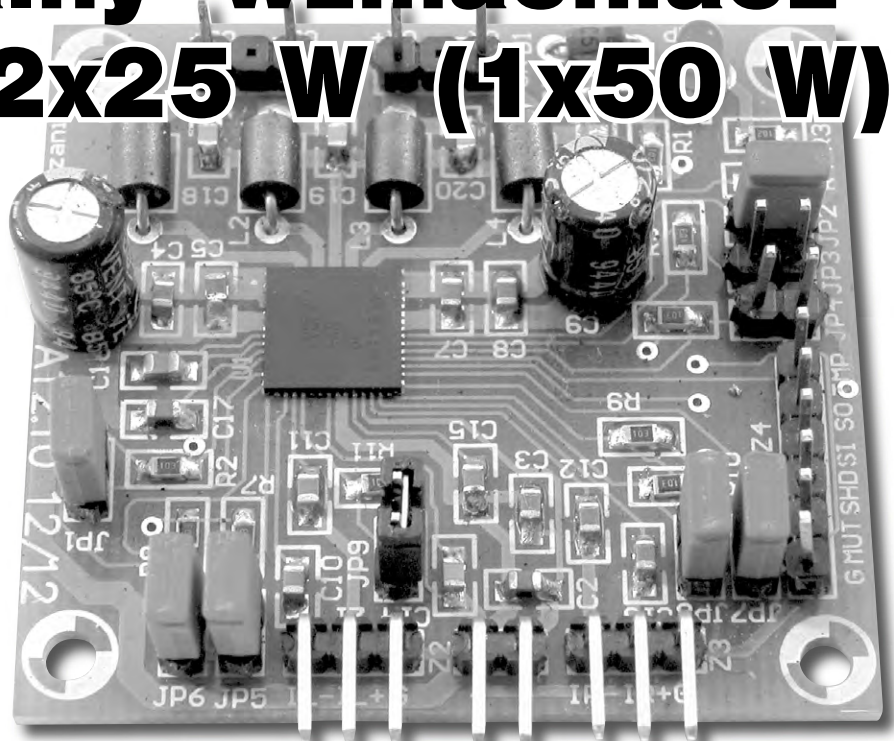


# Uniwersalny wzmacniacz klasy D 2x25 W (1x50 W) AVT-985

Cyfrowe wzmacniacze audio klasy D są coraz częściej wykorzystywane w wielu urządzeniach audio. Dzieje się tak wbrew panującej opinii, że mają one gorsze brzmienie od wzmacniaczy klasycznych, pracujących w klasie AB. Opowiedzieć się o tym jednak nie da, muzyki z takiego wzmacniacza trzeba posłuchać.

## Rekomendacje:

prosta aplikacja dająca wiele możliwości zastosowań, polecamy uwadze tym, którzy potrzebują szybko i tanio zbudować wzmacniacz o dobrych parametrach.



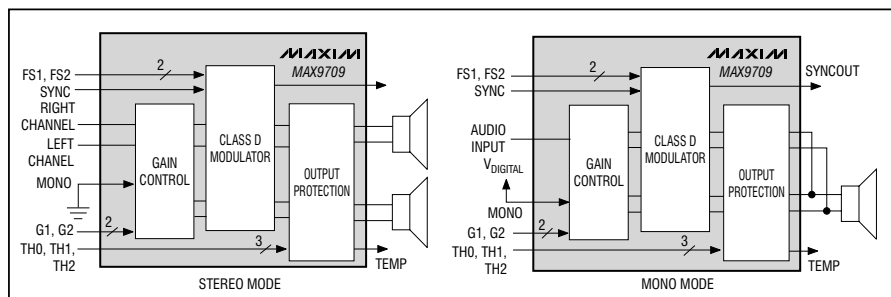
Największą zaletą wzmacniaczy klasy D stosowanych w małych urządzeniach jest ich duża sprawność. W większości przypadków nie jest wymagany radiator, zasilane są pojedynczym napięciem oraz – co ważne – mogą mieć niewielkie wymiary. Wzmacniacze pracujące w klasie D posiadają sprawność bliską 90%. Dla porównania: wzmacniacze pracujące liniowo uzyskują sprawność co najwyżej 60%. Wysoka sprawność wzmacniacza niekoniecznie musi być okupiona znacznym skomplikowaniem jego budowy. Nowoczesne wzmacniacze impulsowe potrafią pracować z kilkoma zaledwie elementami zewnętrznymi, tak jak niektóre wzmacniacze pracujące w klasie AB. Największą wadą większości wzmacniaczy impulsowych jest natomiast konieczność stosowania wyjściowych filtrów dolnoprze-

