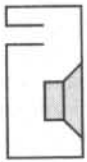


Obudowa pasmowo-przepustowa (band-pass) wykorzystuje zjawisko rezonansu Helmholtza, podobnie jak klasyczna obudowa z otworem. Ta ostatnia pozwala przedniej stronie membrany promieniować bezpośrednio. Konstrukcja obudowy band-pass zamyka obydwie strony głośnika, tak że energia jest wypromieniowywana tylko przez otwór (otwory) obudowy.

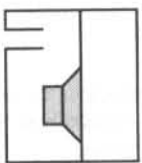


Rys. 1. Obudowa z otworem

Jak wynika z działania obudowy z otworem (EP 9/94), energia promieniowana przez tylną stronę membrany jest przekazywana przez otwór na zewnątrz w pewnym ograniczonym zakresie częstotliwości. Powyżej częstotliwości rezonansowej obudowy otwór stopniowo przestaje promieniować i obudowa wytłumia energię wyższych częstotliwości. Sam układ rezonansowy obudowy z otworem ma więc właściwości akustycznego filtra dolnoprzepustowego. Ponieważ sprawność przetwarzania samego głośnika maleje wraz ze spadkiem częstotliwości, energia promieniowana przez tylną stronę membrany i działanie zamykającej ją obudowy z otworem tworzą układ pasmowo-przepustowego filtra akustycznego.

W klasycznej obudowie z otworem (rysunek 1) promieniowanie otworu dodaje się jednak do bezpośrednio promieniowanej energii przedniej strony membrany; ograniczenie „od góry” przetwarzanego przez głośnik niskotonowy pasma częstotliwości to rola filtra zwrotnicy elektrycznej zespołu głośnikowego.

Jeżeli energia przedniej strony membrany nie zostanie wypromieniowana, a wytłumiona w obudowie zamkniętej, to cały układ głośnik-obudowa będzie pracował jako pasmowo-przepustowy, nawet bez udziału elektrycznego filtra



Rys. 2. Obudowa pasmowo-przepustowa zamknięta

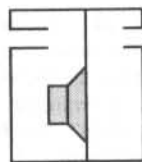
Obudowy głośnikowe część 5 Obudowa typu band-pass, część 1

dolnoprzepustowego. W ten sposób można opisać najprostszą konstrukcję obudowy band-pass, nazywaną obudową zamkniętą pasmowo przepustową (rysunek 2). „Przednia” i „tylna” strona membrany stają się już tylko określeniami umownymi; można uznać, że „tylna” strona membrany za pośrednictwem obudowy z otworem promieniuje energię na zewnątrz, a energia przedniej strony membrany zostaje wytłumiona. Ustawienie głośnika magnesem w kierunku jednej lub drugiej komory jest praktycznie bez znaczenia.

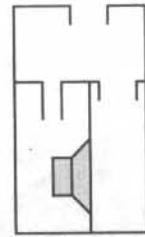
Można także wykorzystać energię promieniowaną przez drugą stronę membrany; nie tracąc właściwości pasmowo-przepustowych układu - należy zamknąć ją również w komorze z otworem, która będzie pełniła rolę filtra akustycznego (rysunek 3). Jeżeli układ byłby symetryczny - takie same częstotliwości rezonansowe obudów z otworem zamykających obydwie strony głośnika, to na skutek przeciwnych faz promieniowanych ciśnień akustycznych, powstające na zewnątrz ciśnienie akustyczne miałyby wartość zero (podobnie jak w przypadku niezabudowanego głośnika).

Zakres pracy obydwu komór - ich częstotliwości rezonansowe, które wynikają z objętości obudów, powierzchni i długości tuneli muszą być więc różne i starannie dobrane, aby zapewnić równomierną charakterystykę przetwarzania w założonym pasmie przepustowym.

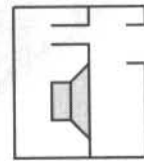
Taki układ dwóch komór z dwoma otworami zastosowano m.in. w zespole głośnikowym Bolero 200, produkowanym przez Tonsil.



