

Obudowy głośnikowe z otworem

W artykule opisano cechy obudów z otworem, stosowanych jako obudowy do głośników niskotonowych. Wyjaśniono przyczyny ich szerokiego zastosowania jako obudów zespołów głośnikowych hi-fi. Podano uproszczony sposób ich projektowania.

Przegląd prospektów firm produkujących zespoły głośnikowe i oferujących zestawy elementów do budowy takich zespołów we własnym zakresie wskazuje, że procentowy udział zespołów głośnikowych w których zastosowano obudowę z otworem jest bardzo duży i ma tendencję do zwiększania się. Jakie czynniki na to wpłynęły? Można wymienić następujące:

■ Dzięki pracom badawczym uczonych i doświadczeniom prowadzonym w laboratoriach producentów określono dokładniej kryteria, jakim powinien odpowiadać układ głośnik-obudowa oraz opracowano zasady projektowania tych układów elektroakustycznych.

■ Znaczny postęp w konstruowaniu głośników umożliwił produkowanie głośników optymalnie przystosowanych do rodzaju obudowy.

■ Pojawienie się płyt kompaktowych z zapisem cyfrowym zmusiło producentów zespołów głośnikowych do zwrócenia większej uwagi na zakres najmniejszych częstotliwości akustycznych (20–80 Hz), których odtwarzanie jest połączone z wielu trudnościami.

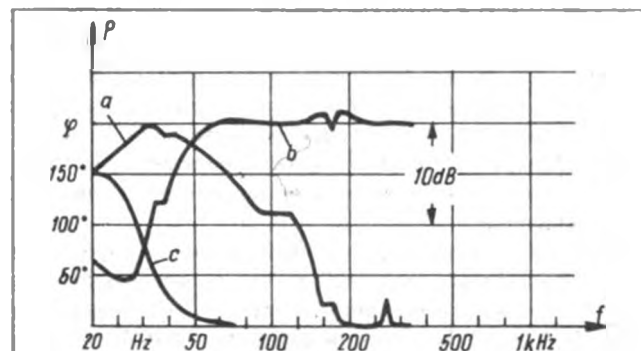
Zespół, składający się z odpowiedniego głośnika i dobrze zaprojektowanej obudowy z otworem wykazuje następujące zalety w porównaniu do zbliżonego wymiarami zespołu zamkniętego:

- współczynnik zawartości harmonicznych i zniekształcenia intermodulacyjne mają mniejszą wartość;
- sprawność przetwarzania doprowadzanej energii elektrycznej w energię akustyczną jest — w zakresie najmniejszych częstotliwości akustycznych — znacznie większa.

Wielu specjalistów konstruujących zespoły głośnikowe uważa, że zastosowanie obudów z otworem, w których wykorzystuje się zjawisko rezonansu Helmholtza, jest najlepszym sposobem polepszenia odtwarzania basów w domowych i profesjonalnych zespołach głośnikowych. Przypomnijmy krótko mechanizm współdziałania głośnika i obudowy z otworem [1, 5].

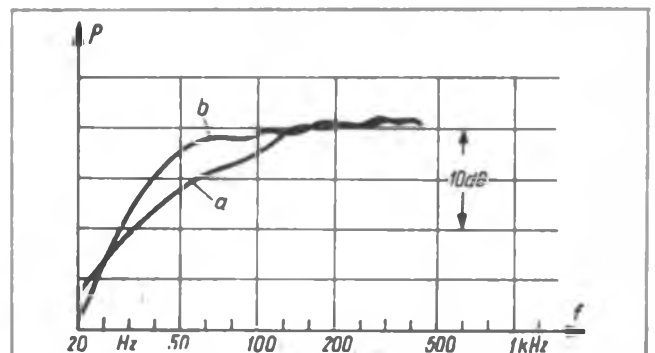
Głośnik jest szczelnie osadzony w obudowie, w której znajduje się otwór, najczęściej w kształcie krótkiej rury o