pustych LC przystosowanych do obciążeń wysokoprądowych. Są jednak również takie wzmacniacze klasy D, w których dzięki zastosowaniu odpowiedniej metody modulacji nie są wymagane dodatkowe filtry dolnoprzepustowe. Wzmacniacz taki charakteryzuje się bardzo prostą konstrukcją, składającą się tylko z kilkunastu elementów.

W artykule zostanie przedstawiony nowoczesny wzmacniacz pracujący w klasie D z wykorzystaniem układu MAX9709 firmy MAXIM. Posiada on dwa kanały o mocy do 2x25 W przy obciążeniu impedancją 8  $\Omega$ . Możliwa jest również praca w układzie mostkowym, w której uzyskuje się moc 50 W przy obciążeniu impedancją 4  $\Omega$ . Proponowany wzmacniacz posiada niewielkie wymiary, nie wymaga wielu elementów zewnętrznych i nie wymaga

## PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach 46x49 mm
- Zasilanie +10...23 VDC
- Moc 2x25 W (przy 8  $\Omega$  i THD 10%)
- Moc w trybie mostkowym 1x50 W (przy 4  $\Omega$  i THD 10%)
- Sprawność do 87%
- Zniekształcenia nieliniowe THD+N: 0,1%
- Modulacja FFM lub SSM
- Zakres programowania wzmocnienia +22 dB...+36 dB
- Wejście MUTE i SHUTDOWN
- Zabezpieczenia: wbudowane zabezpieczenie przeciwzwarciowe wyjść i zabezpieczenie termiczne (konfigurowany czujnik temperatury wzmacniacza)
- Dostępność wejściowych i wyjściowych sygnałów zegarowych wzmacniacza



