

# Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów W głośnikowym żywiole, część 3

Przy „poważnym“ konstruowaniu każdego rodzaju obudowy musimy uwzględnić kilka parametrów głośnika, odnoszących się właśnie do jego działania w zakresie niskich częstotliwości. Wypada zacząć od ich omówienia. Tym samym przedstawianie właściwych obudów zaczniemy dopiero za miesiąc. Ale będziemy mieli już solidne podstawy teoretyczne i właściwe kwalifikacje, aby nie zajmować się tym po amatorsku.

## Odkryty skarb Thiele'a-Smalla

W kultowej książce A. Witorta, „Głośniki i zespoły głośnikowe“, wydanej w latach 70. i czytanej od deski do deski przez całą ówczesną generację konstruktorów jest wiele wzorów i schematów zastępczych. Omówiono także wiele rodzajów obudów, ale o parametrach Thiele'a-Smalla nie ma jeszcze ani słowa. Przedstawiane tam sposoby obliczania i projektowania obudów były bardzo ogólnikowe, opierały się na intuicji i wskazówkach w rodzaju: „do głośnika o średnicy 25-cm stosujemy obudowę większą niż do głośnika 20-cm“, albo: „zabudowanie głośnika powoduje wzrost częstotliwości rezonansowej, i częstotliwość ta jest tym wyższa, im mniejsza jest obudowa“ (nie są to dosłowne cytaty). Jednak do każdego głośnika 25-cm wcale nie należy zastosować obudowę większą niż do głośnika 20-cm, a w ogóle to jaką dokładnie? I o ile wzrasta częstotliwość rezonansowa głośnika, jeżeli zastosujemy taką a nie inną obudowę? Czy jesteśmy tu skazani na eksperymenty i pomiary? Czy nie można tego obliczyć i z góry przewidzieć?

Można. Obliczyli to dwaj Australijczycy: Thiele i Small, którzy przeanalizowali działanie głośnika w zakresie niskich częstotliwości, przygotowali szereg wzorów i parametrów, z których wystarczy jednak znać tylko trzy podstawowe, aby w zasadzie czuć się dość pewnie przy konstruowaniu każdej obudowy. Nieznajomość któregośkolwiek z tych parametrów w opisie głośnika stawia pod znakiem zapytania możliwość jego „kontrolowanego“ wykorzystania. Owe trzy najważniejsze parametry to:

- częstotliwość rezonansowa  $f_s$
- dobroć całkowita  $Q_{ts}$
- objętość ekwiwalentna  $V_{as}$

Prześledźmy sens i pochodzenie tych parametrów, przy okazji poznając lepiej sam głośnik niskotonowy.

## Rezonans masy i podatności

Częstotliwość rezonansowa (głośnika niezabudowanego)  $f_s$  [Hz] wyrażona jest wzorem:

*Po dwóch odcinkach wstępu rozpoczynamy wnikliwy i systematyczny przegląd rozwiązań konstrukcyjnych zestawów głośnikowych. Zaczniemy od obudów, a dokładniej od sposobów zapewnienia głośnikowi właściwych warunków pracy w zakresie najniższych częstotliwości. Uszczegółowienie to jest potrzebne, bowiem kształt i rodzaj obudowy "wpływa", poprzez swoją kubaturę i wewnętrzne układy rezonansowe, na odtwarzanie niskich tonów, a także na charakterystykę promieniowania sygnału akustycznego w zakresie średnich i wysokich częstotliwości, tym razem poprzez wymiary przedniej ścianki i rozmieszczenie głośników. Jednak konstruktorzy obudów zajmują się przede wszystkim pierwszym z wymienionych zagadnień - czyli kształtowaniem charakterystyki akustycznej w zakresie*

$$f_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C_{ms} \cdot M_{ms}}} \quad [1]$$

gdzie:

$C_{ms}$  - podatność zawiesznień membrany (głośnika niezabudowanego) [m/N],  
 $M_{ms}$  - masa układu drgającego [kg].

Częstotliwość rezonansowa to parametr znany jeszcze przed „epoką“ Thiele'a-Smalla, w silny sposób wpływający na dolną częstotliwość graniczną charakterystyki przetwarzania. Wspominaliśmy już o tym w poprzednim odcinku.

