

Praca końcówek mocy na obciążeniu 2 Ohm

tekst i zdjęcia

Piotr Peto

Zanim przejdę do lipcowego odcinka mojego cyklu porad, chciałbym podzielić się z czytelnikami kilkoma refleksjami, które towarzyszą mi w pracy nad materiałami publikowanym w MiT. Okazja jest o tyle dobra, że w tym roku mija 5 lat, od kiedy piszę dla „Muzyki i Technologii”, oraz 20 lat od chwili, gdy powstała firma PMP Electronics, której jestem właścicielem.

Porady – praca od podstaw i wołanie na puszczy

Tematyka i zawartość publikacji w niniejszym cyklu porad w przeważającej mierze są wynikiem mojej inwencji i powstają z inspiracji własnymi doświadczeniami. Mając od 30 lat kontakt ze sprzętem nagłaśniającym jako jego wytwórca, serwisant oraz użytkownik, spotykam się z wieloma problemami w jego codziennej eksploatacji; z drugiej strony materiału do przemyśleń dostarczają mi klienci, fora internetowe itp. Co do tych ostatnich, to muszę przyznać, że kiedyś uczestniczyłem w dyskusjach na kilku portalach, ale zrezygnowałem z tej formy aktywności, kiedy okazało się, że służą one w dużym stopniu do wzajemnego zwalczania się różnych, niestety często anonimowych zwolenników poszczególnych producentów. Miałem m.in. nieprzyjemność obcowania na jednym z takich forów z pewnym producentem głośników, który próbuje wmawiać potencjalnym klientom, że jego produkt z cewką 2" dysponuje mocą 450 W RMS, co byłoby z pewnością mistrzostwem świata, gdyby nie było żerowaniem na niewiedzy i naiwności osób niezorientowanych w temacie.

Wracając do meritum: mam sporo sygnałów od czytelników MiT, że moja „pisanina” pomaga w lepszym orientowaniu się w skomplikowanej materii akustyki, choć z drugiej strony zdaję sobie sprawę, że artykuły te prezentują pewien elementarny zakres wiedzy, gdyż z założenia przeznaczone są właśnie dla osób nie będących specjalistami w tej dziedzinie. Jeśli miałbym podzielić się jakąś refleksją wynikającą z tych licznych rozmów, korespondencji i śledzenia dyskusji w sieci, to nasuwa się jeden podstawowy wniosek: dużo jeszcze pracy i wysiłku trzeba włożyć w działalność edukacyjną, gdyż mimo pełnej dostępności wszelkich materiałów, z wiedzą użytkowników sprzętu nagłaśniającego niestety nadal nie jest najlepiej. Czasem po prostu ręce opadają, kiedy np. nabywca powermiksera próbuje podłączyć pod liniowe

wyście AUX (monitor) pasywny odsłuch i stwierdza ze zdziwieniem, że paczka nie gra, po czym próbuje podłączyć ten monitor pod wszystkie możliwe wyjścia sygnałowe z konsoly z podobnym skutkiem. Następnie pisze do mnie list, a ja muszę tłumaczyć, wydawałoby się oczywistą kwestię, że głośnik włączony do wyjścia liniowego bez pośrednictwa wzmacniacza nie zagra. Takich historii jest mnóstwo i proszę mi wierzyć, że dotyczą one nie tylko początkujących, ale również osób, które zajmują się graniem zawodowo (czyli za pieniądze) od wielu lat. Ignorancja jest czasem zatrażająca i w pewnym stopniu skutkuje również niewłaściwą eksploatacją wzmacniaczy.

