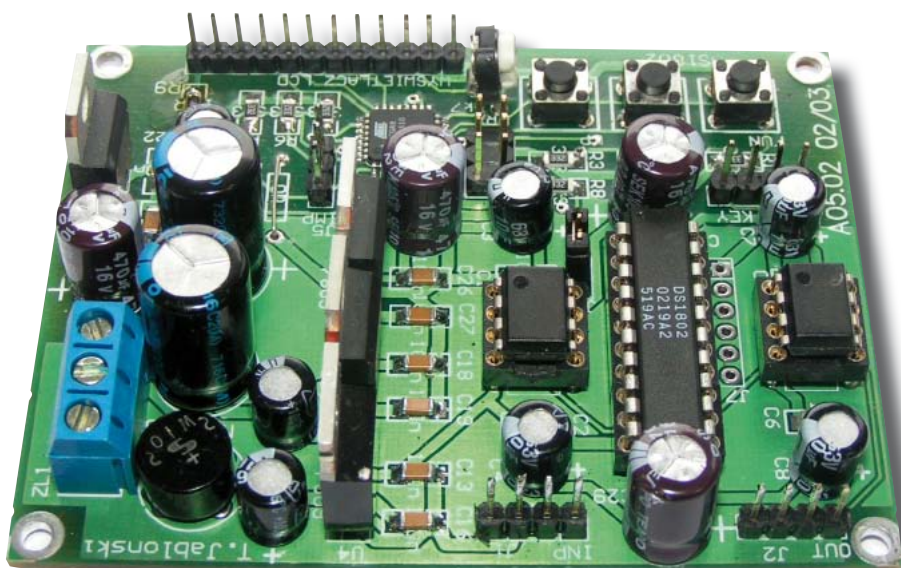


Cyfrowy potencjometr audio

Potencjometr jest elementem znanym chyba każdemu elektronikowi. W czasach, kiedy układy elektroniczne były prawie całkowicie układami analogowymi, potencjometry były wykorzystywane na przykład do regulacji poziomu sygnału lub ustalania punktu pracy układu.

W trakcie rozwoju elektroniki powstało wiele rodzajów potencjometrów od prostych nastawnych, po precyzyjne wielobrotowe z przekładniami planetarnymi, od tradycyjnych obrotowych po suwakowe. Chyba nie ma kogoś, kto nie zetknął by się z potencjometrem służącym do regulacji siły głosu w radiodbiorniku, czy sprzęcie audio.

Rekomendacje: konstruktorzy sprzętu audio



Dzisiaj konstruktorzy starają się wyeliminować potencjometry wszędzie tam, gdzie to tylko możliwe. Powodami są spory koszt wykonania dobrej jakości potencjometru, ale też jego zawodność i brak możliwości sterowania elektronicznego na przykład w celu samoregulacji punktu pracy. Jednym z zastosowań, w którym klasyczny potencjometr jest nadal chętnie stosowany do regulacji poziomu sygnału, jest stereofoniczna aparatura audio, szczególnie ta wyższej klasy. Ale i tutaj ten pocziwy element sprawia sporo kłopotów.

Potencjometr stereofoniczny zbudowany jest z dwóch mechanicznie sprzężonych potencjometrów. Aby regulacja nie zaburzała sceny stereofonicznej, to poziom sygnału

w obu kanałach musi być tak równy jak to tylko możliwe, a to oznacza, że dzielnik rezystancyjny przy dowolnym kącie obrotu osi w obu potencjometrach powinien być taki sam. Trudno jest wykonać takie potencjometry, a jeżeli już są, to są bardzo drogie (na przykład te produkowane przez firmę ALPS).

Aby uzyskać bardzo dobre parametry regulacji zamiast klasycznych potencjometrów stosuje się drabinki rezystorów o tolerancji 0,1% przełączane wielostykowym przełącznikiem obrotowym, lub przekaźnikami. Takie rozwiązanie, mimo że skuteczne, to nie należy do tanich, a poza tym trudno jest wtedy zrobić na przykład zdalne sterowanie. Alternatywnym rozwiązaniem może być zastosowanie potencjometru elektronicznego. Te elementy działają na podobnej zasadzie

W ofercie AVT:

AVT-5206A – płytką drukowaną

AVT-5206A – płytką drukowaną + elementy

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytką o wymiarach 68×82 mm
- Rezystancja 45 kΩ
- Zakres tłumienia od 0...-64dB z krokiem co 1 dB
- Możliwość regulacji balansu
- Regulacja za pomocą: klawiszy, impulsatora, pilota z kodem RC5
- Możliwość uczenia się kodów RC5
- Obsługa wyświetlacza alfanumerycznego



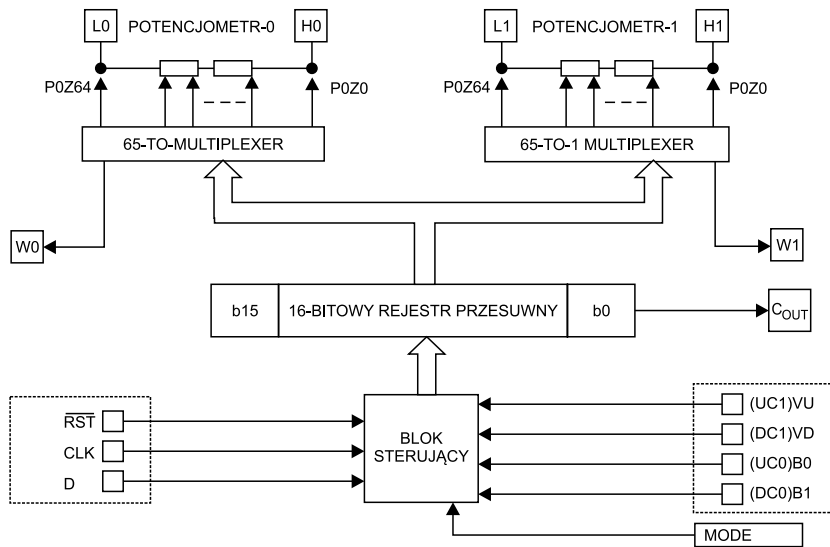
Dodatkowe materiały na CD

AVT-5206

PROJEKTY POKREWNE wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Volumer – Elektroniczny potencjometr audio	EP 5/2009	AVT-5185
Audiofiliński potencjometr i regulator balansu	EP 8/2006	AVT-945
Audiofiliński potencjometr elektroniczny	EP 9/2001	AVT-5027
Audiofiliński potencjometr stereofoniczny	EP 2/1998	AVT-369
Potencjometr cyfrowy	EdW 1/1999	AVT-2338

R E K L A M A



Rys. 1. Schemat blokowy układu DS1802

jak przełączane drabinki zbudowane z rezystorów. Wbudowane w układ drabinka rezystorowa jest przełączana multiplexerem sterowanym przez wewnętrzne układy sterowania.

Cyfrowe potencjometry produkowane są przez znane firmy na przykład Maxim-Dallas, czy Texas Instruments. W tym projekcie zastosowano produkowany już od wielu lat, dobrze znany potencjometr DS1802 produkowany przez firmę Maxim-Dallas. Jego schemat blokowy pokazano na rys. 1. Zasadniczym elementem DS1802 są dwie drabinki rezystorowe. Każda z tych drabinek składa się z 64 rezystorów tworzących potencjometr o rezystancji 45 kΩ i charakterystyce logaryt-

micznej. Wyboru stopnia podziału dokonuje 65-wyjściowy multiplexer analogowy. Do wyjścia multiplexera połączone jest wyprowadzenie „suwaka” W. Przełączenie pozycji multiplexera o 1 powoduje zmianę tłumienia sygnału wyjściowego o 1 dB. W ten sposób mamy do dyspozycji dwa niezależne potencjometry o charakterystyce logarytmicznej, z możliwością ustawienia tłumienia w zakresie od 0...-65 dB z krokiem 1 dB.

Jednym z ważnych parametrów jest tolerancja tłumienia. Według zapewnień producenta nie jest ona większa niż ±1 dB dla całego zakresu. Tolerancja ta określana jest jako różnica pomiędzy spodziewanym poziomem napięcia dostępnego na wyprowadzeniu W (wynikająca ze stopnia podziału), a jego rzeczywistą wartością. Taki parametr jest do zaakceptowania dla większości wymagających zastosowań.

Układ sterowania pozwala na zmiany tłumienia za pomocą mechanicznych styków dołączonych wejść sterujących lub komend przesyłanych z użyciem 3-przewodowego interfejsu szeregowego.

