



Wzmacniacz D-Amp (1)

Gwałtowny rozwój rynku urządzeń elektronicznych nie ominął także sprzętu dostarczającego szeroko rozumianą rozrywkę. Szczególną pozycję zajmują tutaj systemy audiowizualne, które po dziesięcioleciach umiarkowanego rozwoju hamowanego przez chęć zapewnienia kompatybilności z istniejącymi już urządzeniami, doczekały się pełnej cyfryzacji niosącej ze sobą znaczącą poprawę jakości obrazu i dźwięku oraz nowe, niespotykane dotychczas funkcjonalności. Opisywane urządzenie zostało opracowane z myślą o połączeniu w całość z systemem wideo (odtwarzacz DVD, telewizor, odbiornik satelitarny i inne) w celu realizacji nagłośnienia audio w niezbyt obszernym pomieszczeniu.

Rekomendacje: wzmacniacz będzie doskonałym uzupełnieniem domowego sprzętu audio

Chociaż współczesne systemy audio również bardzo silnie się rozwinęły w ostatnich latach, to jednak kierunek ich ekspansji jest dosyć jednostronny. Dominują urządzenia przeznaczone do realizacji systemów kina domowego, mogące obsługiwać przynajmniej 6 głośników, dysponujące niewykorzystywaną w małym mieszkaniu mocą rzędu 50 W na kanał. Drugą klasę urządzeń stanowią z kolei bardzo proste funkcjonalnie i nieco lepsze jakościowo, ale znacznie droższe urządzenia audiofilskie, skierowane do osób słuchających nagrań muzycznych. Pozostałą część rynku opanowały niewielkie urządzenia stereofoniczne mające bardzo ograniczone możliwości współpracy z zewnętrznymi urządzeniami.

Autor od pewnego czasu poszukiwał na rynku niewielkiego, atrakcyjnego cenowo wzmacniacza, umożliwiającego podłączenie 2...3 urządzeń i zapewniającego jak najlepszą jakość dźwięku przy mocy rzędu 15...20 W na kanał. Poszukiwania zakończyły się fiaskiem, co dało początek konstrukcji wzmacniacza przedstawionego w artykule.

Założenia konstrukcyjne

Konstrukcja urządzenia powszechnego użytku, jakim niewątpliwie jest opisywany wzmacniacz, jest o tyle skomplikowana, że urządzenie to będzie później obsługiwane przez laików, co wymaga od projektanta uczynienia go wygodnym w użytkowaniu, prostym w obsłudze, a przede wszystkim bezpiecznym.

Przed przystąpieniem do konstrukcji wzmacniacza poczyniono następujące założenia:



Dodatkowe materiały na CD

AVT-5209

W ofercie AVT:
AVT-5209A – płytka drukowana

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Moc wyjściowa 2×25 W przy obciążeniu 8 Ω i THD+N≤0,3%
- Możliwa modyfikacja układu i podniesienie mocy wyjściowej do 2×40 W
- Zasilanie 230 V AC
- 4 wejścia zewnętrznego sygnału m.cz.
- Interfejs Bluetooth do podłączenia zewnętrznego źródła dźwięku w trybie słuchawek bezprzewodowych
- Sterowanie klawiszami oraz za pomocą nadajnika podczerwieni
- Nowoczesny, zdalnie sterowany układ regulacji barwy dźwięku, balansu i wzmocnienia (procesor dźwięku)
- Sterowany przez ATmega8
- Konstrukcja modułowa umożliwiająca łatwą modyfikację



PROJEKTY POKREWNE wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Wzmacniacz multimedialny do PC	EP 2-4/1997	AVT-325
Multimedialny wzmacniacz 3D	EP 1/1999	AVT-491
Altare – wzmacniacz audio dla audiofilii	EP 2/2001	AVT-5000
Audiofilski wzmacniacz 200 W	EP 5/2009	AVT-5187

- Urządzenie ma mieć jak najmniejsze wymiary oraz kształt umożliwiający wkomponowanie w „wieżę” współpracujących ze sobą urządzeń (odtwarzacz DVD, tuner TV-Sat itp.).
- Wzmacniacz powinien być wyposażony w trzy analogowe wejścia sygnałowe. Jeżeli byłoby to możliwe, powinien umożliwiać prostą rozbudowę w przyszłości o dodatkowe wejście analogowe, cyfrowe czy bezprzewodowe poprzez dołączenie odpowiedniego modułu.
- Gdy to tylko będzie uzasadnione i możliwe technicznie, stosowane będą elementy filtrujące sygnały wielkiej częstotliwości oraz symetryczna transmisja sygnałów audio, przede wszystkim w celu zwalczania zjawiska zakłóceń pochodzących od urządzeń GSM.
- Wzmacniacz będzie wzmacniaczem stereofonicznym o mocy maksymalnej nie większej niż 25 W na kanał, będzie również wyposażony w jedno wyjście liniowe sygnału audio odtwarzanego aktualnie przez głośniki. Powinien, choć nie musi, mieć wyjście słuchawkowe.
- Wzmacniacz nie będzie miał rozbudowanej funkcjonalności, a jedynie podstawowe możliwości wyboru wejścia, regulacji głośności i barwy dźwięku.
- Wzmacniacz będzie wyposażony w niewielki, kilkuznakowy wyświetlacz informujący o wartości aktualnie nastawianego parametru. Wyświetlacz musi być widoczny w ciemności oraz musi po pewnym czasie od zakończenia regulacji parametru ulegać wygaszeniu.
- Wzmacniacz musi być wyposażony w zdalne sterowanie.
- Wzmacniacz musi być wyposażony w łatwo dostępny wyłącznik całkowicie odcinający jego zasilanie, redukujący pobór prądu do zera. Równocześnie mimo całkowitego odcięcia zasilania wszystkie nastawy muszą być zapamiętane w pamięci nieulotnej.
- Należy zapewnić jak najlepszą jakość dźwięku, w miarę możliwości finansowych, technicznych i wiedzy konstruktora, z zastosowaniem ogólnie dostępnych elementów.

Niemal wszystkie z powyższych założeń udało się spełnić w 100%. Niestety, autor pragnie tutaj ostrzec osoby planujące podobną konstrukcję, że w przypadku samodzielnej jej realizacji i konieczności zakupu wszystkich elementów jej koszt może zrównać się z ceną popularnego sprzętu fabrycznego czy też używanego sprzętu wysokiej klasy. Z tego powodu, samodzielną konstrukcję należy traktować głównie jako możliwość sprawdzenia swoich umiejętności konstruktorskich, osiągnięcia parametrów i cech funkcjonalnych urządzenia niedostępnych powszechnie na rynku, miłego spędze-

nia wolnego czasu przy uprawianiu swojego hobby oraz zabłyśnięcia wśród znajomych, jakie to ciekawe urządzenie sami zrobiliśmy.

Obudowa i jej znaczenie w projekcie

Na początek nieco ogólnych informacji o doborze obudowy do urządzenia. Wbrew pozorom, w przypadku urządzenia elektronicznego mającego spełniać określone wymagania estetyczne i funkcjonalne, jego konstruowanie należy rozpocząć od obudowy. Elektrycy amatorzy powszechnie niechętnie podchodzą do elementów mechanicznych i różnych prac związanych z obróbką metali czy tworzyw sztucznych. Najprawdopodobniej niechęć ta bierze się stąd, że konstruowane przez hobbystów urządzenia często są obsługiwane wyłącznie przez nich samych, co niekiedy w ogóle nie wymaga skupiania się nad takim niepotrzebnym elementem, jakim jest obudowa.

Powszechnym błędem hobbystów jest zła kolejność procesu projektowania i budowy urządzenia. Podczas niego najpierw opracowywany jest schemat ideowy urządzenia, później projektowana płytka drukowana, następnie urządzenie jest montowane z akurat dostępnych elementów, niekoniecznie pasujących do zaprojektowanej płytki. Jeżeli tak zbudowaną elektronikę udaje się uruchomić, to po sprawdzeniu jej funkcjonowania, płytka dopasowywana jest do obudowy. Na tym etapie sprowadza się to najczęściej do zakupu gotowej obudowy z tworzywa sztucznego, będącej gabarytowo większą od istniejącej elektroniki. Mniej lub bardziej precyzyjne wypiłowanie czy wywiercenie otworów pod ewentualne złącza, przyciski czy wyświetlacze oraz umocowanie płytki w środku za pomocą dużej ilości kleju na gorąco kończy proces budowy.

O wiele lepsze efekty estetyczne i funkcjonalne można uzyskać, postępując w nieco inny sposób. Najpierw oczywiście powstaje schemat ideowy. W przypadku skomplikowanych urządzeń proces projektowania warto też zacząć od poczynienia stosownych założeń co do jego parametrów i funkcjonalności, w celu uniknięcia sytuacji, że o czymś zapomnieliśmy i konieczne są znaczne przeróbki już gotowej płytki.

