q_{tc} , ulegają one pogorszeniu. Wartości niższych od 0,5 w praktyce się nie rozpatruje, gdyż już na tym poziomie pojawia się kilka problemów. Po pierwsze, charakterystyka opada bardzo łagodnie, ale zaczyna to robić wcześniej, i ciśnienie w okolicach częstotliwości rezonansowej f_c , chociaż leżącej nisko, jest niewielkie. Po drugie, dla uzyskania tak niskiej wartości dobroci Q_{tc} zwykle potrzebne są duże obudowy. I po trzecie, wraz z niską wartością dobroci Q_{tc} mamy często tak niską częstotliwość rezonansową f_c , że układ drgający głośnika będzie miał wychylenia o bardzo dużej amplitudzie, do których może nie być zaprojektowany. Głośniki do obudów zamkniętych nie są bowiem zwykle projektowane pod kątem ich zastosowania w obudowie z dobrocią $Q_{tc} = 0,5$, ale wyższą. Za optymalny, będący wyrazem kompromisu między różnymi uwarunkowaniami, uznaje się przedział 0,6...1,0, w którym charakterystyki impulsowe pozostają nadal „dobre“ (i na pewno znacznie „lepsze“, niż w jakimkolwiek bass-refleksie), charakterystyka przetwarzania „wypełnia“ okolice częstotliwości rezonansowej, oferując może nie najniższą częstotliwość graniczną, ale dobrą efektywność w tym zakresie, obudowa może mieć (zazwyczaj) umiarkowaną objętość, a układ drgający nie jest poddawany tak dużym wychyleniom, jak przy obudowach większych (ponieważ został odciążony od przetwarzania najniższych częstotliwości, co przecież widać na charakterystyce). Są to wnioski bardzo ogólne. Projektując obudowę zamkniętą dla konkretnego głośnika, którego wszystkie ważne pa-

rametry znamy, nie należy *a priori* ograniczać rozważań do przedziału 0,6...1,0.

Jeżeli np. mamy do dyspozycji bardzo wysokiej jakości głośnik, mający doskonałe parametry - zarówno dużą amplitudę liniową, jak i taką kombinację parametrów Thiele'a-Small'a, że możemy ustalić dobroć $Q_{tc} = 0,5$ przy bardzo niskiej częstotliwości rezonansowej f_c , w obudowie o akceptowalnej objętości - możemy rozważyć taką opcję, jeżeli chcemy być dumni z tego, że impulsowo działanie jest doskonałe. Warto jednak wiedzieć, że w subiektywnym odczuciu brzmienia teoretycznie doskonałego impulsowo basu z tego rodzaju obudów często okazuje się suche i mało dynamiczne. Ale łagodnie opadająca charakterystyka oznacza, że głośnik można będzie postawić blisko ścian i dzięki zwiększonej w tych warunkach rezystancji promieniowania (odbicia), podnieść jej poziom bez niebezpieczeństwa wypuklenia zakresu leżącego w okolicach częstotliwości rezonansowej f_c .

Z drugiej strony, mając głośnik niskotonowy o bardzo małej amplitudzie liniowej lub chcąc zapewnić przede wszystkim wysoką jego wytrzymałość, możemy posunąć się nawet do dobroci o wartości nieco wyższej niż 1 (1,0...1,4), przy której układ drgający jest relatywnie najmniej narażony na duże wychylenia (dalsze podnoszenie Q_{tc} powodowałoby już zbyt silne obciążenie amplitudami nie w zakresie najniższych częstotliwości, ale w okolicach samej częstotliwości rezonansowej, co również pośrednio widać na charakterystykach przetwarzania. Jednak uwaga, charakterystyki przetwarzania oczywiście nie są tożsame z charakterystykami wychylenia w skali częstotliwości dla określonej dostarczonej mocy). W takiej sytuacji mamy już daleką od ideału charakterystykę impulsową (ale wciąż nie gorszą od większości bass-refleksów), pewnie nie najniższą częstotliwość graniczną, ale mocne wypełnienie „średniego“ lub „wyższego“ basu, czyli dużą efektywność w tym zakresie.

