

Wzmocniacze mocy w praktyce

Wzmocniacze mocy należą obok głośników do najbardziej odpowiedzialnych elementów każdego systemu nagłośnieniowego. Awaria wzmacniacza jest zawsze dużym stresem dla użytkownika, zatem pewien zasób wiedzy na temat tych urządzeń jest niezbędny każdemu, kto chciałby zminimalizować ryzyko uszkodzenia i jednocześnie w pełni wykorzystać możliwości posiadanego wzmacniacza.

W przypadku tego typu urządzeń praktycznie nie istnieje dylemat – lampa czy tranzystor? W czasach kiedy moce wzmacniaczy liczone są w kilowatach, lampy straciły całkowicie rację bytu. Jednak mimo dużo większej niezawodności układów tranzystorowych, wzmacniacze mocy nadal należą do najbardziej awaryjnych elementów zestawu. Dzieje się tak z kilku powodów, które z grubsza można podzielić na zależne i niezależne od użytkownika. Ta druga grupa to oczywiście właściwości konstrukcyjne urządzenia i o nich traktować będzie niniejszy artykuł.

Od wielu lat obserwuję ewolucję w budowie wzmacniaczy, co upoważnia mnie jak sądzę do pewnych uogólnień i konkluzji, które mogą wydać się kontrowersyjne. Otóż, we współczesnych konstrukcjach wielu, nawet renomowanych firm, wyraźnie daje się zauważyć tendencja do rozwiązań „oszczędnościowych”. Stosowane są np. transformatory o mocy znamionowej mniejszej niż deklarowana moc wyjściowa wzmacniacza; zasilacze o wątpliwych parametrach, tranzystory, które pozbawione skomplikowanych układów zabezpieczeń „wyparowałyby” po dziesięciu minutach.

Niestety, praw fizyki nie da się obejść. Pewne „sztuczne” zabiegi stosowane w konstrukcjach wzmacniaczy kojarzą mi się nieodparcie z próbami zminimalizowania wymiarów kolumn głośnikowych i wstawianiu klientom, że to jednak „gra”. Kto chce, ten wierzy! Głośniki, jak wiadomo, mają różnie definiowaną moc. Podobny problem pojawia się w odniesieniu do końcówek. Możesz natknąć się na określenia: *rms output power, peak power, continuous pwr, music power* itp. W instrukcji obsługi wzmacniacza pewnej szacownej amerykańskiej firmy doliczyłem się aż pięciu różnych tabelek odnoszących się do mocy wzmacniacza.

Uważam, że najbardziej precyzyjną i porównywalną definicją określającą moc, jest określenie ciągłej mocy sinusoidalnej (*rms continuous power*), oczywiście przy określonym poziomie zniekształceń i na określonym obciążeniu. Najmniejsza

wartość impedancji zestawów głośnikowych dopuszczalna przez producenta końcówki, jest wprost powiązana z największą mocą, jaką można uzyskać ze wzmacniacza. W warunkach idealnych dwukrotne zmniejszenie impedancji głośnika powinno spowodować dwukrotne zwiększenie mocy urządzenia. Niestety, przeważnie nie pozwalają na to ograniczenia związane z wydajnością zasilacza co powoduje, że moc przy spadku oporności głośników spada nieliniowo.

Najczęściej wzmacniacze pozwalają na współpracę z obciążeniem 8 lub 4Ω. Czasami spotyka się konstrukcje, które według zapewnień producenta mogą pracować z obciążeniem 2Ω. Na ogół jest to jednak powiązane z dużymi stratami mocy i silnym nagrzewaniem się urządzenia, co zwiększa ryzyko awarii. Poza tym musisz zdawać sobie sprawę z niejednoznaczności określania łącznej impedancji kilku równolegle połączonych kolumn głośnikowych. Wiadomo że wartość jaką możesz odczytać na tabliczce znamionowej kolumny jest definiowana dla szerokiego zakresu częstotliwości. Impedancja, czyli oporność dla prądu zmiennego, jest większa o mniej więcej 30% od rezystancji cewki głośnikowej.

