

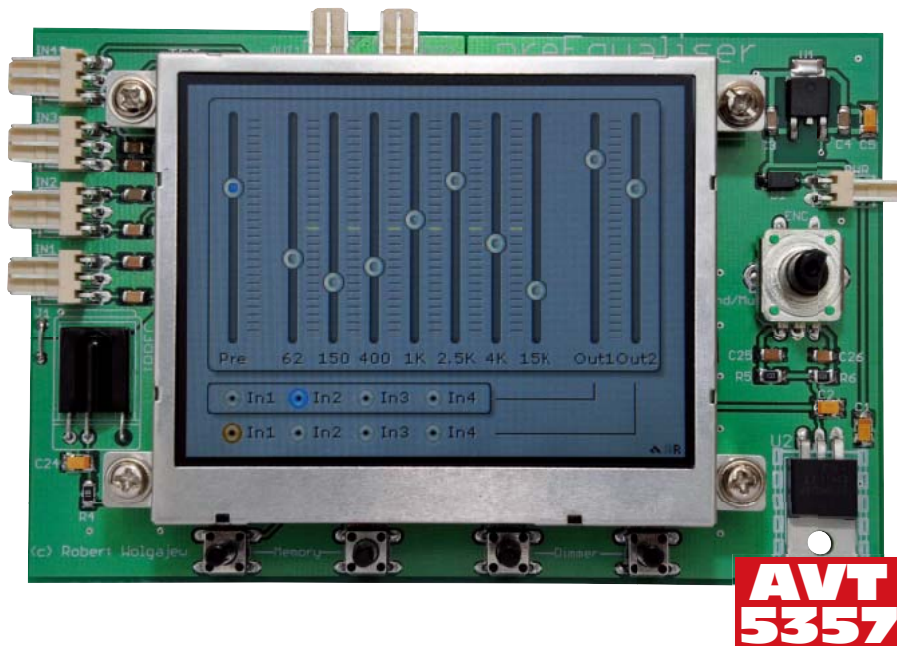
preEqualiser

7-pasmowy korektor z wyświetlaczem TFT

Któż z nas nie zna choćby jednego z programowych odtwarzaczy audio dla systemów operacyjnych Windows czy Mac OS X? Aplikacji wykonanych z rozmachem i dobrym smakiem, jeśli chodzi o design, ale jednocześnie o znakomitej funkcjonalności i prostocie obsługi. Czyż nie byłoby warto posiadać tak atrakcyjny interfejs użytkownika w domowym, stacjonarnym sprzęcie audio?

A jeszcze lepiej byłoby, gdyby rozwiązanie tego typu zaadoptować do istniejących rozwiązań sprzętowych, czyniąc je na wskroś nowoczesnymi i nietuzinkowymi! Tak oto powstał preEqualiser, moduł przedwzmacniacza zintegrowanego z 7-pasmowym korektorem audio wyposażony w atrakcyjny i czytelny interfejs użytkownika z użyciem kolorowego wyświetlacza TFT.
Rekomendacje: moduł można zintegrować z posiadanym sprzętem audio zwłaszcza, iż zaopatrzone go w zdalne sterowanie przy użyciu pilota pracującego z zastosowaniem popularnego standardu RC5.

Większość Czytelników podda być może w wątpliwość finansową stronę takiego projektu, ale czasy się zmieniają i to, co do niedawna wydawać się mogło nieosiągalne z punktu widzenia kosztów zakupu i możliwości budowy, w tej chwili jest w zasięgu ręki większości elektroników – konstruktorów, również tych budujących urządzenia dla własnej przyjemności. To wszystko staje się możliwe dzięki wprowadzaniu coraz to nowocześniejszych, gotowych systemów audio w postaci jednego układu scalonego, pozwalających na obniżenie kosztów przy zachowaniu maksymalnej funkcjonalności. Dobrym przykładem tego typu rozwiązania jest jeden z nowszych układów scalonych



produkowanych przez firmę STMicroelectronics, przeznaczony do zastosowań w sprzęcie audio o oznaczeniu TDA7416. Jako, że stanowi on „serce” naszego urządzenia, przejdźmy w pierwszej kolejności do choćby pobieżnego opisu tego ciekawego układu scalonego.

