

Współczesne zespoły głośnikowe

Od dłuższego czasu otrzymujemy od Czytelników listy z prośbą o dokładniejsze opisy działania i konstruowania zespołów głośnikowych, przede wszystkim zespołów przeznaczonych do użytku domowego. Czytając zadość tym życzeniom oraz biorąc pod uwagę spodziewane w najbliższym czasie wzbogacenie asortymentu dostępnych na rynku głośników produkcji ZWG TONSIL przygotowaliśmy cykl artykułów na temat zespołów głośnikowych. Jednocześnie przypominamy, że artykuły dotyczące różnych zespołów głośnikowych ukazały się w następujących numerach naszego miesięcznika: 11/1967, 1/1968, 2/1972, 7/1973, 2/1974 i 5/1975 r.

REDAKCJA

Od pierwszych dni rozwoju radiofonii problem skonstruowania dobrego przetwornika elektroakustycznego nabrał pierwszorzędного znaczenia. Po okresie stosowania słuchawek elektromagnetycznych z membraną z blachy stalowej i takichże głośników szeroko weszły do użycia głośniki elektromagnetyczne z membraną papierową. W naszych radiowęzłach publicznych były one powszechnie stosowane do 1950 r. Nie jest wykluczone, że niektóre z nich pracują do dziś. Jedne i drugie należą już do historii.

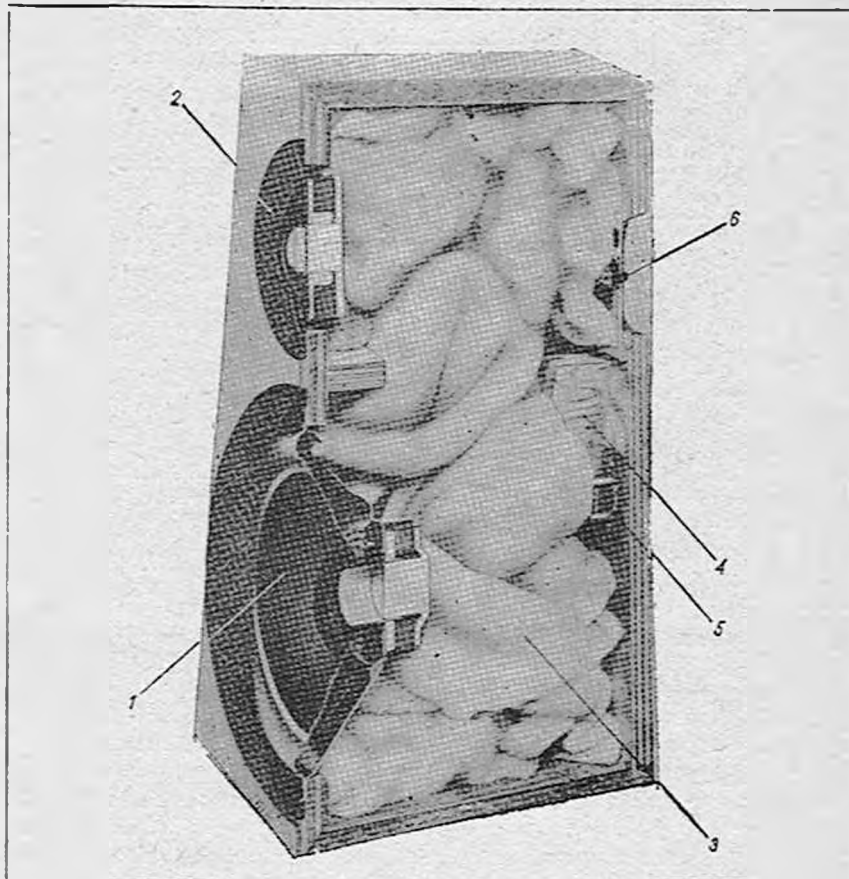
Współcześnie stosowany jest głośnik magnetoelektryczny z magnesem trwałym, zwany dynamicznym. Głośnik ten wynaleziony w 1924 r. przeszedł wiele przeobrażeń, tworząc obecnie wielką i bardzo zróżnicowaną pod względem cech rodzinną. Należą do niej zarówno „karły” o średnicy około 5 cm jak i „olbrzymy” o średnicy 50 cm, a nawet jeszcze większe. Średnica membran wynosi od około 20 do 400 mm. Wytwarzane są seryjnie głośniki o mocy od 0,1 do 100 W. Na zamówienia indywidualne do celów specjalnych wykonywane są głośniki o mocy do 1000 W.

Nie będziemy zagłębiać się zbyt w klasyfikację głośników dynamicznych i analizę ich cech. Zajęłoby to zbyt dużo miejsca tym bardziej, że zjawiska zachodzące w głośniku i otaczającym go środowisku są bardzo złożone. Wywód nasz postaramy się powiązać bezpośrednio z zespołem głośnikowym, to jest kompletnym przetwornikiem elektroakustycznym, stanowiącym wtórne źródło słyszanych przez nas dźwięków audycji.

Nie możemy jednak pominąć zagadnienia pasma przetwarzanych

przez głośniki częstotliwości. Idealny zespół Hi-Fi powinien przenosić efektywnie częstotliwości w pasmie 20÷20 000 Hz. Aby krańce tego pasma nie były ograniczane zbyt przez sam głośnik, należy założyć przenoszenie od 10÷15 Hz do 30÷40 kHz. Dawno już stwierdzono, że skonstruowanie głośnika

spełniającego ten warunek nie jest możliwe. Można skonstruować dobrego głośnika tylko do przetwarzania określonego znacznie węższego pasma częstotliwości. Przetwarzanie pasma 10 Hz ÷ 40 kHz wymaga 5 głośników, z których każdy przetwarzałby tylko wycinek całego pasma, np.: 10÷60 Hz, 30÷600 Hz, 300÷3000 Hz, 2000÷15 000 Hz, 10 000÷40 000 Hz. Ze względu na trudność skonstruowania głośników wysokotonowych o wielkiej mocy, w zespole takim zachodzi konieczność zastosowania 2—4 głośników wysokotonowych połączonych równolegle. Wynika z powyższego, że taki zbliżający się do ideału zespół głośnikowy powinien zawierać 10—12 głośników. W praktyce — przy założeniu węższego pasma przetwarzanych częstotliwości — rozpoznały się bardzo zespoły głośnikowe zawierające 2—3 głośniki. Największe, luksusowe zespoły dostarczane na rynek światowy zawierają 8—10 głośników, czyli nie o wiele mniej niż rozpatrywany wyżej zespół prawie idealny.



Rys. 1. Przekrój współczesnego dwudroinowego zespołu głośnikowego o obudowie zamkniętej (Victor Company of Japan — SX-3)

1 — głośnik nisko-średniotonowy, przesłonięty rzadką sztywną siatką plastikową; 2 — kopułkowy głośnik wysokotonowy; 3 — wata mineralna wypełniająca obudowę zamkniętą; 4 — elementy poprawiające własności akustyczne obudowy; 5 — zwrotnica prądowa (filtr rozdzielający); 6 — gniazdo do przyłączania sznura z wtykiem

Zapoznajmy się z „anatomią” współczesnego zamkniętego zespołu głośnikowego, przedstawionego na rys. 1. Zastosowano w nim dwa głośniki: nisko-średniotonowy (1) i wysokotonowy (2). Pierwszy ma membranę o powierzchni zajmującej znaczną część ścianki czołowej zespołu, przystosowaną do drgań o amplitudzie 4÷6 mm. Membrana jest sztywna, z materiału o strukturze gąbczastej, lecz zawieszona na bardzo miękkich resorach, których głównym zadaniem jest prowadzenie membrany i cewki współosiowo do centralnego jarzma obwodu magnetycznego, tak aby nie następowało ocieranie się cewki o jarzmo i nabiegunki. W czasie pracy głośnika zasadniczą rolę odgrywa „pneumatyczne zawieszenie” membrany wskutek umieszczenia głośnika w zupełnie szczelnej obudowie zamkniętej. Poduszka powietrzna wewnątrz obudowy jest sprężana i rozprężana przy ruchach membrany. Pomiędzy średnicą membrany, dopuszczalną amplitudą jej drgań i pojemnością wewnętrzną obudowy zachodzi określona współzależność.

Producenci głośników podają w katalogach zalecane objętości obudów do poszczególnych typów głośników niskotonowych i nisko-średniotonowych przeznaczonych do zastosowania w obudowach zamkniętych. Szczególnie ważne jest nieprzekraczanie granicy górnej, to jest nie stosowanie obudów większych od dopuszczalnych.

Obudowa nie powinna „pulsować” w takt zmian ciśnienia wewnątrz niej — ścianki jej powinny być dostatecznie grube, mocno połączone, a w przypadku obudów o większych wymiarach — usztywnione dodatkowo listwami. Powszechnie stosowanym materiałem jest dobra sklejka i twarde płyty wiórowe. Wytwórnice zespołów głośnikowych zamawiają często płyty o zwiększonej strątności wewnętrznej materiału w porównaniu do standardowej sklejki. Chodzi o to, aby drgania poprzeczne i podłużne wzbudzone w ściankach obudowy były silnie tłumione i zanikały w krótkim czasie od momentu wystąpienia wzbudzającego je impulsu.

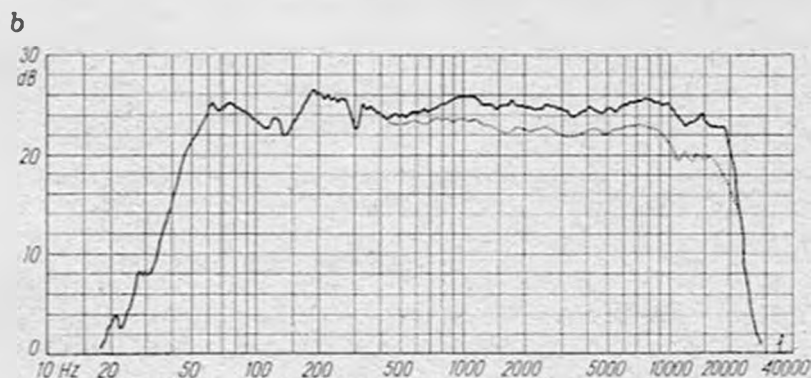
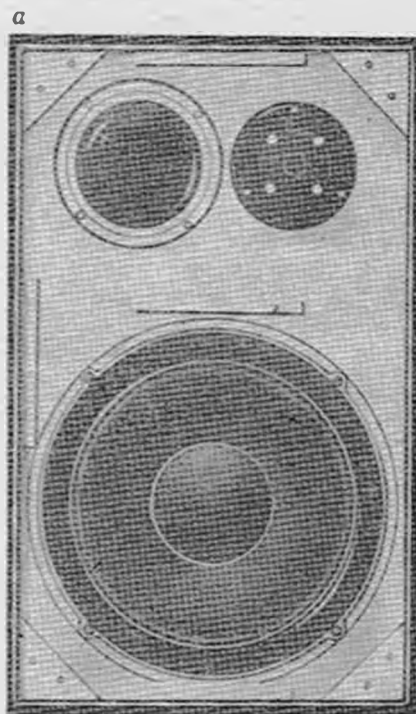
Wnętrze obudowy jest prawie całkowicie wypełnione watą mineralną (3). Spełnia ona podwójną rolę: tłumi drgania rezonansowe wnętrza obudowy, tj. tłumi fale stojące, powstające wzdłuż kilku osi

obudowy, absorbując energię akustyczną i przekształcając ją w ciepło, oraz wpływa na tłumienie drgań własnych układu drgającego głośnika niskotonowego. Mechanizm tego działania tłumiącego jest w uproszczeniu następujący: wraz z membraną głośnika porusza się warstwa powietrza — jej hamowanie wskutek obecności porowatego materiału oddziałuje wtórnie na membranę powodując również jej hamowanie, które nazywamy tłumieniem akustycznym. Jak wiadomo, jest ona poza tym silnie tłumiona elektrycznie wskutek tego, że uzwojenie cewki porusza się w silnym polu magnetycznym, a wewnętrzna impedancja wzmacniacza jest bardzo mała. Można więc uważać, że w odniesieniu do ruchów swobodnych membrany i cewki — nie wymuszonych zasilającym przebiegiem elektrycznym na wyjściu wzmacniacza — cewka pracuje w stanie zwarciovym. W nowoczesnych zespołach głośnikowych tłumienie elektryczne spełnia nadzwyczaj ważną rolę. Dlatego głośniki powinny mieć potężne obwody magnetyczne wytwarzające bardzo silny strumień magnetyczny w szczelinie roboczej głośnika.

W celu uzyskania optymalnych własności obudowy wprowadza się często określone asymetrie i dodat-

nie ustalane jest drogą zmuszonych prób i pomiarów. Widoczne na rys. 1 drewniane listwy (4) są tak umieszczone, aby zwiększona została liczba rezonansów wewnętrznych obudowy przy jednoczesnym osłabieniu ich siły.

Głośnik wysokotonowy (2) jest typu kopułkowego (z membraną czaszową). Membrana wystaje poza powierzchnię płyty czołowej, co sprzy-



Rys. 2. Trójdrojny zespół głośnikowy zamknięty (Wharfedale-Super 60)
a - widok płyty czołowej po zdjęciu maskownicy, b - charakterystyka częstotliwościowa zespołu

kowe elementy. W obudowie przedstawionej na rys. 1 ścianka przednia jest nieco nachylona — obudowa nie jest więc symetrycznym prostopadłościannym, a oś główna promieniowania głośników jest skierowana nieco ku górze, co jest korzystne w przypadku zespołów ustawianych nisko (bezpośrednio na podłodze, na małych nóżkach lub niskim stoliku). Głośniki również ustawia się nieco asymetrycznie, przy czym optymalne rozmieszcze-

nia szerokiego kąta promieniowania. Mechaniczną osłonę membrany stanowi siatka metalowa, której otwory są tak rozmieszczone, aby wpływały korzystnie na charakterystykę głośnika. Tył głośnika jest szczelnie zamknięty, aby zmiany ciśnienia wewnątrz obudowy nie miały żadnego wpływu na membranę głośnika wysokotonowego. Na tylnej ściance umieszczone są elementy zwrotnicy prądowej (5)

składającej się z cewek i kondensatorów. Niekiedy znajduje się tam również regulator oporowy umożliwiający osłabienie promieniowania dźwięków promieniowanych przez głośnik wysokotonowy.

W tylnej ścianie znajduje się również gniazdo (6) do przyłączania sznura zakończanego odpowiednim wtykiem.

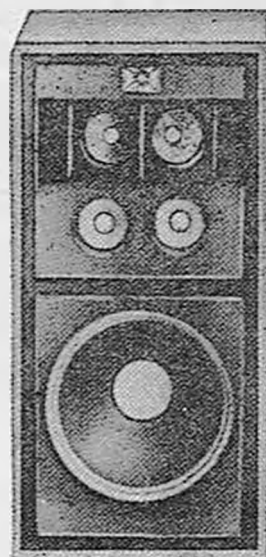
Tak jak pokazany na rysunku zespół, konstruowane są zamknięte zespoły głośnikowe o objętości wewnętrznej od 5 l do 60 l i mocy od 10 W do 50 W. Przedstawiony na rysunku zespół — wg danych katalogowych producenta — przetwarza częstotliwości $35 \div 20\,000$ Hz, częstotliwość podziału wynosi 2000 Hz, moc znamionowa 25 W, moc dla muzyki 50 W. Głośnik niskotonowy ma średnicę około 26 cm (10"). Wymiary zewnętrzne zespołu: wysokość 52 cm, szerokość 31,5 cm, głębokość 29 cm.

Na rys. 2a przedstawiona jest płyta czołowa zamkniętego zespołu trójdrożnego, tj. zawierającego głośnik niskotonowy, średniotonowy i wysokotonowy o mocy 35 W (moc dla muzyki 60 W). Zakres przetwarzanych częstotliwości: $35 \div 20\,000$ Hz. Częstotliwości podziału: 500 Hz i 2500 Hz. Zastosowane głośniki: niskotonowy o średnicy 30 cm, średniotonowy — 12,5 cm oraz wysokotonowy kopułkowy z membraną o średnicy 25 mm. Na rys. 2b przedstawiono charakterystykę częstotliwościową tego zespołu głośnikowego. Linia kreskowana przedstawia charakterystykę po osłabieniu tonów wysokich i średnich wmontowanym regulatorem. Wymiary zespołu $60 \times 38 \times 32$ cm.

Małe pokoje współczesnych mieszkań wymagają stosowania zespołów głośnikowych o małych wymiarach nadających się do ustawienia na szafkach, półkach, regałach bądź do zawieszenia na ścianie. Wiele wytwórni dostarcza na rynek istotnie bardzo małe zespoły o nadspodziewanie dobrych parametrach. Dwa takie zespoły zaprezentowaliśmy w nrach 12/75 i 1/76. Są to z reguły zespoły zamknięte.

W domowych zestawach elektroakustycznych, a jeszcze częściej w zestawach profesjonalnych służących do wzmacniania dźwięków orkiestr lub pojedynczych instrumentów muzycznych, są stosowane zespoły z otworem, zespoły z membraną bierną oraz zespoły z otworem stratnym. Dwa takie zespoły

Rys. 3. Zespoły głośnikowe dla dyskotek
dwudrożny zespół ze średnio-wysokotonowym głośnikiem tubowym (IBL), trójdrożny zespół głośnikowy z czterema głośnikami średniotonowymi (Heco-Hennel D-100)



przedstawiono w numerze 9/75 miesięcznika.

Dla dyskotek, świetlic, sal tanecznych i małych teatrów są wytwarzane standardowe zespoły o większej mocy.

Na rysunku 3 są przedstawione dwa takie zespoły o mocy $80 \div 100$ W. Zespół na rys. 3a zawiera dwa głośniki niskotonowe i jeden tubowy wysokosprawny głośnik średnio-wysokotonowy (widoczny w górnej części obudowy).

Na rys. 3b przedstawiono zespół zawierający 6 głośników: duży głośnik niskotonowy, cztery głośniki średniotonowe (dwa z nich są skierowane pod kątem 40° w lewo i w prawo względem osi głównej, co zapewnia lepszą charakterystykę kierunkowości promieniowania dźwięków), głośnik wysokotonowy — wysokosprawny głośnik tubowy umieszczony ponad głośnikami średniotonowymi. Działa on efektywnie powyżej 8000 Hz. Obudowa zamknięta.

Różnicami w zasadzie działania zespołów z otworem, zespołów z mem-

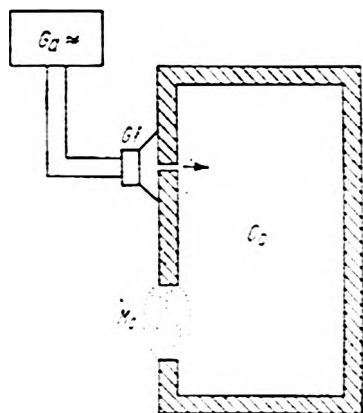
braną bierną i z otworem stratnym zajmujemy się szczegółowiej w następnych artykułach tego cyklu. W tym miejscu chcielibyśmy stwierdzić, że jakość zespołu nie zależy od tego, czy jest zastosowana obudowa zamknięta, czy obudowa z otworem, lecz od tego czy jest to zespół dobrze skonstruowany pod kątem zadanego celu i podyktowanej kosztami klasy, czy zespół kiepski. Rodzaj obudowy powinien być optymalnie dobrany do głośników, którymi dany producent dysponuje, tak aby zespół głośnikowy stanowiący kompletne urządzenie działał jak najlepiej w granicach możliwości klasy, do której należy.

Postęp techniczny oraz umasowienie produkcji głośników i zespołów lepszej jakości sprzyjają zmniejszaniu się ich kosztów. Zespoły dobrej klasy stają się powszechnie dostępne, a bardzo dobre — sprzętem dość często spotykanym. Tendencje rozwojowe trwają nadal.

A.W.

