

Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów

W głośnikowym żywiole, część 10

Obudowy bass-reflex, część 2

Przedstawiamy drugą część artykułu poświęconego obudowom bas-reflex. Autor zajął się w niej przede wszystkim zjawiskami falowymi, jakie występują w obudowach tego typu.

Zjawiska fazowe – w nich tkwi tajemnica

Do możliwie niskiego strojenia skłania pewne przykre zjawisko – poniżej częstotliwości rezonansowej obudowy, charakterystyka przetwarzania zaczyna szybko opadać, jej nachylenie dąży do 24dB/okt. Dokładny kształt charakterystyki zależy jednak od konkretnego głośnika i sposobu strojenia, czasami w okolicy częstotliwości rezonansowej widać gwałtowne załamanie charakterystyki („kolano”), albo tylko delikatne zaokrąglenie, a charakterystyka zwiększa stromość powoli. Faktem jest jednak, że o ile w zakresie częstotliwości rezonansowej obudowy i powyżej system bas-refleks zapewni wyżej leżącą charakterystykę przetwarzania w porównaniu do tego samego głośnika w takiej samej wielkości obudowy zamkniętej, to niedaleko poniżej częstotliwości rezonansowej charakterystyka systemu bas-refleks spadnie poniżej poziomu z systemu zamkniętego. Mówimy tutaj o charakterystyce wypadkowej całego systemu bas-refleks, czyli sumy ciśnień z głośnika i otworu. Dlaczego tak się dzieje? Mierzac charakterystykę z samego głośnika, lub charakterystykę z samego otworu, wcale nie stwierdzilibyśmy takiej różnicy na niekorzyść bas-refleksu. Jednak poniżej częstotliwości rezonansowej obudowy, układ zachowuje się tak, jak tego obawialiśmy się na samym początku opisu bas-refleksu – otwór promieniuje ciśnienie przeniesione jakby bezpośrednio od tylnej strony membrany, czyli pozostające w przeciwfazie do promieniowania przedniej strony membrany. Efekt ten nie następuje skokowo, stąd ciśnienie wypadkowe nie przyjmuje gwałtownie wartości zerowej. Po pierwsze, charakterystyka ciśnienia z głośnika musi najpierw „wyjść z dołka”, w jakim była przy

częstotliwości rezonansowej obudowy. Po drugie, przy częstotliwości rezonansowej obudowy, przesunięcie fazowe między promieniowaniem przedniej strony membrany (bardzo niewielkim) a promieniowaniem otworu wynosi 90°. Wraz z opuszczaniem rejonu częstotliwości rezonansowej w kierunku częstotliwości niższych, przesunięcie to szybko się zwiększa, dążąc do niekorzystnej wartości 180°, ale nie osiąga takiej wartości natychmiast.

Inny problem leżący w zakresie poniżej częstotliwości rezonansowej dotyczy wytrzymałości głośnika. O ile w zakresie częstotliwości rezonansowej obudowy cieszyliśmy się z radykalnego odciążenia głośnika od dużych amplitud, i tutaj system bas-refleks miał przewagę nad obudową zamkniętą, która takiego zjawiska przecież nie wywołuje, to daleko poniżej częstotliwości rezonansowej, głośnik w obudowie z otworem w ogóle „nie widzi” obudowy, i zachowuje się tak, jakby był swobodnie zawieszony – czyli jest narażony na największe możliwe amplitudy. Co szczególnie przykre, są one zupełnie bezproduktywne, z powodu znoszenia się ciśnień z głośnika i z otworu. Niektórzy konstruktorzy (zwłaszcza niemieccy producenci), stosują tutaj rozwiązania radykalne – filtrowanie (bierne) górno przepustowe głośnika niskotonowego, ustawione tak, że tłumione są częstotliwości niższe od efektywnie przetwarzanych, a więc leżące poniżej częstotliwości rezonansowej obudowy. Sposób ten ma jednak swoje wady – filtrowanie bierne reaguje z silnie zmieniającą się w zakresie niskich częstotliwości impedancją (chyba, że została zlinearyzowana dodatkowymi obwodami), i kształt charakterystyki filtru daleko odbiega od założonych 6 czy 12dB/okt., ingerując w pasmo użyteczne,

