

Zestaw nagłośnieniowy, część 1

PROJEKT
Z OKŁADKI

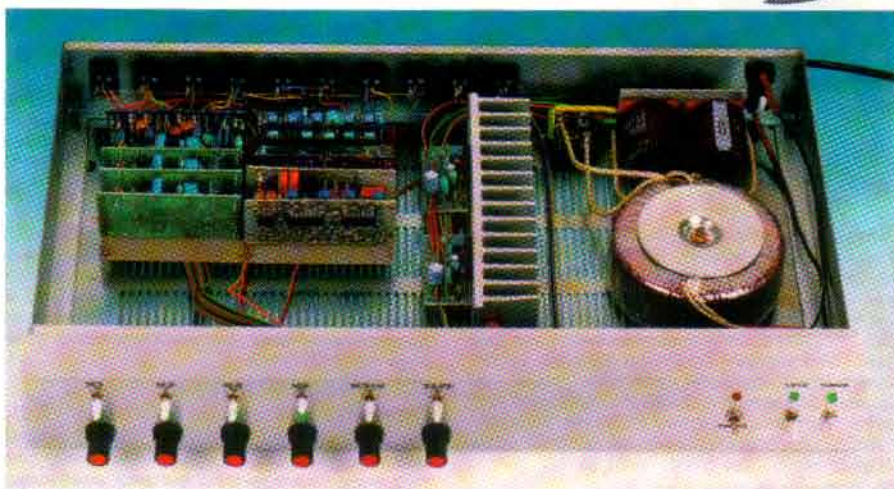
W urządzeniu zastosowano szereg interesujących rozwiązań układowych, dzięki czemu posiada ono niespotykane właściwości. Wejścia mikrofonowe wyposażono w układy automatyki utrzymujące głośność na zadanym poziomie. Wbudowane układy antywzbudzeniowe zapewniają dobre nagłośnienie nawet przy bardzo niekorzystnych właściwościach akustycznych sali.

W większości zastosowań zestaw ten nie wymaga żadnej bieżącej obsługi - sam dostosowuje się do aktualnej sytuacji.

Opisany zestaw nagłośnieniowy zrealizowano przy użyciu tylko 9 tranzystorów. Trzeba jednak dostrzec tu analogię do gotowania zupy z gwoźdźca - potrzebnych było przy okazji ponad dwadzieścia układów scalonych.

W pierwszej części artykułu przedstawiamy szczegółowo założenia, jakimi kierował się autor podczas opracowywania projektu oraz omawiamy schemat blokowy zestawu.

W kolejnym wydaniu EP opiszemy sposób montażu i uruchomienia zestawu.



Na łamach Elektroniki Praktycznej od dłuższego czasu ukazują się opisy kolejnych modułów audio. Cieszą się one dużą popularnością i nasi Czytelnicy znajdują dla nich wiele zastosowań. Jak wielokrotnie wspominaliśmy, seria tych modułów tworzy „klocki”, z których można zbudować różne przyteczne urządzenia. Ponieważ mamy już sporo takich klocków, przyszła pora na złożenie całej układanki. W niniejszym artykule chcemy pokazać Czytelnikom możliwości wykorzystania znanych już modułów, chcemy też zaprezentować zalety naszego systemu „klocków”.

System ten będziemy dalej wzbogacać. Planujemy przedstawienie modułu z filtrami zaporowymi 50Hz, 100Hz i 150Hz oraz modułu z analogową linią opóźniającą do realizacji efektu pogłosu czy echa.

Prezentujemy zatem przykład urządzenia zbudowanego w oparciu o moduły audio AVT. Jest to kompletny zestaw umożliwiający nagłośnienie pomieszczeń o powierzchni rzędu 100...200m². Przedstawiony zestaw służy do nagłośnienia pomieszczeń podczas zebrań, narad, konferencji i innych podobnych spotkań. Zdecydowanie nie jest on przeznaczony do nagłaśniania koncertów muzycznych, nie nadaje się też raczej do dyskotek, klubów muzycznych itd.