Konstruując obudowę nie musimy znać ani powyższego wzoru, ani wartości podatności, ani masy, ale może nam się czasami przydać świadomość, że obniżenie częstotliwości rezonansowej, np. dwukrotnie, wymaga zwiększenia masy lub podatności aż czterokrotnie.

Na masę układu drgającego składa się przede wszystkim masa membrany i cewki, ale też część masy zawiesznień, a także powietrza, które porusza się wraz z membraną „przyklejone“ do jej obydwu stron. Zainstalowanie głośnika w odgrodzie zwiększa o kilka procent masę drgającą, bowiem zwiększa się właśnie masa współdrgającego wraz z membraną powietrza.

Zawieszenie głośnika składa się z resora dolnego i górnego, a więc podatność zawiesznień jest sumą podatności tych dwóch resorów. Podatności dodają się jednak tak jak pojemności, czyli podatność wypadkowa jest zawsze mniejsza od podatności każdego z resorów osobno. Wbrew temu, co się sądzi, to wcale nie górny, ale dolny resor, mający mniejszą podatność, jest głównie odpowiedzialny za podatność zawiesznień. Dlatego nawet głośnik z dużym, efektywnym gumowym resorem górnym, wcale nie musi być

„miętko“ zawieszony, bowiem może go usztywniać (mała podatność) resor dolny (niewidoczny z zewnątrz przy głośniku zamontowanym).

## Ekwiwalent podatności

Objętość ekwiwalentna  $V_{as}$  [m<sup>3</sup>] jest wyrażona wzorem:

$$V_{as} = 0,0014 \cdot C_{ms} \cdot S_d^2 \quad [2]$$

gdzie:

$C_{ms}$  - podatność zawiesznień membrany (głośnika niezabudowanego) [m/N],  
 $S_d$  - efektywna powierzchnia membrany [m<sup>2</sup>],

0,0014 - stała wyliczona z uwzględnieniem prędkości dźwięku w powietrzu i gęstości powietrza.

Znajomość wartości objętości ekwiwalentnej jest niezbędna dla projektowania obudowy, jednak wyjaśnić należy, że wbrew nadziejom bardzo początkujących konstruktorów, nie jest to w żadnym sensie objętość rekomendowana. W szczególnym przypadku może okazać się odpowiednia (tak jak każda inna), ale zasadniczo służy tylko jako parametr do dalszych obliczeń. Dlaczego „ekwiwalentna“? Ponieważ oznacza taką objętość obudowy, która przedstawia sobą podatność identyczną z podatnością zawiesznień samego głośnika. Podatność powietrza w obudowie jest tym większa, im większa jest objętość tego powietrza (większa „poduszka“ powietrzna jest bardziej elastyczna), oczywiste jest więc skojarzenie, że im większa jest podatność zawiesznień samego głośnika, tym większa musi być objętość ekwiwalentna. Jednak jak wskazuje wzór, zależy ona również, i to do kwadratu, od powierzchni membrany. Dlatego dwa róż-

nej wielkości głośniki o takich samych podatnościach zawieszonych będą miały bardzo różniące się objętości ekwiwalentne - np. głośnik 30-cm, o powierzchni membrany ok. 450cm<sup>2</sup>, będzie miał ok. 4-krotnie większą objętość ekwiwalentną od głośnika 20-cm, o powierzchni membrany ok. 220cm<sup>2</sup>.

Posługiwanie się objętością ekwiwalentną służy przede wszystkim obliczeniom, jak zmieni się częstotliwość rezonansowa głośnika (a także dobroć jego układu rezonansowego, o czym za chwilę), po zamontowaniu w określonej objętości.

Wzór na częstotliwość rezonansową samego głośnika (niezabudowanego), można rozszerzyć na przypadek głośnika zabudowanego. Wiedząc, że podatności dodają się jak pojemności, łatwo sprawdzić, że zastosowanie obudowy o objętości równej objętości ekwiwalentnej głośnika spowoduje dwukrotne zmniejszenie się wypadkowej podatności zawieszenia układu drgającego głośnika (czyli złożonej z podatności zawieszonych samego głośnika i podatności obudowy), czyli zwiększenie się częstotliwości rezonansowej pierwotnie 2-krotnie, czyli o około 40% (do 140% częstotliwości rezonansowej głośnika niezabudowanego). Ten przykład należy w zasadzie do rozważań o obudowie zamkniętej, ale podaliśmy go w tym miejscu dla lepszego naświetlenia praktycznego znaczenia objętości ekwiwalentnej w obliczeniach.

