

# Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów W głośnikowym żywiole, część 2

## Głośnikowy triumwirat

Zespół głośnikowy składa się z trzech głównych obszarów - systemu głośników (przetworników), zwrotnicy (filtrów) i obudowy. Obszary te są ze sobą oczywiście konstrukcyjnie sprzężone, choć różne związki mają różną siłę. Niektóre parametry samych głośników niskotonowych decydują o rodzaju i wielkości obudowy, natomiast parametry wszystkich głośników mają udział w projektowaniu układu filtrów nimi sterujących. Te związki są najważniejsze, choć są i mniej znane, a jednak dość istotne. Np. wymiary przedniej ścianki i sposób rozplanowania na niej głośników ma wpływ na charakterystyki w zakresie średnio-wysokotonowym, co z kolei powinno zostać uwzględnione przy projektowaniu zwrotnicy. W ten sposób obudowa ma pośrednio związek ze zwrotnicą. Mimo to proces projektowania można podzielić na etapy prac prowadzonych do pewnego stopnia niezależnie i różnymi metodami, choć na widoku trzeba mieć całą koncepcję. Nie ma np. sensu projektowanie obudowy z niskoefektywną linią transmisyjną, gdy zamierza się zastosować sekcję średnio-wysokotonową z użyciem przetworników tubowych o wysokiej efektywności, tak jak nie jest racjonalne budowanie układów czterodrożnych z 13-cm głośnikiem niskotonowym w małej konstrukcji podstawkowej, albo wręcz przeciwnie - uruchamianie baterii kilkunastocalowych wooferów, podczas gdy do dyspozycji mamy tylko jeden mały głośnik średniotonowy (i oczywiście wysokotonowy), a tym bardziej gdy jest to tylko tweeter. Przy-



KEF 207 - rzadko spotykane połączenie układu aż czterodrożnego z małą obudową podstawkową

*Po wstępnym zachęcająco-zniechęcającym eseju, zamieszczonym w poprzednim numerze EP, powoli przechodzimy do praktyczno-technicznych wskazówek dla amatorów samodzielnego konstruowania zespołów głośnikowych. Nigdzie nie będziemy epatować teorią, równaniami, modelami, itp., które nie znajdują zastosowania w działaniach konstruktora zespołu głośnikowego. Rozpędzać będziemy się stopniowo. W tym numerze rozbierzemy zespół głośnikowy na najważniejsze części. Powstrzymamy się od schematów, wzorów, choć w samym opisie będziemy się już do pewnych zależności odnosić. Lekcję tę mogą sobie darować konstruktorzy już obeznani z podstawowymi faktami. Ale może zabrnijemy w jakieś ciekawostki... zarazem nowe spojrzenie nawet na elementarne problemy może okazać się pożyteczne.*

kłady konfiguracji absurdalnych można mnożyć, chociaż czasami pewne rozwiązania absurdalnymi nie są, mimo że na takie pozornie wyglądają. Dopiero dokładniejsze wejrzenie we właściwości zastosowanych przetworników stawia we właściwym świetle zamierzenia i umiejętności konstruktora. Na przykład najlepsza podstawkowa konstrukcja firmy KEF, model Reference 201, jest aż czterodrożna - zawiera 18-cm głośnik niskotonowy, 18-cm nisko-średniotonowy sprzężony z 25-mm kopułką wysokotonową w ramach współosiowego podsystemu „Uni-Q”, a na szczycie jeszcze 19-mm kopułkę superwysokotonową. Z drugiej strony można spotkać układy dwudrożne posługujące się 20, a nawet 25-cm głośnikami nisko-średniotonowymi, co wymaga od nich wyjątkowo (jak na ich wielkość) daleko sięgających dostatecznie liniowych charakterystyk przetwarzania, a także wysokiej wytrzymałości głośnika wysokotonowego, aby móc ustalić niską częstotliwość podziału.

Tworzenie takich i innych egzotycznych układów wymaga doskonałej znajomości stosowanych przetworników, doświadczenia i wyczucia, i nie powinno być rozważane przez początkujących konstruktorów. A przecież zagalopowaliśmy się już niechcący w terminologię nieznaną początkującym (częstotliwość podziału, superwysokotonowy, układ współosiowy...), wróćmy do podstaw i wyjaśnienia, dlaczego w ogóle mamy do czynienia z zespołami głośnikowymi, a nie pojedynczymi głośnikami; jaka jest rola zwrotnicy, a jaka obudowy.