Wyobraźmy sobie sytuację, kiedy chcemy połączyć równolegle cztery, nominalnie ośmioomowe głośniki niskotonowe i zasilić je sygnałem o częstotliwości ograniczonej do 150Hz. Przy tak niskich częstotliwościach impedancja cewek

zbliży się do rezystancji dla prądu stałego, czyli osiąga przeciętnie ok. 6Ω. W tej sytuacji wzmacniacz od strony wyjścia „widzi” obciążenie ok. 1,5Ω. Co gorsza, łączna indukcyjność 4 głośników stanowi zaledwie 25% indukcyjności pojedynczego głośnika, co znacznie zmniejsza naturalną właściwość cewki do przeciwstawiania się przepływowi prądu zmiennego. W konsekwencji stawia to bardzo duże wymagania układom wyjściowym końcówki, którym tylko nieliczne wzmacniacze mogą sprostać. Wszystkie te czynniki prowadzą do następującego wniosku: unikaj zdecydowanie połączeń na 2Ω, a unikniesz niepotrzebnych kłopotów. Jeżeli jednak musisz pracować z takimi obciążeniami, zastosuj wzmacniacze, których producent zdecydowanie deklaruje pełną zdolność (a nie możliwość) pracy wzmacniacza z tak niskimi impedancjami obciążenia.

Definicja mocy i zabezpieczenia

Bezwzględnie należy zdefiniować pojęcie mocy ciągłej. Wiele firm stosuje chytry zabieg polegający na nie podawaniu odcinka czasu, w jakim wzmacniacz jest w stanie pracować z pełną mocą. Amerykańska firma, na którą wcześniej się powołałem podaje, że według norm amerykańskich za moc ciągłą uważa się moc mierzoną w czasie pięciu minut i tutaj mamy przynajmniej jasny obraz sytuacji. Gwoli ścisłości należy dodać, że Polska Norma jest bardziej wymagająca, ponieważ określa ten czas na 10 minut.

Pewnie chcielibyście spytać – jak to, czy to oznacza, że nasz wzmacniacz po dziesięciu minutach przestanie poprawnie pracować, wyłączy się, popsuje? Oczywiście nie, współczesne konstrukcje wyposażone są w bardzo rozbudowane układy zabezpieczeń (często bardziej skomplikowane niż sam wzmacniacz), które kontrolują parametry pracy urządzenia i w razie potrzeby, bez ingerencji użytkownika zmieniają je tak, aby nie przekroczyć możliwości wzmacniacza.

Zawyczaj kontrolowana jest temperatura tranzystorów mocy – przy jej nadmiernym wzroście ograniczana jest moc, a w skrajnym przypadku następuje wyłączenie wzmacniacza do czasu ostygnięcia.

Stosowane są również limity nie pozwalające na przesterowanie urządzenia, oraz układy służące do kontroli wyjścia wzmacniacza, jak: zabezpieczenie przed pojawieniem się napięcia stałego (*DC fault*) zabójczego dla głośników, opóźnienie załączenia wyjść głośnikowych do czasu ustabilizowania się stanów nieustalonych w zasilaczu (*speaker delay*), oraz zabezpieczenie przeciwzwarciowe (*short circuit protection*).

Tego typu zabezpieczenia należą do standardowych i trudno sobie wyobrazić współczesny wzmacniacz estradowy, który byłby ich pozbawiony. Niestety, niektóre z tych zabezpieczeń służą czasem do ochrony interesów producenta. Zdając sobie sprawę z ograniczonych możliwości swojego produktu firma stosuje takie zabiegi konstrukcyjne, które „podrasowują” katalogowe parametry wzmacniacza i wprowadzają w błąd nieświadomego użytkownika. Jako przykład mogą podać wzmacniacz, którego moc producent określił jako 300W/4Ω. Po włączeniu i dokonaniu pomiarów przy obciążeniu obu kanałów (bardzo ważnel) moc wynosiła niecałe 250W. Po nagrzanii (ok. 10 minut) moc spadła do 150W. Klient kupił więc faktycznie wzmacniacz o mocy dwa razy mniejszej niż deklarował producent.