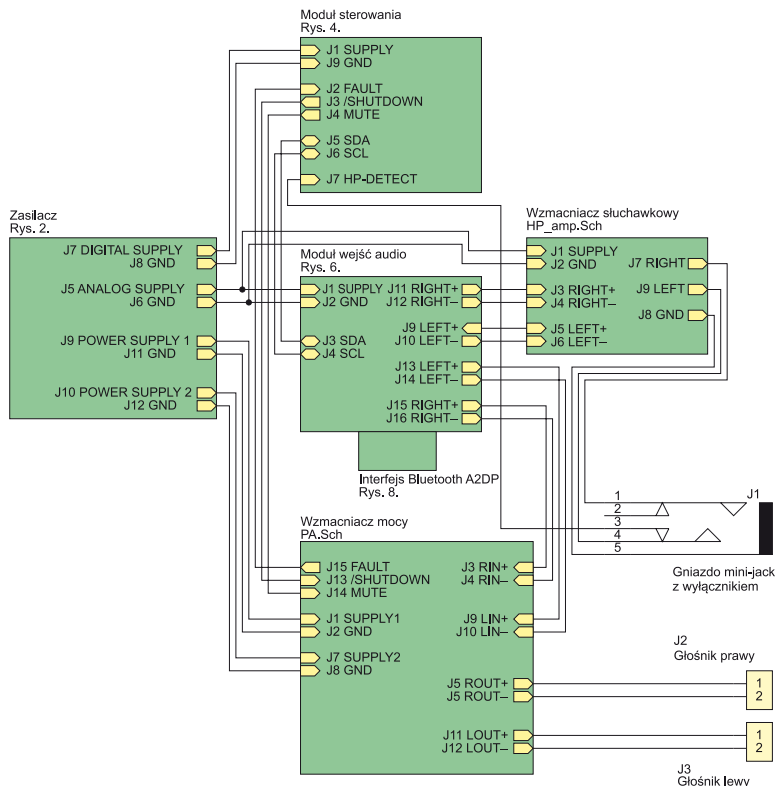
Kolejnym krokiem będzie zgromadzenie wszystkich podzespołów. W przypadku pierwszego i ostatniego zarazem egzemplarza urządzenia amatorskiego można z powodzeniem użyć trudno dostępnych elementów z demontażu czy takich, jakie akurat mamy w szufladzie. Jeżeli jednak planujemy podzielić się projektem z innymi, wybierajmy raczej elementy dostępne powszechnie, łatwe do kupienia w pojedynczych sztukach. Zakup elementów przed zaprojektowaniem płytki drukowanej jest jak najbardziej słuźny, gdyż chroni nas przed sytuacjami, w któ-

rych kupiony zbyt późno element nie pasuje do otworów na istniejącej już płytce. Nie wątpię, że każdy z Czytelników przekonał się o tym na własnej skórze, próbując zamontować niepasujący wyłącznik, gniazdo, przekaźnik, potencjometr czy chociażby niepozorny kondensator elektrolityczny, zwłaszcza dużej pojemności. Gromadzenie elementów przed projektem PCB jest koniecznością w przypadku stosowania elementów SMD, gdzie ten sam typ układu scalonego może być produkowany w znacznie różniących się gabarytowo obudowach z różną liczbą wyprowadzeń.

Mając przed sobą schemat i zebrane elementy, wybieramy obudowę. Do optymalnego jej doboru należy posłużyć się wymiarami największych elementów (ograniczenia na wysokości czy głębokości obudowy) oraz podzespołów przewidzianych do montażu na płycie czołowej (szerokość, wysokość). Oczywiście zawsze lepiej wybrać obudowę nieco większą. Wbrew pozorom obudowy metalowe są prostsze w obróbce niż plastikowe, gdyż duża twardość materiału wybacza więcej błędów przy wierceniu czy piłowaniu. Pozwała to na uzyskanie lepszych efektów estetycznych nawet elektronikowi niewprawionemu w pracach mechanicznych.

Dopiero wtedy, gdy mamy gotową obudowę, możemy przejść do projektu płytki. Zachowując opisaną kolejność, otrzymamy wysoce estetyczne urządzenie, z płytką drukowaną zamocowaną na przewidzianych do tego elementach mechanicznych obudowy. Dodatkowo, dopasowanie wymiarów płytki do wymiarów obudowy umożliwia stosowanie złączy i przycisków montowanych bezpośrednio do druku, co oprócz estetyki (brak łączących przewodów) poprawia również parametry sygnałowe (mniejsza wrażliwość na zakłócenia).

Według powyższych zasad przeprowadzono dobór obudowy do opisywanego wzmacniacza. Pierwszym krokiem było sięgnięcie po katalogi z gotowymi obudowami. Ze względu na charakter urządzenia związany z przenoszeniem znacznych mocy poszukiwania skierowano głównie w stronę obudów metalowych zapewniających lepsze chłodzenie. Obecnie możliwości zakupu estetycznej obudowy wykonanej z profili aluminiowych w niemal dowolnym rozmiarze są bardzo szerokie, jednak kluczowym elementem okazuje się cena, niekiedy przekraczająca wartość wbudowanej do środka elektroniki. Ponieważ wzmacniacz miał współpracować z takimi urządzeniami, jak odtwarzacz DVD czy tuner satelitalny, pojawił się pomysł na wykorzystanie obudowy z podobnego urządzenia. Okazało się, że uszkodzone tunery satelitarne można kupić na aukcjach internetowych za kilkanaście złotych. Jest to chyba najtańsze źródło estetycznych obudów o stosunkowo niezłej jako-



Rys. 1. Schemat blokowy wzmacniacza

ści, zwłaszcza w porównaniu z obudowami uniwersalnymi. Oprócz tych wszystkich zalet niestety jest też jedna dosyć poważna wada: istnieją spore trudności z zakupem kilku identycznych obudów. Z tego też powodu w przedstawionym urządzeniu tylko jedna płytką drukowaną wykorzystuje elementy mechaniczne obecne w obudowie, pozostałe wymagają zastosowania innych sposobów montażu. Jest to kompromis pomiędzy zastosowaną obudową a możliwością powielenia projektu przez Czytelników EP.

Podczas wyboru obudowy z odzysku należy zwrócić uwagę na jak najmniejszą liczbę elementów ruchomych i otworów na płycie czołowej, co pozwoli nam swobodnie zaaranżować docelowy wygląd urządzenia. Z tego powodu do budowy wzmacniacza nie bardzo nadają się obudowy odtwarzaczy płyt CD, a to ze względu na konieczność zaślepienia sporego otworu w płycie czołowej. W przypadku tylnej ścianki również dobrze by było mieć możliwość swobodnej ingerencji, jednak często jest ona pełna różnego rodzaju gniazd, które po wymontowaniu oryginalnej elektroniki zostawiają niejedenkrotnie bardzo duże otwory. W przypadku tylnej ścianki możemy trochę pofolgować z estetyką, zaślepiając otwory na całej szerokości

ścianki paskiem blachy czy plastikową płytką, w której wykonamy docelowe otwory na nasze gniazda. Z używaną obudową dostaniemy również kabel zasilający z odpowiednim przepustem, a często także wyłącznik sieciowy i oprawkę na bezpiecznik.

Schemat blokowy

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy wzmacniacza D-amp. Wzmacniacz został wykonany w formie modułów połączonych ze sobą przewodami, co umożliwia łatwą modyfikację, a przede wszystkim ułatwia uruchamianie i wyszukiwanie usterek. Głównymi modułami wzmacniacza są:

- zasilacz,
- moduł wejść audio realizujący selekcję wejść i regulację parametrów sygnału,
- wzmacniacz mocy odpowiedzialny za końcowe wzmocnienie iysterowanie głośników,
- moduł sterowania, który kontroluje pracę całości.