Tą drogą też dojdziemy do pytań i problemów.

## Dlaczego nie solo?

Praktycznie nie istnieje pojedynczy głośnik zdolny z satysfakcjonująco niskimi zniekształceniami przetwarzać całe pasmo akustyczne. W tanich urządzeniach (np. tanie radioodbiorniki) spotykamy pojedyncze głośniki, ale oczywiście ma to związek ze zgodą na niską jakość brzmienia. Większy kłopot sprawia zinterpretowanie jakości nielicznych egzotycznych i bardzo kosztownych przetworników szerokopasmowych (np. Lowther), które wywołują apaluz pewnej części audiofilów i hobbistów. Rzeczywiście, niektórym firmom udało się opracować głośniki szerokopasmowe brzmiące na tyle interesująco, że stanowią one ciekawą, ale marginalną alternatywę dla zespołów głośnikowych. Nie sięgają one „od dwudziestu do dwudziestu”, mając kłopoty z przetwarzaniem zarówno najniższych, jak i wysokich tonów, mają niskie moce, ale doskonałą spójnością brzmienia, wynikającą z samej swojej „niezespołowej” natury, w pewien sposób rekompensują te niedociągnięcia.

## Raczej w duecie

Powszechną popularność zdobyło konstruowanie wielodrożnych zespołów głośnikowych, z głośników wyspecjalizowanych w przetwarzaniu różnych zakresów pasma. Wystarczą już dwa głośniki, aby stworzyć pełnopasmowy zespół głośnikowy - będą to głośniki nisko-średniotonowy i wysokotonowy, a zespół taki nazwiemy dwudrożnym. Dwudrożne zespoły głośnikowe mają dzisiaj pozycję dominującą, chociaż jeszcze niedawno wydawało się, że dopiero zespoły trójdrożne - czyli z wyróżnionymi głośnikami niskotonowym, średniotonowym i wysokotonowym,



Legacy Focus 20 - potężna konstrukcja pięciodrożna

wym - mogą być uznawane ze zespoły wysokiej klasy. Zespoły trójdrożne nie zniknęły, podaliśmy nawet przykład zespołu czterodrożnego, a zdarzają się i pięciodrożne, jednak nie należy sądzić, że wraz ze zwiększaniem ilości „dróg“ automatycznie i bezproblemowo podnosi się jakość zespołu głośnikowego. Wielodrożność zespołu powinna być dobrze umotywowana. Mimo że nie istnieje idealny głośnik szerokopasmowy, to właśnie funkcjonowanie takiego hipotetycznego głośnika jest spełnieniem wszystkich postulatów dotyczących wysokiej jakości przetwarzania. Wielodrożność układu nie powinna być celem samym w sobie, ale tylko sposobem dla uzyskania optymalnych parametrów przetwarzania. Można nawet powiedzieć, że jest to zło konieczne. Skomplikowanie układu niesie bowiem ze sobą problemy, które nawet umiejętnie rozwiązywane, pozostawiają pewne ślady. Mówiąc krótko, trzeba wiedzieć dlaczego i po co buduje się układ większy niż dwudrożny, a w myśleniu początkującego konstruktora projektowanie układu dwudrożnego, ewentualnie dwuipółdrożnego, powinno być sprawą oczywistą. Co to jest układ dwuipółdrożny? Jak nazwa wskazuje, to układ pośredni między dwudrożnym a trójdrożnym. Powstaje przez dodanie do układu dwudrożnego dodatkowego głośnika niskotonowego, a od układu trójdrożnego różni się tym, że zamiast głośnika średniotonowego, działa w nim głośnik nisko-średniotonowy, tak jak niskotonowy przetwarzający, oprócz średnich tonów, także niskie tony. Układ taki jest

prostszy od trójdrożnego, ponieważ nie zawiera filtru dolnozaporowego dla głośnika nisko-średniotonowego. Zespoły dwuipółdrożne są obecnie bardzo popularne i w dużym stopniu zastąpiły zespoły trójdrożne. Znowu wdepnęliśmy w temat filtrów, ale akurat w dobrym momencie.

