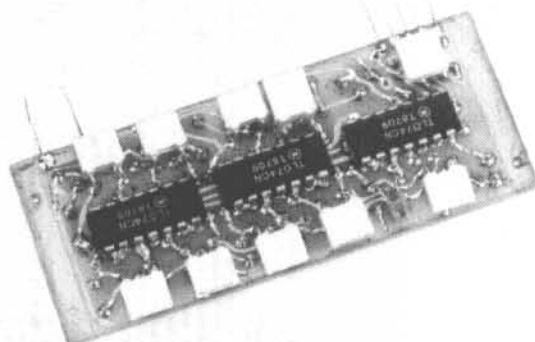
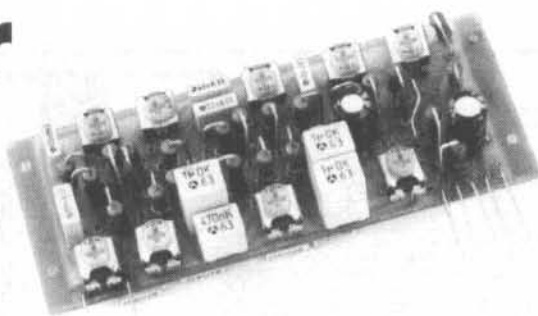


Equalizer

kit AVT-186



Equalizer - pasmowy korektor charakterystyki częstotliwościowej jest elementem niezbędnym we wszystkich systemach audio. Jest to kolejny „klocek” do modułowego systemu audio opisywanego na łamach EP. Układ wmontowany w odrębną obudowę może także stanowić samodzielną część domowego lub estradowego zestawu elektroakustycznego.

Nie trzeba nikogo przekonywać, że equalizer jest bardzo cennym uzupełnieniem każdego zestawu elektroakustycznego. Wielu z nas chciałoby dołączyć taki moduł do posiadanego zestawu, jednak wysoka cena i nie zawsze zadowalające parametry fabrycznych korektorów powodują, że nie są one powszechnie stosowane. Chetnych do budowy samodzielnego urządzenia odstrasza problem z wykonaniem estetycznej płyty czołowej obudowy, kłopoty związane z doбором elementów, a często nawet ze zrozumieniem działania układu. Po wykonaniu niektórych - na pierwszy rzut oka interesujących układów - okazuje się, iż ustawienia potencjometrów sąsiednich pasm wzajemnie na siebie wpływają i wypadkowa charakterystyka wcale nie jest podobna do obrazu wynikłego z ustawienia suwaków potencjometrów - a przecież powinien to być korektor graficzny.

Kilka słów o equalizerach

Chlebak, jak sama nazwa wskazuje służy do noszenia... granatów. Podobnie equalizer - jak sama nazwa wskazuje (equalize - wyrównywać) - wielu użytkownikom służy do... krzywienia charakterystyki częstotliwościowej systemu. Rzeczywiście, spora część użytkowników znajduje niekłamana przyjemność w ustawicz-

nym kręceniu wszystkim, czym da się pokręcić i podregulować. Niech im będzie - zapłacili za to ciężki kawałek grosza.

Ale tak naprawdę, equalizer nie powstał dla takiego celu. Mają one duże znaczenie w procesie produkcji nagrań studyjnych, jednak w ogromnej większości przypadków są używane przy odtwarzaniu nagrań i nagłaśnianiu obiektów.

Przypomnijmy więc, iż na wypadkową charakterystykę częstotliwościową całego systemu elektroakustycznego wielki wpływ ma akustyka pomieszczenia odsłuchowego. Temat ten nieco szerzej omawiamy w artykule „Miernik natężenia dźwięku” w bieżącym numerze EP. W każdym razie, pomimo znakomych parametrów wzmacniacza i kolumn, w rzeczywistych warunkach - wskutek odbić, nierównomiernego tłumienia i rezonansów pomieszczenia - słuchacz nie słyszy dokładnie tego, co było nagrywane: tego, co „usłyszał” mikrofon i co zostało zarejestrowane podczas produkcji. Sprawa ta nabrała znaczenia po rozpowszechnieniu się odtwarzaczy płyt kompaktowych. Idealna wręcz jakość nagrania może być w dużym stopniu zepsuta przez złą akustykę pomieszczenia. Jest to najbardziej istotne przy odtwarzaniu muzyki klasycznej - upragnionym ideałem byłoby słuchanie dokładnie tego, co