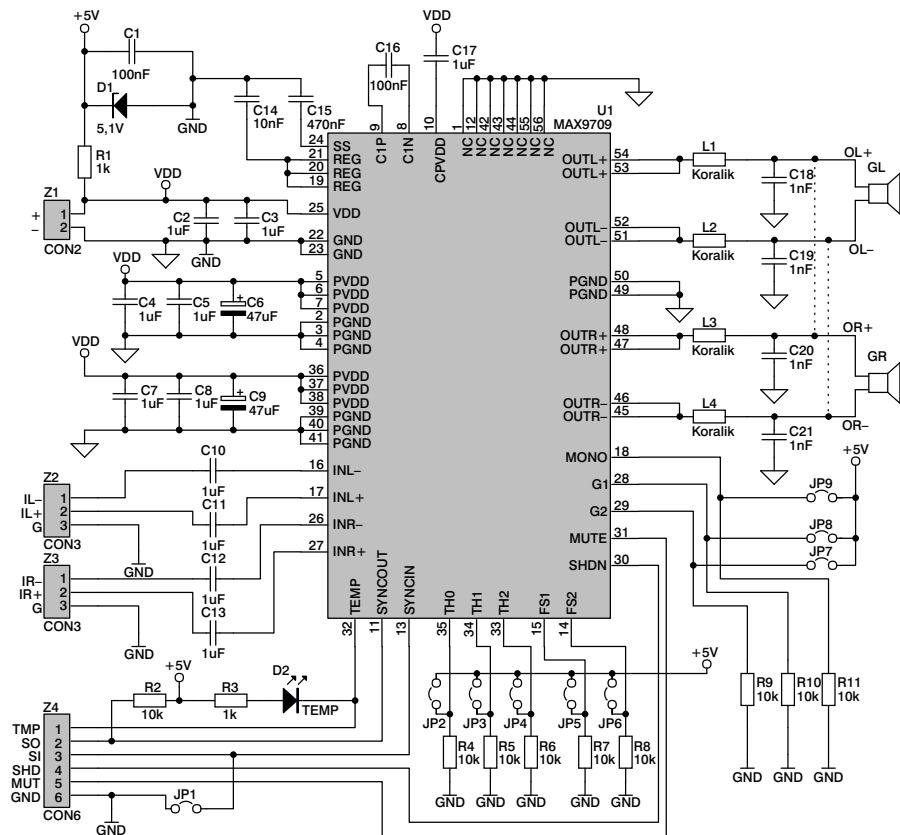
Rys. 1. Schemat blokowy układu MAX9709

dodatkowych filtrów dolnoprzepustowych, co wynika z zastosowania specyficznej modulacji SSM. Sam układ MAX9709 jest dostępny w miniaturowej obudowie TQFN mającej 56 wyprowadzeń. Obudowa posiada wymiary 8x8 mm. Już widać zależność wzmacniaczy D. Mimo tak małej obudowy, układ bez wielu dodatkowych elementów jest w stanie dostarczyć dość dużą moc. Dla praktyków ważne jest również to, że przylutowanie układu w warunkach amatorskich nie stanowi większego problemu, o czym można się będzie przekonać w dalszej części artykułu. Wzmacniacz posiada spore możliwości konfiguracyjne. Można nie tylko wybrać sposób modulacji, ale i wartość wzmocnienia, a także temperaturę włączenia sygnalizacji sensora termicznego. Po jego zadziałaniu może nastąpić wyłączenie lub wyciszenie wzmacniacza. Wzmacniacz posiada dość niskie zniekształcenia nieliniowe THD+N (ok. 0,1%).

Przedstawiony w dalszej części artykułu wzmacniacz może znaleźć wiele zastosowań. Nadaje się na przykład do wbudowania w dowolne urządzenie audio, może nawet zastąpić fabryczny wzmacniacz liniowy. Kolejnym zastosowaniem jest budowa wzmacniacza wielokanałowego, składającego się z kilku wzmacniaczy przedstawionych w artykule. W takim rozwiązaniu, w celu redukcji zakłóceń wszystkie wzmacniacze mogą być taktowane sygnałem zegarowym pochodzącym z jednego, nadrzędnego wzmacniacza. I jeszcze jedno zastosowanie – subwofer. W tym przypadku wzmacniacz powinien być skonfigurowany do pracy w trybie mostkowym. Powyżej przedstawiono tylko kilka wybranych zastosowań wzmacniacza, może ich być o wiele więcej.

## Opis działania układu

Na rys. 1 został pokazany schemat blokowy układu MAX9709 pracującego w konfiguracji wzmacniacza stereofonicznego oraz monofonicznego. Jeśli wzmacniacz ma pracować jako monofoniczny, wyjścia kanałów L i P należy ze sobą połączyć. Wzmacniacz składa się z bloku przedwzmacniacza, modulatora oraz końcówki mocy. Na rys. 2 pokazano schemat ideowy wzmacniacza. Elementy R1, D1 i C1 tworzą prosty stabilizator o napięciu wyjściowym około +5 V. Służy ono do polaryza-



Rys. 2. Schemat elektryczny wzmacniacza

cji cyfrowych linii wzmacniacza, na które nie może być podane napięcie wyższe niż +12 V. Sam wzmacniacz może być zasilany napięciem wyższym od +12 V. Od stanu linii MONO zależy tryb pracy wzmacniacza. Jeśli zostanie zwarta zworka JP9, wzmacniacz będzie pracował w trybie MONO, przy rozwartej zaś w trybie STEREO. Jak już wiemy, trybie MONO wyjścia OUTL+ należy połączyć z OUTP+ i OUTL- z OUTP-. W monofonicznym trybie pracy, sygnał wejściowy audio jest dołączany do wejść INR+ i INR- wzmacniacza. Przy przełączeniu wzmacniacza z trybu MONO do STEREO, należy wcześniej rozewrzeć linie OUT kanałów, gdyż ich zwarcie może spowodować uszkodzenie wzmacniacza. Sygnał z wyjść OUTx wzmacniacza jest dodatkowo filtrowany przez korali L1...L4 oraz kondensatory C18...C21. Kondensatory C2...C9 filtrują napięcia zasilające wzmacniacz, natomiast kondensatory C16 i C17 są wymagane dla poprawnej pracy pompy ładunkowej wzmacniacza. Linia SHDN umożliwia wprowadzenie wzmacniacza w tryb uśpienia. Zwarcie wejścia SHDN do masy, powoduje wyłączenie wzmacniacza i spadek poboru prądu zasilającego poniżej 1  $\mu$ A. Zwarcie