Wydawałoby się, że dobrym i prostym rozwiązaniem będzie sterowanie przez podłączenie kilku styków. W tab. 1 pokazano dwie możliwości takiego sterowania, zależne od wybranego trybu pracy wybranego stanem wejścia sterującego MODE. Jeżeli MODE jest w stanie wysokim, to potencjometry sterowane są niezależnie osobnymi parami styków. Jednak do regulacji siły głośy w torze audio o wiele wygodniejszy jest tryb STEREO, wybierany stanem niskim na wejściu MODE. Jedna para styków reguluje poziom tłumienia w obu kanałach jednocześnie, a druga ustawia balans.

Takie sterowanie, mimo niezaprzeczalnych zalet, ma jedną zasadniczą wadę. Po włączeniu zasilania oba potencjometry ustawiają się na tłumienie -63dB i w praktyce za każdym razem trzeba je ustawiać od nowa. Jest to bardzo niewygodne rozwiązanie. Tę

wadę można wyeliminować stosując sterowanie za pomocą szeregowej magistrali i zewnętrznego sterownika mikroprocesorowego. Sterownik potrafi zapamiętać nastawione wartości w pamięci nielotnej i po włączeniu zasilania je odtworzyć.

Budowa układu

Schemat potencjometru ze sterownikiem pokazano na rys. 2. Sygnał wejściowy ze złącza J1 jest podawany przez kondensatory sprzęgające C11 i C25 na układ wzmacniacza odwracającego zbudowanego na wzmacniaczu operacyjnym U1. Ten wzmacniacz spełnia dwie funkcje: bufora i układu dodającego do sygnału składową stałą. Pierwsza funkcja nie wymaga większego komentarza. Rezystory zostały tak dobrane, aby impedancja wzmacniacza miała wartość 47 kΩ.

Układ DS1802 zasilany jest napięciem +5 V względem masy. Oznacza to, że jakiegokolwiek napięcie przyłożone do wyprowadzeń układu nie może mieć potencjału wyższego niż 5 V i niższego niż 0 V. W praktyce dopuszczalne są przekroczenia tych wartości o 0,7 V (5,7 V i -0,7 V), bo może to spowodować zakłócenia w pracy lub nawet trwałe uszkodzenie układu.

Jeżeli połączymy wyprowadzenia L potencjometrów z masą, to sygnał wejściowy podawany na wejścia H nie może mieć amplitudy mniejszej, niż potencjał masy. Jeżeli będzie to sygnał bez składowej stałej, to układ zacznie „odcinać” wartości ujemne względem masy. Żeby temu zapobiec można wyprowadzenia L podłączyć do sztucznej masy o potencjale +2,5 V względem masy DS1802 lub wyprowadzenia L podłączyć do masy DS1802 i do sygnału dodać składową stałą +2,5 V. Ja wybrałem to drugie rozwiązanie. Na wejścia nieodwracające wzmacniaczy operacyjnych U1A i U1B podano napięcie polaryzujące +2,5 V. Do uzyskania tego napięcia najlepiej jest wykorzystać scalony stabilizator o dwóch wyprowadzeniach specjalnie zaprojektowany do pracy jako źródło napięcia odniesienia. W modelu zastosowałem dość stary układ LM336-2,5 (D1), ale można zastosować dowolny inny o podobnych parametrach. Stabilizator pracuje w układzie stabilizatora parametrycznego i potrzebuje rezystora szeregowego (R13). Sygnał na wyj-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory (SMD, 1206)

- R9: 10 Ω
- R13: 2 kΩ
- R1...R6, R8: 3,3 kΩ
- R10...R12, R14: 47 kΩ
- R7: zwora
- PR1: 4,7 kΩ

Kondensatory

- C1, C2, C5, C6, C13, C16, C18, C19, C22, C23, C26, C27, C17, C20: 100 nF (SMD, 1206)
- C11, C12, C25, C31: 1 μF/63 V MKT
- C9, C10, C3, C4, C7, C8: 10 μF/25 V
- C21: 47 μF/25 V
- C24, C28...C30: 470 μF/16 V
- C14, C15: 2200 μF/25 V

Półprzewodniki

- M1: mostek 1 A/100 V
- U7, U8: 7805 (TO220)
- U6: 7809 (TO220)
- U4: 7909 (TO220)
- U5: ATmega8 (SMD, zaprogramowany)
- U3: DS1802
- U1, U2: NE5532 (DIP)