Oddzielnego omówienia wymaga kwestia stosowania przez niektóre firmy układów limiterów zintegrowanych z końcówką. Pozornie wydawałoby się, że jest to świetna sprawa – praktycznie nie możesz przesterować wzmacniacza. Niestety, sprawa jest bardziej złożona. Pewnie zwrócicie uwagę, że nawet niezbyt wyrafinowany kompresor/limiter w postaci oddzielnego urządzenia kosztuje często niewiele mniej niż przeciętna końcówka – jest to uzasadnione stop-

niem złożoności takiego urządzenia, które nie zawsze daje się zintegrować w obudowie końcówki. Stąd najczęściej limity we wzmacniaczach są prostymi ogranicznikami. Tego typu układy w momencie zadziałania degradują sygnał w sposób wyraźnie słyszalny jako pompowanie dźwięku, zatykanie się wzmacniacza itp. Ich rola ogranicza się głównie do zabezpieczenia głośników i to nie w każdym przypadku. Jeśli taki ogranicznik kontroluje napięcie na wejściu wzmacniacza i nie pozwala na jego przekroczenie ponad zadany poziom, to układ działa poprawnie, ale tylko przy nominalnym napięciu sieci zasilającej. W realiach krajowych, kiedy to napięcie sieciowe znacznie odbiega od wartości znamionowych, wzmacniacz będzie i tak przesterowany, mimo nie przekroczenia nominalnych parametrów sygnału wejściowego.

Niemniej jednak prosty limiter może okazać się przydatny, szczególnie jeśli wykorzystuje się tylko jeden wzmacniacz. Przy większych nagłośnieniach bardziej celowe wydaje się zastosowanie oddzielnego limitera, z wyjść którego można sterować kilkoma wzmacniaczami. Niektóre firmy oferują wielodróżne zwrotnice aktywne zintegrowane z limiterami, bramkami i kompresorami. Jest to z pewnością wygodne i praktyczne rozwiązanie, obniżające koszty systemu i upraszczające układ połączeń zestawu.

Czasem można spotkać się z mocą wzmacniaczy określoną jako *continuous (24h) rms*. Oznacza to, że wzmacniacz może być obciążany mocą ciągłą w czasie praktycznie nie ograniczonym. Aby uzyskać takie parametry zastosowano bardzo wydajne chłodzenie, odpowiednią ilość tranzystorów, których moc

kilkukrotnie przewyższa moc znamionową wzmacniacza, potężny transformator sieciowy itd. Tak konstruowane końcówki należą obecnie do wyjątków, większość firm wychodzi ze słusznego skądinąd założenia, że wzmacniacz nie pracuje pełną mocą w sposób ciągły i stąd biorą się oszczędnościowe tendencje, o których już wspominałem.

Podstawowe parametry wzmacniaczy mocy

Poniżej znajdziecie wybór parametrów, które uważam za najważniejsze z punktu widzenia użytkownika. Pomiąłem te parametry, których wyjaśnienie wymagało by złożonej analizy funkcjonowania wzmacniaczy.

Tak zwana **moc szczytowa** (*peak power*), określa zdolność urządzenia do wiernego odtwarzania szczytów sygnału. W przypadku niektórych końcówek parametr ten znacznie przekracza moc znamionową, co można uznać za zaletę, jednak nie należy przyjmować tego parametru jako punktu odniesienia dla oceny wzmacniacza.

Następnym ważnym parametrem jest **poziom zniekształceń nieliniowych** – współczynnik określający w procentach, na ile sygnał wyjściowy różni się widmowo od tego, który został podany na wejście. Parametr ten definiowany jest przez pomiar sygnałów harmonicznnych, czyli składowych sygnału na wyjściu, które nie istniały w sygnale wejściowym. Parametr ten określa skrót THD – *total harmonic distortion*. W przeciwieństwie do wzmacniaczy do użytku domowego, gdzie konstruktorzy prześcigają się w dodawaniu kolejnych zer po przecinku, w sprzęcie estradowym granicą przyzwoitości jest

Rys. 1. Przykład typowego, standardowego wzmacniacza mocy. Masywny transformator, duże kondensatory elektrolityczne i radiatory tworzące tunel, którym przepływa powietrze chłodzące tłoczone przez wentylator.



poziom zniekształceń nie przekraczający 1%. Jest to i tak o wiele mniej niż zniekształcenia najlepszych nawet systemów głośnikowych, więc jeśli twój wzmacniacz spełnia te wymogi, możesz pracować na nim bez obaw. Pamiętaj jednak, że każde przesterowanie wzmacniacza prowadzi do lawinowego wzrostu tych zniekształceń – jeśli zaczynasz słyszeć „charczenie” w głośnikach, to prawdopodobnie przekroczyłeś już 10%.