Technika nagłaśniania obiektów

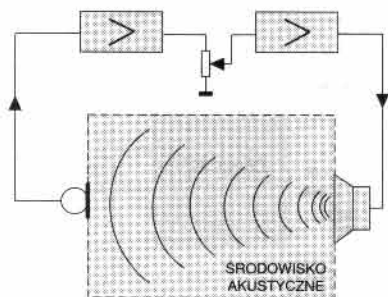
Dobre nagłośnienie pomieszczeń jest sprawą bardzo złożoną, bowiem na końcowy efekt składa się wiele czynników. Zupełnie innych właściwości wymaga się od sprzętu do odtwarzania na dobrym poziomie głośnej muzyki, a czego innego podczas sympozjum przy korzystaniu na sali z wielu mikrofonów.

W dyskotekach, a także podczas koncertów, ważne są:

- duża ciągła moc wyjściowa zestawu,
- w miarę równomierne pokrycie szerokopasmowym dźwiękiem całego obiektu,
- możliwość regulacji barwy i wzmocnienia,
- miksowanie sygnałów z kilku źródeł.

W takich sytuacjach najlepszym rozwiązaniem jest użycie przyzwoitego miksera. Przy odtwarzaniu muzyki z płyt czy kaset jedyny pracujący „na żywo” mikrofon prezentera nie stwarza kłopotu ze szkodliwym sprzężeniem akustycznym; głośne zapowiedzi do trzymanego blisko ust mikrofonu zapewniają duży sygnał w torze mikrofonowym i nie ma niebezpieczeństwa wzbudzenia.

Zupełnie inaczej wyglądają wymagania stawiane sprzętowi do nagłośnienia zebrań, konferencji itp. O ile w dyskotecce uzasadnio-



Rys. 1. Akustyczne sprzężenie zwrotne w systemie nagłośnieniowym.

ne bywa użycie sprzętu stereofonicznego, tu zupełnie wystarczy jeden kanał. Także duża moc wyjściowa nie jest tak potrzebna - w praktyce, aby uzyskać zupełnie wystarczający poziom natężenia dźwięku rzędu 80dB w sali o powierzchni 200m², wymagana jest moc na poziomie dosłownie kilku watów. Istotne jest natomiast równomierne pokrycie dźwiękiem całej sali, szczególnie w zakresie tonów wyższych.

Dlaczego tak ważne jest równomierne pokrycie sali dźwiękiem? Jak wiadomo, głośnik promieniuje tony niskie praktycznie we wszystkich kierunkach. Czym częstotliwość większa, tym kąt promieniowania mniejszy. W zakresie częstotliwości kilku kiloherców jest to już wąski stożek promieniowania; kąt wierzchołkowy takiego stożka wynosi kilkadziesiąt stopni. Jeśli więc na sali umieszczonych zostanie kilka głośników, to może się okazać, iż część słuchaczy jest poza zasięgiem tonów wyższych. Być może słyszą oni także dźwięki wyższe, ale nie bezpośrednio z głośnika, tylko jako dźwięk odbity i (nieraz znacznie) opóźniony.

W takich miejscach głośność dźwięku jest bardzo dobra, bowiem większość energii sygnału mowy zawarta jest w zakresie tonów niskich i średnich. Zrozumiałość mowy jest jednak mniej lub bardziej pogorszona - przecież o zrozumiałości decydują właśnie słabe składowe (harmoniczne) o większych częstotliwościach. W efekcie niby jest wszystko dobrze, a słuchacze po pewnym czasie czują się zmęczeni, trudniej jest im skupić uwagę. Jest to ważne zagadnienie, szczególnie w stałych systemach nagłośnienia. Podstawowym problemem są jednak wzbudzenia (gwizdy).

Rysunek 1 pokazuje przykład prostego systemu nagłośnienia. Przy zwiększaniu wzmocnienia wzmacniacza w systemie pojawiają się drgania, czyli system wzbudza się. Nic dziwnego - jest to przecież układ wzmacniacza z dodatkowym sprzężeniem zwrotnym realizowanym między mikrofonem a głośnikiem na drodze akustycznej. Jeśli tylko dla jakiejkolwiek częstotliwości zostanie spełniony warunek amplitudy i fazy (wzmocnienie wypadkowe systemu ≥ 1 , faza - mówiąc najprościej - zgodna), to otrzymamy po prostu generator.

