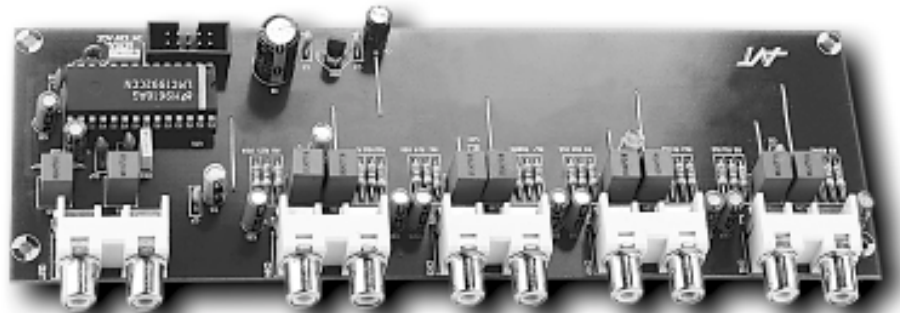


Stereofoniczny przedwzmacniacz HiFi, część 1

kit AVT-477



Jeżeli masz dosyć trzeszczących potencjometrów i lubisz krystalicznie czysty sygnał swojego odtwarzacza CD - mamy dla Ciebie interesującą propozycję: cyfrowo sterowany przedwzmacniacz audio. Dzięki zastosowaniu nowoczesnego procesora audio, sterowanego doskonałym mikrokontrolerem jednoukładowym, parametry akustyczne i użytkowe przedwzmacniacza są naprawdę doskonałe.

Wiele artykułów publikowanych w EP zaczyna się słowami „Rozwój techniki cyfrowej umożliwił...”. Ten artykuł powinien w zasadzie rozpocząć się w taki sam sposób, ponieważ „sercem” urządzenia jest cyfrowo sterowany scalony przedwzmacniacz stereofoniczny.

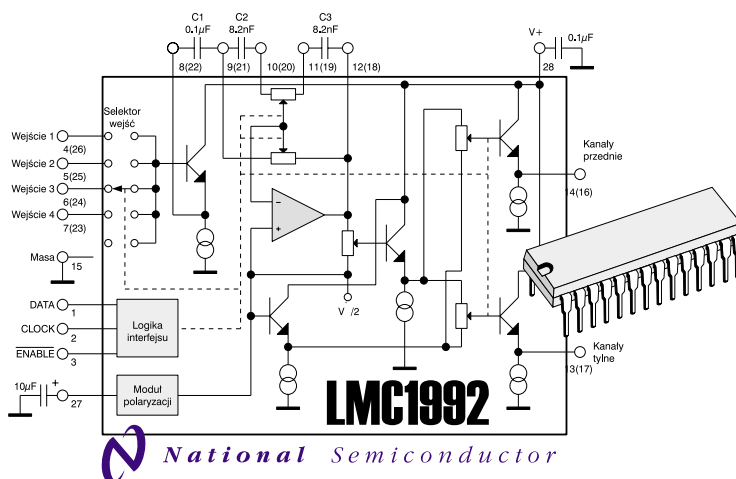
Tajemnica sukcesu

Wykonanie przedwzmacniacza o naprawdę dobrych parametrach nie jest zadaniem łatwym zwłaszcza, jeżeli zależy nam na stabilnych parametrach i wysokiej ja-

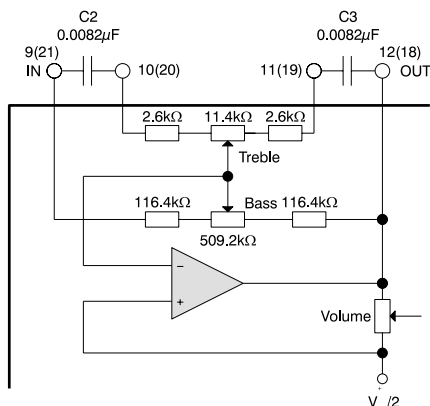
kości. Jedną z najpoważniejszych trudności podczas wykonywania przedwzmacniacza zintegrowanego z regulatorami głośności, balansu i barwy dźwięku jest zdobycie trwałych potencjometrów. Tanie elementy dość szybko się zużywają, powodując w konsekwencji trudności w ustaleniu pożądanego przez użytkownika nastaw i przykre trzaski podczas regulacji. Zastosowanie potencjometrów renomowanych firm (np. Alps) wiąże się zazwyczaj z niebagatelnymi kosztami.