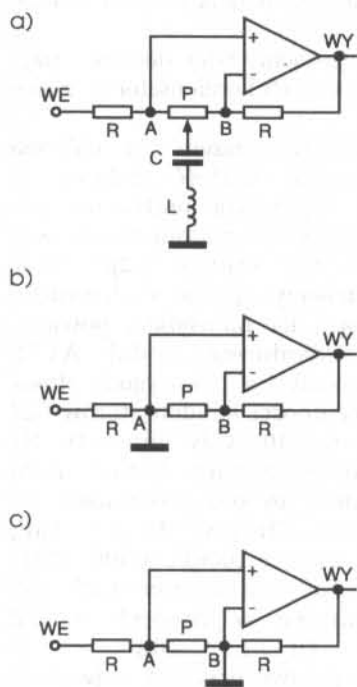
słychać na widowni podczas koncertu.

Jest to jednak odrębne, duże zagadnienie; w tym artykule zajmemy się tylko jego małym wycinkiem - zastosowaniem equalizera.

Wiele wzmacniaczy i przedwzmacniaczy najwyższej klasy (High End) nie ma żadnych (!) regulatorów barwy dźwięku. Bierze się to między innymi stąd, iż **celem ma być odtworzenie dokładnie tego, co było nagrywane**. Jeśli więc przyswoimy sobie tę prostą ideę, to dojdziemy do pięknego w swej prostocie wniosku: equalizer jest potrzebny do wyrównania charakterystyki akustycznej pomieszczenia - należy to przeprowadzić raz i więcej się do tego nie dotykać.

Ma to jeszcze większe znaczenie w systemach nagłośnienia pomieszczeń, gdy na sali jest używany mikrofon. W pomieszczeniu powstają zawsze pewne rezonanse. Wypadkowa charakterystyka częstotliwościowa zawsze jest pofalowana, i to tym bardziej, im większe jest wzmocnienie i system jest „bliżej sprzężenia akustycznego”. W takich wypadkach zastosowanie korektora charakterystyki jest wręcz nieodzowne. W profesjonalnych systemach nagłośnienia używa się do tego celu bądź korektorów graficznych o ilości regulowanych pasm 20...30, albo też jeszcze lepszych, przeznaczonych specjalnie do tego celu, korektorów parametrycznych.

Korektory parametryczne mają zwykle tylko kilka (np. 5) kanałów



Rys. 1. Zasada działania equalizera

regulacji czyli regulowanych filtrów. Każdy kanał ma trzy pokręta do ustawienia: częstotliwości rezonansowej filtru (zakresy regulacji sąsiednich pasm nakładają się częściowo na siebie), wielkości tłumienia lub podbicia (podobnie jak w korektorze graficznym) oraz dobroci. W ten sposób można skutecznie wyrównać charakterystykę pomieszczenia. Najpierw należy znaleźć częstotliwości rezonansowe, a potem je odpowiednio podbić lub stłumić.

Właściwe wyregulowanie korektora parametrycznego bez dodatkowego sprzętu pomiarowego jest dość trudne i dlatego korektory te nie cieszą się zbyt dużą sympatią konstruktorów i użytkowników.

Znacznie łatwiejsza jest obsługa korektorów graficznych, w których kształt charakterystyki można odczytać z ustawienia potencjometrów (najczęściej suwakowych), stąd ich popularność.

Nasz equalizer jest takim właśnie korektorem graficznym; do korektora parametrycznego jeszcze wrócimy, ale wcześniej zrobimy sobie stopniowo odpowiedni sprzęt pomiarowy.