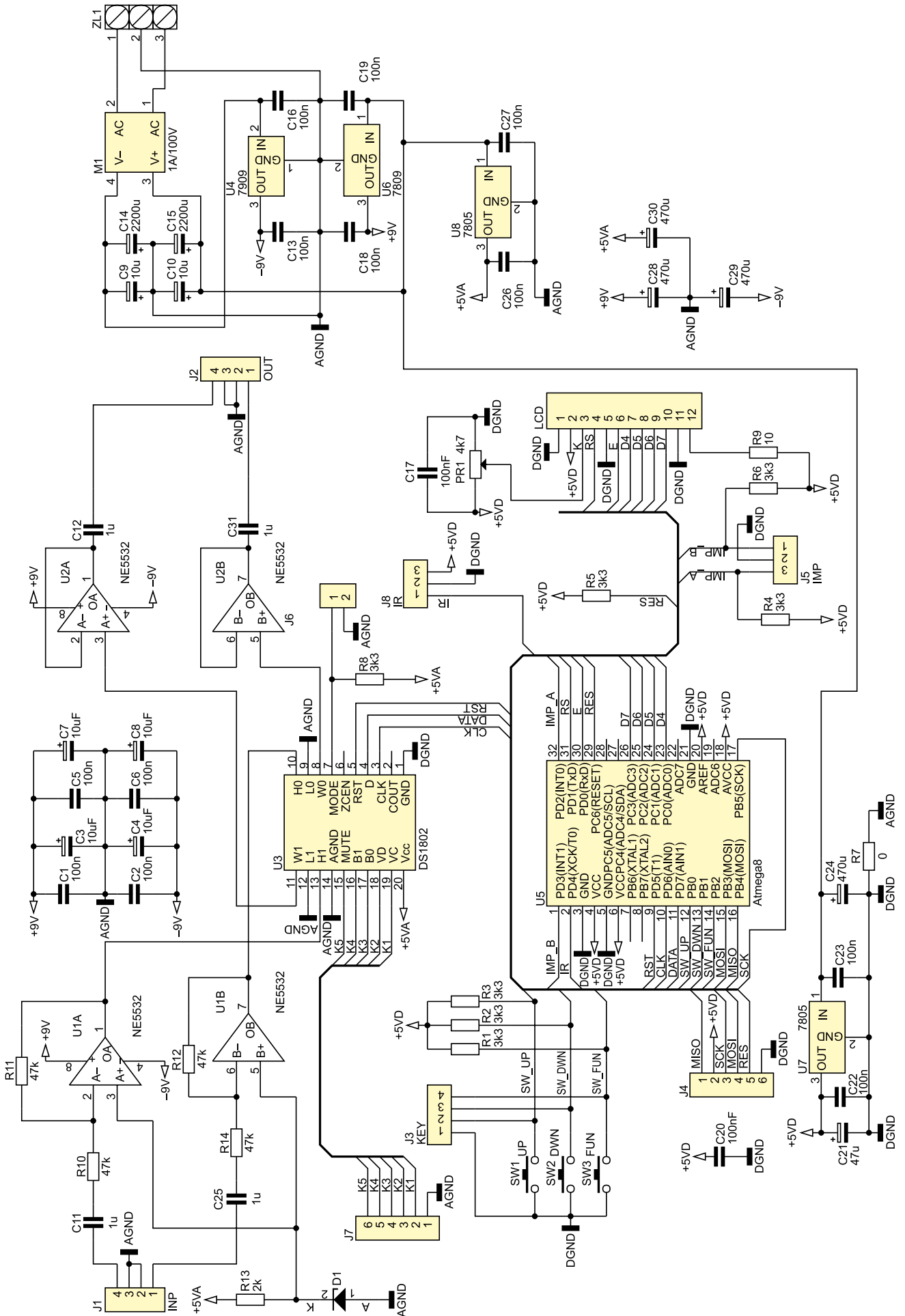
Inne

- Płytką drukowaną
- Mikrostyki 3 szt.
- Wyświetlacz LCD HD44780 2×16znaków (patrz tekst)
- Odbiornik TOSP1736 (patrz tekst)
- Impulsator Bourns ECW1J (patrz tekst)

