

Wzmocniacze mocy w praktyce

(2)

Drugą część artykułu o wzmacniaczach mocy chciałbym rozpocząć od najważniejszej z punktu widzenia użytkownika właściwości wzmacniacza, czyli od stopnia jego niezawodności. Konstruktor każdej końcówki mocy staje przed trudnym zadaniem

– musi uwzględnić bardzo wiele czynników mających wpływ na pracę wzmacniacza. Wyposażenie urządzenia we wszystkie rodzaje zabezpieczeń jest oczywiście konieczne, rzecz jednak w tym, aby ich zadziałanie następowało tylko w sytuacjach ekstremalnych.

Jednym z głównych problemów, z jakim borykają się wszyscy producenci wzmacniaczy, jest zapewnienie skutecznego chłodzenia. Wszystkie wzmacniacze można pod tym kątem podzielić na takie, w których odprowadzenie ciepła odbywa się na drodze konwencjonalnej, czyli przez oddawanie ciepła do otoczenia przez umieszczone najczęściej na zewnątrz radiatory, oraz te, w których proces ten zachodzi w sposób wymuszony przez wbudowany we wzmacniaczu wentylator.

Oba rozwiązania mają swoje wady i zalety. Chłodzenie naturalne dobrze zdaje egzamin przy niezbyt dużych mocach, pod warunkiem zastosowania odpowiedniej wielkości radiatorów. Brak wentylatorów powoduje, że wzmacniacz może być wykorzystywany w miejscach, gdzie zależy nam na jak najmniejszym poziomie szumów i zakłóceń zewnętrznych (np. studiach nagrań, teatrach, wyciszonych salach o dobrej akustyce). Niestety, kiedy nasze oczekiwania wobec mocy rosną, rośnie też powierzchnia radiatorów – wystarczy rzucić okiem na urządzenia czołowych producentów wysokiej klasy wzmacniaczy domowych. Tam oczywiście zastosowanie wentylatorów nie wchodzi w grę, więc poważni wytwórcy, chcąc zaspokoić wymagającą klientelę, budują monstra, które ciężko jest jednej osobie przenieść na drugi koniec pokoju.

W technice estradowej taka sytuacja jest nie do pomyślenia, stosuje się więc wymuszony obieg powietrza. Wewnątrz

wzmacniacza znajdują się aluminiowe radiatory, które odbierają ciepło od przymocowanych do nich tranzystorów mocy, a ciepło to odprowadzane jest na zewnątrz przy pomocy wentylatora. Zwiększa to skuteczność chłodzenia i pozwala na zmniejszenie masy i gabarytów urządzenia.

Współczesne wzmacniacze dużych mocy budowane są prawie wyłącznie jako konstrukcje z chłodzeniem wymuszonym. Dość poważnym mankamentem tego typu konstrukcji jest zjawisko nieuchronnego zanieczyszczenia wnętrza wzmacniacza przez pył i kurz z otoczenia. Stosowanie filtrów powietrza dołotowego powoduje w przypadku ich zatkania dramatyczne pogorszenie warunków chłodzenia, więc najlepszym rozwiązaniem jest systematyczne czyszczenie filtrów i wnętrza końcówki (np. przy pomocy sprężonego powietrza).

Jeśli posiadasz wzmacniacz z wentylatorem konieczne sprawdź, jaki jest w nim obieg powietrza. Jest to szczególnie istotne, jeśli umieszysz go w skrzyni transportowej. Firmy stosują bardzo różne konfiguracje otworów chłodzących, często kierując się własną wygodą, a nie względami praktycznymi. Są nawet wzmacniacze, w których wentylator zasysa powietrze od spodu wzmacniacza i wydmuchuje go na boki. Nie trudno się domyśleć, że latem wzmacniacz ten nie może pracować dłużej czas w raku, a już strach pomyśleć o zainstalowaniu w skrzyni kilku takich „wynałazków”.