Zespoły z otworem i membraną bierną

Wszystkim jest znana nazwa „bass-reflex”, używana niegdyś powszechnie w odniesieniu do zespołu głośnikowego z otworem. Zespoły tego typu stosowano w kinematografii dźwiękowej oraz do udźwiękowienia sal. W mieszkaniach pojawiły się znacznie później, w okresie „szaf muzycznych” i pierwszych kroków techniki Hi-Fi. Stosowane są szeroko do chwili obecnej. Pojawiła się odmiana tych zespołów w postaci zespołów z membraną bierną. Ich wady i zalety są opisane niżej. Zaczniemy od zasady działania. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie układ składający się ze sztywnej, o masywnych ściankach skrzyni z otworem. W skrzyni tej jest wywiercony drugi, bardzo mały otwór, przykryty stożkiem przytwierdzonego w tym miejscu głośni-



Rys. 1. Układ służący do pomiaru częstotliwości rezonansowej obudowy z otworem

G_a – generator akustyczny, G_l – głośnik wzbudzający drgania, C_0 – podatność akustyczna obudowy, M_0 – masa akustyczna otworu obudowy

ka. Jeżeli generator akustyczny G , będzie bardzo powoli przestrajany od częstotliwości najmniejszej ku większym, to przy jakiejś częstotliwości f_H zauważymy interesujące zjawisko: ton o tej częstotliwości będzie silnie promieniowany przez otwór. Ton o częstotliwości f_H będzie wyraźnie uprzywilejowany wskutek rezonansu akustycznego

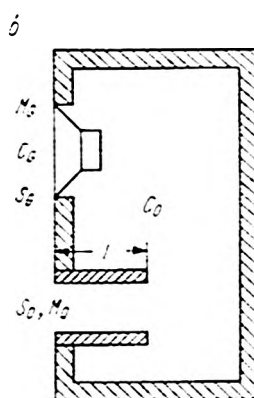
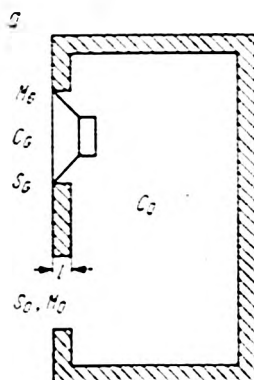
podatności C_0 wnętrza skrzyni i masy akustycznej M_0 otworu. Częstotliwość rezonansowa f_H mogłaby zostać z góry obliczona, gdybyśmy znali wartość podatności C_0 i masy akustycznej M_0 . Wówczas:

$$f_H = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_0 \cdot M_0}} \quad [1]$$

przy czym:

C_0 – podatność [cm dyn],

M_0 – masa [g].



Rys. 2. Schematy zespołu głośnikowego z otworem

a – zespół z otworem w ścianie czołowej, b – zespół z otworem tunelowym zwiększającym masę akustyczną, M_g – masa układu drgającego głośnika, C_g – podatność zawieszenia układu drgającego głośnika, S_g – powierzchnia czynna membrany głośnika, C_0 – podatność akustyczna obudowy, M_0 – masa akustyczna otworu obudowy, S_0 – powierzchnia czynna otworu obudowy, l – długość tunelu

Przedstawiony na rys. 1 układ eksperymentalny ma nie tylko znaczenie teoretyczne, lecz może okazać się bardzo przydatny przy konstruowaniu obudów z otworem, bowiem pozwala ustalić empirycznie wartość częstotliwości f_H danej obudowy. Wszelkie obliczenia tej częstotliwości na podstawie wzorów są obciążone dość znacznym błędem.

Na rysunku 2 przedstawiono zespoły głośnikowe z otworem. W przypadku zespołu z rys. 2b zastosowano obudowę wyposażoną w „tunel”, co zwiększa masę akustyczną M_0 otworu i to tym bardziej, im tunel jest dłuższy, a jego przekrój poprzeczny mniejszy. Na rysunkach naniesiono najważniejsze parametry elementów zespołu, tj. głośnika i obudowy. Są one ze sobą sprzężone i wywierają wpływ na parametry zespołu głośnikowego traktowanego jako całość. Oznaczenia są wyjaśnione w podpisie pod rysunkiem.

Duża liczba powiązanych z sobą wielkości mechaniczno-akustycznych i elektrycznych charakteryzujących zespół z otworem spowodowała opracowanie wielu koncepcji optymalnej pracy takiego zespołu. Literatura na ten temat liczy setki pozycji. Nie będziemy w tym artykule wysuwać jeszcze jednej „recepty” na „bass-reflex” o nadzwyczajnych zdaniem każdego autora właściwościach. Postaramy się natomiast wyjaśnić o co właściwie chodzi.

Obudowa może być tak skonstruowana, że częstotliwość jej rezonansu f_H będzie mniejsza od częstotliwości rezonansowej f_r głośnika, równa tej częstotliwości ($f_H = f_r$) bądź większa od niej. Częstotliwość f_r , to częstotliwość zastosowanego głośnika, zawieszono swobodnie w przestrzeni (zmierzona, a nie katalogowa).

„Ustawienie” częstotliwości f_H względem częstotliwości f_r ma wielkie znaczenie, wpływa bowiem na zachowanie się głośnika w zakresie jego częstotliwości rezonansowej f_r oraz na charakterystykę przenoszenia zespołu głośnikowego i dolną częstotliwość graniczną.

Zanim rozpatrzmy trzy wymienione wyżej przypadki, przypomnijmy sobie co zachodzi w zespole z otworem przy zasilaniu głośnika jedną częstotliwością, od bardzo małej poczynając.

Przy kilku hercach otwór jest sprzężony pneumatycznie z membraną głośnika.

Drgania cząstek powietrza w otworze są w fazie zgodnej z tylną stroną membrany głośnika, a więc mają fazę przeciwną w odniesieniu do przedniej strony membrany. W miarę zwiększania częstotliwości zaznacza się wpływ podatności C_0 i masy akustycznej M_0 (rys. 2). Faza drgań otworu opóźnia się względem tylnej strony membrany. Przy częstotliwości rezonansu f_H różnica wynosi już 90° — przy tej częstotliwości otwór promieniuje najsilniej, a membrana głośnika jest maksymalnie obciążona oporem akustycznym obudowy będącej w stanie rezonansowym. Przy częstotliwości większej niż f_H , faza drgań otworu i przedniej strony membrany są zgodne, zjawiska rezonansowe są słabsze. Poczynając od częstotliwości 3-krotnie większej od f_H można przyjąć, że otwór nie emituje żadnych fal, a jego masa akustyczna spełnia funkcję „korka”, przekształcając obudowę z otworem w obudowę zamkniętą o podatności C_0 .

Z punktu widzenia przetwarzania przez zespół głośnikowy małych częstotliwości istotne znaczenie ma zakres częstotliwości, w którym różnica fazy drgań przedniej strony membrany i otworu jest równa, bądź mniejsza od 90° . W tym bowiem zakresie występuje współdziałanie membrany i otworu, powodujące w efekcie zwiększenie ciśnienia akustycznego promieniowanych przez zespół głośnikowy fal. Przy fazach przeciwnych następuje znoszenie się skutków ich działania i ciśnienie wypadkowe znacznie maleje. Charakterystyka częstotliwościowa zespołu opada gwałtownie w dół.

Przypadek: $f_H < f_r$.

Promieniowanie otworu wystąpi poniżej częstotliwości rezonansowej głośnika. Cała strefa w pobliżu częstotliwości f_r znajduje się w zakresie „wzmacniającego” działania obudowy. Spadek charakterystyki poniżej częstotliwości rezonansowej f_r jest stosunkowo łagodny. Amplituda drgań membrany głośnika w strefie rezonansu f_r jest słabo stłumiona przez obudowę.

Takie rozwiązanie nadaje się do zastosowania w przypadku, gdy dysponujemy wielkim głośnikiem o niezbyt małej częstotliwości rezonansowej ($f_r > 50$ Hz) lub stosujemy zespół 2÷6 jednakowych mniejszych głośników i celem naszym jest przetwarzanie częstotliwości mniejszych

od f_r (zależnie od innych parametrów udaje się osiągnąć poszerzenie zakresu do $f = 0,5 f_r$).

Przypadek: $f_H = f_r$.

Jest to rozwiązanie klasyczne, zalecane od wielu lat przez wielu autorów. W tym przypadku oba układy rezonansowe (głośnik i obudowa) są nastrojone na tę samą częstotliwość, a ponieważ są silnie sprzężone, występują zjawiska analogiczne do sprzężonych obwodów elektrycznych. Amplituda drgań membrany głośnika ma wówczas dwa wierzchołki — powyżej i poniżej częstotliwości $f_r = f_H$. Częstotliwość ta jest doskonale przetwarzana. Poniżej następuje gwałtowny spadek charakterystyki przenoszenia zespołu spowodowany niekorzystnym stosunkiem fazy drgań otworu i membrany. Membrana głośnika jest silnie hamowana w strefie częstotliwości rezonansowej.

Takie rozwiązanie należy stosować w większości przypadków spotykanych w praktyce amatorskiej.

Przypadek: $f_H > f_r$.

Przypuśćmy, że dysponujemy wielkim nowoczesnym głośnikiem niskotonowym o częstotliwości rezonansowej 30 Hz. Jednocześnie zakładamy, że nasz zespół głośnikowy przeznaczony do pokoju mieszkalnego ma przenosić skutecznie pasmo 35÷15 000 Hz. Wobec tego nie jest celowe nastrojanie obudowy na zbyt małą częstotliwość. Natomiast nie jest pożądane wysokie maksimum rezonansowe układu drgającego głośnika, leżące w pasmie przenoszenia. Jeżeli przyjmiemy $f_H = 35\div 40$ Hz, to stłumimy drgania membrany głośnika i uzyskamy bardzo równomierne pasmo do częstotliwości dolnej 30 Hz, przy maksymalnej sprawności przetwarzania zakresu 30÷80 Hz wskutek wykorzystania promieniowania otworu obudowy.

Warto zwrócić uwagę na to, że o ile w praktyce amatorskiej, przy konstruowaniu popularnych zespołów do użytku domowego, ten przypadek raczej nie znajdzie zastosowania, o tyle w odniesieniu do zespołów głośnikowych przeznaczonych do występów estradowych, zastosowanie takiego rozwiązania może okazać się celowe, zapewniając lepsze przetwarzanie w ważnym muzycznie zakresie częstotliwości.

Następny problem, to stosunek M_0 do C_0 , co praktycznie sprowadza się do kwestii: jak dużą objętość powinna mieć obudowa?

Stwierdzono, że istnieje związek między parametrami głośnika i optymalną pojemnością obudowy. Liczne badania doprowadziły do ustalenia, że obudowa powinna mieć taką pojemność, aby po zupełnie szczelnym zamknięciu otworu częstotliwość rezonansowa głośnika f_r była 1,6 razy większa od częstotliwości f_r . Jeżeli ustalimy tym sposobem optymalną wartość podatności C_0 , to wartość masy akustycznej wynika już z zależności [1] i przyjętej częstotliwości f_H . Z czego wynika istnienie tego optimum? Spójrzmy na rys. 2 zakładając, że masa akustyczna M_0 ma już działanie podobne do „korka” i wobec tego obudowę możemy traktować jako zamkniętą. Podatność C_0 obudowy wraz z podatnością zawieszania układu drgającego głośnika C_g daje wartość wypadkową tym mniejszą im mniejsza jest wartość C_0 . Przesuwa to częstotliwość rezonansową głośnika w kierunku częstotliwości większych.

Przy bardzo małej częstotliwości podatność obudowy nie ma znaczenia, a masa otworu M_0 zwiększa masę układu drgającego sumując się z masą M_g układu drgającego samego głośnika. Im większą wartość ma masa M_0 , tym mniejsza będzie częstotliwość rezonansowa.

Z tych rozważań wynika, że jeżeli zastosujemy bardzo małą obudowę i otwór z długim tunelem, to dwa maksima rezonansowe membrany głośnika zostaną bardzo rozsunięte. Przeciwnie — bardzo mała wartość M_0 spowoduje, że zbliżą się one bardzo do siebie. W tym przypadku charakterystyka amplitudy drgań membrany będzie nieznacznie się różniła od charakterystyki głośnika umieszczonego w nieskończenie wielkiej odgradzie płaskiej. Według badań firm amerykańskich — w przypadku nowoczesnych głośników o membranach o dużej masie — stosunek częstotliwości maksimum górnego do częstotliwości maksimum dolnego może wynosić 3,13. Dawniej przy głośnikach o lekkich membranach przyjmowano ten stosunek równy 2,0÷2,5.

Następne ważne zagadnienie, to wielkość otworu. Gdy otwór ma przekrój równy powierzchni czyn-

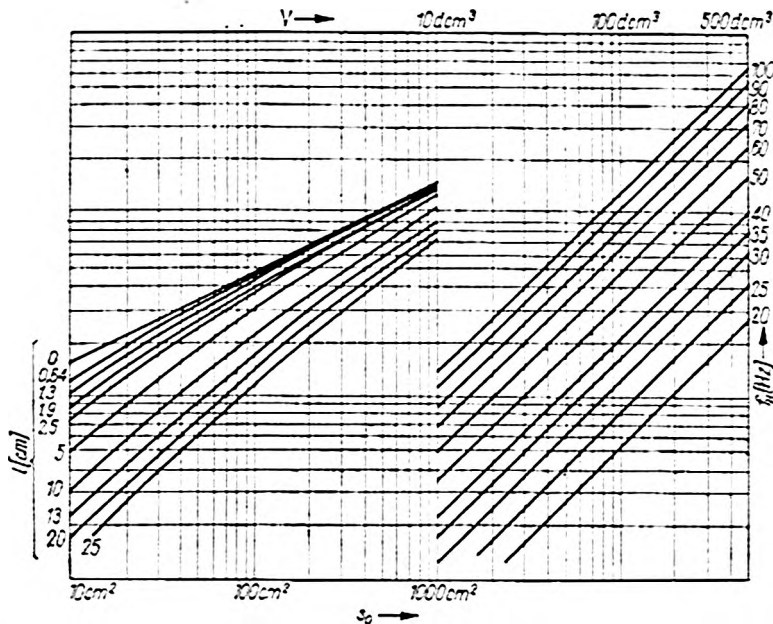
nej membrany głośnika ($S_0 = S_G$), współdziałanie jego z membraną jest bardzo efektywne. Może to spowodować wyrzucenie charakterystyki częstotliwościowej rzędu 6 dB w górę w strefie częstotliwości f_H ($f_H = f_r$), co nie jest pożądane w urządzeniach wyższej klasy, a było bardzo cenione w dawnych czasach, gdy przy wzmacniaczach o niedostatecznej mocy trudno było zapewnić skuteczne przetwarzanie małych częstotliwości odpowiadających basom. Ogólnie biorąc, wytwórcie głośników — z przyczyn, których nie będziemy rozpatrywać szczegółowo — w zestawach domowych Hi-Fi stosują dość małe otwory o powierzchni przekroju wynoszącej: $S_0 = (0.2 \div 0.4) S_G$. W zestawach do nagłośniania sal spotyka się otwory większe — $S_0 = S_G$. Otwór może być podłużny — jego masa akustyczna jest wówczas nieco mniejsza. Można stosować dwa otwory mniejsze zamiast jednego dużego. Zawsze jednak otwór lub otwory powinny być umiejscowione w płycie czołowej zespołu głośnikowego — obok lub poniżej głośnika.

Układ rezonansowy obudowy ma określoną dobroć — analogicznie jak obwód składający się z indukcyjności, pojemności i rezystancji strat. Wobec tego obudowa wzbudzona silnym impulsem akustycznym będzie emitowała gasnące drgania akustyczne o częstotliwości f_H . Jest oczywiste, że może to wpływać na brzmienie odtwarzanej muzyki dzięki wyraźnemu uprzywilejowaniu określonej częstotliwości f_H . Można powiedzieć, że pojawiają się „basy obudowy”.

Stłumienie zdolności rezonansowych obudowy osiąga się przez wprowadzenie do wnętrza materiału dźwiękochłonnego. Duże znaczenie ma również tłumienie drgań własnych głośnika (elektryczne i akustyczne: to ostatnie można zwiększać dowolnie, pokrywając tylną stronę głośnika otuliną o grubości do 10 cm, wykonaną z waty i spranego rzadkiego płótna lub gazy).

Do ustalenia w przybliżeniu zasadniczych parametrów obudowy z otworem może służyć nomogram przedstawiony na rys. 3. A oto sposób postępowania się nim.

Załóżmy, że mamy głośnik o średnicy 20 cm, o zmierzonej częstotliwości $f_r = 70$ Hz. Założyliśmy $f_H = f_r$ oraz $S_0 = 100$ cm². Z nomogramu wynika, że w przypadku



Rys. 3. Nomogram do określania parametrów obudowy głośnikowej z otworem

f_H — częstotliwość rezonansowa obudowy z otworem, S_0 — powierzchnia czynna otworu, V — objętość obudowy (netto), l — długość otworu (tunelu)

obudowy wykonanej z 20 mm sklejek ($l = 2$ cm) pojemność jej netto powinna wynosić 60 dm³, w przypadku zastosowania tunelu o długości 5 cm — 45 dm³.

Doświadczenia producentów zespołów głośnikowych wykazały, że zależnie od częstotliwości granicznej i cech zastosowanego głośnika obudowy zespołów głośnikowych przeznaczonych do pomieszczeń mieszkalnych miekają objętości od 45 dm³ do 200 dm³.

Zależność, na podstawie której można ustalać wymiary obudowy wykraczające poza nomogram z rys. 3, jest następująca:

$$V_0 = \frac{c^2 \cdot S_0}{4 \pi^2 \cdot f_H^2 \cdot (2l + 0,5 \sqrt{\pi \cdot S_0})}$$

przy czym:

V_0 — pojemność obudowy netto w cm³ (odlicza się tunel, głośniki, listwy itp.),

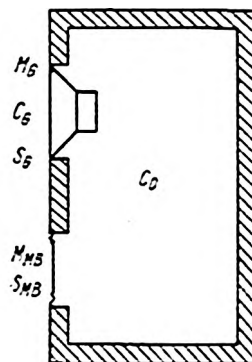
c — prędkość dźwięku w powietrzu — 34 000 cm/s,

S_0 — pole przekroju tunelu lub pole otworu w cm²,

f_H — częstotliwość rezonansowa obudowy, przeważnie $f_H = f_r$ w Hz,

l — długość tunelu w cm.

Niektóre informacje przydatne przy konstruowaniu zespołów z otworem



Rys. 4. Schemat zespołu głośnikowego z membraną bierną

Oznaczenia jak na rys. 2, oraz: M_{MB} — masa akustyczna membrany biernej, S_{MB} — powierzchnia czynna membrany biernej

zostaną podane w następnych artykułach tego cyklu.

Zamiast stosowania otworu otwartego z tunelem można zastosować membranę bierną, jak to przedstawiono na rys. 4. Stosuje się membrany o dość znacznej masie; masa akustyczna całkowita M_{MB} jest większa o 10÷25% wobec wpływu masy współdrżającej powietrza. Podatność takiej membrany biernej jest tak duża, że może być pominięta wobec wartości podatności obudowy C_0 . Częstotliwość rezonansowa f_H zależy więc od wartości M_{MB} i C_0 — wzór [1]. W stosowanych praktycznie rozwiązaniach przeważnie $f_H = f_r$ lub $f_H < f_r$, a $S_{MB} = S_G$. Jakie korzyści daje stosowanie membran biernych?

Przed wszystkim łatwo jest sporządzić membranę o wymaganej masie, a nawet można dostrajać częstotliwość obudowy docinając membranę ciężarkami wycinanymi z blachy i mocowanymi współśrodkowo do membrany. Nie powstają straty spowodowane tarcieniem powietrza o ścianki długiego tunelu. Łatwe jest śledzenie działania zespołu, ponieważ drgania membrany biernej są doskonale widoczne.

Dla ułatwienia, w tabelicy podano masę membrany biernej w odniesieniu do kilku objętości obudowy i częstotliwości.

Membrany bierne są bardzo miękko zawieszone (duża wartość podatności zawieszenia). Membrana zwykłego głośnika papierowego nie nadaje się do tego celu. Jej kołnierz powinien być zastąpiony innym, bardziej elastycznym i umożliwiającym

drganie z większą amplitudą.

Częstotliwość rezonansowa takiej membrany (zawieszonej swobodnie, bez obudowy) wynosi 7-15 Hz.

Stosowanie membran biernych jest uzasadnione przy konstruowaniu ze-

spółów o bardzo małej dolnej częstotliwości granicznej, co wymaga posiadania również odpowiedniego głośnika niskotonowego. Spotyka się zespoły głośnikowe z membraną bierną o objętości od 20 do 100 dm³.

Tabela

Wybrane dane obudów zespołów głośnikowych z membraną bierną

Objętość obudowy [dm ³]	$f_H = 50 \text{ Hz}$		$f_H = 40 \text{ Hz}$		$f_H = 30 \text{ Hz}$	
	D [cm]	M_M [g]	D [cm]	M_M [g]	D [cm]	M_M [g]
30	15	16	18	44	—	—
40	16	12	18	32	—	—
50	18	14	20	37	—	—
60	—	—	20	30	20	57
80	—	—	—	—	22	88

Oznaczenia:

D — średnica skutecznie drgającej części membrany biernej; M_M — masa membrany biernej bez masy współdrgającej powietrza (część drgająca).

Zespoły zamknięte

Zespoły zamknięte czyli takie, w których tylna strona głośnika jest oddzielona od strony przedniej szczelną obudową zamkniętą, rozpow szechniły się w związku z rozwojem stereofonii. Czemu należy przypisać „karierę” zespołów tego właśnie typu? Jak wiadomo, obudowa zamknięta umożliwia zrealizowanie w praktyce idei nieskończenie wielkiej odrody akustycznej oddzielającej fale akustyczne wytwarzane przez przednią i tylną stronę membrany, co zabezpiecza przed ich wzajemnym oddziaływaniem, do najmniejszych częstotliwości akustycznych włącznie.