Tab. 1. Sterowanie DS1802 za pomocą styków

UC0 ¹⁾	Potencjometr_0 – suwak w górę
UC1 ¹⁾	Potencjometr_1 – suwak w górę
DC0 ¹⁾	Potencjometr_0 – suwak w dół
DC1 ¹⁾	Potencjometr_1 – suwak w dół
VU ²⁾	Głośniejszy
VD ²⁾	Ciszej
B0 ²⁾	Balans Potencjometr_0
B1 ²⁾	Balans Potencjometr_1

1) Niezależny tryb sterowania Mode=1
2) Tryb STEREO Mode=0



Rys. 2. Schemat ideowy potencjometru

List. 1. Procedura zapisywania danych do DS1802

```
//definicje makr manipulacji liniami portów interfejsu szeregowego
#define DS_RST 5
#define DS_CLK 6
#define DS_D 7
#define DS_RST_0 (PORTD&=~(1<<DS_RST))
#define DS_RST_1 (PORTD|=(1<<DS_RST))
#define DS_CLK_0 (PORTD&=~(1<<DS_CLK))
#define DS_CLK_1 (PORTD|=(1<<DS_CLK))
#define DS_D_0 (PORTD&=~(1<<DS_D))
#define DS_D_1 (PORTD|=(1<<DS_D))

void write_ds1802(unsigned char KL, unsigned char KP, unsigned char mute){
    char i;
    if(mute==1)
        {KP=KP|0x40; //ustawienie bitu MUTE
        KL=KL|0x40;}

    DS_CLK_0; //makra definiujące stany linii: CLK=0
    DS_RST_1; //RST=1 początek transmisji
    for(i=0;i<8;i++){
        if((KL&1)==1)//dane KL na linii danych
            {DS_D_1;}
        else
            {DS_D_0;}
        DS_CLK_1; //wpis zboczem narastającym
        DS_CLK_0;
        KL>>=1;
    }

    for(i=0;i<8;i++){
        if((KP&1)==1)//dane KP na linii danych
            {DS_D_1;}
        else
            {DS_D_0;}
        DS_CLK_1; //wpis zboczem narastającym
        DS_CLK_0;
        KP>>=1;
    }
    DS_RST_0; //RST=0 koniec transmisji
}
```

ściu wzmacniaczy operacyjnych U1A i U1B ma składową stałą +2,5 V i może mieć amplitudę ±2,5 V. Sygnał w suwaków potencjometrów podawany jest na wejście wtórników zbudowanych na podwójnym wzmacniaczu operacyjnym U2. Wtórnik dopasowują wyjście potencjometrów do zbyt dużego obciążenia. Jeżeli układ za potencjometrami ma impedancję porównywalną z impedancją potencjometru (45 kΩ), to wtórnik mogą okazać się niepotrzebne i można je pominąć robiąc odpowiednie zwory na płytce drukowanej (zwarcie wyprowadzeń 3 i 1 oraz 5 i 7 w miejscu układu U2).

Kondensatory C12 i C31 odcinają składową stałą na wyjściu sygnału. Najczęściej potencjometr podłączany jest na wejściu wzmacniacza mocy, który ma swój kondensator sprzęgający na wejściu. W takim przypadku można C12 i C31 zewrzeć, ale musi

być to poprzedzone analizą układu potencjometr-wzmacniacz.

Wzmacniacze operacyjne zastosowane w układzie są zasilane napięciem symetrycznym ±9 V. W związku z tym, że układ dodaje składową stałą, można pokusić się o ich zasilanie asymetrycznym napięciem +9 V, lub nawet +5 V.

W sterowniku potencjometru pracuje popularny, tani układ Atmega8 (U5). Magistrała szeregowo sterująca zapisywaniem danych do układu DS1802 składa się z trzech linii: danych D (PORTD7), zegarowej CLK (PORTD6) i aktywacji interfejsu !RST (PORTD5). W czasie jednego cyklu do układu przesyłanych jest 16 bitów – po 8 bitów dla każdego z potencjometrów.

Pozycja suwaka potencjometru –0 jest przesyłana na pierwszych 6 bitach. Bit 7 steruje układem wyciszania MUTE, a bit 8 nie ma znaczenia i jest wyzerowany. Po przesła-

niu 8 bitów potencjometru – 0 wysyłanych jest kolejnych 8 bitów potencjometru – 1. Przesyłanie danych nie jest skomplikowane. Cykl rozpoczyna się od wymuszenia stanu wysokiego na linii !RST. Dane na linii danych są wystawiane kiedy linia zegarowa jest w stanie niskim. Wpisanie danej następuje w czasie zbocza narastającego na linii zegarowej CLK. Na list. 1 pokazano procedurę zapisywania danych do DS1802. W argumentach umieszczone są wartości wpisywane do rejestrów potencjometrów i zmienna określająca, czy włączyć układ wyciszania MUTE.

