

Kontynuujemy cykl artykułów o projektowaniu obudów głośnikowych. Rozdział o obudowach bass-reflex rozpoczęliśmy w poprzednim numerze EP.

# Obudowy głośnikowe część 3

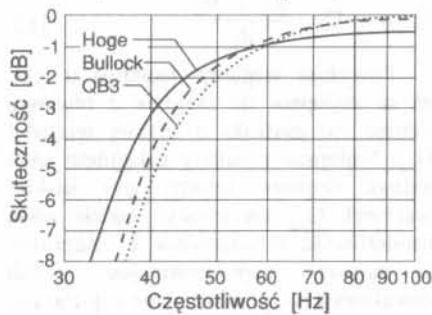
## Obudowa bass-reflex, c.d.

### Projektowanie według Bullocka i Hoge'a

W poprzednim artykule przedstawiono podstawy projektowania obudowy z otworem (bass-reflex) według prac R. Smalla. Stwierdzono, że parametry głośnika determinują wszystkie parametry obudowy, konstruowanej zgodnie z założeniami metody, opierającej się na teoretycznych charakterystykach częstotliwościowych typu C4, B4 i QB3. Jak wykazano, kilkunastoprocentowy błąd w wyznaczeniu któregoś z parametrów głośnika lub obudowy może w poważnym stopniu zniekształcić pożądaną charakterystykę częstotliwościową. Kolejni badacze właściwości obudów głośnikowych, wykorzystując podstawy stworzone przez R. Smalla opracowali inne modele teoretyczne, wychodzące poza schemat trzech powyższych charakterystyk.

Podana poniżej metoda (Bullocka i Hoge'a) jest w swoim rdzeniu bardzo podobna do poprzedniej - jako wyjściowe parametry przyjmuje się:  $Q_B$  (dobroć obudowy),  $Q_{TS}$  (dobroć całkowitą głośnika niezabudowanego)  $f_s$  (częstotliwość rezonansowa głośnika niezabudowanego) i  $V_{AS}$  (objętość ekwiwalentna).

Określenie wartości parametrów obudowy:  $f_B$  (częstotliwości rezonansowej obudowy z otworem),  $V_B$  (objętości o-



Rodzaj charakterystyki	$V_B$ [dm <sup>3</sup> ]	$f_B$ [Hz]	$f_3$ [Hz]
QB3	17,6	39,4	47
BULLOCK	19,7	39,7	45
HOGUE	23,7	37,2	42

Rys. 8, tab. 2. Charakterystyki typu QB3, Bullocka, Hoge'a i parametry odpowiedniej dla nich obudowy przy parametrach głośnika:  $f_s=30$ Hz,  $Q_{TS}=0,3$ ,  $V_{AS}=50$ l i dobroci obudowy  $Q_B=7$

Tab. 1. Wartości współczynników A i B dla różnych par parametrów (X, Y)

	X	Y	A	B
BULLOCK, $Q_B = 5$	$V_{AS}$	$V_B$	13,5	3,357
	$f_s$	$f_B$	0,419	- 0,9721
	$f_s$	$f_3$	0,315	-1,323
BULLOCK, $Q_B = 7$	$V_{AS}$	$V_B$	17,6	3,153
	$f_s$	$f_B$	0,42	-0,953
	$f_s$	$f_3$	0,305	-1,33
BULLOCK, $Q_B = 10$	$V_{AS}$	$V_B$	14,5	3,019
	$f_s$	$f_B$	0,421	-0,933
	$f_s$	$f_3$	0,296	-1,335
HOGUE, $Q_B = 7$	$V_{AS}$	$V_B$	15	2,87
	$f_s$	$f_B$	0,42	-0,9
	$f_s$	$f_3$	0,26	- 1,4

budowy) i częstotliwości  $f_3$  (trzydecybelowy spadek) następuje przez użycie formuły:

$$y = x \cdot A \cdot Q_{TS}^B$$

gdzie A i B są stałe dla danej wartości  $Q_B$  i danej pary (x, y), która oznacza następujące pary parametrów głośnika i obudowy: ( $V_{AS}$ ,  $V_B$ ), ( $f_s$ ,  $f_B$ ), ( $f_s$ ,  $f_3$ ).