ponadto zwiększenie stromości zbrocza pogarsza charakterystyki impulsowe. Lepszym sposobem jest filtrowanie aktywne, stosowane w subwooferach aktywnych – tam, ze względu na charakter sygnału, niosącego bardzo silne impulsy bardzo niskich częstotliwości, jest ono konieczne. Jednak w większości zespołów głośnikowych filtrowanie „subsoniczne” nie jest stosowane. Bezpieczeństwo głośnika możemy starać się poprawić poprzez odpowiednią pozycję częstotliwości rezonansowej obudowy – nie za wysoką, aby nie pozostawić zbyt dużego niebezpiecznego zakresu poniżej, ani też nie za niską – aby nie pozbawić głośnika odciążania w użytecznym zakresie. Niestety, przy ustalaniu częstotliwości rezonansowej nie możemy kierować się przede wszystkim tym aspektem – musimy również dbać o charakterystykę impulsową i charakterystykę przetwarzania.

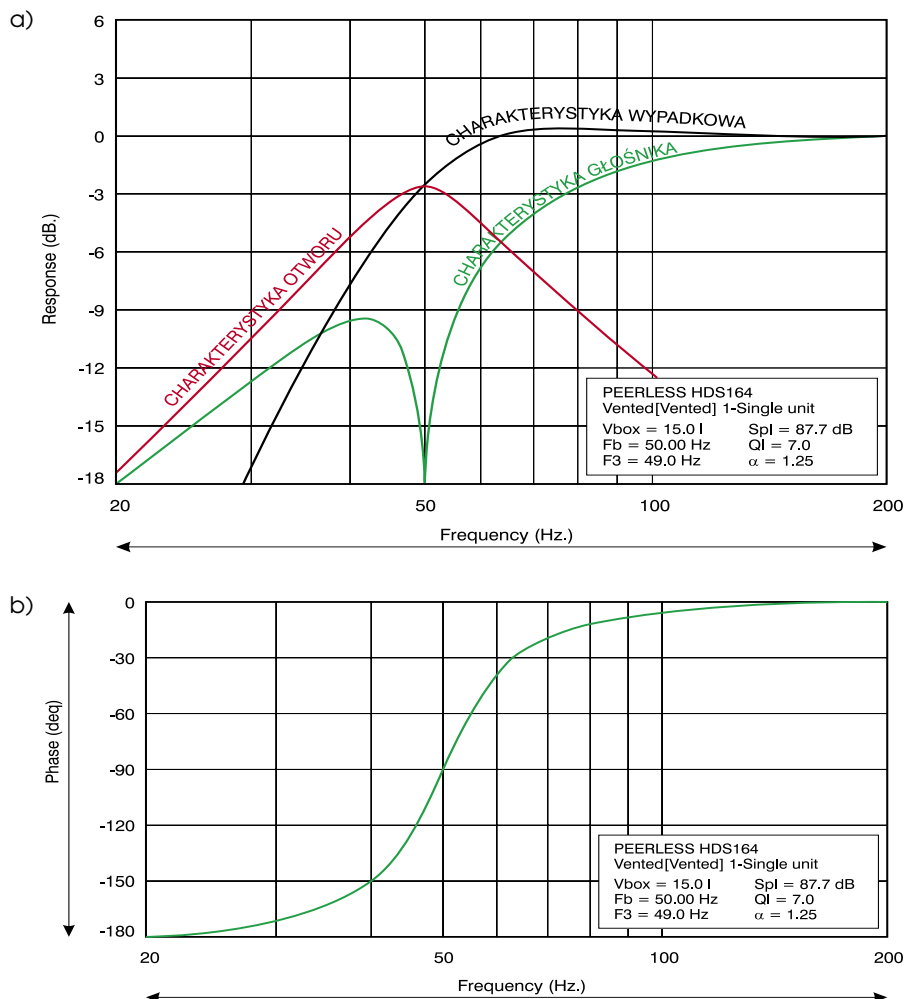
Zanim jednak zaczniemy się tej sztuki uczyć, dokończmy opis działania bas-refleksu. Nie wytłumaczyliśmy jeszcze, co się dzieje powyżej częstotliwości rezonansowej. Układ rezonansowy obudowy przestaje działać, promieniowanie otworu maleje. Należy na to zwrócić uwagę – o ile przy zejściu poniżej częstotliwości rezonansowej otwór nadal promieniował (w fazie niemal przeciwnej do przedniej strony membrany, co powodowało znoszenie się ciśnień), to przejście powyżej częstotliwości rezonansowej powoduje „zamykanie” się otworu na fale powstające w obudowie – układ rezonansowy obudowy ma sam w sobie właściwość filtru dolnoprzepustowego drugiego rzędu (12dB/okt.), nie przenosi na zewnątrz częstotliwości wyższych od częstotliwości rezonansowej, a niższe tak. Kształt charakterystyki ciśnienia z otworu przypomina jednak działanie filtru pasmowo-przepustowego, mając podobnie nachylone zbrocza poniżej i powyżej częstotliwości rezonansowej, ponieważ poniżej częstotliwości rezonansowej ciśnienie