Do elementów dodatkowych należą wzmacniacz słuchawkowy oraz moduł do-

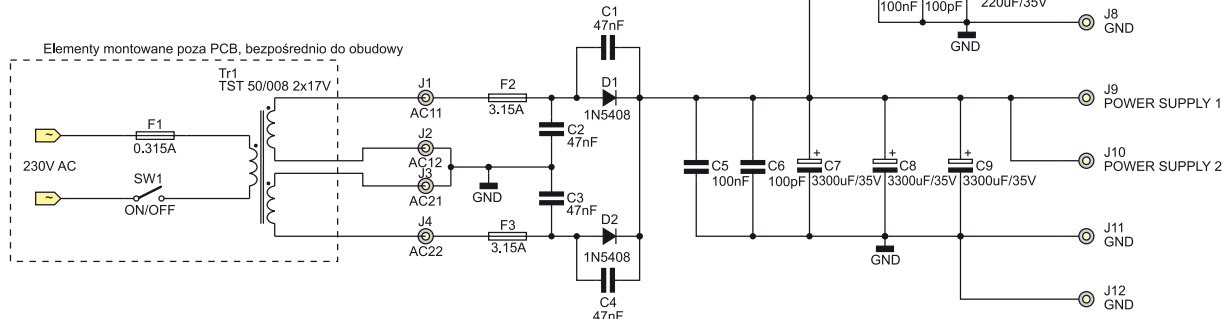
datkowego wejścia audio, podłączany do płytki wejść audio. W tym wzmacniaczu jest to moduł Bluetooth A2DP.

Zasilacz

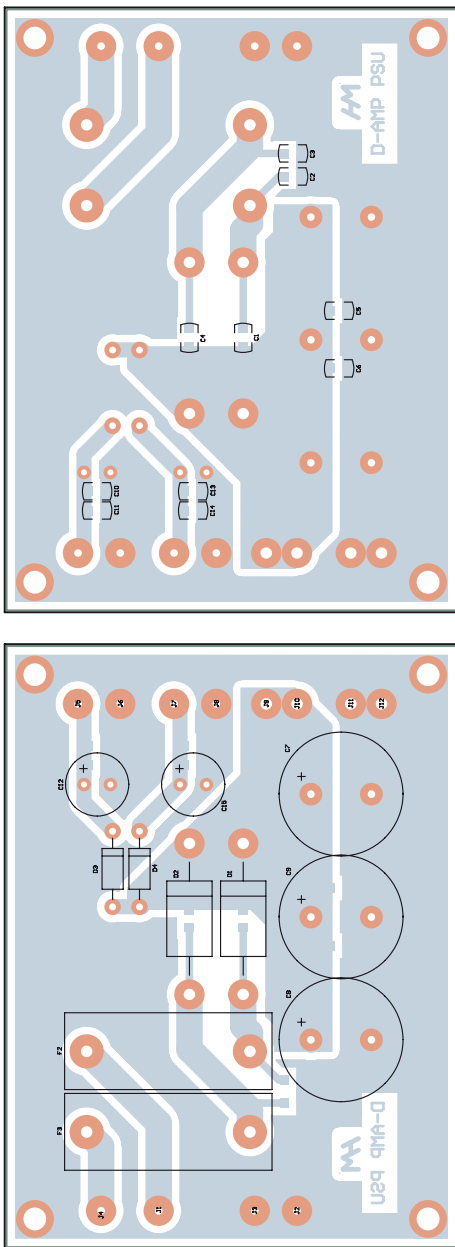
Najprostszym, ale pełniącym bardzo ważną funkcję, modułem jest zasilacz. Jest on odpowiedzialny za dostarczenie do pozostałych modułów stałego, niestabilizowanego napięcia o wartości 24 V.

Schemat ideowy zasilacza przedstawiono na rys. 2. Napięcie zasilające 230 V AC jest podawane poprzez bezpiecznik F1 i wyłącznik sieciowy SW1 na uzwojenie pierwotne transformatora Tr1. Tych trzech elementów nie zamocowano na płytce zasilacza, lecz są one bezpośrednio przytwierdzone do obudowy. Następnie z uzwojeń wtórnych transformatora napięcia 17 VAC podawane są poprzez bezpieczniki F2 i F3 na prostownik zrealizowany z użyciem diod D1 i D2. Kondensatory C1, C2, C3 i C4 zapewniają filtrację zakłóceń. Po wyprostowaniu napięcie podawane jest na podstawowy filtr wygładzający zrealizowany z użyciem kondensatorów elektrolitycznych C7...C9 i ceramicznych C5...C6. W celu uzyskania małej rezystancji wewnętrznej filtru i ze względu na ograniczenia wysokościowe zastosowano tutaj trzy mniejsze kondensatory elektrolityczne zamiast jednego o dużej pojemności.

Napięcie z wyjścia tego filtru jest podawane na wyjście modułu zasilacza i służy do zasilania wzmacniaczy mocy. Jest ono osobno doprowadzane do lewego i prawego kanału. Odfiltrowane napięcie podawane jest również poprzez diody D3 i D4 na dodatkowe filtry zbudowane z kondensatorów C10...C15. Diody ograniczają tętnienia napięcia zasilającego pojawiające się przy dużych mocach wyjściowych wzmacniacza. Napięcia z wyjść tych filtrów służą do zasilania odpowiednio modułu wejść audio i wzmacniacza słuchawkowego oraz modułu sterującego.



Rys. 2. Schemat ideowy zasilacza



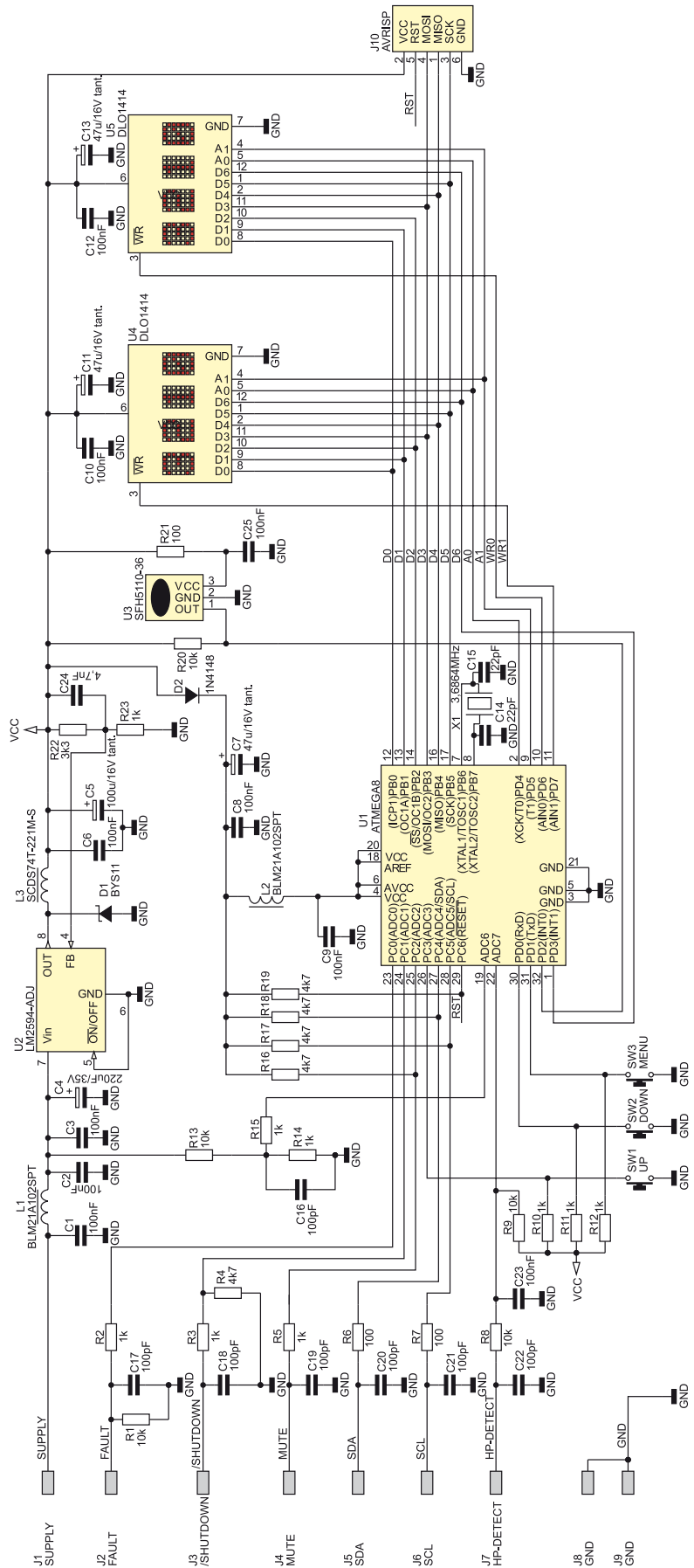
Rys. 3. Schemat montażowy zasilacza

Montaż płytki zasilacza

Schemat montażowy modułu zasilacza przedstawiono na rys. 3. Moduł jest zbudowany na płytce jednostronnej. Od strony elementów zamontowano wszystkie kondensatory elektrolityczne, diody oraz oprawki bezpieczników, natomiast od strony druku przewidziano miejsca na kondensatory ceramiczne w obudowach SMD 0805. Na płytce przewidziano pola lutownicze do dołączenia uzwojeń wtórnych transformatora oraz przewodów doprowadzających napięcie zasilające do pozostałych modułów.