TDA7416 ten jest kompletnym systemem audio (bez końcówki mocy) wyposażonym w 7-pasmowy korektor sygnału akustycznego zintegrowany z 7-punktowym analizatorem widma, dwa niezależne, 4-wejściowe multipleksery wejściowe z możliwością przełączania sygnałów wejściowych na dwa niezależne wyjścia oraz specjalny moduł subwoofera. Ponadto, wyposażono go w możliwość programowej regulacji wzmocnienia na wejściu, dwa filtry górnoprzepustowe, zintegrowany korekcję „Kontur” (loudness) oraz regulatory poziomu sygnału wyjściowego. Aby zrozumieć zasadę działania oraz paletę możliwości regulacyjnych układu TDA7416, najlepiej jest spojrzeć na jego uproszczony schemat funkcjonalny zamieszczony na **rysunku 1**.

Jak pokazano na rys. 1, każdy z 4 sygnałów wejściowych (jedno z wejść może pracować jako różnicowe) można, korzystając z wbudowanych dwóch niezależnych multipleksersów analogowych, przełączyć na zaawansowany tor korekcji sygnału i wyjście MAIN lub bezpośrednio na wyjście REAR. Dodatkowo, przewidziano możliwość połączenia wyjścia REAR z wyjściem toru korekcji sygnału, czyli niejako z pominięciem

wyboru dokonanego przy użyciu drugiego multipleksera. Producent układu zaopatrzył go także w monofoniczne wejście audio oznaczone jako MIX, dzięki czemu jest możliwe zmiksowanie sygnału wyjściowego MAIN z sygnałem wejścia MIX (np. sygnał audio z telefonu komórkowego w urządzeniach car audio). Dodano także dedykowany moduł subwoofera z niezależną regulacją wzmocnienia w celu separacji sygnałów niskoczęstotliwościowych.

Znając już schemat blokowy układu TDA7416 warto na chwilę zatrzymać się przy sposobie komunikowania się przez system nadrzędny z tym arcyciekawym procesorem dźwięku, gdyż ta wiedza umożliwi nam wykorzystanie ogromnych możliwości, jakie w nim drzemią.

Sterowanie i konfigurowanie układu TDA7416 odbywa się przy użyciu interfejsu I²C, a typową ramkę danych przesyłaną do niego przedstawiono na **rysunku 2**. Po wysłaniu adresu układu musi nastąpić wysłanie subadresu, który jest niczym innym, jak adresem funkcji (rejestr), która będzie poddawana regulacji. Po wysłaniu subadresu musi nastąpić wysłanie danej regulacyjnej dotyczącej przesłanego wcześniej subadresu, a następnie transmisja powinna być zakończona poprzez wysłanie sygnału Stop. Tak jak w przypadku wielu innych układów sterowanych magistralą I²C, istnieje możliwość włączenia autoinkrementacji bajtu subadresu i wysłania wielu następujących po sobie bajtów danych dla kolejnych funkcji, począwszy

W ofercie AVT*

AVT-5357 A
AVT-5357 UK

Podstawowe informacje:

- Zasilanie: 12...15 VDC, maksymalnie 240 mA (z podświetleniem).
- Częstotliwości pasm regulacyjnych korektora: 62 Hz, 157 Hz, 396 Hz, 1000 Hz, 2510 Hz, 4 kHz, 15 kHz.
- Zakres regulacji: -14...+14 dB z krokiem 1 dB
- Wzmocnienie na wejściu (Pre): -79...0 dB
- Wzmocnienie dla wyjść OUT1/OUT2: -79...1 dB co krokiem co 3 dB
- Rezystancja wejściowa: 100 kΩ ±30%
- Maksymalny poziom napięcia wejściowego: 2,2 VRMS
- Impedancja wyjściowa: 30...120 Ω
- Maksymalny poziom napięcia wyjściowego: 2,2 VRMS
- Rezystancja obciążenia wyjścia: 2 kΩ
- Odstęp sygnału od szumu S/N: 103 dB
- Maksymalne zniekształcenia harmoniczne: 0,1%
- Separacja kanałów: ok. 80 dB