linii MUTE do masy powoduje wyciszenie wzmacniacza (lecz nie wyłączenie). Na linii SHDN i MUTE nie należy podawać napięcia wyższego od 12 V. Aby wzmacniacz pracował, na linii SHDN i MUTE wystarczy podać napięcie +5 V, np. pochodzące z mikrokontrolera, który może sterować cyfrowym przedwzmacniaczem. Wzmacniacz MAX9709 posiada zabezpieczenie przed możliwymi stukami w głośnikach, podczas włączania wzmacniacza lub powrotu z trybu wyciszenia. Wzmacniacz prócz zabezpieczenia przeciwzwarciowego wyjść, posiada też zabezpieczenie termiczne z dodatkowym sensorem temperatury umożliwiającym wybór progu temperatury, którego przekroczenie będzie sygnalizowane. Po przekroczeniu zadanej temperatury, na wyjściu TEMP pojawia się stan niski, który może sterować wejściem SHDN wyłączającym wzmacniacz lub wejściem MUTE wyciszającym go. Linia TEMP może również być monitorowana przez mikrokontroler. W przypadku wyłączenia wzmacniacza linią SHDN, czujnik termiczny jest nadal aktywny, co umożliwi ponowne włączenie wzmacniacza po spadku temperatury do bezpiecznej wartości. Przekroczenie ustawionej temperatury jest do-

**Tab. 1. Konfiguracja układu czujnika termicznego**

Temperatura [°C]	JP4 (TH2)	JP3 (TH1)	JP2 (TH0)
80	0	0	0
90	0	0	1
100	0	1	0
110	0	1	1
120	1	0	0
129	1	0	1
139	1	1	0
158	1	1	1

gdzie:  
 „1” – zworka założona  
 „0” – zworka zdjęta

datkowo sygnalizowane świeceniem diody D2. Za pomocą zworek JP2, JP3 i JP4 można skonfigurować próg sygnalizacji przekroczenia temperatury. W **tab. 1** pokazano możliwe do ustawienia wartości temperatury zadziałania czujnika. Zakres sygnalizacji zawiera się od 80°C do 158°C. Trzeba pamiętać, że wybierając próg 158°C, wcześniej przed czujnikiem temperatury może zadziałać wbudowane we wzmacniacz zabezpieczenie termiczne. Za pomocą zworek JP7 i JP8 można skonfigurować wzmocnienie wzmacniacza. Możliwe do uzyskania za pomocą zworek wartości przedstawiono w **tab. 2**. Zakres wartości wzmocnienia zawiera się od 22 dB do 36 dB, co w zupełności wystarcza nawet przy niewielkich sygnałach podawanych na wejścia wzmacniacza.

W opisywanym wzmacniaczu dostępne są dwa rodzaje modulacji: FFM i SSM. W modulacji FFM widmo sygnału wyjściowego wzmacniacza składa się z podstawowej częstotliwości pracy wzmacniacza oraz związanych z nią harmonicznych. Jest to klasyczna modulacja stosowana we wzmacniaczach klasy D. Można tu wybrać jedną z trzech częstotliwości pracy, której dodatkowe harmoniczne będą tylko minimalnie wpływały na sygnał słyszany z głośników. Częstotliwość pracy

