

# Obudowy głośnikowe część 1

*Czytelnikom zainteresowanym elektroakustyką przedstawiamy w kilku kolejnych artykułach podstawowe zasady konstruowania różnego typu obudów głośnikowych. Jest to temat ważny i obszerny, a nie dość wyczerpująco opisany w polskiej literaturze.*

## Parametry Thiele'a-Smalla, obudowa zamknięta

Profesjonalne konstruowanie zespołów głośnikowych wymaga bardzo dużej wiedzy technicznej. Jednak budowanie zespołów głośnikowych przez konstruktorów - amatorów o różnym stopniu zaawansowania jest bardzo popularne. W Polsce spowodowały to wieloletnie braki rynkowe w ofercie zespołów głośnikowych. Trochę łatwiejszym zadaniem było zaopatrzenie się w same głośniki firmy TONSIL. Tą drogą powstały konkurencyjne cenowo kopie popularnych Altusów itp., a czasami były to konstrukcje odmienne i bardziej interesujące.

Na całym świecie, a dzisiaj już również w Polsce, przy ogromnym wyborze fabrycznych zespołów głośnikowych, motywacja do podobnego majsterkowania musi być inna - zamiłowanie do realizacji własnych, oryginalnych pomysłów.

Projektowanie zespołów głośnikowych daje szerokie możliwości. Zbudowanie zespołów wysokiej klasy jest możliwe przy wysokich kosztach i dużym doświadczeniu, ale zaczynać można od konstrukcji bardzo prostych, w oparciu o tanie głośniki i części oraz znajomość podstawowych praw. Efekt pracy jest zawsze spektakularny - nie ma dwóch zespołów głośnikowych brzmiących tak samo!

Najpowszechniej stosowany rodzaj głośnika - przetwornika elektroakustycznego, nazywany głośnikiem dynamicznym, wytwarza ciśnienie akustyczne po obydwu stronach membrany. Ze względu na przeciwną fazę fal promieniowanych przez każdą ze stron (zagęszczeniu środowiska po jednej stronie towarzyszy rozrzedzenie po stronie przeciwnej), konieczne jest zapobieganie ich wzajemnym interferencjom i znoszeniu się.

Dla doskonałej separacji energii promieniowanych przez obydwie strony membrany wprowadza się teoretyczne pojęcie nieskończonej wielkiej odgrody, której praktyczna realizacja

jest niemożliwa. Odgroda o wymiarach skończonych i możliwych do zaakceptowania, przy najniższych częstotliwościach (przy dużych długościach fal) nie zapewnia wystarczającego przesunięcia fazy, wynikającego z różnicy dróg od obydwu stron membrany do ucha słuchacza. Dlatego ta popularna dawniej forma obudowy straciła dzisiaj rację bytu w systemach Hi-Fi, które mają odtwarzać pełen zakres częstotliwości akustycznych.

W przypadku głośników przetwarzających zakres wysokich częstotliwości, sama konstrukcja głośnika zamyka tylną stronę membrany i wytłumia promieniowaną przez nią falę. Dopiero zapewnienie właściwych warunków pracy głośników średniotonowych, a szczególnie niskotonowych, wymaga zastosowania specjalnych zabiegów.

Jak zostanie dalej wykazane, przy zastosowaniu głośnika o dużej średnicy membrany, potrzebnej do wytworzenia odpowiedniego ciśnienia akustycznego, obudowa o bardzo małej objętości nie zapewni właściwych parametrów układu głośnik - obudowa, wymaganych dla prawidłowego przetwarzania najniższych częstotliwości.

Rozwiązanie problemu energii promieniowanej przez tylną stronę membrany może postępować dwoma podstawowymi kierunkami. Po pierwsze, z użyciem obudów - układów akustycznych odwracających w pewnym zakresie fazę fali promieniowanej przez tylną stronę membrany i wypromieniowujących jej energię na zewnątrz. Po drugie, przez zastosowanie obudów tłumiących energię promieniowaną przez tylną stronę membrany. Niektóre konstrukcje łączą obie te metody. Tylko nieliczne eksperymenty zmierzają do eliminacji obudowy głośnika niskotonowego. Wśród współczesnych praktycznych rozwiązań wymienić należy następujące typy obudów:

- zamknięte;
- z otworem (bass-reflex) i ich szczególny przypadek obudowy z membraną bierną;
- typu band - pass;

- labiryntowe - z akustyczną linią transmisyjną;
- tubowe;

Każdy z wymienionych typów może mieć wiele odmian. Rodzaj i parametry możliwej do zastosowania obudowy ściśle wiążą się z parametrami określonego głośnika.