### Dobroć...

Dobroć wypadkowa głośnika (niezabudowanego)  $Q_{ts}$  (nazywana też wypadkową dobrocią układu rezonansowego) jest wyrażona wzorem:

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \cdot Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}} \quad [3]$$

gdzie:

$Q_{ms}$  - dobroć mechaniczna,

$Q_{es}$  - dobroć elektryczna.

Z kolei dobroć mechaniczna  $Q_{ms}$  jest wyrażona wzorem:

$$Q_{ms} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot C_{ms} \cdot R_{ms}} \quad [4]$$

gdzie:

$f_s$  - częstotliwość rezonansowa (głośnika niezabudowanego) [Hz],

$C_{ms}$  - podatność zawieszonych membrany (głośnika niezabudowanego) [m/N],

$R_{ms}$  - rezystancja mechaniczna [kg/s].

A dobroć elektryczna  $Q_{es}$ :

$$Q_{es} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot M_{ms} \cdot R_e}{(B \cdot l)^2} \quad [5]$$

gdzie:

$f_s$  - częstotliwość rezonansowa (głośnika niezabudowanego) [Hz],

$M_{ms}$  - masa układu drgającego [kg],

$R_e$  - rezystancja cewki drgającej [Ω],

$B \cdot l$  - współczynnik siły (indukcja w szczelinie razy długość uzwojenia pozostającego w szczelinie) [T x m]

Pojęcie dobroci jest ściśle związane z pojęciem tłumienia. Im mniejsza

dobroć - tym większe tłumienie układu rezonansowego. Dla celów projektowania obudowy analizowanie tych wzorów zwykle nie jest konieczne, wystarczy znajomość  $Q_{ts}$ , natomiast ukazują one interesujące dla każdego konstruktora zależności „wewnętrzne“ każdego głośnika.

### Ciężki magnes pomoże ciężkiej membranie

Jak widać, dobroci dodają się w odwrotnościach, tak jak podatności i pojemności, czyli dobroć wypadkowa jest zawsze mniejsza od każdej z dobroci składowych. Zwykle dobroć elektryczna ma mniejszą wartość od dobroci mechanicznej, więc to ona i jej parametry w większym stopniu tłumią głośnik i wpływają na wartość dobroci wypadkowej. „Szybkość“ głośnika, jego charakterystyki impulsowe, kojarzą się najczęściej z masą drgającą. Im większa masa - tym impuls słabszy, czyli tłumienie większe. Spójrzmy na licznik wzoru opisującego  $Q_{es}$ . Występuje tam masa, choć obok niej jest i częstotliwość rezonansowa, która też zależy od masy, tylko że odwrotnie proporcjonalnie do jej pierwiastka. W sumie więc dobroć elektryczna rośnie wraz z masą.

Natomiast w mianowniku całego wzoru występuje kwadrat współczynnika siły, którego wartość zależy od indukcji w szczelinie i długości uzwojenia cewki w szczelinie. Na dobroć elektryczną, która ma największe znaczenie dla dobroci wypadkowej, największy wpływ mają więc parametry układu napędowego. Inaczej mówiąc, duża masa membrany wcale nie determinuje dużej dobroci i małego tłumienia. Łatwo jej wpływ skompensować „silnym“ układem magnetycznym - choć oczywiście jest to kosztowne. Dobry głośnik niskotonowy może mieć ciężką membranę, byle towarzyszył jej duży układ magnetyczny.

### Nie tracić mechanicznie

$R_{ms}$  - rezystancja mechaniczna - to parametr przedstawiany w literaturze najczęściej jako dotyczący strat (tłumienność) na tarcie w układzie drgającym głośnika, a więc strat powstających w zawieszeniu (dolnym, a zwłaszcza górnym, gdy jest ono wykonane z gumy o wysokiej stratności). Jednak okazuje się, że największy wpływ na straty uwzględnione w tym miejscu, mają hamujące ruch cewki (i odkształcające ją) prądy wirowe indukujące się w jej karkasie, jeśli ten wykonany jest z materiału przewodzącego, czyli najczęściej z aluminium. Aby je wyeliminować, karkasy nowoczesnych głośników niskotonowych wykonuje się np. z kaptonu lub z włókna szklanego - materiałów nieprzewodzących. Jak wynika ze wzoru, wraz ze wzrostem rezystancji mechanicznej, maleje wartość dobroci mechanicznej, a więc i dobroci wypadkowej. Jak dalej wyjaś-