Z przedstawionych wcześniej rozważań wynikają dalsze wnioski. W wielu wypadkach wystarczy umieszczenie equalizera wraz z jego pokrętłami wewnątrz obudowy. Korekcję charakterystyki przeprowadzimy „raz na zawsze” i po zamknięciu

obudowy nie będzie nikogo kusić myśl, żeby coś pokręcić. Ten najprostszy sposób ma swoje niewątpliwe zalety. Takie właśnie rozwiązanie jest zdecydowanie najkorzystniejsze w stałych systemach nagłośnienia, gdy aparatura obsługiwana jest przez różne osoby, często niefachowców (sale zgromadzeń, aule itp.).

To najprostsze rozwiązanie może być też interesujące dla wielu Czytelników, którzy za przystępną dla każdego cenę otrzymają jeden lub dwa moduły do zamontowania wewnątrz posiadanego sprzętu. Do zasilania potrzebne jest jedno napięcie 10...30V, które na pewno znajdzie się w urządzeniu. Nie trzeba ponosić żadnych nakładów na obudowę.

Inną możliwością jest wykonanie equalizera jako niezależnego urządzenia. I znowu, dla obniżenia kosztów można użyć niedrogiej obudowy, zastosować prosty zasilacz, a zamiast PR-ków na płycie drukowanej użyć zwykłych obrotowych potencjometrów umocowanych wprost na płycie czołowej.

Natomiast wszyscy, którzy dbają (i bardzo słusznie) o ładny wystrój wykonywanej aparatury, użyją zapewne potencjometrów suwakowych umieszczonych w eleganckiej obudowie.

W takich samodzielnych urządzeniach stosuje się zwykle przełącznik BYPASS, który pozwala ominąć korektor.

Koncepcja układowa

Istnieje co najmniej kilka różnych koncepcji układowych wykorzystywanych do budowy equalizerów. Z doświadczeń autora wynika, iż układ opisany w tym artykule jest najprostszy do wykonania, ma ogromną elastyczność i umożliwia łatwe przeprowadzenie zmian i eksperymentów. Podstawą jest układ z **rysunku 1a**.

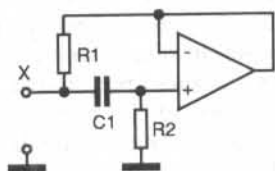
Jego działanie jest bardzo proste. Załóżmy, że obwód rezonansowy jest idealny, czyli dla częstotliwości rezonansowej ma rezystancję równą zero. W lewym skrajnym położeniu suwaka potencjometru P wzmocnienie układu dla częstotliwości rezonansowej jest równe zero, bo punkt A i wejście nieodwracające jest zwarte do masy - pokazuje to **rysunek 1b**. W drugim skrajnym położeniu suwaka wzmocnienie jest bardzo duże, rzędu tysięcy.

W praktycznych układach obwód LC nie jest idealny i dla częstotliwości rezonansowej przedstawia sobą pewną rezystancję. Im większa ta rezystancja, tym mniejsze zmiany wzmocnienia przebiegów o częstotliwości rezonansowej podczas regulacji potencjometru P. Z wartością rezystancji szeregowo nierozzerwalnie wiąże się dobroć obwodu LC. Ona z kolei decyduje o nachyleniu zboczy powstałego w ten sposób filtru. Rezystancja szeregowo obwodu rezonansowego decyduje więc nie tylko o stromości charakterystyki filtru, ale również o „głębokości” podbicia lub osłabienia charakterystyki przy częstotliwości rezonansowej. W większości equalizerów jest to zakres $\pm 12\text{dB}$, rzadko $\pm 15\text{dB}$.