**Tab. 2. Ustalenie wzmocnienia wzmacniacza za pomocą zworek**

JP8 (G1)	JP7 (G2)	Wzmocnienie (dB)
0	1	22
1	1	25
1	0	29,5
0	0	36

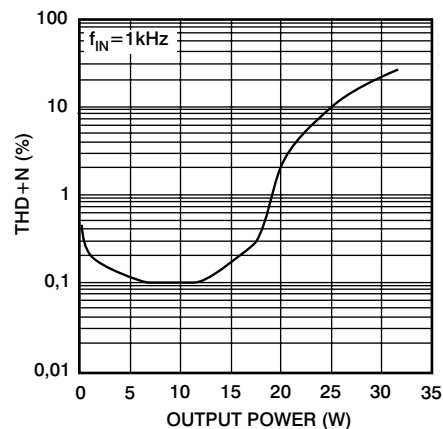
gdzie:  
 „1” – zworka założona  
 „0” – zworka zdjęta

wzmacniacza może zostać zmieniona w dowolnym momencie jego pracy, bez wpływu na sygnał wyjściowy. W trybie pracy z modulacją FFM wymagane są dodatkowe filtry dolnoprzepustowe na wyjściach wzmacniacza ograniczające emisję zakłóceń EMI. Filtry takie nie są konieczne dla modulacji SSM, w której zakłócenia te są już zminimalizowane. Modulacja SSM jest zalecana do pracy z opisywanym wzmacniaczem, gdyż nie posiada on dodatkowych filtrów LC na wyjściu. Swego rodzaju filtrami będą same głośniki dołączone do wzmacniacza. W opatentowanym przez firmę MAXIM trybie SSM częstotliwość pracy wzmacniacza wynosi 200 kHz i zmienia się losowo o  $\pm 4\%$ . Wybór trybu modulacji jest możliwy za pomocą zworek JP5 i JP6. W **tab. 3** pokazano możliwe do uzyskania konfiguracje pracy układu modulacji wzmacniacza. Dla modulacji FFM dostępne są trzy częstotliwości pracy: 160, 200 i 250 kHz. Przy założonych zworkach JP5 i JP6 wzmacniacz będzie pracował z modulacją SSM. Do wejścia SYNCIN wzmacniacza można dołączyć zewnętrzny zegar, który może pochodzić z innego wzmacniacza tego typu. Na linii SYNCIN można też podać zewnętrzny zegar, którego częstotliwość powinna zawierać się między 600 kHz, a 1,2 Hz. W przypadku, gdy na linii SYNCIN nie będzie podawany zewnętrzny sygnał zegarowy, należy ją zewrzeć do masy – służy do tego zworka JP1. Wzmacniacz posiada linię SYNCOUT, na której generowany jest przebieg zegarowy o częstotliwości 4 razy większej od częstotliwości pracy wzmacniacza. Przebieg ten można wykorzystać do taktowania pozostałych wzmacniaczy w przypadku wzmacniacza wielokanałowego. Taka synchroniczna praca umożliwi zmniejszenie generowanych zakłóceń przez każdy ze wzmacniaczy. Wzmacniacz posiada różnicowe wej-

**Tab. 3. Częstotliwość pracy wzmacniacza i rodzaj modulacji**

JP5 (FS1)	JP6 (FS2)	Częstotliwość SYNCOUT [kHz]	Modulacja
0	0	200	FFM
0	1	250	FFM
1	0	160	FFM
1	1	200 ( $\pm 4$ )	SSM

gdzie:  
 „1” – zworka założona  
 „0” – zworka zdjęta

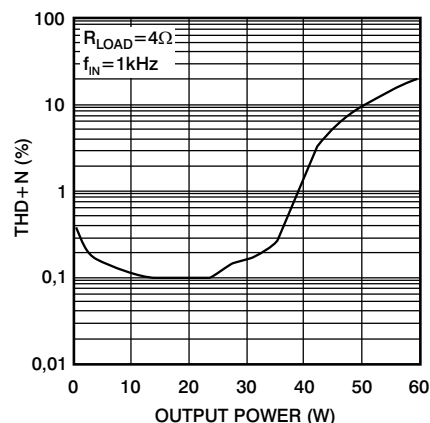

**Rys. 3. Zależność zniekształceń w funkcji mocy dla pracy STEREO**

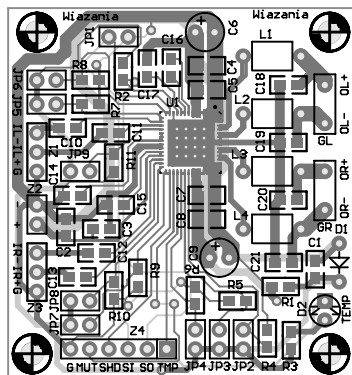
ścia dla sygnału audio. W przypadku niesymetrycznych źródeł sygnału audio, wejścia INL- i INP- należy dołączyć do masy, a sygnał audio doprowadzić do wejść INL+ i INP+.