nimy to dokładniej, niższa dobroć wypadkowa sprzyja uzyskiwaniu lepszych charakterystyk impulsowych. Mimo to duża wartość współczynnika strat mechanicznych (bo tak czasami nazywa się  $R_{ms}$ ) pogarsza brzmienie w zakresie niskich tonów. Dobry głośnik niskotonowy ma więc zarówno optymalną wartość dobroci całkowitej, jak i możliwie najniższą wartość strat mechanicznych. Nie jest to wymaganie trudne do spełnienia, ponieważ o poziomie dobroci wypadkowej decyduje głównie dobroć elektryczna, i nawet bardzo duża dobroć mechaniczna nie musi przeszkadzać w osiągnięciu tego celu. A są również opinie, że w ogóle wysoki poziom dobroci mechanicznej jest korzystny dla brzmienia basu.

### Rezystancja szeregową

Parametr  $R_e$  opisany jest powyżej jako rezystancja cewki drgającej samego głośnika, ale faktycznie dotyczy sumarycznej rezystancji obwodu głośnika, która jest nieco wyższa. Poprzez skorygowanie znanego nam  $R_e$ , należy korygować wartość  $Q_{es}$ , a wskutek tego  $Q_{ts}$ , jeżeli głośnik niskotonowy/niskośredniotonowy jest podłączony do wzmacniacza za pośrednictwem dodatkowej rezystancji szeregową, a jest tak w zasadzie zawsze. Na rezystancję szeregową, oznaczaną  $R_g$ , składają się głównie: rezystancja cewek filtrów dolnoprzepustowych (wartości zwykle dziesiątych części Ohma, ale zbliżające się czasami do jednego Ohma), rezystancja okablowania wewnętrznego, a zwłaszcza zewnętrznego (wartości zwykle dziesiątych części Ohma, rzadko przekraczające 0,5 Ohma przy typowych instalacjach i długościach kabli poniżej 10 m), wreszcie najmniej przewidywalna dla konstruktora zespołu głośnikowego rezystancja wyjściowa wzmacniacza w stosunku do zakładanej rezystancji obciążenia (zespołu głośnikowego), jako współczynnik tłumienia. W większości wzmacniaczy tranzystorowych, współczynnik tłumienia jest duży bądź bardzo duży, czyli rezystancja wyjściowa ma wartości rzędu setnych, co najwyżej dziesiątych części oma. Jednak dla wzmacniaczy lampowych może ona przekraczać wartość nawet 1 Ohma, co już istotnie wpływa na sytuację i rzeczywistą wartość  $Q_{es}$ , a ostatecznie na  $Q_{ts}$ .

Przy szacowaniu  $R_g$  i korygowaniu  $Q_{es}$  wypada więc wziąć pod uwagę wszystkie znane rezystancje zewnętrzne. Jako konstruktorzy zespołu głośnikowego, powinniśmy znać, a przynajmniej dość dokładnie oszacować rezystancję cewki lub cewek dla filtru dolnoprzepustowego. Jeżeli naprawdę nie mamy, można przyjąć, że filtr dla głośników niskotonowych będzie miał rezystancję o wartości 20% rezystancji cewki samego głośnika niskotonowego (lub sekcji kilku głośników), a filtr głośnika niskośredniotonowego będzie