z otworu jest odpowiedzią na charakterystykę głośnika, która... opada z nachyleniem bliskim 12dB/okt (nachylenie charakterystyki wypadkowej dążące do 24dB/okt. powstaje w efekcie odejmowania się promieniowania przedniej strony membrany i otworu). Wracając do zakresu powyżej częstotliwości rezonansowej – otwór przestaje promieniować, ale szybko wraca do gry sam głośnik. Niedaleko powyżej częstotliwości rezonansowej krzywe charakterystyk głośnika i otworu przecinają się. W okolicach tego przecięcia fazy fal promieniowanych przez głośnik i otwór zbliżają się do siebie – przy częstotliwości rezonansowej przesunięcie wynosiło 90° , wraz ze wzrostem częstotliwości dalej się zmniejsza. Oznacza to, że głośnik i otwór efektywnie współpracują. Właśnie w tym zakresie, a nie przy częstotliwości rezonansowej obudowy, najczęściej występuje wzmocnienie charakterystyki wypadkowej. Wraz z dalszym wzrostem częstotliwości głośnik przejmuje główną rolę, i charakterystyka wypadkowa zbliża się do jego własnej charakterystyki.

Takie są podstawowe fakty dotyczące działania głośnika w obudowie z otworem. Opisane zjawiska będą zachodziły zarówno przy układach dostrojonych prawidłowo, jak i nieprawidłowo. Na czym ma więc polegać dostrojenie prawidłowe?

Recepty wczorajsze i dzisiejsze

Najdawniejsza recepta, jeszcze z epoki przed Thielem-Smallem, sugerowała dostrojenie obudowy bas-refleks do częstotliwości rezonansowej głośnika swobodnie zawieszzonego (f_s), co miało przynosić największą korzyść z efektu odciążenia głośnika od dużych amplitud w tym zakresie. Jednak przy częstotliwości rezonansowej głośnik wcale nie musi osiągać największej amplitudy – zwykle wcale nie maleje ona poniżej częstotliwości rezonansowej, a nawet jeszcze wzrasta; dokładny kształt charakterystyki wychylenia w funkcji częstotliwości zależy od dobroci układu rezonansowego głośnika. Reguła ta jednak przestała obowiązywać wraz z analizą charakterystyk przetwarzania opartych już na znajomości parametrów Thiele'a-Smalla. Okazało się, że dla najlepszego przy danym głośniku strojenia częstotliwość rezonansowa obudowy f_b wcale nie musi być równa częstotliwości rezonansowej f_s głośnika swobodnie zawieszzonego. Wiele kon-