Ze względu na duże gabaryty elementów i niewielkie skomplikowanie układowe modułu zasilacza jest bardzo prosty w montażu. Należy jedynie zwrócić uwagę na poprawną polaryzację diod i kondensatorów elektrolitycznych.

Podczas lutowania należy użyć dużej ilości topnika i cyny celem wykonania solidnych połączeń zdolnych przenosić duże



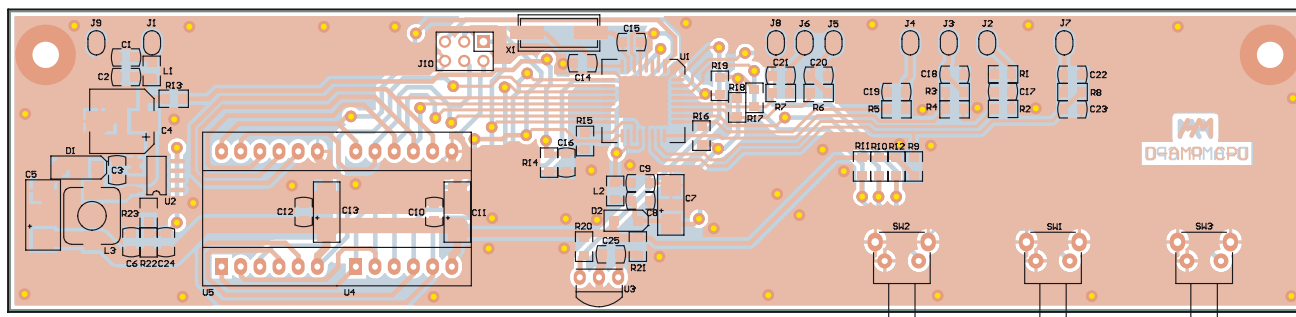
Rys. 4. Schemat ideowy modułu sterowania

prądy. Ze względu na spore przekroje wyprowadzeń stosowanych elementów i duże pola miedzi obwodu drukowanego konieczne może być użycie lutownicy o nieco szerszym grocie i większej mocy, umożliwiającej szybkie rozgrzanie lutowanych wyprowadzeń i tym samym uniknięcie zimnych lutów.

Moduł sterowania

Za regulację parametrów pracy wzmacniacza oraz komunikację z użytkownikiem odpowiada moduł sterowania. Jego schemat ideowy przedstawiono na rys. 4.

Napięcie zasilające 24 V z zasilacza podawane jest poprzez filtr C1, L1, C2 na



Rys. 5. Schemat montażowy modułu sterowania

wejście przetwornicy impulsowej zrealizowanej na układzie U2 (LM2594-ADJ). Napięcie wyjściowe przetwornicy o wartości 5 V służy do zasilania wszystkich komponentów układu sterowania. Zastosowanie przetwornicy impulsowej zostało podyktowane koniecznością uzyskania dużej sprawności stabilizatora. Przy napięciu zasilającym 24 V i znacznym poborze prądu związanym z zastosowanymi wyświetlaczami stabilizator liniowy wymagałby użycia dużego radiatora i równocześnie byłby źródłem sporych strat mocy.

Za realizację wszystkich funkcji logicznych układu sterowania odpowiada mikrokontroler U1 ATmega8. Ze względu na niewielką potrzebną moc obliczeniową, jest on taktowany stosunkowo niską częstotliwością 3,6864 MHz generowaną na bazie rezonatora kwarcowego X1. Zastosowanie stabilizacji częstotliwości pracy za pomocą kwarcu było konieczne z powodu realizacji funkcji zdalnego sterowania, wymagającej dość precyzyjnego pomiaru zależności czasowych. Jako odbiornik sygnałów z pilota zdalnego sterowania zastosowano popularny układ odbiornika SFH5110-36 (U3), którego wyjście dołączono bezpośrednio do wejścia mikrokontrolera umożliwiającego realizację funkcji przerwania zewnętrznego.

Sam mikrokontroler jest zasilany z wyjścia przetwornicy 5 V za pośrednictwem diody D2, która wraz z kondensatorem C7 tworzy układ chwilowego podtrzymania napięcia zasilania mikrokontrolera po zaniku napięcia z przetwornicy. Informację na temat zaniku napięcia zasilającego układ sterowania mikrokontroler uzyskuje z cyklicznego pomiaru napięcia podawanego na wejściu ADC6 z dzielnika rezystancyjnego R13, R14, dołączonego bezpośrednio do napięcia dostarczanego z zasilacza głównego.

Komunikacja układu sterującego z pozostałymi modułami wzmacniacza realizowana jest za pomocą kilku sygnałów sterujących. Na wszystkich liniach umieszczono elementy filtrujące RC eliminujące zakłócenia docierające z części cyfrowej do analogowej.

Najwięcej funkcji realizowanych jest za pośrednictwem interfejsu I²C, którego linie SCL i SDA są połączone z modułem wejść audio. Linie FAULT, /SHUTDOWN oraz MUTE służą do sterowania wzmacniaczy

mocy. Za pomocą linii HP-DETECT mikrokontroler jest informowany o fakcie dołączenia do wzmacniacza słuchawek.

Za komunikację z użytkownikiem odpowiada wspomniany już wcześniej odbiornik sygnałów zdalnego sterowania, przyciski SW1, SW2 i SW3 oraz wyświetlacze znakowe LED U4 i U5. Jako pilot zdalnego sterowania postanowiono wykorzystać konstrukcję fabryczną, głównie ze względu na estetykę wykonania. Pojawił się tutaj jednak pewien problem, gdyż większość dostępnych na rynku pilotów ma zbyt dużą liczbę klawiszy. Ostatecznie wybór padł na pilot zdalnego sterowania JJC RM-E1, będący zamiennikiem pilota zdalnego sterowania do... aparatu fotograficznego Olympus! Sposób dekodowania sygnałów z pilota i funkcja poszczególnych klawiszy zostaną opisane w części poświęconej oprogramowaniu mikrokontrolera.

Oprócz pilota zdalnego sterowania przewidziano również możliwość regulacji wszystkich parametrów wzmacniacza za pomocą przycisków. Użycie trzech przycisków zostało podyktowane zastosowaną obudową, która ma oryginalne elementy mechaniczne przystosowane do sterowania tylko trzema mikroswitchami. Rezystory podciągające R10...R12 polaryzują wejścia mikrokontrolera i zapewniają przepływ przez zestyki przycisków prądu rzędu 5 mA. Dzięki temu styki samoczynnie oczyszczają się, co gwarantuje długoterminową niezawodność.

Wyświetlanie informacji zostało zrealizowane poprzez zastosowanie ośmiopozycyjnego wyświetlacza alfanumerycznego typu LED, zbudowanego z dwóch czteroznakowych wyświetlaczy typu DLO1414. Komunikacja mikrokontrolera z wyświetlaczami odbywa się za pośrednictwem równoległej, siedmiobitowej szyny danych D0-D6, linii adresowych A0, A1 i sterujących WR0 i WR1. Przesyłanie wyświetlanych informacji odbywa się na drodze czysto software'owej, co po przeróbce programu umożliwia dołączenie do mikrokontrolera innych wyświetlaczy (np. popularnych wyświetlaczy znakowych LCD). Zastosowanie wyświetlaczy LED pozwoliło na wykorzystanie oryginalnego filtra optycznego użytego w obudowie, bez konieczności wycinania otworu na wyświetlacz. Uzyskano dzięki temu znakomity efekt wizualny.

Dodatkowe ceramiczne i tantalowe kondensatory filtrujące (C10...C13), które umieszczono w pobliżu pinów zasilających wyświetlacze, zapewniają filtrowanie zasilania. Związane jest to ze znacznym poborem prądu przez wyświetlacze oraz dużym poziomem generowanych przez nie zakłóceń związanym z multipleksowaniem matryc diod LED.

Elementem wykorzystywanym jedynie w fazie uruchamiania urządzenia jest złącze J10, które służy do programowania mikrokontrolera. Złącze ma rozkład pinów zgodny z AVRISP.

Schemat montażowy modułu sterowania

Schemat montażowy modułu sterowania przedstawiono na rys. 5. Moduł zmontowano na dwustronnej płytce PCB, dopasowanej do elementów mocujących i pozycji przycisków w obudowie. Montaż modułu sterowania wymaga wprawy w lutowni podzespołów SMD, jednak nie jest zbyt skomplikowany. W przypadku użycia do montażu własnoręcznie wykonanej płytki bez maski lutowniczej, montaż dławika L3 wymaga zastosowania podkładki wykonanej z materiału izolacyjnego, gdyż istnieje ryzyko zwarcia pomiędzy obszarem masy pod dławikiem a którymś z jego wyprowadzeń. Zwarcie takie może być bardzo trudne do usunięcia bez uszkodzenia dławika.