Mam jednak nadzieję, że uważna lektura wszyst-

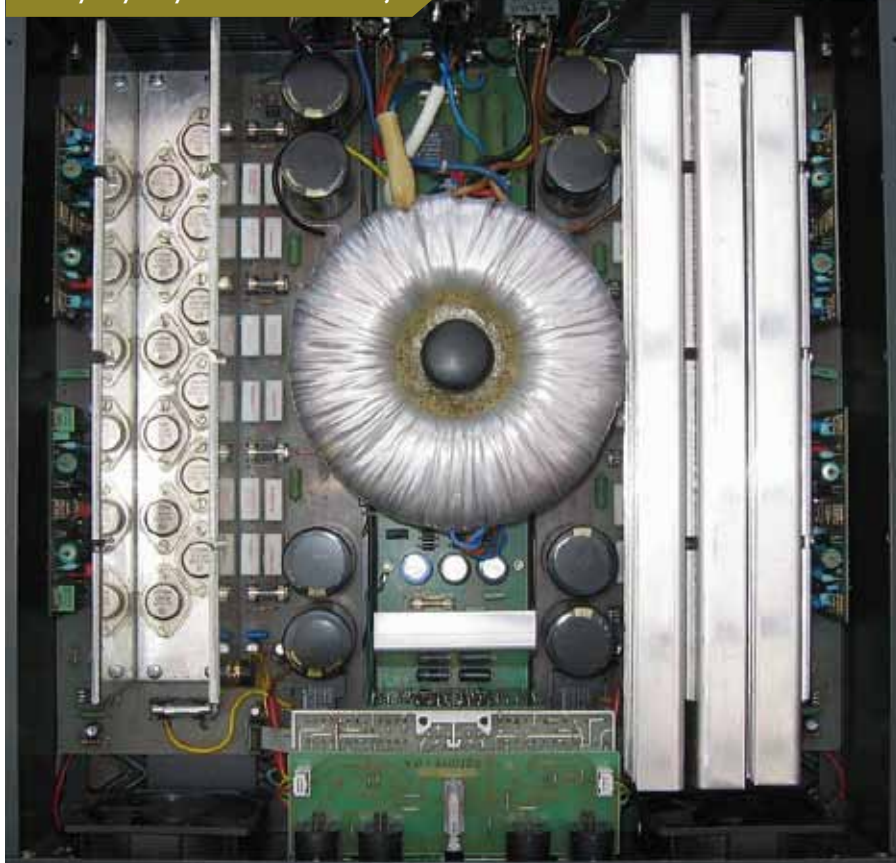
kich moich publikacji, albo chociaż tych, które dotyczą konkretnego, wzbudzającego wątpliwości zagadnienia, pozwoli na nieco głębsze poznanie tematu i przyczyni się do wzrostu świadomości technicznej użytkowników aparatury nagłaśniającej. Czasy są takie, że technika staje się coraz bardziej skomplikowana i trudno sobie wyobrazić skuteczne zapanowanie nad nią bez rzetelnej wiedzy albo co najmniej podstawowych umiejętności w przypadku użytkownika mniej rozbudowanej aparatury i prostszych realizacji.

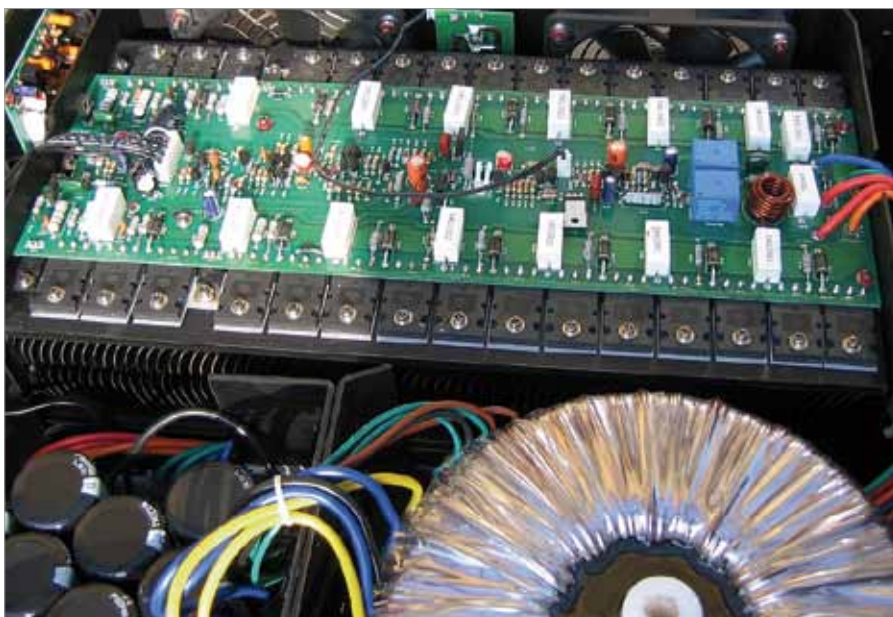
Po tym może nieco przydługim wstępie przystąpię do omówienia zagadnienia anonsowanego w tytule.