Rys. 43. Charakterystyki przetwarzania układu bas-refleks a) w sprzężeniu z charakterystyką przesunięcia fazowego między promieniowaniem głośnika a otworu b)

strukcji jeszcze nie wykorzystujących teorii Thiele'a – Smalla mogło być poprawnych, ale ich strojenie odbywało się głównie metodą prób i błędów. Metoda taka do dzisiaj ma rację bytu i jest godna polecenia, ale nie jako jedyna, zwłaszcza na samym początku prac projektowych, a tym bardziej na etapie wyboru głośnika do obudowy o mniej-więcej określonej wielkości; niektóre głośniki ze względu na parametry T-S w ogóle nie powinny być stosowane w obudowach bas-refleks, o ile chcemy uzyskać poprawne charakterystyki.

Współczesne „akademickie” metody projektowania obudów bas-refleks polegają na wyborze jednego z kilkunastu (w praktyce popularnych jest kilka) modeli strojenia, spośród tych, które są możliwe do zastosowania dla głośnika o danej wartości Q_{ts} . Pamiętajmy, że wartość Q_{ts} głośnika „luzem” powinniśmy skorygować ze względu na rezystancję szeregową, jaka pojawi się np. w cewce filtra

dolnoprzepustowego zwrotnicy, czy okablowaniu, podnosząc wartość Q_{es} , a wskutek tego i Q_{ts} , przeciętnie o kilkanaście procent. Zignorowanie tego zjawiska przy projektowaniu obudowy zamkniętej prowadzi tylko do proporcjonalnego podniesienia wartości końcowej dobroci układu Q_{tc} , ale w przypadku obudowy bas-refleks skutki są znacznie poważniejsze, następuje „rozstrojenie” układu, którego efektem może być przede wszystkim znaczne pogorszenie odpowiedzi impulsowej.

Q_{ts} parametrem kluczowym

Krytycznym parametrem dla wyboru głośnika do konstrukcji bas-refleks i następnie dla wyboru sposobu strojenia jest więc dobroć Q_{ts} . Bez jej znajomości nie mamy szans na prawidłowe zaprojektowanie obudowy z otworem. Wszelkie nawet subiektywnie zadowolające rezultaty uzyskane po omacku będą zapewne dalekie od najlepszych, jakie z danym głośni-

kiem można by uzyskać korzystając ze znajomości Q_{ts} . Że metoda nawet bardzo żmudnych prób i błędów tutaj nie pomoże, niech udowodni jedno retoryczne pytanie – o ile częstotliwość rezonansową obudowy można zmieniać jeszcze dość łatwo, zmieniając długość tunelu, to kto zdecyduje się wykonać szereg obudów o różnej objętości? Objętość i wynikająca z niej podatność również wpływają na częstotliwość rezonansową obudowy, ale nie o to chodzi – optymalny sposób strojenia zakłada określoną objętość obudowy niezależnie od częstotliwości rezonansowej układu. Inaczej mówiąc, chociaż obudowy o najróżniejszych objętościach można dostroić do tej samej częstotliwości rezonansowej (mniejszą podatność można skompensować większą masą drgającą), to charakterystyki każdej z nich będą zupełnie inne.