Pewnego komentarza wymaga również montaż wyświetlaczy. Początkowo zakładano umieszczenie ich na dodatkowej, pionowej płytce połączonej listwą z płytką modułu sterowania. Nie było jednak możliwości sensownego poprowadzenia ścieżek łączących wyświetlacz z mikrokontrolerem. Prostsze okazało się przygotowanie płytki w sposób umożliwiający zamontowanie wyświetlaczy równoległe do płytki, a w rzeczywistości zamontowanie ich pod kątem 90°. Zrealizowano to przez wlutowanie dwóch listew goldpinów, a następnie do listwy bliższej krawędzi płytki – bezpośredniego przylutowania dolnych wyprowadzeń wyświetlacza ustawionego pionowo. Górne wyprowadzenia wyświetlacza połączone z drugą listwą przewodami. Chociaż wybrano rozwiązanie typowo amatorskie, jednak umożliwiło to umieszczenie w optymalnych miejscach kondensatorów filtrujących i uprościło poprowadzenie ścieżek sygnałowych.

Moduł wejść audio

Niemal wszystkie funkcje wzmacniacza związane z obróbką sygnału dźwięku realizowane są w module wejść audio. Jego schemat ideowy przedstawiono na rys. 6.

Częściowo moduł zasilany jest odfiltrowanym napięciem 24 V, a częściowo z zasilacza stabilizowanego dostarczającego napięcie 9 V. Zasilacz zrealizowano w oparciu o układ U1 LM317. Zdecydowano się na stabilizator liniowy ze względu na niewielkie wymagania odnośnie do pobieranego prądu oraz możliwość pojawienia się problemów z zakłóceniami w sygnale audio w przypadku zasilania

tych obwodów ze stabilizatora impulsowego. Napięcie wyjściowe stabilizatora dodatkowo filtrowane jest przez elementy R3, C7, C8, C9 i służy jako źródło napięcia odniesienia.

Jako zewnętrzne złącza sygnałów audio zastosowano popularne gniazda typu chinch. Stereofoniczny sygnał audio z trzech wejść zewnętrznych kierowany jest do filtrów eliminujących zakłócenia wysokiej częstotliwości. Z wyjść filtrów sygnał poprzez kondensatory separujące składową stałą przechodzi do procesora audio U2.

Elementem realizującym obróbkę sygnału audio jest układ TDA7439 firmy ST.

Charakteryzuje się on niezłymi parametrami użytkowymi, niskim poziomem szumów oraz stosunkowo łatwo kupić go w sieci sprzedaży detalicznej. Umożliwia on przełączanie czterech stereofonicznych źródeł sygnału, wzmacnienie sygnału w przedwzmacniaczu wstępnym, trzypasmową regulację barwy dźwięku oraz regulację głośności i balansu. Układ U2 TDA7439 zastosowano w aplikacji zbliżonej do tej zalecanej przez producenta, jedynie nieco modyfikując wartości elementów wyznaczających stopień i zakres częstotliwości regulatora barwy dźwięku. Nie wpłynęło to znacząco na charakterystykę pracy układu regulacji barwy,

WYKAZ ELEMENTÓW

Zasilacz

Kondensatory

C6, C11, C14: 100 pF (0805)
C1...C4: 47 nF (0805)
C5, C10, C13: 100 nF (0805)
C12, C15: 220 μ F/35 V (elektrolit. ϕ 8 mm)
C7...C9: 3300 mF/35 V (elektrolit. ϕ 16 mm)

Półprzewodniki

D1, D2: 1N5408 (DO-201AD)
D3, D4: 1N4001 (DO-41)

Inne

F1: bezpiecznik 0,315 A w oprawce do obudowy
F2, F3: bezpiecznik 3,15 A w oprawce do druku
SW1: wyłącznik sieciowy montowany do obudowy
Tr1: Transformator toroidalny TST 50/008 2×17 V, 50 W

Moduł sterowania

Rezystory (SMD, 0805)

R6, R7, R21: 100 Ω (0805)
R2, R3, R5, R10...R12, R14, R15, R23: 1 k Ω
R22: 3,3 k Ω
R4, R16...R19: 4,7 k Ω
R1, R8, R9, R13, R20: 10 k Ω

Kondensatory

C14, C15: 22 pF (0805)
C16...C22: 100 pF (0805)
C24: 4,7 nF (0805)
C1...C3, C6, C8...C10, C12, C23, C25: 100 nF (0805)
C7, C11, C13: 47 μ F/16 V, tantalowy SMD typ C
C5: 100 μ F/16 V, tantalowy SMD typ D
C4: 220 μ F/35 V, elektrolityczny SMD typ E

Półprzewodniki

D1: BYS11 (MELF)
D2: 1N4148 (MINIMELF)
U1: ATmega8 (TQFP-32)
U2: LM2594-ADJ (SO-8)
U3: SFH5110-36 odbiornik podczerwieni
U4, U5: wyświetlacz znakowy LED DLO1414

Inne

L1, L2: perełka ferrytowa BLM21A102SPT SMD 0805
L3: dławik 220 μ H SMD SCDS74T-221M-S
X1: kwarc 3,6864 MHz (HC49S)
J10: złącze programowania 2×3/2,54 mm
SW1...SW3: mikroprzełącznik kątowy 90°

Moduł wejść audio

Rezystory (SMD, 0805)

R16, R63: 10 Ω
R4...R11, R25, R26, R32, R33, R47...R62: 100 Ω
R2: 240 Ω
R34, R35, R40, R41: 330 Ω

R12, R13: 470 Ω

R3: 1 k Ω

R1: 1,5 k Ω

R27, R29: 2,2 k Ω

R36, R37, R43, R44: 4,7 k Ω

R28, R30: 5,6 k Ω

R14, R15, R31, R38, R39, R42, R45, R46:

10 k Ω

R17...R24: 100 k Ω

Kondensatory

C7, C35...C55, C57...C59, C62...C70, C72...C78, C81: 100 pF (0805)

C15, C22: 4,7 nF (MKT)

C16, C17, C23, C24: 22 nF (MKT)

C1, C2, C5, C8, C10, C12, C18, C19, C25,

C26, C61, C71, C79, C80: 100 nF (0805)

C13, C20, C27...C34: 1 μ F (MKT)

C14, C21, C56, C60: 2,2 μ F (MKT)

C4, C11: 10 μ F/16 V, elektrolityczny SMD

typ B

C6, C9: 100 μ F/16 V, elektrolityczny SMD

typ C

C3: 220 μ F/35 V, elektrolityczny SMD typ E

Półprzewodniki

D1, D2: 1N4148 (MINIMELF)

U1: LM317 (TO-252)

U2: TDA7439 (SDIP-30)

U3, U4: OPA2227 (SO-8)

Inne

L1...L9: perełka ferrytowa BLM21A102SPT SMD 0805

J17: listwa goldpin 1×10/2,54 mm

J5...J8: CC-130 podwójne gniazdo chinch

do druku

Moduł interfejsu Bluetooth

Rezystory (SMD, 0805)

R1, R2, R7...R10: 100 Ω

R13: 470 Ω

R12: 1 k Ω

R11: 1,8 k Ω

R3...R6, R14, R15: 47 k Ω

Kondensatory

C8, C9, C13...C16: 100 pF (0805)

C6: 4,7 nF (0805)

C1, C2, C4, C7, C10: 100 nF (0805)

C5: 100 μ F/16 V, tantalowy SMD typ D

C3: 220 μ F/35 V, elektrolityczny SMD typ E

Półprzewodniki

D1: BYS11 (MELF)

T1, T2: BS170 (SOT-23)

LED1: LED 3 mm, żółta

U1: LM2594-ADJ (SO-8)

U2: ATtiny24-20SSU (SO-14)

U3: moduł Bluetooth Rayson BTM-132

Inne

L1: perełka ferrytowa BLM21A102SPT SMD 0805

L2: dławik 220 μ H SMD SCDS74T-221M-S

J1: gniazdo goldpin kątowe 1×10

J2: złącze programowania 2×3/2,54 mm

Moduł wzmacniacza mocy

Rezystory

R23...R26: 22 Ω (1206)

R1...R16, R18...R21: 100 Ω (0805)

R17, R22: 100 k Ω (0805)

Kondensatory

C13...C17, C38, C42, C46, C50: 100 pF (0805)

C31, C32, C36, C37, C41, C45, C49, C53: 1 nF (1206)

