

# Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów

## W głośnikowym żywiole, część 18

### Obudowa z membraną bierną – ćwiczenia.

*W poprzednim numerze przedstawiliśmy teoretyczne podstawy projektowania obudowy z membraną bierną. Zwróciliśmy uwagę, że jest to rzadko spotykany typ obudowy, ale w przypadkach niektórych głośników może okazać się w zasadzie jedynym, dającym dobre rezultaty.*

Obudowa z membraną bierną może być bowiem uznana za odmianę obudowy bas-refleksu, gdzie zamiast masy powietrza w tunelu, w drgania zostaje wprowadzona właśnie masa membrany biernej. I jest to rozwiązanie problemu, z którym wcale nie rzadko spotykaliśmy się podczas ćwiczeń z obudową z otworem - gdy z obliczeń wynikało, że tunel optymalnie dostrojonej obudowy z otworem powinien mieć bardzo dużą, trudną do zrealizowania długość. Najczęściej jednak, mimo tej trudności, można wyjść z opresji bez stosowania membrany biernej – nieco zmniejszając powierzchnię otworu czy decydując się na trochę wyższą częstotliwość rezonansową. Ale są głośniki, które zostały zaprojektowane specjalnie pod kątem zastosowania wraz z membraną bierną. Od kilku lat stosowane przede wszystkim w wysokiej klasy subwooferach, 26 i 31 cm głośniki „XLS” duńskiej firmy Peerless najczęściej występują w towarzystwie podobnych do nich membran biernych. Większy, 31 cm (12 cali) model XLS12 przedstawiliśmy dokładnie rok temu, podczas ćwiczeń z obudową zamkniętą, ale już wówczas zapowiedzieliśmy, że jest to głośnik o szczególnym zestawie parametrów, dający najlepsze rezultaty wraz z membraną bierną. Przypomnijmy więc jego parametry:

$F_s$ [Hz]	18
$Q_{ts}$	0,21
$Q_{ms}$	3,7
$Q_{ts}$	0,20
$V_{as}$ [dm <sup>3</sup> ]	139
$R_e$ [Ω]	3,5
$S_d$ [cm <sup>2</sup> ]	466
$X_{lin}$ [cm]	2,5
Moc [W]	300

W przypadku 12-calowego głośnika niskotonowego, najpierw musimy rozważyć, czy projektujemy wraz z nim subwoofer aktywny, czy wielodrożny,

pasywny zespół głośnikowy. Chodzi oczywiście o rezystancję szeregową  $R_g$ , która koryguje wartość  $Q_{ts}$ . Dla subwoofera aktywnego będzie ona bliska zero, dla zespołu głośnikowego, przede wszystkim ze względu na rezystancję cewki w filtrze – a będzie to cewka o dużej indukcyjności, gdyż XLS12 nie powinien być filtrowany wyżej niż przy 300 Hz – może mieć wartość nawet powyżej 1 Ω. Zresztą, już przy ćwiczeniach z obudową zamkniętą spróbowaliśmy z premedytacją wprowadzić wysoką wartość  $R_g$ , aby podnieść  $Q_{ts}$ , obniżyć współczynnik EBP, i przez to uzyskać niższą częstotliwość graniczną. Choć w przypadku bas-refleksu (a więc i obudowy z membraną bierną) lepsze charakterystyki impulsowe wiążą się z niższymi wartościami  $Q_{ts}$ , to w przypadku XLS12 wartość  $Q_{ts}$  jest tak niska, że można bez wielkiej szkody dla impulsu nieco ją skorygować w górę. Teoretycznie, można celowo wprowadzić rezystancję szeregową między głośnikiem a wzmacniaczem również w subwooferze aktywnym, za pomocą rezystorów o dużej mocy. Ale to już byłaby perwersja. Na początek więc subwoofer aktywny,  $R_g=0$ , i jak gdyby nigdy nic, symulujemy parametry obudowy z otworem...