Na rys. 4 pokazano zrzut z ekranu oscyloskopu cyfrowego RIGOL DS1102E w czasie pomiaru przebiegów czasowych na liniach danych i zegarowej przy wpisywaniu do DS1802 tłumienia –11 dB kolejno dla obu kanałów.

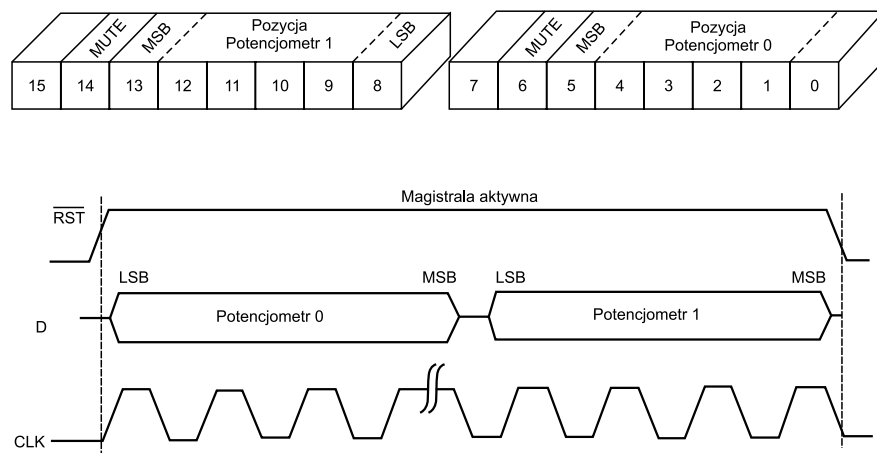
W układzie zastosowano trzy pracujące równolegle regulatory poziomu sygnału: styki podłączone do linii portów, impulsator obrotowy i odbiornik podczerwieni. Ta nadmiarowość pozwala na wybranie różnych konfiguracji pracy urządzenia. Trzy styki sterujące zostały podłączone do linii PORTB0, PORTB1 i PORTB2 ustawionych jako wejściowe. Rezystory R1, R2 i R3 wymuszają stan wysoki kiedy styki są rozwarte. Zwarcie styku powoduje wymuszenie stanu niskiego na linii. Rezystory R4 i R6 wymuszają stan wysoki na liniach PORTD2 i PORTD3. Przy obracaniu ośką impulsatora podłączonego do złącza J5 linie te są impulsowo zwierane do masy, a odpowiednia procedura programowa określa ilość impulsów i kierunek obrotu.

Do sterownika można podłączyć wyświetlacz alfanumeryczny o 2×16 znaków ze sterownikiem HD47780. Magistrała sterująca ma szerokość 4 bitów.

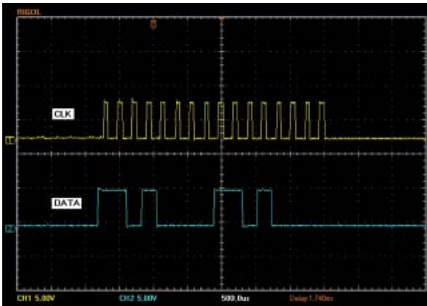
Złącze J4 przeznaczone jest do programowania mikrokontrolera w systemie. Taka możliwość jest dość istotna, bo układ jest w obudowie do montażu powierzchniowego i zaprogramowanie poza układem wymaga drogiego adaptera.

Układ zasilający dostarcza symetrycznych napięć ±9 V do zasilania wzmacniaczy operacyjnych, napięcia +5 V (+5 VA) do zasilania części analogowej i +5 V (+5 VD) do zasilania części cyfrowej DS1802. Na płytce drukowanej masy układów analogowych (wyprowadzenie AGND DS1802) i cyfrowych (wyprowadzenie GND DS1802) są prowadzone oddzielnie, ale są połączone galwanicznie zwora oznaczona na płytce i schemacie jako R7. Do złącza ZL1 trzeba podłączyć symetryczne napięcie przemiennie 2×13 V/200 mA.