Istotnie, jeżeli wyobrazimy sobie głośnik wbudowany do idealnie sztywnej skrzyni wypełnionej materiałem dźwiękochłonnym, tak aby energia promieniowana przez tylną stronę membrany została całkowicie pochłonięta, to kosztem 50% energii traconej wyeliminujemy wpływ fal promieniowanych przez tylną stronę membrany głośnika. Wobec zwiększonych wymagań jakościowych i w związku z rozwijaniem się techniki Hi-Fi wzrasta zapotrzebowanie na zespoły dobrze odtwarzające najmniejsze częstotliwości czyli basy, a równocześnie mało wymiarowe, kwalifikujące je do zastosowania w

nowoczesnych mieszkaniach. Obie te zalety wykazują zespoły zamknięte. O ich wadach napiszemy niżej.

Wmontujmy do obudowy zamkniętej bardzo miękko zawieszoną membranę o średnicy d_M . Niech zawieszenie membrany będzie tak miękkie, że jego wpływ może być pominięty. Wtedy częstotliwość rezonansowa układu może być obliczona z zależności:

$$f_z = \sqrt{\frac{\rho \cdot c^2}{64} \cdot \frac{d_M^4}{M_{MB} \cdot V_0}} = \sqrt{\frac{\rho \cdot c^2}{40} \cdot \frac{S_M}{M_{MB} \cdot V_0}} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

w której:

- f_z — częstotliwość rezonansowa membrany (Hz),
- d_M — średnica czynna membrany (m),
- S_M — powierzchnia czynna membrany (m^2),
- M_{MB} — masa membrany wraz z masą współdrżącą (kg),
- V_0 — objętość obudowy (m^3),
- c — prędkość dźwięku w obudowie: przy obudowie wypełnionej tylko powietrzem — $c = 340 \text{ m/s}$; w przypadku całkowitego zapelnienia obudowy watą mineralną — $c = 260 \text{ m/s}$,
- ρ — gęstość powietrza równa $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Z podanej zależności wynika, że na częstotliwość rezonansową f_z wpływają: średnica czynna membrany (d_M), masa membrany (M_{MB}) i objętość obudowy (V_0). Zamiast średnicy czynnej membrany można operować powierzchnią czynną membrany (S_M). Uderza szczególnie wielki wpływ średnicy czynnej membrany na częstotliwość rezonansową. W tabelicy 1 podano wyniki kilku obliczeń wykonanych w oparciu o zależność (1).

Membrana „zawieszona pneumatycznie” na poduszce powietrznej obudowy zamkniętej ma dość wielką częstotliwość rezonansową, której zmniejszenie jest możliwe przez:

- zmniejszenie średnicy membrany,
- zwiększenie objętości obudowy,
- zwiększenie masy membrany.

Pierwszy z tych sposobów ma tę wadę, że dla uzyskania takiej samej mocy akustycznej emitowanej przez przednią stronę membrany, konieczne jest odpowiednie zwiększenie amplitudy drgań membrany.

Pociąga to za sobą specjalne wymagania co do konstrukcji głośnika oraz zmusza do ograniczenia pasma przetwarzanych przez głośnik częstotliwości do częstotliwości niezbyt wielkich, bowiem duże prędkości ruchu membrany przy małych częstotliwościach powodują zniekształcenia wywołane zjawiskiem Dopplera przy częstotliwościach większych.

Zwiększenie objętości obudowy jest wysoce niekorzystne ze względów

Tabela 1

Przykłady zależności częstotliwości rezonansowej f_z drgań membrany od jej średnicy i masy oraz objętości obudowy zamkniętej

Częstotliwość rezonansowa f_z [Hz]	Średnica czynna membrany [cm]	Masa czynna membrany [g]	Objętość obudowy [dm ³]
78	8	5	3
60	8	5	5
95	12	10	5
65	12	10	10
60	15	20	15
53	15	20	20
57	18	35	20
41	18	35	35

użytkowych oraz nie jest wielkością niezależną w przypadku zastosowania głośników o bardzo miękkim zawieszeniu układu drgającego. Bowiem „zawieszenie pneumatyczne” na poduszce powietrznej obudowy odgrywa ważną rolę, ograniczając amplitudę drgań tegoż układu przy najmniejszych częstotliwościach. Inaczej — jeśli znacznie zwiększymy podatność zawieszenia mechanicznego układu drgającego głośnika, prowadząc jego rolę głównie do współosiowego prowadzenia cewki drgającej w szczeliny roboczej, to konieczne jest zapewnienie odpowiedniego „zawieszenia pneumatycznego”. Obudowa głośnika nie może mieć objętości większej od ustalonej przez producenta.

Zwiększenie masy membrany, a właściwie masy układu drgającego zmniejsza wydatnie sprawność głośnika przy częstotliwościach średnich i większych — jest więc wysoce niekorzystne.

Wszystkie trzy wymienione parametry są ze sobą związane. Konstruktor zespołu zamkniętego i głośnika do takiego zespołu poszukuje optymalnego kompromisu, biorąc pod uwagę wszystkie wymienione czynniki.

Częstotliwość rezonansowa układu drgającego głośnika wbudowanego do obudowy zamkniętej jest oczywiście większa od częstotliwości rezonansowej tegoż głośnika zawieszonego swobodnie. Częstotliwość tą, którą oznaczamy f_{0z} , może zostać określona z zależności:

$$f_{0z} = \sqrt{f_r^2 + f_z^2} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

w której:

f_{0z} — częstotliwość rezonansowa układu drgającego głośnika w obudowie zamkniętej (Hz),

f_r — częstotliwość rezonansowa układu drgającego tegoż głośnika zawieszonego swobodnie (Hz),

f_z — częstotliwość rezonansowa (Hz) membrany tegoż głośnika (wraz z cewką i innymi elementami współdrżącymi) wbudowanej do obudowy w taki sposób, że jest ona zawieszona wyłącznie pneumatycznie, która to częstotliwość może być obliczona z zależności (1).

Ponieważ — jak wynika z zależności (2) — częstotliwość wypadkowa f_{0z} jest sumą geometryczną częstotliwości f_r i f_z , to w przypadku, gdy $f_r = f_z$ częstotliwość $f_{0z} = 1,41 f_r = 1,41 f_z$.

Konstruktor obudowy do zespołu zamkniętego, stosujący określony głośnik, ma zadanie łatwiejsze, ponieważ cechy samego głośnika przesądzą jaka powinna być objętość obudowy. Parametrami do ustalenia pozostają więc kształt obudowy, stopień jej wylumienia oraz szczegóły konstrukcyjne.

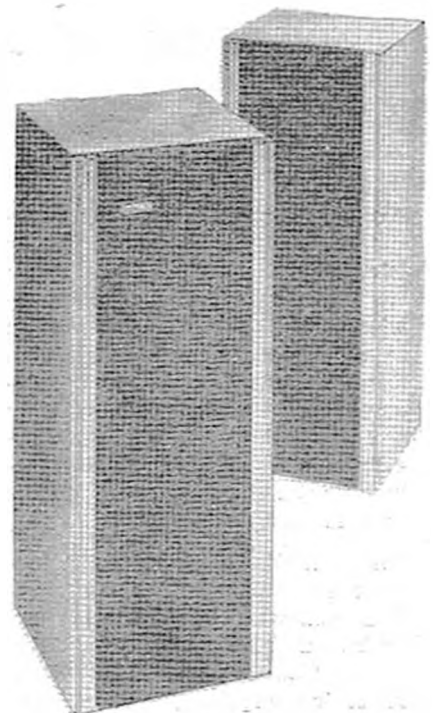
W zamkniętych zespołach głośnikowych są stosowane obecnie głośniki niskotonowe, nisko-średniotonowe i szerokopasmowe przeznaczone specjalnie do takich zespołów. Spośród głośników krajowych należą do nich: GDN 16/10 oraz nowe — GD 12/3, GDN 16/15 i GDN 25/40. Głośniki takie nazywano kiedyś głośnikami do zespołów „compact”. Nie ma to obecnie uzasadnienia wobec tego, że wytwarzane są obecnie głośniki przeznaczone do zespołów zamkniętych o objętości wewnętrznej od 1 do 100 dm³ o mocy znamionowej od 5 do 100 W.

Z przedstawionych na wstępie rozważań wynika, że stosowanie głoś-

ników uniwersalnych, o małej podatności zawieszenia i nie przystosowanych do drgań o dostatecznie wielkiej amplitudzie, do zespołów zamkniętych nie ma sensu. Konieczne bowiem staje się zastosowanie obudów o objętości 150÷400 dm³.

Obudowa zespołu zamkniętego powinna być zupełnie szczelna. Jest to wymagane szczególnie istotne w przypadku obudów o małej objętości. Szczelność obudowy z wmontowanym głośnikiem można wypróbować naciskając delikatnie na membranę głośnika i utrzymując ją wychyloną w głąb obudowy przez 1÷2 minuty. Po nagłym zwolnieniu membrany powinna ona powracać do położenia spoczynkowego ruchem wolnym w ciągu kilku sekund.

Większość zespołów ma kształt prostopadłościanu. Nie jest to kształt najkorzystniejszy ze względów akustycznych, lecz jego zalety konstrukcyjne są bezsporne. Szerokość obudowy zespołu jest podyktowana średnicą głośnika niskotonowego. Zaleca się — o ile to możliwe — konstruowanie zespołów o małej szerokości, co wpływa na polepszenie charakterystyki kierunkowości promieniowania tonów średnich i wysokich.

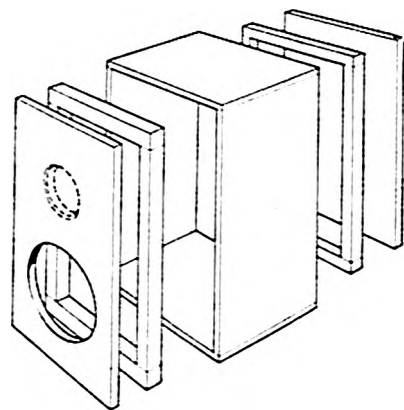


Rys. 1. Zespół zamknięty o mocy 30 W („Goodmans” — Double Maxim)

Na rysunku 1 przedstawiono mały zespół zamknięty o objętości wewnętrznej 9 dm³, zawierający trzy

głośniki: dwa nisko-średnio-tonowe i jeden wysokotonowy (kopułkowy). Warto zwrócić uwagę na kształt zespołu.

Ważnym wymaganiem jest, aby obudowa zespołu zamkniętego była sztywna, wykonana z dostatecznie grubej sklejki wzmocnionej w narożach listwami. Jeśli któryś z rozmiarów przekracza 40 cm, zaleca się zastosowanie listew wiążących ze sobą przeciwległe ścianki oraz listew usztywniających.



Rys. 2. Szkic konstrukcyjny obudowy zamkniętej według zaleceń firmy „Goodmans”

Zalecenia konstrukcyjne dotyczące obudów zamkniętych do głośników krajowych

Typ głośnika	Objętość obudowy netto [dm ³]	Grubość ścianek ze sklejki [mm]	Materiał tłumiący — wata [g]	Uwagi
GD 12,8	5÷7	13÷15	> 150	Jednodrożny
GDN 16,10	7÷10	15÷19	> 200	Dwudrożny z głośnikiem wysokotonowym GDW 6,5 1,5
GDN 16,15	8÷12	15÷19	> 250	Dwudrożny z głośnikiem wysokotonowym GDW 9 1,5
GDN 25 40	35	19÷24	> 500	Dwudrożny lub trójdrożny

Przystosowana do odejmowania jest przeważnie ścianka tylna obudowy, przy czym umocowuje się ją kilkoma wkrętami na gumowej lub plastikowej podkładce uszczelniającej. Szkic konstrukcyjny obudowy zamkniętej według zaleceń firmy „Goodmans” przedstawiono na rys. 2.

Objętość obudowy powinna być obliczona netto, to jest z uwzględnieniem objętości listew, samego głośnika i wszelkich innych przedmiotów. Jeśli w tej samej obudowie znajduje się wydzielona komora

głośnika średnio-tonowego, to oddzielenie oblicza się objętość każdej z komór.

Zalecenia dotyczące obudów zamkniętych do głośników krajowych są zamieszczone w tablicy 2.

Tylko bardzo małe zespoły zamknięte typu popularnego są wyposażone w jeden głośnik szerokopasmowy. Przeważająca większość zespołów, to zespoły dwudrożne wyposażone w 2÷3 głośniki. Większe zespoły lepszej klasy to przeważnie zespoły trójdrożne.

ZESPOŁY GŁOŚNIKOWE (4)

Głośnikowe obudowy z otworem stratnym, labiryntowe i tubowe

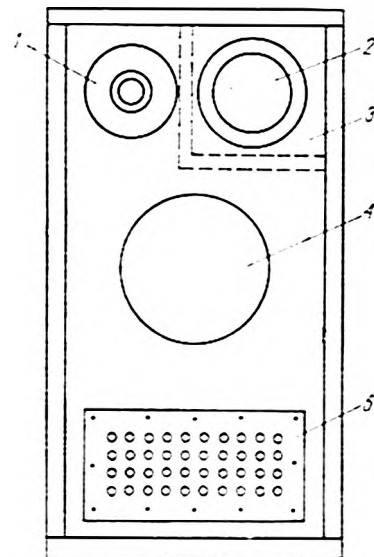
Obudowa głośnikowa z otworem stratnym może być porównana z obudową z otworem, w której otwór przykryto materiałem powodującym straty energii akustycznej (przemianę energii akustycznej w energię cieplną). Materiałem takim może być sukno, flanela, kilka warstw płótna lub inny materiał porowaty. Warstwa materiału przesłaniająca otwór musi być umocowana sztywno, aby nie drgała w takt drgań akustycznych wzbudzanych przez głośnik.

Teoria działania takiej obudowy jest bardzo złożona. W uproszczeniu można ją wyjaśnić następująco. Przy małym oporze akustycznym wkładki stratnej działanie zespołu głośnikowego jest zbliżone do zespołu z otworem z tym, że drgania rezonansowe obudowy są słabiej wyrażone. Słabsze jest również promieniowanie otworu. Przy zastosowaniu wkładki stratnej, bardzo „gęstej”, przenika przez nią na zewnątrz bardzo mała część energii akustycznej i zespół nabiera cech zespołu zamkniętego. Zależnie więc od wielkości otworu i właściwości

wkładki stratnej zmieniają się parametry zespołu głośnikowego. Oczywiście zależą one również od objętości komory głośnikowej zespołu i cech samego głośnika.

Na rysunku 1 przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne zespołu z otworem stratnym. Wkładka stratna jest wykonana z dwóch płytek z dobrej sklejki o grubości $6 \div 8$ mm, w których wykonane są otwory o średnicy $15 \div 30$ mm. Pomiędzy płytkami znajduje się trwale umocowana tkanina lub inny porowaty szorstki materiał. Rodzaj i grubość materiału ma duży wpływ na działanie otworu stratnego. Powierzchnia wszystkich otworów powinna wynosić $30 \div 20\%$ powierzchni rzutu na płaszczyznę drgającej części membrany głośnika. W głośnikach GD30/15 i GD30/30 powierzchnia otworów powinna wynosić $200 \div 400$ cm². Płytki, pomiędzy którymi znajduje się tkanina, mogą być sporządzone z metalu, a tkanina wklejona tak — aby pozostała porowata przy samych otworach. W otworach powinna ona być dobrze napięta.

Dobrze wykonana, masywna obudowa o objętości $60 \div 130$ dcm³ może być eksperymentalnie wypróbowana jako obudowa z otworem i obudowa z otworem stratnym. Wystarczy wykonać odpowiednie wymienne wkłady do wyciętego w w dolnej części obudowy otworu.

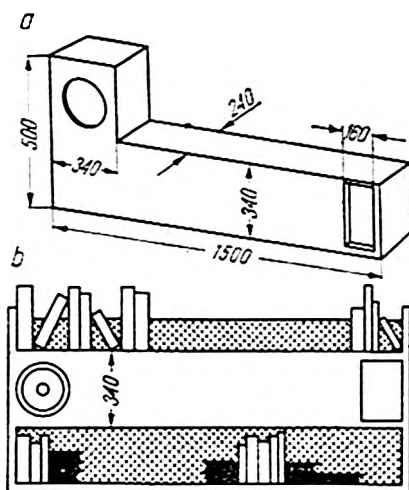


Rys. 1. Zespół głośnikowy z otworem stratnym
1 — kopułkowy głośnik wysokotonowy, 2 — głośnik średnionotonowy, 3 — komora głośnika średnionotonowego, 4 — głośnik niskotonowy, 5 — otwór stratny

OBUDOWA LABIRYNTOWA

Klasyczna obudowa labiryntowa jest dostatecznie długim kanałem biegnącym od tylnej strony głośni-

ka, tak długim, aby przy wybranej częstotliwości móc uzyskać przesunięcie fazowe równe 180° . Wtedy drgania przedniej strony membrany i wylotu kanału będą miały fazę zgodną. Na przykład, obudowa labiryntowa przedstawiona na rys. 2, ma długość około 1,8 m. Przesunięcie fazowe mało różniące się od 180° uzyska się przy częstotliwościach $80 \div 120$ Hz. Przy częstotliwości około 50 Hz obudowa będzie miała długość równą $1/4$ długości fali, wtedy promieniować będzie głównie wylot kanału, a membrana głośnika będzie silnie obciążona, przekazując energię głównie do kanału obudowy (obudowa będzie działać podobnie do piszczalki organowej o długości $1/4$ fali). W celu stłumienia efektów rezonansowych przy większych częstotliwościach wprowadza się do kanału materiał dźwiękochłonny w postaci wykładziny.



Rys. 2. Obudowa labiryntowa w wykonaniu amatorskim

a - przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne obudowy labiryntowej, b - obudowa labiryntowa wbudowana w półki na książki

Na rysunku 2b przedstawiono obudowę labiryntową wmontowaną w półkę na książki.

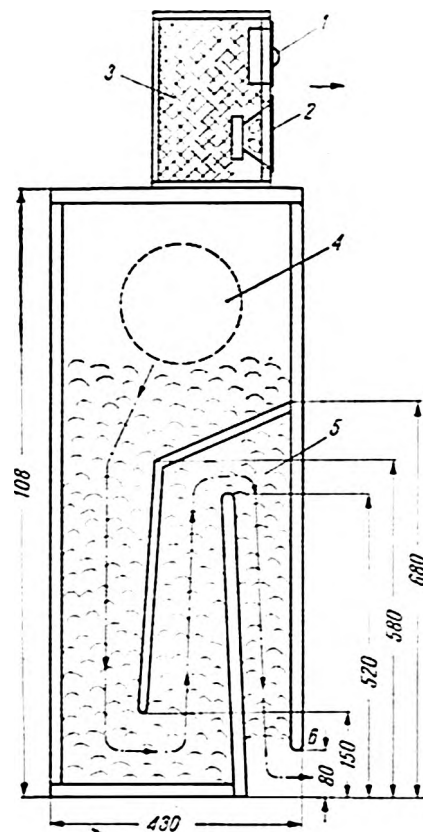
Prostym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest wykorzystanie naroża pomieszczenia do wykonania obudowy labiryntowej. Wystarczy w tym przypadku dopasować do ścian płytę o szerokości 490÷500 mm, przykrytą szczelnie u góry i uniesioną nad podłogą o 100÷150 mm. Głośnik wmontowuje się oczywiście w górnej części tak utworzonego kanału.

Wytwórnice głośników produkują obudowy labiryntowe z kanałem powyginanym, utworzonym przez

wstawienie licznych przegród do obudowy o kształcie prostopadłościanu.

Ostatnio pojawiła się na rynku światowym odmiana obudowy labiryntowej o innej zasadzie działania, nazywana akustycznym torem transmisyjnym (z ang. „acoustic transmission line”). Zespół głośnikowy określa się jako zespół z torem transmisyjnym (z ang. „transmission line loudspeakers box”). Przekrój takiej obudowy jest przedstawiony na rys. 3. W danym przypadku jest ona przeznaczona do dwóch głośników niskotonowych umieszczonych w dwu bocznych ściankach. Komora głośnikowa jest połączona z przestrzenią zewnętrzną długim kanałem (labiryntem) wypełnionym długowłosa wełną owczą, zawieszoną na cienkich długich gwoździach, tak aby nie opadała w dół.

Nazwa obudowy dość sztucznie nawiązuje do pewnej analogii z działaniem długiego elektrycznego toru transmisyjnego. Tor taki nie jest elektrycznie „przezroczysty” i u jego wejścia nie stwierdza się ewentualnych odbić energii, występujących gdzieś daleko u jego końca. W przypadku obudowy głośnikowej chodzi o znalezienie sposobu oddzielenia strony tylnej membrany głośnika od strony przedniej. Istotnie, jeżeli wmontujemy głośnik do wylotu bardzo długiej rury — tak długiej, że fale akustyczne w niej zanikają wskutek strat — to powstanie układ oddzielający skutecznie tylną stronę membrany. Przy stosowaniu względnie krótkiego toru, konieczne jest zwiększenie powstających strat. W tym celu labirynt za głośnikiem wypełnia się wełną. Stosownie do tego zespoły takie mają inną nazwę „zespoły z kanałem oporowym” (z ang. „resistive tunell louspeaker cabinet”). Zasadą działania tego rodzaju zespołów jest więc pochłanianie fal dźwiękowych emitowanych przez tylną stronę membrany, bez odbić i efektu „pneumatycznego zawieszenia” membrany charakterystycznego dla zespołów zamkniętych. Praktycznie udaje się osiągnąć wysoki stopień pochłaniania do częstotliwości $100 \div 70$ Hz. Promieniowanie najmniejszych częstotliwości akustycznych przedostaje się przez labirynt z materiałem dźwiękochłonnym aż do wylotu. Jest ono jednak słabe i nie wywiera większego wpływu na działanie głośnika.