Rola wzmacniacza mocy w torze elektroakustycznym

Dla wielu użytkowników aparatury nagłaśniającej końcówki mocy stanowią element, na który zwraca się stosunkowo najmniej uwagi. Ich obsługa zazwyczaj nie jest skomplikowana, no może za wyjątkiem urządzeń najnowszych generacji, które często wyposażane są w dodatkowe procesory

Tranzystory mocy w obudowie metalowej.





Niskie oporności obciążenia pociągają za sobą konieczność stosowania wydajnych prądowo stopni wyjściowych i zasilaczy.

wzmacniaczy na każdy kanał, pracujących na stałe w konfiguracji bridge. Taka konstrukcja, choć o wiele droższa, bo są to faktycznie cztery oddzielne wzmacniacze w jednej obudowie, umożliwia sterowanie tranzystorów znacznie niższym napięciem niż w układzie tradycyjnym; można również użyć w zasilaczu elektrolitów na niższe napięcie i przy okazji podwoić szybkość wzmacniacza, stosując tzw. slew-rate.

Teraz chciałbym przejść do zasadniczego wątku tego artykułu, czyli pracy wzmacniacza na obciążeniu 2 Ohm.

Mniejsza oporność – większy prąd, ale...

Wspomniana powyżej konfiguracja mostkowa z punktu widzenia pojedynczej końcówki, która pracuje w parze z drugą jako jeden kanał wzmacniacza, to dokładnie taka sama sytuacja jak w standardowym wzmacniaczu stereofonicznym z możliwością przełączania w tryb bridge. Jeśli taką końcówkę obciążymy zestawem głośnikowym o impedancji 4 Ohm w trybie bridge, to każdy z dwóch wzmacniaczy pracuje niejako na obciążeniu 2 Ohm.

Na pewno wielu użytkowników końcówek zwróciło uwagę na fakt, że tylko nieliczne z nich mogą pracować na obciążeniu 2 Ohm na kanał, co odpowiada obciążeniu 4 Ohm w trybie mostka. Chciałbym Państwu generalnie odradzić pracę z tak skonfigurowanym nagłośnieniem, niezależnie od tego jak optymistyczne deklaracje zawiera prospekt reklamowy danego wyrobu. Jest co najmniej kilka powodów, dla których taka praca nie jest zalecana i postaram się je pokrótce przedstawić.

Oczywistym jest, że niska impedancja głośników wymusza na wzmacniaczu konieczność dostarczenia większego prądu. To z kolei powoduje zwiększenie mocy wydzielanej w tranzystorach końcowych, zasilaczu, radiatorach itd. I to niezależnie od tego, czy mamy do czynienia z końcówką sprzed 30 lat, czy z produktem najnowszej generacji. Oczywiście nie są to zależności liniowe, więc wzmacniacz, który na obciążeniu 8 Ohm



Producent podaje moc i odpowiadające jej napięcie wyjściowe dla minimalnej impedancji zestawów głośnikowych.

z możliwością programowania wielu parametrów, mogą pracować w sieci itp. Chciałbym jednak zacząć się klasycznymi konstrukcjami tych urządzeń, o których już kilka razy pisałem, choćby w kontekście problemów z definiowaniem ich parametrów. Wzmacniacze mocy są dziś oferowane przez praktycznie wszystkie liczące się w branży firmy, a także przez wielu innych, mniej znanych producentów. Mimo różnic w ich budowie, wynikających z zastosowanej technologii, każde takie urządzenie ma jedno podstawowe zadanie: wielokrotnie wzmacnić niewielki napięciowo sygnał wejściowy i dostarczyć dużą moc (prąd) do zestawów głośnikowych. A wymagania odnośnie mocy nieustannie rosną. Pewnie młodzi czytelnicy nie uwierzą, ale kiedyś plenerowe koncerty w Jarocinie nagłaśniane były przy pomocy końcówek o mocy $2 \times 400 \text{ W}$. Oczywiście było ich wiele, ale w owych czasach takie wzmacniacze stanowiły niemal szczyt możliwości technicznych i były dostępne jedynie dla nielicznych, choćby z powodu kursu dolara w stosunku do złotówki. Jeden z końcówek z tamtego okresu nie tak dawno trafiła do mojego serwisu, więc korzystając z okazji, mogę ją pokazać na zdjęciu w niniejszym artykule.