Rys. 3. Obudowa pasmowo-przepustowa otwarta



Rys. 4. Obudowa pasmowo-przepustowa z trzecią komorą



Rys. 5. Obudowa pasmowo-przepustowa "szeregową"

Inne, rzadziej stosowane i bardziej skomplikowane odmiany obudowy pasmowo-przepustowej przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Układ z rys. 4 zastosowano w zespole sub-niskotonowym popularnego systemu firmy Bose Acoustimas 5. Jak widać, układ z rys. 3 został uzupełniony dodatkową komorą z otworem, filtrującą energię promieniowaną przez otwory obydwu komór zamykających głośnik. Dzięki temu cały układ działa bardziej selektywnie, zwiększając nachylenie spadku charakterystyki przetwarzania powyżej założonej częstotliwości granicznej.

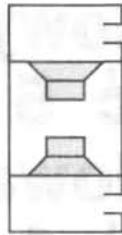
W układzie z rys. 5 komora z otworem wyprowadzonym na zewnątrz filtruje pracę jednej strony membrany i dodatkowo energię promieniowaną przez otwór komory zamykającej drugą stronę.

Wiele konstrukcji, opierając się na przedstawionych powyżej podstawowych odmianach obudowy pasmowo-przepustowej, wykorzystuje więcej niż jeden głośnik niskotonowy.

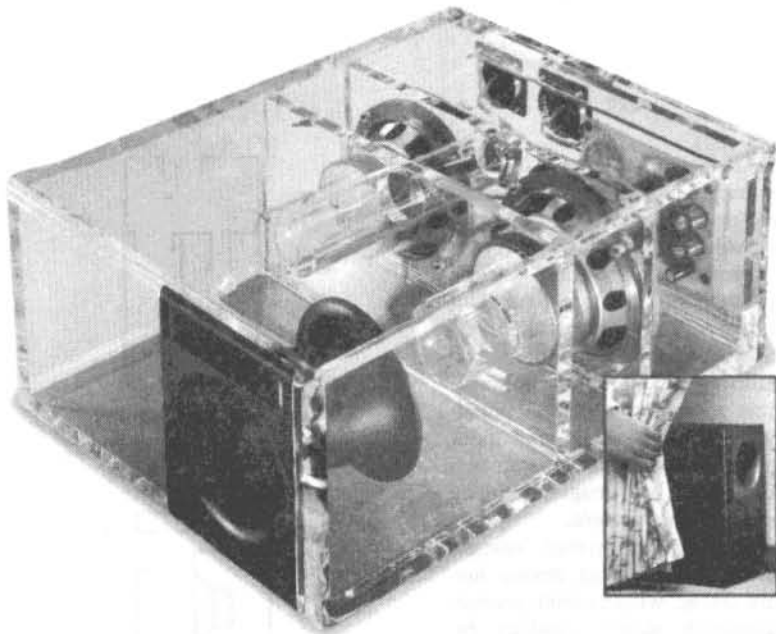
Większość zespołów głośnikowych firmy KEF serii Reference opiera się na układzie według rysunku 6. Jest to



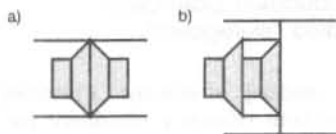
Rys. 6. Obudowa pasmowo-przepustowa zamknięta firmy KEF



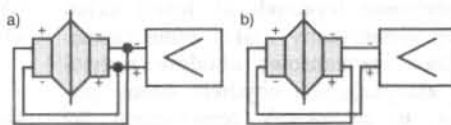
Rys. 7. Obudowa pasmowo-przepustowa firmy Isophon



Rys. 8. Obudowa pasmowo-przepustowa firmy Bose Acoustimas



Rys. 9. Tandem głośników niskotonowych



Rys. 10. Podłączenia głośników w tandemie z rys. 9a: a) równoległe; b) szeregowo

rozwiniecie układu z rys. 2, gdzie zastosowano dwa głośniki, promieniujące do wspólnej komory z otworem. Odmienne rozwiązanie zastosowano w zespołach firmy Isophon, gdzie dwa głośniki niskotonowe mają wspólną komorę zamkniętą (rysunek 7). We wspomnianych Bose Acoustimas 5 działają dwa głośniki, umieszczone obok siebie (rysunek 8).