Od czego zatem zależy podatność systemu na wzbudzenie? Dla uzyskania założonej głośności niezbędne jest dostarczenie określonej mocy - tak więc „w okolicach“ głośnika niewiele da się zrobić. Czułość mikrofonu w praktyce nie ma znaczenia - można powiedzieć, że jest kompensowana wzmocnieniem przedwzmacniacza. Z rys. 1 widać więc, że w sumie podatność na wzbudzenie zależy w zasadzie tylko od „tego czegoś“ między głośnikiem i mikrofonem. „To coś“ powinno jak najbardziej tłumić sygnał sprzężenia między głośnikiem a mikrofonem. Oczywiście, ogromne znaczenie ma tu odpowiednie wytłumienie sali pod względem akustycznym. Jest to bardzo szeroki temat, nie mieszczący się w ramach niniejszego artykułu, należy jednak wspomnieć o kilku najistotniejszych problemach.

Przede wszystkim, aby sala była możliwie dobrze wytłumiona pod względem akustycznym, należy unikać twardych płaskich powierzchni, stosować kotary, miękie wykładziny itp. Stosowany mikrofon powinien mieć charakterystykę czułości w kształcie kierunkowym (kardioida lub nawet maczuga), a nie kulistym. Taki mikrofon zdecydowanie słabiej reaguje na dźwięki z boków i z tyłu. Spośród tanich krajowych mikrofonów można polecić MD268. Interesującym rozwiązaniem może być też użycie mikrofonów elektretowych przypinanych do ubrania (do kołnierzy-

ka lub kłapy marynarki jak najbliżej ust).

Klasyczny sprzęt wzmacniający w procesie nagłośnienia spełnia rolę drugorzędą - z gruntu błędne jest powszechne mniemanie, że sytuację może poprawić droższy, bardziej rozbudowany mikser i wzmacniacz lepszej firmy, zapewne o większej mocy. Są to złudzenia o tyle groźne, że kosztowne w realizacji. Dysponowane fundusze można znacznie lepiej spożytkować, przeznaczając je na wytłumienie akustyczne sali.

Istnieją też pewne sposoby „elektronicznego“ zmniejszania podatności na wzbudzenia - nie są one spotykane w typowym sprzęcie nagłośnieniowym - niektóre z nich zastosowaliśmy natomiast w naszym zestawie.