średnicy kilku centymetrów. Układ głośnik-obudowa współdziała inaczej w różnych zakresach częstotliwości. Gdy doprowadzi się do głośnika przebiegi zmienne o bardzo małej częstotliwości (infradźwiękowe), ruchy membrany powodują na przemian wydmuchiwanie i zasysanie powietrza przez otwór, w zasadzie bez oporu. W tym zakresie częstotliwości głośnik jest zagrożony, bowiem może ulec mechanicznym uszkodzeniom w wypadku doprowadzania przebiegów o zbyt wielkiej mocy. Podczas stopniowego zwiększania częstotliwości przebiegów elektrycznych doprowadzanych do głośnika pojawi się rezonans akustyczny obudowy (rezonans Helmholtza). Poduszka powietrzna wnętrza obudowy stanowi określoną podatność akustyczną, a otwór w obudowie interpretuje się jako masę akustyczną. W zakresie rezonansu powietrze w otworze silnie drga, a jego faza drgań jest przesunięta o 90° względem drgań przedniej strony membrany głośnika, przy czym membrana głośnika jest silnie obciążona oddziaływaniem obudowy. W zakresie rezonansu obudowy istnieje korzystne współdziałanie promieniowania membrany głośnika i otworu obudowy, co przedstawiono na rys. 1. W zakresie jeszcze większych częstotliwości otwór traci znaczenie (może być traktowany jako „korek” akustyczny), a obudowa działa jak obudowa zamknięta. Współzależność parametrów głośnika i obudowy wywiera wielki wpływ na właściwości zespołu głośnikowego i uzyskiwaną charakterystykę promieniowania. Na rys. 2 są przedstawione przykładowo charakterystyki promieniowania tego samego głośnika niskotonowego w



Rys. 1. Charakterystyki ciśnienia akustycznego zespołu głośnikowego o obudowie z otworem zmierzone w małej odległości a — promieniowanie otworu, b — promieniowanie membrany głośnika, c — przesunięcie fazowe między przebiegiem promienionym przez otwór i membranę.

Dane zespołu: $Q_{TS} = 0,34$, $f_S = 27$ Hz, $V_{AS} = 200$ dm³, $V_B = 90$ dm³, $l_B = 34$ Hz



Rys. 2. Porównanie charakterystyk ciśnienia akustycznego zespołu zamkniętego (a) i zespołu o obudowie z otworem (b)

obudowie zamkniętej i obudowie z otworem o takiej samej objętości. Z przebiegu charakterystyk wynika znacznie lepsze promieniowanie basów przez zespół o obudowie z otworem.

Głośniki. Badania wykazały, że do obudów z otworem nadaje się wiele głośników stosowanych do obudów zamkniętych, charakteryzujących się małą wartością współczynnika dobroci ($Q_{TS} \leq 0,5$) i małą wartością częstotliwości rezonansowej (f_S). Głośniki niskotonowe wytwarzane przez ZWG Tonsil (np.: GDN 30/80, GDN 25/55, GDN 20/40) spełniają te warunki. Nie nadają się do obudów z otworem głośniki o nadzwyczaj miękko zawieszonych układach drgających, przeznaczone wyłącznie do obudów zamkniętych.

Objętość obudowy. Prace Thiele'a i Small'a oraz innych badaczy pozwoliły ustalić, że dla każdego głośnika istnieje określona optymalna objętość obudowy z otworem, który umożliwia uzyskanie wyrównanej, „przedłużonej” w kierunku częstotliwości najmniejszych, charakterystyki promieniowania. Przy stosowaniu głośników o małej dobroci ($Q_{TS} \leq 0,4$)

odchyłki objętości obudowy od wartości optymalnej mogą być znaczne (+ 60%, - 30%).

Optymalna objętość (V_B) może być w przybliżeniu obliczona według wzoru:

$$V_B = 15 \cdot V_{AS} \cdot Q_{TS}^{2,87} \text{ [dm}^3\text{]}$$

w którym:

V_{AS} — parametr głośnika, objętość akustyczna równoważna zawieszeniu membrany, w dm^3 .

Z podanego wzoru wynika, że objętość obudowy zależy głównie od wartości dobroci głośnika (Q_{TS}). Dwukrotnie większa wartość dobroci (Q_{TS}) zwiększa optymalną objętość obudowy (V_B) więcej niż 7-krotnie.

Częstotliwość rezonansowa obudowy. Gdy stosuje się głośniki o małej wartości dobroci, częstotliwość rezonansowa obudowy z otworem (rezonans Helmholtza) powinna wynosić:

$$f_B = 0,7 \cdot f_C \text{ [Hz]}$$

przy czym:

f_B — częstotliwość rezonansowa obudowy, Hz

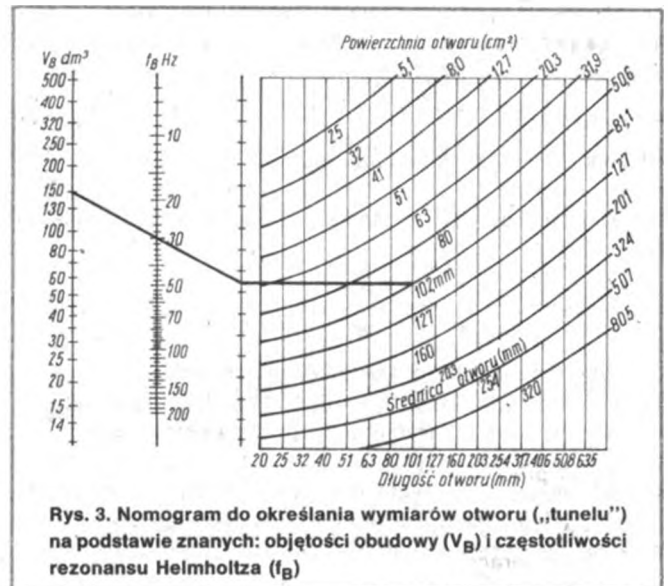
f_C — częstotliwość rezonansowa układu drgającego głośnika w obudowie zamkniętej o takiej samej objętości jak obudowa z otworem, w Hz; może to być częstotliwość obliczona lub lepiej zmierzona w obudowie po szczelnym zatknięciu otworu.