Rys. 3. Obudowa labiryntowa typu „akustycznego toru transmisyjnego”

1 - głośnik wysototonowy, 2 - głośnik średnietonowy, 3 - komora głośnika lub kilku głośników średnietonowych, 4 - głośnik niskotonowy, 5 - kanał wypełniony długowłosą wełną owczą, 6 - wylot kanału

ków niskotonowych. Konieczne jest oczywiście zastosowanie głośników niskotonowych o odpowiednich parametrach.

Długość kanału wynosi: $1,8 \div 2,2$ m. Wylot kanału ma powierzchnię mniejszą od czynnej powierzchni membran głośników, a kształt kanału i gęstość materiału tłumiącego dobiera się doświadczalnie. Odpowiednie wypełnienie kanału ma duży wpływ na dobre działanie zespołu.

Zespół głośników średniotonowych i wysokotonowych stanowi oddzielną całość. W przypadku zespołów promieniujących cokołinnie (360°) są stosowane 4 głośniki średniotonowe i 4 głośniki wysokotonowe. Cały zespół głośnikowy ma więc 10 głośników.

W uzupełnieniu podamy, że na przykład firma CAMBRIDGE AUDIO wytwarza dwa typy kompletnych zespołów głośnikowych tego rodzaju, mających kształt prostopadłościanu:

TL100 — o mocy 40 W i wymia-
rach: szerokość 33 cm, głębokość

33 cm, wysokość 78 cm; jest to zespół trójdrożny (głośnik niskotonowy przetwarzający częstotliwości 35÷400 Hz);

TL200 — o mocy 50 W i wymiarach: szerokość 33 cm, głębokość 44,5 cm, wysokość 103 cm; jest to zespół czterodrożny przetwarzający od 30 Hz do 25 kHz (±3 dB).

Zespoły głośnikowe labiryntowe o działaniu podobnym do toru transmisyjnego należą obecnie do najdroższych.

OBUDOWA TUBOWA

Odpowiednia tuba może stanowić znakomity element dopasowujący między membraną głośnika i otwartym środowiskiem. Działanie tuby można w skrócie wyjaśnić następująco: jeżeli tuba rozszerza się nieznacznie w stosunku do swojej długości, to biegnąca tubą fala — wytwarzana przez membranę głośnika — może być uważana za falę płaską. Ponieważ przekrój tuby jest przy wylocie o wiele większy niż przy wlocie, a wylot tuby jest elementem promieniującym, powstaje efekt lepszego dopasowania impedancji. Zwiększa się sprawność energetyczna przetwarzania. Tuby mogą być hiperboliczne, wykładnicze i stożkowe zależnie od tego, według jakiej funkcji zmienia się przekrój tuby na jednostkę przyrostu jej długości.

W większości przypadków stosuje się tuby zbliżone do wykładniczych. Te właśnie tuby przyjmiemy za podstawę dalszych rozważań.

Na rysunku 4a przedstawiono tubę z wlotem o przekroju S_1 i wylotem o przekroju S_2 .

Przekrój w dowolnym miejscu może być określony według zależności

$$S_x = S_1 \cdot e^{kx} \quad [1]$$

w której:

S_x — przekrój tuby w odległości x od wlotu (cm^2),

$e = 2,718$ — podstawa logarytmów naturalnych,

x — odległość od wlotu tuby (cm),

k — współczynnik kształtu tuby.

Współczynnik kształtu tuby jest zależny od częstotliwości granicznej zaprojektowanej tuby i może być obliczony według zależności:

$$k = \frac{4\pi \cdot f_g}{c} = \frac{4\pi}{\lambda_g} \quad [2]$$

w której:

f_g — założona częstotliwość graniczna (najmniejsza częstotliwość przenoszona przez tubę wykładniczą jest w praktyce większa 1,2÷1,5 razy),
 c — prędkość dźwięku w powietrzu: $c = 34\,000 \text{ cm/s}$,

λ_g — długość fali w powietrzu (cm).
Łatwo zauważyć, że im mniejsza jest częstotliwość f_g , tym mniej powinna się rozszerzać tuba na jednostkę długości. Powinien zostać spełniony jeszcze jeden warunek: wylot tuby nie powinien być zbyt mały w stosunku do założonej częstotliwości granicznej f_g . Warunek ten wyrazić można następująco:

$$D_2 = \frac{c}{\pi \cdot f_g} = \frac{\lambda_g}{\pi} \quad [3]$$

przy czym: D_2 — średnica wylotu tuby (cm).

Znając z założenia f_g , można obliczyć minimalną wartość D_2 oraz wartość S_2 .

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \quad [4]$$

Korzystając z podanych zależności i wprowadzając logarytmy dziesiętne zamiast naturalnych, otrzymujemy zależność umożliwiającą obliczenie najmniejszej długości tuby wykładniczej:

$$l = \frac{2,3}{k} \cdot \lg \frac{S_2}{S_1} \quad [5]$$

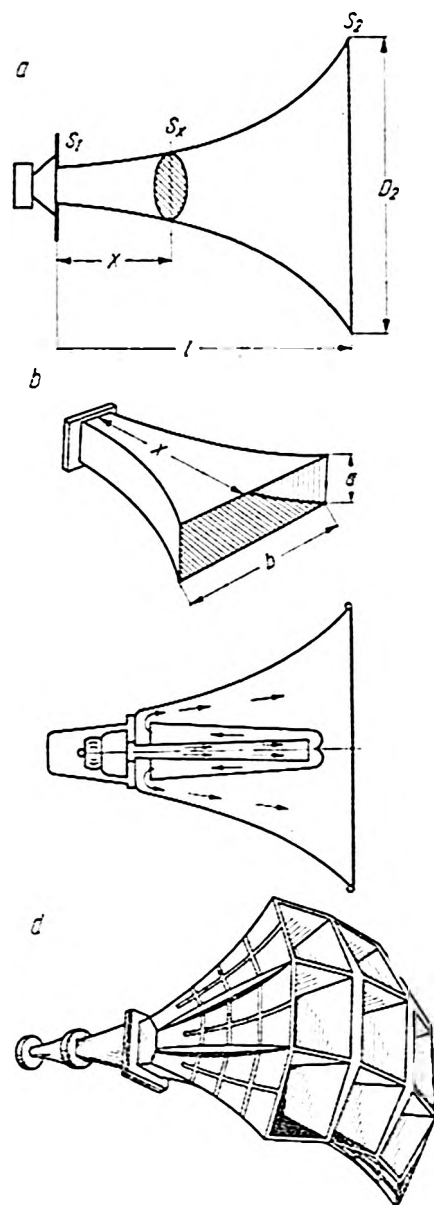
przy czym: l — długość tuby (cm).

Przykład. Zamierzamy wykonać tubę do głośnika niskotonowego o średnicy 25 cm. Przyjmujemy średnicę wlotu 18 cm; wobec tego $S_1 = 250 \text{ cm}^2$. Częstotliwość graniczna $f_g = 40 \text{ Hz}$.

Obliczamy

$D_2 = 273 \text{ cm}$, $S_2 = 57\,700 \text{ cm}^2$. Współczynnik kształtu tuby: $k = 0,0147$. Długość tuby według (5) wyniesie: $l = 370 \text{ cm}$.

Z podanego przykładu wynika, że zastosowanie obudowy tubowej jest ograniczone do przypadków, gdy możliwe jest zainstalowanie urządzenia o znacznych wymiarach. Zastosowanie obudowy tubowej w małych mieszkaniach przenoszących małe częstotliwości akustyczne jest niemożliwe. Nie zniechęcajmy się jednak. Tuby mają tak doskonałe własności i tak znacznie podnoszą sprawność przetwarzania, że



Rys. 4. Tuby i głośniki tubowe

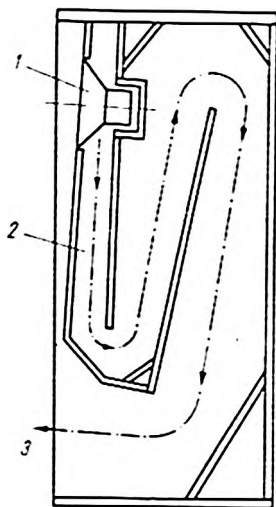
a — tuba wykładnicza stanowiąca obudowę głośnika, b — tuba stożkowa, c — tubowy głośnik (szkielet), d — wieloelementowa tuba zapewniająca lepszą charakterystykę kierunkowości promieniowania

nie należy rezygnować z ich zastosowania np. w świetlicach lub dyskotekach.

Łatwiejsze do wykonania są tuby kanciaste (rys. 4b). Szczególnym przypadkiem jest tuba o przekroju prostokątnym, przy czym górna i dolna ścianka są do siebie równoległe na całej długości tuby. Powierzchnię wylotu takiej tuby obliczamy z wymiarów geometrycznych ($S_2 = a \cdot b$). Wlot jest najczęściej kwadratem — przy stosowaniu jednego głośnika. Przy dwóch głośnikach membranowych wlot będzie oczywiście prostokątem.

W celu skrócenia tuby i nadania całej obudowie głośnika bardziej zwartej konstrukcji, tubę wykonuje się jako „zwinietą” w postaci kanału o zwiększającym się odpowiednio przekroju.

Na rysunku 5 przedstawiono przekrój takiej tuby do głośnika niskotonowego. Jeśli kształt tuby będzie zbliżony do tuby stożkowej, to przy identycznych wymiarach wlotu i wylotu nie są osłabiane tak silnie częstotliwości mniejsze od f_2 .



Rys. 5. Obudowa tubowa do głośnika niskotonowego (model firmy LOWTHER)

1 - głośnik; 2 - kanał tuby; 3 - wylot

Wobec dużej sprawności staje się w zasadzie możliwe przetwarzanie do częstotliwości 30 Hz przy objętości obudowy 300 dm³. Średnia sprawność zespołów, w których zastosowano dobrze zaprojektowaną obudowę tubową wynosi w zakresie 50÷500 Hz do 10²%, to jest 10-krotnie więcej niż sprawność zespołów zamkniętych. Zaletą obudowy tubowej jest również silne obciążanie akustyczne membrany i wobec tego dobre przetwarzanie impulsów oraz małe zniekształcenia. Ze względu na te zalety ma sens stosowanie obudów tubowych i w wielu innych przypadkach. Pierwszym z nich jest zastosowanie tuby do głośnika średniotonowego zespołu trójdźwięnego. Małe zniekształcenia nieliniarne i dobre wykorzystanie głośnika są w tym zakresie bardzo istotne. W kraju nie są jeszcze wytwarzane specjalne głośniki średniotonowe. Można wykorzystać do tego celu głośnik GD12/5 lub GD12/8, który będzie znakomicie pracował po dodaniu tuby (rys. 4b) wykonanej np. z gazy lekarskiej i gipsu lub tektury i gipsu. Tubę można wykonać także z blachy i pokryć warstwą pasty tłumiącej lub okleić linołum. Wylot takiej tuby — przyjmując częstotliwość graniczną 350 Hz — będzie miał powierzchnię zaledwie 600 cm², a długość tuby wyniesie

20÷25 cm. Przy stawianiu takiej tuby obok niskotonowego głośnika otwartego należy pamiętać, że np. przy częstotliwości 700 Hz faza promieniowania wylotu tuby jest przesunięta prawie dokładnie o 180° w stosunku do membrany głośnika średniotonowego. Może to mieć wpływ na współdziałanie głośników w zakresie częstotliwości przetwarzanych przez oba głośniki.

Dzięki dużej sprawności głośniki z tubą znalazły szerokie zastosowanie do nagłośniania obiektów otwartych, do urządzeń nagłośniających przenośnych i przewoźnych oraz do przekazywania informacji na dworcach. Typowy głośnik służący do nagłośniania, z tubą stanowiącą jego integralną część, jest przedstawiony na rys. 4c; głośniki takie przenoszą pasmo od 300÷500 Hz do 5000 Hz. Tuba jest przeważnie metalowa. Dla polepszenia charakterystyki kierunkowości stosuje się często tuby wieloelementowe (rys. 4d) lub wyposażone w soczewki akustyczne, utworzone z ustawionych pod odpowiednim kątem przy wylocie tuby płytek metalowych. W zespołach dużej mocy są stosowane chętnie również głośniki wysokotonowe wyposażone w tubę i soczewkę akustyczną.

Konstruowanie obudów głośnikowych

Obudowa głośnikowa powinna być dostatecznie sztywna, aby nie „pulsowała” przy zmianach ciśnienia, a jej własne drgania rezonansowe powinny być nieznaczne. Osiągniemy to, jeżeli jej ścianki będą dostatecznie masywne i silnie związane. W przypadku większych płaszczyzn stosuje się listwy usztywniające i klamry, wiążące ze sobą przeciwnie ścianki.

Zwiększanie sztywności ścianek nie zapobiega jednak występowaniu drgań, przesuwając je ku większym częstotliwościom, co jest korzystne. Tłumienie tych drgań zależy od własności materiału konstrukcyjnego z jakiego obudowa jest wykonana. Najlepszy jest materiał o dobrych własnościach konstrukcyjnych i wielkiej stratności, to jest taki, w którym występujące tarcia wewnętrzne powodują przetwarzanie energii drgań w ciepło.

Do materiałów o wielkiej stratności należą: linoleum podłogowe, wykładzina podłogowa z PCW, gruba tektura, ruberoid (dobra papa dachowa), filc prasowany. Materiały te są zbyt miękkie i słabe, aby można było wykonać z nich obudowę głośnikową. Nadają się więc tylko do polepszenia właściwości użytych materiałów.

Podstawowym materiałem do konstruowania obudów głośnikowych są dobra sklejka i twarde płyty

wiórowe. Nie zaleca się stosowania desek, ponieważ cechuje je mniejsza stratność. W warunkach amatorskich najłatwiej jest wykonać obudowę z odpowiednio grubej sklejki lub płyty, przy czym zawsze jest lepsza obudowa z grubej sklejki, niż obudowa z płyt zbyt cienkich.

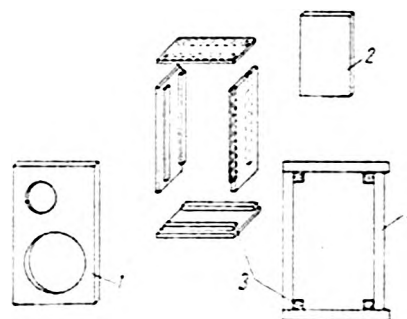
Płyty „uszlachetnione” przygotowuje się w przypadku, gdy zależy nam na lekkości obudowy lub gdy nie możemy zdobyć płyt dostatecznie grubych. Wtedy płytę ze sklejki należy pokryć przez naklejenie warstwy materiału o dużej stratności. Związanie materiałów należy wzmocnić gwoździami lub wkrętami. Dobrym rozwiązaniem jest wykonanie płyt z trzech warstw: dwie warstwy zewnętrzne stanowi sklejka, a warstwę wewnętrzną — ruberoid lub linoleum.

Małe obudowy wykonuje się ze sklejki o grubości 12 mm; obudowy największe wykonuje się z płyt o grubości 24 mm, wzmacniając ścianki listwami.

Na rysunku 1 przedstawiono szkice elementów najprostszej obudowy zamkniętej. Poszczególne ścianki powinny być starannie dopasowane, oczyszczone papierem ściernym, a następnie połączone klejem kazeinowym (stolarskim) i wkrętami do drewna. Odejmovana jest zwykle ścianka tylna (umocowuje się ją

kilkoma wkrętami na podkładce z pasków gumowych lub piankowego poliuretanu). W przypadku wmontowywania głośników od strony czołowej, można wykonać obudowę o wszystkich ściankach przytwierdzonych na stałe.

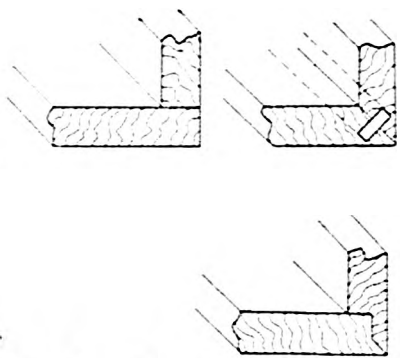
W przypadku obudów dużych mogą być stosowane lepsze sposoby łącze-



Rys. 1. Elementy prostej obudowy głośnikowej
1 — płyta czołowa z otworami na głośniki,
2 — ścianka tylna, 3 — listwy wzmacniające konstrukcję w narożnikach

nia ścianek niż „na styk”, na przykład takie, jak na rysunku 2.

Na rysunku 3 przedstawiono szkice obudowy z otworem. W przypadku stosowania tuneli, należy go wykonać z sklejki 8÷12 mm i umocować w otworze przez wkłucie. Na etapie eksperymentów, można wykonać kilka tuneli o różnej długości i wymieniać je dobierając tunel o długości optymalnej. Tunel może mieć przekrój kołowy. Takie tunele można wykonać z tektury usztywnionej lakierem spirytusowym lub syntetycznym. Doskonałym materiałem do wykonania tuneli są rury bakelitowe i winidurowe.

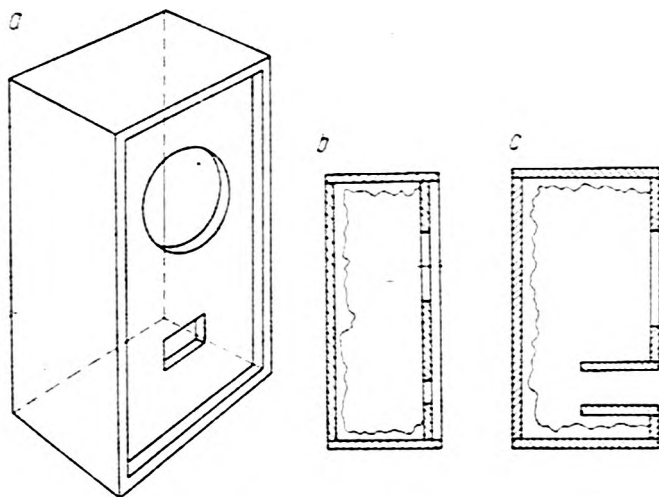


Rys. 2. Sposoby łączenia ścianek obudowy z płyt o grubości 20-24 mm

Sposób wykonania wzmocnienia listwami dużej obudowy ilustruje rysunek 4. Listwy są rozmieszczone niesymetrycznie i bardzo silnie spojone ze ścianką. Każda ścianka o długości przekraczającej 40 cm powinna być wzmocniona listwą. W przypadku stosowania tylko jednej listwy umocowuje się ją ukośnie w przybliżeniu równolegle do przekątnej ścianki (niesymetrycznie). Listew wzmocniających nie stosuje się tylko w małych i średniej wielkości obudowach (do 40 dm³) wykonanych z dostatecznie grubych płyt. Usztywnianie obudowy listwami jest jakąś funkcją mocy zespołu głośnikowego. W przypadku mocy 30÷100 W powinno się stosować listwy o wymiarach 4×4 cm lub 5×5 cm.

Głośnik średnionowy — jeśli jest stosowany — powinien być umieszczony w oddzielnej komorze o objętości 3÷5 dm³. Komora taka może być utworzona przez wydzielenie ściankami części wnętrza obudowy. Inny sposób — bardzo dobry — polega na wykonaniu z tektury zamkniętego u wylotu i dobrze usztywnionego cylindra oraz przytwierdzeniu go do ścianki czołowej obudowy (przytwierdzony cylinder powinien być szczelny).