Rozwiązaniem alternatywnym w stosunku do potencjometrów mechanicznych okazały się ich odpowiedniki elektroniczne. Do perfekcji w produkcji różnorodnych potencjometrów elektronicznych doszła firma Xicor. Dobre rozwiązania oferują również Dallas i Analog Devices. Z kolei National Semiconductor uruchomił produkcję prostych regulatorów potencjometrycznych przeznaczonych specjalnie do zastosowań audio - stanowią one rozszerzenie rodziny układów *Overture*.

Naturalną konsekwencją udoskonalania parametrów i rozszerzania się aplikacji potencjometrów elektronicznych, było ich zinteg-



Rys. 1. Schemat blokowy układu LMC1992.



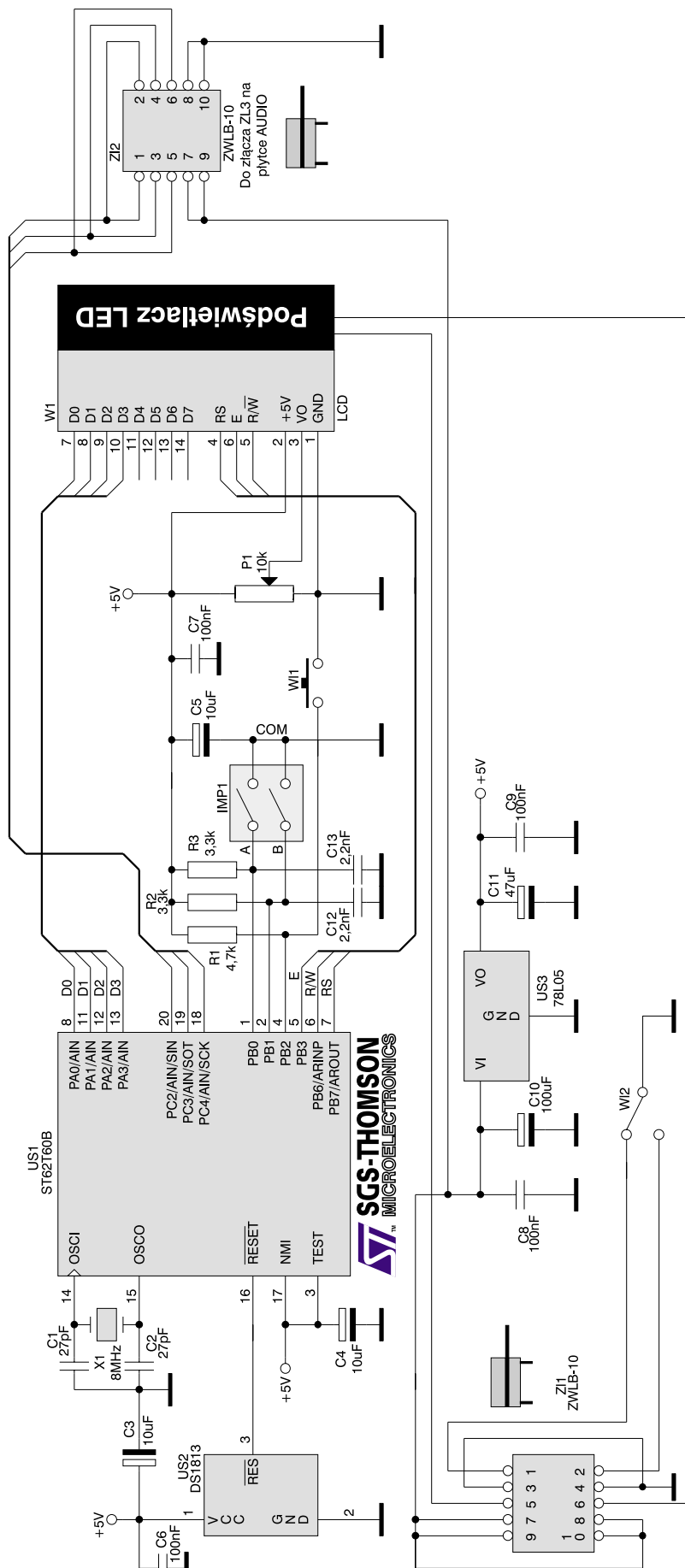
Rys. 2. Schemat elektryczny układu korekcji barwy tonu.

rowanie w strukturach bardziej złożonych układów scalonych, przede wszystkim przedwzmacniaczy audio. Przykładem takiej, niemal skończonej, doskonałości - o parametrach dawałających nawet najbardziej ortodoksyjnych audiofilów - jest układ LMC1992 opracowany przez National Semiconductor. Schemat blokowy tego układu przedstawiono na rys. 1.