C22, C25: 10 nF (0805)

C29, C30, C34, C35: 220 nF (1206)

C2, C3, C5, C8, C9, C11, C24, C27, C39,

C40, C43, C44, C47, C48, C51, C52: 470 nF (1206)

C18...C21: 1 μ F (MKT)

C28, C33: 1 μ F/35 V, elektrolityczny SMD

typ B

C23, C26: 4,7 μ F/35 V, elektrolityczny SMD

typ B

C1, C4, C6, C7, C10, C12: 220 μ F/35 V,

elektrolityczny SMD typ E

Półprzewodniki

D1, D2: 1N4148 (MINIMELF)

U1, U2: TPA3106D1 (HTQFP-32)

Inne

L5, L6, L11, L12: perełka ferrytowa LCBC-601 SMD 1206

L1...L4, L7...L10: dławik 68 μ H SCDS127T-680M-S

Moduł wzmacniacza słuchawkowego

Rezystory (SMD, 0805)

R5, R6, R17, R18: 100 Ω

R11...R14, R24...R27: 220 Ω

R16, R29: 1 k Ω

R2, R3: 3,3 k Ω

R1, R10, R15, R23, R28: 10 k Ω

R7, R8, R19, R20: 22 k Ω

R4, R9, R21, R22: 47 k Ω

Kondensatory

C1, C2, C5, C7, C10, C12, C14, C16, C17,

C19, C20, C23, C24, C26, C27: 100 pF

(0805)

C4, C11, C13, C18: 100 nF (0805)

C8, C9, C21, C22: 1 μ F (MKT)

C6: 100 μ F/16 V, elektrolityczny SMD typ C

C3, C15, C25: 220 μ F/35 V, elektrolityczny

SMD typ E

Półprzewodniki

U1: LM431 (SOT-23)

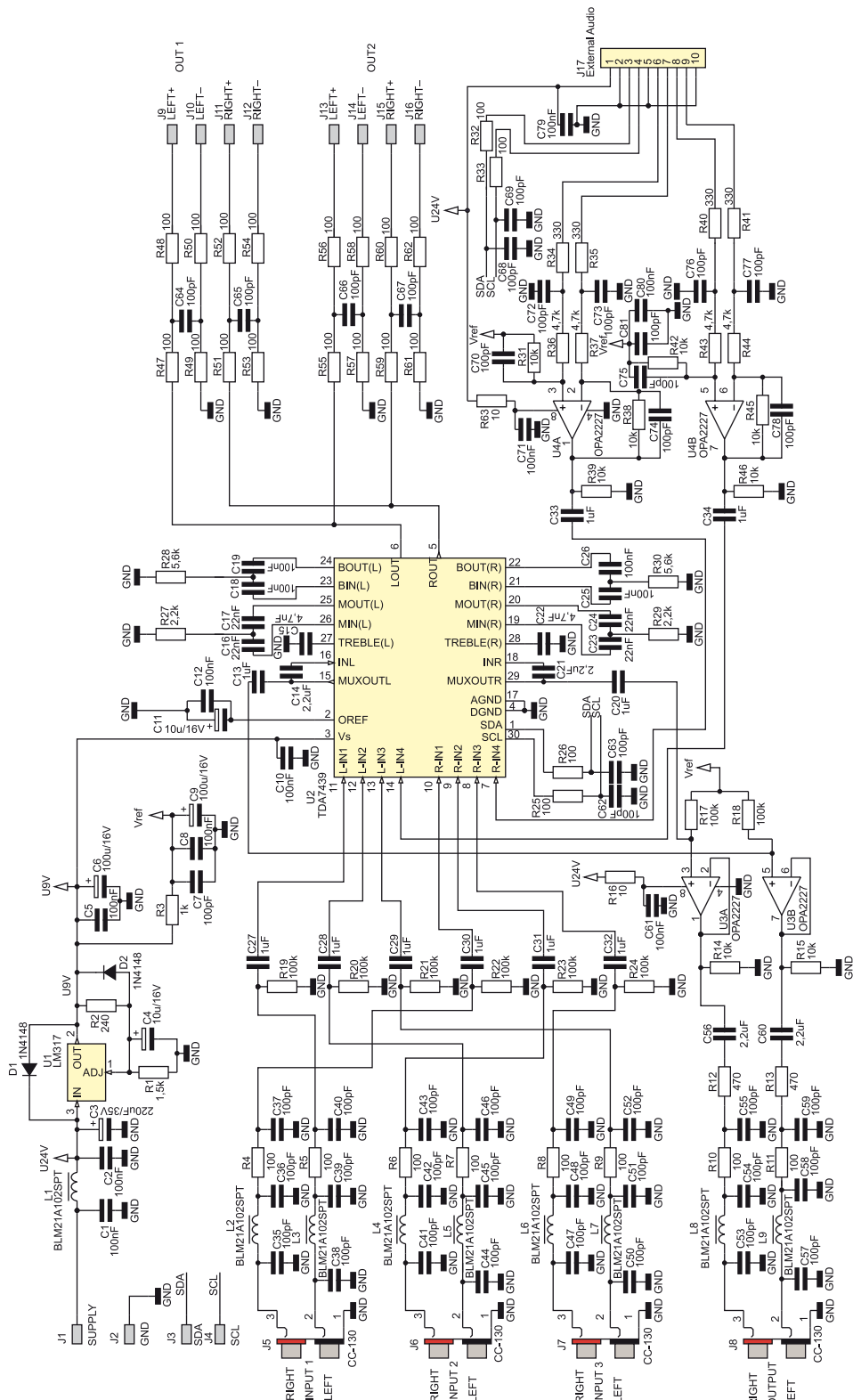
U2: OPA2227 (SO-8)

U3, U4: TL074 (SO-14)

Inne

L1...L3: perełka ferrytowa BLM21A102SPT SMD 0805





Rys. 6. Schemat ideowy modułu wejść audio

a pozwoliło na zastosowanie bardziej pospolitych wartości pojemności. Układ sterowany jest za pośrednictwem magistrali I²C.

Moduł wejść audio wyposażono w dodatkowe, czwarte wejście sygnału. Jest to wejście wewnętrzne, przewidziane do dołączenia dedykowanego modułu dostarczającego sygnał fonii. Jako złącze zastosowano 10-pinową listwę J17 o rastrze 2,54 mm. Pozwala ona na dołączenie dodatkowej płytki w postaci pseudo karty rozszerzeń. Na złączu dostępne są napięcie zasilania 24 V i sygnały magistrali I²C umożliwiające sterowanie dołączonymi układami logicznymi.

Wejście czwartego sygnału audio zrealizowano jako stereofoniczne wejście symetryczne. Rozwiązanie takie wybrano z powodu jego uniwersalności. Kierowano się również wysoką odpornością na zakłócenia tego typu połączeń.

Przed doprowadzeniem do procesora U2 sygnał musi być przekształcony do postaci niesymetrycznej. Jest to zrealizowane za pomocą wzmacniaczy różnicowych. Zostały one zbudowane w oparciu o wzmacniacze operacyjne U4A i U4B. Poprzez dobór elementów możliwe jest zrealizowanie w tym miejscu wzmocnienia lub stłumienia sygna-

łu w zależności od amplitudy dostarczonej przez dołączony moduł. W przedstawionym przypadku zrealizowano dwukrotne wzmocnienie przekazywanego sygnału. Z wyjścia wzmacniacza różnicowego sygnał audio przekazywany jest do procesora dźwięku, podobnie jak sygnały z wejść zewnętrznych.