Jeśli teraz, równoległe do potencjometru P, dołączymy kilka takich samych potencjometrów z obwodami LC o innych częstotliwościach rezonansowych, to otrzymamy właśnie nasz upragniony equalizer. Wzmocnienie układu przy ustawieniu suwaków potencjometrów w położeniu środkowym powinno wynosić 1 (0dB). Chcielibyśmy też, aby regulacja miała charakter, powiedzmy, logarytmiczny. Niestety, jak zauważyliśmy, charakterystyka regulacji, z uwagi na złożoną zależność wzmocnienia od położenia suwaka, nie będzie ani dokładnie liniowa, ani logarytmiczna. W przypadkach, gdy rezystancja potencjometrów będzie dużo większa od rezystancji szeregowo obwodu LC oraz rezystorów sprzężenia głównego wzmacniacza, to tylko w pobliżu skrajnych położений suwaków wystąpi regulacja - w środkowych położeniach suwaków zmiany wzmocnienia będą minimalne. Dlatego istotny jest stosunek wzajemny tych trzech rezystancji.

Dla prawidłowego działania należy jeszcze równomiernie rozmieścić częstotliwości rezonansowe filtrów w całym pasmie akustycznym. Oczywiście, w zależności od ilości filtrów należy wybrać odpowiednią wartość ich dobroci. Rzecz w tym, żeby poszczególne pasma zbyt nie nakładały się, a z drugiej strony, aby przy ustawieniu na maksimum lub minimum wszystkich potencjometrów wypadkowa charakterystyka była w miarę płaska.

Przy podziale pasma akustycznego



Rys. 2. Analog indukcyjności

na dziesięć zakresów kolejne częstotliwości rezonansowe filtrów będą w stosunku do siebie mniej więcej jak 1 : 2 (czyli co oktawę) - otrzymamy korektor oktawowy. Dwukrotne zwiększenie liczby filtrów daje korektor półoktawowy, a profesjonalści używają korektorów tercjowych (1/3 oktawy).

Dla korektorów oktawowych większość producentów sprzętu przyjęła za normę amerykańską znormalizowane częstotliwości środkowe pasm: 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000Hz.

W naszym rozwiązaniu, zamiast klasycznych cewek, zastosujemy oczywiście układ symulowanej indukcyjności. Umożliwi to miniaturyzację i zmniejszy wrażliwość na szkodliwy wpływ zakłócających pól magnetycznych (szczególnie sieci 50Hz). Układ takiej aktywnej indukcyjności pokazany jest na **rysunku 2**. Impedancja takiego obwodu widziana między punktem X a masą wynosi:

$$Z_x = \frac{R_1(R_1R_2C_1^2\omega^2 + 1)}{1 + R_1^2C_1^2\omega^2} + j\omega \frac{R_1C_1(R_2 - R_1)}{1 + R_1^2C_1^2\omega^2}$$

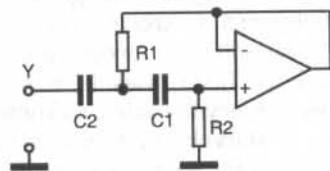
Z tego strasznego wzoru wynika, że impedancja składa się z dwóch składników: pierwszy jest rezystancją szeregową, drugi indukcyjnością (o ile tylko $R_2 > R_1$). W praktycznych układach wartość R_2 jest zawsze dużo większa od R_1 (nawet sto razy), wtedy drugi składnik wzoru, wyrażający indukcyjność, można bez znaczącego błędu uprościć do postaci strawnej dla każdego:

$$L = R_1 \cdot R_2 \cdot C_1$$

Jeśli teraz do takiej symulowanej indukcyjności dołączymy kondensator C_2 (jak na **rysunku 3**), to otrzymamy szeregowy obwód rezonansowy między punktem Y a masą. Częstotliwość rezonansowa takiego obwodu wyniesie:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$$

Zauważmy, iż skoro nasza impe-



Rys. 3. Obwód rezonansowy z aktywną indukcyjnością

dancja ma składową rzeczywistą (rezystancję szeregową, której wartość zwykle jest zbliżona do wartości R_1) to łatwo obliczymy dobroć całego obwodu rezonansowego. Wyraża się ona wzorem:

$$Q = \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

W zależności od ilości pasm projektowanego korektora należy dobrać odpowiednią wartość dobroci Q . Dla korektora oktawowego optymalną wartością dobroci jest ok. 2.