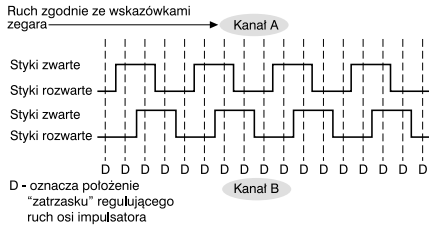
Jak można zauważyć układ LMC1992 zawiera w sobie wszystkie podstawowe bloki funkcjonalne przedwzmacniacza, tzn:

- multiplexer (przełącznik) sygnałów wejściowych, dzięki któremu można wybrać źródło odtworzanego sygnału;
- wtórniki napięciowe zapewniające wzajemne dopasowanie wszystkich stopni układu;
- wzmacniacze operacyjne, które wykorzystano jako aktywne elementy regulatorów barwy dźwięku;
- elektroniczne potencjometry umożliwiające ustalenie barwy dźwięku (dwa pasma), balansu i głośności;
- moduł polaryzacji, który zapewnia optymalne warunki pracy wszystkich stopni przedwzmacniacza;
- interfejs szeregowy, poprzez który można ustalić położenie wirtualnych suwaków potencjometrów elektronicznych oraz przełącznika wejść.

Konstruktorzy układu zastosowali aktywny regulator barwy dźwięku, ponieważ jego konstrukcja jest bardzo prosta, a całkowity zakres regulacji bardzo duży (24dB). Na rys. 2 w uproszczeniu przedstawiono strukturę regulatora.



Rys. 3. Schemat elektryczny płytki sterownika.



Rys. 4. Sposób kodowania kierunku obrotów w nastawniku BCW.

Opis układu

Opracowany przez przedwzmacniacz składa się z trzech modułów funkcjonalnych:

- sterownika (schemat elektryczny na rys. 3);
- modułu audio (schemat elektryczny na rys. 5);
- zasilacza zintegrowanego z elektronicznym włącznikiem zasilania (schemat elektryczny na rys. 6).

W sterowniku przedwzmacniacza zastosowano dwa nietypowe elementy - mikrokontroler ST62T60 (produkowany przez SGS-Thomson) oraz impulsator firmy Bourns, który spełnia rolę nastawnika analogowego.

Mikrokontroler US1 spełnia rolę centrum sterowania przedwzmacniacza, tzn. obsługuje wyświetlanie komunikatów na wyświetlaczu alfanumerycznym W1, analizuje stan styków impulsatora