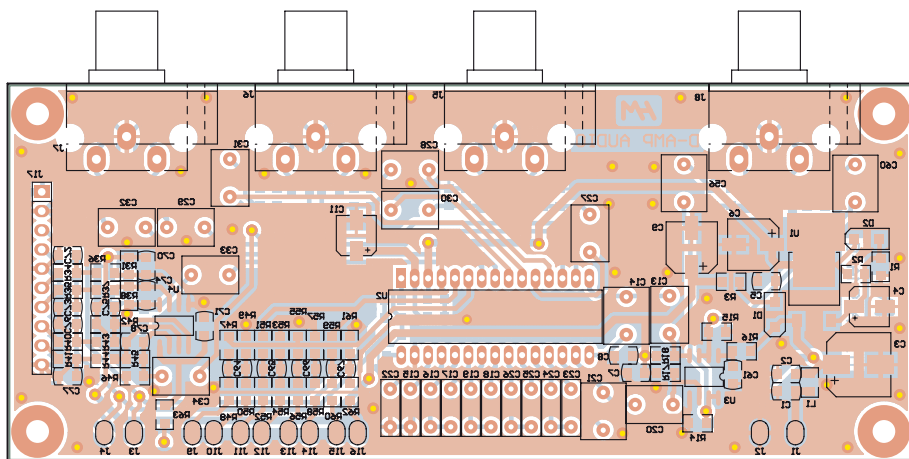
Procesor audio U2 (TDA7439) przewiduje zewnętrzne połączenie wyjścia selektora wejść z wejściem układu regulacji głośności i barwy dźwięku. Jest to realizowane poprzez zewnętrzne połączenie z użyciem kondensatora separującego sygnałów MUXOUTR i INR dla kanału prawego i odpowiednio MUXOUTL i INL dla kanału lewego. Ta cecha układu U2 umożliwiła realizację funkcji wyjścia wybranego sygnału audio przed jego obróbką. Ze względu na zbyt dużą impedancję wyjściową linii MUXOUT układu TDA7439, konieczne było zastosowanie pośredniczących wtórników zrealizowanych w oparciu o wzmacniacze operacyjne U3A i U3B. Z wyjść U3 sygnał stereofoniczny poprzez kondensatory separujące i elementy filtrujące kierowany jest do wyjściowego złącza chinch J8. Amplituda sygnału na tym wyjściu wynika z amplitudy na wybranym wejściu oraz ze wzmocnienia przedwzmacniacza układu U2.

Warto w tym miejscu wspomnieć o wzmacniaczach operacyjnych zastosowanych w module wejść audio. Jako układy U3 i U4 zastosowano wzmacniacze OPA2227. Są to wzmacniacze o bardzo dobrych parametrach szumowych i równie atrakcyjnych pozostałych cechach. Niestety nieco mniej atrakcyjna jest cena tych układów, a powodem ich zastosowania był fakt ich obecności w szufladzie autora. Ze względu na swoje parametry układy te w prezentowanej aplikacji zostały użyte nieco na wyrost. Bez uszczerbku dla jakości urządzenia można zastosować popularne niskoszumowe wzmacniacze operacyjne NE5532 lub nawet bardzo tanie kostki TL072.

Obrobiony w procesorze dźwięku U2 sygnał kierowany jest na wyjście modułu wejść audio. Ze względu na niesymetryczny charakter wyjść układu TDA7439 oraz chęć symetrycznego prowadzenia sygnału między modułami, jako sygnał odniesienia (linię „-” toru symetrycznego) wykorzystano masę modułu. Na liniach wyjściowych zastosowano proste filtry RC, natomiast same wyjścia zostały zdublowane – jedno dla wzmacniacza mocy, drugie dla wzmacniacza słuchawkowego.

Schemat montażowy modułu wejść audio

Na rys. 7 przedstawiono schemat montażowy modułu wejść audio. Moduł zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej, obustronnie obłożonej elementami. Większość zamontowanych elementów wykonano w technologii SMD. Jako elementy prze-



Rys. 7. Schemat montażowy modułu wejść audio

wlekane występują złącza, kondensatory MKT oraz procesor dźwięku U2.

Montaż płytki nie wymaga komentarza. W przypadku zastosowania płytki drukowanej bez metalizacji otworów należy pamiętać, że wyprowadzenia niektórych elementów przewlekanych pełnią również rolę przelotek. W takim wypadku należy dane wyprowadzenie przylutować do płytki z obydwu jej stron.

Ze względu na dużą różnicę napięć pomiędzy wejściem a wyjściem stabilizatora dobrze jest odłożyć na później montaż układu U2. Należy go wlutować po sprawdzeniu poprawności działania stabilizatora i obecności na jego wyjściu napięcia 9 V.

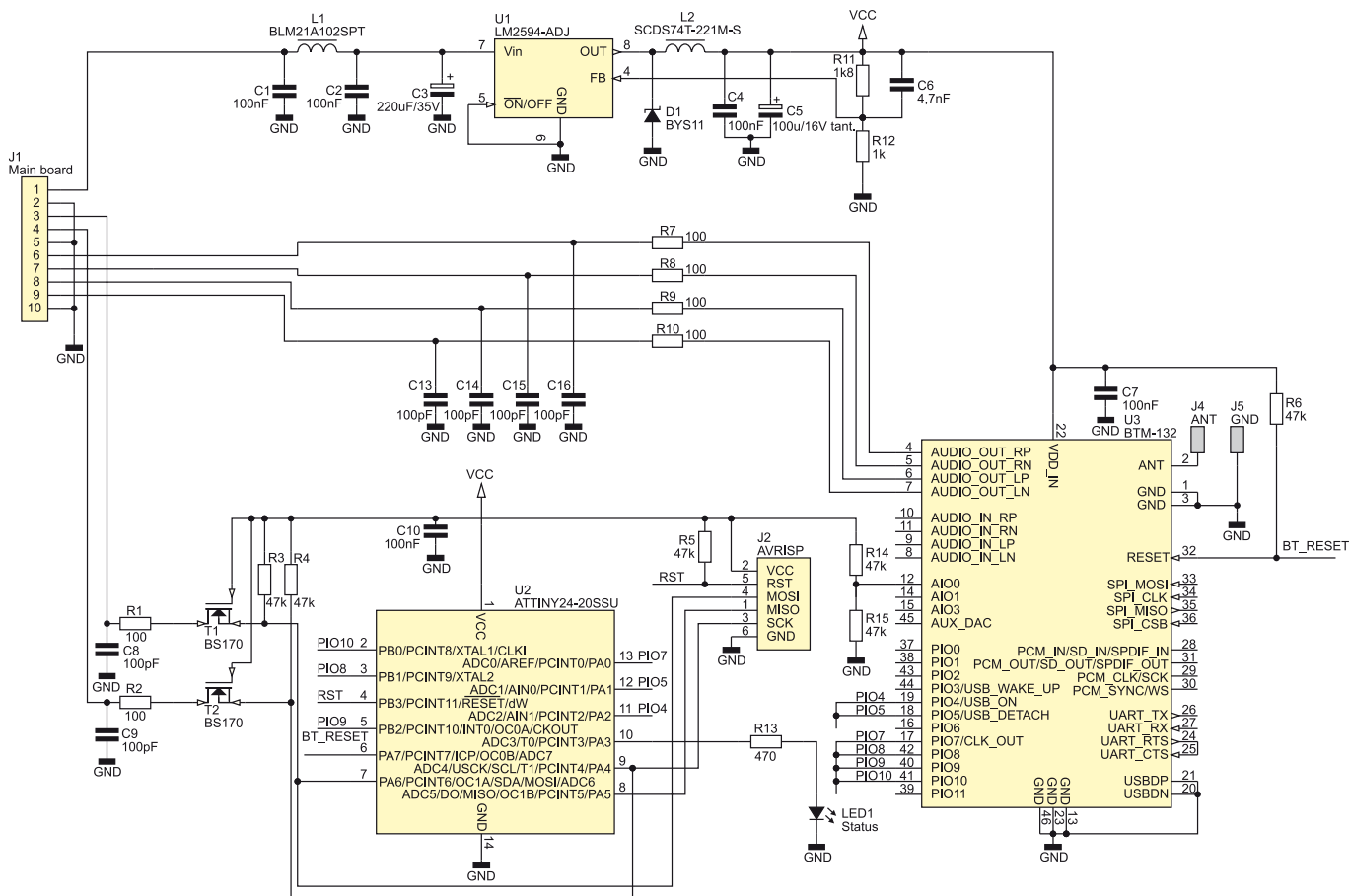
Dodatkowe wejście audio – interfejs Bluetooth A2DP

Moduł czwartego wejścia audio realizujący funkcję interfejsu Bluetooth jest przykładowym sposobem rozbudowy standardowej funkcjonalności wzmacniacza. Schemat ideowy płytki interfejsu zamieszczono na rys. 8. Sygnały audio, zasilanie oraz magistrała I²C przekazywane są za pośrednictwem złącza J1, będącego gniazdem dla listwy J17 modułu wejść audio. Złącze J1 po nałożeniu na goldpiny w module wejść audio zapewnia również mocowanie mechaniczne płytki dodatkowego interfejsu. Zasilanie podzespółów interfejsu Bluetooth zapewnia stabilizator impulsowy U1 LM2594-ADJ. Dostarcza on

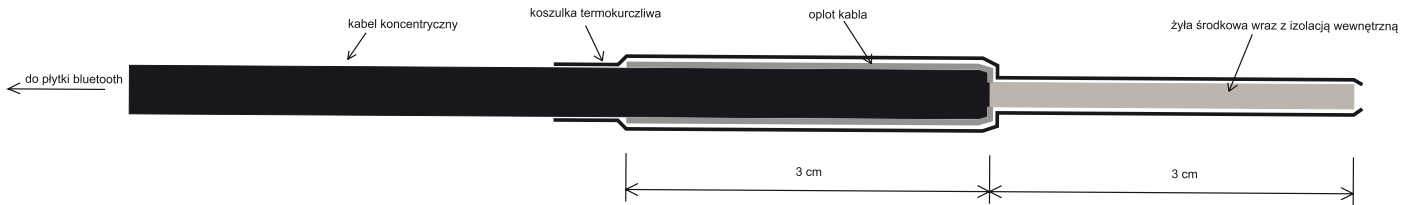
na wyjściu napięcia o wartości około 3,45 V. Podobnie jak w module sterowania, zastosowanie stabilizatora impulsowego zostało podyktowane dużą różnicą napięć wejściowego i wyjściowego przy poborze prądu dochodzącym do 50 mA przy aktywnym linku Bluetooth.