W obudowach typu band-pass, zwłaszcza stosowanych w roli specjalnych zespołów sub-niskotonowych (Subwoofer), występuje często tandem głośników niskotonowych, określane także jako układ push-pull (ang. pchaj-ciagnij).

Układ głośników Push-Pull

Konfiguracja Push-Pull, chociaż spotykana najczęściej w obudowach band-pass, jest rozwiązaniem, które może być stosowane w obudowie dowolnego typu. Dwa głośniki mogą być umieszczone „naprzeciwko” lub „jeden za drugim”

(rysunek 9b), co dla teoretycznych rozważań nie ma znaczenia, o ile głośniki są umieszczone blisko siebie. Gdy odległość między głośnikami jest mniejsza od 1/5 długości fali najwyższych częstotliwości przez nie promieniowanych, wówczas nie występują między nimi niekorzystne zjawiska falowe i przesunięcia fazy; gdy komora sprzęgająca ma niewielką objętość, masa powietrza przepompowywana między głośnikami jest znacznie mniejsza od masy membrany głośników i może pozostać niewzględzona.

W obydwu przypadkach głośniki pracują w zgodnej fazie, nie wytwarzając ciśnienia akustycznego między sobą. Głośniki układu z rysunku 9a należy połączyć „odwrotnie” według oznaczeń biegunów, równoległe lub szeregowo.

Dwa identyczne głośniki, pracujące w układzie push-pull, tworzą jakby nowy głośnik, na którego układ drgający

składa się suma mas membran, zawieszona na szeregowo połączonych podatnościach zawiesznień.

Ostatecznie dysponujemy więc głośnikiem o dwa razy większej masie membrany i dwa razy mniejszej podatności zawiesznień. Ponieważ częstotliwość rezonansowa głośnika swobodnie zawieszzonego jest określona wzorem

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

(C_{MS} - podatność zawiesznień, M_{MS} - masa membrany), dlatego częstotliwość rezonansowa takiego układu (swobodnie zawieszzonego) jest taka sama jak pojedynczego głośnika. Jednak wraz z dwukrotnie mniejszą podatnością, uzyskujemy dwukrotnie niższą wartość objętości ekwiwalentnej V_{AS} . Daje to dużą korzyść praktyczną - pozwala zmniejszyć dwukrotnie objętość obudowy w stosunku do wymaganej dla pojedynczego głośnika.

Przykład

Dysponujemy głośnikiem typu GDN 20/60/3 o następujących parametrach: częstotliwość rezonansowa głośnika niezabudowanego $f_s = 36\text{Hz}$, dobroć całkowita głośnika niezabudowanego $Q_{TS} = 0,45$, objętość ekwiwalentna $V_{AS} = 70\text{dm}^3$.

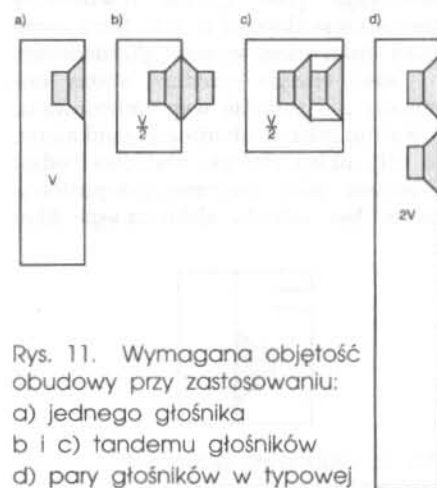
Chcemy go zastosować w obudowie zamkniętej, przy założeniu maksymalnie płaskiej charakterystyki, a więc $Q_{TC} = 0,7$. Możemy użyć jednego lub dwóch głośników.

Przypominamy wzory służące obliczaniu obudów zamkniętych (EP 8/94)

$$Q_{TC} = Q_{TS} \sqrt{1 + \frac{V_{AS}}{V_C}} \quad (2)$$

$$f_c = f_s \sqrt{1 + \frac{V_{AS}}{V_C}} \quad (3)$$

gdzie Q_{TC} - dobroć całkowita głośnika w obudowie, f_c - częstotliwość rezonansowa głośnika w obudowie, V_C - objętość obudowy zamkniętej.