Szczególne wartości Q_{tc} mają swoje „naukowe“ definicje - 0,5 to strojenie o tłumieniu krytycznym (najlepsze charakterystyki impulsowe), $Q_{tc} = 0,58$ to charakterystyka według modelu Beszela, $Q_{tc} = 0,71$ to strojenie Butterwortha (charakterystyka przetwarzania maksymalnie długo ma przebieg liniowy), $Q_{tc} = 1,41$ odpowiada filtrowi Czebyszewa. Jednak nie ma sensu celować dokładnie w jedną z tych opcji, jak to sugerują niektóre podręczniki - każda wartość pośrednia Q_{tc} jest dopuszczalna.

Po kilku ćwiczeniach ustalanie przebiegu charakterystyki przetwarzania i kojarzenie wartości Q_{tc} z określonymi właściwościami impulsowymi nie bę-

dzie nawet początkującym konstruktorom sprawiać problemów. Nie są do tego koniecznie potrzebne programy komputerowe, a co najwyżej kalkulator. Większy problem sprawia skoordynowanie danej charakterystyki przetwarzania z charakterystyką obciążenia amplitudowego. Tutaj obliczenia prowadzone „ręcznie” są bardziej kłopotliwe, i w zasadzie symulacje komputerowe stają się niezbędne dla płynnego projektowania. Ogólna zależność została podana już wcześniej - im mniejsza obudowa, wyższy współczynnik α , wyższa częstotliwość f_c i wyższa dobroć Q_{tc} (oby jedna nie przesadnie wysoka) - tym głośnik bezpieczniejszy. Nie chcąc ryzykować jego uszkodzenia przy wysokich poziomach sygnału wejściowego zawierającego najniższe częstotliwości, trzymajmy się bliżej wartości $Q_{tc} = 1$, niż $Q_{tc} = 0,7$, a tym bardziej 0,5.

Jaki głośnik jest odpowiedni do obudowy zamkniętej? Aby na to pytanie odpowiedzieć, można dokonać przynajmniej pobieżnego porównania wymagań wobec głośników dla obudowy zamkniętej i obudowy bass-reflex. Podstawowa różnica między nimi dotyczy wartości dobroci Q_{ts} (samego głośnika). Jak będzie dalej wynikało ze wskazówek dotyczących projektowania obudów bass-reflex, korzystne są tam głośniki o niskich wartościach Q_{ts} , bowiem wartość Q_{tc} , gdyby taką wyznaczyć dla obudowy bass-reflex po jej zamknięciu, nie powinna przekraczać 0,6, w wyjątkowych przypadkach 0,7.



ESA Vivace E - małe konstrukcje o podwójnym zastosowaniu - do użycia jako para stereofoniczna, albo jako efektowe (naścienne) w systemach wielokanałowych. Dostrojone tak, aby dobrze znosiły bezpośrednią bliskość powierzchni odbijających (co prowadzi do wzmocnienia basu), i dlatego wykorzystujące obudowę zamkniętą.

W praktyce oznaczać to będzie, że wartość Q_{ts} dla głośnika do bass-reflexu nie powinna przekraczać 0,4, a najlepiej, żeby była znacznie niższa, co ułatwi uzyskiwanie dobrych właściwości impulsowych. Widząc więc głośniki o dobroci Q_{ts} nie wyższej niż 0,3, możemy sądzić, że zostały zaprojektowane pod kątem zastosowania w bass-refleksie (z ekstremalnie niskimi dobrociami, poniżej 0,2, są odpowiednie również do obudów tubowych), głośnik z Q_{ts} w przedziale 0,3 - 0,4 możemy uznać za uniwersalny, a o dobroci wyższej od 0,4 za nadający się wyłącznie do obudowy zamkniętej (lub linii transmisyjnej).

O ile jednak zastosowanie głośnika o dobroci Q_{ts} wyższej od 0,4 w obudowie bass-reflex nieuchronnie musi być obciążone poważnymi kompromisami - przede wszystkim słabymi charakterystykami impulsowymi - to można generalnie potępić stosowania głośników o niskich wartościach Q_{ts} , nawet niższych od 0,3, w obudowach zamkniętych. Tutaj bowiem sugerowanie niskich wartości Q_{ts} jest pewnym uproszczeniem. Przeciwnie z dowolnie niskiej wartości Q_{ts} możemy przejść do dowolnie wysokiej wartości Q_{tc} - stosując odpowiednio małą obudowę, czyli wysoki współczynnik alfa. Niestety, wraz ze wzrostem dobroci, rośnie częstotliwość rezonansowa, ograniczając przetwarzane pasmo.