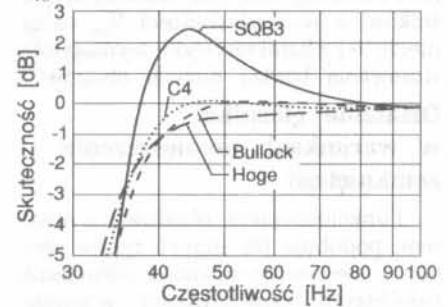
Jak widać, odpowiednia formuła matematyczna zastępuje użycie nomogramów, a także eliminuje parametry wiążące głośnik z obudową ( $h$  i  $\alpha$ ). Merytoryczna różnica polega jednak na modelowaniu różniących się charakterystyk częstotliwościowych.

Głośnikom o wysokiej wartości  $Q_{TS}$  (powyżej 0,4) przypisana była wg poprzedniego schematu charakterystyka C4. Przy użyciu głośników o niższej wartości  $Q_{TS}$  właściwe były charakterystyki QB3 (charakterystyka maksymalnie płaska B4 osiągalna jest tylko przy  $Q_{TS} \approx 0,4$ ). Na rys. 8 i 9 oraz w tab. 2 i 3 przedstawiono wyniki (symulacja komputerowa) użycia obydwu metod dla dwóch różnych głośników o wartościach  $Q_{TS} = 0,3$  i  $Q_{TS} = 0,5$ .

W przypadku użycia głośnika o wartości  $Q_{TS} = 0,5$  charakterystyki są bardzo podobne (co wynika ze zbliżonych wartości  $f_B$  i  $V_B$ ). Dla głośnika  $Q_{TS} = 0,3$  charakterystyka według Bullocka daje spadek 2Hz częstotliwości  $f_3$ , według Hoge'a częstotliwość  $f_3$  przesuwają się w kierunku częstotliwości niższych aż o 5Hz, kosztem niewielkiego spadku efektywności o 0,5dB. (Bezwzględne wartości  $f_3$  i ich różnice są oczywiście związane z wartością  $f_s$  głoś-

nika). Korzystne obniżenie częstotliwości  $f_3$  jest tutaj spowodowane przede wszystkim wzrostem objętości  $V_B$  o kilkanaście (według Bullocka) lub nawet kilkadziesiąt procent (według Hoge'a), czemu w tym ostatnim przypadku towarzyszy obniżenie częstotliwości  $f_B$  o kilka procent.

Dysponując głośnikiem o niskiej wartości  $Q_{TS}$  i możliwością zastosowania obudowy większej niż to wynika z warunków charakterystyki QB3, metoda Bullocka, a zwłaszcza Hoge'a daje lepsze rezultaty. Żadna z nich nie jest za to lepsza od charakterystyki C4 w przypadku głośników o wysokim



Rodzaj charakterystyki	$V_B$ [dm <sup>3</sup> ]	$f_B$ [Hz]	$f_3$ [Hz]
C4	38,8	40,2	36
BULLOCK	35,6	40,7	37
HOGUE	36,9	39,2	36
SQB3	60	40,2	36

Rys. 9, tab. 3. Charakterystyki typu C4, SQB3, Bullocka, Hoge'a i parametry odpowiedniej dla nich obudowy przy parametrach głośnika:  $f_s=50$ Hz,  $Q_{TS}=0,5$ ,  $V_{AS}=18$ l i dobroci obudowy  $Q_B=7$

Tab. 4. Parametry T-S głośników niskotonowych FOCAL przeznaczonych do zastosowania w obudowach z otworem (przykłady)

Parametr	Typ głośnika, średnica						
	5N411L 13cm	6V415 16,5cm	7V412 18cm	8N515 21cm	10KG17 26cm	12VX 31cm	15VX2 38cm
Powierzchnia membrany [cm <sup>2</sup> ]	87	125	163	222	360	531	855
f <sub>s</sub> [Hz]	45	40	31	29	25	24	20
V <sub>AS</sub> [dm <sup>3</sup> ]	14	26	57	87	147	238	718
Q <sub>TS</sub>	0,35	0,29	0,25	0,24	0,23	0,21	0,21
Q <sub>ES</sub>	0,42	0,32	0,27	0,26	0,24	0,23	0,24
Q <sub>MS</sub>	2,03	3,78	2,62	2,41	7,19	1,69	1,71
Efektywność 2,8V/1m [dB]	87	88	89	90	92	93	95