miał rezystancję odpowiednio o wartości 10%. Rezystancję okablowania wewnętrznego możemy pominąć, okablowaniu zewnętrznemu „przyznajmy” 5%. Jeżeli wzmacniacz będzie wysokiej klasy wzmacniacz stereofoniczny, możemy jego rezystancję wyjściową pominąć. Jeżeli będzie to amplituner wielokanałowy, dodajmy jeszcze 5%. Zsumujmy powyższe procenty i najbardziej prawidłowe byłoby skorygowanie wartości  $Q_{es}$  o wyznaczony procent, a następnie obliczenie nowej wartości  $Q_{ts}$ . Jeżeli jednak nie znamy wartości  $Q_{es}$  (tak jak i  $Q_{ms}$ ), a jedynie  $Q_{ts}$  (czasami producenci w skrótych danych nie przedstawiają dobroci cząstkowych, a tylko łączną(wypadkową)), to nie ma większego problemu. Ponieważ dobroć  $Q_{es}$  w znacznie większym stopniu wpływa na  $Q_{ts}$ , niż dobroć  $Q_{ms}$ , możemy dokonać korekcji bezpośrednio na parametrze  $Q_{ts}$ , tylko zmniejszając nieco współczynnik korekcji, np. z oszacowanych 20% na 15%. Starania o superprecyzyjne obliczenie rzeczywistej wartości  $Q_{ts}$  i tak są skazane na porażkę. Należy pamiętać, że wszystkie wartości parametrów Thiele'a-Smalla zmieniają się w funkcji poziomu sygnału sterującego. Na szczęście nie w stopniu przekreślającym sens jakichkolwiek obliczeń.

**Wychylamy się (poza Thiele'a-Smalla)**

Oprócz parametrów Thiele'a-Smalla występuje jeszcze jeden, który dobrze jest znać podczas projektowania każdej obudowy. Jest to maksymalne wychylenie układu drgającego, równoważne z maksymalnym wychyleniem cewki i membrany, oznaczane  $X_{max}$ . Występuje tu lekkie niedoprecyzowanie pojęć, bowiem mówiąc „wychylenie

maksymalne” czasami ma się na myśli maksymalne wychylenie liniowe, a czasami maksymalne wychylenie dopuszczające pracę nieliniową. Dla dalszych rozważań przyjmijmy terminy odpowiednio *wychylenie liniowe* ( $X_{lin}$ ) i *wychylenie maksymalne* ( $X_{max}$ ). Dlaczego w grupie parametrów Thiele'a-Smalla nie ma wychyleń liniowego ani maksymalnego? Ponieważ prace tych badaczy zmierzały do ustalenia wskazówek dla prawidłowego projektowania obudów z uwagi na ich charakterystyki przetwarzania i charakterystyki impulsowe. Wychylenie liniowe i maksymalne nie ma bezpośrednio z tym nic wspólnego, odnosi się bowiem do innej właściwości gotowego urządzenia głośnikowego - jego wytrzymałości, czyli mocy. W praktyce jednak, konstruując zespół głośnikowy, musimy i ten parametr mieć pod kontrolą.

Rodzaj i parametry obudowy wpływają na moc, jaką można dostarczyć do głośnika niskotonowego. Wychylenie liniowe i maksymalne w dużym stopniu wpływają na wartość tej mocy (oczywiście im większe wychylenie, tym większa moc), ale w różnych obudowach może się zdarzyć, że w jednej bardzo duże wychylenia będą wywoływane już relatywnie niewielką mocą, a w innej nawet duże dostarczone moce nie będą obciążać głośnika zbyt dużymi wychyleniami. Dlatego znajomość wychyleń liniowego i maksymalnego jest bardzo ważna, ponieważ nie tylko może pomóc nam ustalić charakterystykę mocową głośnika w danej obudowie, ale i skłaniać do modyfikowania samej obudowy, aby np. pewnym kosztem charakterystyki przetwarzania czy charakterystyki impulsowej, uzyskiwać lepsze zabezpieczenie głośnika przed przesterowaniem.