Zależnie od potrzeb, potencjometr można skonfigurować w wersji uproszczonej, lub rozbudowanej. W wersji uproszczonej można użyć tylko dwa klawisze UP i DWN lub tylko impulsator. Po pierwszym włączeniu układu po zaprogramowaniu mikrokon-



Rys. 3. Sterowanie za pomocą magistrali szeregowych



Rys. 4. Przebiegi czasowe zmierzone w projektowanym urządzeniu

rolera, program automatycznie wpisuje do pamięci eeprom tłumienie -40 dB dla obu kanałów. Klawiszami lub impulsatorem reguluje się poziom siły głosu, sterownik po każdej zmianie wartości wpisującej do DS1802 zapisuje ją do pamięci EEPROM. Po wyłączeniu i ponownym włączeniu zasilania ostatnio ustawiona wartość jest przesyłana do potencjometru. W tej konfiguracji nie jest konieczne podłączenie wyświetlacza, ale nie ma praktycznie możliwości regulacji balansu i zdalnego sterowania. W nieco bardziej rozbudowanej konfiguracji podłączamy wyświetlacz i wszystkie trzy klawisze lub klawisz FUN i impulsator. Najbardziej rozbudowana konfiguracja obejmuje dodatkowo podłączenie odbiornika podczerwieni.

Podłączenie wyświetlacza umożliwia wyświetlanie nastawionych wartości tłumienia w decybelach i w praktyce wywołanie z menu funkcyjnego dwóch dostępnych funkcji: programowania kodów RC5 „set RC5” zdalnego sterowania i ustawienia balansu „set balance”. Menu funkcyjne wywoływane jest po naciśnięciu przycisku FUN. Funkcję do wywołania wybiera się klawiszami UP i DWN, lub kręcąc ośką impulsatora. Wybraną do wykonania funkcję akceptuje się klawiszem FUN.

Po wybraniu funkcji regulacji balansu na ekranie wyświetlacza wyświetlany jest w górnej linijce komunikat : „bal L -40 dB”, a w dolnej linijce „Volume R= -40 dB” Balans

reguluje się zmieniając poziom tłumienia w lewym kanale klawiszami UP, DWN, impulsatorem, lub pilotem RC5, przy niezmiennym poziomie prawego kanału. Regulacje kończy się naciskając klawisz FUN.

W najbardziej rozbudowanej konfiguracji można dołączyć do sterownika odbiornik podczerwieni zestrojony na odbiór podnośnej 36 kHz (na przykład TSOP1736) i używać pilota wysyłającego polecenia sterujące w popularnym kodzie RC5. Żeby nie było konieczności stosowania dedykowanego pilota z zapisanymi na stałe kodami poleceń, sterownik wyposażono w funkcję uczenia się kodów „set RC5”. Po jej wywołaniu na ekranie wyświetlacza wywoływane są kolejne funkcje przypisywane klawiszom pilota. Jako pierwszy jest programowany klawisz spełniający funkcję równoważną funkcji klawisza DWN. Na ekranie w dolnej linijce wyświetlane są cztery kreski. Po naciśnięciu na pilocie klawisza spełniającego funkcję regulatora DOWN, zamiast tych kresek wyświetlana jest wartość odebranego kodu w postaci 4-cyfrowej liczby szesnastkowej. Naciśnięcie klawisza FUN powoduje zapisanie odebranego kodu w pamięci EEPROM i przejście do programowania następnego. W ten sposób programowane są kody DOWN, UP, FUN i dodatkowo MUTE. Użycie pilota RC5 umożliwia sterowanie funkcją MUTE przez naciskanie zaprogramowanego kodu przypisanego tej funkcji. Na ekranie wyświetlacza zamiast wartości tłumienia dla lewego i prawego kanału wyświetlany jest tylko w górnej linijce napis MUTE, a do potencjometrów DS1802 wysyłane jest przez magistralę słowo z ustawionymi bitami MUTE dla obu potencjometrów (rys. 3).

Montaż

Schemat montażowy płytki drukowanej został pokazany na **rys. 6**. Montaż nie jest trudny i nie wymaga komentarza. Uruchomienie układu należy rozpocząć od zasilenia układu i zaprogramowania mikrokontrolera.