Jak widzimy, producent określa moc wyjściową w watach przy określonej impedancji obciążenia i jednocześnie podaje napięcie wyjściowe RMS. W tym wypadku nie ma żadnych wątpliwości, że dane te dokładnie odpowiadają faktycznej mocy, jaką w sposób ciągły ta końcówka jest w stanie dostarczyć do obciążenia. Ciekawostką może być fakt, że stosowane w tym wzmacniaczu tranzystory w metalowej obudowie TO3 produkcji Motoroli do dziś używane są przez niektórych producentów. Wszystkie moje końcówki, których produkcję zakończyłem 5 lat temu, także bazowały na tych

tranzystorach jako stopniach końcowych; niektóre z nich są używane przez moich klientów od ponad 15 lat. Jeden z takich wzmacniaczy możecie zobaczyć na sąsiedniej fotografii, gdzie w celach poglądowych zdemontowałem wstawki radiatorów w jednym kanale, aby pokazać 6 par komplementarnych tranzystorów MJ 15003 i 15004. Dodam również, że taka końcówka w trakcie testów mogła być obciążana sygnałem sinus na nominalnej mocy bez jej spadku praktycznie w czasie nieograniczonym, co w przypadku współcześnie oferowanych wzmacniaczy dużej mocy praktycznie jest nieosiągalne. Nawet moc określana mianem RMS continuous jest zazwyczaj definiowana jako moc w ściśle określonym przedziale czasowym, który według norm amerykańskich wynosi zaledwie 5 minut. Dziś dąży się przede wszystkim do osiągnięcia dużej mocy w krótkich impulsach, co bardziej odpowiada charakterowi sygnałów muzycznych. Dawniej projektowano wzmacniacze z dużo większym „zapasem” mocy w stosunku do nominalnej mocy wyjściowej. Ponieważ klasyczne konstrukcje w klasie AB czy nawet H mają stosunkową niewielką sprawność (rzędu ok. 65%), to stosunkowo dużą część mocy tracimy w nich w postaci ciepła wydzielającego się w radiatorach. Moc, jaką może oddać tranzystor, spada ze wzrostem temperatury, więc siłą rzeczy przy wykorzystaniu starszych technologii zachodzi konieczność instalowania tranzystorów, których łączna moc jest o wiele większa niż nominalna moc wyjściowa wzmacniacza. W przypadku moich końcówek $2 \times 750 \text{ W}$ łączna moc użytych tranzystorów wynosiła 6000 W (6 kW). Mimo to nie mogły one pracować na obciążeniu mniejszym niż 4 Ohm, choć w tym przypadku wiązało się to z zastosowaniem układu wewnętrznego mostka, czyli dwóch oddzielnych

daje 400 W, zazwyczaj nie jest w stanie podwoić swojej mocy na 4 Ohm, a tym bardziej zwiększyć ją czterokrotnie przy 2 Ohm. Producenci mają nas jednak często informacjami, że wzmacniacz poradzi sobie z takimi skrajnymi warunkami pracy, bo wiedzą, że to dobry chwyt marketingowy. Tak naprawdę tylko bardzo nieliczne końcówki są w stanie stabilnie (czyli długotrwałe) pracować z obciążeniami zbliżonymi do 2 Ohm.

Uczciwi producenci podają czasem, że moc podawana jako nominalna dla 2 Ohm jest osiągalna, ale np. tylko w czasie kilkunastu milisekund, podczas gdy dla 4 i 8 Ohm nie ma takich ograniczeń.

Gorzej, gdy mamy napisane „stabilna na 2 Ohm”, a prosty rachunek pokazuje, że gdyby była to prawda, to wzmacniacz musiałby oddać na obciążeniu moc większą niż ta, którą nominalnie dysponują tranzystory stopnia końcowego. Nie zapominajmy także, że ich parametry producent określa dla temperatury ok. 20 stopni, a nie np. 80 i większej, do jakiej potrafią się nagrzać w trakcie pracy. Co gorsza, współczesne wzmacniacze są raczej dość oszczędnie projektowane w zakresie liczby tranzystorów użytych w stopniach mocy, więc prawdopodobieństwo awarii wzrasta.

