

Kupując wzmacniacz mocy bierzemy pod uwagę: cenę, markę (za którą często sporo dopłacamy) oraz parametry. Tych zaś we współczesnych konstrukcjach pojawia się coraz więcej, zmienia się również sposób ich interpretacji.

Dawniej było prościej. Norma DiN 45500 i oparta na niej polska norma T-06251, obie opisujące klasę hi-fi, miały bardzo bardzo skromne wymagania. Proponuję przypomnieć kolejno tamte warunki i porównać je z obecnie osiąganymi wartościami.

Znamionowa moc wyjściowa

Jest to moc (średnia moc czynna) wydzielana na znamionowej impedancji obciążenia, przy określonej częstotliwości, przez określony czas (10 minut), bez przekraczania określonej wartości współczynnika zniekształceń nieliniowych. Kiedyś wystarczyło, aby była większa niż 2x6 W. Współczesne wzmacniacze dysponują mocą znacznie większą; 2x50 W nie jest wcale wartością przesadzoną.

Oprócz wartości znamionowej, podaje się również, większą od niej, wartość mocy muzycznej (a czasem szczytowej), pojawiającej się na wyjściu przez znacznie krótszy czas. Czy słusznie, skoro do zapewnienia wystarczającej głośności w pomieszczeniu o średniej kubaturze wystarczy raptem kilka watów mocy? Są przecież lampowe specjalne super-wzmacniacze klasy super A (w cenie dobrego samochodu) o mocy zaledwie 2x8 W.

Otóż, dobry wzmacniacz to wzmacniacz o możliwie najmniejszych zniekształceniach. Te zaś zależą od kombinacji poziomu wzmacnianego sygnału, jego częstotliwości oraz (również zmieniającej się!) impedancji obciążenia. Tak więc, po pierwsze – wystarczająca głośność w zakresie małych częstotliwości wymaga mocy znacznie większej niż kilka watów. Po drugie – współczesne kolumny głośnikowe swoje, wyraźnie bardziej wyrównane i mniej zakolorowane, brzmienie osiągają najczęściej kosztem mniejszej skuteczności, a zatem wymagają więk-

szej mocy. Sprawność przetwarzania energii elektrycznej na akustyczną w domowych zestawach głośnikowych wysokiej klasy zawiera się w przedziale od 0,5 do 1,5%!

Po trzecie – tradycyjnie oblicza się wymaganą moc wzmacniacza przy założeniu stałego i rezystancyjnego obciążenia, np. 8 Ω . W zaleceniach IEC, uwzględniających zmieniającą się impedancję obciążenia podano, że zmiany te nie mogą być większe niż 20%, co oznacza, że przy 8 Ω obciążenie wzmacniacza nie powinno być nigdy mniejsze niż 6,4 Ω . Pomiarów kolumn wielodrożnych wykazują, że wartość ta może być nawet mniejsza niż 2 Ω ! Co gorsza, rzadko jest to obciążenie czysto rezystancyjne, najczęściej ma charakter reaktancyjny.

We wzmacniaczu o mocy ok. 50 W szczytowe wartości prądu (przy obciążeniu 8 Ω) dochodzą nie do 2,5 ale do 15 A (przy 100 W do 25 A). Z kolei według norm IEC, w średnim pomieszczeniu o objętości 80 m³ (2,8x6,7x4,2 m) dwie kolumny o skuteczności 85 dB/W zapewnią cichy odsłuch na poziomie 80 dBA (SPL) już przy 1 W w każdym z kanałów. Głośny odsłuch (100 dBA) wymaga 36 watów, bardzo głośno (106 dBA) będzie przy... 150 W, natomiast wierne (choć nieco niezdrawe) odtworzenie w tym pomieszczeniu atmosfery koncertu rockowego oznacza poziom 112 dBA (dla przypomnienia 120 dBA to prób bólu...), możliwy dopiero przy 600 watach (na kanał). Rozsądniejsze wydaje się słuchanie muzyki klasycznej. Kolumnom głośnikowym (90 dB/W) wystarczy wówczas 30 W na kanał (ale lepsze brzmieniowo, choć mniej skuteczne kolumny, np. 84 dB/W, mogą zwiększyć to wymaganie do 150 W!).