Jeśli zamierzasz eksploatować wzmacniacz w obudowie rak, to zdecydowanie najlepszą konstrukcją są końcówki z otworami chłodzącymi na tylnym i przednim panelu wzmacniacza. Po zdjęciu dekle raka powietrze bez przeszkód może przepływać przez obudowę. Niektóre wzmacniacze zasysają powietrze przez otwory w przednim panelu i odprowadzają je z tyłu. Inne firmy preferują rozwiązanie odwrotne. Należy ze zrozumiałych względów unikać łączenia tych dwóch konfiguracji w jednej obudowie.

Kwestia chłodzenia wzmacniaczy mocy jest często niedoceniana przez użytkowników. Na nic zdadzą się wysiłki najlepszych konstruktorów, jeśli urządzenie nie będzie właściwie eksploatowane. Jest to zresztą problem o znacznie szerszym zasięgu. Konstruktorzy i producenci aparatury estradowej zakładają (słusznie), że ich wyroby trafią w ręce klientów mających chociaż podstawową wiedzę o swoich narzędziach pracy. Te założenia doskonale sprawdzają się w dużych firmach nagłośnieniowych, które zatrudniają kompetentnych fachowców pozostawiając artystom wyłącznie zadania artystyczne. Niestety, znacząca większość muzyków i wykonawców zdana jest przeważnie tylko na siebie. Znajomość zasad budowy i eksploatacji wzmacniaczy mocy nie jest zwykle mocną stroną przeciętnych użytkowników sprzętu estradowego.

Brak dbałości o własne narzędzia pracy często budzi moje zdziwienie. Jako przykład ekstremalny, acz autentyczny, opiszę taką oto sytuację: przychodzi klient reklamując uszkodzony wzmacniacz. Pytam o okoliczności awarii, lecz nie uzyskuję żadnych konkretnych informacji. Zdejmuję więc osłonę obudowy i moim oczom ukazuje się wnętrze wzmacniacza pokryte centymetrową warstwą zaprawy murarskiej!! Płytki drukowane wykonane z laminatu epoksydowego w kilku miejscach miały wypalane na wylot otwory (działanie wapna?) Oczywiście, cały środek wzmacniacza nadawał się do wymiany. Klient nieco zażenowany wyjaśnił, że tynkował dom i po prostu zapomniał zabezpieczyć wzmacniacz.

Od sposobu eksploatacji w największym stopniu zależy bezawaryjność aparatury więc czas na kilka „żelaznych” reguł dotyczących kwestii chłodzenia:

- 1** Nigdy nie zastanawiaj otworów wentylacyjnych w obudowie końcówki – dotyczy to w równym stopniu wzmacniaczy z wentylatorem jak i bez.
- 2** Nigdy nie stawiaj wzmacniacza w pobliżu źródeł ciepła (w czasie imprez plenerowych unikaj bezpośredniego działania słońca).
- 3** Wzmacniaczy z chłodzeniem wymuszonym nigdy nie wyłączaj w przerwach – pozwól wentylatorom odprowadzić nagromadzone ciepło. Zawsze sprawdzaj poprawność pracy wiatraków – podejrzane odgłosy, takie jak głośniejsza niż zazwyczaj praca, mogą świadczyć o ich zużyciu i konieczności wymiany. Jeśli zachodzi potrzeba wspomoczenia chłodzenia dodatkowym, zewnętrznym wentylatorem, sprawdź najpierw, skąd twój wzmacniacz zasysa chłodne powietrze i skieruj dodatkowy wentylator w tym samym kierunku, by przypadkiem nie wdmuchnąć ogrzanego powietrza z powrotem.
- 4** Nie zapominaj, że skuteczność chłodzenia zależy od prawidłowych obrotów wentylatora, a te z kolei są związane z napięciem sieci (nie dotyczy to końcówek z wentylatorami zasilanymi napięciem stabilizowanym, ale jest to bardzo rzadko stosowane rozwiązanie).
- 5** Koniecznie czyść wnętrze wzmacniacza z częstotliwością zależną od warunków eksploatacyjnych. Dotyczy to również, choć w mniejszym stopniu, wzmacniaczy z chłodzeniem konwencjonalnym.
- 6** Pracując z końcówkami w raku zawsze zdejmuj przednią i tylną kłapę obudowy i pozostaw minimum kilkanaście centymetrów wolnej przestrzeni z obu stron skrzyni transportowej. Odsuń ją od ścian, kotar itp.
- 7** Jeśli mimo przestrzegania tych wszystkich reguł zaobserwujesz częste uaktywnianie się zabezpieczenia termicznego w twoim wzmacniaczu, może to świadczyć o:
 - zbyt dużym obciążeniu stopnia mocy (np. przy zbyt niskiej impedancji zestawów głośnikowych),
 - nieprzystosowaniu końcówki do pracy ciągłej z maksymalnym obciążeniem – często pozornie dobre wzmacniacze nie radzą sobie w warunkach intensywnej, długotrwałej pracy np. w dyskotekach lub na koncertach rockowych,
 - może to świadczyć również o tym, że oczekujesz od swojego wzmacniacza więcej niż może on dać – jest to ostrzeżenie, że może nadszedł