Ustawienia ważniejszych Fusebitów:

CKSEL3...0:	1111
SUT1...0:	11
CKOUT:	1
JTAGEN:	1
CKDIV8:	1
EESAVE:	0

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD1206)

- R1: 22 kΩ
- R2, R3: 4,7 kΩ
- R4: 100 Ω
- R5, R6: 10 kΩ

Kondensatory:

- C1, C2, C5, C21, C24: 10 μF/20 V (tantalowy, typ B, EIA 3528-21)
- C3, C4, C8...C20, C22, C23, C25, C26: 100 nF (SMD1206)
- C6, C7: 22 pF (SMD 1206)

Półprzewodniki:

- U1: 78M09 (DPAK)
- U2: LM1117DT 3.3V (TO220)
- U3: ATmega324P (TQFP44)
- U4: TDA7416 (TQFP44)

IR: TSOP-31236 (odbiornik podczerwieni)

TFT: WF35CTIBDCD# (wyświetlacz TFT, Winstar, szyna danych 16-bitów, kolor 16-bitów, 320x240 pikseli, 3,5", sterownik SSD1963)

D1 - dioda S1A (DO214AC)

Inne:

- Q1 - rezonator kwarcowy 12MHz (niski)
- ZIF1 - złącze typu ZIF do montażu powierzchniowego (raster 0.5 mm, 32-pin, styki od góry)
- ENC - impulsator ze zintegrowanym przyciskiem IN1KEY...IN4KEY - przycisk typu microswitch z oską 25 mm
- PWR - gniazdo męskie kątowe 90°, 2-pin (NSL25-2W)
- IN1...IN4, OUT1, OUT2 - gniazdo męskie kątowe 90°, 3-pin (NSL25-3W)
- J1 - zworka lub rezystor 10 Ω (miejsce połączenia masy analogowej i cyfrowej)

Dodatkowe materiały na CD/FTP:

ftp://ep.com.pl, user: 19891, pass: 428jbr30

- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD/FTP:

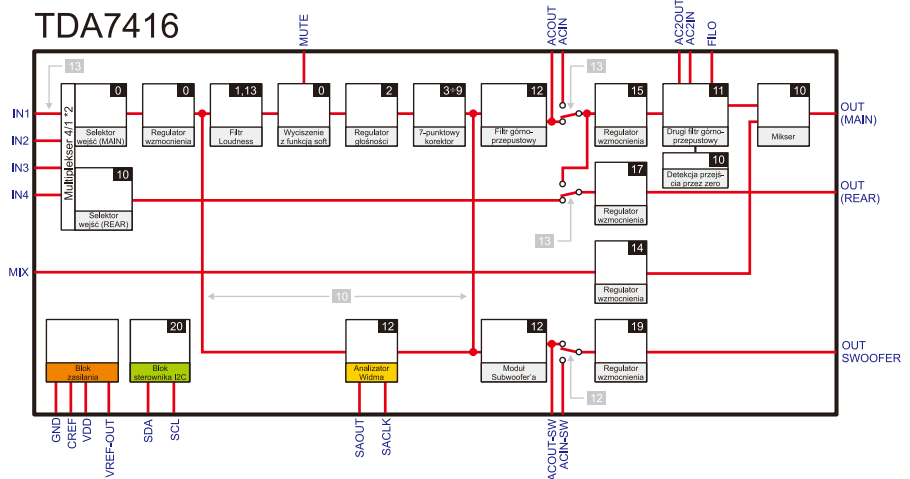
- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-1535 Ekanalizer - Korektor/analyzer sygnału audio (EP 5/2010)
- AVT-2610 Cyfrowy korektor graficzny Equalizer (EdW 12/2001)
- AVT-5035 Korektor i wzmacniacz akustyczny 4x40 W (EP 9/2001)
- AVT-2490 Korektor graficzny equalizer 5-kanałowy (EdW 6/2001)
- AVT-252 Equalizer 7-kanałowy (EP 10/1995)
- Cyfrowy korektor graficzny (EdW 1/2007)
- Przedwzmacniacz stereo - korektor audio (EP 9/1994)