Co się może popsuć i dlaczego?

Pewnie spytacie Państwo, co grozi wzmacniaczowi, który zostanie przeciążony, czyli zmuszony do pracy ponad możliwości. Otóż wszystko zależy od zastosowanych przez producenta zabezpieczeń. W wariacie optymistycznym nie dzieje się nic, oprócz spadku mocy. W najbardziej pesymistycznym wariacie mamy pożar albo co najmniej uszkodzenie bezpieczników wewnętrznych końcówki, o ile takie zastosowano, co wcale nie musi być regułą. Spotykałem już wzmacniacze, które oprócz bezpiecznika sieciowego nie miały żadnych innych – w takim przypadku, zanim element zabezpieczający ulegnie uszkodzeniu, destrukcja wzmacniacza może przybrać zastraszające rozmiary. Końcówka PMP, którą prezentowałem przy okazji omawiania kwestii tranzystorów mocy, miała 11 wewnętrznych bezpieczników, przy czym 8 z nich zabezpieczało bezpośrednio moduły wyjściowe. Na tylnym panelu końcówki był umieszczony nadruk informujący o tym, jakie obwody są zabezpieczone, co pokazuje również oddzielna fotografia.

Dodatkowe elektroniczne układy kontrolujące i ograniczające w razie potrzeby moc wyjściową podrażają znacznie koszt wykonania wzmacniacza, nie są więc powszechnie stosowane. Optymalny, ale jednocześnie najbardziej złożony układ to taki, który monitoruje jednocześnie stan obciążenia i parametry pracy układów wzmacniacza. Przy nadmiernym wzroście prądu takie zabezpieczenie ogranicza go do wartości nieprzekraczających

możliwości wzmacniacza i dzięki temu użytkownik może być prawie pewien, że nic złego się nie wydarzy. Stosowane najczęściej zabezpieczenie termiczne nie zawsze jest w stanie odpowiednio szybko zareagować, np. w sytuacji bardzo gwałtownego wzrostu prądu wyjściowego.

Brak bardziej rozbudowanych zabezpieczeń w najlepszym wypadku spowoduje przepalenie się bezpiecznika (bezpieczników). Musimy jednak pamiętać, że bezpiecznik topikowy reaguje z pewnym opóźnieniem i czasem może zdarzyć się tak, że inne wrażliwe elementy ulegną wcześniej uszkodzeniu, a końcówka trafi do serwisu. W dalszej części artykułu przedstawię Państwu kilka przykładów pomiarów końcówek z mojej praktyki warsztatowej, bo dość często przychodzi mi badać wzmacniacze różnego rodzaju i myślę, że takie przykłady mogą być ciekawe.

Zanim jednak je opiszę, kilka słów na temat sposobu, w jaki przeprowadzam te testy i jakich przyrządów do tego używam. Oczywiście wymieniam tylko podstawowe przyrządy i opisuję jedynie najprostsz test, pomijając pomiary bardziej złożone, jak np. analizę różnego typu zniekształceń, parametrów szybkościowych (slew rate), szumowych i wielu innych.

Aby móc rzetelnie przeprowadzić pomiar mocy wyjściowej końcówki, musimy dysponować generatorem częstotliwości akustycznych, oscyloskopem, miernikiem wartości skutecznych pracującym w pełnym paśmie akustycznym, no i oczywiście obciążeniem, które będzie symulowało głośniki o różnych wartościach impedancji. Co do tego ostatniego, już dość dawno wykonałem sobie taką opornicę, która pozwala mierzyć dwa kanały końcówki równocześnie i zmieniać obciążenie między