Na rys. 9 przedstawiono również charakterystykę oznaczoną jako SQB3 (Super-Quasi-Butterworth 3 rzędu). Wyraźne jest kilkudecybelowe uprzywilejowanie zakresu częstotliwości rezonansowej. Charakterystyce o takim kształcie towarzyszą dość złe charakterystyki impulsowe. Jednak efekt taki może być dopuszczalny w przypadku małych i tanich głośników o wystarczająco niskiej częstotliwości rezonansowej f<sub>s</sub>, gdy pierwszoplanowym zadaniem konstruktora jest wydobyć jak największą ilość choćby nie najlepszej jakości basu. Charakterystyka ta możliwa jest do uzyskania przy użyciu głośników o wartości 0,4 < Q<sub>TS</sub> ≤ 0,5 i zastosowaniu dość dużej obudowy. Przybliżony sposób obliczenia parametrów obudowy jest następujący: wielkość V<sub>B</sub> powinna spełniać warunek:

$$0,57 = Q_{TS} \sqrt{1 + \frac{V_{AS}}{V_B}} \quad [9]$$

a częstotliwość f<sub>B</sub> może być ustalona według monogramu (dla charakterystyki C4), lub według Bullocka. W powyższym przykładzie parametry T-S charakterystyczne dla głośnika o średnicy 12...17cm wymusiły objętość obudowy 60l. Dla większych głośników, o wyższej wartości V<sub>AS</sub> osiągnięcie tej charakterystyki wymagałoby stosowania bardzo dużych obudów.

### Działanie głośnika w warunkach pomieszczenia zamkniętego

Funkcjonowanie obudowy z otworem, podobnie jak innych typów obudów i rzeczywiste zdolności odtworzenia najniższych częstotliwości w pomieszczeniu zamkniętym zależą od kilku czynników nie uwzględnionych w teorii. Otaczające zespół głośnikowy powierzchnie odbijające (ściany pomieszczenia) zwiększają reakcję promieniowania (zmniejszają kąt bryłowy, w który promieniowana jest energia, kumulując ją i zwiększają ciśnienie akustyczne). „Wzmacniający” wpływ ścian występuje, gdy długość fali jest większa od odległości do ściany, a więc dotyczy właśnie częstotliwości

niskich (od ustawienia zespołów w pomieszczeniu zależy również powstawanie szkodliwych rezonansów, których obliczenie i zapobieganie to już oddzielny temat).

Efektywność przetwarzania niskich częstotliwości zależy także od wzajemnego usytuowania głośnika (głośników) niskotonowego i otworu. Umieszczenie ich blisko siebie (otwór w przedniej ścianie, (najczęściej poniżej głośnika) wzmocni zakres częstotliwości, w którym współpracują (ok. 1-2 oktaw powyżej częstotliwości f<sub>B</sub>). Umieszczenie otworu z tyłu, często obecnie stosowane, zmniejsza wzajemną reakcję promieniowania głośnika i otworu, nie pogarszając przetwarzania najniższych częstotliwości (w zakresie f<sub>B</sub>) i nie prowadzi do wyeksponowania „średniego” basu (o ile zespół nie stoi zbyt blisko tylnej ściany).

Otwór z tyłu pozwala, zmieniając jego odległość od tylnej ściany, na regulację w pewnym zakresie natężenia niskich częstotliwości.

Zjawiska te powodują znacznie lepsze przetwarzanie niskich częstotliwości niż wynikałoby to z teoretycznych charakterystyk. Poszukując najlepszych rozwiązań układu bass-reflex szczególną uwagę należy zwrócić na charakterystykę QB3 i jej podobne charakterystyki Bullocka i Hoge'a dla głośników o niskiej wartości Q<sub>TS</sub>. Łagodne opadanie ich zbocza, poddane korygującemu wpływowi pomieszczenia odsłuchowego może dać rezultaty znacznie lepsze od teoretycznie płaskiej B4, czy C4. Pozwala to ponadto uzyskać dobre właściwości impulsowe charakterystyk o małej stromości zbocza.

### Wzrost wartości Q<sub>TS</sub>

Należy także pamiętać o tym, że wartość Q<sub>ES</sub> ulega w praktyce zmianie (zwiększeniu) na skutek podłączenia szeregowych rezystancji, zwiększając tym samym Q<sub>TS</sub>.

Niewielka rezystancja wyjściowa wzmacniaczy tranzystorowych może pozostać nieuwzględniona, rezystancja wzmacniaczy lampowych przybiera już wartości znaczące. Największe znaczenie

dla konstruktora zespołów głośnikowych ma rezystancja cewek filtrów dolnoprzepustowych dla głośników niskotonowych.