Pasmo przenoszenia wzmacniacza określa zakres częstotliwości, w którym wzmocnienie końcówki zachowuje wartość stałą. Nas interesuje tzw. pasmo mocy (*power bandwidth*) – czyli pasmo przenoszenia wzmacniacza obciążonego mocą od kilku watów do mocy nominalnej. W praktyce estradowej nie pracuje się poniżej 40Hz. W związku z tym, kolumny głośnikowe w celu zapewnienia poprawnej pracy powinny być zabezpieczone przed zbyt niskimi częstotliwościami. Dobre końcówki wyposażone są więc w stromo działające filtry dolnozaporowe (HPF – *high pass filter*). Podobna sytuacja dotyczy częstotliwości powyżej 20kHz. Tutaj też stosowane są filtry odcinające.

Konkludując: wystarczy jeśli twój wzmacniacz przeniesie liniowo (czyli bez spadku wzmocnienia) zakres od 20Hz do 20kHz. Wprawdzie niektóre firmy podają znacznie szerszy pasmo pracy swoich urządzeń, ale na ogół jest to powiązane z innym parametrem tzw. *slew rate*, określającym reakcję wzmacniacza na strome zbocza narastające sygnałów – tzw. szybkość wzmacniacza. Wystarczy jeśli będziesz wiedział, że im szersze pasmo przenoszenia, tym lepsza reakcja na szybkie, strome sygnały. Dla typowych celów w zupełności wystarczy *slew rate* $\geq 10V/\mu s$. Jeśli wyczytasz w opisie swojego wzmacniacza, że pasmo przenoszenia wynosi np. 5Hz – 100kHz to oznacza, że bezwzględnie musisz zastosować wspomniane wyżej filtry pasmowe, jeśli nie chcesz ryzykować uszkodzenia głośników. Zbyt niskie częstotliwości przenieszone przez wzmacniacz bardzo obciążają go „energetycznie”, czyli powodują nadmierny pobór prądu z zasilacza ze stratą dla pozostałej części pasma. Podobny efekt wywołują stosowane przez niektóre firmy układy korekcji basu, mające jakoby polepszyć odtwarzanie niskich częstotliwości przez kiepskiej jakości zestawy głośnikowe. Powinieneś unikać tego typu konstrukcji, gdyż zadaniem każdej końcówki mocy jest wierne, czyli neutralne wzmocnienie dostarczonego sygnału. Do korekcji częstotliwościowej służą zupełnie inne urządzenia. Wszelkiego rodzaju prymitywne „dopalacze” powodują głównie uszkodzenia głośników, które nie wytrzymują forsowania ich sygnałami o zbyt dużej amplitudzie niskich częstotliwości.

Bardzo ważnym parametrem każdego wzmacniacza mocy jest tzw. **współ-**

czynnik tłumienia (*damping factor*). Określa on zdolność wzmacniacza do elektrycznego tłumienia szkodliwego rezonansu układu drgającego głośnika, który powoduje zniekształcenia przebiegów o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości rezonansowej przetwornika. Jedną z metod przeciwdziałania tym niepożądanym zjawiskom jest elektryczne tłumienie głośnika, polegające na zasilaniu go ze źródła o rezystancji wewnętrznej znacznie mniejszej niż rezystancja cewki głośnikowej. *Damping factor* określa stosunek rezystancji obciążenia (głośnika) do rezystancji wewnętrznej (wyjściowej) wzmacniacza. Powinieneś zapamiętać, że im jest on większy, tym lepiej. Typowe wartości zawierają się w zakresie 100-400. Jeśli membrany twoich głośników podczas koncertu wykonują dziwne „skoki” o dużej amplitudzie, to prawdopodobnie współczynnik tłumienia twojego wzmacniacza jest niski, choć oczywiście przyczyn tego zjawiska może być więcej. Godzi się wspomnieć, że końcówki lampowe mają małą wartość współczynnika *damping factor* – stąd m.in. twarde zawieszania głośników gitarowych nie pozwalające na zbytne „rozbujaanie” membrany. *Damping factor* jest bardzo ważnym parametrem wzmacniacza, powinieneś więc zwrócić na niego baczną uwagę przed decyzją o zakupie. Jeśli instrukcja nie określa tego parametru, powinno wzbudzić to twoje podejrzenia.