wartością $2 \times 8 \text{ Ohm}$ a $2 \times 4 \text{ Ohm}$. Ponieważ ostatnio coraz częściej trafiają do testów końcówki mogące teoretycznie pracować na 2 Ohm, zrodziła się konieczność skonstruowania adekwatnego obciążenia – taką właśnie opornicę prezentuję na sąsiedniej fotografii. Wyposażyłem ją w wymuszony system chłodzenia, gdyż przy mocach rzędu kilowatów ceramiczne rezystory dość mocno się grzeją. Dodatkowo posiada ona możliwość regulacji rezystancji w zakresie od ok. $2 \times 2 \text{ Ohm}$ do $2 \times 3 \text{ Ohm}$ i możliwość przełączenia w tryb jednokanałowy przez szeregowo połączenie dwóch sekcji. Zastosowanie kilku rodzajów złącz ułatwia jednoczesne podłączenie do opornicy badanego wzmacniacza, oscyloskopu i woltomierza. Dodatkowo, przy pomocy oddzielnego miernika kontroluję napięcie sieciowe i napięcie podawane na wejścia końcówki. Kontrola napięcia sieciowego jest szczególnie ważna w przypadku klasycznych zasilaczy, bo takie końcówki mogą oddać moc nominalną jedynie przy nominalnym napięciu sieciowym, co dziś oznacza na ogół 230 V. Przy okazji warto zauważyć, że niektóre firmy stosują w swoich wzmacniaczach układy kontroli tego napięcia, które uniemożliwiają pracę końcówki, jeśli przekroczone zostaną wartości progowe ustalone przez producenta, zarówno w górę, jak i w dół od wartości napięcia nominalnego.

W przypadku końcówek wyposażonych w przetwornice wartość napięcia sieciowego nie jest krytyczna i, co ważne, ich moc w dużym zakresie zmian tego napięcia pozostaje stała.

Standardem jest badanie mocy sygnałem sinusoidalnym przy częstotliwości 1 kHz. Należy jednak zbadać, jak wzmacniacz zachowuje się w całym paśmie akustycznym, co dostarczy nam wiele in-



Obciążenie zastępcze dużej mocy.

Aparatura pomiarowa niezbędna do testowania końcówek mocy.



formacji na temat jego możliwości i ewentualnych niedostatków. I tak np. na niskich częstotliwościach często pojawiają się zniekształcenia wynikające z ograniczeń zasilacza, a z kolei na wyższych dają o sobie znać niedoskonałości wielu współczesnych konstrukcji budowanych w technologii cyfrowej i z wykorzystaniem przetwornic w miejsce klasycznych zasilaczy transformatorowych.

Zwiększając napięcie wyjściowe, dochodzimy w pewnym momencie do punktu, w którym albo przestaje ono rosnąć (o ile zastosowano w końcówce układ limitera), albo mamy do czynienia z sytuacją, kiedy wierzchołki przebiegu zaczynają być obcinane i sygnał sinus zaczyna przybierać wygląd prostokąta. Mierząc w tym momencie napięcie wyjściowe i dzieląc je przez oporność obciążenia, możemy z dużą dokładnością wyliczyć moc wyjściową, jaką jest w stanie dostarczyć wzmacniacz.

O ile większość końcówek bez problemu radzi sobie z obciążeniem 8 Ohm i w takim trybie pracy przeważnie moc może być oddawana w dłuższym czasie, to przy niższych wartościach zaczynają się problemy. Nawet pozornie bezpieczne 4 Ohm potrafi zmusić niektóre wzmacniacze do uaktywnienia wbudowanych zabezpieczeń i po kilku sekundach, a czasem kilku minutach, moc na obciążeniu spada lub wzmacniacz wyłącza się na skutek zadziałania zabezpieczeń – przeważnie termicznych.

Co jednak dzieje się, gdy podłączymy obciążenie 2 Ohm do teoretycznie dostosowanej do tego końcówki?

Końcówka końcówce nierówna

Oto trzy przykłady z przeprowadzanych niedawno testów. Wszystkie końcówki badałem na ich znamionowej mocy, czyli na granicy przesterowania.

Dla bezpieczeństwa ustawiłem oporność na nieco większą wartość oporności, czyli na $2 \times 2,5$ Ohm, co z grubsza odpowiada połączonym równolegle trzem głośnikom 8 Ohm. Wzmacniacze pracowały więc pod nieco mniejszym obciążeniem, niż wynikałoby to z instrukcji obsługi. Warto dodać, że charakterystyka drutu oporowego rezystorów użytych w obciążeniu jest taka, że w miarę wzrostu temperatury ich oporność nieco się zwiększa, więc z punktu widzenia wyjścia wzmacniacza upływ czasu powoduje jego mniejsze obciążenie. Mimo to zaraz przekonamy się, że takie obciążenie stanowiło poważne wyzwanie dla wszystkich testowanych urządzeń.