W praktyce, przy obliczaniu konkretnego equalizera wartość dobroci (w zależności od ilości pasm) jest z góry zadana, przyjmuje się więc pewne wartości rezystancji $R_1 \ll R_2$ oraz częstotliwości rezonansowe i oblicza pojemności C_1 i C_2 .

Z przekształcenia poprzednich wzorów otrzymamy potrzebne w tym przypadku praktyczne zależności:

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi \cdot f \cdot R_2}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R_1 \cdot Q}$$

W naszym korektorze sprawa wygląda nieco inaczej. Życie pokazuje, iż największe kłopoty występują przy doborze kondensatorów o nietypowych wartościach - a nawet więcej: wielu elektroników nie chce nawet zaczynać budowy urządzenia, w którym trzeba dobierać kondensatory.

Dlatego poszliśmy inną drogą. Świadomie zrezygnowaliśmy z kurczowego trzymania się częstotliwości i pasm ustalonych przez panów Amerykanów. Znakomicie ułatwimy sobie życie, jeśli zastosujemy typowe kondensatory z szeregu. Zauważmy, że dla wartości 1; 2,2; 4,7; 10 itd., wybranych choćby z dwudziestoprocentowego szeregu E6, stosunek każdej następnej wartości do poprzedniej jest bliski 2,2. Jest to prawie dokładnie taki stosunek, jaki chcieliśmy osiągnąć. I nie przejmujemy się tolerancją naszych kondensatorów - 10 czy nawet

20% nie ma tu praktycznego znaczenia.

Podajemy więc decyzję - użyjemy typowych kondensatorów z szeregu.

Także tym razem do obliczeń przyjmujemy wartość dobroci 2. Z kolei największą praktyczną pojemnością kondensatora stałego wydaje się być wartość 2,2μF (nasz układ musimy zgodnie z założeniami „upchnąć” na niewielkiej powierzchni standardowego modułu AVT). Przyjmujemy też dla wygody stosunek pojemności kondensatorów C_2/C_1 równy 10. Gdy rezystory R_1 i R_2 we wszystkich filtrach będą jednakowe, to dla pojemności C_2 kolejnych filtrów 2,2μF; 1μF; 470nF; 220nF; 100nF; 47nF; 22nF; 10nF; 4,7nF uzyskamy częstotliwości rezonansowe w proporcji 1 : 2,2 : 4,68 : 10 : ... : 468

Jaka ma być przy tym największa i najmniejsza częstotliwość rezonansowa? Przy takiej rozpiętości najbardziej sensowne wydają się wartości: 34; 75; 160; 340; ... 16000Hz. Mając już częstotliwości, wystarczy dla jednej z nich obliczyć R_1 i R_2 ze wzorów (będą one takie same we wszystkich filtrach):

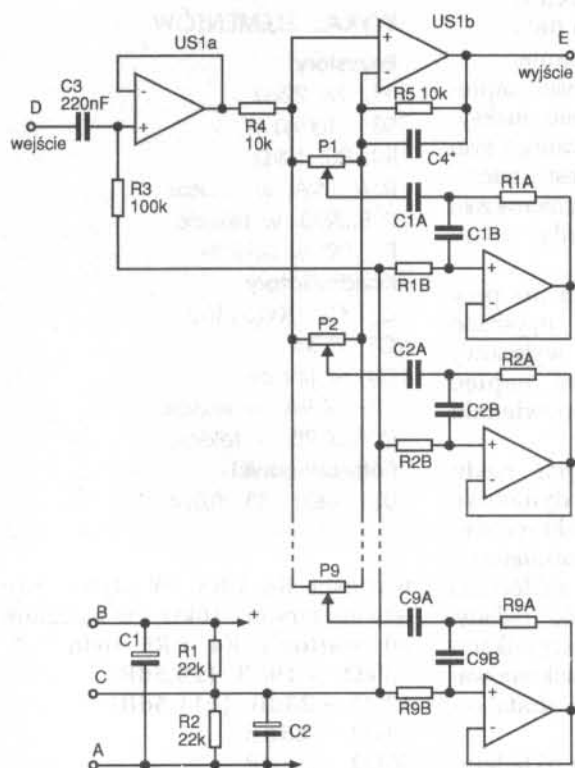
$$R_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_2 \cdot Q}$$