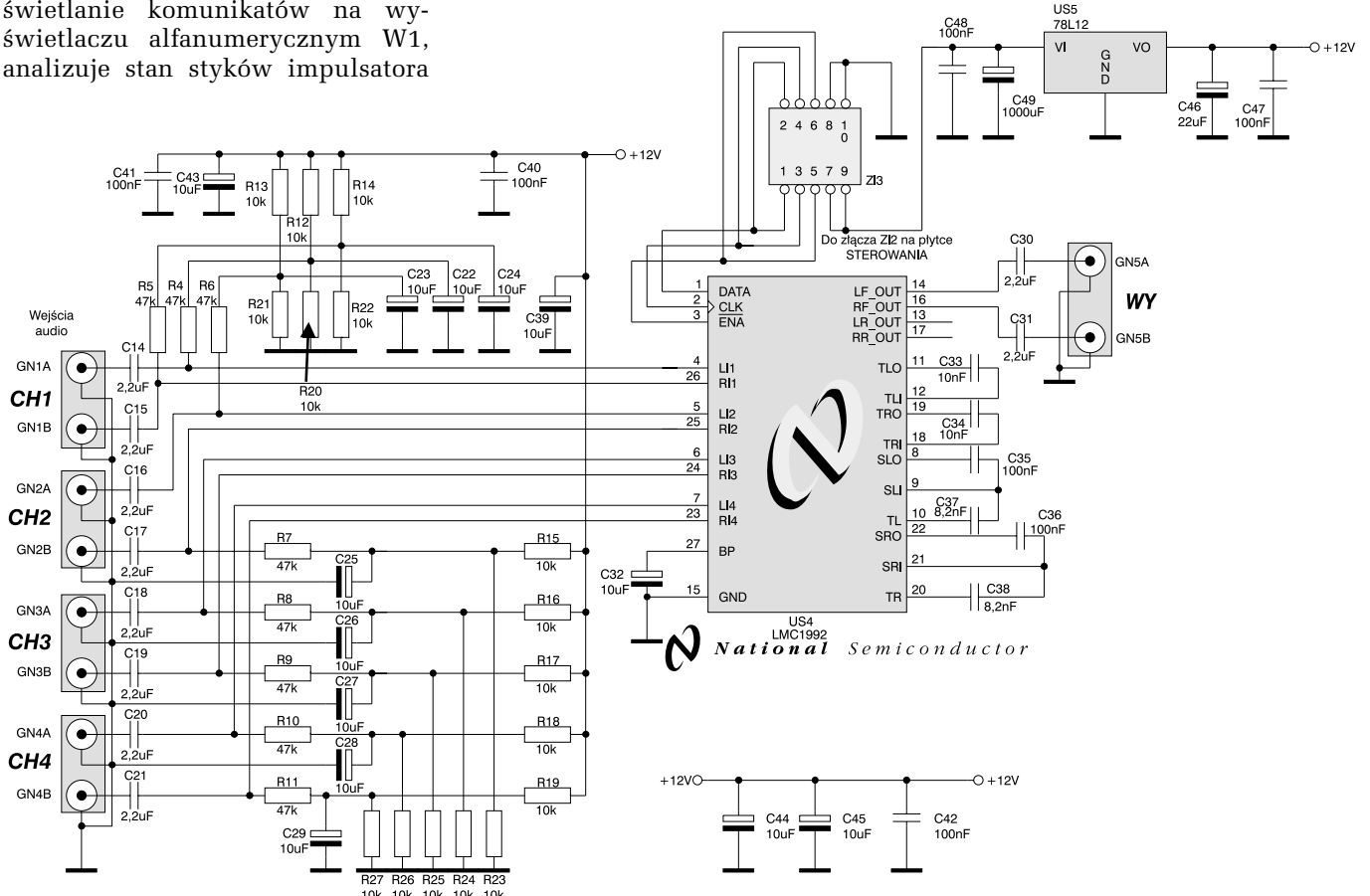
Tabela 1.

Funkcja	Adres [A2, A1, A0]	Słowo danych [D5..D0]	Przykłady
Numer wejścia (Input)	000	XDDDDD	XX0000=Odłączone XX0001=CH1 XX0010=CH2 XX0011=CH3 XX0100=CH4
Regulacja tonów niskich (Bass)	001	XXDDDD	XX0000=-12dB XX1100+12dB
Regulacja tonów wysokich (Treble)	010	XXDDDD	XX0000=-12dB XX1100+12dB
Głośność (Volume)	011	DDDDDD	000000=-80dB 10100X=0dB
Głośność prawego-przedniego kanału (Ballance R)	100	XDDDDD	X00000=-40dB X1010X=0dB
Głośność lewego-przedniego kanału (Ballance L)	101	XDDDDD	X00000=-40dB X1010X=0dB

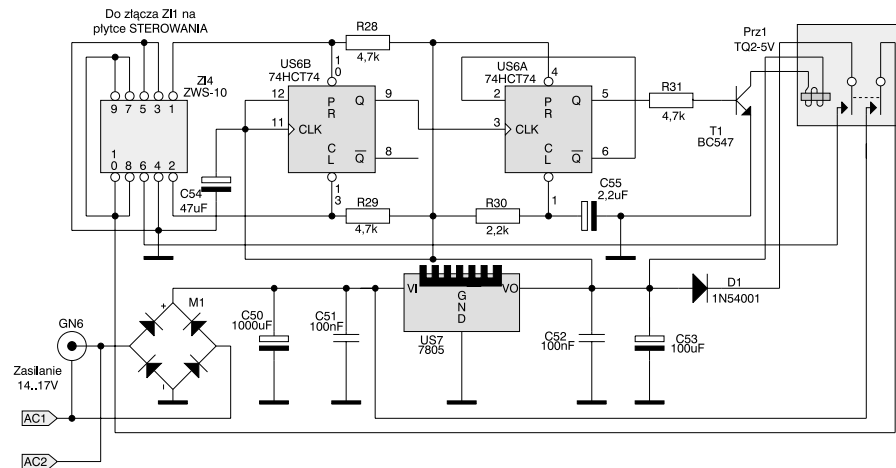
IMP1, wykrywa fakt wciśnięcia przycisku W11 zmieniającego tryb pracy W1 i wysyła adekwatne do sytuacji polecenia do układu LMC1992. Kontrola stanu W1 odbywa się 40 razy na sekundę i jest wywoływana przez wewnętrzne przerwanie od timera. Procedury opóźniające pozwalają zlikwidować wpływ drgań styków przełącznika na działanie programu.