### Trzeba z tym zrobić porządek

Stwierdziłmy, że pojedynczy głośnik nie może przetwarzać całego pasma akustycznego - uwaga - z satysfakcjonująco niskimi zniekształceniami. Oznacza to, że aplikując go do zespołu głośnikowego, należy odfiltrować te części pasma, które przetwarza ze zbyt wysokimi zniekształceniami. Jednocześnie należy podzielić pasmo pomiędzy głośniki zastosowane w zespole i najczęściej unikać szerokich zakresów, w których dwa różne głośniki pracują równocześnie. Zalecenie to najlepiej spełniają filtry wysokiego rzędu, to znaczy charakteryzujące się stromymi zboczami charakterystyk. Ale... ich stosowanie niesie ze sobą jednak inne komplikacje, o których dalej, natomiast najłagodniejsze filtry 1. rzędu (spadek 6 decybeli na oktawę), też mają swoje zalety, które skłaniają wielu konstruktorów do ich stosowania. Tutaj rozpoczyna się terytorium sporów i różnych idei, jakie filtry stosować, jednak mało kto ma wątpliwości, że w ogóle są one konieczne. Sytuacje, w których jeden z głośników nie wymaga filtrowania, bowiem jego charakterystyka przetwarzania samoistnie opada w wymaganym dla systemu zakresie, są niezwykle rzadkie, a i tak kontrowersyjne.

Biorąc na przykład prosty układ dwudrożny zwrócimy też uwagę, że nieco inne powody dyktują sposób filtrowania głośnika nisko-średniotonowego, a inne wysokotonowego (a generalnie, inne powody określają filtrowanie dolno-przepustowe, a inne górno-przepustowe). Z głośnikiem nisko-średniotonowym sprawa jest prostsza - tak jak wspomnieliśmy, zamierzamy zostawić w jego przetwarzaniu tylko ten zakres, który obsługuje poprawnie. W przypadku głośnika wysokotonowego powody są bardziej złożone. Oprócz tego, który dotyczy wyodrębnienia zakresu przetwarzanego z najlepszą jakością, drugi odnosi się do wytrzymałości głośnika wysokotonowego. Głośnik wysokotonowy trzeba filtrować (górno-przepustowo) już tylko z tego powodu, że nie uczynienie tego naraziłoby go na zniszczenie. W ten sposób w odfiltrowanej części pasma bardzo często głośnik wysokotonowy wykazuje się jeszcze ładną charakterystykę, z której jednak nie korzystamy, ze względu na jego bezpieczeństwo. Dlatego pierwszym, absolutnie niezbędnym elementem w zwrotnicy jest kondensator jako najprostszy filtr górno-przepustowy dla głośnika wysokotonowego (owe anegdotyczne  $4,7 \mu$  z moich wspomnień sprzed miesiąca).

Zespół dwudrożny z tak skromnym filtrem najprawdopodobniej będzie brzmiał bardzo ułomnie (odzywać się będzie obarczony zniekształceniami zakres charakterystyki głośnika nisko-średniotonowego), ale ostatecznie może działać w miarę bezpiecznie (choć tak proste filtrowanie głośnika wysokotonowego nie zabezpiecza go tak dobrze, jak filtry wyższego rzędu). Znaną brytyjską firmą głośnikową uprawiającą taki skrajny minimalizm jest Epos, którego przynajmniej dawniejsze konstrukcje (współczesne może już nie) miały zwrotnicę składającą się właśnie z jednego tylko kondensatora; nie był to wyraz skąpstwa, ale koncepcji, i pod tym kątem przygotowywano charakterystyki samego głośnika niskotonowego. Zupełnie inną genezę mają niektóre bardzo niskiej klasy konstrukcje, w których takie rozwiązanie wypada tłumaczyć tylko chęcią obniżenia kosztów. Wreszcie można zrozumieć taki układ jako pierwsze kroki hobbisty lub prowizorkę.

Zanim dalej będziemy wnikać w tajniki filtrowania, spójrzmy dokładniej na same głośniki i ustalmy, jakie ich cechy konstrukcyjne i parametry określają, w jakich zakresach powinny być stosowane.