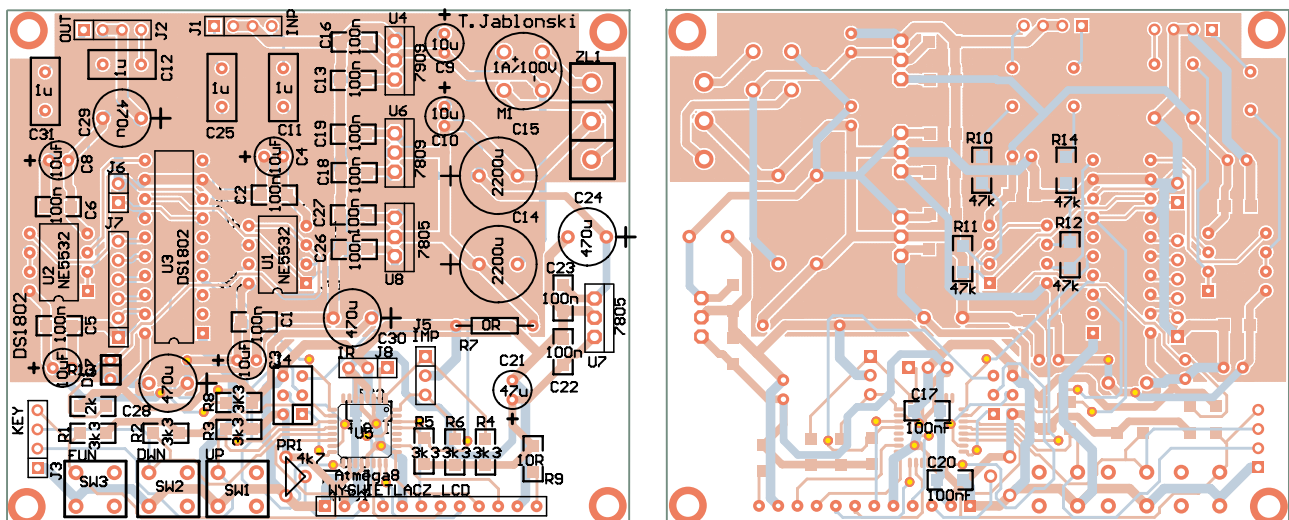
ra. Złącze J4 ma wyprowadzenia zgodne ze standardem stosowanym w programatorach firmy Atmel. Ja do zaprogramowania użyłem programatora T51Prog firmy Elnec pracującym w trybie programowania ISP. W zależności od interesującej nas konfiguracji trzeba zamontować elementy manipulacyjne styki (klawisze), impulsator, lub odbiornik podczerwieni.

W bardziej rozbudowanej konfiguracji dołączamy wyświetlacz alfanumeryczny. Obecnie taki wyświetlacz jest stosunkowo tani, a jego podłączenie znacząco podnosi komfort użytkownika urządzenia.

Jak już wspomniałem po zaprogramowaniu mikrokontrolera sterownik ustawia tłumienie na poziomie -40 dB. Przyciskając klawisze UP lub DWN można wstępnie sprawdzić poprawność działania potencjometru używając generatora sinus i oscyloskopu, lub na słuch po umieszczeniu potencjometru w torze audio. Ja oczywiście w trakcie projektowania preferuję użycie przyrządów pomiarowych (oscyloskopu i generatora), bo pozwalają na stwierdzenie charakteru ewentualnych nieprawidłowości projektu. W pełnej konfiguracji trzeba użyć funkcji programowania kodów RC5 i sprawdzić poprawność działania sterowania pilotem.

Prototyp urządzenia został wykorzystany do budowy kompletnego wzmacniacza mocy z regulacją siły głosu. Zastosowałem konfigurację z wyświetlaczem, impulsatorem i odbiornikiem kodu RC5. Jedyną modyfikacją w stosunku do schematu z rys. 2 to zwory zamiast kondensatorów C12 i C31, bo zastosowana końcówka mocy miała na wejściu kondensatory sprzęgające. Jako końcówki mocy użyłem zaprojektowanego kiedyś przeze mnie wzmacniacza z układem z serii Uverture LM1786. Taki zestaw brzmi bardzo solidnie, a zastosowane zdalne sterowanie znacznie podnosi komfort użytkownika urządzenia.

Tomasz Jabłoński, EP
tomasz.jablonski@ep.com.pl



Rys. 5. Schemat montażowy potencjometru