Dla znanych modeli teoretycznych, które mogą znaleźć zastosowanie przy głośniku o taki niskim  $Q_{ts}$ , otrzymujemy następujące zestawy parametrów strojenia:

	$V_b$ [dm <sup>3</sup> ]	$f_b$ [Hz]	$L_v$ „14” ( $d_v=14$ ) [cm]	$L_v$ „10” ( $d_v=10$ ) [cm]
Hoges	13,4	36	260	130
QB3	17,6	35	200	100
BB4	23,3	18	600	300

Nie będziemy jednak rozważać ani uzyskanych tą drogą charakterystyk przetwarzania, ani impulsowych,



Fot. 85. Głośnik Peerless XLS12 i zbudowana z jego elementów membrana bierna

ani żadnych innych... pokazujemy ten zestaw parametrów dla uwidocznienia, jak nierealistycznie długie musiałyby być tunele klasycznych obudów z otworem.  $L_v$  „14” oznacza otwór o średnicy 14 cm (o powierzchni ok. 160 cm<sup>2</sup>), odpowiedni dla głośnika o tak dużym wychyleniu objętościowym, wynikającym tutaj zarówno z dużej powierzchni membrany, jak i bardzo dużej amplitudy liniowej. Dla modelu BB4 potrzebny przy takiej średnicy tunel musiałby mieć długość 6 metrów! Można by się zgodzić na otwór o dwa razy mniejszej powierzchni, a więc o średnicy 10 cm ( $L_v$  „10”), gdyby dawało to szansę wybrnięcia z sytuacji. Ale nawet dla modelu QB3, wymagającego najkrótszych tuneli, musiałby mieć on długość jednego metra. Przy okazji zauważmy jednak, jak niewielkie objętości są potrzebne dla prawidłowego zastosowania XLS12 – właśnie dzięki niskiej wartości  $Q_{ts}$  – ale jednocześnie to właśnie małe objętości wymuszają bardzo długie tunele dla uzyskania odpowiednio niskiej częstotliwości rezonansowej obudowy. Owszem, z takimi objętościami spotykamy się często, ale w przypadku głośników o znacznie mniejszej średnicy, a więc i mniejszym wychyleniu objętościowym, co z kolei pociąga za sobą mniejszą powierzchnię otworu, a to wreszcie krótszy tunel.

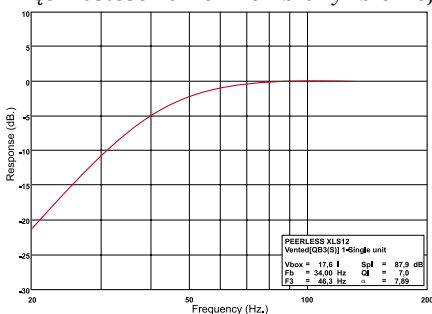
Teraz właśnie na scenę wkracza membrana bierna. Wraz z głośnikiem XLS12, Peerless przygotował trzy wersje 12-calowych membran biernych o różnej częstotliwości rezonansowej  $f_p$ ,

na skutek zastosowania różnych mas drgających (do standardowej membrany głośnika XLS12 dodawane jest dodatkowe obciążenie). Interesujące nas parametry wyglądają więc następująco:

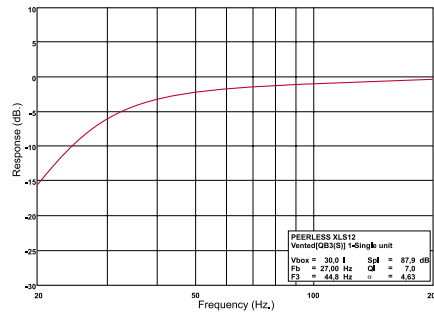
	$f_p$	$V_{ap}$
XLS12 290g	12,6	170
XLS12 425g	10,4	170
XLS12 625g	8,6	170

Objętość ekwiwalentna dla wszystkich wersji jest taka sama, ale nieco inna niż dla samego głośnika XLS12, co wskazuje, że zawieszenie membran biernych ma nieco większą podatność, co również wpływa na obniżenie częstotliwości rezonansowej.