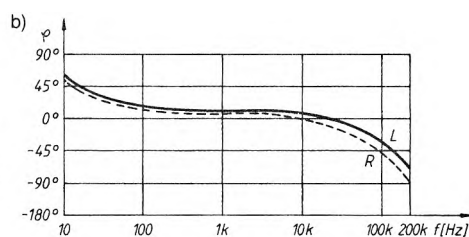
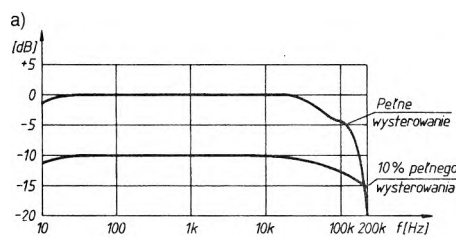
Po czwarte wreszcie, należy uwzględnić dynamikę wzmacnianego sygnału. Przy muzyce pop. z natury często poddawanej silnej kompresji, różnica poziomów szczytowych i średnich dochodzi do 10 dB; w takim przypadku przy średnim poziomie głośności wzmacniacz może pracować np. przy 4 W mocy, dla wartości szczytowych zaś dochodzi do 40 W. Źródła muzyki dobrej jakości i o dużej dynamice (np. CD) mogą mieć wspomnianą różnicę równą 20 dB, co oznacza możliwość przechodzenia od 4 W do ... 400! Jest to możliwe, ale też bardzo kosztowne. Lepiej wybrać 100 W mocy szczytowej (moc średnia 1 W), co oznacza, że nie mogąc zwiększyć skuteczności głośników, trzeba po prostu słuchać ciszej. W praktyce jednak takie wartości szczytowe są dość rzadkie i krótkotrwałe, więc średnia moc (i głośność) może być większa.

Z przedstawionych tu rozważań wynika, że podawanie tylko wartości mocy znamionowej wzmacniacza zdecydowanie nie wystarcza. Dobry wzmacniacz powinien zapewniać przez długi czas odpowiednią moc (moc znamionową) i jednocześnie mieć dość znaczny zapas mocy chwilowej. Oznacza to, że moc muzyczna, często traktowana tylko jako reklama, ma jednak swój znacznie głębszy sens. To, co można kwestionować, to na ogół nieokreślony sposób jej pomiaru, który sprawia, że jej wartości trudno porównywać. Moc muzyczna według IHF (amerykański instytut hi-fi) mogła nawet mieć wartość 100 W przy mocy znamionowej od 5 do 10 W. Norma IEC 268-3 (polski odpowiednik PN-91 T-04499/03, brytyjski BS 6840-3) operuje mocą znamionową, wydzielaną na znamionowej, określonej przez producenta impedancji obciążenia, przy której współczynnik zniekształceń nie przekracza określonej, znamionowej wartości. Po minimum 60 s, jeżeli zmieniła się wartość współczynnika zniekształceń, koryguje się odpowiednio poziom napięcia wejściowego i mierzy napięcie na wyjściu, przeliczane następnie (przy znanym obciążeniu) na moc. Co więcej, norma ta wprowadza pojęcie mocy krótkoterminowej oraz długoterminowej i określa sposoby pomiaru. Wszystkie pomiary muszą być wykonywane po minimum 1 godz. ciągłej pracy wzmacniacza w warunkach "bliskich normalnym", chodzi tu o to, aby mierzony wzmacniacz był już odpowiednio nagrany. Moc krótkoterminową bada się 1-sekundowymi paczkami impulsów 1 kHz, po 1 s od pojawienia się takiego impulsu na wejściu, odczytuje się wartość napięcia wyjściowego i tak zwiększa poziom wejściowy, aby osiągnąć na wyjściu maksymalną wartość napięcia.

Przeliczenie tej wartości na moc daje wartość maksymalną mocy krótkotrwałej. Moc długotrwałą oblicza się podobnie, ale zamiast kluczowanego sygnału 1 kHz, do wejścia wzmacniacza doprowadza się szum ważony, aproksymujący rzeczywisty sygnał muzyczny. Siła elektromotoryczna tego szumu jest minimum 10 razy większa od SEM sygnału wejściowego o wartości znamionowej. Po 60 s pracy wzmacniacza odczytuje się z rejestratora wartość napięcia wyjściowego i przelicza na moc.

Istnieją również inne normy – amerykańska norma EIA RS-490 nie wymaga na przykład wstępnego wygrzewania, ale za to testowany wzmacniacz musi dostarczać mierzoną moc znamionową nieprzerwanie przez 5 min. Z kolei do pomiaru tak zwanej mocy dynamicznej używa się 20-milisekundowego impulsu sygnału testowego o poziomie wystarczającym do wprowadzania wzmacniacza w stan obciążenia przebiegu na wyjściu. Po nim przez 480 ms występuje ten sam sygnał ale o poziomie 20 dB niższym. Odnosząc tak zmierzony poziom mocy wyjściowej do mocy ciągłej otrzymuje się współczynnik dynamicznego zapasu występowania (dynamic headroom).