### Długość fal?

Wracamy do początkowego problemu i pytania - dlaczego pojedynczy głośnik nie może przetwarzać całego pasma akustycznego? Moglibyśmy tutaj przedstawiać skomplikowaną teorię, ale pójdziemy na skróty. Przede wszystkim nasze obserwacje ograniczymy do przetworników dynamicznych (magnetoelektrycznych), które są najpopularniejszym typem głośników spotykanych w kolumnach. Do typu tego należą zarówno duże głośniki niskotonowe, jak i małe kopułki wysokotonowe. Już na pierwszy rzut oka widać, że głośniki mające za zadanie przetwarzać częstotliwości najniższe, są znacznie większe od przetwarzających częstotliwości najwyższe. Jest tu analogia do instrumentów muzycznych - stopa perkusji jest większa od werbla, a kontrabas od skrzypiec, a każda grubsza struna wydaje dźwięki niższe niż cieńsza, i tym niższe, na im niższych progach gramy (a więc im dłuższa część struny jest aktywna). Ma to związek z długościami fal - im niższe częstotliwości, tym są dłuższe - ale nie tylko. Przecież kilkunastocentymetrowe membrany typowych głośników nisko-średniotonowych przetwarzają częstotliwości poniżej 100 Hz, nawet jeżeli nie 20 Hz, to przynajmniej 50 Hz. A 50 Hz to fala o długości prawie 7 metrów!

### Powierzchnia i amplituda!

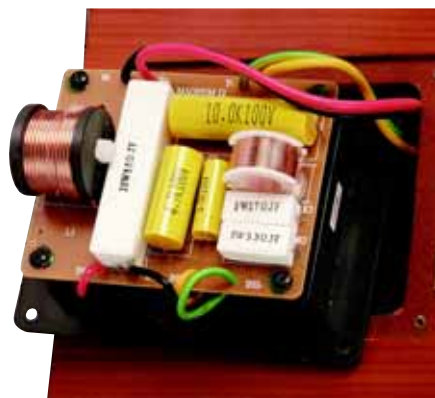
Umiarowana średnica membrany nie jest więc bezwzględnie przeszkodą dla przetwarzania niskich częstotliwości, chociaż im większa średnica i powierzchnia, tym łatwiej to zadanie

spełniać. Jest więc związek między powierzchnią membrany a częstotliwościami, jakie mają być przez nią przetwarzane, ale związek ten zawiera jeszcze jeden czynnik - amplitudę, z jaką membrana może pracować. Otóż powierzchnia membrany i jej amplituda „współpracują”, i mniejsza powierzchnia membrany może być rekompensowana przez większą amplitudę, i odwrotnie. Ostatecznie dla zdolności przetwarzania najniższych częstotliwości znaczenie ma jak największe „wychylenie objętościowe”, czyli iloczyn powierzchni membrany i jej maksymalnej amplitudy. Dlaczego? I dlaczego nie jest to tak potrzebne przetwarzaniu wysokich tonów?

Ponieważ dla ciśnienia akustycznego liczy się powierzchnia membrany i prędkość jej ruchu. Wysokie tony, czyli wysokie częstotliwości drgań, wytwarzają wysoką energię fali dzięki wysokim prędkościom; nawet gdy ruch ten odbywa się na małej amplitudzie, to przecież 20 tysięcy cykli na sekundę oznacza ogromne prędkości. Chcąc osiągnąć porównywalne przyspieszenia przy 20 cyklach na sekundę, trzeba stworzyć warunki do pracy ze znacznie większymi amplitudami, i posiłkować się zwiększaniem powierzchni membrany. Teoretycznie, gdyby można było skonstruować 25-mm średnicy głośnik kopułkowy o amplitudzie powiedzmy jednego metra, głośnik taki mógłby przetwarzać niskie tony. O ile... jest jeszcze jeden warunek dla możliwości przetwarzania niskich tonów - częstotliwość rezonansowa układu drgającego głośnika.

### Zaczynamy rezonować

W ten parametr trochę się wgrzejemy, bowiem będzie on nam w przyszłości pomocny. Każdy układ mechaniczny, w którym funkcjonuje masa i podatność (zawieszenie), albo układ elektryczny, w którym występuje indukcyjność (cewka) i pojemność (kondensator), charakteryzuje się częstotliwością rezonansową, odwrotnie proporcjonalną do pierwiastka z iloczynu masy i podatności.