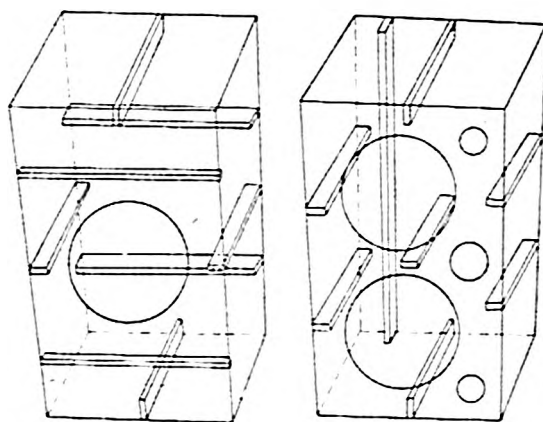
Tkaninę ozdobną, maskującą głośniki przytwierdza się do ramy jak to przedstawiono na rysunku 5. Do tego celu można użyć zszywaczy biurowych wbijanych jako klamery przytwierdzające tkaninę oraz kleju. Dobranie odpowiedniej tkaniny nie jest łatwe. Tkanina powinna być rzadka i lekka. Tkaniny przeznaczone do wyściełania mebli zupełnie nie nadają się do tego celu. Na ramie umocowuje się urządzenia utrzymujące ją we wgłębieniu obudowy. Mogą to być krótkie rurki, do których wkłada się sprężyny



Rys. 3. Szkice obudowy z otworem

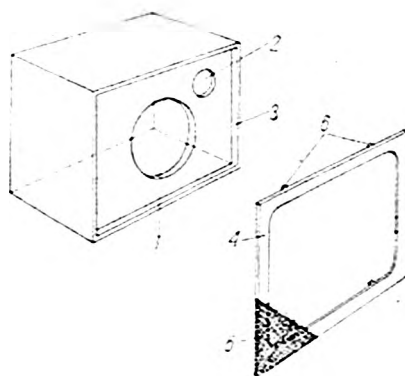
a — konstrukcja obudowy z otworem, b — przekrój przedstawionej na rys. 3a obudowy z otworem (widoczna jest warstwa materiału dźwiękochłonnego pokrywająca ścianki wewnętrzne obudowy), c — przekrój obudowy z otworem w postaci tunelu

Rys. 4. Sposób usztywnienia obudowy listwami (przykład)



spiralne i kołki. Prosty i praktycznym rozwiązaniem jest przymocowanie klocków z dość twardej gumy, które po wciśnięciu ramy we wgłębienie stanowią wystarczające umocowanie. Można również zastosować 4÷6 ozdobnych wkrętów z podkładkami.

Wewnątrz obudowy powstają przy określonych częstotliwościach fale stojące. Należy zmniejszyć ich wpływ przez wprowadzenie do wnętrza odpowiedniej ilości materiału dźwiękochłonnego, który przyczynia się również do zwiększenia tłumienia energii dźwiękowej w obudowie. W przypadku obudów z otworem wystarcza warstwa materiału przytwierdzona do ścianek (rysunek 3). Grubość takiej warstwy wynosi 3÷5 cm. Najlepszym materiałem jest wata mineralna lub szklana o masie 25÷40 kg na 1 m³ waty. Można stosować również watę bawełnianą przeznaczoną na koldry, watę lekarską, wyczeski lniane, podarte szmaty bawełniane, stare koldry watowe, gąbczasty poliuretan.



Rys. 5. Obudowa zamknięta i maskownica ozdobna do niej

1 — otwór głośnika nisko-średnionowego, 2 — otwór do głośnika wysokotonowego, 3 — wgłębienie umożliwiające wygodne zamocowanie maskownicy, 4 — rama drewniana, 5 — tkanina ozdobna upięta i umocowana na ramie, 6 — elementy służące do umocowania maskownicy w obudowie

O ile materiał tłumiący nie jest sprasowany w płyty, to należy wykonać odpowiedniej wielkości pierścienie z materiału tłumiącego i starego spranego płótna.

W obudowach zamkniętych stosuje się więcej materiału tłumiącego (co najmniej 20 g na 1 dcm³ objętości obudowy), a małe obudowy wypełnia się całkowicie materiałem dźwiękochłonnym, który nie powinien jednak w żadnym przypadku dotykać do membrany głośnika. Komorę głośnika średnionowego zawsze wypełnia się materiałem dźwiękochłonnym. Stopień wytłu-

mienia obudowy ustala się ostatecznie przy próbach zespołu głośnikowego.

Głośnik wysokotonowy umieszcza się w górnej części obudowy bliżej jednego z naroży. Przy konstruowaniu dwóch zespołów do odsłuchu stereofonicznego, głośniki wysokotonowe umieszcza się tak, aby baza uległa poszerzeniu (w przeciwnych narożach obudów). Jeśli cho-

dzi o zespoły trójdrożne zaleca się, o ile to jest możliwe, umieszczenie głośnika średnionowego tuż pod głośnikiem wysokotonowym. W każdym przypadku głośniki powinny znajdować się blisko siebie. Głośniki wysokotonowe i średnionowe umocowuje się zawsze od strony czołowej, tak aby siedziały „plytko”. Głośniki niskotonowe i nisko-średnionowe wprawia się od

Tablica

Głośniki ZWG TONSIL — podstawowe dane techniczne

Typ	Moc [W]	Częstotliwość rezonansowa [Hz]	Górna częstotliwość graniczna [Hz]	Impedancja znamion. [Ω]	Efektywność [dB]	Uwagi i zalecenia
Okrągłe						
GD 10.2	2	170	8000	8	91	Odbiorniki przenośne
GD 12.3	5	135	8000	4	94	Odbiorniki samochodowe; głośnik średnionowy; głośnik uniwersalny.
GD 15.3	3	90	9000	4 i 15	87—92	Uniwersalny.
GDS 15.3	3	90	14 000	4 i 15	87—92	Szerokopasmowy uniwersalny.
GD 20.10	10	70	11 000	8	94	Uniwersalny.
GD 30.15	15	50	12 000	4	95	Uniwersalny o bardzo dobrych parametrach; nadaje się do obudów z otworem. Może być stosowany w kolumnach dźwiękowych zespołów estradowych.
GD 30.30	30	70	5 000	4	97	Elektryczne gitary; zespoły głośnikowe estradowe — niskotonowy.
Do obudów zamkniętych (Compact)						
GD 12.8	2	60	15 000	4	90	Obudowa max 7 l; może być stosowany w zespołach trójdrożnych jako średnionowy.
● GDS 15.10	10	70 ¹⁾	15 000	8 i 15	83	Szerokopasmowy, obudowa 10 l.
● GDN 15.10	10	70 ¹⁾	9 000	8 i 15	83	Obudowa 10 l.
GDN 15.15	15	45	7 000	4	83	Obudowa max 12 l; podstawowy głośnik do zespołów głośnikowych użytku domowego.
GDN 25.40	40	30	4 000	4	91	Obudowa 35 l; wybitnie niskotonowy do zespołów trójdrożnych.
Wysokotonowe						
GDW 6,5/1,5	1,5	2000 ²⁾	16 000	8 i 15	83	Przy częstotliwości podziału 4000 Hz może być stosowany w zespołach do 15 W; zaleca się stosowanie dwóch głośników i mniejszego obciążenia.
GDW 9/15	15 ³⁾	2000 ²⁾	20 000	4	92	Przeznaczony do współpracy z GDN 15.15 przy częstotliwości podziału ≥ 3000 Hz.
GDWK 14/40	40 ³⁾	2000 ²⁾	20 000	4	91	Kopułkowy o szerokim kącie promieniowania; nadaje się do pracy w zespole do 40 W przy częstotliwości podziału 4000 Hz i filtrze 12 dB okt. oraz w zespole do 15 W przy 2500 Hz i 12 dB okt.
Owalne						
GD 14 — 9/3	3	140	9 000	4 i 8	83	Odbiorniki samochodowe; małe kolumny dźwiękowe do wzmacniania głosu.
GD 13 — 16.4	4	110	14 000	4	90	Telewizory
GD 10 — 16.5	5	115	9 000	4	91	Odbiorniki samochodowe; głośnik uniwersalny normalnopasmowy.
GD 13 — 18.3	3	110	13 000	4	91	Uniwersalny; małe kolumny do wzmacniania głosu.
GD 13 — 19.3W	3	105	9 000	4	90	Bardzo płaski; gramofony elektryczne.

1) Częstotliwość rezonansowa w obudowie. 2) Dolna dopuszczalna częstotliwość pasma przenoszenia. 3) Moc zespołu, w którym głośnik może pracować — dopuszczalna moc obciążenia znacznie mniejsza.

● Głośniki przewidziane do wycofania z produkcji.

przodu w odpowiednio przygotowany otwór-gniazdo, bądź przytwierdza się do płyty czołowej od strony tylnej. W tym ostatnim przypadku otwór powinien mieć krawędzie ścięte pod kątem 45°. Głośniki powinny być tak umocowane, aby nie powstały szczeliny pomiędzy koszem głośnika a obudową. Stosować należy podkładki z miękkiej tektury lub gąbczastego poliuretanu, a w razie potrzeby uszczelnić szczeliny kitem do podwozi samochodowych lub innym.

Takie wykończenie zewnętrzne obu-

dowy może stanowić okleina plastikowa imitująca drewno naturalne. Na rynku można obecnie zakupić okleiny produkcji krajowej przyklejane klejem „Butapren” oraz samoklejące okleiny importowane. Amatorzy znający się trochę na dobrym lakierowaniu mogą się pokusić o wygładzenie powierzchni i pokrycie obudowy kolorowym lakierem.

Obudowy zespołów przeznaczonych do ustawienia na podłodze wyposaża się w nóżki. Jest wskazane wy-

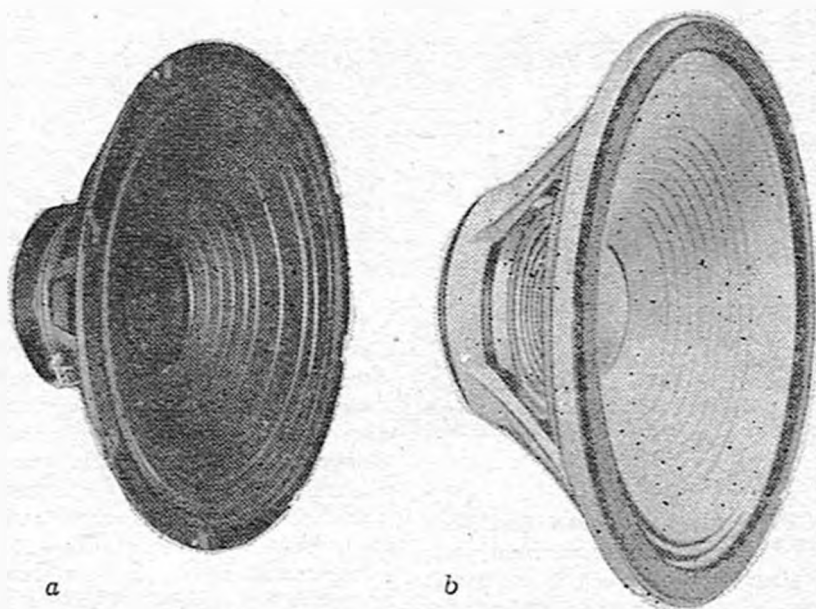
konanie krótkich nóżek z klocków gumowych. Zmniejsza to przenoszenie się drgań obudowy na podłogę. Dokładne opisy wykonania obudów zamkniętych do zespołów głośnikowych o mocy 10 W i 30 W były zamieszczone w numerach 2/1974 i 5/1975. Rysunki 2÷5 zaczerpnięto z broszury wytwórni James B. Lansing Sound (JBL) pt. „Louspeaker enclosure construction manual”. W tablicy podane są podstawowe dane techniczne głośników ZWG TONSIL.

A.W.

Estradowe zespoły głośnikowe

Zespoły głośnikowe przeznaczone dla dyskotek, sal tanecznych i do wzmacniania dźwięku orkiestr oraz odtwarzania dźwięku elektrycznych instrumentów muzycznych, nazwiemy ogólnie estradowymi. Cechuje je przede wszystkim duża moc i na ogół znacznie większa sprawność niż domowych zespołów Hi-Fi.

Na rysunku 1 przedstawiono dwa takie głośniki. Pierwszy z nich (rys. 1a) jest krajowym głośnikiem GD 30/30 o średnicy 306 mm i mocy 30 W. Jego częstotliwość rezonansowa wynosi 70 Hz i może on być stosowany do przetwarzania pasma $50 \div 4000$ Hz. Drugi (rys. 1b) jest głośnikiem o średnicy 460 mm i mocy 100 W (sinus.). Może być



Rys. 1. Głośniki do estradowych zespołów głośnikowych

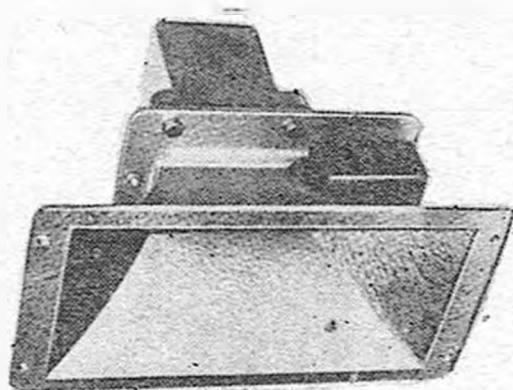
a – głośnik GD 30/30 TONSIL o mocy 30 W; b – głośnik G 18C CELESTION o mocy 100 W

W zespołach estradowych są stosowane specjalnie do tego celu przeznaczone głośniki, które możemy nazwać „głośnikami mocy” (ang. „power range loudspeakers”). Są to nisko-średniotonowe głośniki dużej mocy o częstotliwości rezonansowej $35 \div 70$ Hz.

stosowany do przetwarzania pasma $25 \div 4000$ Hz.

Do przetwarzania wielkich częstotliwości akustycznych są potrzebne odpowiednie głośniki wysokotonowe znacznej mocy. Najodpowiedniejsze są głośniki tubowe. Na ry-

sunku 2 jest przedstawiony głośnik tubowy o mocy 30 W przeznaczony do przetwarzania pasma 250 Hz $\pm$ 25 kHz.



Rys. 2. Wysokotonowy głośnik tubowy DK 30 firmy DECCA o mocy 30 W (wylot tuby ma wymiary: 203 X 102 mm)

Jeśli chodzi o tańsze zespoły głośników estradowych — znajdują zastosowanie uniwersalne głośniki średniej mocy (10÷20 W).

Można rozróżnić następujące trzy rodzaje zespołów głośników estradowych:

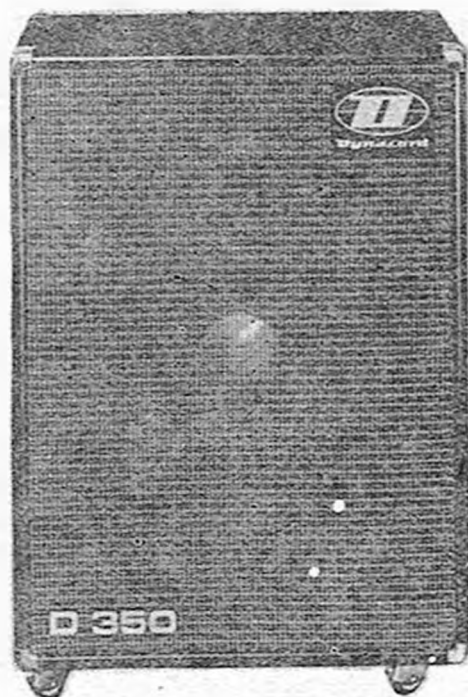
- zespoły basowe do gitar elektrycznych,
- zespoły dla wokalistów,
- zespoły uniwersalne.

Jako przykład zespołu basowego może posłużyć zespół przedstawiony na rys. 3. W obudowie typu bass-reflex wmontowany jest jeden głośnik o średnicy 38 cm i mocy 80 W. Otwór obudowy może być zamykany w razie potrzeby, co zmienia przebieg charakterystyki częstotliwościowej zespołu w zakresie najmniejszych częstotliwości. Zespół jest przystosowany do przenoszenia i do przesuwania na scenie.

Na rysunku 4 przedstawiono uniwersalny zespół głośnikowy dużej mocy. Składa się on z części niskotonowej i części wysokotonowej. Dolna część niskotonowa o mocy 160 W zawiera dwa głośniki o średnicy 38 cm. Górna część wysokotonowa zawiera głośnik tubowy. Zespół przetwarza dobrze częstotli-

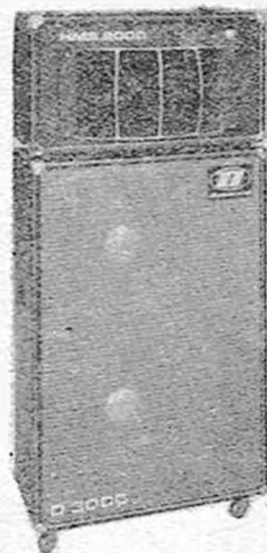
wości 30 Hz $\pm$ 13 kHz. Nadaje się do dyskotek, sal tanecznych oraz wzmacniania dźwięku orkiestr i organów elektronicznych.

W przypadku zespołów głośnikowych estradowych są stosowane następujące rodzaje obudów: obudowy zamknięte, obudowy z otworem oraz kolumny dźwiękowe. Dla



Rys. 3. Basowy zespół głośnikowy firmy DYNACORD typu D 350 o mocy 80 W (moc dla muzyki 120 W)

Rysunek 5 przedstawia mniejszej mocy zespół głośnikowy o podobnym przeznaczeniu. Zawiera on w obudowie typu „walizkowego” dwa głośniki niskotonowe i dwa głośniki wysokotonowe oraz wzmacniacz o mocy 40 W (moc muzyczna 60 W).



Rys. 4. Szerokopasmowy zespół głośnikowy dużej mocy firmy DYNACORD. Składa się z zespołu basowego D 3000 i zespołu średniowysokotonowego HMS 2000. Moc 160 W (moc dla muzyki 240 W). Pasma przetwarzane 30÷13 000 Hz. Łączny ciężar 69 kg



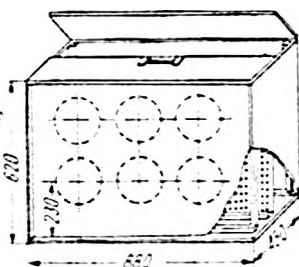
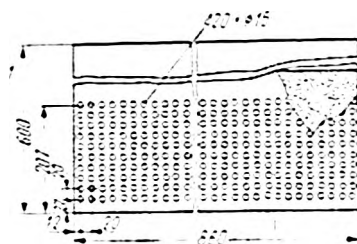
Rys. 5. „Walizkowy” zespół głośnikowy z wbudowanym wzmacniaczem mocy firmy DYNACORD typu SV 80 o mocy 40 W (moc dla muzyki 60 W). Wymiary: 400 X 630 X 290 mm, ciężar 22 kg

obudów zamkniętych zalecane ob-
jętości są następujące: głośnik
30 cm — $40 \div 50$ dm³, głośnik
38 cm — 80 dm³, głośnik 45 cm
— 130 dm³.

Na rysunku 6 jest przedstawiona
amatorska konstrukcja zespołu
głośnikowego w postaci skrzynki z
tłumiącą tylną ścianką. W ściance
tej są wywiercone otwory o śred-
nicy 15 mm, w których znajduje
się tkanina bawełniana (płótno lub
flanela). Najprościej taką ściankę
wykonuje się z dwóch płyt ze
sklejki z wywierconymi otworami.

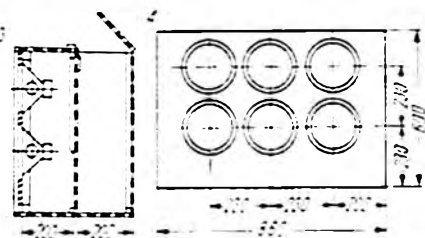
Tkaninę umieszcza się pomiędzy
płytami (powinna być naciągnięta).
Wolna przestrzeń w tylnej części
obudowy może służyć do przecho-
wywania kabli, wzmacniaczy i in-
nego sprzętu w czasie transportu.
Zespół taki można zbudować stosu-
jąc np. 6 głośników GD 20/10 o im-
pedancji 4 Ω . Zależnie od ich połą-
czenia może powstać zespół o impe-
dancji 6 Ω lub 2, 7 Ω . Płyta czoło-
wa i ścianki boczne powinny być
wykonane ze sklejki 19 mm, a
ścianki tłumiące — z dwóch
warstw sklejki 8 mm. Jest wielce
pożądane dodatkowe związanie
ścianki czołowej ze ścianką tylną
dwoma listwami 4x4 cm w celu
usztynienia całości konstrukcji.

Dla wzmacniania głosu solistów
zaleca się stosowanie klasycznych
kolumn dźwiękowych z 6 głośni-



rom zastosowanych głośników mo-
że służyć zarówno jako zespół dla
wokalistów jak i do wzmacniania
dźwięku orkiestr i nagłośniania sal
tanecznych; przetwarza skutecznie
pasmo $60 \div 12$ 000 Hz.

Zespoły głośnikowe estradowe wy-
konuje się z dobrej sklejki



Rys. 6. Amatorski zespół głośnikowy z 6 głośników w obudowie z rezystancją akustyczną w po-
staci odpowiednio wykonanej tylnej ścianki

1 — tylna ścianka z 420 otworami przesłoniętymi płótnem; 2 — szkic konstrukcyjny obudowy ze-
spółu; 3 — przekrój zespołu; 4 — szkic ścianki czołowej obudowy zespołu

ków GDS 16.3.3 lub 4 głośników
GD 10-16/4. Można również zasto-
sować 6 głośników GD 12/8 w zam-
kniętej kolumnie dźwiękowej o
objętości $20 \div 30$ dm³.