czas, abyś pomyślał o zwiększeniu mocy swojego zestawu – problemy mogą zniknąć jak ręką odjął!

Aby zakończyć temat termicznych obciążeń końcówek mocy jeszcze raz chcę przypomnieć, że każdy wzmacniacz ma najgorszą sprawność cieplną (najbardziej się grzeje) nie przy mocy nominalnej, tylko przy około 65% jej wykorzystania. Tak więc, jeśli zauważysz że twoja końcówka zbliża się do temperatury wyłączenia i ograniczysz jej moc do 70%, to tylko pogorszysz sprawę. Lepiej już pracować na pełnej mocy i stosować limity.

Rodzaje wzmacniaczy

Chciałbym teraz poświęcić parę słów klasyfikacji wzmacniaczy z punktu widzenia tzw. klasy, w jakiej pracuje końcówka. Temat ten był już dość szczegółowo omawiany w *EiS 7/97*, powracam więc do niego tylko w kontekście coraz częściej pojawiających się na rynku wzmacniaczy z tzw. zasilaczem impulsowym. Pewnie zwrócisz uwagę na ofertę niektórych firm, gdzie przy stosunkowo niewielkiej masie wzmacniacza (ok. 10kg) końcówka dysponuje bardzo dużą mocą, np. 2 x 400W. Są to właśnie wzmacniacze z zasilaczem pracującym przy częstotliwości o wiele wyższej niż ta, która występuje w sieci energetycznej. Takie samo rozwiązanie stosowane jest np. we wszystkich współczesnych telewizorach. Zasilacze impulsowe mają o wiele większą sprawność od tradycyjnych, więc można stosować mniejsze transformatory sieciowe, które mają decydujący wpływ na masę wzmacniacza.

Niestety, tego typu rozwiązanie ma kilka wad. Przede wszystkim, przetwornica jest nieporównywalnie bardziej skomplikowana konstrukcyjnie od klasycznego zasilacza, co oczywiście ma niebagatelny wpływ na cenę urządzenia. Sugerowałbym zatem wcześniej rozważenie wszystkich za i przeciw, zanim zdecydujesz się na zakup takiego wzmacniacza. Czy naprawdę jego niska waga i małe wymiary są warte tej ceny?...

Bipolarny czy MOSFET ?

Następnym tematem wywołującym wiele kontrowersji i nieporozumień wśród użytkowników aparatury estradowej jest podział wzmacniaczy ze względu na użyte tranzystory końcowe. We wszystkich opisach końcówek zawsze występuje określenie: bipolarna lub MOSFET. Jak zapewne się domyślasz, opis ten dotyczy właśnie stopnia końcowego wzmacniacza, czyli tej jego części, która wykonuje zasadniczą pracę – dostarcza dużego prądu do zestawów głośnikowych. Ta odpowiedzialna

funkcja wymaga zastosowania elementu zdolnego dostarczyć dużą moc, odpornego na wysoką temperaturę, przeciążenia itp. Klienci najczęściej pytają: które wzmacniacze są lepsze? Muszę cię zmartwić, ale nie ma jednoznacznej odpowiedzi na tak postawione pytanie. Nasuwa mi się analogia do odwiecznego dylematu: diesel czy silnik benzynowy? Myślę, że przyda ci się jednak kilka informacji na temat obu rodzajów wzmacniaczy.