*** Uwaga:**

Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:
AVT xxxx UK - to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A - płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A+ - płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx B - płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wlotowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf
AVT xxxx CD - oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu)

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C)
http://sklep.avt.pl

TDA7416



20 - numer sub-adresu dedykowanego wybranemu modułowi

Rysunek 1. Uproszczony schemat funkcjonalny układu TDA7416 (dla uproszczenia rysunku pokazano jeden kanał stereo)

od funkcji o numerze wysłanym przy pierwszym podaniu parametru „Subaddress”. Za tę funkcjonalność jest odpowiedzialny bit 5 bajtu „Subaddress”. Listę możliwych wartości parametru „Subaddress” wraz z opisem

realizowanych funkcji zamieszczono w **tabeli 1**. Należy podkreślić, iż dla każdej z funkcji przesyłane dane mają inne znaczenie, lecz przytoczenie wszystkich tabel wykraczałoby poza zakres niniejszego artykułu i nie miało



- S - sygnał I²C Start
- ACK - potwierdzenie odbiornika (ACK)
- P - sygnał I²C Stop
- RW - tryb pracy układu TDA7416 (0 - odbiornik, 1 - nadajnik)
- TS - wskaźnik trybu testowego
- AZ - wskaźnik funkcji AutoZero Remain
- AI - wskaźnik autoinkrementacji subadresów
- A4...A0 - adres funkcji regulacyjnej układu (tzw. subadres)

Maksymalna prędkość transmisji 500 kbits/s

Rysunek 2. Ramka transmisji układu TDA7416

Tabela 1. Lista możliwych wartości parametru „Subaddress” wraz z opisem realizowanych funkcji