Otwór w obudowie („tunel”). Znając częstotliwość rezonansową obudowy z otworem (f_B) określa się parametry otworu. W wypadku głośnika o średnicy 25 ÷ 30 cm przekrój otworu nie powinien być mniejszy niż 40 cm^2 , co odpowiada rurze o średnicy 72 mm lub dwóm rurom o średnicy 50 mm. Stosując głośniki mniejsze, wystarczy otwór o średnicy 50 ÷ 60 mm. Długość otworu można najłatwiej określić z nomogramów podawanych w literaturze. Na rys. 3 jest przedstawiony jeden z takich nomogramów. Gruba linia przedstawia przykładowo sposób korzystania z tego nomogramu (obudowa o objętości 150 dm^3 , częstotliwość $f_B = 30$ Hz; odpowiednie otwory mają następujące wymiary: \varnothing 80 mm, długość ok. 53 mm oraz \varnothing 102 mm, długość 101 mm). Otwór wykonuje się przeważnie z nieco dłuższego odcinka rury, aby można było go skrócić w razie potrzeby podczas prób zespołu.

Rozmiary obudowy. Kształt obudowy nie wpływa na rezonans Helmholtza, ale nie jest obojętny ze względu na powstawanie fal stojących wewnątrz obudowy. Najkorzystniejszy stosunek rozmiarów wewnętrznych obudowy prostopadłościowej wynosi 0,8 : 1,0 : 1,25. Bardzo korzystne są obudowy w kształcie piramidy, obudowy z płytą czołową w kształcie trapezu i nachyloną tylną ścianką oraz inne o nierównoległych względem siebie ściankach. W celu dodatkowego stłumienia fal stojących wprowadza się do wnętrza obudowy niewielką ilość materiału dźwiękochłonnego, który najlepiej jest umieścić tak, aby znajdował się w środkowej części obudowy.

Tablice ułatwiające projektowanie. Wykorzystując podstawowe prace Small'a opracowano wiele tablic ułatwiających projektowanie zespołów głośnikowych o obudowach z otworem. W tablicy są zawarte dane zaczerpnięte z tablic opracowanych przez Bullock'a. Określają one związki między parametrami głośnika i obudowy dla różnych wartości współczynnika dobroci głośnika (Q_{TS}). Parametr f_3 dotyczy częstotliwości, przy której występuje spadek wytwarzanego przez zespół ciśnienia akustycznego o 3 dB.

Warto przypomnieć [3], że podawane przez wytwórnie głośników parametry dotyczą wartości znamionowych, przyjętych dla danego typu. Poszczególne egzemplarze głośników mogą mieć nieco inne parametry. Poza tym niektóre parametry zmieniają się w zależności od wilgotności powietrza, ciśnie-



nia atmosferycznego itd. Zaleca się sprawdzenie tych parametrów posiadanego głośnika, które jest łatwo pomierzyć (f_S , V_{AS}). Parametry głośników ZWG Tonsil są podane w [3]. Sposoby wykorzystania danych zawartych w tablicy i wyżej podanych zależności są przedstawione w kilku przykładach.

Przykład 1

Głośnik GDN 30/80, 8 Ω o parametrach: $Q_{TS} = 0,28$, $V_{AS} = 268$ dm^3 , $f_S = 25$ Hz.

Dane zawarte w tablicy, dotyczące głośnika o $Q_{TS} = 0,28$:

$$\frac{f_B}{f_S} = 1,403, \quad \frac{V_{AS}}{V_B} = 3,430, \quad \frac{f_3}{f_S} = 1,717$$

Obliczamy parametry projektowanego zespołu i otrzymujemy:

$V_B = 78$ dm^3 , $f_B = 35$ Hz, $f_3 = 43$ Hz. Otwór: \varnothing 72 mm, długość 75 mm.

Zespoły, o obudowach z otworem o optymalnej objętości, charakteryzują się wyrównaną charakterystyką częstotliwości w interesującym nas zakresie. Mała wartość częstotliwości f_3 wskazuje, że przenoszenie basów powinno być bardzo dobre. Wadą obudowy jest jej dość duża objętość.