Technologia bipolarna stosowana jest od dawna przez wielu wiodących producentów specjalizujących się w produkcji wzmacniaczy mocy. Niektóre typy tranzystorów używane są od ponad dwudziestu lat i pewnie spokojnie wkroczą w trzecie tysiąclecie. Sprawdzone od wielu lat rozwiązania technologiczne są gwarancją niezawodności i stabilności pracy. Pojawienie się kilkanaście lat temu tranzystorów MOSFET wywołało małą rewolucję, wiele firm postawiło sobie za punkt honoru wyprodukowanie takiego wzmacniacza. Konstruktorzy zrozumieli, że pojawiła się szansa zaoferowania czegoś nowego, za co klient będzie gotów dobrze zapłacić. Okazało się również, że brzmienie wzmacniaczy MOSFET przypomina nieco wzmacniacze lampowe, jak wiadomo preferowane przez wielu muzyków. Oprócz tego, ten typ tranzystora posiada właściwość samoograniczania prądu wraz ze wzrostem temperatury, oraz ma o wiele lepsze czasy narastania predestynujące go do pracy w układach impulsowych. Wydawało by się więc, że tyle zalet powinno zapewnić im zdecydowaną przewagę na starszymi konstrukcjami bipolarnymi. Niestety, wiele firm poszło na łatwiznę budując końcówki o wyjątkowo uproszczonych aplikacjach. Brak jakichkolwiek zabezpieczeń i niezbyt wyszukane układy sterowania zwiększyły awaryjność i paradoksalnie zamiast polepszyć, pogorszyły parametry urządzeń.

Podstawową bolączką tanich, „budżetowych” końcówek MOSFET, jest spadek mocy towarzyszący wzrostowi temperatury. Zastosowanie ze względów oszczędnościowych zbyt małej ilości tranzystorów końcowych powoduje ich nadmierne grzanie się i w efekcie na skutek zjawiska samoograniczenia prądu – znaczący spadek mocy wyjściowej wzmacniacza. W skrajnym przypadku tranzystory nie wytrzymują i ulegają uszkodzeniu, co w sytuacji braku zabezpieczeń powoduje najczęściej spustoszenie w zestawach głośnikowych.

W końcówkach bipolarnych grzanie się wzmacniacza nie ma wpływu na oddawaną moc, o ile oczywiście moc tranzystorów dobrana jest z odpowiednim zapasem i zapewnione jest właściwe chłodzenie. W przeciwnym wypadku temperatura rośnie aż do uaktywnienia się zabezpieczenia termicznego (na ogół jest to ok. 85°C).