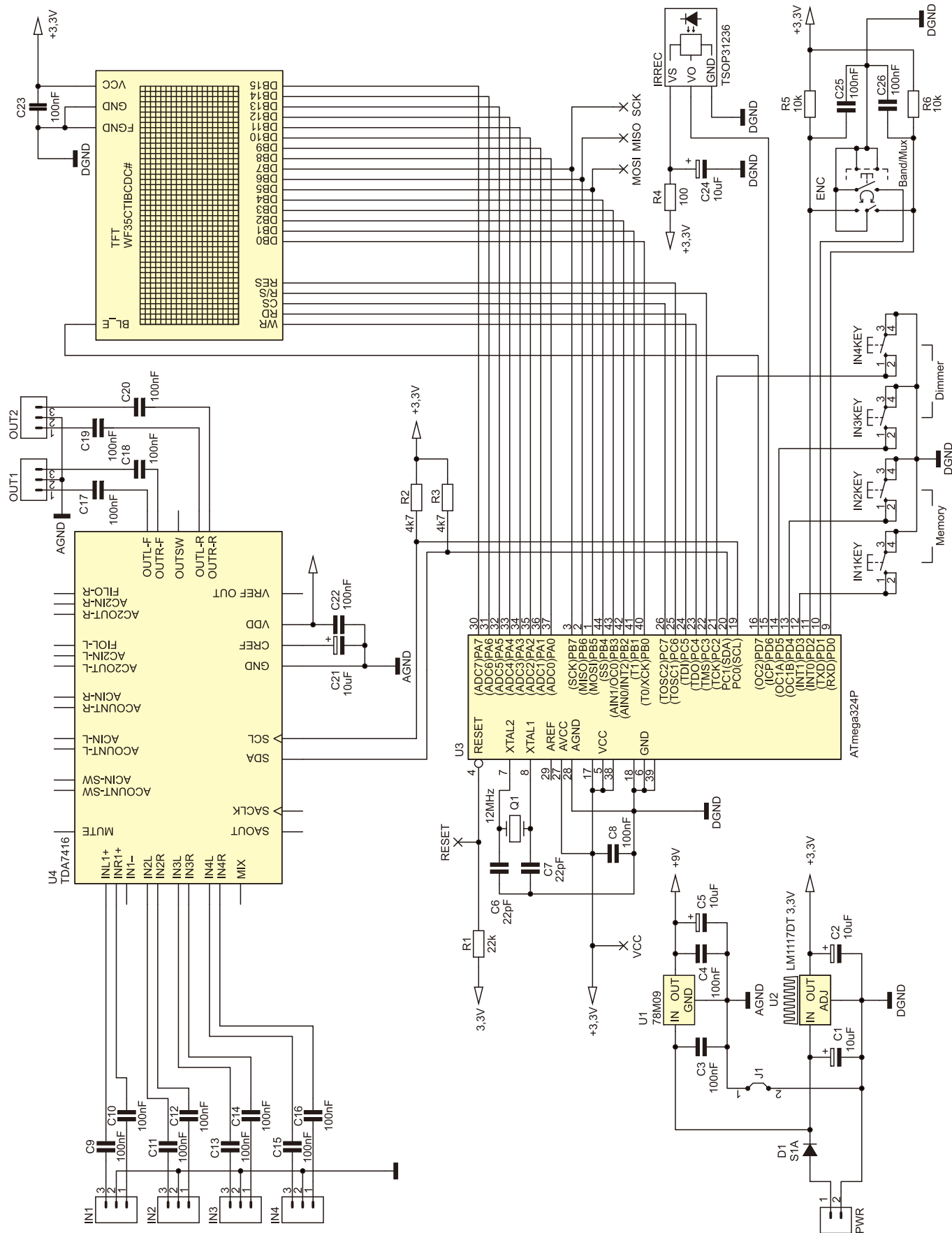
MSB								LSB								Funkcja
TS	AZ	AI	A4	A3	A2	A1	A0									
0/1																Tryb testu (0-wyłączony, 1-włączony)
	0/1															Funkcja AutoZero Remain (0-wyłączona, 1-włączona)
		0/1														Autoinkrementacja subadresów (0-wyłączona, 1-włączona)
			0	0	0	0	0									Wybór źródła sygnału
			0	0	0	0	1									Parametry filtra Loudness
			0	0	0	1	0									Ustawienia głośności
			0	0	0	1	1									Ustawienia dla 1-ego pasma korekcji (62 lub 100Hz)
			0	0	1	0	0									Ustawienia dla 2-ego pasma korekcji (157 Hz)
			0	0	1	0	1									Ustawienia dla 3-ego pasma korekcji (396 Hz)
			0	0	1	1	0									Ustawienia dla 4-ego pasma korekcji (1 kHz)
			0	0	1	1	1									Ustawienia dla 5-ego pasma korekcji (2.51kHz)
			0	1	0	0	0									Ustawienia dla 6-ego pasma korekcji (4 lub 6.34 kHz)
			0	1	0	0	1									Ustawienia dla 7-ego pasma korekcji (15 lub 16 kHz)
			0	1	0	1	0									Ustawienia bloku miksera
			0	1	0	1	1									Ustawienia funkcji SoftMute
			0	1	1	0	0									Ustawienia bloku Subwoofer'a, analizatora widma i filtra górnoprzepustowego
			0	1	1	0	1									Konfiguracja audioprocessora
			0	1	1	1	0									Ustawienia bloku miksera
			0	1	1	1	1									Ustawienia wzmocnienia dla kanału wyjściowego LF
			1	0	0	0	0									Ustawienia wzmocnienia dla kanału wyjściowego RF
			1	0	0	0	1									Ustawienia wzmocnienia dla kanału wyjściowego LR
			1	0	0	1	0									Ustawienia wzmocnienia dla kanału wyjściowego RR
			1	0	0	1	1									Ustawienia wzmocnienia dla kanału wyjściowego subwoofer'a
			1	0	1	0	0									Test audioprocessora

by najmniejszego sensu, gdyż znajdziemy je w dokumentacji producenta.