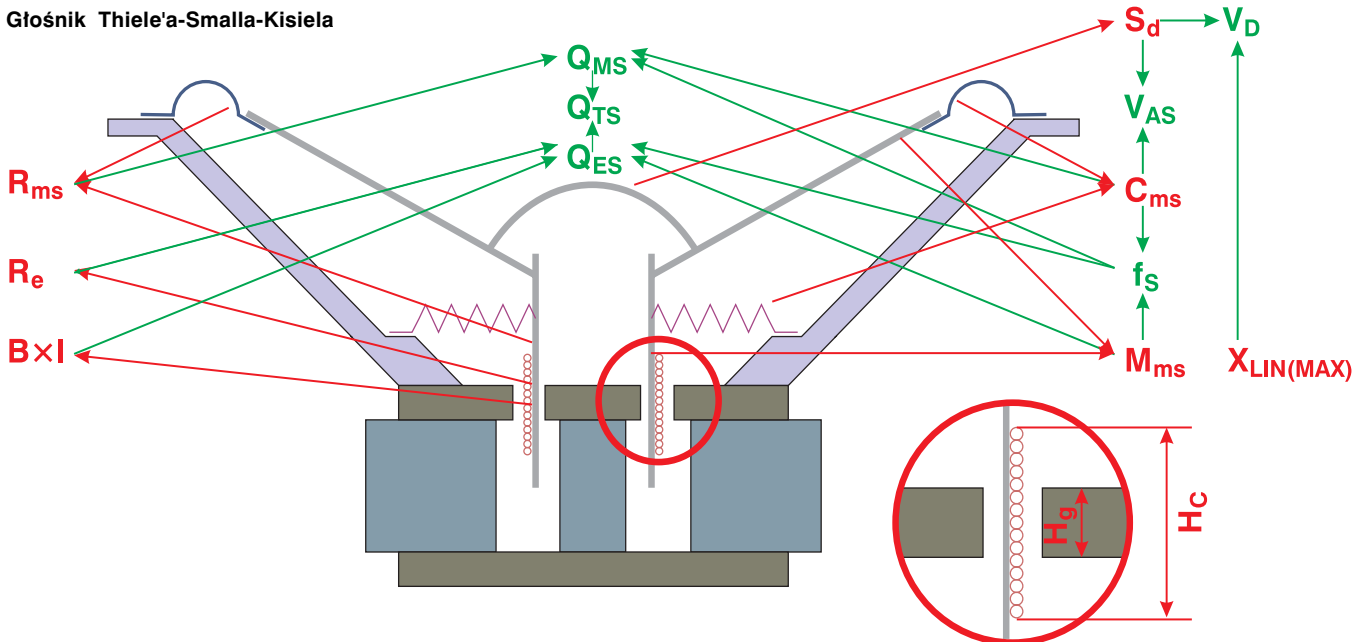
**Pracujmy liniowo**

Przypomnijmy jeden z parametrów występujący we wzorze na dobroć elektryczną  $Q_{es}$ . Pojawił się tam parametr  $B \times l$ , nazywany współczynnikiem siły. Wyjaśniliśmy, że na małą wartość  $Q_{es}$  „pracuje” wysoki współczynnik siły, konieczny zwłaszcza wtedy, gdy membrana ma dużą masę. Ten sam współczynnik siły determinuje też efektywność przetwornika, na którą z kolei również masa membrany wpływa ujemnie. Współczynnik siły zależy od dwóch elementów - indukcji w szczelinie, i długości uzwojenia cewki. Silny układ magnetyczny to oczywiście duża wartość indukcji w szczelinie, ale przyda się również duża liczba zwojów. Z tego punktu widzenia najlepiej dla dobroci (małej) i efektywności (wysokiej) byłoby, gdyby wszystkie zwoje cewki znajdowały się w szczelinie. Wtedy jednak minimalne wychylenie układu drgającego i cewki spowodowałoby, że część jej zwojów „wyszłaby” ze szczeliny, zmniejszając współczynnik  $B \times l$ . Najgroźniejsza jest w tym sama zmiana wartości współczynnika siły, powodująca nieliniowość pracy, co z kolei oznacza poważne zniekształcenia sygnału akustycznego. Dla zapewnienia liniowej pracy w ustalonym zakresie wychyleń, trzeba układ napędowy skonstruować tak, aby w tym zakresie liczba uzwojeń wypełniających szczelinę była stała.

**Cewki wysokie**

Najczęściej realizuje się to poprzez cewki znacznie wyższe (dłuższe) od wysokości szczeliny. Wówczas głośnik pracuje liniowo w zakresie wychyleń określonych przez wystające poza szczelinę części cewki. Wzór na wychylenie liniowe  $X_{lin}$  jest więc następujący:

**Głośnik Thiele'a-Smalla-Kisiela**



Rysunek głośnika niskotonowego, lokalizujący elementy wpływające na parametry Thiele'a-Smalla i ilustrujący związki między nimi

$$X_{lin} = H_c - H_g/2 \quad [6]$$

gdzie:

$H_c$  - wysokość cewki drgającej [m],  
 $H_g$  - wysokość szczeliny [m].