Ogólne założenia projektowe

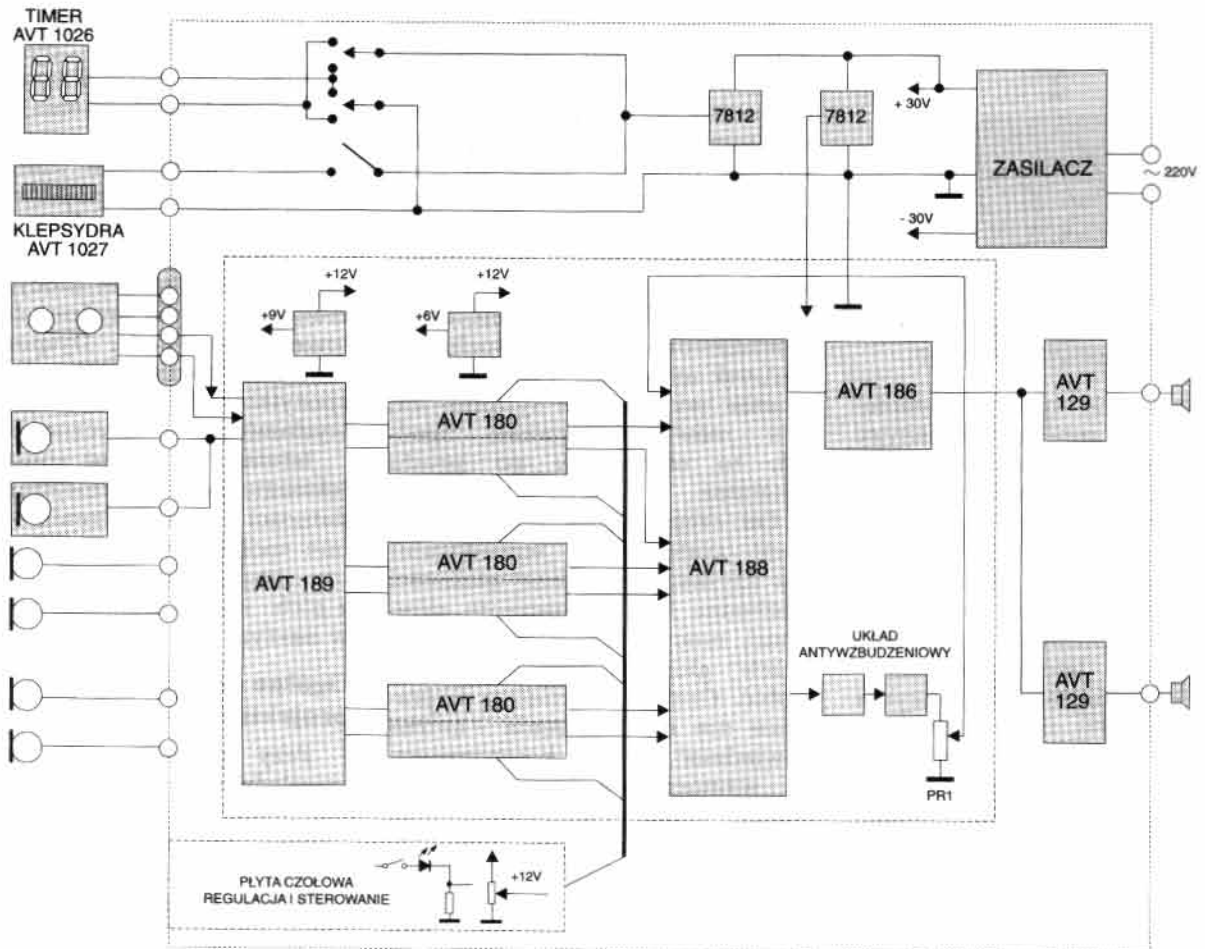
Przy projektowaniu zestawu uwzględniono następujące założenia:

- wzmacniacz i przedwzmacniacz powinny być zintegrowane w jednej obudowie,
- obsługa zestawu musi być możliwie prosta, aby także słabo kwalifikowany personel w pełni wykorzystał jego zalety,
- należy zastosować układy zmniejszające groźbę wzbudzenia,
- wejścia mikrofonowe powinny być odporne na zakłócające sygnały radiowe.

W wielu przypadkach obsługujący sprzęt nagłośnieniowy nie ma (prawie) żadnego wpływu na akustykę sali. Wtedy tyl-

O jakości nagłośnienia decydują przede wszystkim właściwości akustyczne sali, rodzaj i ustawienie mikrofonów.

ko dobry zestaw nagłośnieniowy, wyposażony w układy antywzbudzeniowe i poprawnie wyregulowany, może poprawić sytuację. W życiu z tym dobrym wyregulowaniem sprzętu bywa różnie, a najczęściej źle. Zawsze potwierdza się zasada, że czym więcej pokręteł i czym większe ambicje, a mniejsze kwalifikacje personelu obsługującego, tym gorszy efekt końcowy. Dlatego w naszym rozbudowanym zestawie większość regulacji przeprowadza się jednorazowo (potencjometry montażowe są dostępne po zdjęciu obudowy), a dla obsługi dostępne są tylko potencjometry regulacji



Rys. 2. Schemat blokowy zestawu nagłośnieniowego.

wzmocnienia i wyłączniki.