Obliczenie parametrów dla obudowy zmniejszonej do 60 dm^3 (toku obliczenia nie podajemy) daje następujące wyniki $f_B = 43$ Hz, $f_3 = 53$ Hz. Otwór: \varnothing 72 mm, długość 60 mm. Teoretycznie zespół ten ma charakterystykę przenoszenia podniesioną o 1,5 ÷ 2,0 dB w zakresie 60 ÷ 120 Hz, co może powodować lekkie „podbarwienie” basów, częstotliwościami

Współczynniki do projektowania optymalnych obudów głośnikowych z otworem wg Small'a

Q_{TS}	$\frac{f_B}{f_S}$	$\frac{V_{AS}}{V_B}$	$\frac{f_3}{f_S}$
0,26	1,505	4,154	1,878
0,28	1,403	3,430	1,717
0,30	1,315	2,845	1,573
0,32	1,238	2,367	1,444
0,34	1,170	1,970	1,326
0,36	1,111	1,637	1,217
0,38	1,058	1,355	1,115
0,40	1,010	1,115	1,022
0,42	0,966	0,911	0,937
0,44	0,921	0,752	0,866
0,46	0,878	0,630	0,806
0,48	0,839	0,536	0,757
0,50	0,803	0,464	0,716

uprzywilejowanymi przez zespół. Podniesienie to jest niewielkie i zespół może być zakwalifikowany jako nadający się do wykonania. Jego wadą jest większa wartość częstotliwości f_s .

Przykład 2

Głośnik GDN 20/40, 8 Ω o parametrach $Q_{TS} = 0,40$, $V_{AS} = 59$ dm³, $f_s = 45$ Hz.

Dane z tablicy dla głośnika o współczynniku dobroci $Q_{TS} = 0,40$:

$$\frac{f_B}{f_s} = 1,011, \quad \frac{V_{AS}}{V_B} = 1,115, \quad \frac{f_s}{f_3} = 1,022$$

Obliczamy parametry projektowanego zespołu:

$V_B = 55$ dm³, $f_B \approx 45$ Hz, $f_3 \approx 45$ Hz. Wymiary otworu należy wybrać z wykresu. Parametry zespołu są bardzo dobre.

Obliczenie metodą przybliżoną parametrów zespołu o obudowie zmniejszonej do objętości 40 dm³ wykazuje, że parametry ulegają pogorszeniu, bowiem: $f_B = 51$ Hz, $f_3 = 55$ Hz oraz pojawia się nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej rzędu 2 dB.

Podobnie jak podano wyżej, można zaprojektować obudowy dla innych głośników jeżeli znane są parametry Thiele'a i Small'a dla tych głośników. Większość firm zachodnich podaje w katalogach wartości tych parametrów.

Należy podkreślić, że wytwórcie głośników stosują i inne metody projektowania, a parametry wytwarzanych zespołów głośnikowych odbiegają często od obliczonych wyżej podanym sposobem.

Fabryczne badania różnych odchyłek parametrów od przyjętych dla danego zespołu głośnikowego wykazały, że najgor-

Typ głośnika	Q_{TS}	V_{AS} [dm ³]	f_s [Hz]
GDN 10/20	0,36	5,0	75
GDN 12/30	0,46 (0,38*)	11,1	60
GDN 15/50	0,26	26,8	42
GDN 25/55	0,52	109,0	34

*) dotyczy wersji o impedancji 6 Ω

sze skutki wywołuje inna częstotliwość rezonansowa głośnika f_s oraz niewłaściwa częstotliwość rezonansu Helmholtza f_B . Mniejszy wpływ mają pewne odchyłki współczynnika dobroci głośnika Q_{TS} i objętości obudowy V_B . Najgorsze rezultaty dają źle „zestrojone” zespoły o obudowach z otworem, w których zastosowano tanie głośniki z małymi magnesami, odznaczające się dużą wartością współczynnika dobroci ($Q_{TS} \geq 0,7$). Obudowy z otworem wykonuje się według zaleceń publikowanych już wielokrotnie w literaturze [4, 5].

W uzupełnieniu do parametrów Thiele'a i Small'a głośników ZWG Tonsil podanych w „Re” nr 6/1988, przedstawiamy niżej parametry T-S głośników o mniejszych rozmiarach i nowego głośnika o średnicy 25 cm. A.W.

LITERATURA

- [1] Zyszkowski Z.: Podstawy elektroakustyki. WNT, Warszawa 1984
- [2] Gaedke M.: Parametermessungen an Lautsprecher-Chassis, Franzis-Verlag GmbH, München 1985
- [3] „Radioelektronik” nr 6/1988
- [4] „Radioelektronik” nry 5, 6 i 7/1985
- [5] Witort A.: Zestawy głośnikowe. WCIKT Sigma, Warszawa 1986

□