Aby dopełnić opis układu, trudno nie wspomnieć o analizatorze widma sygnału akustycznego, w który jest wyposażony

TDA7416 zwłaszcza, że jest to interesujące i rzadko spotykane rozwiązanie. Dla realizacji tej funkcjonalności, układ TDA7416 wyposażono w grupę dodatkowych filtrów cyfrowych, układów próbkująco-pamiętaj-

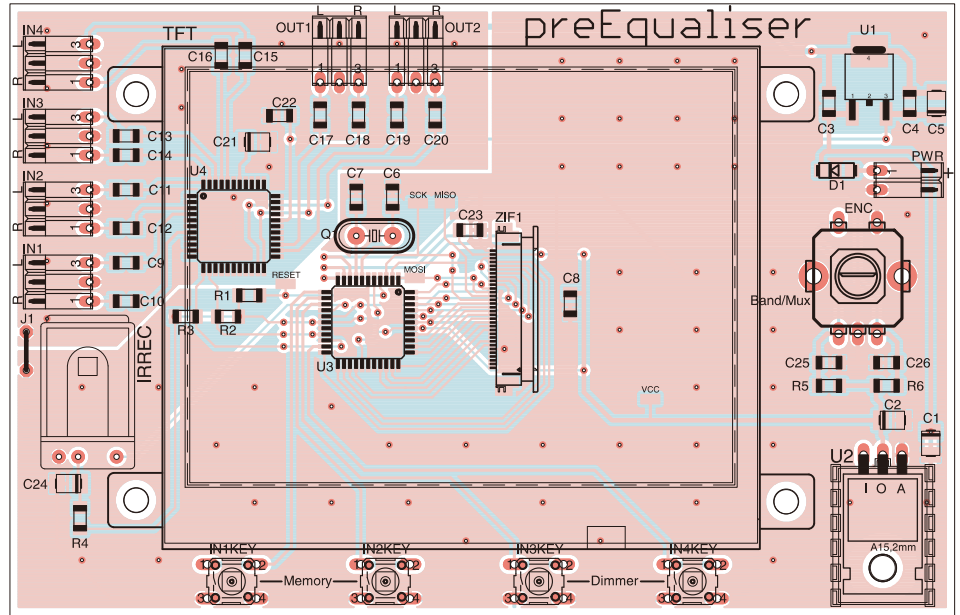
cych oraz specjalny multiplexer analogowy z szeregowym wejściem taktującym. Multiplexer ten, taktowany zewnętrznym sygnałem doprowadzanym na wejście SACLK, służy do dostarczania chwilowego napięcia



Rysunek 3. Schemat ideowy korektora preEqualiser

wyjściowego z wybranego filtra cyfrowego na wyjście SAOUT układu procesora audio. Sygnał ten może być następnie zmierzony za pomocą przetwornika A/C wbudowanego w mikrokontroler, dając informację o chwilowej wartości napięcia dla wybranego pasma analizatora widma.

Znając już dość dokładnie budowę i zasadę działania układu TDA7416 przejdźmy, zatem do schematu urządzenia, który pokazano na **rysunku 3**. Jest to stosunkowo nieskomplikowany system mikroprocesorowy, którego elementem wykonawczym (z punktu widzenia sygnałów audio) jest wspomniany scalony procesor audio, zaś elementem sterującym, nowoczesny mikrokontroler Atmega324P. Mikrokontroler ten odpowiada za sterowanie pracą układu TDA7416 z użyciem sprzętowej magistrali TWI, realizuje obsługę interfejsu podczerwieni standardu RC5 (z wykorzystaniem przerwania `TIMER1_OVF` i `TIMER1_CAPT` oraz własnej implementacji stosownych procedur) i obsługę klawiatury lokalnej, zintegrowanej z enkoderem przeznaczonym do regulacji większości parametrów (z wykorzystaniem przerwania `INT0`), jak również steruje pracą wyświetlacza TFT o rozdzielczości 320×240 pikseli będącego elementem interfejsu użyt-

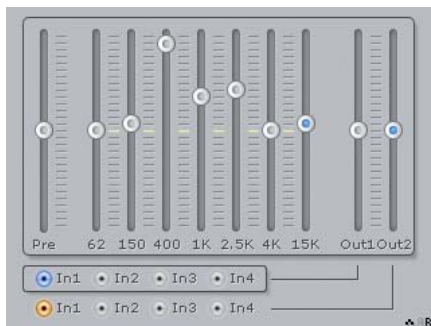


Rysunek 4. Schemat montażowy korektora preEqualiser

kownika. Warto wspomnieć, iż celowo wybrano model wyświetlacza wyposażony w 16-bitową magistralę danych oraz mający 16-bitową głębię koloru. Wymóg ten podyktowany był złożonością graficznego interfejsu użytkownika, a co za tym idzie, wielką liczbą danych składających się na poszczególne obrazki reprezentujące elementy sterujące.