Wszystkie ważne z tego punktu widzenia parametry elektryczne i mechaniczne głośnika (bez obudowy) zostały zintegrowane w parametrach Thiele'a-Smalla;

$f_s$  - częstotliwość rezonansowa

$Q_{TS}$  - dobroć całkowita

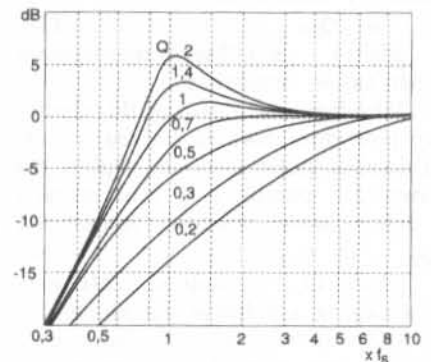
$V_{AS}$  - objętość ekwiwalentna

Podstawowy rezonans mechaniczny głośnika jest rezonansem podatności zawieszonych membrany  $C_{MS}$  i masy membrany wraz z masą współdrżącą powietrza  $M_{MS}$ . Jego częstotliwość jest określona wzorem:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{MS} \cdot M_{MS}}} \quad (1)$$

gdzie  $f_s$  oznacza częstotliwość podstawowego rezonansu mechanicznego głośnika niezabudowanego [Hz],  $C_{MS}$  - podatność zawieszonych membrany [m/N],  $M_{MS}$  - masę membrany wraz z masą współdrżącą [kg].

Poniżej częstotliwości rezonansowej spada sprawność przetwarzania energii elektrycznej w akustyczną. Częstotliwościowa charakterystyka przetwarzania



Rys. 1. Teoretyczne charakterystyki przetwornika dla różnych wartości dobroci  $Q$ , przy częstotliwości rezonansowej  $f_s$

w zakresie częstotliwości rezonansowej i poniżej niej (rys. 1), a także zdolność przetwarzania impulsów, zależą od wartości dobroci całkowitej układu rezonansowego głośnika:

$$Q_{TS} = \frac{Q_{MS} \cdot Q_{ES}}{Q_{MS} + Q_{ES}} \quad (2)$$

$$Q_{MS} = \frac{1}{2\pi \cdot f_s \cdot C_{MS} \cdot R_{MS}} \quad (3)$$

$$Q_{ES} = \frac{2\pi \cdot f_s \cdot M_{MS} \cdot R_E}{(Bl)^2} \quad (4)$$

gdzie  $Q_{TS}$  jest dobrocią całkowitą głośnika niezabudowanego,  $Q_{MS}$  - dobrocią mechaniczną,  $Q_{ES}$  - dobrocią elektryczną,  $R_{MS}$  - rezystancja mechaniczną [kg/s],  $R_E$  - rezystancją cewki głośnika [ $\Omega$ ],  $B_1$  - współczynnikiem siły [N/A]

Objętość powietrza, której podatność odpowiada podatności zawiesznień przy określonej powierzchni membrany danego głośnika, stanowi o wartości objętości ekwiwalentnej:

$$V_{AS} = \rho_0 \cdot c^2 \cdot S_b \cdot C_{MS} \quad (5)$$

gdzie  $\rho_0$  oznacza gęstość powietrza (1,18kg/m<sup>3</sup>),  $C$  - prędkość dźwięku w powietrzu (345m/s),  $S_0$  - efektywną powierzchnię membrany [m<sup>2</sup>],  $C_{MS}$  - podatność zawiesznień [m/N].

Wbudowanie głośnika do obudowy zamkniętej powoduje dodatkowe zawieszenie membrany na poduszce powietrznej. Podatność zawiesznień głośnika i podatność powietrza w obudowie dodają się do siebie tak jak pojemności kondensatorów połączonych szeregowo, określając nową podatność układu głośnik - obudowa.

Wypadkowa podatność jest więc zawsze niższa od podatności samego zawieszenia głośnika, co powoduje wzrost częstotliwości rezonansowej określony współczynnikiem  $\alpha$ :

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{V_{AS}}{V}} \quad (6)$$

gdzie:  $V$  - objętość zastosowanej obudowy zamkniętej,

$$f_c = \alpha \cdot Q_{TS} \quad (7)$$

gdzie:  $f_c$  - częstotliwość rezonansowa głośnika w obudowie.