Dość kosztowna uniwersalna ko-
lumna dźwiękowa może być zrea-
lizowana z 4—6 głośników GD
30.15. Zaleca się w tym przypadku
zastosowanie tylnej ścianki tłumią-
cej, wykonanej analogicznie jak w
przypadku zespołu z rys. 6. Ko-
lumna taka dzięki wysokim walo-

15÷19 mm (cieńszej niż dla zespo-
łów domowych III-Fi, aby o ile to
możliwe, zmniejszyć ich ciężar). Za-
leca się stosowanie odpowiednich
usztynień listwami wiązącymi.
Stronę zewnętrzną pokrywa się la-
kiem lub okleinami ozdobnymi.
Naroża zabezpiecza się przed u-
szkodzeniem kątownikiem z alumi-
nium lub mosiądzu. Po bokach
mocuje się uchwyty ułatwiające
transport.

Zwrotnice prądowe (filtry elektryczne)

W dwudrożnych i trójdrożnych zespołach głośnikowych konieczne jest zastosowanie odpowiednich zwrotnic prądowych, rozdzielających pomiędzy głośniki prądy o różnych częstotliwościach.

Teoretycznie powinno się unikać przyjmowania częstotliwości podziału w zakresie częstotliwości średnich, w którym to zakresie słuch nasz wykazuje największą czułość i precyzję analizy zjawisk dźwiękowych. Pożądane jest więc, aby częstotliwości podziału leżały poza zakresem 600÷3000 Hz. W praktyce, uwzględniając również parametry głośników, częstotliwości podziału ustala się przeważnie w przedziałach:

— 2000÷4000 Hz w przypadku zespołów dwudrożnych,

— 400÷1000 Hz oraz 3000÷6000 Hz w przypadku zespołów trójdrożnych.

Wybór częstotliwości podziału powinien się opierać przede wszystkim na analizie parametrów posiadanego kompletu głośników. Głośnik wysokotonowy nie powinien być przeciążony. Jeśli więc dany głoś-

nik może być obciążony mocą np. 3 W (np. dwa głośniki GDW 6,5 /1,5, 8 Ω połączone równolegle), to w przypadku zastosowania go w zespole głośnikowym o mocy 10 W częstotliwość podziału może być mniejsza (np. 3000 Hz) niż w przypadku zespołu o mocy 40 W, w którym to głośnik wysokotonowy może być użyty tylko do przetwarzania największych częstotliwości, przy częstotliwości podziału 5000÷6000 Hz. Wielki głośnik niskotonowy o ciężkiej membranie źle pracuje w zakresie tonów średnich. Należy więc stosować małą częstotliwość podziału 500÷800 Hz. Producenti głośników w swych zaleceniach przeznaczonych dla konstruktorów sprzętu elektroakustycznego podają odpowiednie dane dotyczące optymalnego wykorzystania głośników danego typu. Amatorzy muszą z konieczności opierać się na mniej pełnych danych zawartych w prospektach i periodykach. Porównanie cech konstrukcyjnych głośnika o nieznanym parametrach z innymi typami głośników o znanych danych technicznych może dopomóc

w ustaleniu jakie jest jego przeznaczenie.

Należy podkreślić, że obecnie zaznacza się tendencja wytwarzania głośników przeznaczonych do zupełnie określonego zastosowania. Warto starać się o uzyskanie tej informacji przy zakupie, bowiem wyjaśnia ona bardzo wiele.

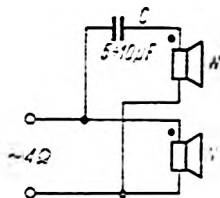
Wytwórnice zespołów głośnikowych ustalają własności i parametry zwrotnic na podstawie żmudnych pomiarów i prób kompletnego zespołu głośnikowego. Amator zmuszony jest do postępowania uproszczonego: orientacyjnego obliczenia wartości elektrycznych zwrotnic, wykonania elementów zwrotnic, zmontowania ich w zespole głośnikowym oraz dokonania subiektywnych prób we własnym mieszkaniu lub innym pomieszczeniu przeznaczonym do słuchania.

Obliczenie wartości elektrycznych zwrotnic opiera się na uproszczonym założeniu — zakłada się, że głośniki przedstawiają sobą opór rzeczywisty (rezystancję) równy co do wartości impedancji znamionowej głośników. O skutkach takiego uproszczenia napiszemy w końcu artykułu.

Zwrotnice dwudrożne

Najprostszą zwrotnicę prądową tworzy kondensator połączony szeregowo z głośnikiem wysokotonowym, jak to przedstawiono na rys. 1.

Ograniczenie przetwarzania częstotliwości większych przez głośnik niskotonowy następuje w sposób naturalny — decydują o tym cechy samego głośnika. Głośniki niskotonowe, a szczególnie głośniki przeznaczone do zespołów zamkniętych



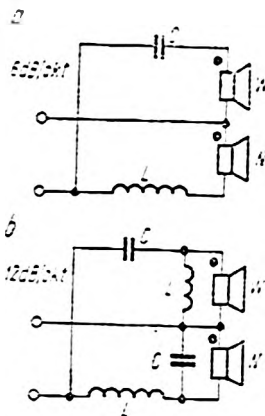
Rys. 1. Układ z kondensatorem jako elementem oddzielającym małe częstotliwości akustyczne; jest to układ najprostszej zwrotnicy prądowej stosowanej w dwudrożnych zespołach

(„compact”) cechuje spadek sprawności przetwarzania przy częstotliwościach większych, a równocześnie ich impedancja wejściowa się zwiększa. Głośnik wysokotonowy poprawia więc przetwarzanie wielkich częstotliwości akustycznych, nie powodując na ogół spadku impedancji wejściowej zespołu poniżej wartości znamionowej.

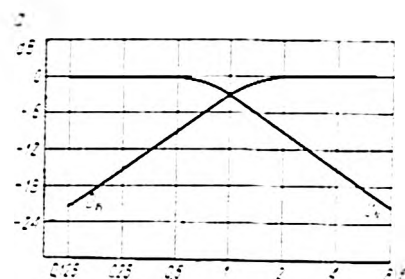
Faktyczna częstotliwość podziału zależy od własności obu głośników i pojemności C . Wartość tej pojemności dobiera się doświadczalnie. O ile jeden głośnik wysokotonowy o impedancji znamionowej np. 4Ω ma zbyt małą moc, to należy zastosować dwa głośniki o impedancji 8Ω połączone równolegle lub 4 głośniki o impedancji 4Ω połączone szeregowo-równolegle.

We wszystkich schematach przedstawionych w niniejszym artykule przyjęto, że głośniki niskotonowe (N), średniotonowe (M) i wysokotonowe (W) mają impedancję równą 4Ω . Oczywiście rozważania są słuszne i w odniesieniu do głośników o impedancji 8Ω i 16Ω . Przykładowo podawane wartości elementów zwrotnic powinny być wtedy odpowiednio zmienione (pojemności — zmniejszone, indukcyjności — zwiększone).

Na rysunku 2 są przedstawione schematy zespołów głośnikowych: ze zwrotnicą 6 dB/okt. (dwuelementową) — rys. 2a i zwrotnicą 12 dB/okt. (czteroelementową) — rys. 2b¹⁾. Charakterystyki tych zwrotnic przy założeniu, że obciążenie stanowi czysta rezystancja, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Układy dwudrożnych zwrotnic prądowych a — zwrotnica 6 dB/okt., b — zwrotnica 12 dB/okt.



Rys. 3. Charakterystyki częstotliwościowe zwrotnic z rys. 2 przy zastosowaniu obciążenia w postaci czystej rezystancji

U_N — napięcie na głośniku niskotonowym, U_W — napięcie na głośniku wysokotonowym, a — charakterystyka zwrotnicy 6 dB/okt., b — charakterystyka zwrotnicy 12 dB/okt.

Podstawowym założeniem jest, aby przy częstotliwości podziału każdy z głośników pobierał połowę wartości mocy. Moc całkowita nie ulegnie wówczas zmianie i przejście przez częstotliwość podziału będzie „gładkie”. Przy częstotliwości podziału napięcie na obciążeniu (głośniku) wynosi 0,7 wartości napięcia doprowadzanego, a więc spadek napięcia przy tej częstotliwości wynosi 3 dB.

W literaturze przyjęto termin „interwał oktawy” dla określenia dwóch tonów o stosunku częstotliwości 2:1. W elektroakustyce korzysta się z tego terminu dla określenia dwóch częstotliwości o stosunku 2:1 lub 1:2. W przypadku zwrotnic i filtrów strumień przebiegu ich charakterystyki jest określany często w decybelach na interwał oktawy (dB/okt.).

Zbocza charakterystyki mają nachylenie odpowiednio równe 6 dB/okt. — rys. 3a i 12 dB/okt. — rys. 3b.

Zwrotnica 12 dB/okt. jest teoretycznie lepsza, ponieważ węższy jest zakres częstotliwości przetwarzanych przez oba głośniki i głośnik wysokotonowy nie jest w tym stopniu obciążony względnie małymi częstotliwościami co w przypadku zwrotnicy 6 dB/okt. Zwrotnica ta ma jeszcze tę zaletę, że jej opór wejściowy jest stały w całym zakresie częstotliwości (przy czysto rezystancyjnym obciążeniu o jednakowej wartości i elementach zwrotnicy o wartościach elektrycznych ściśle odpowiadających obliczonym). W praktyce może być inaczej. Zwrotnica 12 dB/okt. jest trudniejsza do wykonania i jest źródłem większej liczby niespodzianek. Najgroźniejszą z nich jest znaczny spadek impedancji wejściowej zespołu przy pewnych częstotliwościach, groźny dla tranzystorowych wzmacniaczy mocy.

Wartości elementów zwrotnicy oblicza się według niżej podanych zależności.

Zwrotnica 6 dB/okt. — dwudrożna

$$L = \frac{160 \cdot R}{f_p} \text{ [mH]} \quad (1)$$

$$C = \frac{160\,000}{f_p \cdot R} \text{ [}\mu\text{F]} \quad (2)$$

Zwrotnica 12 dB/okt. — dwudrożna

$$L = \frac{225 \cdot R}{f_p} \text{ [mH]} \quad (3)$$

$$C = \frac{112\,000}{f_p \cdot R} \text{ [}\mu\text{F]} \quad (4)$$

w których: R — założona rezystancja obciążająca zwrotnicę, równa łącznej impedancji znamionowej głośnika (Ω), f_p — częstotliwość podziału (Hz), L — indukcyjność cewki (mH), C — pojemność kondensatora (μF).

Zwrotnica LC powoduje przesunięcia fazowe. W zwrotnicy 6 dB/okt. różnica faz prądów płynących przez głośniki wynosi 90° lub więcej. Wobec tego głośnik wysokotonowy przyłącza się w taki sposób, aby końcówki były odwrócone w stosunku do głośnika niskotonowego (zaznaczono to kropką na schematach).

Zwrotnica 12 dB/okt. powoduje przesunięcie fazy o 180°. Głośniki przyłącza się więc identycznie jak w przypadku poprzednim.

Zwrotnica trójdrożna

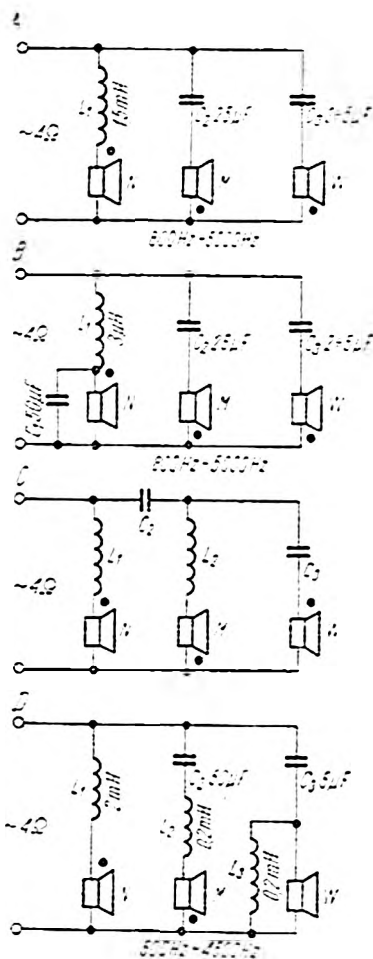
Klasyczna zwrotnica trójdrożna może być utworzona przez odpowiednie rozwiniecie zwrotnicy dwudrożnej z rys. 2b. Należy w tym celu zamiast głośnika wysokotonowego przyłączyć drugą zwrotnicę dwudrożną 12 dB/okt., przewidzianą dla większej od pierwszej częstotliwości podziału. Mamy wówczas dwie częstotliwości podziału f_{p1} i f_{p2} . Zwrotnica taka zawiera aż osiem elementów składowych i raczej nie nadaje się do realizacji w warunkach amatorskich.

Na rysunku 4 przedstawiono cztery schematy zwrotnic trójdrożnych, stosunkowo prostych, które można zalecić do stosowania. Oznaczono je literami A, B, C i D. Pierwsza z nich (A) jest rozwinięciem zwrotnicy z rysunku 2a. Różni się tym, że przyłączono jeszcze głośnik dla tonów najwyższych. Taką zwrotnicę należy obliczać jak dwudrożną 6 dB/okt., przyjmując f_{p2} w przedziale 500÷1000 Hz. Pojemność C_3 dobiera się doświadczalnie podobnie jak w przypadku przedstawionym na rys. 1.

Druga z nich (B) różni się tylko zastosowaniem ogniwa filtrującego 12 dB/okt. w obwodzie głośnika niskotonowego. Obliczenie orientacyjne przeprowadza się według wzorów (3) i (4) w odniesieniu do głośnika niskotonowego i wzoru (2) w odniesieniu do pojemności C_2 i C_3 . Wartości obu tych pojemności powinny być ustalone w oparciu o doświadczalne sprawdzenie działania zespołu głośnikowego. Pojemność C_3 może mieć wartość 15÷100 μF .

Zwrotnica według schematu trzeciego (C) jest również rozwinięciem układu z rys. 2a. Sposób obliczenia wartości jest następujący: zakłada się określone częstotliwości podziału f_{p1} i f_{p2} . Korzystając z zależności (1) i (2) oblicza się w pierwszej kolejności wartości L_1 i C_2 w odniesieniu do f_{p1} . Następnie według tych samych zależności oblicza się L_2 i C_3 dla częstotliwości podziału f_{p2} .

Bardzo dobry jest układ (D). Głośnik wysokotonowy ma ogniwo filtru 12 dB/okt., głośnik niskotonowy — 6 dB/okt. Głośnik średniotonowy (M) przyłączony jest przez ogniwo filtrujące, środkowo-przepustowe. Orientacyjnie wartość tego ogniwa oblicza się na podstawie wzorów (1) i (2) dla częstotliwości f_{p1} i f_{p2} . Pojemność C_2 przyjmuje się tak wielką, aby częstotliwości większe od f_{p1} były przepuszczane. Wartość L_2 oblicza się w odniesieniu do f_{p2} — większe częstotliwości nie powinny



Rys. 4. Cztery układy zwrotnic trójdrożnych zalecanych do stosowania w konstrukcjach amatorskich

być przepuszczane. Łatwo zauważyć, że pojemność C_2 i indukcyjność L_2

⁵⁾ W tym przypadku znaczny wpływ wywiera indukcyjność cewki głośnika i inne czynniki: wartości optymalne elementów różnią się od obliczonych — pojemność jest przeważnie mniejsza.

tworzą obwód rezonansowy o częstotliwości f_M :

$$f_M = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad [Hz] \quad (5)$$

Przy tej częstotliwości tłumienie wnoszone przez ogniwo filtru jest najmniejsze i napięcie na głośniku przybiera największą wartość.

Na schematach A, B i D (rys. 4) podane zostały przykładowe wartości przy konstruowaniu amatorskich zespołów głośnikowych.

Często się zdarza, że zastosowane głośniki różnią się znacznie sprawnością. Należy tak kompletować głośniki, aby wyrównanie charakterystyki częstotliwościowej mogło polegać na osłabieniu natężenia dźwięku wytwarzanego przez głośniki wysokotonowy i średniotonowy. Wtedy w razie potrzeby włącza się szeregowo do głośników oporniki stałe lub oporniki nastawne o rezystancji 1÷20 Ω . W przypadku wysokosprawnych głośników średniotonowych i wysokotonowych (np. tubowych) może się okazać celowe zastosowanie potencjometru lub przełączanego skokowo tłumika oporowego. To ostatnie rozwiązanie jest często stosowane w droższych zespołach do użytku domowego i estradowych zespołach głośnikowych.

Elementy zwrotnic

Cewki do zwrotnic nawija się drutem miedzianym o średnicy 0.9÷1.1 mm. na szpuli (rys. 5a). W przypadku cewek o indukcyjności do 2 mH wymiary szpuli są następujące: $a = 25$ mm, $b = 25$ mm, $c = 70$ mm. Cewki do 4 mH można nawinąć na szpuli o wymiarze $b = 40$ mm. W razie wykonywania cewek o jeszcze większej indukcyjności wymiary szpuli należy zwiększyć: $b = 40$ mm, $c = 100$ mm. Cewkę najlepiej wykonać z odczapami, co ułatwi dobór optymalnych wartości zwrotnicy.

Najlepiej jest stosować kondensatory z dielektrykiem papierowym lub innym podobnym (kondensatory blokowe)⁶⁾. Dobre są również elektrolityczne kondensatory bipolarne przeznaczone specjalnie do zastosowania w zespołach głośnikowych.

⁶⁾ Na przykład kondensatory typu: MKSE, MPHP, KBC-MN.

W przypadku trudności zakupu tego rodzaju kondensatorów stosować zwykłe kondensatory elektrolityczne na napięcie nie niższe od 60 V, łącząc po dwa kondensatory szeregowo w sposób przedstawiony na rys. 6. Łączyć należy zawsze kondensatory takiego samego typu i o takich samych pojemnościach. Z takich „dwojek” można zestawiać baterie o jeszcze większej pojemności. Należy pamiętać, że dwa połączone szeregowo kondensatory mają pojemność równą połowie pojemności jednego kondensatora. Kondensatory elektrolityczne lub ich baterie i kondensatory blokowe z dielektrykiem papierowym można łączyć tylko równolegle.

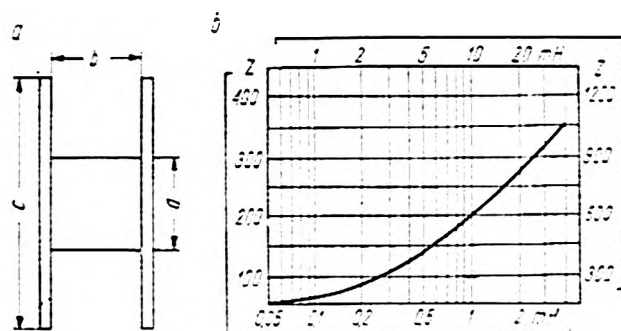
Cewki i kondensatory umocowuje się na płytce izolacyjnej i przyłącza do końcówek zwrotnicy, do których lutuje się następnie przewody głośników i przewody sznura łączącego zespół głośnikowy ze wzmacniaczem.

Głośniki jednej wytwórni mają końcówki lutownicze oznaczone np. czerwoną kropką lub znakiem „+”, co ułatwia właściwe przyłączenie głośników bez badania ich biegunowości. Jeśli stosujemy głośniki różnych wytwórni, lub bez odpowiedniego oznaczenia jednej z końcówek, należy przeprowadzić badanie głośników, przyłączając baterię o napięciu 1,5 V i obserwując kierunek ruchu membrany. Membranę można dotykać lekko opuszkami palców. Innym sposobem badania jest przyłączenie miliwoltomierza i lekkie ugięcie membrany. Kierunek wychylenia się wskazówki pozwoli ustalić i oznaczyć końcówki sobie odpowiadające.

Komplikacje wynikające ze stosowania zwrotnic LC

W zwrotnicach wprowadzamy elementy LC. Elementy należy zmierzyć odpowiednimi przyrządami, w celu sprawdzenia, czy ich wartości faktyczne nie odbiegają od założonych. Poza tym w obliczeniach zakładaliśmy, że głośnik przedstawia czystą rezystancję. Nie jest to zgodne z rzeczywistością, bowiem elektryczny układ zastępczy głośnika jest złożony z rezystancji, indukcyjności i pojemności. Zwrotnica nie jest więc obciążona rezystancją, lecz złożonym układem o parametrach zależnych od częstotliwości. W wyniku tego może okazać się że:

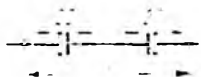
1. impedancja wejściowa zespołu



Rys. 5. Dane cewek indukcyjnych do zwrotnic prądowych
a - szkic szpuli, b - wykres do określania liczby zwojów zależnie od pożądanego indukcyjności

maleje przy pewnych częstotliwościach bardzo znacznie (np. zamiast 4 Ω wynosi tylko 2 Ω).

2. faktyczne częstotliwości podziału odbiegają znacznie od założonych w obliczeniach.



Rys. 6. Schemat połączenia dwóch kondensatorów elektrolitycznych w celu zastosowania ich w zwrotnicy prądowej zespołu głośnikowego

W związku z powyższym należy zachować pewną rezerwę i nie obciążać wzmacniacza maksymalnie (najmniejszą dopuszczalną impedancją), a ostateczne wyregulowanie zespołu przeprowadzić na podstawie doświadczeń i prób nie sugerując się nadmiernie wynikami obliczeń. Oczywiście należy kontrolować bieg eksperymentów i nie działać w sposób przypadkowy i niezgodny z ogólnymi zasadami.