Miesiąc temu wyjaśniliśmy, że teoretyczny model strojenia obudów z membraną bierną dyktowany jest przez nieco inne wartości współczynników niż dla strojenia obudów z otworem, ale różnice między nim a modelem QB3 są bardzo niewielkie dla głośników o niskiej wartości  $Q_{is}$ . Dlatego za pomocą membrany biernej spróbujemy dostroić obudowę według modelu QB3. Odpowiednia do tego będzie membrana w wersji o masie 425 g, która w obudowie o objętości 17,6 dm<sup>3</sup> zapewni strojenie do częstotliwości rezonansowej obudowy  $f_{cp}=34$  Hz, a więc bardzo blisko częstotliwości  $f_b$  dyktowanej przez model QB3. Wynika to z pierwszego wzoru, jaki przedstawiliśmy miesiąc temu. Ważne dla dobrych charakterystyk impulsowych warunki są spełnione. Odnosnie uniwersalnych warunków dla obudów bas-refleks - stosujemy głośnik o bardzo niskiej wartości  $Q_{is}$ , stroimy go dokładnie według modelu teoretycznego QB3. A co się tyczy wyłącznie zastosowania membrany biernej, sprawdzamy, czy częstotliwości  $f_{cp}$  i  $f_p$  są dostatecznie rozsunięte - stosunek między nimi wynosi aż 3,3, a więc zastosowanie membrany biernej



Rys. 86. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/425 (model bliski QB3, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=0$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=17,6$  dm<sup>3</sup>,  $f_b(f_{cp})=34$  Hz,  $f_3=46$  Hz

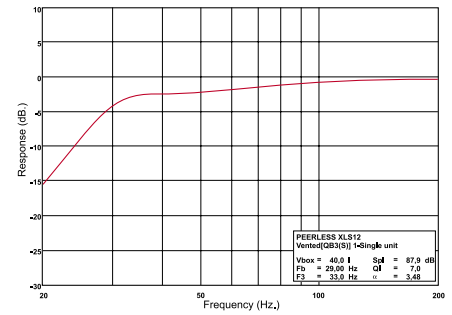


Rys. 87. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/425 (bez modelu, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=0$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=30$  dm<sup>3</sup>,  $f_b(f_{cp})=27$  Hz,  $f_3=45$  Hz

w minimalnym stopniu wpłynie na kształt charakterystyki przetwarzania i charakterystyki impulsowej w stosunku do analogicznie strojonej obudowy z otworem. Spadek -6 dB pojawia się przy 38 Hz (rys. 86), co przy tak niewielkim subwooferze nie zasługuje na krytykę, chociaż niższe zejście byłoby mile widziane.

Jeżeli nie zależy nam na zbudowaniu subwoofera bardzo małego, wraz z większymi objętościami będziemy obniżać częstotliwość graniczną, jednocześnie jednak stopniowo pogarszając charakterystyki impulsowe. Ale wciąż bardzo dobre wyniki pod tym względem możemy uzyskać w objętości 30 litrów. Jest to już strojenie „dowolne”, bez modelu teoretycznego, ale pod kontrolą programu symulującego wyniki. Stosujemy tę samą wersję membrany biernej (425 g), która w objętości 30 litrów „złapie” częstotliwość rezonansową  $f_{cp}=27$  Hz. Rozsuniecie  $f_{cp}$  i  $f_p$  nadal jest duże (stosunek 2,6). Charakterystyka przetwarzania początkowo opada bardzo łagodnie, dzięki czemu spadek -6 dB notujemy przy 30 Hz (rys. 87). Częstotliwość 30 Hz z objętości 30 litrów to bardzo dobry wynik.

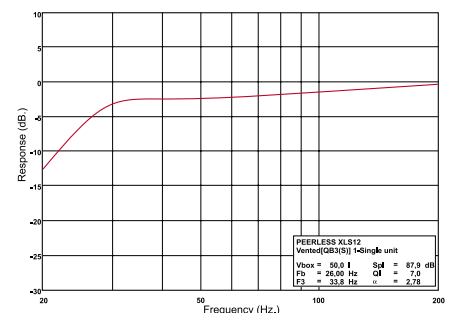
Godząc się na kompromis pod względem charakterystyki impulsowej, aby w zamian uzyskać jeszcze niższą dolną częstotliwość graniczną, możemy powiększyć objętość do 40 litrów. Sięgając po membrany bierne o ustalonych parametrach, z jednej strony łatwiej jest osiągnąć niskie częstotliwości rezonansowe, z drugiej strony trudniej je ustalać tak precyzyjnie, jak za pomocą tunelu, którego długość możemy wyregulować. Odrobinę majsterkując, możemy zmieniać też masę membrany biernej, ale w naszych ćwiczeniach staramy się wybrać odpowiednią wersję membrany biernej bez jej modyfikowania. Okazało się, że w