Nie wspominaliśmy dotychczas o niezawodności sprzętu. W praktyce zdecydowanie bardziej liczy się niezawodność niż rozliczne „bajery” i „wodotryski”. Tutaj też leży przyczyna tak ogromnych różnic w cenach sprzętu nagłośnieniowego. Solidne podzespoły renomowanych firm słono kosztują. Z kolei można zbudować za przysłowiowe grosze sprzęt o dobrych parametrach elektrycznych, ale jego niezawodność będzie pozostawać wiele do życzenia.

Najmniej pewne są elementy ruchome: wszelkie styki, wyłączniki, potencjometry. Wbrew pozorom, na koszt końcowy zestawów wysokiej klasy składają się przede wszystkim gniazda, potencjometry i inne elementy mechaniczne, a nie półprzewodniki czy wszelka inna „elektronika”.

Jak wspomniano wcześniej, w naszym zestawie ograniczyliśmy do minimum liczbę potencjometrów umieszczonych na płycie czołowej. Ponadto, dla uniknięcia

kłopotów z trzaskami regulacja odbywa się na drodze elektronicznej - napięciem stałym. W modelu zastosowano jednak z pełną świadomością tanie i popularne krajowe potencjometry oraz gniazda DIN z tworzywa licząc się z tym, że przy intensywnym użytkowaniu trzeba je będzie co kilka lat wymieniać.

Sporo uwagi poświęcono eliminacji zakłóceń radiowych. Jest to coraz poważniejszy problem, który niestety w związku z popularnością radia CB i wprowadzaniem telefonii komórkowej będzie dalej narastał. Zagadnieniem tym zajmiemy się szerzej w cyklu „Notatnik praktyka”. W naszym zestawie wzmacniacze mikrofonowe wyposażone są w filtry radiowe, a dzięki elektronicznemu sterowaniu unika się długich przewodów w torach sygnałowych.

Realizacja systemu

Schemat blokowy zestawu pokazano na **rysunku 2**. W roli wzmacniaczy wejściowych pracuje

moduł AVT-189 z kostkami NE5532. Cztery wejścia przeznaczone są dla typowych mikrofonów. Doświadczenia pokazały, że w większości przypadków nie jest konieczne stosowanie wejścia symetrycznego. W zestawie celowo zastosowano tanie gniazda DIN 5. Umożliwia to przy zastosowaniu pomocniczego, wewnętrznego źródła zasilania 5...9V dołączenie mikrofonów dynamicznych MD, elektretowych dwu- lub trzykońcówkowych ME oraz pojemnościowych MC. Układ połączeń gniazda mikrofonowego i sposoby podłączenia różnych mikrofonów pokazane są na **rysunku 3**.

Następne dwa wejścia mikrofonowe przeznaczone są do podłączenia nietypowych mikrofonów ruchomych noszonych po sali. Mikrofon ruchomy jest potrzebny wtedy, gdy słuchacze z sali mają sporadycznie także zabierać głos; wykonany jest on z kijka narciarskiego o długości ok. 1,4m, ma wbudowany przedwzmacniacz i przycisk. Uproszczony schemat

mikrofonu i sposób połączenia kilku takich mikrofonów do jednego wejścia pokazano na **rysunku 4**. W danej chwili czynny może być jeden z nich. Obwód przycisku sterującego jest tak wykonany, że nie występują żadne stuki przy włączaniu mikrofonu. Wzmocnienie wszystkich torów mikrofonowych jest tak dobrane, aby nawet przy najgłośniejszych dźwiękach nie były one przesterowane.

Kolejne wejście umożliwia dołączenie magnetofonu. Sygnały obu kanałów stereofonicznych są oczywiście zsumowane w jeden.

Sześć sygnałów z płytki AVT-189 jest podawane na trzy moduły AVT-180, z których każdy zawiera po dwa układy kompresora-ogranicznika z regulacją wzmocnienia oraz klucze analogowe. Za pomocą napięcia stałego 0...+12V z potencjometrów umieszczonych na płycie czołowej reguluje się tu wzmocnienie poszczególnych torów w zakresie około -30...+16dB. Bardzo cenną właściwością, wynikającą ze stosowania układu ogranicznika, jest uzyskanie sygnału wyjściowego o ustalonym poziomie maksymalnym (w modelu 1Vpp).