Rys. 11. Wymagana objętość obudowy przy zastosowaniu: a) jednego głośnika b i c) tandemu głośników d) pary głośników w typowej konfiguracji

Dla $Q_{TC} = 0,7$ częstotliwość trzydecybelowego spadku sprawności przetwarzania $f_3 = f_c$.

Przypadek 1. Używamy jednego głośnika (**rysunek 11a**). Konieczna objętość obudowy V_C , wynikająca ze wzoru (2), wynosi $50dm^3$. Częstotliwość $f_3 = f_c = 56Hz$

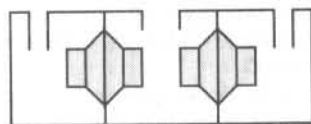
Przypadek 2. Używamy dwóch głośników w układzie push-pull (**rysunki 11b i 11c**).

$$V_{AS} = 35dm^3.$$

Konieczna objętość obudowy wynosi $25dm^3$, $f_c = f_3 = 56Hz$

Przypadek 3. Dwa głośniki można użyć w typowy sposób, jednak wówczas wymagana objętość wynosi aż $100dm^3$ (**rys. 11d**).

Układ push-pull ma jednak pewien minus - jest energetycznie mniej wydajny od pojedynczego głośnika. Np. przez układ dwóch głośników połączonych równolegle płynie dwa razy wię-



Rys. 12. Schemat subwoofera firmy JBL

kszy prąd, powodując takie samo wychylenie membrany i wytwarzając takie samo ciśnienie akustyczne co pojedynczy głośnik. Zastosowanie dwóch głośników w sposób tradycyjny, dwukrotnie zwiększając powierzchnię drgającą, zwiększa sprawność przetwarzania. Dlatego układ push-pull stosowany jest wówczas, gdy jednym z głównych celów konstruktora jest ograniczenie wielkości urządzenia głośnikowego, a więc przede wszystkim w przypadku projektowania układów subniskotonowych. Pozwala także na użycie głośników w tradycyjnych zespołach, gdzie pojedynczo stosowane wymagałyby obudowy o trudnej do zaakceptowania wielkości. W poprzednim numerze (EP 11/94) przedstawiono warunki użycia głośnika typu GDN 30/100 w obudowie typu bass-reflex. Z obliczeń wynikała objętość $300dm^3$. Stosując tandem głośników można już pokusić się o skonstruowanie obudowy o wymaganej w takim przypadku objętości $150dm^3$.

Zmniejszenie wartości V_{AS} układu głośników push-pull pozwala zmniejszyć objętość każdego rodzaju obudowy, opierającej się na zasadach obudowy zamkniętej lub bass-reflex, a więc także wszystkich odmian obudowy pasmowo-

przepustowej. Również we wspomnianych Bolero 200 zastosowano tandem głośników. Na **rysunku 12** przedstawiono układ zespołu sub-niskotonowego dla dwóch kanałów stereofonicznych firmy JBL. Mimo pozornej złożoności, jest to tylko proste rozwinięcie układu z rys. 3

Stosowanie obudów pasmowo-przepustowych upowszechniło się dopiero w ciągu minionych dziesięciu lat, dzięki wykorzystaniu ścisłych analiz pracy obudowy z otworem. Obecnie obudowy tego typu spotyka się nie tylko wśród zespołów sub-niskotonowych. Poza firmą KEF warto wskazać na wiele modeli firmy Jamo, w tym najdroższy model Oriol, w części niskotonowej opierający się na podwójnym systemie zamkniętej obudowy pasmowo-przepustowej. Zespoły firmy Isophon są podobnie skonstruowane, ale komora zamknięta jest wspólna dla obydwu głośników niskotonowych, podczas gdy komory z otworami są dwie (odmiennie niż w przypadku zespołów KEF, gdzie wspólna jest komora z otworem)

W kolejnym numerze EP przedstawimy metodykę i przykłady projektowania obudowy pasmowo-przepustowej.

Andrzej Kisiel