Wymagania te są również krytykowane, ponieważ niezupełnie dobrze pasują do rzeczywistych sygnałów muzycznych. Impulsy sterujące o wartości maksymalnej powinny być znacznie dłuż-



Przykładowe charakterystyki wzmacniacza a – częstotliwościowa mocy, b – fazowa w funkcji częstotliwości

sze (200 do 500 ms) z odstępami od 0,8 do 2 s. Można jeszcze testować moc wydzielaną przez wzmacniacz podczas skoków poziomu (*transient power*) stosując do tego celu impulsy 20 ms powtarzane co 80 ms. Oczywiście każdy taki pomiar da inną wartość. Dla przykładu, ten sam wzmacniacz obciążony 4 Ω wykazuje: moc sinusoidalną o wartości 600 W, dynamiczną, przy sterowaniu sygnałem testowym 20 ms/480 ms, równą 940 W, przy sygnale 200 ms/800 ms 675 W, a przy pomiarze sygnałem o czasie trwania impulsu 20 ms powtarzanym co 80 ms – 1100 W. Chciałoby się tu zawołać "kto da więcej?", choć nie sposób nie przyznać, że urządzenie pracujące z dość żywiołowo zmieniającymi się sygnałami muzycznymi nie powinno być testowane oraz szacowane jedynie za pomocą sygnałów ustalonych. Moce typu MPO (*music power output* – moc muzyczna), czy PMPO (*peak music power output* – szczytowa moc muzyczna) dają pewne pojęcie o dynamicznych właściwościach wzmacniacza, jednak to, czego zawsze brakuje w katalogach, to nazwa normy lub metody pomiaru. Nie istnieje prosty sposób przeliczenia mocy znamionowej na muzyczną czy szczytową, gdyż zależy to od parametrów zasilacza. Można jedynie oszacować, na podstawie pomiarów sygnałów muzycznych, wymagania, jakim musi sprostać wzmacniacz. Stosuje się tu współczynnik PMR (*peak to mean ratio* – stosunek wartości szczytowej do średniej), który tylko dla "przyzwyczajonej" sinusoidy ma stałą wartość 1,41 (3 dB), dla skomprimowanej muzyki wynosi około 10 (10 dB), dla muzyki poważnej około 20 (16) dB, dla tejże muzyki dla dużych składów dochodzi do 100 (20 dB). Niemniej jednak amerykańska FTC (*Federal Trade Commission*) zaleca podawanie w materiałach reklamowych sinusoidalnej znamionowej mocy ciągłej, czemu często towarzyszy moc szczytowa liczona podwójnie.

Pasma przenoszenia wzmacniacza

W dawnych, dobrych czasach wystarczało (minimalne) pasmo od 40 Hz do 16 kHz. Współczesne mikrofony, miksery czy płyty CD działają nawet od paru herców, niemniej jednak, poza efektami specjalnymi ("zabójcza" częstotliwość 7 Hz, konieczna do wywołania nastroju grozy w kinie domowym w systemie dookólnym) wydaje się, że wystarczy jako dolną granicę przyjąć 16 Hz – najniższy, choć rzadko używany dźwięk muzyczny (C subkontra w organach lub instrumentach elektronowych). Biorąc pod uwagę fakt, że na krańcach charakterystyka częstotliwościowa na ogół opada z pewnym nachyleniem – idealny "zapas na dole" zapewnia tylko charakterystyka zaczynająca się od 0 Hz (za to wymagająca specjalnej konstrukcji wzmacniacza).

Górna granica to znacznie ciekawsze zagadnienie. Częstotliwości podstawowe naturalnych dźwięków muzycznych kończą się na ok. 10 kHz (skrzypce, fortepian koncertowy, czelesta, ksylofon, organy), powyżej zaś, występują już tylko ich harmoniczne, nadające im właściwą barwę. Według większości źródeł słyszymy dźwięki o częstotliwościach dochodzących do

20 kHz. Po co zatem więcej? Prawdopodobnie słyszymy najwyżej 20 kHz, ale reagujemy na częstotliwości znacznie większe. Jak bowiem wytłumaczyć fakt słuchowego rozróżniania przebiegu sinusoidalnego od trójkątnego, oba o jednakowej częstotliwości, równej nawet 10 kHz? Trójkątny przebieg można w tym przypadku odróżnić od sinusoidy jedynie reagując na jego harmoniczne, z których najniższa (trzecia harmoniczna) ma częstotliwość 30 kHz (w zależności od symetrii tego przebiegu może też pojawić się i druga harmoniczna, tj. 20 kHz). Przy rozróżnianiu kierunków góra-dół lub przód-tył, wykorzystujemy różnice mikroopóźnień dźwięku (powodujące skutek skomplikowanego ukształtowania powierzchni małżowiny ucha) rzędu paru mikrosekund (ileż to było setek kHz?). A do idealnego przeniesienia przebiegu prostokątnego na dowolnej zresztą częstotliwości, wymagane jest pasmo, obejmujące wszystkie harmoniczne sięga przecież nieskończoności.