Wyjścia modułów AVT-180 wyposażone są w klucze analogowe CMOS 4066, sterowane również elektronicznie przełącznikami na płycie czołowej, pozwalające całkowicie wyciszyć dany tor. Praktyka pokazuje, że rozwiązanie z wyłącznikiem jest lepsze niż wyciszanie potencjometrem „do zera”. W naszym układzie, po jednorazowym ustawieniu właściwego wzmocnienia poszczególnych torów, wszystkie potencjometry mogą pozostać w swoich właściwych położeniach, a tory będą włączane według potrzeb.

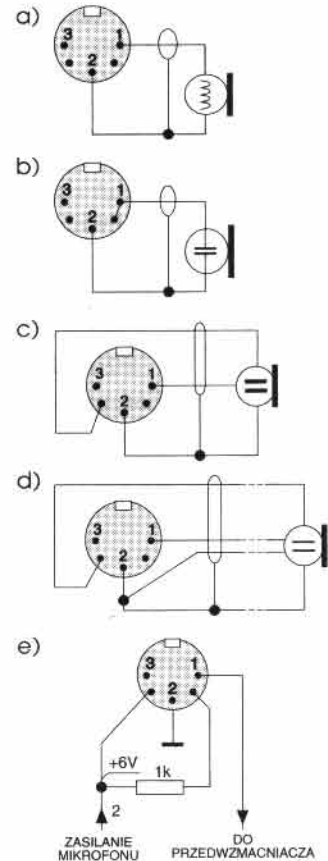
Kolejnym stopniem jest moduł dwukanałowego miksera AVT-188, gdzie w jednym kanale są sumowane sygnały mikrofonowe.

Zsumowany sygnał podawany jest na układ antywzbudzeniowy o wzmocnieniu 1, przesuwający całe pasmo akustyczne o około 5Hz w górę. W ten sposób ton o częstotliwości, powiedzmy 1000Hz, odebrany przez mikrofon, pojawi się w głośniku jako ton 1005Hz. W sygnale mowy taka zmiana nie jest zauważalna. Do mikrofonu dotrze

więc sygnał sprzężenia zwrotnego o innej częstotliwości - nie może więc nastąpić typowe dodanie dwóch synfazowych sygnałów i układ się nie wzbudzi. W rzeczywistości nie jest tak dobrze - przy dużym zwiększeniu wzmocnienia system w końcu „znajdzie sobie” okazję do wzbudzenia, ale nie będzie to preraźliwy ciągły gwizd, tylko dźwięk pulsujący, modulowany, zdecydowanie mniej stresujący. W praktyce zastosowanie układu antywzbudzeniowego daje możliwość zwiększenia wzmocnienia o 6...10dB, co daje znakomity efekt praktyczny. Z uwagi na znaczną trudność wykonania układu antywzbudzeniowego w warunkach amatorskich, układ ten jest oferowany przez AVT w postaci gotowego modułu.

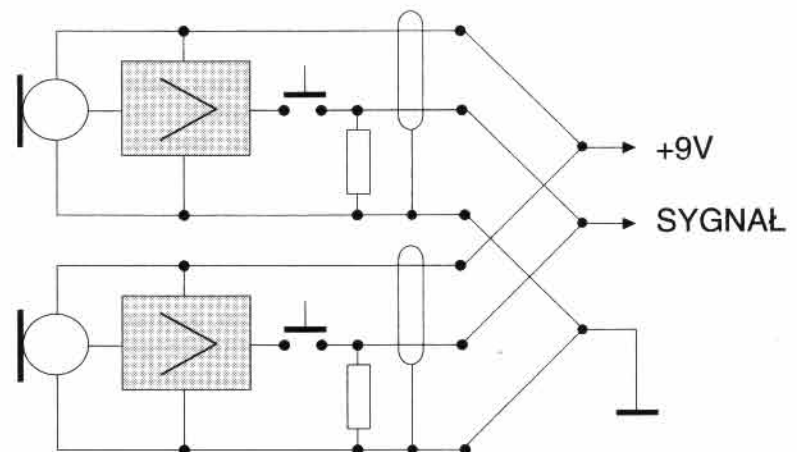
Sygnały mikrofonowe po przejściu przez układ antywzbudzeniowy podawane są na potencjometr regulacji maksymalnej głośności i dalej na drugi stopień miksera. Sygnał magnetofonu omija w ten sposób układ antywzbudzeniowy - choć mówiliśmy, że zmiana sygnału mowy nie jest zauważalna, nie można tego powiedzieć o sygnałach muzycznych. Przesunięcie złożonego sygnału muzycznego w dziedzinie częstotliwości spowoduje po prostu niewielkie „rozstrojenie” - harmoniczne sygnału przestaną być harmonicznymi. Stąd też nasz zestaw ma ograniczoną przydatność przy obsłudze programów muzycznych o wysokiej jakości.