• Końcówka nr 1

Natychmiast uaktywnia zabezpieczenia; wzmacniacz wyłącza się tak szybko, że nie ma nawet szansy na przeprowadzenie pomiaru. Należy go wyłączyć z sieci i ponownie załączyć, bo inaczej pozostaje nieaktywny, mimo odłączenia obciążenia.

• Końcówka nr 2

Po podłączeniu obciążenia dokonałem pomiaru mocy; pomiar zgadzał się z danymi katalogowymi, tyle że po ok. 2 min. nastąpił mały wybuch i zadziałał mój dwudziestopięcioamperowy bezpiecznik automatyczny, zainstalowany na tablicy w warsztacie. Zniszczony (rozerwany) został również dwudziestoamperowy bezpiecznik sieciowy w końcówce; co gorsza, jego wymiana spowodowała ponowne zwarcie. Końcówka jest uszkodzona i zostanie odesłana do serwisu.

• Końcówka nr 3

Pracowała ok. 5 minut, po czym wyłączył ją wbudowany bezpiecznik automatyczny. Po ponownym załączeniu – sprawna. Dwa pierwsze wzmacniacze to nowoczesne końcówki z przetwornicami, w tym jedna w klasie D.

Skromnie wyposażone w tranzystory końcowe i, ogólnie rzecz biorąc, produkty budżetowe. Trzecia to klasyczna końcówka z potężnym zasilaczem i bardzo dużą liczbą tranzystorów w stopniu mocy.

Co z tego wynika?

Wnioski z tych trzech testów pozostawiam Państwu do przemyślenia, ale osobiście w każdym przypadku zdecydowanie odradzam łączenie kolumn w taki sposób, że wzmacniacz będzie zmuszony do pracy na bardzo niskich opornościach. Uważam, że w przypadku bardzo solidnych, sprawdzonych wzmacniaczy, których producent deklaruje możliwość pracy na 2 Ohm, można pozwolić sobie na równoległe podłączenie trzech paczek 8 Ohm (np. subwooferów). Łączna impedancja takiego zestawu, szczególnie dla niskich częstotliwości, i tak będzie bliska 2 Ohm – to jest maksimum tego, co można wymagać od wzmacniacza. I to wyłącznie od takiego, co do którego mamy pewność, że jest w stanie to wytrzymać.

Łączenie równoległe czterech zestawów 8 Ohm na jeden kanał końcówki to bardzo zły pomysł, który prędzej czy później zapewne doprowadzi do czegoś niedobrego. Ewentualna oszczędność jest pozorna, bo nawet jeśli wzmacniacz się nie uszkodzi, to i tak nie będzie w stanie dostarczyć takiej mocy, jakiej oczekujemy.

Nie zapominajmy także, że te niesamowite moce, którymi dysponują niektóre współczesne wzmacniacze, uzyskiwane są wyłącznie w krótkich i bardzo krótkich impulsach, a badając je w sposób klasyczny, nie uda się uzyskać wartości większych, niż wynika to choćby z wartości zastosowanego bezpiecznika sieciowego.

Słowo na koniec

Niedawno pewien muzyk nabył nowoczesną, lekką końcówkę cyfrową o mocy, która szokuje przy jej wadze i wyglądzie. Coś mu jednak nie grała, postanowił więc porównać ten wyrób ze starą końcówką mojego kolegi, o mocy nominalnie trzy razy mniejszej. Podłączyli je pod te same paczki i po prostu posłuchali. Szczęśliwemu początkowo nabywcy mina bardzo zrzęda... Obaj zgodnie uznali, że ta stara „zabija” ten nowy wynalazek pod każdym względem. Ma tylko jedną wadę – jest ponad trzy razy cięższa i dwa razy większa. Coś za coś... Za te pieniądze, które zapłacił, dostał tyle, ile zapłacił.

Tym optymistyczno-pesymistycznym akcentem kończę kolejny odcinek moich porad, a zainteresowanych informuję, że wszystkie moje artykuły pisane dla MiT (porady i testy) można pobrać w formie plików PDF z mojej strony internetowej www.pmp.civ.pl – znajdują się one w zakładce „Technika nagłośnieniowa”.