Większość producentów sprzętu profesjonalnego dba o to, aby punkt -3 dB na charakterystyce częstotliwościowej nie leżał poniżej 130-150 kHz, co nie jest wcale takie łatwe. Znacznie poszerzona charakterystyka częstotliwościowa zapewnia też znacznie bardziej wyrównaną charakterystykę fazową (rys.), co jest również ważne jeśli w ogóle mówimy o stereofonii. (Przy tego typu dyskusjach zawsze nieodparcie przychodzi mi na myśl współpraca takiego super "szerokopasmowego" wzmacniacza z odtwarzaczem CD, w którym, zgodnie z prawidłami sztuki cyfrowej, zarówno przed zapisem /filtr antyaliasingowy/, jak i po odczycie /filtr rekonstrukcyjny/ skutecznie /minimum -85 dB/ wycięto wszystko, co ośmieliło być większe niż 20 kHz. Podobnie można się spytać, co dzieje się potem z tymi setkami kiloherców w zwykłej kolumnie głośnikowej...). Samo podanie wartości częstotliwości granicznych nie wystarcza, musi temu towarzyszyć wartość spadku poziomu charakterystyki przy wymienionej częstotliwości. Samo "pasmo 20 Hz + 20 kHz" nie oznacza nic – może to być sytuacja spadku poziomu na tych krańcach o zaledwie 0,5 dB (na ogół nie słychać) lub spadku o 3 dB (już słychać) lub nawet 10 dB (wyraźnie słychać). Również ważna jest nierównomierność takiej charakterystyki – jest to najczęściej brakująca w danych katalogowych wartość $\pm 0,5$ czy $\pm 1,5$ dB. Może się również zdarzyć (choć raczej rzadko), że krańce użytecznego obszaru charakterystyki są wystarczające, ale wewnątrz tego obszaru charakterystyka wykazuje bardzo silne zafalowania, będące źródłem zniekształceń liniowych (podbicia dźwięku).

Grzegorz Morkowski

Parametry wzmacniaczy

Parametry wzmacniaczy (2)

Zniekształcenia liniowe i nieliniowe. Współczynnik zawartości harmonicznych (*total harmonic distortion* – THD) oraz współczynnik zniekształceń intermodulacyjnych (*intermodulation distortion* – IMD).

Zniekształcenia liniowe, to nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej, która tylko w teorii bywa płaska. Zniekształcenia nieliniowe to najogólniej mówiąc wszystko to, co do wzmacnianego sygnału dodaje "od siebie" wzmacniacz.

Charakterystyka przejściowa wzmacniacza różni się zawsze od prostej, opisywanej równaniem liniowym. Przez to na wyjściu, oprócz wzmocnionego sygnału wejściowego, pojawiają się także obce składniki, których nie było na wejściu, a które powstały podczas obróbki tego sygnału. Stosunek tych dodatkowych i niepożądanych produktów do produktu pożądanego jest właśnie miarą zniekształceń.

W dawnych konstrukcjach wystarczyło, gdy współczynnik THD był mniejszy niż 1%, a IMD nie przekraczał 3%, obecnie THD wynosi od 0,03 do nawet 0,0003%, a IMD 0,015 do 0,05%, i nie są to jedyne kryteria oceny zniekształceń

wzmacniacza. Tak duże obniżenie współczynnika THD było możliwe głównie dzięki bardzo silnemu ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu. Jednocześnie dla zapewnienia stabilności, zwłaszcza dla dużych częstotliwości, należało ograniczyć szybkość narastania sygnału, co z kolei istotnie zwiększyło współczynnik transjentowych zniekształceń intermodulacyjnych TIM (*transient intermodulation*).