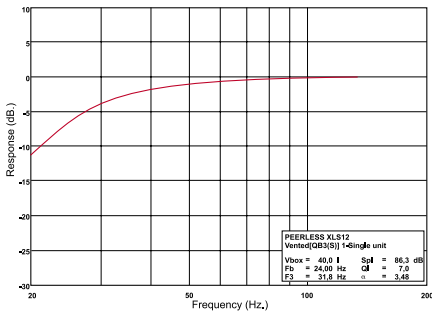
Rys. 88. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/290 (bez modelu, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=0$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=40$  dm<sup>3</sup>,  $f_b(f_{cp})=29$  Hz,  $f_3=33$  Hz

40 litrach najodpowiedniejsza będzie membrana bierna o masie 290 g (najlżejsza), która w tej objętości dostroi się do  $f_{cp}=29$  Hz. Częstotliwość rezonansowa układu jest więc nieco wyższa niż w poprzednim strojeniu (30 litrów, 27 Hz), ale uzyskujemy niższą częstotliwość spadku -6 dB przy 28 Hz, charakterystyka w zakresie 30...40 Hz ma poziom o ok. 2 dB wyższy niż poprzednio (rys. 88). Stosunek  $f_{cp}$  do  $f_p$  wynosi 2,3 - membrana bierna nie będzie więc poważnie pogarszać charakterystyk impulsowych wobec podobnie dostrojonego układu rezonansowego z otworem, chociaż w tej objętości i sama obudowa z otworem nie będzie mogła pochwalić się „szybkością”. Ale skoro dotarliśmy już do objętości 40 litrów, sprawdźmy, czy nie jest możliwe dostrojenie układu właśnie za pomocą tunelu. Częstotliwość rezonansową  $f_b=29$  Hz uzyskamy tutaj, przy średnicy 10 cm, z tunelem 60 cm. Nadal nie jest to łatwe, ale już w zasięgu możliwości, o ile subwoofer będzie bardzo głęboki, lub wykonamy tunel załamany.

Ostatni ruch w kierunku najniższych częstotliwości wykonujemy za pomocą objętości 50 litrów i membra-



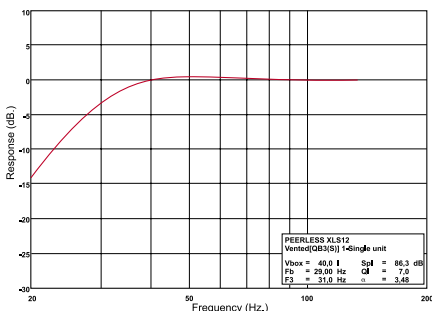
Rys. 89. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/290 (bez modelu, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=0$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=50$  dm<sup>3</sup>,  $f_b(f_{cp})=26$  Hz,  $f_3=34$  Hz



Rys. 90. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/425 (blisko modelu QB3, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=2$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=40 \text{ dm}^3$ ,  $f_b(f_{cp})=24 \text{ Hz}$ ,  $f_3=32 \text{ Hz}$

ny biernej 290 g, która dostroi się do  $f_{cp}=26 \text{ Hz}$ . Charakterystyka przetwarzania obniża się o ok. 2 dB już poniżej 100 Hz, ale następnie stabilizuje się na tym poziomie, aby zaczając szybciej spadać dopiero poniżej 30 Hz, punkt -6 dB znajduje się przy 25 Hz (rys. 89). Stosunek  $f_{cp}$  do  $f_p$  wynosi 2,1, a więc nadal nie spada poniżej krytycznej wartości 2.