Wartość wychylenia liniowego wyznaczonego z tego wzoru należy poprzedzić znakiem  $\pm$ , ponieważ odnosi się ono do wychylenia w jedną stronę (czasami podawane jest wychylenie liniowe całkowite, będące sumą (jednakowych) wychyleń w obydwie strony, a więc jest bezpośrednio różnicą między wysokością cewki a wysokością szczeliny.).

Duży „zapas“ uzwojeń cewki poniżej i powyżej szczeliny zwiększa wychylenie liniowe, ale obniża  $B_{xl}$ , czym pogarsza sprawność przetwornika i podnosi  $Q_{es}$ , bowiem prąd płynący przez uzwojenia pozostające poza szczeliną, czyli poza polem magnetycznym, „płynie na marne“. Ale wysokiej klasy głośnik niskotonowy, a zwłaszcza subniskotonowy (przypominamy, że w zakresie najniższych częstotliwości amplitudy są największe), musi mieć duże wychylenie liniowe, więc aby utrzymać odpowiedni poziom  $B_{xl}$  i wynikających stąd innych parametrów, trzeba zwiększać indukcję w szczelinie, czyli zwiększać układ magnetyczny. Dlatego duże i silne magnesy głośników niskotonowych wcale nie muszą oznaczać ich bardzo dużych efektywności, jeżeli w głośnikach tych zabezpieczono również wysokie wychylenia liniowe.

### Cewki niskie

Rzadziej spotykanym rozwiązaniem, zapewniającym stałą wartość  $B_{xl}$  w ustalonym zakresie wychyleń, jest wprowadzenie cewki znacznie niższej, niż wysokość szczeliny. Wówczas w szczelinie znajduje się, podczas pracy liniowej, również stała liczba zwojów, w dodatku wszystkich zwojów cewki, co jednak nie poprawia sprawności energetycznej i wartości współczynnika  $B_{xl}$ , bowiem w takiej sytuacji cały czas „marnuje się“ nie prąd, ale duża część strumienia magnetycznego, przechodzącego poniżej i powyżej cewki. Tak skonstruowane układy magnetyczne mają w praktyce nawet niższą sprawność niż konwencjonalne z wysokimi cewkami, są jednak uznawane za bardzo „szlachetne“, bowiem mają mniejsze zniekształcenia. Dlaczego? Cewka dłuższa od szczeliny jest poddana oddziaływaniu pola nie tylko z samej szczeliny, ale i pola rozpraszającego poniżej i powyżej szczeliny (równomierność pola oddziałującego na cewkę jest jednym z warunków niskich zniekształceń). Natomiast cewka krótsza od szczeliny, podczas pracy liniowej pozostaje w obrębie szczeliny i pola jednorodnego. W strefy pola rozpraszającego powyżej i poniżej szczeliny wchodzi dopiero po przekroczeniu wartości wychylenia liniowego, wyznaczonej ja-

ko różnica między wysokością szczeliny a wysokością cewki.

Można też uznać, że istnienie pola rozproszonego po obydwu stronach szczeliny nieco rozszerza zakres wychyleń liniowych dla układów z krótką cewką (jeżeli zgodzimy się na ich częściową pracę w polu rozproszonym), ale z drugiej strony zawsze mniejsza, a nie większa, amplitudę liniową dla układów z długą cewką (ponieważ uwzględniając pole rozproszone, powinniśmy skorygować dodatkowo wysokość szczeliny, co zmniejszy różnicę między nią a wysoką cewką).

### Wychylamy objętość

Całkowite wychylenie liniowe (zsumowane w obydwie strony) jest parametrem służącym do wyznaczenia, wraz z powierzchnią membrany, wychylenia objętościowego  $V_d$ , czyli objętości powietrza, jaką głośnik jest zdolny przemieścić podczas ruchu membrany między swoimi skrajnymi położeniami w ramach pracy liniowej:

$$V_d = S_d \cdot X_{lin} \cdot 2 \quad [7]$$

gdzie:

$S_d$  - powierzchnia membrany [m<sup>2</sup>],  
 $X_{lin}$  - wychylenie liniowe [m].