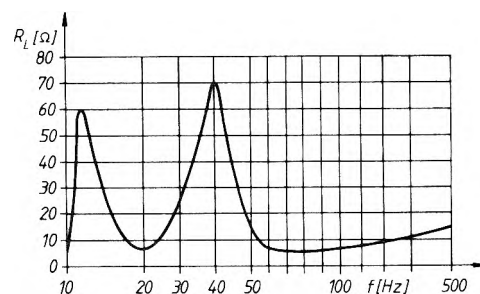
We współczesnych konstrukcjach uwzględnia się właściwie wszystko – minimalizuje wpływ wszelkich nieliniowości (a zatem źródeł zniekształceń), występujących we wszystkich miejscach wzmacniacza, kompensuje się zmieniającą się impedancję obciążenia, uwzględnia wpływ gałęzi zasilających (odpowiedzialnych za wzrost zniekształceń na małych częstotliwościach), a nawet bierze się pod uwagę, zdawałoby się tak nieistotne czynniki, jak zmieniającą się w funkcji natężenia prądu rezystancję bezpieczników głośnikowych (jeżeli występują), konstrukcję zacisków przewodów głośnikowych (nie wspominając o przewodach), fizyczne miejsce odprowadzania sygnału sprzężenia zwrotnego, czy zjawiska cieplne.

Im mniejsze wartości współczynników zniekształceń, tym lepiej, pod warunkiem, że te wartości są podawane rzetelnie, najlepiej w postaci graficznej, w funkcji poziomu sygnału i częstotliwości. Przy tak małych wartościach zniekształceń trudno takie dane przetłumaczyć bezpośrednio na rzeczywiste wartości użytkowe wzmacniacza – często służy to wyłącznie do porównań.

Ważny jest również charakter (czyli wpływ na brzmienie) zniekształceń. Inaczej brzmią zniekształcenia z dominującą drugą harmoniczną (czyli oktawą powyżej), inaczej z harmonicznymi nieparzystymi, jeszcze inaczej, gdy wprowadzane harmoniczne nie są w ogóle skorelowane z sygnałem. Zniekształcenia wzmacniacza wiążą się ściśle z jego konfiguracją – klasą, w której pracuje. Najlepsza pod tym względem klasa A, niestety, wyróżnia się niekorzystną

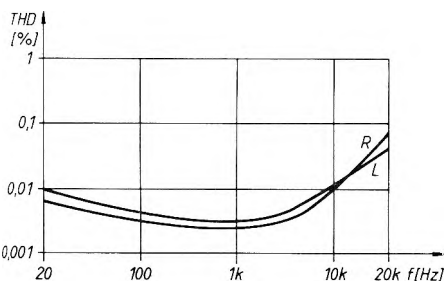
sprawnością – teoretycznie 50%, praktycznie o wiele mniej. Ubogie dynamicznie i pasmowo sygnały są znakomicie odtwarzane przez średniej jakości głośniki przy zaledwie kilku watach mocy wzmacniacza klasy A. Bogatszy materiał wymaga znacznie lepszych głośników i znacznie większej mocy. Wzmacniacz klasy A o mocy 2x150 W, pobierający 1200 W z sieci na pewno nie jest najlepszym rozwiązaniem. Wzmacniacz tej mocy musi po prostu pracować w klasie B lub AB, charakteryzującej się większą sprawnością, ale też z natury większymi zniekształceniami, głównie zniekształceniami przełączania, oraz zniekształceniami skrośnymi. Możliwe są też inne klasy, niektóre będące zmodyfikowanymi wersjami klasy B (F, G i H), niektóre oparte na zupełnie innej koncepcji – np. klasa S (konstrukcji A.M. Sandmana), wzmacniacz typu "Current dumping" (Quad 450), czy klasa D. Każda z nich ma nieco inne wartości sprawności (D – teoretycznie 100%!) i wartości zniekształceń.

W katalogach często są podawane wartości zarówno mocy, jak i zniekształceń dla dwóch wartości obciążenia – typowo 4 i 8 Ω . Wartości