Dość prosta, ale nie minimalistyczna, typowa zwrotnica dla układu dwudrożnego

Czyli im większa masa i (lub) podatność, tym niższa częstotliwość rezonansowa. Przy częstotliwości tej zachodzą tajemnicze zjawiska, których teorii już sobie darujemy, bowiem ważne jest dla nas przede wszystkim to, że poniżej częstotliwości rezonansowej głośnik szybko traci zdolność efektywnego przetwarzania (jego charakterystyka opada). Aby granica ta leżała jak najniżej, częstotliwość rezonansowa powinna być jak najniższa, a więc podatność zawieszonych i masa membrany głośnika powinny być duże. Dlatego też nasza hipotetyczna 25-milimetrowa kopułka, aby przetwarzać niskie częstotliwości, powinna nie tylko pracować na dużych amplitudach, ale i mieć niską częstotliwość rezonansową - wielokrotnie większą, niż zwykle kopułki mają. Stąd też widać, dlaczego małe głośniki nie potrafią przetwarzać niskich częstotliwości - mają zarówno zbyt małe wychylenia amplitudowe (przypominam - powierzchnia membrany  $\times$  jej amplituda), jak i zbyt wysokie częstotliwości rezonansowe (przypominam - jeden nad pierwiastek z iloczynu masy i podatności jej zawieszonych). Opanowanie myślowe tych zawiązków otwiera drogę do rozumienia kolejnych zależności, dlatego warto w to włożyć trochę wysiłku.

### Rezonujemy dalej...

Rozgrzyźmy więc tę sprawę do końca, a będziemy mieli ją z głowy. Naświetlmy te związki jeszcze inaczej. Otóż częstotliwość rezonansowa głośnika wpłynie jednoznacznie na jego charakterystykę przetwarzania, ale na charakterystyce tej nie ujrzymy możliwości pracy przy niskich częstotliwościach? Tak, ale badanie charakterystyki przetwarzania przeprowadza się zwykle przy niskim poziomie sygnału wejściowego, który nie ujawnia, jak dużą moc głośnik jest zdolny przyjąć.

Można więc zbudować mały głośnik niskotonowy (o niewielkiej powierzchni membrany i niewielkiej dopuszczalnej amplitudzie), który dzięki dużej masie membrany i podatności zawieszonych będzie miał niską częstotliwość rezonansową, a wskutek tego charakterystykę przetwarzania (mierzoną przy niskim sygnale sterującym) sięgającą najniższych częstotliwości. Jednak już moc nieco większa niż zawarta w dotychczasowym sygnale sterującym, ale w sumie wcale nie taka duża, powiedzmy kilka watów, spowoduje że na głośniku wymuszane będą amplitudy znacznie większe, niż jest on w stanie bez przesterowania osiągnąć. Mówiąc żargonem, jego układ drgający będzie szybko „wypluwany”. Taki głośnik specjalnie nam się nie przyda, sama niska częstotliwość rezonansowa i ładna charakterystyka przetwarzania



Podzielona na dwie płytki skomplikowana zwrotnica układu pięciodróżnego



nie dają gwarancji rzeczywiście skutecznej pracy w zakresie niskich częstotliwości. Wyobraźmy sobie przykład odwrotny - głośnik o dużej powierzchni membrany i dużej amplitudzie maksymalnej, któremu konstruktor ustalił jednak, np. za pomocą sztywnego zawieszania (mała podatność), wysoką częstotliwość rezonansową. Charakterystyka przetwarzania takiego głośnika wykaże więc wczesny spadek w zakresie niskich tonów, a dostarczanie do niego nawet dużej mocy w zakresie niskich tonów nie doprowadzi do dużych wychyleń i wykorzystania jego możliwości amplitudowych - głośnik bowiem jest zbyt mocno „trzymany” przez zawieszenie. Dlatego przy konstruowaniu i wybieraniu głośnika niskotonowego czy nisko-średniotonowego, należy uchwycić właściwe proporcje między częstotliwością rezonansową a wychyleniem objętościowym. Gdzieś dalej zajmiemy się tym, że określając częstotliwość rezonansową trzeba umiejętnie dobrać masę i podatność, a określając wychylenie objętościowe - powierzchnię i amplitudę.