Na **rys. 3** pokazano zależność zniekształceń nieliniowych wzmacniacza od wartości mocy wyjściowej dla wzmacniacza pracującego w konfiguracji STEREO. Z charakterystyki widać, że wzmacniacz w dużym przedziale mocy posiada dość małe zniekształcenia nieliniowe, zwiększające się dopiero przy mocach większych od 20 W. Na **rys. 4** pokazano analogiczną charakterystykę dla pracy monofonicznej, przy obciążeniu głośnikiem o impedancji 4  $\Omega$ .

## Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz należy zmontować na płytce drukowanej zgodnie z **rys. 5**. Największym problemem podczas montażu wzmacniacza będzie wlutowanie układu MAX9709, co należy wykonać w pierwszej kolejności. Ze względu na to, że układ został umieszczony w obudowie TQFN, do jego wlutowania

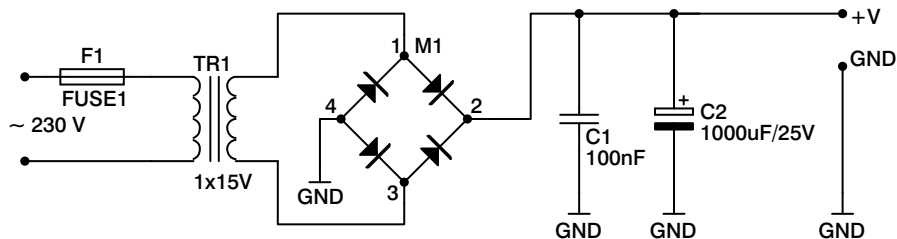

**Rys. 4. Zależność zniekształceń w funkcji mocy dla pracy MONO**



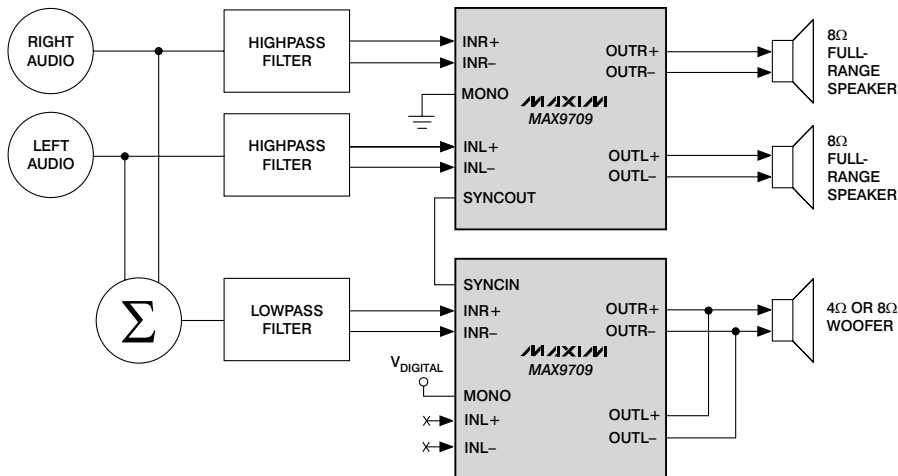
Rys. 5. Schemat montażowy

potrzebna będzie lutownica na gorące powietrze oraz topnik. Pierwszą czynnością godną polecenia będzie pocynowanie pól lutowniczych pod układ U1. Następnie należy nanieść na nie sporą ilość topnika, po czym można przyłożyć do pól lutowniczych układ wzmacniacza, dokładnie go pozycjonując. Po odpowiednim ustawieniu układu, można go przygnieść od góry i podgrzać pola lutownicze gorącym powietrzem z lutownicy. Po odpowiednim podgrzaniu, pola lutownicze powinny się połączyć z końcówkami układu. Producent zaleca nie przekraczać temperatury 300°C przez czas dłuższy niż 10 sekund, gdyż może się to skończyć uszkodzeniem wzmacniacza. Wlutowanie wzmacniacza będzie wymagało dużo precyzji i staranności, ale jest możliwe nawet w warunkach amatorskich. Montaż pozostałych elementów przebiega już typowo i nie powinno być z tym żadnych problemów.