Inny kłopot wynika ze zjawisk akustycznych. Założmy, że przy pewnej częstotliwości równie silny dźwięk jest promieniowany przez głośnik nisko-średniotonowy i wysokotonowy. Są one oddalone o kilkanaście lub kilkadziesiąt centyme-

trów. Łatwo się domyślić, że przy pewnych położeniach słuchacza względem zespołu głośnikowego różnice długości dróg wyniosą akurat tyle, że wystąpią interferencje, tj. bądź wygaszanie się fal dźwiękowych, bądź ich wzmacnianie. Jest to niepożądane i pogarsza charakterystyki.

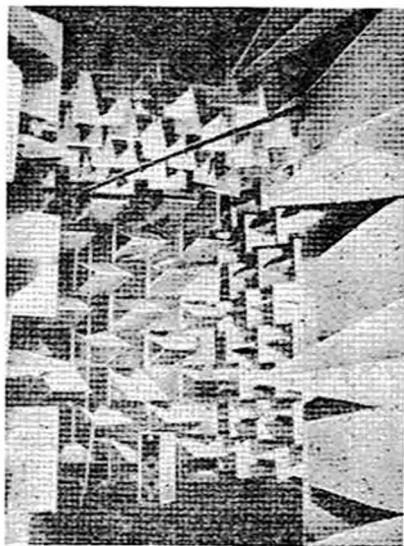
Przesunięcia fazowe powodowane przez zwrotnice nie pozostają również bez niekorzystnego wpływu na wskaźniki jakościowe zespołu spełniającego przecież funkcję przetwornika elektroakustycznego, który powinien przetwarzać, o ile to możliwe, bez żadnych zniekształceń. W związku z tym nie można ustalić z góry jakichś niezmiennych reguł postępowania i recept na dobre zwrotnice. Tyle parametrów wchodzi tu w grę, że w warunkach amatorskich trzeba się zadowolić jakimś subiektywnie dobrym wynikiem, osiągniętym drogą własnej inwencji twórczej, cierpliwie wykonanych eksperymentów i przysłowiowego łutu szczęścia. Ryzyko maleje przy stosowaniu prostych rozwiązań oraz korzystaniu z gotowych zwrotnic dostarczanych przez wydawnictwa z przeznaczeniem do określonych typów głośników.

R.T.

Parametry i badanie zespołów głośnikowych

Głębsze wniknięcie w problem ujęcia istotnych własności zespołu głośnikowego w odpowiednie parametry wykazałoby, że w grę wchodzi aż kilkadziesiąt parametrów, których zmierzenie i porównanie przedstawia ogromne trudności. Zespół głośnikowy jest nadzwyczaj niewdzięcznym obiektem do ustalenia obiektywnych kryteriów oceny jego jakości. Ostatnio, przy intensywnym rozwoju techniki Hi-Fi, nadaje się wielkie znaczenie ocenie subiektywnej jakości działania zespołów głośnikowych pomimo tego, że aparatura pomiarowa została znakomicie udoskonalona i pojawiły się wielkie możliwości obróbki matematycznej wyników pomiarowych za pomocą komputerów. Jesteśmy na etapie, w którym zauważone subiektywnie walory lub wady staramy się powiązać z określonymi obiektywnie mierzonymi zjawiskami lub własnościami w celu stworzenia podstaw do ilościowego ich ujęcia oraz wyjaśnienia występujących współzależności. O tym jeszcze napiszemy, ograniczając się niżej do wyjaśnienia kilku podstawowych, powszechnie stosowanych i podawanych często w katalogach parametrów.

Obiektywne pomiary głośników i zespołów głośnikowych przeprowadza się w komorach bezdechowych, to jest w specjalnie do tego przystosowa-



Rys. 1. Komora bezdechowa do badania głośników i zespołów głośnikowych
Widoczny jest badany zespół (materiały firmy GOODMAN)

nych pomieszczeniach, których ściany prawie całkowicie pochłaniają fale dźwiękowe.

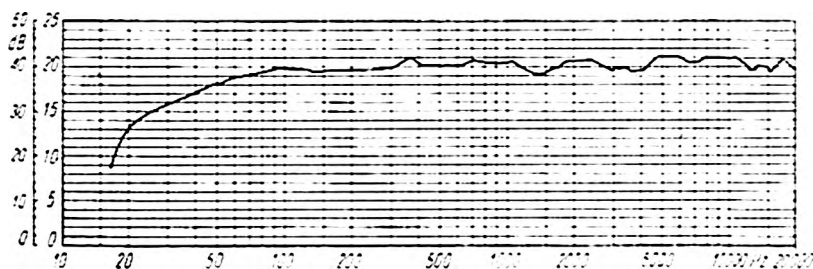
Na rysunku 1 przedstawiono wnętrze dużej komory bezdechowej. Podłogę stanowi siatka metalowa, poniżej której znajduje się ściana bezdechowa identyczna do pozostałych. Na rysunku jest widoczny badany zespół głośnikowy, przed którym umieszcza się mikrofon pomiarowy.

Niekiedy pomiary wykonuje się korzystając z otwartej przestrzeni w czasie bezwietrznych dni lub nocy, z dala od miasta i hałaśliwych obiektów. Główną oś promieniowania zespołu głośnikowego kieruje się najczęściej ku górze, umieszczając mikrofon pomiarowy na odpowiednim wysięgniku lub dużym pałuku z rurki metalowej.

Istnieją międzynarodowe i krajowe normy określające zasady pomiaru głośników i zespołów głośnikowych. Wielkie wytwórnie stosują poza tym własne metody badania. Normy te nie są całkowicie ujednolicone, chociaż wiele parametrów bada się identycznie lub podobnie.

Charakterystyka częstotliwościowa (charakterystyka przenoszenia, charakterystyka przetwarzania). Charakterystyka ta jest mierzona za pomocą mikrofonu umieszczonego w odległości 1 m lub 3 m przed zespołem głośnikowym. Zespół jest zasilany z generatora akustycznego przebiegiem sinusoidalnym o stałym napięciu. Przykładowa charakterystyka częstotliwościowa dobrego zespołu (uśredniona, tj. z wyrównaniem drobnych „zabłków”) jest przedstawiona na rys. 2. Orientuje ona jak zmienia się ciśnienie akustyczne na osi głównej promieniowania.

Efektywność. Jest to parametr charakteryzujący pośrednio sprawność głośnika lub zespołu głośnikowego jako przetwornika elektroakustycznego. Jest to mianowicie średnia wartość ciśnienia akustycznego w paśmie 250÷4000 Hz, mierzonego w



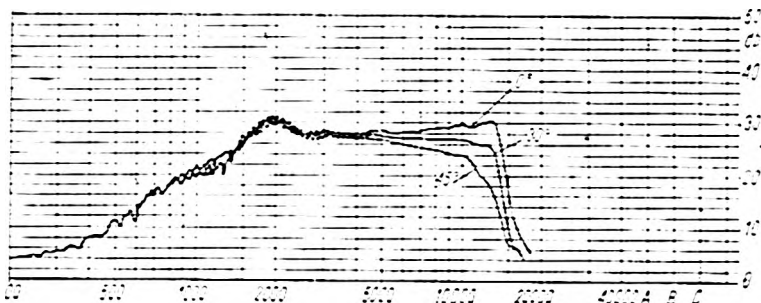
Rys. 2. Charakterystyka częstotliwościowa dobrego zespołu głośnikowego

odległości 1 m przy zasilaniu głośnika mocą 1 VA (ściślej — napięciem wydzielającym moc jednego wata w rezystancji równej liczbowo modułowi impedancji znamionowej głośnika), wyrażona w decybelach w odniesieniu do poziomu ciśnienia $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² przyjętego za poziom zerowy. Parametr ten ma ważne znaczenie praktyczne. Zespół głośnikowy o efektywności 94 dB ma sprawność orientacyjnie 4-krotnie lepszą w porównaniu z zespołem o efektywności 83 dB. Zakładamy, że są to zespoły podobne o zbliżonych charakterystykach kierunkowości promieniowania.

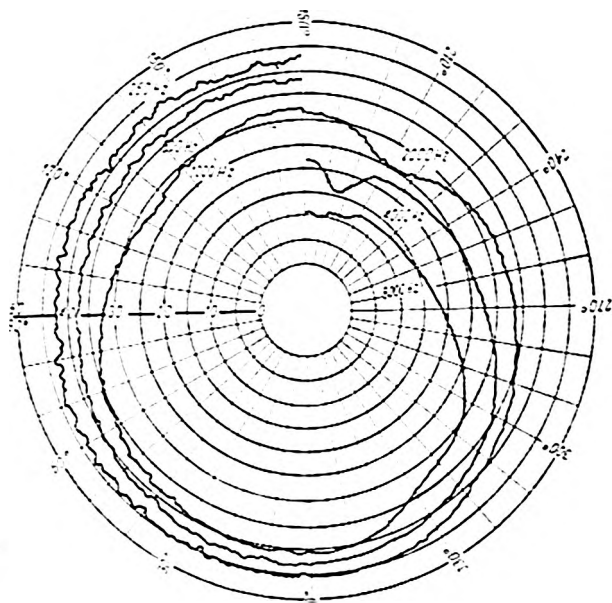
W katalogach firm niemieckich (BFN) i niektórych innych jest stosowany inny wskaźnik — moc użyteczna („Betriebsleistung“ niem.). Jest to moc niezbędna do wytworzenia średniego ciśnienia akustycznego o poziomie 96 dB w odległości 1 m. Im większą sprawność ma zespół, tym wskaźnik ten jest mniejszy. W katalogach niektórych firm amerykańskich podawana jest czułość zespołu głośnikowego (ang. „sensitivity“) wyrażona jako poziom ciśnienia akustycznego w decybelach, mierzony w określonej odległości (np. 4 stopy, 15 stóp) przy doprowadzonej mocy 1 W. Jest to więc wskaźnik analogiczny do efektywności.

Charakterystyka kierunkowości promieniowania. Na rysunku 3 jest przedstawiona rodzina trzech charakterystyk częstotliwościowych głośnika wysokotonowego, pozwalających ocenić osłabienie dźwięku emitowanego pod pewnym kątem w stosunku do osi głównej promieniowania, czyli ocenić charakterystykę kierunkowości promieniowania. Na rysunku 4 uwidoczniło charakterystykę kierunkowości promieniowania innego głośnika, dającą bogatą informację o jego własnościach. Charakterystykę taką zdejmuje się zasilając głośnik przebiegiem szumowym i mierząc poziom ciśnienia akustycznego za pomocą selektywnych filtrów, tj. „wycinając” części pasma i obracając zespół głośnikowy lub głośnik.

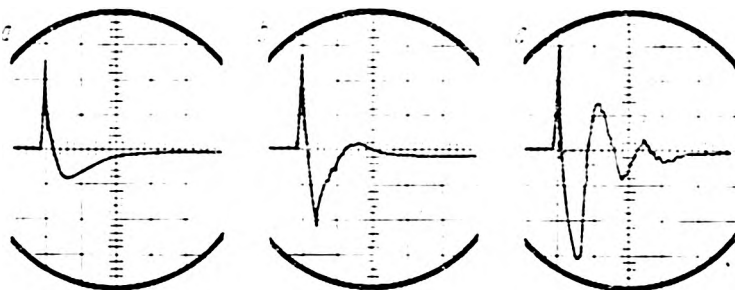
Przetwarzanie impulsów. Dźwięki naturalne i muzyka przypominają raczej serie impulsów niż przebieg sinusoidalny. Zdolność głośnika do dobrego, nie zniekształconego przetwarzania impulsów jest bardzo ważnym parametrem, chociaż trudnym do ujęcia liczbowego. Na rysunku 5 jest przedstawiony impulsowy przebieg akustyczny oraz „odpowiedzi” zespołów głośnikowych na ten przebieg. Na rys. 5b przedsta-



Rys. 3. Rodzina charakterystyk częstotliwościowych głośnika wysokotonowego, zdejmowanych pod trzema różnymi kątami (Celestion HF 1330 Mk II)



Rys. 4. Charakterystyka kierunkowości standardowego głośnika otwartego (przykład — materiały firmy PHILIPS: głośnik o mocy 4 W typu LBC 3031,02)



Rys. 5. Przetwarzanie impulsów przez zespół głośnikowy

a — przebieg zasilający zespół (odpowiedzący oryginalowi); b — „odpowiedź” bardzo dobrego zespołu głośnikowego; c — „odpowiedź” słabszego zespołu głośnikowego

wiono impuls przetworzony przez bardzo dobry zespół głośnikowy, a na rys. 5c — przez zespół miernej jakości.

Zniekształcenia nielinearne. Na rysunku 6 przedstawiono charakterystyki współczynnika zniekształceń nieliniarnych w zależności od częstotliwości i natężenia dźwięku. Naj-

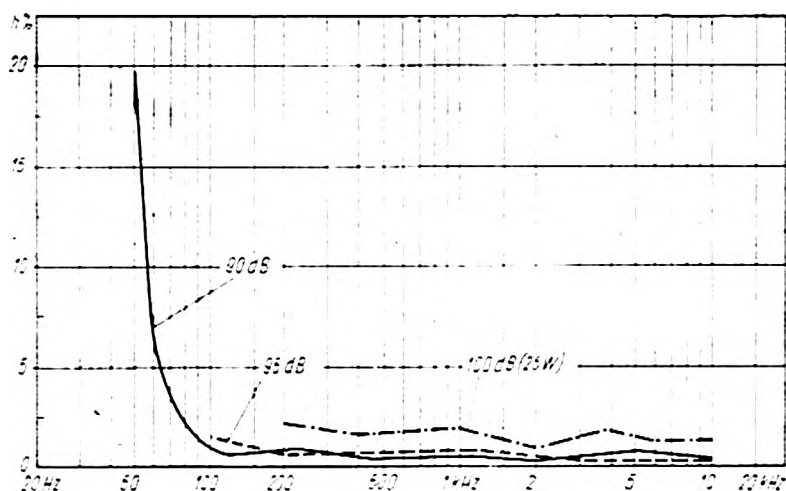
lepszym wskaźnikiem jakości głośnika jest charakterystyka trzeciej harmonicznej — takie właśnie charakterystyki przedstawiono na rysunku.

Widać z nich, że przy małych częstotliwościach akustycznych współczynnik zawartości harmonicznych może mieć znaczną wartość. Istotnie tak jest. Słuch ludzki jest jed-

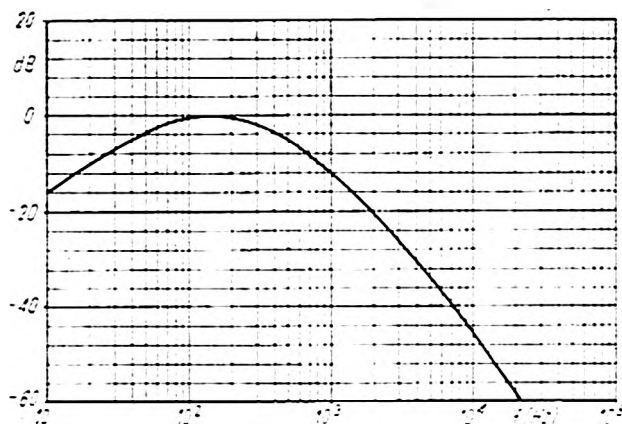
nak mało czuły na zniekształcenia nielinearne przy najmniejszych częstotliwościach.

Moc głośnika. Stwierdzono, że badanie mocy głośników i zespołów głośnikowych zmiennym przebiegiem sinusoidalnym jest mało celowe. Rozkład mocy dźwięków naturalnych uzasadnia przyjęcie pewnego umownego sposobu określania mocy. Jeżeli użyjemy źródła przebiegów szumowych i umieścimy za nim odpowiedni filtr o charakterystyce przedstawionej na rys. 7, to otrzymamy zróżnicowaną zależność mocy od częstotliwości. Moc głośnika określa się jako moc o widmie przedstawionym na rys. 7, wydzielaną w oporniku o rezystancji równej modułowi impedancji znamionowej głośnika, przy czym skuteczne napięcie mierzone na tym oporniku jest równe napięciu na badanym głośniku. doprowadzonym do głośnika przez okres 100 godzin i nie powodującym uszkodzeń głośnika ani zauważalnych zmian w jego parametrach. Niektóre wytwórnie zagraniczne podają moc znamionową głośnika określaną jako największą moc przebiegu sinusoidalnego, przy której zniekształcenia nielinearne głośnika lub zespołu głośnikowego nie przekraczają założonych, a głośnik nie ulega uszkodzeniu¹⁾.

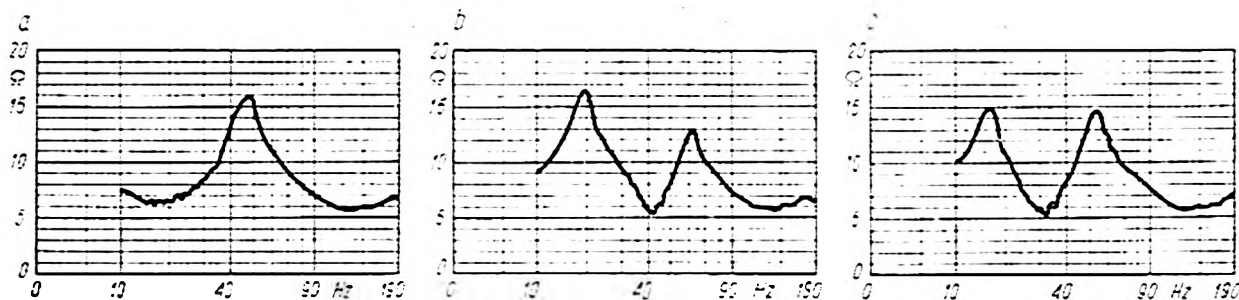
Moc dla muzyki. W celu jej określenia doprowadza się do głośnika przebieg sinusoidalny o częstotliwości bliskiej najmniejszej przetwarzanej przez zespół głośnikowy (głośnik) częstotliwości, periodycznie na okres 2 sekund. Największa moc doprowadzana, przy której cewka nie uderza o nabiegunki i nie zauwa-



Rys. 6. Charakterystyki zawartości trzeciej harmonicznej w sygnale akustycznym zespołu głośnikowego w zależności od częstotliwości przy stałej intensywności dźwięku (przykład, zespół AVID 100; intensywność 100 dB jest maksymalną wg danych katalogowych)



Rys. 7. Charakterystyka filtra stosowanego przy określaniu mocy głośnika lub zespołu głośnikowego (norma DIN 45573); przed filtrem włącza się generator szumów i wzmacniacz. Za filtrem włącza się rezystor o wartości równej impedancji znamionowej głośnika, bądź badany głośnik



Rys. 8. Impedancja wejściowa tego samego głośnika w różnych obudowach (przykład)

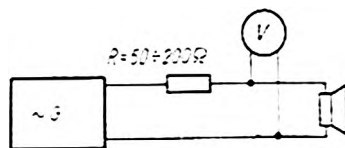
a — głośnik w wielkiej obudowie zamkniętej (ok. 300 dm³); b — głośnik w obudowie z otworem „nastrojonej” na częstotliwość nieco większą niż częstotliwość rezonansowa głośnika; c — głośnik w obudowie z otworem „nastrojonej” dokładnie na częstotliwość rezonansową głośnika

¹⁾ W katalogach angielskich „Power watts RSM”.

za się innych objawów wyraźnego przeciążenia głośnika, jest mocą dla muzyki.

Amator konstruujący zespół głośnikowy we własnym zakresie nie ma możliwości wykonania pomiaru ani jednego z wymienionych wyżej parametrów. Musi polegać na znanych mu danych katalogowych zastosowanych głośników i próbach subiektywnych. Może natomiast — mając generator akustyczny i miliwoltomierz lub woltomierz na prąd zmienny — wykreślić charakterystykę impedancji wejściowej głośnika. Na rysunku 8 są przedstawione charakterystyki impedancji wejściowej tego samego głośnika w różnych obudowach. Rysunek 8a przedstawia charakterystykę impedancji wejściowej głośnika w dużej obudowie zamkniętej. Na uwagę zasługuje nieznaczne podnoszenie się charakterystyki od 20 Hz w lewo. Wskazuje to na nieszczelność obudowy zamkniętej. W przypadku obudowy zupełnie szczelnej odcinek ten byłby poziomy. Na rys. 8b i 8c przedstawiono impedancję wejściową głośnika w obudowie z otworem. W pierwszym przypadku częstotliwość rezonansowa obudowy jest nieco większa niż częstotliwość rezonansowa głośnika (swobodnie zawieszono), w drugim przypadku obudowa została nastrojona dokładnie na częstotliwość rezonansową głośnika i powstały dwa symetryczne maksima. Charaktery-

stykę impedancji wejściowej zespołu głośnikowego możemy zmierzyć stosując układ przedstawiony na rys. 9 i ustawiając zespół w otwartym oknie lub na balkonie, w celu wyeliminowania wpływów rezonansów pomieszczenia.