Dokładnie więc rzecz biorąc, w przypadku głośników do obudowy zamkniętej chodzi o stosunek częstotliwości rezonansowej f_s do dobroci Q_{ts} oznaczany EBP (*efficiency bandwidth product*), który im jest niższy, tym lepiej - bowiem pozwala ustalić w obudowie zamkniętej założoną wartość Q_{tc} , przy uzyskaniu możliwie niskiej częstotliwości rezonansowej f_c , a więc określić niską częstotliwość graniczną.

Podobnie jak w przypadku wartości dobroci Q_{ts} , możemy podać bardzo ogólną regułę: jeżeli współczynnik ten jest niższy od 50, to mamy do czynienia z głośnikiem doskonałym do obudowy zamkniętej, już niezależnie od wartości dobroci Q_{ts} (choć proszę zwrócić uwagę, że przy dobroci $Q_{ts}=0,3$ spełnienie tego warunku wymagałoby częstotliwości rezonansowej f_s niższej od 15 Hz, co jest rezultatem niezmiernie rzadko spotykanym), jeżeli współczynnik ten jest wyższy od 100, to głośnik dedykowany jest obudowom bass-reflex, a jeżeli jego wartość mieści się w przedziale 50...100, to obydwie opcje są możliwe. Doświadczenie uczy, że wraz z dużymi głośnikami mamy większą swobodę wyboru rodzaju obudowy zgodnie z powyższymi wskazówkami, bowiem większe głośniki mają generalnie niższe częstotliwości rezonansowe, co poprawia im współczynniki EBP i zwiększa możliwości stosowania w obudo-

wach zamkniętych, jednocześnie nie mają generalnie niższych dobroci Q_{ts} , co nie pogarsza ich szans zastosowania w bass-refleksach. Wniosek płynie stąd dość zaskakujący, ale dzisiaj prawdziwy - to właśnie małe, „kompaktowe” zespoły głośnikowe, z małymi głośnikami nisko-średniotonowymi, ze względu na ich wysokie współczynniki EBP, są najczęściej bass-refleksami, a obudowy zamknięte spotyka się relatywnie częściej wśród większych konstrukcji.

Niewłaściwy wybór, a w dodatku niewłaściwe strojenie głośnika do obudowy bass-reflex powoduje problemy z charakterystykami impulsowymi. Natomiast teoretycznie niewłaściwy wybór głośnika do obudowy zamkniętej powoduje zupełnie co innego - zawężenie pasma przenoszenia. Jeżeli świadomy tego konstruktor upiera się, by zrobić mały monitor z obudową zamkniętą, bo „nie potrzebuje” niskiego basu, to proszę bardzo. Takie pomysły mają też przecież pełną rację bytu w przypadku zespołów satelitarnych, stojących przed zadaniem przetwarzania od np. 100 Hz, ponieważ częstotliwości najniższe obsługuje specjalny moduł subniskotonowy - subwoofer (aktywny lub bierny). Idąc tym tropem stwierdzamy, że właściwą obudową

dla głośnika średniotonowego jest obudowa zamknięta, ponieważ jego pasmo i tak ograniczymy (filtrowaniem elektrycznym) bardziej, niż uczyni to sama obudowa, jednak i tutaj zdarzają się wyjątki.

Najczęściej spotyka się sugestię, że głośnik do obudowy zamkniętej wymaga zdolności do pracy przy większej amplitudzie liniowej i maksymalnej, niż głośnik do bass-refleksu. Można się z takim wnioskiem zgodzić tylko w ramach bardzo dużego uproszczenia problemu. Aby rzetelnie omawiać tę kwestię, trzeba by dla pełnego porównania poddać głębszej obserwacji zachowanie się głośnika w obudowie bass-reflex, co pozostawimy już na później. Wtedy zobaczymy, jak wielokrotnie przecinają się krzywe obciążenia amplitudowego tego samego głośnika w różnych obudowach i będziemy spekulować, co jest dla niego lepsze. Teraz na to za wcześnie.