Dla dokładnego określenia nowej wartości Q<sub>TS</sub> konieczna jest znajomość wartości Q<sub>MS</sub> i Q<sub>ES</sub>, z których ta ostatnia musi zostać obliczona na nowo z uwzględnieniem wartości rezystancji szeregowej R<sub>S</sub>, według wzoru:

$$Q'_{ES} = Q_{ES} \frac{R_C + R_S}{R_C} \quad [10]$$

Q'<sub>ES</sub> - dobroć elektryczna po uwzględnieniu rezystancji szeregowej

Q<sub>ES</sub> - wyjściowa wartość dobroci elektrycznej

R<sub>C</sub> - rezystancja cewki głośnika

R<sub>S</sub> - rezystancja szeregową

$$Q'_{TS} = \frac{Q'_{ES} Q_{MS}}{Q'_{ES} + Q_{MS}} \quad [11]$$

Q'<sub>TS</sub> - dobroć całkowita po uwzględnieniu rezystancji szeregowej

Q<sub>MS</sub> - dobroć mechaniczna

Ponieważ na wartość Q<sub>TS</sub> w przypadku głośników niskotonowych decydujący wpływ ma Q<sub>ES</sub>, zatem z dobrym przybliżeniem wartość Q<sub>TS</sub> można wyznaczyć bezpośrednio:

$$Q'_{TS} = Q_{TS} \frac{R_C + R_S}{R_C} \quad [12]$$

Powyższe względy decydują o tym, że za najlepsze do obudów z otworem uznaje się głośniki o niskiej wartości Q<sub>TS</sub>. Najlepsze rezultaty osiągnięte będą jednak dopiero wtedy, gdy niskiej wartości Q<sub>TS</sub> towarzyszyć będzie niska częstotliwość rezonansowa f<sub>s</sub>. Zapewni to zarówno najkorzystniejszy kształt charakterystyki, przetwarzanie najniższych częstotliwości i dobre odtwarzanie impulsów. Taka kombinacja parametrów możliwa jest jednak tylko dla dużych głośników niskotonowych. Rozciągnięcie równomiernej charakterystyki do najniższych częstotliwości w przypadku małych głośników wymagałoby bardzo dużej amplitudy ruchu membrany o małej powierzchni dla uzyskania pożądanego ciśnienia akustycznego.

**Cd. na stronie 49**

### Cd. ze strony 46

Szereg ograniczeń konstrukcyjnych powoduje więc, że małe głośniki niskotonowe reprezentują kompromis pomiędzy trudnymi do jednoczesnego spełnienia warunkami - wysokiej mocy dopuszczalnej, wysokiej efektywności, niskiej wartości  $Q_{TS}$  i  $f_S$ . Jedynie niska wartość  $V_{AS}$ , decydująca w dużym stopniu o małej objętości obudowy jest naturalną zaletą małych głośników niskotonowych.

### Gdy narzucona jest wielkość obudowy

Jako uzupełnienie metod zakładających dokonanie wyboru głośnika i zaprojektowanie do niego obudowy z otworem, przedstawiono sposób określenia wartości częstotliwości rezonansowej  $f_B$ , gdy narzucona jest wielkość obudowy  $V_B$  (i oczywiście znane parametry głośnika). Przypadkowa wielkość obudowy nie zapewni najlepszej charakterystyki przetwarzania, ale i w tym wypadku optymalna częstotliwość rezonansowa może być wyznaczona według wzoru:

$$f_B = f_S \cdot \left( \frac{V_{AS}}{V_B} \right)^{0,32} \quad (13)$$

### Głośniki do bass-reflexu są najdroższe

Uzyskiwanie niskiej wartości  $Q_{TS}$ , najodpowiedniejszej dla obudowy z otworem, wymaga przede wszystkim dużej wartości indukcyjności w szczelinie (niska wartość  $Q_{ES}$ ), a więc silnego układu magnetycznego. Duży magnes to najkosztowniejsza część przetwornika, a więc najlepsze głośniki do obudów z otworem są zwykle najdroższe. W tabeli 4 przedstawiono parametry doskonale nadających się do tego celu głośników francuskiej firmy FOCAL o różnych średnicach. Pozwala to na ich porównanie z parametrami głośników przeznaczonych do obudów zamkniętych (EP 8/94).

**Andrzej Kisiel**

#### Literatura:

1. R. Bullock III: Thiele, Small and Vented Loudspeaker, Design Part 1, Speaker Builder 4/80
2. R. Bullock III: Thiele, Small and Vented Loudspeaker, Design Part 1, Speaker Builder 3/81
3. Berechnung von Bassreflex-Lautsprechern, Klang und Ton 4/94