Zastosowany w sterowniku mikrokontroler jest wyposażony

w pamięć nieulotną EEPROM o pojemności 128B, której niewielką część wykorzystano do zapamiętywania ostatnio ustalonych nastaw, które opisują zadana przez użytkownika barwę dźwięku, położenie środka balansu, aktywne wejście oraz głośność. Zastosowana w procesorze pamięć EEPROM ma dużą żywotność - producent gwarantuje minimalnie aż 300000 poprawnych operacji kasowanie/zapis. Jak łatwo poli-



Rys. 5. Schemat elektryczny płytki przedwzmacniacza.



Rys. 6. Schemat elektryczny włącznika i zasilacza.

czyć można dokonywać do niej 50 wpisów dziennie przez prawie 17 lat!

Ponieważ obudowa ST62T60 ma zaledwie 20 wyprowadzeń konieczne okazało się sterowanie wyświetlacza W1 przez interfejs 4-bitowy. To właśnie z tego powodu linie wejściowe D0..3 wyświetlacza nie są podłączone.

Założeniem przyjętym przez autora podczas projektowania przedwzmacniacza było maksymalne uproszczenie jego obsługi i zbliżenie sposobu regulacji do rozwiązań tradycyjnych. Z tego właśnie powodu rolę elementu ustalającego wartość nastawy spełnia impulsator firmy Bourns, znany już Czytelnikom z zasilacza AVT-366. Element ten z zewnątrz przypomina standardowy potencjometr, ale w jego wnętrzu kryją się dwa przełączniki chwilowe, generujące przesunięte w fazie impulsy prostokątne. W zależności od ich wzajemnej fazy (rys. 4) procesor określa kierunek obracania się impulsatora, dzięki czemu możliwe jest zwiększanie lub zmniejszanie wartości nastaw.

Układ US2 (w modelu zastosowano DS1813) jest scalonym generatorem sygnału zerującego mikrokontroler US1. Zastosowanie tego układu było konieczne, aby zabezpieczyć zawartość pamięci nieulotnej EEPROM US1. Zastosowanie standardowego układu zerującego z kondensatorem elektrolitycznym powodowało, że czasami zawartość pamięci była modyfikowana w sposób niekontrolowany.

Szeregowa transmisja danych z procesora do układu LMC1992

odbywa się poprzez kabel dołączony do złącza Z12. Trzy piny I/O procesora US1 (PC2..4) są programowo skonfigurowane do emulacji złącza szeregowego. Takie rozwiązanie okazało się łatwiejsze do wykonania, niż modyfikowanie do wymagań LMC1992 obsługi portu SPI, który stanowi standardowe wyposażenie procesora ST62T60.

Poprawne napięcie zasilania dla procesora i modułu wyświetlacza W1 zapewnia stabilizator US3. Jeżeli w urządzeniu zostanie zastosowany wyświetlacz z podświetlaniem LED, nie wolno jest zasilać go z wyjścia tego stabilizatora - do tego celu przewidziano osobny stabilizator. Potencjometr P1 umożliwi regulację kontrastu wyświetlanych znaków.

Schemat elektryczny części audio przedstawiono na rys. 5. Jest to minimalnie zmodyfikowana standardowa aplikacja układu LMC1992. Zastosowano typowe elementy zewnętrzne oraz układy standardowe układy polaryzujące wejścia sygnału audio.