### Dlaczego niskotonowy nie może być wysokotonowym?

Dlatego mały głośnik, o małej masie membrany, małej jej powierzchni i wychyleniu, nie jest zdolny przetwarzać niskich częstotliwości - już wiemy. Dlatego też głośniki szerokopasmowe bardziej przypominają głośniki niskotonowe i nisko-średniotonowe, niż wysokotonowe kopułki. Dlaczego jednak duży czy choćby średniej wielkości głośnik nie jest w stanie prze-





Głośnik wysokotonowy cieszy się z tego, że ma membranę małą i lekką. I w dodatku nie musi ona pracować przy dużych wychyleniach

tworząc częstotliwości wysokich? Tym razem związek między średnicą membrany a długością promieniowanych fal jest już wyraźny, ale nadal ma znaczenie również masa membrany. Powyżej częstotliwości rezonansowej układ drgający jest układem bezwładnościowym, więc masa membrany ogranicza prędkość jej ruchu wraz ze wzrostem częstotliwości. Utrzymanie w miarę płaskiej charakterystyki przetwarzania w szerokim zakresie powyżej częstotliwości rezonansowej zawdzięczamy jednak poprawiającej się relacji między średnicą membrany a długością promieniowanych przez nią fal (poprawia się tzw. rezystancja promieniowania). Kiedy długość fali (rozchodzącej się w powietrzu) przestaje być wyraźnie większa od średnicy membrany, zwiększa się efektywność. Ale ze zjawiska tego możemy korzystać tylko do pewnego momentu, a ponadto, kiedy długość fali (rozchodzącej się w membranie) staje się tak mała, że zbliża się do jej średnicy, zaczynają się nowe kłopoty. Przetwarzając fale dłuższe, membrana zachowuje się jak sztywny tłok, lub bardzo podobnie. Oznacza to, że cała jej powierzchnia pracuje w tej samej fazie, a ponieważ fale (w powietrzu) są wyraźnie dłuższe niż różnice odległości od poszczególnych części membrany (o kształcie nawet bardzo głębokiego stożka), stąd ciśnienie przed membraną jest stabilne w funkcji częstotliwości. Dla krótkich fal następują komplikacje wynikające z dwóch podstawowych powodów. Z samej stożkowej geometrii membrany wynika, że nawet gdyby wszystkie jej fragmenty poruszały się w sposób skoordynowany, to różnice w odległościach od poszczególnych części membrany do punktu oddalonego od głośnika, będą powodowały ich przesunięcia w fazie i zaburzenia charakterystyki wypadkowej. Na dodatek membrana przestaje pracować jak sztywny tłok. Fale rozchodzące się w niej zaczynają ją wyginać, co nazywa się zjawiskiem „dzielenia” membrany. Są to zjawiska niezwykle skomplikowane, zależne od prędkości roz-

chodzenia się fal w membranie (im wyższa, tym lepiej, bowiem wtedy fale określonej częstotliwości są dłuższe i ich relacja do średnicy membrany się poprawia), jej sztywności (zwykle idzie w parze z wysoką prędkością rozchodzenia się fali, ponadto do pewnego momentu to czynnik sprzyjający utrzymaniu pracy wedle zasady „sztywnego tłoka”, ale powyżej powodujący gwałtowne zjawiska rezonansowe), i wreszcie od tłumienia wewnętrznego (wprowadza ono tłumienie tych rezonansów, ale trudno membranę o wysokim tłumieniu uczynić sztywną). Dzielenie się membrany powoduje, że różne jej fragmenty pracują z różnymi fazami, i w połączeniu z przedstawionymi problemami „geometrycznymi” powoduje to, że charakterystyka staje się mniej lub bardziej poszarpana. Gdy jeszcze przywołamy problem masy, powodujący spadek zdolności przetwarzania, charakterystyka ostatecznie opada i to w sposób zwykle daleki od spokojnego zbrocza 6 dB/okt. A i to jeszcze nie wszystko. Wraz ze wzrostem częstotliwości, głośnik zaczyna skupiać promieniowanie na osi głównej... Co z tego wynika dla projektowania zwrotnic, zostawimy już na kiedy indziej. Teraz wychodzimy z tego gąszczu problemów upewnieni, że głośnik zaprojektowany jako niskotonowy czy nisko-średniotonowy, nie jest w stanie przetwarzać częstotliwości wysokich, i to z wielu powodów. Głośnik wysokotonowy nie tylko bowiem może, ale i powinien mieć membranę o małej średnicy i jak najmniejszej masie.