Zastosowanie 16-bitowej magistrali danych oraz 16-bitowej głębi kolorów pozwoliło na znaczne przyspieszenie procesu wczytywania obrazków, a co za tym idzie, usprawniło funkcjonowanie interfejsu użytkownika czyniąc go atrakcyjnym i nowoczesnym.

Mikrokontroler jest taktowany sygnałem generowanym z użyciem zewnętrzne-



Rysunek 5. Wygląd graficznego interfejsu użytkownika urządzenia preEqualiser

go rezonatora kwarcowego o częstotliwości 12 MHz. Wszystkie elementy przeznaczone do wyświetlania przechowywane są w pamięci Flash mikrokontrolera i pomimo że zostały przygotowane z użyciem utworzonego specjalnie w tym celu konwertera (zamiana bitmap na ciąg bajtów informacji o kolorach pikseli w standardzie R(5) G(6) B(5)) to i tak zajmują spory obszar tej pamięci. Na szczęście Atmega324P dysponuje aż 32 kB pamięci Flash, co pozwoliło na bezproblemową implementację wszystkich niezbędnych procedur programowych.

Jak wspomniano, urządzenie wyposażono w dwa interfejsy pozwalające na interakcję po stronie użytkownika: odbiornik podczerwieni standardu RC5 i klawiaturę lokalną, zintegrowaną z impulsatorem przeznaczonym do regulacji aktualnie wybranych parametrów. W tabeli 2 zamieszczono listę obsługiwanych rozkazów wraz z opisem realizowanych funkcji dla obu interfejsów obsługi.

Program obsługi jest typowym rozwiązaniem tego typu aplikacji korzystającym z mechanizmu obsługi zdarzeń, które to ustawiają dedykowaną flagę programową dostępną dla pętli głównej, a przeznaczoną do aktualizacji nastaw układu procesora audio oraz odświeżenia zawartości ekranu. Zdarzenia dotyczące interfejsu podczerwonego w standardzie RC5 obsługiwane są przez 2 procedury obsługi przerwań systemowych: TIMER1_OVF (od przepełnienia zawartości licznika Timer1) i TIMER1_CAPT (od przechwycenia zawartości licznika Timer1). Procedury te odpowiadają za dekodowanie rozkazów skutkiem ich działania jest zmiana stanu zmiennej *Command* widocznej w programie głównym, zawierającej kod odebranego rozkazu. Stan zmiennej jest zmieniany w wypadku odebrania kompletnej i poprawnej ramki danych. Jest ona również modyfikowana w programie głównym jako efekt naciśnięcia odpowiednich przycisków klawiatury lokalnej lub też jako wynik obsługi impulsatora. Wówczas program główny aplikacji przesyła dane sterujące do układu TDA7416 przy użyciu sprzętowej magistrali TWI oraz aktualizuje zawartość wyświetlacza TFT, zmieniając po-

Tabela 2. Lista obsługiwanych rozkazów wraz z opisem realizowanych funkcji dla układu preEqualiser