Wbudowanie głośnika do obudowy powoduje również zmianę wartości dobroci, gdzie niewielki wpływ ma również - pomijana w tym miejscu - dobroć samej obudowy zamkniętej:

$$Q_{TC} = \alpha \cdot Q_{TS} \quad (8)$$

gdzie:  $Q_{TC}$  - dobroć całkowita głośnika w obudowie zamkniętej.

Dobre odtworzenie impulsów uzyskuje się przy dobroci mniejszej od 0,7; również charakterystyki częstotliwościowe dla  $Q_{TC} > 0,7$  są nierównomiernie, wraz ze wzrostem dobroci w coraz większym stopniu wypukla-

jąc zakres częstotliwości rezonansowej (rys. 1).

Przykładowe parametry 25cm głośnika niskotonowego (PEERLESS PT 250M) są następujące:

$$f_s = 28\text{Hz}$$

$$Q_{TS} = 0,4$$

$$V_{AS} = 160\text{dm}^3$$

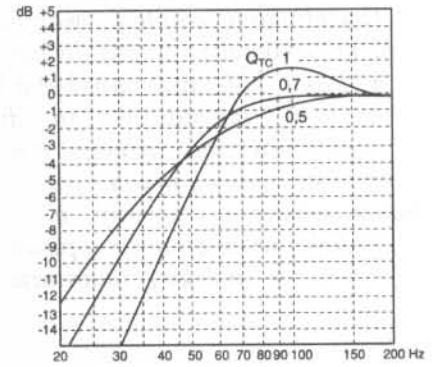
Użycie obudowy zamkniętej o objętości np. 10dm<sup>3</sup> powoduje wzrost częstotliwości rezonansowej i dobroci do wartości:

$$f_c = 115\text{Hz}$$

$$Q_{TC} = 1,65$$

Są to wartości zdecydowanie zbyt wysokie ze względu na wynikające z nich pasmo przenoszenia, liniowość charakterystyki oraz przetwarzanie impulsów. Z powyższych zależności i przykładu wynika, dlaczego nie można użyć obudowy o małej objętości w przypadku dużych głośników niskotonowych. Dla maksymalnej dopuszczalnej wartości  $Q_{TC}=1$ , właściwa objętość obudowy powinna wynosić  $V=30\text{dm}^3$ , a częstotliwość rezonansowa  $f_c=71\text{Hz}$ . Dążąc do lepszego przetwarzania impulsów, przy dobroci  $Q_{TC}=0,7$  należy użyć obudowy o objętości ok.  $80\text{dm}^3$ , uzyskując przy tym częstotliwość rezonansową  $f_c=49\text{Hz}$ . Dla uzyskania bardzo dobrego odtwarzania impulsów przy dobroci  $Q_{TC}=0,5$  i przy częstotliwości rezonansowej  $f_c=35\text{Hz}$  konieczna objętość  $V$  wynosi prawie  $300\text{dm}^3$ . Spadek ciśnienia akustycznego przy  $f_c$  wynosi wówczas -6dB, podczas gdy dla  $Q_{TC}=0,7$  przy  $f_c$  wynosi tylko -3dB (rys. 2). Rozwiązanie  $Q_{TC}=0,5$  charakteryzuje się lepszym przetwarzaniem impulsów i samego krańca pasma akustycznego, ale w szerokim zakresie niskich częstotliwości wartość  $Q_{TC}=0,7$ , nawet przy relatywnie wyższej wartości  $f_c$ , zapewnia wypromieniowanie większej mocy akustycznej. Łagodny spadek charakterystyki przy  $Q_{TC}=0,5$  z kolei łatwiej poddać korekcji elektrycznej, wyrównującej jej przebieg i rozszerzającej pasmo przenoszenia aż do skraju pasma akustycznego. Również wpływ akustycznych odgród w pomieszczeniu odsłuchowym (podłoga, ściany), zwiększając reaktancję promieniowania głośnika, powoduje zwiększenie natężenia dźwięku w zakresie niskich częstotliwości - w przypadku  $Q_{TC}=0,5$  bez wypuklenia częstotliwości rezonansowej. W praktyce realizację wartości  $Q_{TC}=0,5$  spotyka się rzadko ze względu na konieczność użycia relatywnie dużej obudowy w stosunku do założenia  $Q_{TC}=0,7$ .