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi \cdot f \cdot C_1}$$

Część Czytelników zapyta, czy nie można zrobić w ten sposób korektora półoktawowego? Wszystko wskazuje na to, że można - bez kłopotu znajdziemy kondensatory z szeregu E6 o wartościach 2,2μF; 1,5μF; 1μF; 680nF; 470nF; 330nF; 220nF itd. W takim jednak przypadku, ponieważ wartość Q będzie większa, to wypadnie zwiększyć stosunek pojemności C_2/C_1 . W związku ze zmniejszeniem rezystancji R_1 (która decyduje o rezystancji szeregowej obwodu rezonansowego) zmieni się też zakres regulacji dla skrajnych położenia suwaków potencjometrów - będzie to wymagało zmiany wartości R_4 i R_5 .

Opis układu

Schemat elektryczny modułu naszego equalizera znajdziemy na **rysunku 4**. Użyto trzech poczwórnych wzmacniaczy operacyjnych TL074 (TL084). Wzmacniacz operacyjny US1a w konfiguracji bufora nieodwracającego zapewnia dużą rezystancję wejściową modułu. Głównym



Rys. 4. Schemat elektryczny modułu equalizera

elementem jest wzmacniacz US1b - między jego wejścia włączono potencjometry regulacyjne poszczególnych pasm. Pozostałe wzmacniacze operacyjne pracują w układach symulowanej indukcyjności. Jeden wzmacniacz nie jest wykorzystany - jego wejścia zwarte są do szyny zasilania. Przewidziano miejsce na kondensator C4, który może być niekiedy potrzebny do obciążenia częstotliwości powyżej pasma akustycznego.

Moduł w wersji podstawowej jest przewidziany do zasilania pojedynczym napięciem dołączonym między punkty A i B. Rezystory R1 i R2 tworzą dzielnik wytwarzający sztuczną masę. W przypadku zasilania napięciem symetrycznym nie trzeba montować R1 i R2; C2 pozostanie na swoim miejscu, natomiast ujemny biegun C1 należy dołączyć do punktu C zamiast do A (w płytce przewidziano trzy różne otwory pod C1).

Podobnie jak w większości tego typu modułów wyjście nie jest na potencjale masy. Nawet przy zasilaniu bipolarnym na wyjściu będzie występować napięcie stałe, równe napięciu niezrównoważenia wzmacniaczy. W większości przypadków nie ma to znaczenia - zawsze następny moduł ma przecież na swoim we-

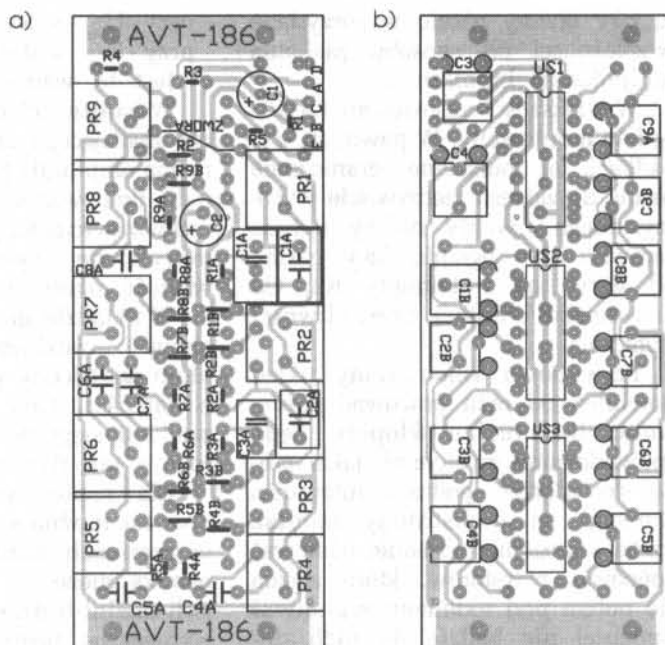
jęściu kondensator. Gdyby ktoś chciał zastosować przełącznik „omijający” equalizer, to aby uniknąć przykrego stuku podczas przełączania, musi na wyjściu modułu dodać obwód RC i przełączać sygnały na poziomie masy.