Odpowiednik na klawiaturze lokalnej	Klawisz na pilocie	Komenda standardu RC5	Opis realizowanej funkcji
IN1KEY	1	1	Wybór wejścia IN1 dla aktywnego multiplexera (OUT1 lub OUT2)
IN2KEY	2	2	Wybór wejścia IN2 dla aktywnego multiplexera (OUT1 lub OUT2)
IN3KEY	3	3	Wybór wejścia IN3 dla aktywnego multiplexera (OUT1 lub OUT2)
IN4KEY	4	4	Wybór wejścia IN4 dla aktywnego multiplexera (OUT1 lub OUT2)
IN1KEY + IN2KEY	TXT czerwony	55	Zapamiętanie nastaw urządzenia (korekcja i konfiguracja wejść)
IN3KEY + IN4KEY	TXT niebieski	52	Zmiana jasności podświetlenia wyświetlacza TFT (2 tryby pracy)
Obrót enkodera w prawo	P+	32	Zmiana regulowanej wielkości (w górę)
Obrót enkodera w lewo	P-	33	Zmiana regulowanej wielkości (w dół)
Krótkie wciśnięcie ośki enkodera	Vol+	16	Wybór regulowanej wielkości (następna)
	Vol-	17	Wybór regulowanej wielkości (poprzednia)
Długie wciśnięcie ośki enkodera	AV	56	Zmiana aktywnego multiplexera (OUT1 lub OUT2)

łożenia odpowiednich obrazków (przy czym porównuje nowe położenie z bieżącym, aby usprawnić działanie aplikacji).

Jako dodatkową funkcjonalność wprowadzono możliwość zapisania i odczytu (w nielotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera) wszystkich nastaw regulacyjnych urządzenia. Zapisane nastawy są każdorazowo wczytywane podczas włączania układu. Przy braku odpowiednich wartości nastąpi ustawienie wszystkich „suwaków” w położenie środkowe oraz, co oczywiste, przesłanie stosownych nastaw do układu procesora audio.

Montaż

Schemat montażowy urządzenia pokazano na rysunku 4. Zbudowano je jako konstrukcję modułową z myślą o implementacji w docelowym urządzeniu audio. Mając to na uwadze, zaprojektowano płytkę drukowaną, która wymiarami jest zbliżona do zastosowanego wyświetlacza TFT.

Montaż rozpocząć należy od przylutowania elementów o najmniejszym rastrze tj. mikrokontrolera, procesora audio i złącza ZIF przeznaczonego do podłączenia taśmy wyświetlacza TFT. Najprostszym sposobem montażu elementów o takim zagęszczeniu wyprowadzeń, niewymagającym jednocześnie posiadania specjalistycznego sprzętu, jest użycie typowej stacji lutowniczej, cyny o dobrej jakości z odpowiednią ilością topnika oraz plecionki rozlutowniczej, która umożliwi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układów. Należy przy tym uważać, by nie uszkodzić termicznie lutowanych elementów. Następnie montujemy pozostałe elementy typu SMD. Tuż przed przykręceniem wyświetlacza do płytki (trzeba użyć słupków dystansujących o od-

powiedniej długości), należy go dołączyć korzystając ze złącza ZIF umieszczonego po stronie elementów i odpowiedniej długości taśmy połączeniowej. Na końcu montujemy elementy przewlekane.

Urządzenie poprawnie zmontowane z użyciem zaprogramowanego mikrokontrolera (warto sprawdzić jakość montażu mikrokontrolera i pozostałych elementów o dużym zagęszczeniu wyprowadzeń) powinno działać już po włączeniu zasilania.

Obsługa

Podstawowym założeniem projektowym była chęć zbudowania możliwie najprostszego a zarazem czytelnego i funkcjonalnego interfejsu użytkownika, korzystającego ze znanych z systemów operacyjnych graficznych elementów regulacyjnych. W ten oto sposób powstał interfejs zaprezentowany na rysunku 5, w którym nastawy dla każdego z pasm korekcji oraz poziomów wzmocnienia symbolizują wirtualne suwaki potencjometrów, a stan pracy obu multiplexerów analogowych, graficzne kontrolki typu „radio button”.

Jak można domyślać się, wszelkich regulacji dokonujemy za pomocą enkodera jak i lokalnej klawiatury oraz przycisku zintegrowanego z osią enkodera. Funkcje poszczególnych elementów regulacyjnych wyszczególniono w tabeli 2. Podano w niej również odpowiadające poszczególnym funkcjom rozkazy interfejsu zdalnego sterowania standardu RC5. Należy zauważyć, iż klawiatura lokalna ma wyższy priorytet w porównaniu do rozkazów wysyłanych zdalnie.

Robert Wołgajew, EP