Następnie przeprowadziliśmy kilka prób z rezystancją szeregową  $R_g=2 \Omega$ , co podnosi wartość  $Q_{lc}$  do 0,28. Zmiana tego parametru jest wyraźna, aczkolwiek nadal pozostaje on na poziomie pozwalającym w bas-refleksie uzyskać dobre charakterystyki impulsowe, zarazem osiągać niższe częstotliwości graniczne, ale wymaga stosowania większych objętości. Efektywność spada o 1,6 dB. Model QB3 dla tak zmodyfikowanych parametrów XLS12 dyktuje objętość 40 litrów i częstotliwość rezonansową  $f_b=25 \text{ Hz}$ . Zastosowanie otworu z tunelem byłoby bardzo trudne – przy średnicy 10 cm rura musiałaby mieć 90 cm długości. Ponownie stosujemy więc membraną bierną, tym razem w wersji 425 g, ponieważ taka dostroi się w 40 litrach



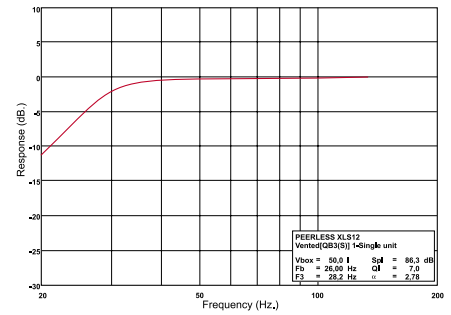
Rys. 91. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/290 (bez modelu, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=2$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=40 \text{ dm}^3$ ,  $f_b(f_{cp})=29 \text{ Hz}$ ,  $f_3=31 \text{ Hz}$

do 24 Hz, blisko postulowanych przez model 25 Hz. Uzyskujemy bardzo ładną charakterystykę przetwarzania, ze spadkiem -6 dB przy 26 Hz (rys. 90) i dobrą charakterystykę impulsową.

Ale i użycie membrany biernej 290 g, dającej w 40 litrach częstotliwość rezonansową  $f_{cp}=29 \text{ Hz}$  nie jest błędem - na charakterystyce przetwarzania pojawi się minimalne, półdecybelowe wzmocnienie w okolicach 50 Hz, spadek -6 dB przesunie się do 27 Hz (rys. 91). Takie rezultaty możemy też osiągnąć z otworem o średnicy 10 cm i tunelem 60 cm.

Na końcu ponownie 50 litrów, tym razem z  $R_g=2$ . Membrana bierna 290 g,  $f_{cp}=26 \text{ Hz}$ , charakterystyka przetwarzania w tym przypadku biegnie równo do 40 Hz, zaczyna opadać powoli i punkt -6 dB pojawia się przy rekordowo niskich 24 Hz (rys. 92). Wymagany do takiego strojenia tunel ma długość 60 cm i średnicę 10 cm.

Na tym kończymy zabawę z membraną bierną, która w niektórych sytuacjach jest wręcz konieczna dla prawidłowego strojenia układu rezonansowego bas-refleksa. Pamiętając, aby dla możliwie najlepszych charakterystyk impulsowych utrzymywać jak najwyższy stosunek  $f_{cp}$  do  $f_p$ , w naturalny sposób zmierzamy do mniejszych objętości, co tym bardziej czyni mem-



Rys. 92. Charakterystyka przetwarzania XLS12 z membraną bierną XLS12/290 (bez modelu, dla  $Q_b=7$ ,  $R_g=2$ ) w obudowie o parametrach:  $V_b=50 \text{ dm}^3$ ,  $f_b(f_{cp})=26 \text{ Hz}$ ,  $f_3=28 \text{ Hz}$

branę bierną potrzebną dla dostrojenia do niskiej częstotliwości rezonansowej. Niektóre głośniki, jak właśnie XLS12, pozwalają tym sposobem na zaprojektowanie niezwykle małej (w stosunku do wielkości głośnika) obudowy. Przy większych objętościach coraz łatwiej układ dostroić za pomocą tunelu.

Za miesiąc parę stron o coraz mniej popularnych obudowach pasmowo – przepustowych („ćwiczenia” już sobie darujemy), a za dwa miesiące również rzadko spotykana, ale „kultowa”, audiofilska obudowa – linia transmisyjna.

**Andrzej Kisiel**



Fot. 93. Subwoofer Avance Signature Sub10, z głośnikiem XLS12 i membraną bierną (jej miejsce znajduje się po drugiej stronie obudowy).