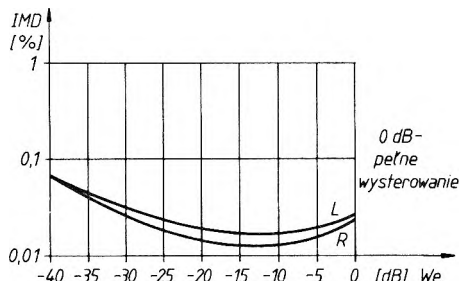


Impedancja głośnika w funkcji częstotliwości

te nie są takie same i nie są związane liniowo, np. moc dla 8 Ω równa 100 W, przy 4 Ω wynosi 160 W, a nie 200 W. Wzmacniacze lampowe z wyjściem transformatorowym dostarczały maksymalnej mocy tylko przy jednej wartości obciążenia, dopasowanej do danego wyjścia. Wzmacniacze tranzystorowe są bardziej elastyczne i mogą pracować zadowalająco dla pewnego przedziału wartości obciążeń, są to również najczęściej spotykane na rynku wartości impedancji kolumn głośnikowych. Zależności liniowe mają miejsce dla małych obciążeń (o dużych wartościach rezystancji), gdy wyjście wzmacniacza pracuje podobnie jak źródło napięciowe – wydzielana jest niewielka moc, rosnąca proporcjonalnie do zwiększającego się obciążenia. Dla wartości impedancji bliskich wartości znamionowej zmniejszanie rezystancji obciążenia prowadzi do obniżania napięcia wyjściowego i zależność ta przestaje być proporcjonalna. Podawanie wartości mocy dla różnych wartości obciążenia umożliwia użytkownikowi oszacowanie poprawności pracy wzmacniacza w danym przedziale obciążeń. Optymalne wartości parametrów występują dla wartości znamionowej obciążenia, poniżej tej wartości mogą się zawsze pojawić problemy związane z przeciążeniem wyjścia wzmacniacza, po-



Parametr THD w funkcji częstotliwości

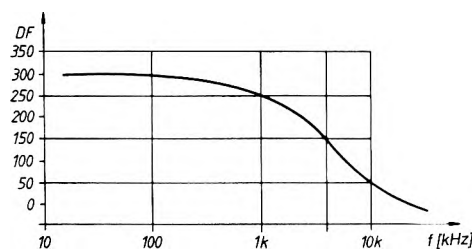


Parametr IMD w funkcji występowania

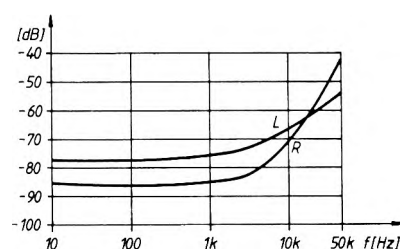
wyżej – zawsze spadek mocy oraz zazwyczaj nieznaczne pogorszenie wartości parametrów. **Maksymalna szybkość zmian sygnału** (*slew rate*). Parametr ten, wyrażany w $V/\mu s$, jest miarą szybkości pracy wzmacniacza i wiąże się ze zniekształceniami dla wielkich częstotliwości. Oznacza, że w jednostce czasu dany wzmacniacz nie może zapewnić na wyjściu większej niż podana zmiany napięcia. Tę wartość przelicza się następnie, przy założonej amplitudzie na wyjściu na maksymalną możliwą w tym układzie częstotliwość wzmocnionego sygnału. Na przykład, dla *slew rate* równego $22 V/\mu s$, przy założonej wartości skutecznej napięcia wyjściowego 38 V, maksymalna częstotliwość sygnału o takim napięciu wyniesie ok. 65 kHz, dla $10 V/\mu s$ będzie to około 30 kHz. $10 V/\mu s$ oznacza, że w czasie $1 \mu s$ na wyjściu wzmacniacza napięcia nie może się zmienić o więcej niż 10 V. *Slew rate* wiąże się również z dodatkowymi zniekształceniami. W sytuacji, gdy na wejściu wzmacniacza oprócz ciągłego sygnału o umiarkowanym poziomie pojawi się wystarczająco stromy i szybszy niż możliwości wzmacniacza skok napięcia do poziomu wyższego, w czasie tej zmiany poziomów dochodzi do zniekształceń. W celu ograniczenia takiej stromości na wejściu wzmacniacza umieszcza się odpowiedni filtr RC, zmniejszający te zniekształcenia. Spotykane wartości parametru *slew rate* to $20+50 V/\mu s$. Wartości większe są zazwyczaj nieco podejrzane.

Współczynnik tłumienia składowej sygnalowej CMRR (*common mode rejection ratio*). Parametr zapożyczony ze wzmacniaczy operacyjnych, będący miarą odporności wzmacniacza na zakłócenia sygnalowe wprowadzane od wejść. Jest to również miara doskonałości symetrii wzmacniacza, który w takim przypadku wzmacnia sygnał użyteczny będący różnicą sygnałów na wejściach (+) i (–), natomiast tłumia sygnał będący ich sumą – najczęściej są to zakłócenia pojawiające się w tej samej fazie i w przybliżeniu o tej samej wartości na obu wejściach. Współczynnik CMRR bywa podawany rzadko, zazwyczaj jedynie dla sprzętu profesjonalnego o wejściach XLR. Wartości powyżej 90 dB są uważane za bardzo dobre.