Sygnał z drugiego miksera podawany jest na moduł equalizera AVT-186. W wielu systemach equalizer służy do zabawy, gdy obsłu-



Rys. 3. Sposoby podłączenia różnych rodzajów mikrofonów: a) mikrofonu dynamicznego, b) dwukońcówkowego mikrofonu elektretowego, c) trójkońcówkowego mikrofonu elektretowego, d) mikrofonu pojemnościowego, e) sposób podłączenia gniazda

ga się nudzi. U nas moduł wyposażony w potencjometry montażowe umieszczony jest wewnątrz obudowy. Przeznaczony jest on do skorygowania charakterystyki akustycznej obiektu (sali) a nie do



Rys. 4. Połączenia mikrofonów ruchomych.

korygowania barwy głosu mówcy. Equalizer obsługiwany przez niefachowców często jest przyczyną, a nie lekarstwem na kłopoty. Praktycy docenią ideę zrealizowaną w naszym sprzęcie: equalizerem należy jednorazowo wyrównać charakterystykę obiektu, aby dźwięk na końcu sali miał taką samą barwę jak oryginalny głos mówcy.

Celowo nie zastosowano korektorów barwy w poszczególnych kanałach, choć mamy odpowiednie moduły procesorów audio AVT-148 i AVT-196. Czę-

sto wysuwa się argument, iż należy korygować głos niektórych mówców, bo jest piskliwy albo matowy, albo ma inne niekorzystne cechy. Argument ten jest słuszny tylko w dużych obiektach, gdzie słuchacze nie słyszą bezpośredniego głosu mówcy. W mniejszych salach słuchacze siedzący z przodu sali odbierają bezpośrednio naturalny głos mówcy ze wszystkimi jego wadami. Jaki jest więc powód, żeby słuchacze z końca sali słyszeli głos o innej barwie? Stąd w naszym zestawie equalizer, zgodnie ze swą nazwą, służy tylko do wyrównania charakterystyki częstotliwościowej obiektu.

Kolejnym blokiem w naszym układzie jest zespół wzmacniaczy mocy. Zastosowano tu dwa niezależne wzmacniacze, dzięki temu w razie potrzeby możliwe jest niezależne wysterowanie głośników tylnych i przednich, przy czym przednie wysterowane są nieco większą mocą.

W zasilaczu sieciowym zastosowano toroidalny transformator o mocy 150W i kondensatory 10...22mF/35V. Wszystkie moduły zasilane są pojedynczym napięciem +12V ze stabilizatora 7812. Tak zadziwiająco niskie napięcie zasilania wynika tylko z założonej dużej elastyczności układowej - po zmianie końcówek mocy na choćby TDA1554 układ może być zasilany z akumulatora samochodowego 12V dostarczając mocy około 2 x 20W.

W tym miejscu przeanalizujemy niepowtarzalne zalety naszego roz-

wiązania układowego. Gdy w normalnym systemie nagłośnienia nastąpi wzbudzenie, to wzmacniacz będzie pracował pełną mocą i głośność będzie maksymalna. W naszym modelu zastosowaliśmy jednak dwa wzmacniacze TDA1514A i transformator 150W. Daje to ciągłą moc wyjściową około 90...100W! Jest to jednak celowe, bowiem

niekiedy przy odtwarzaniu muzyki wymagana jest większa moc.