Wszystkie wejścia są separowane przy pomocy kondensatorów unipolarnych o dużej pojemności (2,2µF). Dzięki temu dolna częstotliwość graniczna jest dość mała (35Hz), a mogąca potencjalnie wystąpić składowa stała, jest oddzie-

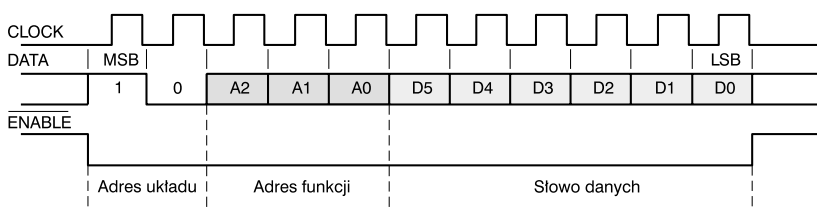
lana od stopnia wejściowego. Dzięki temu nie są zaburzane stałoprądowe warunki pracy przedwzmacniacza.

Układ US5 zapewnia stabilizację napięcia zasilającego procesor audio US4. Sygnały interfejsu szeregowego oraz napięcie zasilające podawane jest z płytki sterownika na złącze Z13.

Ostatnim fragmentem urządzenia jest zasilacz zintegrowany z elektronicznym włącznikiem zasilania. Jego schemat elektryczny przedstawiono na rys. 6.

Jest to dość nietypowy zasilacz, ponieważ praktycznie cały czas znajduje się on pod napięciem podawanym z transformatora sieciowego. Układ US6 spełnia rolę dwustabilnego przetrzutnika, który jest sterowany przyciskiem W12, znajdującym się na płycie sterownika. Każdorazowe wciśnięcie tego przycisku powoduje zmianę stanu wyjścia US6A na przeciwny, co w konsekwencji powoduje zwieranie i rozwieranie styków miniaturowego przekaźnika Prz1. Przełączane są jednocześnie dwie pary styków - jedna z nich odpowiada za przekazanie napięcia zasilającego do płytek sterownika i audio, druga para steruje napięciem zasilającym podświetlacz wyświetlacza W1. Napięcie podawane jest na podświetlacz z katody diody D1, która jest włączona szeregowo z wyjściem stabilizatora US7. Dzięki temu napięcie podawane na diody LED podświetlacza jest nieco mniejsze niż nominalne, co powoduje minimalne zmniejszenie jasności podświetlenia. Stabilizator US7 musi być wyposażony w skuteczny radiator, ponieważ tracona jest w nim duża moc (ok. 3W).

na wejściu zasilacza zastosowano mostek prostowniczy Graetza, dzięki czemu przedwzmacniacz można zasilać wprost z wtórnego uzwojenia transformatora sieciowego (zaciski ARK) lub zasilacza sieciowego (gniazdo Gn6).



Rys. 7. Kształt ramki adresowej i danych układu LMC1992.

WYKAZ ELEMENTÓW

Płytki sterowania

Rezystory

R1: 4,7kΩ
R2, R3: 3,3kΩ
P1: 10kΩ miniaturowy potencjometr leżący

Kondensatory

C1, C2: 27pF
C3, C4, C5: 10μF/16V
C6, C7, C8, C9: 100nF
C10: 100μF
C11: 47μF
C12, C13: 2,2nF

Półprzewodniki

US1: ST62T60B - zaprogramowany
US2: DS1813 lub podobny (obudowa TO-92)
US3: 78L05

Różne

W1: moduł alfanumeryczny LCD 1x16 z podświetleniem lub bez (opcje). W modelu zastosowano wyświetlacz WM-C1601M z podświetlaniem 1LYLc
W11, W12: przełączniki
X1: 8MHz
Z11, Z12: ZWLB-10 (szpilki zacskane na kablu, lutowane w płytkę) + dwa 15 cm odcinki kabla 10-żyłowego, zakończone wtykami ZFC-10

Płytki audio

Rezystory

R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11: 47kΩ
R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27: 10kΩ

Kondensatory

C14, C15, C16, C17, C18, C19,

C20, C21, C30, C31: 2,2μF unipolarne
C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C32, C39, C43, C44, C45: 10μF/25V
C33, C34: 10nF
C35, C36, C40, C41, C42, C47, C48: 100nF
C37, C38: 8,2nF
C46: 22μF/25V
C49: 1000μF/25V