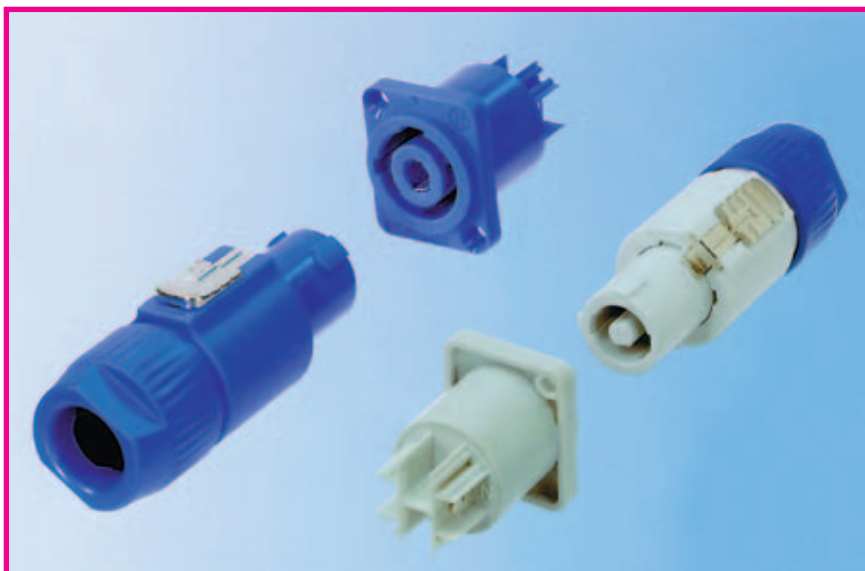


Fot. 1. Złącza głośnikowe typu speakon. Za pomocą jednego комплекtu można podłączyć do wzmacniacza dwa odbiorniki (np. głośnik niskotonowy i wysokotonowy).

Podsumowując: jakość wzmacniacza tylko w pewnym stopniu zależy od użytych tranzystorów. Można co najwyżej zasugerować, w związku z nieco większą zdolnością do ciągłego przenoszenia dużych prądów przez tranzystory bipolarne, stosowanie tego typu końcówek do zasilania zestawów niskotonowych, które wymagają dostarczenia dużej mocy. Natomiast końcówki MOSFET dobrej klasy mogą zapewnić nieco lepsze odtwarzanie wyższych częstotliwości. Dla wyrobienia sobie zdania o popularności i powszechności występowania obu typów wzmacniaczy dokonałem analizy zestawienia końcówek opublikowanego w *EiS 3/98*. Na 50 wzmacniaczy naliczyłem 42 końcówki bipolarne i 8 końcówki MOSFET. Interpretację tego wyniku pozostawiam czytelnikom.



Fot. 2. Typowe złącza sygnałowe typu XLR. Ostatnie złącze po prawej, na dole, jest złączem specjalnym o sześciu wyprowadzeniach.



Fot. 3. Złącze sieciowe POWERCON, coraz częściej stosowane w wielu konstrukcjach

Złącza

Teraz chciałbym omówić pokrótce temat gniazd wejściowych i wyjściowych jakie możesz spotkać we wzmacniaczach mocy. Przez wiele lat panowała pod tym względem duża dowolność. Stosowane były złącza typu jack, XLR, różne zaciski typu laboratoryjnego. Najwięcej problemu stwarzały zawsze wyjścia głośnikowe, które musiały umożliwić pewność działania przy przepływie dużych prądów. Stosowanie w tym miejscu gniazd typu jack dla mocy powyżej 100W jest nieporozumieniem. Gniazda i wtyki tego typu służą do przeniesienia małych sygnałów i mogą być stosowane wyłącznie na wejściach. Wejście symetryczne wymaga oczywiście gniazda jack TRS (stereo).

Problem wyjść głośnikowych został kilka lat temu skutecznie rozwiązany przez zasłużoną firmę Neutrik, która zaprojektowała specjalne złącze głośni-

kowe o nazwie speakon. Może ono przenosić prąd o wartości do 25A, jest zabezpieczone przez specjalny zatrzask przed przypadkowym rozłączeniem i stało się powszechnie obowiązującym standardem we wszystkich współczesnych końcówkach mocy. Aż dziwne, że musieliśmy tyle lat czekać na tak proste w sumie rozwiązanie. Godzi się wspomnieć, że podobne złącze o nazwie powercon firma zaproponowała ostatnio również dla zasilania sieciowego, by uniknąć stosowania niezbyt wygodnych przewodów sieciowych wyprowadzonych na stałe, oraz zbyt słabych przy dużych mocach, typowych gniazdach komputerowych. Powercon jest podobny zewnętrznie do speakona, jednak posiada inne rozwiązanie mechaniczne dla uniknięcia pomyłki. Część firm już stosuje je w swoich nowych produktach, więc bądź przygotowany, że możesz spotkać wzmacniacz którego

w żaden sposób nie podłączysz do sieci jeśli nie będziesz dysponował specjalistycznym okablowaniem.