Teraz parę uwag na temat parametrów szumowych i zakłóceń. Najczęściej mówimy o tak zwanym **odstępie od szumów** (*signal-to-noise ratio*). Szумы na poziomie mniejszym niż -90dB są, w odniesieniu do końcówek, praktycznie pomijalne, a współczesne konstrukcje często schodzą nawet poniżej poziomu -100dB. Znacznie trudniej osiągnąć takie wyniki w odniesieniu do zakłóceń związanych z polem elektromagnetycznym występującym w każdym urządzeniu zasilanym przez wewnętrzny transformator sieciowy. Tego typu zakłócenia zwane są potocznie brumem a fachowo przydźwiękiem (w języku angielskim określane są jako *hum*). Niektóre firmy podają w instrukcji wspólną wartość obu tych parametrów – *hum and noise*. Dla celów praktycznych wystarczy następujący test: połącz wzmacniacz z kolumnami, stań w odległości ok. 2 metrów i przy braku sygnału wyjściowego (odłącz kable od wejść) oceń słuchowo poziom szumów i przydźwięku (regulatory wzmocnienia w końcówce powinny być w położeniu maksymalnym). Jeśli nie słyszysz przydźwięku ani szumu to możesz uznać, że wzmacniacz nie będzie ci stwarzał problemów.

Nominalna czułość wejściowa (*input sensitivity*) określa w voltach lub decybelach poziom sygnału na wejściu wzmacniacza, przy którym nastąpi pełneysterowanie końcówki, czyli oddanie przez wzmacniacz mocy znamiono-

wej. Niestety czułość wejściowa nie jest jak do tej pory standaryzowana, stąd możesz spotkać wzmacniacze o dużej rozbieżności tego parametru. Dawniej spotykane były końcówki o poziomie nominalnym 0dBu, co odpowiada napięciu wejściowemu 0,775V rms. Teraz wiele firm skłania się do standardu +4dBu (1,23V). Jest to słuszną tendencją, tym bardziej że większość profesjonalnych mikserów operuje tym poziomem jako standardem wyjściowym.

Wartość **impedancji wejściowej** (*input impedance*) na ogół wynosi kilkadziesiąt kiloomów i w zasadzie ten parametr może nie zaprzętać twojej uwagi. Czasami jednak, kiedy łączysz równoległe wejścia kilku wzmacniaczy, musisz wiedzieć, że ich impedancja wypadkowa może okazać się zbyt niską dla miksera. Wyjścia niektórych konsol nie tolerują obciążania ich zbyt małą impedancją.

Każdy profesjonalny wzmacniacz mocy posiada wejścia symetryczne, (*balanced*). Nie zwracaj sobie głowy końcówkami, które nie są w nie wyposażone. Zalety linii symetrycznej są na tyle duże, że warto byś wziął to pod uwagę przy kompletowaniu swojego zestawu nagłaśniającego.

Ostatnim parametrem, któremu chciałbym poświęcić parę słów omówienia jest **pobór mocy** z sieci zasilającej. Każdy wzmacniacz charakteryzuje się określoną sprawnością, co oznacza, że ok. 65% mocy pobieranej z sieci zamienia się w moc wydzielaną w głośnikach. Jeśli zatem na obciążeniu 2x4Ω wzmacniacz jest w stanie oddać np. 2x500 watów, to moc pobierana z sieci wyniesie ok. 1600W (możesz się spotkać z jednostką VA – wolto-amp – słuszną dla przebiegów zmiennych). Przeliczając to na pobór prądu otrzymujemy wartość ok. 8A, zatem co najmniej taki bezpiecznik powinien być zastosowany jako bezpiecznik sieciowy. Przy mocach wzmacniacza powyżej 1000W (1kW) na kanał standardowe bezpieczniki (tzw. radiowe) okazują się być niewystarczające. Dlatego niektóre firmy rezygnują z zewnętrznych, dostępnych dla użytkownika bezpieczników lub stosują zminiaturyzowane wersje typowych zabezpieczeń automatycznych stosowanych w energetyce.

Nie należy zapominać o różnicach w standardowym napięciu sieciowym, którego wartość w niektórych krajach zachodnich (Japonia, USA) odbiega od standardu europejskiego. Należy zwrócić baczną uwagę na wartości podane przy gnieździe lub kablu sieciowym. Ze względów bezpieczeństwa wszystkie wzmacniacze estradowe wyposażone są w trójżyłowe kable zasilające, co oznacza, że wymagają gniazd sieciowych z bolcem uziemiającym.

Piotr Peto

Autor artykułu jest konstruktorem z wieloletnią praktyką w zakresie budowania wzmacniaczy mocy i zespołów głośnikowych.