Tłumienie elektryczne głośników (*damping factor*), obliczane jako wynik dzielenia (modułu) impedancji obciążenia przez (moduł) impedancji wyjściowej wzmacniacza. W dobrych wzmacniaczach parametr ten osiąga wartość paru setek (200 do 500). Jest miarą tłumienia elektrycznego niepożądanych oscylacji głośnika, a zatem linearyzuje bardzo nierównomierną charakterystykę zespołu głośników. Jednak znaczenie tego parametru jest mniejsze z uwagi na wartość rezystancji przewodów głośnikowych, znacznie większą niż impedancja wyjściowa wzmacniacza. Przy współczynniku tłumienia równym 400 i obciążeniu równym 8Ω , wyjście wzmacniacza ma rezystancję równą $0,02 \Omega$. Rezystancja przewodów równa $0,4 \Omega$ spowoduje spadek tego tłumienia do wartości 19. Nawet przy zerowej impedancji wyjściowej wzmacniacza tłumienie to nie będzie większe niż 20.



Współczynnik tłumienia elektrycznego (damping factor) w funkcji częstotliwości.



Tłumienie przesłuchu międzykanałowego w funkcji częstotliwości

Inne współczynniki zniekształceń, TIM i DIM.

Rzadko podawane (z uwagi na trudną, i często różną procedurę pomiarową) współczynniki zniekształceń intermodulacyjnych (TIM, *transient intermodulation*, gdzie *transient* oznacza gwałtowną zmianę sygnału lub ogólnie – stan nieustalony) oraz dynamicznych zniekształceń intermodulacyjnych DIM (*dynamic intermodulation distortion*). Parametry te są dobrą miarą jakości wzmacniacza, pomiar bowiem ich lepiej aproksymuje rzeczywiste warunki pracy wzmacniacza – w tym przypadku jego reakcję na jednocześnie wzmacniane dwa sygnały o odpowiednio dobranym stosunku częstotliwości i poziomów. Pomiar DIM i TIM wykorzystują specjalne sygnały testowe (np. kombinacja sinusoidy 15 kHz z falą prostokątną 3,15 lub 3,18 kHz o 4 razy większej amplitudzie), mierzone przez odpowiednie zestawy filtrów.

Pozostałe klasyczne parametry: stosunek sygnału do szumu (poziom szumów i zakłóceń), tłumienie przesłuchu pomiędzy kanałami (i pomiędzy wejściami), zgodność charakterystyk amplitudowych i fazowych, impedancje wejść. Tutaj zasada pozostała ta sama – im większa jest wartość S/N (w dB) lub tłumienie przesłuchu (też w dB) – tym lepiej. Oczywiście we współczesnych wzmacniaczach wartości tych parametrów są znacznie większe, co zostało podyktowane ogromnym postępem techniki nośników zapisu. Dla przypomnienia – płyta analogowa, przy wkładce odczytującej najlepszej jakości nie wymagała tłumienia przesłuchu większego niż 45 dB. Płyta kompaktowa wymaga już minimum 80 dB, choć dotyczy to sygnałów testowych, rejestrowanych oddzielnie w obu kanałach. Separacja sygnałów muzycznych, zwłaszcza w wersji AAD (nagranych jeszcze analogowo) na takiej płycie jest gorsza i zależy głównie od pierwotnie użytej aparatury rejestrującej. Zgodność charakterystyk amplitudowych i fazowych również musi być teraz lepsza niż dawniej – płyty CD lub kasety DAT mają po prostu znacznie większe wymagania niż "czarne winylowe krążki". Natomiast rodzaj i impedancje wejść muszą być zgodne z normami określonymi dla dołączanych do wzmacniacza źródeł sygnału.

Wartości wszystkich omówionych parametrów zależą w dużym stopniu od konstrukcji wzmacniacza. Czasem producent podaje informację o typie wzmacniacza i związanych z danym typem zaletach. Wiele też zależy od technologii – czy wtórniki wyjściowymi są tranzystory bipolarnie, czy też szybsze i bardziej liniowe

mosfety, czy może cały wzmacniacz jest po prostu zbudowany na lampach. Czy wejście jest w postaci pary różnicowej, czy w innej konfiguracji. Czy zasilacz jest stabilizowany, daje "solidny" bas i stabilny obraz stereo. Jest on jednak "szybki" w działaniu – nie umożliwia osiągnięcia wymaganej bardzo dużej mocy chwilowej. Zasilacz niestabilizowany daje bardziej dynamiczny, ale pogarszający nieco zniekształcenia na górze pasma (gdzie jego ogromne kondensatory elektrolityczne mają sporą indukcyjność, zwiększającą impedancję wyjściową zasilacza). Doskonałej jakości wzmacniacze mają starannie wykonane wejścia, z precyzyjnymi filtrami, niezniszczającymi sygnału, natomiast blokującymi zakłócenia w szerokim paśmie częstotliwości radiowych.