Standardem dla gniazd wejściowych jest od wielu lat złącze XLR zwane często canonem. Trzy styki tego gniazda pozwalają na stosowanie linii symetrycznej. Najczęściej stosowanym standardem połączeń jest ten, w którym styk nr 2 jest stykiem „gorącym” (+); styk nr 3 jest również gorący, ale o odwrotnej polaryzacji (-); natomiast styk nr 1 jest masą (ground) i służy do podłączenia ekranu od standardowego dwużyłowego przewodu w oplocie – takiego jaki stosujesz do podłączenia mikrofonu z symetrycznym wejściem konsoly. Bardzo często gniazdo wejściowe XLR jest zdublowane gniazdem jack TRS, które w tym wypadku może służyć do połączenia wzmacniacza z inną końcówką lub może być wykorzystane, jeśli chcesz wejść na wzmacniacz sygnałem niesymetrycznym (używaj wtedy przewodów zakończonych wtykami jack TS – mono).

Wspomniana już wcześniej firma Neutrik, ma w swojej ofercie gniazdo combi, łączące w jednej obudowie zarówno XLR jak i jack. Jest to dość sprytne, ale moim zdaniem nieco udziwnione rozwiązanie, o nieco gorszych parametrach mechanicznych.

Na pewno zwróciłeś uwagę, że niektóre firmy nadal stosują dla przyłączy głośnikowych typowe, skręcane zaciski bananowe. Są to złącza bardzo pewne w działaniu, ale wymagające dużej staranności i uwagi podczas podłączania przewodów, które powinny być wyposażone w specjalne końcówki. Myślę, że ten typ złącza w związku z pojawieniem się speakona przejdzie niedługo do historii.

Regulatory czułości

Skupmy się teraz przez chwilę na wydawałoby się banalnym temacie regulatorów czułości, czyli potencjometrów oznaczanych zwykle jako gain, level lub attenuator. Chociaż z punktu widzenia elektronika, każdy z tych terminów oznacza co innego, to w odniesieniu do wzmacniaczy mocy spełniają one taką samą rolę. Ich zadaniem jest tłumienie sygnału wejściowego przychodzącego na wzmacniacz z konsoly lub innego źródła sygnału. W skrajnym prawym położeniu potencjometru wzmacniacz osiąga czułość nominalną, co oznacza, że przy podaniu na wejście sygnału odpowiadającego tej wartości dysponujemy pełną jego mocą.

Z praktyki wiem, że wykorzystanie tych regulatorów często nastęrcza wiele problemów mniej zorientowanym użytkownikom. Często spotykam się z pytaniami o optymalne ich położenie. Moim zdaniem, w większości wypadków potencjometry te powinny być ustawione na maksimum. Nie jest korzystne wpro-

wadzenie w tor akustyczny dodatkowo tłumienia. Wszelkie regulacje powinny odbywać się z konsoly. Należy jedynie skorelować poziomy wyjściowe miksera i wejściowe wzmacniacza. Jeśli twoja końcówka ma większą czułość niż nominalny poziom wyjściowy miksera, to wówczas możesz zmniejszyć jejysterowanie skręcając regulatory we wzmacniaczu. Można je wykorzystać także podczas pracy w systemie bi-amp, gdy stosuje się dwie niezależne końcówki do zasilania zestawów nisko i średnio-wysokotonowych. Wtedy najczęściej zachodzi potrzeba ograniczenia mocy dla środka i góry, a najprościej to zrobić z pomocą tychże potencjometrów. W pozostałych sytuacjach zalecam zapomnieć o regulatorach w końcówce i skupić się na prawidłowej obsłudze pozostałej części toru nagłaśniającego, co jest czynnością na tyle złożoną, że chyba nie warto jej dodatkowo komplikować.

Niektóre firmy wyposażają swoje wzmacniacze w regulatory kalibrowane, najczęściej w dB – ułatwia to dokładne ustalenie poziomów, choć często bywa że nastawy te nie są zbyt precyzyjne z powodu rozrzutu parametrów stosowanych do tego celu potencjometrów. Dla zapewnienia dużej dokładności należałoby zastosować wielopozycyjny przełącznik, ale jest to rozwiązanie bardzo kosztowne i raczej nie spotykane w praktyce.