Czy nasz zestaw przy ewidentnym błędzie obsługi (ustawienie ma-

ksymalnego wzmocnienia) zagrzmi pełną mocą? Nie! Zapewniają to kompresory-ograniczniki i potencjometr regulacji maksymalnej głośności (na rys. 3 oznaczony PR1)! Jak pamiętamy, na wyjściu kompresora-ogranicznika sygnał nie może przekroczyć wartości 1Vpp bez względu na poziom sygnału wejściowego i ustawienie potencjometru głośności. Jeśli więc taki ograniczony sygnał zostanie jeszcze dodatkowo stłumiony potencjometrem PR1, to przy wzbudzeniu moc oddawana będzie zależać od ustawienia suwaka PR1.

Umieszczenie PR1 wskazuje, że pełni on rolę potencjometru sumy, znanego z większości mikserów. W naszym układzie tak jednak nie jest - jego rola polega na ustawieniu maksymalnej głośności sygnałów z mikrofonu. W ten sposób przy odtwarzaniu muzyki dysponujemy pełną mocą wzmacniaczy, a sygnały mikrofonowe odtwarzane będą z ustaloną niewielką mocą.

Ponadto, układ antywzbudzeniowy, który radzi sobie z sygnałami o wartości co najwyżej 2Vpp, nigdy nie będzie przesterowany, a to właśnie dzięki umieszczeniu w torach ograniczników AVT-180. W praktyce daje to ogromne korzyści - przy nadmiernym zbliżeniu mówcy do mikrofonu, przy kasznięciu, kichaniu, a także podczas ewentualnego wzbudzenia zadziała automatyka i głośność utrzyma się na niewielkim, ustalonym poziomie; na pewno nie pojawią się też zniekształcenia wynikające z przesterowania

wzmacniacza mocy.

Dzięki wszystkim omówionym czynnikom zestaw w większości przypadków wcale nie wymaga obsługi. Podczas jednorazowej wstępnej regulacji ustawia się potencjometry equalizera (w praktyce potencjometr zakresu 16kHz można ustawić na minimum - nie wpływa to na jakość mowy, a znacznie zmniejsza szumy), potencjometr maksymalnej głośności PR1 i potencjometry wzmocnienia na płycie czołowej. Później cała obsługa sprowadza się do włączania potrzebnych mikrofonów.

Dzięki układowi antywzbudzeniowemu można ustawić wzmocnienie torów mikrofonowych nieco większe niż wymagane minimalne. Przy dobrze wytłumionej sali automatyka układu ogranicznika zadba wtedy o jednakowy poziom głośności niezależnie czy mówca jest oddalony o 50 czy o 5 centymetrów od mikrofonu.

Należy jednak ostrzec, że wszystkie zalety można wykorzystać tylko przy właściwym ustawieniu potencjometrów. Na przykład, gdy z pomocą PR1 nadmiernie stłumimy sygnał mikrofonowy, wtedy nie będzie możliwe uzyskanie wystarczającej mocy i głośności. I nic nie pomoże zwiększanie wzmocnienia potencjometrami na płycie czołowej - nastąpi wzbudzenie, a głośność będzie za mała. Dlatego konieczne jest przeprowadzenie szeregu prób i wybranie optymalnych nastaw.

Czy nasz zestaw ma jakieś wady? Zapewne tak. Dla niektórych wadą może być cena, która przy tak skomplikowanym sprzęcie nie może być bardzo niska, niektórzy mogą wybrzydzać na wzmacniacze mikrofonowe, bo przecież dzisiaj układ NE5532 to żadna rewelacja. Dla każdego coś milego - układ można odchudzić rezygnując z większości modułów, a pozostawiając tylko przedwzmacniacz, mikser i wzmacniacze mocy. Z drugiej jednak strony, można zastosować superniskoszumny moduł przedwzmacniacza z układami NE542 (kit AVT-193) i transformatorami mikrofonowymi lub ultraniskoszumny wzmacniacz z kostką SSM-2017 (kit AVT-236).

Piotr Górecki