Do zasilania wzmacniacza można wykorzystać dowolny zasilacz napięcia stałego o wartości od 10 do 23 V. Na rys. 6 pokazano przykładowy schemat zasilacza, jaki można zastosować w opisywanym wzmacniaczu. Układ powinien pracować poprawnie od razu po zmontowaniu. Jeśli nie będą wykorzystywane linie SHDN i MUTE, należy je dołączyć do linii TEMP, która zmienia stan na niski podczas przekroczenia przez wzmacniacz ustawionej temperatury. Wtedy po zadziałaniu czujnika temperatury wzmacniacz zostanie wyłączony, co zasygnalizuje zapalenie się diody D2. Po ostygnięciu, wzmacniacz powróci do normalnej pracy. Liniami SHDN czy MUTE może również sterować mikrokontroler.



Rys. 6. Przykładowy zasilacz wzmacniacza



Rys. 7. Przykładowa realizacja wzmacniacza wielokanałowego

Skonfigurowanie wzmacniacza nie jest skomplikowane i sprowadza się będzie do jednokrotnego wyboru wzmocnienia, sposobu modulacji oraz ustalenia temperatury po przekroczeniu której wzmacniacz może być wyłączany. Jeśli będzie wykorzystywana praca MONO, należy założyć zworkę JP9 i złączyć wyjścia kanału prawego z kanałem lewym. Jeśli wzmacniacz nie będzie taktowany sygnałem z innego wzmacniacza, należy również założyć zworkę JP1. W przypadku modulacji FFM zalecane jest zastosowanie na wyjściach wzmacniacza filtrów, których sposób dobrania został dokładnie opisany w dokumentacji układu MAX9709. Na rys. 7 pokazano przykład realizacji wzmacniacza wielokanałowego 2.1. Jeden wzmacniacz pracuje jako stereofoniczny, a drugi wzmacniacz steruje subwoferem, pracując jako monofoniczny o podwojonej mocy. Warto zauważyć, że wzmacniacz monofoniczny jest taktowany sygnałem zegarowym z wyjścia SYNCOUT wzmacniacza stereofonicznego. W przypadku opisywanego wzmacniacza, gdyby był taktowany sygnałem zegarowym z innego wzmacniacza, nie należy zakładać zworki JP1. Wyjście SYNCOUT wzmacniacza monofonicznego z rys. 7 może taktować kolejny

wzmacniacz. W ten prosty sposób, możliwe jest wykonanie wzmacniacza 5.1, a nawet 6.1 o dość dobrych parametrach. Przedstawiony w artykule wzmacniacz może również znaleźć swoje miejsce w układach przeznaczonych do samochodów.

**Marcin Wiązania, EP**  
marcin.wiazania@ep.com.pl

#### WYKAZ ELEMENTÓW

##### Rezystory

R1, R3: 1 kΩ SMD0805  
R2, R4...R11: 10 kΩ SMD0805

##### Kondensatory

C1, C16: 100 nF SMD0805  
C2...C5, C7, C8, C10...C13, C17:  
1 μF SMD0805  
C6, C9: 47 μF/63 V  
C14: 10 nF SMD0805  
C15: 470 nF SMD0805  
C18...C21: 1 nF SMD0805

##### Półprzewodniki

U1: MAX9709  
D1: dioda Zenera 5,1 V  
D2: dioda LED 3mm czerwona

##### Inne

L1...L4: koralek ferrytowy  
JP1...JP9: Goldpin 1x2 + zworka  
Z1: Goldpin 1x2  
Z2, Z3, GR, GL: Goldpin 1x3  
Z4: Goldpin 1x6