Do funkcji specjalnych nowoczesnych wzmacniaczy zalicza się wszelkiego rodzaju zabezpieczenia: przeciwzwariowe, przed pojawieniem się składowej stałej na wejściu i na wyjściu, przed przesterowaniem (specjalny ogranicznik, nie pozwalający na obcinanie sygnału, a jednocześnie w pełni przenoszący transieny), przed słyszalnymi efektami stanów nieustalonych podczas włączania i wyłączania sprzętu, przed pojawieniem się sygnałów sub- i ultrasonicznych czy przed udarami prądowymi po włączeniu (znów chodzi o kondensatory filtrujące o ogromnych, wielosetmilifaradowych pojemnościach, które w chwili włączenia pobierają ogromny prąd).

Zasady działania takich zabezpieczeń są dość proste, problemem jest natomiast taka ich konstrukcja, która zabezpiecza, a jednocześnie nie pogarsza doskonałych parametrów wzmacniacza. Bardzo często w uszkodzonym wzmacniaczu sam wzmacniacz jest w porządku, a awarii ulega specjalny układ zabezpieczający właśnie przed awarią... Występują również i inne udogodnienia w rodzaju zdalnego sterowania, efektownych wskaźników itp. które są potrzebne, bo ułatwiają użytkowanie, ale nie mają żadnego wpływu na brzmienie.

Wskazówki wyboru wzmacniacza

Dobry wybór zależy od jakości i ilości informacji. Idealny przypadek to pełny zestaw podstawowych danych, o ile to możliwe dodatkowo ilustrowanych wykresami. Jest to:

□ moc znamionowa, moc muzyczna (z podanym jej rodzajem) dla różnych wartości obciążenia.

- ☐ pasmo wzmocnienia, czyli częstotliwościowa charakterystyka mocy (też dla różnych obciążeń),
- ☐ wartości *slew rate* i *rise time*,
- ☐ zniekształcenia harmoniczne dla różnych obciążeń w funkcji częstotliwości, mierzone dla mocy znamionowej, mocy 10 i 20 dB mniejszej, ewentualnie zniekształcenia dynamiczne DIM i transjentowe TIM,
- ☐ charakterystyka fazowa obu kanałów dla różnych obciążeń w funkcji częstotliwości,
- ☐ SNR (dynamika),
- ☐ przesłuch międzykanałowy w funkcji częstotliwości.

Najczęściej jednak dysponujemy bardzo ograniczonym zestawem liczb: wartości mocy, zniekształceń, SNR oraz charakterystyki częstotliwościowej. Pozostałe publikowane informacje są na ogół znormalizowane, na przykład liczba i rodzaj wejść oraz czułości na poszczególnych wejściach. Można również spotkać się z informacjami dodatkowymi, najczęściej w postaci hasłowych omówień zastosowanych w danym wzmacniaczu rozwiązań końcówki mocy, stopni wejściowych itp. Możliwości wyboru są więc bardzo ograniczone, bo polegają wtedy na znalezieniu optymalnej konfiguracji ceny, mocy, zniekształceń i pasma, przy bardzo zbliżonych wartościach pozostałych parametrów. Pozostaje jeszcze po prostu posłuchanie pracującego wzmacniacza. Ponieważ efekt ostateczny zależy nie tylko od wzmacniacza, ale i od jakości źródła sygnału (!), jakości kolumn głośnikowych (!!!) oraz niestety, również od akustyki pomieszczenia (!), to jednorazowy odsłuch w sklepie nie daje praktycznie żadnych informacji poza tą, że "gra bez słyszalnych zniekształceń". Lepiej to wypadnie, gdy poprosimy o odczyt znanego nam materiału (własnej CD) i posłuchamy go choć na znanych kolumnach. Fachowcy oceniający jakość brzmienia urządzeń testują je przecież w dokładnie określonych warunkach.

Grzegorz Morkowski

LITERATURA

- [1] John Linsley Hood: Power Output Stages. Audio Electronic Reference Book, 1990
- [2] Martin Colloms: The Amplifier/Loudspeaker Interface, 1989
- [3] Sam Wise: Chameleon Power Amplifier, Studio Sound March 92
- [4] Douglas Self: Distortion in power amplifiers, cykl 8 artykułów, Electronics World + Wireless World, Aug, Dec, 93, Jan - March 94
- [5] Douglas Self: Sound Mosfet Design, Electronics World + Wireless World, Sep. 90
- [6] Blair Benson: Audio Engineering Handbook, 1988