Sercem interfejsu Bluetooth jest moduł U3 typu BTM-132. Jest on produkowany przez firmę Rayson Technology. Konstrukcja modułu oparta jest o chipset BC352239AU firmy CSR. Moduł ten należy do linii produktów serii BTM-130, natomiast BTM-132 oznacza wersję oprogramowania przygotowaną do realizacji profili audio, takich jak zestaw słuchawkowy (Headset), zestaw głośnomówiący (Handsfree) oraz najbardziej nas interesujący profil transmisji audio wysokiej jakości (A2DP). Autor chciałby w tym miejscu podziękować firmie Masters Sp z o.o. za udostępnienie modułu oraz pomoc przy jego uruchamianiu.

Moduł BTM-132 na wyjściu wbudowanego w chipset kodeka dysponuje symetrycznym sygnałem audio. Możliwe więc było bezpośrednie dołączenie wyjść kodeka do wyjścia audio interfejsu za pośrednictwem prostych filtrów RC eliminujących zakłócenia od sygnałów cyfrowych. Większość pozostałych wyprowadzeń modułu nie jest wykorzystywana. Na potrzeby interfejsu Bluetooth niezbędnych jest jeszcze kilka linii sterujących, linia resetu oraz doprowadzenie an-



Rys. 8. Schemat ideowy modułu Bluetooth



Rys. 9. Poglądowy rysunek wykonania anteny pracującej w paśmie 2,4 GHz

teny. Wyjaśnienia wymaga funkcja dzielnika rezystancyjnego R14, R15, z którego napięcie doprowadzone jest do wejścia analogowego modułu U3. Obecność na wejściu AIO0 napięcia o wartości około 1,7 V jest uznawane za zasilanie modułu z w pełni naładowanego akumulatora i umożliwia jego uruchomienie. Brak tego napięcia blokuje działanie modułu U2. Uwidacznia się tutaj fakt projektowania oprogramowania modułu BTM-132 dla urządzeń zasilanych bateryjnie.

Ze względu na metalową obudowę wzmacniacza D-amp nie przewidziano wewnętrznej anteny Bluetooth. Płytkę interfejsu wyposażona jest w pola lutownicze umożliwiające dolutowanie przewodu koncentrycznego w celu umieszczenia anteny na zewnątrz wzmacniacza. Jako zewnętrzną antenę można zastosować dowolną antenę przewidzianą do pracy w paśmie 2,4 GHz. Może to być przykładowo antena od karty WiFi. Nie jest również trudne samodzielne wykonanie prostej i taniej anteny na pasmo 2,4 GHz, doskonale sprawdzającej się w przypadku urządzeń Bluetooth. Poglądowy rys. 9 ilustruje wykonanie takiej anteny. Do jej konstrukcji potrzeba jedynie kilkadziesiąt centymetrów koncentrycznego kabla antenowego 50 Ω, najlepiej niezbyt grubego, oraz około 10 cm koszulki termokurczliwej. Wykonanie anteny polega na odmierzeniu na końcu kabla odcinka 3 cm, a następnie ściągnięcia na tym odcinku izolacji zewnętrznej. Kolejnym krokiem jest wywiniecie na pozostającą część kabla opłotu z odsłoniętego odcinka. Czynność tę należy wykonać dosyć starannie, pokrywając równomiernie opłotem pozostającą część kabla, również na odcinku 3 cm. Następnie na całość naciągamy koszulkę termokurczliwą i ogrzewamy w celu zaciśnięcia. Wystarczy teraz dolutować przewód gorący i opłot wolnego końca kabla do odpowiednich pól lutowniczych anteny na płytce interfejsu Bluetooth. Tak wykonana antena odpowiada elektrycznie dipolowi półfalowe-

mu pracującemu w paśmie 2,4 GHz i jest wystarczająca do zapewnienia łączności Bluetooth na odległość kilkunastu metrów.

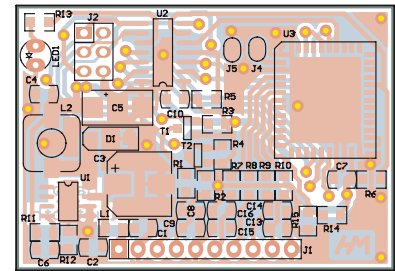
Oprogramowanie modułu U3 przygotowano z myślą o urządzeniach typu stereofoniczny headset. Z tego powodu, w celu zapewnienia sterowania modułem Bluetooth przez magistralę I²C, konieczne było zastosowanie pośredniczącego układu logicznego. Do tego celu użyto prostego mikrokontrolera ATTiny24 (U2), którego zasoby okazały się w zupełności wystarczające do realizacji tej funkcji. Szczegółowy sposób sterowania modułu U3 przez mikrokontroler U2 zostanie opisany w części dotyczącej oprogramowania. W tym miejscu wystarczy napisać, że jedynymi zadaniami mikrokontrolera są komunikacja I²C oraz udawanie użytkownika headsetu przez symulację naciskania klawiszy sterujących pracą modułu Bluetooth BTM-132.

Do mikrokontrolera dołączono diodę LED1, która informuje o stanie pracy interfejsu. Dioda nie jest widoczna z zewnątrz i jest wykorzystywana tylko w celach serwisowych. Programowanie pamięci flash mikrokontrolera odbywa się za pomocą złącza J2 zgodnego z AVRISP. Transystory T1 i T2 (BS170) realizują translację poziomów napięć magistrali I²C. Jest to konieczne ze względu na różnicę w wartości napięcia zasilania mikrokontrolera modułu sterowania i mikrokontrolera interfejsu Bluetooth.

Schemat montażowy interfejsu Bluetooth

Na rys. 10 przedstawiono schemat montażowy interfejsu Bluetooth. Interfejs zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej z elementami po jednej stronie. Jedynymi elementami przewlekkanymi są złącza J1, J2 oraz dioda LED1. Pozostałe elementy to podzespoły SMD.

Montaż interfejsu wymaga pewnej wprawy ze względu na dosyć ciasne ułożenie ele-



Rys. 10. Schemat montażowy modułu Bluetooth

mentów. Podobnie jak w przypadku układu sterowania, także tutaj należy zwrócić uwagę na montaż dławika L2 przetwornicy celem uniknięcia zwarcia do masy.

Największej uwagi wymaga montaż modułu Bluetooth BTM-132. Przede wszystkim do jego montażu należy przejść dopiero po sprawdzeniu poprawności działania zasilacza, którego napięcie wyjściowe nie może przekraczać 3,6 V. W przypadku korzystania z płytki bez maski, pod moduł należy podłożyć skrawek materiału izolacyjnego w celu uniknięcia zwarcia pomiędzy ścieżkami na module a masą pod modułem, na płytce interfejsu. Lutowanie wyprowadzeń należy przeprowadzić z użyciem jak najmniejszej ilości cyny, gdyż zbyt duża jej ilość może wpłynąć pod moduł i doprowadzić do powstania bardzo trudnych do usunięcia zwarć.

Przewód koncentryczny doprowadzający sygnał 2,4 GHz do anteny należy starannie przylutować, zapewniając jak najkrótszy odcinek żyły środkowej z odsłoniętym ekranem. W razie potrzeby można umieścić na obudowie wzmacniacza złącze antenowe. W takim przypadku dobrze jest zastosować gniazdo typu SMA-RP. Umożliwi to łatwe dołączanie anten typowo stosowanych w sieciach Wi-Fi bez konieczności wykonywania przeróbek.

Paweł Hadam, EP
pawel.hadam@ep.com.pl

R E K L A M A

AVT5187 Audiofilski wzmacniacz 200W

- moc wyjściowa dla obciążenia 4 Ω: 200W
- napięcie zasilania: +/- 55V

www.sklep.avt.pl

AVT-Korporacja Sp. z o.o. 03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel. 022 257 84 50, fax 022 257 84 55, e-mail: handlowy@avt.pl