Montaż i uruchomienie

Montaż układu można wykonać na jednostronnej płytce drukowanej pokazanej na wkładce; rozmieszczenie elementów przedstawiono na **rysunku 5**. Niemożliwe okazało się umieszczenie wszystkich elementów na jednej stronie płytki. Dlatego, jak widać, część kondensatorów i układy scalone są lutowane od strony druku.

Jak widać na rys. 5 i fotografiach płytka jest dość mocno „upakowana”. Montaż, w związku z małymi odstępami między punktami lutowniczymi, wymaga niewątpliwie sporej staranności, mamy jednak nadzieję, że nawet mniej wprawni Czytelnicy poradzą sobie z tą płytką - trzeba się przecież powoli wprawiać do montażu elementów SMD. Żeby montaż nie był taki straszny, warto uwzględnić podane niżej wskazówki.

Przed zmontowaniem płytki należy przygotować wszystkie elementy



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej: a) strona elementów, b) strona ścieżek

i, aby uniknąć niespodzianek, najpierw złożyć całość „na sucho”, bez lutowania.

Podczas montażu najpierw należy wlotować wszystkie części umieszczone na „stronie elementów”: jedyną zworę, potencjometry montażowe, rezystory i część kondensatorów według rysunku 5a.

Po skróceniu wystających wyprowadzeń tych detali należy wlotować układy scalone umieszczając je od strony druku (rys. 5b).

Na koniec należy wlotować kondensatory umieszczone na stronie druku (rys. 5b). Najprościej jest skrócić ich wyprowadzenia do długości 6...7mm, następnie wstawić je „na stojąco” w przewidziane dla nich otwory, tak aby końce wyprowadzeń nie wystawały na drugą stronę płytki (bo przecież tam są inne elementy). Teraz bez kłopotu można przylutować od strony druku te kondensatory oddalone 5...6mm od powierzchni płytki. Na koniec kondensatory te można zagiąć o 90°, podobnie jak w prezentowanych na fotografiach modelach.

Ze względów praktycznych, zamiast jednego kondensatora 2,2µF użyto dwóch o pojemności 1µF, łatwiej dostępnych. Dziesięcioprocentowa zmiana pojemności nie ma tu żadnego znaczenia.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na umieszczenie kondensatora C1, ponieważ w tym miejscu na płytce

są trzy otwory różnie wykorzystane w zależności od sposobu zasilania (unipolarne, bipolarne).

W większości zastosowań C4 nie będzie montowany. W pewnych wypadkach jest pożądane ograniczenie pasma do zakresu rzeczywistego wykorzystanego i wtedy należy dobrać zarówno C4 - ograniczający pasmo od góry, jak i elementy R3, C3 decydujące o dolnej częstotliwości granicznej.

Prawidłowo zmontowany układ powinien od razu pracować poprawnie. Ewentualne kłopoty będą spowodowane zwarciami, jakie mogą się zdarzyć podczas lutowania. Z uwagi na dwustronny montaż trzeba szczególnie starannie wylutować końcówki rezystorów, które znajdują się potem pod układami scalonymi - później nie będzie do nich dostępu. W razie uszkodzenia układu scalonego (co nie jest bardzo prawdopodobne) trzeba go wyciąć i potem, po kolei, wylutować resztki nóżek.

Działanie korektora można sprawdzić (ewentualnie też zdjęć charakterystyki) w układzie według rysunku 6. W roli przestrajanego generatora z powodzeniem można użyć wobulator z układem XR2206, opisany w EP7,8/94.