Rys. 9. Układ pomiarowy do zdejmowania charakterystyki impedancji wejściowej głośnika lub zespołu głośnikowego

G — generator ze wzmacniaczem, V — woltomierz (miliwoltomierz), R — sterujący opór

Próby oceny subiektywnej przeprowadzamy stosując najlepsze nagrania płytowe i sterując zespoły głośnikowe z najlepszej nam dostępnej aparatury.

Muzyka symfoniczna jest podstawą do wyciągnięcia wielu wniosków. W przypadku dobrych zespołów głośnikowych brzmi ona bardzo czysto (przejrzysto). Słychać doskonale poszczególne instrumenty i ich grupy. Nie powinno być słychać zniekształceń w zakresie tonów średnich przy równoczesnym brzmieniu wielu instrumentów. Basy powinny brzmieć pięknie, nie za „sucho”. Bardzo wysokie tony powinny brzmieć czysto i przyjemnie (nie ostro). Podobne

efekty powinny dać się ocenić w przypadku chórów z orkiestrą. Przy odtwarzaniu koncertu fortepianowego powinna występować wyraźnie „współobecność” instrumentu w pomieszczeniu odsłuchowym. Powinno się wydawać, że fortepian znajduje się blisko, w tym samym pomieszczeniu. Uderzenia powinny brzmieć czysto bez zniekształceń i tendencji do „podbarwiania” ich częstotliwościami rezonansowymi zespołu głośnikowego.

Płyty z nagraniami muzyki organowej służą do sprawdzenia jakości odtwarzania najmniejszych częstotliwości akustycznych. Próbę przeprowadzamy przy wysokim poziomie głośności, pamiętając o tym, że wtedy słuch nasz może wносить własne zniekształcenia nielinearne głównie wskutek nieliniowości mechanicznego układu transmisyjnego ucha środkowego.

Współczesna muzyka taneczna i rozrywkowa może posłużyć jako test przetwarzania wielkich częstotliwości.

Dążymy do oceny przetwarzania: basów, tonów średnich i sopranów oraz zniekształceń nieliniarnych, nierównomierności charakterystyki częstotliwościowej oraz ogólnego wrażenia co do wierności przetwarzania dźwięków przez badany zespół głośnikowy.

Właściwości zespołów głośnikowych

W artykule tym, ostatnim z tego cyklu, rozpatrzmy niektóre właściwości zespołów głośnikowych przeznaczonych do użytku domowego, istotne zarówno dla amatorów-konstruktorów jak i użytkowników zespołów głośnikowych. Zespół taki zawiera głośnik nisko-średniotonowy i głośnik wysokotonowy, bądź głośnik niskotonowy, głośnik średniotonowy i głośnik wysokotonowy oraz zwrotnicę prądową LC, wmontowane do odpowiedniej obudowy. Ulotka reklamowa lub katalog podają przede wszystkim następujące dane: moc zespołu, impedancja, pasmo przetwarzanych częstotliwości (zwykle od 30÷40 Hz do 18÷25 kHz), efektywność i wymiary zewnętrzne. Często podawane są jeszcze: średnice i rodzaj zastosowanych głośników, częstotliwości podziału i najmniejsza moc wzmacniacza lub zalecana moc wzmacniacza zasilającego zespół.

Z danych tych można się zorientować o podstawowych cechach zespołu. Nie wynikają z nich jednak żadne wnioski co do jakości brzmienia zespołu głośnikowego danego typu. Są dwa sposoby określenia jakości

zespołu: albo trzeba uzyskać rzetelną informację specjalistów o jakości zespołu danego typu albo przeprowadzić ocenę brzmienia zespołu w odpowiednich warunkach. Jakość brzmienia zależy bowiem od tak wielu parametrów, że nie zawierają ich nawet dokładne katalogi techniczne, na ogół nie udostępniane szerokiemu kręgowi odbiorców. Stwierdzono na podstawie żmudnych badań, że duże znaczenie mają: zniekształcenia fazowe, zniekształcenia intermodulacyjne, rozkład drgań rezonansowych w membranach i obudowie oraz stopień ich tłumienia, przetwarzanie impulsów (szczególnie przebieg narastania i zanikania) itd.

Wśród specjalistów zajmujących się techniką Hi-Fi zarysowują się dwa w pewnym stopniu odmienne poglądy. Jedni twierdzą, że w urządzeniach Hi-Fi należy usilnie dążyć do stosowania zespołów głośnikowych „idealnych”, tj. przetwarzających zupełnie wiernie doprowadzane przebiegi elektryczne. Ich ideałem jest zespół „przezroczysty”, pozbawiony jakichkolwiek cech własnych. Inni twierdzą, że obecnie i w najbliż-

szej przyszłości nie uda się w granicach rozsądnych rozwiązań technicznych i przy dostępnych cenach dostarczać „idealnych” zespołów głośnikowych. Należy więc dążyć do „optymalnego” brzmienia zespołów, przy czym może a nawet powinno ono być różne w odniesieniu do zespołów różniących się objętością (mocą) i architekturą obudowy. Te zewnętrzne cechy zespołów wywierają bowiem zasadniczy wpływ na ich późniejszą lokalizację, a więc i warunki, w których się z nich korzysta. Zwolennicy tego kierunku zalecają więc scharmonizowanie zespołu głośnikowego z otoczeniem nie tylko pod względem cech zewnętrznych, lecz i pod względem indywidualnego „zabarwienia” muzyki i głosu emitowanego przez dany zespół.

Wszyscy specjaliści są zgodni co do tego, że słuchowa ocena zespołów przez odpowiednio dobrane grupy ekspertów stała się podstawowym sposobem oceny jakościowej brzmienia zespołów głośnikowych.

Przeprowadzane ostatnio badania zespołów głośnikowych najlepszych firm światowych doprowadziły do bardzo interesujących wniosków, wskazujących na to, że zespół głośnikowy przestaje być przysłowio-

wym „uchem igielnym” toru przesyłania audycji dźwiękowej. Dotyczy to oczywiście najlepszych, udanych rozwiązań.

Oto kilka informacji o wrażeniach ekspertów z odsłuchu tych najlepszych zespołów głośnikowych.

- Odczuwa się wyraźnie wpływ jakości tunerów, adapterów, magnetofonów i wzmacniaczy na jakość brzmienia audycji pomimo stosowania wyłącznie urządzeń należących do klasy Hi-Fi. Odsłuch umożliwia więc ujawnienie niedoskonałości tych urządzeń nieuchwytnych przy standardowych pomiarach ich parametrów.

- Korekcja elektryczna przebiegu charakterystyki odbija się niekorzystnie na brzmieniu. Przypisać to można zniekształceniom fazowym wnoszonym przez korektory barwy.

- Zwiększa się wyraźnie pole dobręgo odsłuchu stereofonicznego, przy czym polepsza się nadzwyczajnie „przestrzenność” obrazu dźwiękowego. Dźwięk nie wydobywa się z zespołów głośnikowych i narodził pomieszczenia, lecz wypełnia pomieszczenie — „jest w nim”.

- Wybitnie zmniejsza się wpływ akustyki pomieszczenia i miejsca ustawienia zespołu głośnikowego na jakość brzmienia dźwięku.

- Nadzwyczajnie polepsza się oryginalne brzmienie instrumentów muzycznych i wyrazistość całego obrazu dźwiękowego, przy czym zaznacza się duży wpływ akustyki studia nadawczego. Jednocześnie w sposób bardziej rażący niż to występowało dotychczas, odczuwa się wady techniczne zapisu, błędy w aranżacji oraz wprowadzane sztucznie efekty.
- Jakość zapisu audycji na taśmach i płytach ma szczególne znaczenie, bowiem różnice w jakości nagrań stają się nadzwyczaj wyraźne.

Wyniki tych prób wskazują na istotny postęp w konstruowaniu zespołów głośnikowych i możliwość produkowania w niedalekiej przyszłości zespołów, które można będzie uznać za „idealne”.

Powróćmy do najważniejszych właściwości zespołów głośnikowych. Interesujące dane techniczne zespołów głośnikowych są przedstawione w tablicy. Dotyczą one zespołów amerykańskich, ponieważ takie zestawienie znaleźliśmy tylko w prasie amerykańskiej¹⁾.

Pośród wielu wniosków, które można wyciągnąć z danych zawartych w tablicy, należy zwrócić uwagę na następujące:

- koncepcje wytwórni co do optymalnego rozwiązania domowego zespołu głośnikowego różnią się znacznie między sobą: wytwarzane są zespoły o dużej sprawności i małej mocy oraz względnie mało sprawne zespoły odpowiednio większej mocy;

- zdumiewająca jest wytrzymałość niektórych zespołów na krótkotrwałe obciążenie;

- zalecane jest stosowanie wzmacniaczy o mocy przekraczającej znacznie moc ciągłą zespołów głośnikowych (wartości maksymalne);

- zalecane miejsce usytuowania zespołu jest różne w odniesieniu do zespołów różnych wytwórni.

Rozpatrzmy szczegółowiej zagadnienie mocy zespołów, bowiem częste są na ten temat nieporozumienia mimo tego, że jest to względnie dobrze zdefiniowany parametr zespołu głośnikowego. Posłużymy się przykładem. Zespół głośnikowy S-15 firmy SCOTT jest określany wg norm DIN jako zespół o mocy 50 W. Z danych w tablicy wynika, że ten zespół jest zdolny przetwarzać przebieg ciągły o mocy doprowadzanej 20 W w zakresie 40 Hz÷16 kHz i wytrzymuje moc 60 W w ciągu 1 minuty²⁾. Jego moc dla muzyki jest prawdopodobnie jeszcze większa. Zalecana moc wzmacniacza wynosi 7÷50 W. Jak wytłumaczyć te pozorne rozbieżności?

Jak wiadomo, moc sygnałów składowych w przebiegu zmiennym, który odpowiada audycji muzycznej lub słownej, nie jest rozłożona równomiernie w całym pasmie częstotliwości akustycznych. Przy częstotliwościach średnich i większych moc składowych maleje. Uwzględnia to norma DIN przewidująca zastosowanie sygnału szumowego i odpowiedniego filtra do określenia znamionowej mocy głośnika³⁾. Dla zespołów

głośnikowych trójdrożnych wytwórnie przyjmują w przybliżeniu następujące kryteria: głośnik niskotonowy — 100% mocy znamionowej, głośnik średniotonowy — 50÷25% mocy znamionowej zespołu, głośnik wysokotonowy — 10÷5% mocy znamionowej zespołu. Chodzi oczywiście o moc średnią w czasie trwałego obciążenia zespołu głośnikowego. Moc bardzo krótkich impulsów o różnych częstotliwościach może być prawie jednakowa dla wszystkich głośników zespołu.

Wyobraźmy sobie, że zasilamy głośnik sinusoidalnym przebiegiem zmiennym, którego częstotliwość zmieniamy dowolnie. Przy jakiejś mocy (np. 20 W) i bardzo małej częstotliwości dochodzimy do tego, że dalsze zmniejszenie częstotliwości grozi uszkodzeniem zawieszenia głośnika. Przy takiej samej mocy i coraz większej częstotliwości dojdziemy do takiej częstotliwości, przy której występuje niebezpieczeństwo termicznego przeciążenia głośnika średniotonowego lub wysokotonowego. Gdybyśmy chcieli wyznaczyć krzywą mocy maksymalnej (ciągłej) w całym pasmie przetwarzanym przez głośnik, byłaby to jakaś krzywa, początkowo gwałtownie podnosząca się, przechodząca przez dość płaskie maksimum (w zakresie 100÷1000 Hz) i następnie opadająca do około kilku procent maksymalnej wartości, przy częstotliwościach największych. Określanie mocy za pomocą takich krzywych byłoby złożone i niejednoznaczne. Przyjmuje się więc prostsze sposoby określania mocy. Podana w tablicy moc 20 W w odniesieniu do zespołu głośnikowego S-15 oznacza, że znieśie on moc doprowadzaną równą 20 W przy dowolnej częstotliwości w przedziale 40÷16 000 Hz. Czy z tego wynika, że zespół ten nie znieśie np. mocy 30 W w przedziale 100÷1000 Hz? Oczywiście, że nie! Po prostu nie wiadomo, bo danych co do takiego pomiaru nie ma w tablicy. Natomiast z innych katalogów wiadomo, że zespół ten badany w sposób przewidziany normą DIN spełnia wymagania zespołu o mocy 50 W.

W krajach anglosaskich posługujących się własnymi normami na badanie głośników i korzystających również z norm DIN w związku z eksportem do krajów dających pierwszeństwo właśnie tym normom, stosuje się często uproszczoną zasadę porównywania mocy zespołów głośnikowych, a mianowicie: 50 W DIN = 30 W RMS, czyli zespół speł-

¹⁾ A. Kleiman — Bookshelf Speakers. „Radio-Electronics” Nov. 1975.

²⁾ Za moc doprowadzaną przyjmujemy moc wynikającą z doprowadzanego napięcia i oporu znamionowego zespołu głośnikowego. Stale jest więc napięcie, a pobierana przez zespół moc pozorna może być większa lub mniejsza przy różnych częstotliwościach zależnie od tego, czy impedancja zespołu jest mniejsza, czy większa od wartości znamionowej. Ponieważ przy większych częstotliwościach (większych od 800—1200 Hz) impedancja zespołu przeważnie jest większa od wartości znamionowej, to pobierana moc pozorna jest wówczas nieco mniejsza.

³⁾ Porównaj nr 11/1976, str. 252 rys. 7 — charakterystyka filtra używanego przy pomiarze mocy.

Dane techniczne niektórych zespołów GŁOSNIKOWYCH

Wytwórnia	Typ zespołu	Liczba głośników [szt.]	Efektywność [dB]	Moc maksymalna przebiegu ciągłego (sin.)		Moc skuteczna i czas impulsu		Zalecana moc wzmacniacza [W]	Maks. poziom dźwięku [dB]	Rodzaj obudowy	Zalecane miejsce ustawienia
				[W]	Przy częstotliwości [Hz]	[W]	[s]				
H.H. Scot	S-13	3	72	20	40÷18 000	60	60	7-50	101	Z	Przy ścianie pionowo; 10 cm nad podłogą
"	S-12	2	81	15	40÷20 000	35	60	10÷35	100	Z	"
Acoustic Research	AR-2ax	3	—	25	20÷5000	300	2	20÷130	110	Z	Przy ścianie; nie w kącie
"	AR-7	2	—	20	20÷20 000	200	2	15÷100	106	Z	"
AVID	109	2	86	25	65÷8000	75	60	15-75	100	Z	"
ESS	AMT-3	2	92	30	100÷1000	—	—	20÷60	116	Z	Pozłomo na podłodze
Lafayette Radio Electronics	777	3	90	64	100÷9000	310	15	15-80	93	Z	"
Marantz	4G	2	95	15	40÷18 000	40	30	5÷60	105	Z	Przy ścianie; nie w kącie
"	5G	2	92	15	35÷20 000	40	30	5÷60	103	O	"
STR	Alpha	3	96	40	20÷20 000	160	10	5÷75	100	O	60 cm nad podłogą; blisko naroża
Superscope	S-16A	1	95	5	80÷17 000	15	30	2÷20	93	O	"
"	S-212A	2	90	50	30÷20 000	100	30	5÷100	100	Z	"
Tempest	Lab 2	2	96	30	100÷1000	—	—	8÷40	120	O	Na podłodze
RTR	Exp-2	2	90	50	40÷1000	160	120	20÷60	100	Z	Dowolne
Electro-Voice	EV-16A	3	92	20	40÷700	160	0.1	10÷60	103	Z	Przy ścianie; nie w kącie

1) W odległości 1 m przy zawartości trzeciej harmonicznej i zawartości zniekształceń intermodulacyjnych do 3% w paśmie 100÷10 000 Hz.

2) Z — obudowa zamknięta; O — obudowa z otworem.

niający wymagania DIN na zespół o mocy znamionowej 50 W wytrzymałe trwałe obciążenie przebiegiem sinusoidalnym o mocy 30 W, oczywiście w paśmie częstotliwości niskich i średnich (od mniej więcej 50÷80 Hz do 1000 Hz). Wydaje się, że przedstawione przybliżone dane są słuszne i w stosunku do zespołu S-15. Jest bardzo prawdopodobne, że wytrzyma on obciążenie mocą 30 W w przedziale 80÷1000 Hz. Sądząc z danych w tabeli jest to zespół wyjątkowo dobrze znoszący duże obciążenia przy większych częstotliwościach.

Charakter przebiegów audycji muzycznej jest taki, że moc krótkich impulsów jest przeciętnie 10-krotnie większa od mocy średniej. Jesteśmy przekonani, że zespół S-15 doskonale przetwarza impulsy przebiegu zmiennego o mocy doprowadzonej 200 W, trwające 0,1 s. Oczywiście ich moc średnia nie może przekraczać 20 W. Wniosek taki jest uzasadniony chociażby porównaniem parametrów zespołu S-15 z danymi podobnego zespołu AR-7. Nasze wnioski odnośnie zdolności do przetwarzania krótkich impulsów podbudowują również dane co do znoszenia przez zespół mocy 60 W aż przez 60 s, tj. przez bardzo długi czas. Na zakończenie dodamy, że zespół

S-15 zawiera głośnik niskotonowy $\varnothing$ 10", głośnik średniotonowy z membraną stożkową $\varnothing$ 4,5" i także głośnik wysokotonowy o średnicy 3". Wymiary zespołu: 597 × 293 × 229 mm. Z pewnością jest to zespół „mocny”, który wiele wytrzyma, nawet przy dość „brutalnej” eksploatacji.

Najmniejsza zalecana moc wzmacniacza wynika z efektywności zespołu głośnikowego, jego mocy znamionowej i „bezwładności”. Jest bowiem oczywiście, że urządzenie przeznaczone do zasilania średnią mocą, np. 50 W, nie będzie optymalnie działać przy mocy 1 W. Zakres jego charakterystyki roboczej nie będzie właściwie wykorzystany.

Maksymalna wartość zalecanej mocy wzmacniacza wynika z założenia, że odcinanie wierzchołków przebiegów zmiennych przez wzmacniacz mocy jest bardzo niepożądane. Wprowadza bowiem silne zniekształcenia nieliniarne — rozróżniane słuchem wyraźniej niż zniekształcenia spowodowane przeciążeniem głośnika, oraz że powstają wówczas częstotliwości harmoniczne wyższych rzędów zdolne do uszkodzenia głośnika wysokotonowego. Inaczej mówiąc, jeżeli jest potrzebna większa głośność, to wzmacniacz powinien mieć znaczną rezerwę mocy, aby wyklu-

czyć ewentualność jego przesterowania.

Czy przy zastosowaniu wzmacniacza 50 W do zespołu głośnikowego S-15 istnieje niebezpieczeństwo jego zniszczenia nadmierną mocą? Oczywiście tak. Wystarczy silnie przesterować wzmacniacz przy audycji, włączyć przebieg sinusoidalny z generatora z nadmierną mocą lub spowodować wzbudzenie się wzmacniacza i dopuścić do obciążenia zespołu takim sygnałem przez kilka minut, a jeden, dwa lub wszystkie głośniki ulegną zniszczeniu.

Obecnie uznaje się ogólnie zasadę, że właściwie każdym wzmacniaczem można uszkodzić zespół głośnikowy, jeśli nie przestrzega się pewnych elementarnych zasad technicznych. Zasady te brzmią następująco:

1. zespół głośnikowy (lub kilka zespołów głośnikowych łącznie) powinien być zdolny do wytworzenia dźwięku o wymaganej głośności bez przeciążenia zespołu;
2. wzmacniacz zasilający zespół głośnikowy powinien mieć wystarczającą moc (z określonym nadmiarem);
3. nie wolno dopuszczać do obciążenia zespołu głośnikowego sygnałem ciągłym o wielkiej mocy, szczególnie sygnałem o częstotliwościach więk-

szych od 500 Hz. bądź sygnałem złożonym zawierającym silne składowe o częstotliwościach większych (np. sygnałem prostokątnym).

Należy podkreślić, że uszkodzenia zespołów głośnikowych spowodowane przeciążeniem są u nas zjawiskiem dość rozpowszechnionym. Częste niezbyt duże przeciążenia powodują trwałe uszkodzenie zawieszenia cewki, oberwanie elastycznych połączeń cewki, naruszenie jej sztywne-

go połączenia z membraną lub obluźowanie kilku zwojów drutu. Silne długotrwałe przeciążenie powoduje przegrzanie cewki aż do jej stopienia włącznie. Podstawową przyczyną tych uszkodzeń jest stosowanie głośników i zespołów głośnikowych o zbyt małej mocy w stosunku do wymaganej głośności. W niektórych przypadkach uszkodzenia są powodowane przez nadmierne, bezsensowne forsowanie zespołów głośniko-

wych w celu osiągnięcia „odurzającej” głośności.

Kończąc nasze rozważania na temat zespołów głośnikowych mamy nadzieję, że przyczyniły się one w pewnym stopniu do lepszego przyswojenia przez Czytelników wiadomości i zasad dotyczących konstruowania i użytkowania nowoczesnych zespołów głośnikowych.