Rady praktyczne

Ostatnią część artykułu chciałbym poświęcić na kilka porad praktycznych, które jak sądzę ułatwią ci podjęcie decyzji o zakupie nowego wzmacniacza lub ułatwią eksploatację już posiadanego urządzenia.

1 Zdecydowanie odradzam nabywanie końcówek niewiadomego pochodzenia, szczególnie jeśli sprzedający nie posiada żadnej dokumentacji technicznej. Atrakcyjna cena zakupu nie równoważy kłopotów z serwisem takich urządzeń.

2 Decydując się na zakup końcówki firmowej, również upewnij się czy sprzedawca zapewnia serwis i jakie są warunki gwarancji. Dobrze by było, gdybyś mógł wypróbować wzmacniacz w warunkach w jakich będzie użytkowany. Szczególnie polecam ten sposób właścicielom dyskotek, którzy mogą być niemile rozczarowani kiedy ich nowy nabytek nie wytrzyma trudów całonocnej imprezy.

3 Przeanalizuj bardzo dokładnie swoje zapotrzebowanie na moc – jeśli żądaną ilość watów pomnożysz przez 2, to jest szansa, że nie „zamęczysz” wzmacniacza i uzyskasz właściwy poziom głośności w każdych warunkach.

4 Po czwarte: wiedz o tym, że większość markowych wzmacniaczy wiodących producentów nie różni się od siebie w sposób bardzo znaczący, szczególnie z punktu widzenia użytkownika. Często o cenie decyduje głównie nazwa firmowa, więc niejednokrotnie przepłacisz kupując wyrób bardzo znanej firmy, w porównaniu do nieco mniej znanej, która np. dopiero wchodzi na rynek.

5 Po piąte: Jeśli to możliwe, postaraj się dokonywać zakupu w towarzystwie zaprzyjaźnionego fachowca, który będzie mógł wypytać sprzedawcę o pewne szczegóły techniczne, ważne przy późniejszej eksploatacji. Przed uruchomieniem wzmacniacza bezwzględnie zapoznaj się z instrukcją obsługi. Naprawdę warto poświęcić na to kilkanaście minut, jeśli pozwoli to uniknąć błędów, które czasami mogą mieć opłakane skutki.

6 I wreszcie na koniec – nie radzę nikomu próbować naprawy uszkodzonego wzmacniacza we własnym zakresie. Absolutnie niedopuszczalne są próby wymiany zewnętrznych i wewnętrznych bezpieczników na bezpieczniki o większej wartości niż zastosowane przez producenta. Generalnie większość awarii bezpieczników nie jest sprawą przypadkową i wiąże się z wewnętrznym uszkodzeniem wzmacniacza, co wymaga interwencji fachowego serwisu. Poprawnie skonstruowany i właściwie eksploatowany wzmacniacz powinien służyć długie lata. Znam osoby, które pracują na swoich końcówkach prawie 20 lat i ciężko byłoby ich przekonać do zakupu czegoś nowego. Niejednokrotnie identyczny wzmacniacz w rękach jednego użytkownika pracuje bez najmniejszych problemów przez kilka lat a inny naprawia go kilka razy w roku, co dobitnie potwierdza tezę o konieczności właściwej obsługi.

Mam nadzieję, że lektura moich artykułów pomoże ci we właściwym podejściu do urządzeń, za które pewnie zapłaciłeś, lub będziesz musiał zapłacić niemałe pieniądze.

Piotr Peto

Autor zajmuje się konstruowaniem i eksploatacją aparatury nagłaśniającej od ponad dwudziestu lat. Jeśli masz problem, z którym nie możesz się uporać lub chciałbyś zasięgnąć porady pisz do redakcji lub bezpośrednio na adres Piotra: ul. Dunińskiego 20, 05-501 Piaseczno.