Półprzewodniki

US4: LMC1992
US5: 78L12

Różne

GN1, GN2, GN3, GN4, GN5: podwójne gniazda Cinch
Z13: ZWS10

Płytki zasilacza

Rezystory

R28, R29, R31: 4,7kΩ
R30: 2,2kΩ

Kondensatory

C50: 1000μF/25V
C51, C52: 100nF
C53: 100μF/25V
C54: 47μF/25V
C55: 2,2μF/16V

Półprzewodniki

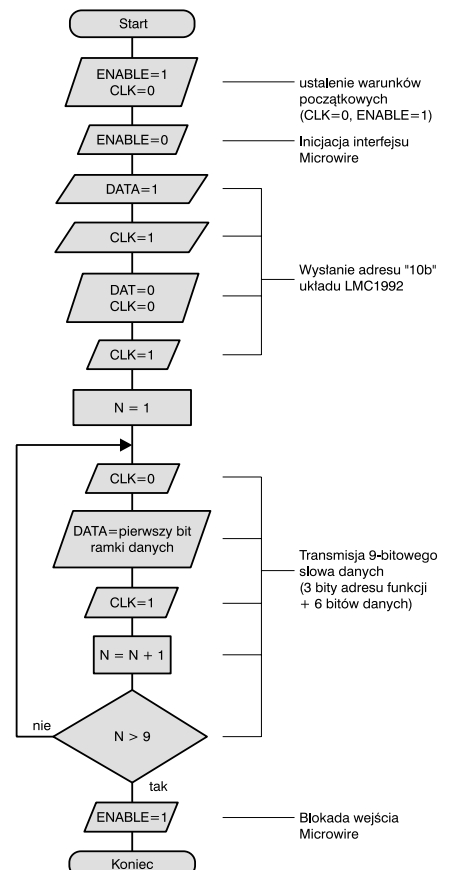
T1: BC547 lub podobny
US6: 74HCT74 lub podobny
US7: 7805

D1: 1N54001 lub podobna

M1: mostek prostowniczy 1,5A/50V

Różne

GN6: gniazdo zasilające z bolcem
GN6': ARK2
Prz1: TQ2-5V - NAIS-Matsushita
Z14: ZWS-10



Rys. 8. Algorytm obrazujący sposób transferu danych do układu LMC1992.

audio, ponieważ nie są one wykorzystywane w przedwzmacniaczu.

Piotr Zbysiński, AVT

Szczegółowe informacje o procesorach ST62T60B oraz narzędzia do nich dostępne są na płycie CD-EP4.

Programowanie procesora audio

Układ LMC1992 programowany jest poprzez trójprzewodowy, jednokierunkowy interfejs szeregowy. Każda ramka danych wysyłanych do układu składa się z 9 bitów (rys. 7), spośród których trzy najstarsze bity adresują funkcję, a sześć kolejnych są daną, która określa wartość nastawy. Dodatkowo wysyłane są dwa bity (najstarsze), które określają, że informacja jest kierowana do LMC1992. Są to tzw. bity adresowe. Ich zastosowanie pozwala dołączać do tej samej szyny danych inne układy programowane poprzez interfejs

szeregowy. Na rys. 8 przedstawiono algorytm opisujący sposób wysłania danej do LMC1992. Maksymalna, dopuszczalna przez producenta, szybkość taktowania wejścia zegarowego CLK układu LMC1992 wynosi 1MHz.

Wszystkie nastawy dotyczące parametrów toru audio (z wyjątkiem numeru aktywnego wejścia) mają krok 2dB. Wynika tego, że nie zawsze całe 6-bitowe słowo danych jest wykorzystywane do przekazania informacji do układu. W tab. 1 zawarto opisy nastaw wraz z ich adresami.

Uwaga! W tab. 1 pominięto funkcje balansu tylnych kanałów

Skrócona charakterystyka przedwzmacniacza.

- ✓ ilość stereofonicznych wejść audio: 4;
- ✓ zakres regulacji poziomu wyjściowego (głośności): -80dB..0dB (krok 2dB);
- ✓ zakres regulacji balansu kanałów: -40dB..0dB (krok 2dB);
- ✓ zakres regulacji barwy dźwięku: ±12dB (krok 2dB);
- ✓ zalecane napięcie wejściowe: do 1V_{RMS};
- ✓ wszelkie nastawy są zapamiętywane w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera sterującego;
- ✓ pasmo przenoszenia: 35Hz..100kHz;
- ✓ całkowite zniekształcenia nieliniowe: 0,15%;
- ✓ odstęp sygnału od szumu: 81dB;
- ✓ zasilanie: 15V/50mA (350mA z podświetlanym wyświetlaczem LCD);
- ✓ elektroniczny włącznik zasilania;
- ✓ cyfrowe sterowanie wszystkich funkcji z prezentacją nastaw na wyświetlaczu alfanumerycznym LCD.