### Czysta mechanika

Wychylenie maksymalne (nieliniowe) określone jest nie przez parametry układu szczelina-cewka, ale przez czysto mechaniczną zdolność układu drgającego do osiągania skrajnych pozycji. Wychylenie maksymalne ograniczone jest albo przez maksymalne, możliwe odkształcenia zawieszenia, albo przez „objanie“ się karkasu cewki o dolny nabiegownik. W dobrze zaprojektowanym głośniku zjawiska te pojawiają się oczywiście przy znacznie większym wychyleniu, niż wychylenie liniowe, dając głośnikowi „zapas“ wychylenia, wykorzystywany podczas odtwarzania impulsów. Nie są one wtedy odtwarzane już liniowo, i można uznać, że wywołująca je moc przekracza moc znamionową, ale mimo to nie grozi to jeszcze uszkodzeniem głośnika, do którego dojść może dopiero po dostarczeniu mocy znacznie większej od mocy, do której głośnik pracuje liniowo. Dlatego zewnętrzne oględziny głośnika niskotonowego, choć nie mówią nam nic pewnego na temat jego amplitudy liniowej, bo zależy od niewidocznej wysokości cewki (wysokość szczeliny widać zwykle jako wysokość górnej płyty nabiegunkowej), to przynajmniej podpowiadają, jaka jest jego amplituda maksymalna - wystarczy palcami wyprowadzić membranę ze stanu spoczynkowego, zwłaszcza badając, jak głęboko można ją „wepchnąć“, zanim odczujemy oparcie się karkasu o dolną płytę nabiegunkową lub zanim „skończy“ się elastyczność zawiesznień (badanie to na-

leży prowadzić z wyczuciem, zarówno pod względem siły, jak i umiejętności przesuwania membrany dokładnie w kierunku osiowym, aby nie spowodować ocierania się cewki o szczelinę).

### Moc znamionowa

Moc i wychylenie - liniowe i maksymalne - są w pewnym stopniu od siebie zależne. Jeżeli przyjmujemy definicję, że moc głośnika określa się przy granicy, przy której wyższa moc doprowadziłaby już do uszkodzenia lub zniszczenia głośnika (skądinąd warunki tego badania ogólnie rzecz biorąc mogą być różne), to moc wiążemy z wychyleniem maksymalnym. Jeżeli definiowalibyśmy moc nominalną jako moc o wartości, poniżej której gwarantowany jest określony niski poziom zniekształceń, ewentualnie powyżej której zaczynają one szybko rosnąć, to odnosimy się do wychylenia liniowego.

To jednak nie wszystko. W pracy głośnika występują bowiem dwa podstawowe zagrożenia - nadmiernych wychyleń, i nadmiernych temperatur. Czynnikiem temperaturowym ma większe znaczenie dla głośników średnionotonowych, a przede wszystkim wysokotonowych, natomiast dla głośników niskotonowych - zarówno czynnikiem amplitudowy, jak i termiczny.

W zakresie najniższych częstotliwości przeważało będzie zagrożenie nadmiernymi wychyleniami, ale już powyżej 50 Hz - raczej niebezpieczeństwo zbyt dużej dawki ciepła. Wraz ze wzrostem częstotliwości szybko spada bowiem „zapotrzebowanie“ na wykonywanie dużych wychyleń dla przetwarzania określonej porcji mocy elektrycznej na ciśnienie akustyczne, o czym pisaliśmy w poprzednim odcinku i moc „stabilizuje“ się na poziomie mocy określonej poprzez czynniki temperaturowy. Natomiast w zakresie najniższych częstotliwości dostarczenie mocy znacznie mniejszej od tak określonej, wywołuje nadmierne wychylenia.

Ten wywód zmierza do jednego prostego, choć wcale nie upraszczającego życi wniosku - że moc znamionowa podawana przez producenta dla głośnika niskotonowego niewiele gwarantuje. Nawet moc znacznie mniejsza, ale pojawiająca się przy częstotliwościach najniższych, nie tylko że może spowodować wyjście poza zakres pracy liniowej, ale nawet uszkodzić głośnik. Jak się przed tym ustrzec? Właśnie wykorzystując znajomość wychyleń liniowego i maksymalnego, które są parametrami znacznie bardziej użytecznymi dla określenia obciążalności głośnika niskotonowego w danej obudowie, niż katalogowa moc znamionowa. A jak wykorzystać te dane - o tym już za miesiąc, w opracowaniu poświęconym projektowaniu obudów zamkniętych.

**Andrzej Kisiel**