Zbiór teoretycznie prawidłowych modeli można podzielić na dwie grupy – zapewniających charakterystyki przetwarzania nie wykazujące podbicia (tzw. płaskie), i dopuszczających do „kontrolowanych” nierównomierności. Wraz ze „spokojniejszą” charakterystyką przetwarzania, otrzymujemy zwykle lepsze charakterystyki impulsowe, ale stosowanie modeli „płaskich” jest możliwe tylko dla głośników o wartościach Q_{ts} niższych od ok. 0,4 (dokładna granica jest różna dla różnych modeli strojenia). Następnie modele te płynnie przechodzą w modele będące ich rozwinięciami dla głośników o wyższych wartościach Q_{ts} , a uzyskiwana teraz charakterystyka przetwarzania zaczyna wykazywać różnego rodzaju nierównomierności. Wraz ze wzrostem Q_{ts} , jesteśmy skazani na coraz większe nierównomierności, i na coraz gorsze odpowiedzi impulsowe. Chociaż teoretyczne modele nie ograniczają nam możliwości zaprojektowania bas-refleksu z głośnikiem o niemal dowolnie wysokiej wartości Q_{ts} , to w praktyce warto przestrzegać następujących reguł:

- jeżeli naszym priorytetem są właściwości impulsowe, a nie rozciągnięcie charakterystyki przetwarzania, stosujemy głośniki o wartości Q_{ts} nie wyższej od 0,3,
- jeżeli zadowolają nas relatywnie dobre charakterystyki impulsowe, stosujemy głośniki o wartości Q_{ts} nie wyższej od 0,4,
- decydując się na głośniki o wartości Q_{ts} większej od 0,4, musimy

być przygotowani na kompromisy w dziedzinie charakterystyk impulsowych, ale do wartości 0,5 są one akceptowalne pod warunkiem starannego dostrojenia obudowy.

Należy podkreślić, że wybór głośnika o niskim Q_{ts} jest pierwszym, ale nie jedynym warunkiem uzyskania dobrych charakterystyk impulsowych. Stosując głośnik z niskim Q_{ts} w niewłaściwy sposób narażamy się na gorsze charakterystyki, niż z głośnikiem o wyższym Q_{ts} , ale w umiejętnie dostrojonej obudowie.

Ponadto, niestety coś za coś – tak jak w przypadku obudów zamkniętych, również w bas-refleksach wyższe wartości Q_{ts} ułatwiają osiąganie niższych częstotliwości granicznych na charakterystykach przetwarzania, bowiem i tutaj o „rozciągnięciu” charakterystyki decyduje współczynnik EBP, czyli iloraz częstotliwości rezonansowej f_s i dobroci Q_{ts} . Głośnik doskonały do bas-refleksu zarówno pod względem możliwości uzyskania najlepszych charakterystyk impulsowych, jak i przetwarzania, powinien mieć małą wartość Q_{ts} , ale wraz z tym bardzo niską częstotliwość rezonansową, tak aby współczynnik EBP nie był wyższy od 100. Z drugiej strony, dla głośników o współczynniku EBP wyższym od 100, obudowa bas-refleks jest w zasadzie jedynym sensownym sposobem zastosowania, gdyż w obudowie zamkniętej ich bas będzie jeszcze słabszy. Stąd też wskazywanie, że głośniki o współczynniku EBP wyższym od 100 dedykowane są do bas-refleksów nie oznacza automatycznie, że takie właśnie są do bas-refleksów lepsze niż te, które mają EBP np. o wartości 50 – chodzi tylko o to, że przy wysokim EBP bas-refleks jest ratunkiem dla charakterystyki przetwarzania – o ile zależy nam na możliwie niskiej częstotliwości granicznej. Z kolei głośnik o współczynniku EBP = 50 i dobroci $Q_{ts}=0,3$ oznacza natomiast, że jego częstotliwość rezonansowa f_s musi wynosić 15 Hz – możemy sobie takiego głośnika życzyć, ale spotkać go nie będzie łatwo. A nawet jeżeli się zdarzy, warto od razu sprawdzić inne jego parametry – czy efektywność nie jest śmiesznie niska, albo wychylenie liniowe powodujące, że już ułamek mocy znamionowej spowoduje jego przesterowanie przy najniższych częstotliwościach...

Andrzej Kisiel