### Membrana się nie rozdwoi

Na dłużej zajęliśmy się głośnikami, a przecież w tym odcinku mamy jeszcze choćby skrótkowo przedstawić rolę, jaką odgrywa obudowa. Konieczność jej stosowania, wielkość, proporcje, budowę wewnętrzną, określają przede wszystkim wymagania głośnika przetwarzającego niskie częstotliwości - a więc niskotonowego lub nisko-średniotonowego. Głośnika mającego przetwarzać niskie tony nie można pozostawić bez obudowy, bowiem... nie będzie przetwarzał niskich tonów. Przednia i tylna strona membrany głośnika dynamicznego pracują w przeciwnych fazach - kiedy patrząc z przodu głośnika, membrana wykonuje ruch do przodu, sprężając powietrze, to patrząc od tyłu, cofa się, rozprężając je. Fale niskich częstotliwości mają znaczną długość, więc gdyby głośnik znajdował się w dużej odgradzie, powstające strefy sprężania i rozprężania rozpościerałyby się na dużym obszarze odpowiednio przed i za głośnikiem. Bez odgrady, ciśnienie sprzed głośnika „ucieknie” do tyłu, gdzie było podciśnienie, a przy przeciwnym ruchu membrany nastąpi zjawisko odwrotne. Nastąpi efekt „zwarcia akustycznego” i cały czas wokół głośnika ciśnienie będzie



W dobrze skonstruowanym głośniku niskotonowym niska częstotliwość rezonansowa powinna iść w parze z dużym wychyleniem objętościowym. Tylko wówczas charakterystyka przetwarzania będzie sięgała niskich częstotliwości, i głośnik będzie je w stanie odtwarzać przy wysokich poziomach natężenia

bliskie zeru. Dopiero przy częstotliwościach, których fale mają długość porównywalną ze średnicą membrany, chociaż ciśnienia na osiach głównych przed i za głośnikiem zawsze będą pozostawać w przeciwnych fazach, to już „obieganie” fali dookoła głośnika spowoduje jej przesunięcia w fazie, i interferencję z falą promieniowaną przez przeciwną stronę membrany w sposób mogący dawać niezerowe ciśnienie wypadkowe. Dlatego też z głośnika niezabudowanego słyszymy średnie tony, a nie słyszymy basu. Aby usłyszeć bas, trzeba zlikwidować fazową kolizję między pracą przedniej i tylnej strony membrany. Oczywiście nie da się tego zrobić żadnymi elektronicznymi sztuczkami - przednia i tylna strona są stronami tej samej membrany, która się przecież nie rozdwoi. Odizolowanie przedniej i tylnej strony membrany w teoretycznych rozważaniach przeprowadza się za pomocą nieskończonej wielkiej odgrady. Z taką ideą ma coś wspólnego obudowa typu linia transmisyjna, a z koncepcją skończonej odgrady obudowa typu dipol (otwarta), ale w praktyce spotykamy najczęściej obudowy bass-reflex, i znacznie rzadziej zamknięte. Teoria bass-reflexu jest dość skomplikowana, teraz w jednym zdaniu powiemy, że zasada jej działania polega na wywołaniu w obudowie zjawisk rezonansowych, które powodują możliwość wypromieniowania części energii produkowanej przez tylną stronę membrany w fazie zgodnej z pracą przedniej strony membrany (i bez obaw, membrana się nie rozdwoi). Natomiast obudowa zamknięta jest czymś znacznie prostszym, a jej funkcjonowanie polega na zamknięciu i wytłumieniu całej energii promieniowanej przez tylną stronę membrany. Jeżeli jednak ktoś myśli, że stwierdzenie „znacznie prostszym” oznacza, że prostym, już za miesiąc przekona się, że tak nie jest.

**Andrzej Kisiel**