Przypomnijmy młodszym Czytelnikom, że zmiana o 6dB oznacza zwiększenie lub zmniejszenie sygnału dwa razy, 12dB - cztery razy, a 3dB - 1,41 razy.

Zmierzono zniekształcenia nieliniowe przy częstotliwości 1,6kHz. Zniekształcenia własne użytego generatora z mostkiem Wiena wynosiły 0,035%. Przy różnym ustawieniu potencjometru regulacyjnego w tym pasmie na wyjściu modułu uzyskano:

- w położeniu środkowym potencjometru ($U_{wy} = 1,5V_{pp}$) - 0,045%

- przy $U_{wy} = 5V_{pp}$ - 0,045%
- przy $U_{wy} = 0,6V_{pp}$ - 0,08%.

Jest to wartość znakomita.

W zależności od wartości napięcia zasilającego zmienia się maksymalna amplituda przetwarzanego sygnału. Ponieważ equalizer jest umieszczony zazwyczaj tuż przed wzmacniaczem mocy, więc sygnały będą miały wartość około $1...3V_{pp}$.

W układzie modelowym już przy napięciu zasilania 5,2V uzyskano niezniekształcony przebieg wyjściowy o wartości $1,6V_{pp}$. Zakres napięć zasilania sięga do 36V, odpowiednio rośnie też dynamika.

Dla napięć wyjściowych rzędu 1 wolta można osiągnąć dynamikę w granicach 90dB. W praktyce dynamika może się nieco zmniejszyć, jeśli moduł będzie „łapał“ zakłócenia wytwarzane przez sąsiednie układy. Dlatego w niektórych przypadkach celowe może okazać się zaekranowanie płytki i zastosowanie dodatkowej filtracji zasilania.

Pobór prądu modułu z układami TL074 wynosił przy napięciu zasilania 6V około 12,5mA, przy 24V - 19mA.

Jak wcześniej wspomniano, zakresy regulacji poszczególnych pasm zależą od stosunku rezystancji (potencjometrów P, rezystancji szeregowej obwodu LC oraz R4 i R5). Przeprowadzono pomiary dla szeregu wartości tych elementów (przy czym zastępcza rezystancja szeregową była stała i wynosiła ok. 1kΩ).

Zmierzono całkowite zakresy regulacji przy zastosowaniu potencjometrów 10kΩ, 100kΩ i różnych

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R2: 22kΩ
R3: 100kΩ
R4, R5: 10kΩ
R1A...R9A: w tekście
R1B...R9B: w tekście
P1...P9: w tekście

Kondensatory

C1, C2: 100μF/16V
C3: 220nF
C4: w tekście
C1A...C9A: w tekście
C1B...C9B: w tekście

Półprzewodniki

US1, US2, US3: TL074

wartości R4 i R5. W płytce z potencjometrami 10kΩ, w zależności od wartości R4 i R5 było:

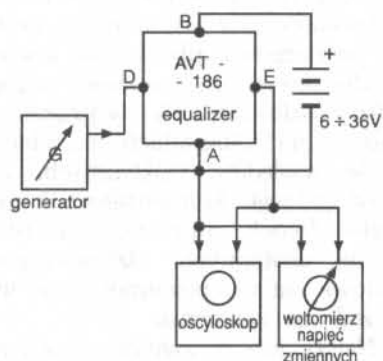
4,7kΩ - 19dB (±9,5dB)
12kΩ - 23dB (±11,5dB)
24kΩ - 25dB
56kΩ - 26dB
100kΩ - 27dB.

W module z potencjometrami 100kΩ uzyskano odpowiednio:

4,7kΩ - 22dB (±11dB)
12kΩ - 30dB (±15dB)
56kΩ - 35dB
100kΩ - 36dB.

W drugim przypadku, choć zakresy regulacji są bardzo szerokie, to charakterystyka regulacji jest niezadowalająca. Optymalne jest więc użycie potencjometrów o rezystancji 22kΩ, ewentualnie 47kΩ.

Piotr Górecki, AVT



Rys. 6. Układ pomiarowy