Integralną częścią obudowy zamkniętej jest jej wypełnienie materiałem tłumiącym. Zapobiega ono w dużym stopniu szkodliwym rezo-



Rys. 2. Teoretyczne charakterystyki głośnika PEERLESS PT 250 w obudowach o objętości: 30dm<sup>3</sup> ( $Q_{TC}=1$ ,  $f_c=71\text{Hz}$ ), 78dm<sup>3</sup> ( $Q_{TC}=0,7$ ,  $f_c=49\text{Hz}$ ), 290dm<sup>3</sup> ( $Q_{TC}=0,5$ ,  $f_c=35\text{Hz}$ ).

nansom - nie dopuszcza do powstawania fal stojących między naprzeciwległymi (najczęściej równoległymi) ściankami wewnątrz obudowy, osłabia drgania samej konstrukcji. Dzięki niższej prędkości dźwięku w materiale tłumiącym pozwala zastosować obudowę do kilkunastu procent mniejszą.

Głośnik niskotonowy, przeznaczony do obudowy zamkniętej, powinien mieć zarówno jak najniższe wartości

Tab. 1. Parametry T-S przykładowych głośników firmy PEERLESS różnych wielkości i uzyskane wartości  $f_c$  i objętość  $V$  dla założonych wartości  $Q_{TC}$

Typ głośnika	$Q_{TC}=0,5$	$Q_{TC}=0,7$	$Q_{TC}=1$
$S_D$ [cm <sup>2</sup> ]	$V$ [dm <sup>3</sup> ]	$V$ [dm <sup>3</sup> ]	$V$ [dm <sup>3</sup> ]
$f_s$ [Hz]	$f_c$ [Hz]	$f_c$ [Hz]	$f_c$ [Hz]
$Q_{TS}$			
$V_{AS}$ [dm <sup>3</sup> ]			
PT 130L	31 <sup>1)</sup>	6,5	2,5
85			
55	64	90	128
0,43			
11			
PT 165L	2)	120 <sup>1)</sup>	14
130			
51		55	78
0,65			
19			
CC 220	2)	61	22
225			
25		39	56
0,45			
87			
PT 250M	290 <sup>1)</sup>	78	30
310			
28	35	49	71
0,4			
161			
CCX 315	700	140	50
520			
24	27	38	55
0,44			
210			

1) W odniesieniu do wielkości głośnika wielkość obudowy w praktyce zbyt duża

2) Warunek  $Q_{TC} = 0,5$  niemożliwy do spełnienia ( $Q_{TS} > 0,5$ )

$Q_{TS}$ ,  $f_s$  i  $V_{AS}$ , jak również odpowiednią proporcję  $f_s/Q_{TS}$ . Wysoka wartość  $f_s$  w stosunku do  $Q_{TS}$  prowadziłaby do zbyt wysokiej wartości  $f_c$  przy optymalnej wartości  $Q_{TC}$ , zwłaszcza przy założeniu  $Q_{TC}=0,7$ .

W tabeli 1 przedstawiono typowe, przykładowe parametry T-S dla głośników o różnych wielkościach przeznaczonych do obudów zamkniętych, a także częstotliwości  $f_c$  i objętości  $V$  (obudowa niewytlumiona) dla założonych wartości  $Q_{TC}$ .

Obudowa zamknięta jest najprostszą praktyczną realizacją idei eliminacji

energii promieniowanej przez tylną stronę membrany. Jest również łatwa w zaprojektowaniu. Przyjęcie założenia np.  $0,5 < Q_{TC} < 0,7$  wyznacza bardzo duży zakres objętości obudowy możliwej do użycia. Duża tolerancja, jeśli chodzi o ten najistotniejszy konstrukcyjny parametr, zachęca konstruktorów - amatorów do projektowania i budowy tego typu obudów. Obudowa zamknięta jest „najbezpieczniejszym” rozwiązaniem zwłaszcza wtedy, gdy nie są znane dokładnie wartości parametrów T-S. Prawdopodobieństwo wykroczenia poza graniczne dopuszczalne warto-

ści  $Q_{TC}$  jest niewielkie.

Podstawową wadą obudowy zamkniętej, będącą cechą samej koncepcji, jest niewykorzystanie energii tylnej strony membrany. Dlatego obecnie dominującą konstrukcją firm głośnikowych jest wyzyskująca część tej energii obudowa z otworem. Zaprojektowanie takiej obudowy jest znacznie trudniejsze, a wymagania stawiane używanemu głośnikowi niskotonowemu surowsze.

**Andrzej Kisiel**