Wytłumienie obudowy

We wzorze 8 pojawił się parametr V_{ab} , oznaczający objętość obudowy niewytłumionej. Obudowę zamkniętą jednak zasadniczo się wytłumia, co powoduje zwiększenie jej podatności (względem obudowy o takiej samej objętości, ale niewytłumionej). Powoduje to uzyskanie niższych wartości f_c i Q_{tc} , niż wynikające ze wzorów 8 i 9. Najprostszym sposobem uwzględnienia tego efektu jest wprowadzenie współczynnika 1,2, przez który należy podzielić obliczoną wartość V_{ab} (objętość obudowy niewytłumionej), aby obliczyć V_b (objętość obudowy wytłumionej):

$$V_b = \frac{V_{ab}}{1,2} \quad [11]$$

Poprawka ta jest odpowiednia dla wytłumienia 50-100% objętości obudowy materiałem o niskiej gęstości (wata mineralna, lekko ułożona wełna). Bardzo silne wytłumienie spowoduje oczywiście dalej idące zwiększenie podatności i wynikającą stąd większą poprawkę we wzorze 11 (sięgającą nawet 1,5), słabe wytłumienie będzie miało mniejszy wpływ, ale nie należy posuwać się do żadnego ekstremum. Zaznaczmy, że wytłumienie wprowadzamy przede wszystkim nie po to, aby modyfikować parametry czy zmieniać objętość obudowy, ale aby zapewnić optymalne tłumienie fal promieniowanych przez tylną stronę membrany - co odnosi się przecież do podstawowego zadania obudowy zamkniętej. Jednak na przeszkodzie pełnemu i gęstemu wypełnieniu obudowy, które maksymalizowałoby tłumienie, stają uboczne zjawiska, takie jak straty na tarcie w gęstym materiale znajdującym się blisko głośnika, czy powstające w takich warunkach zwiększanie masy drgającej (część materiału porusza się). W testach odłuchowych nadmierne wy-



Legendarny „Ślimak” - B&W Nautilus - to wedle firmowych deklaracji konstrukcja zbudowana z czterech linii transmisyjnych, ale faktycznie linia dla głośnika nisko-tonowego (najdłuższa i zwinięta w spiralę) nie ma otwartego wylotu, tworzy więc obudowę zamkniętą, ale o bardzo wyrafinowanym kształcie i silnym wytłumieniu.

tłumienie, nawet po skorygowaniu objętości i uzyskaniu zakładanej wartości Q_{tc} , powoduje brzmienie mało dynamiczne, zbyt słabe - dudniące i podbarwiane. Dzisiaj wśród konstruktorów jest raczej w modzie słabsze niż mocniejsze wytłumienie, choć nie należy się tym zbyt mocno sugerować, ale raczej zdać na własne eksperymenty. Wymienianie, wyjmowanie czy dokładanie materiału wytłumiającego nie jest trudną czynnością, oczywiście dalej idące eksperymenty - zmiany objętości obudowy - są znacznie bardziej kłopotliwe. Dlatego właśnie przyjęcie „uśrednionej” wartości współczynnika korekcji na poziomie 1,2 pozwala dość swobodnie badać wpływ różnych sposobów wytłumienia, bez dalszych zmian podstawowych parametrów - f_c i Q_{tc} - większych niż w granicach $\pm 10\%$.

Na koniec jedna praktyczna odpowiedź - wytłumienie obudowy, zmniejszające Q_{tc} , ma wpływ przeciwnie skierowany, niż rezystancje szeregowy, o których pisaliśmy miesiąc temu, zwiększające dobroć Q_{ts} (a przez to i końcową Q_{tc}). Wpływy te mają podobne nasilenie (ok. 20%), więc bardzo często kompensują się wzajemnie. Oznacza to, że przynajmniej na wstępnym etapie projektowania, możemy pominąć obydwa zjawiska i szybko oszacować objętość obudowy uzyskując wynik, który w ostatecznym rachunku nie okaże się obciążony błędem większym niż 10%.

Za miesiąc poćwiczymy projektowanie obudów zamkniętych z głośnikami o różnych parametrach.

Andrzej Kisiel