

Scalone wzmacniacze akustyczne (1)

Prędzej czy później każdy elektronik motywowany różnymi powodami konstruuje wzmacniacz małej częstotliwości. Dawniej wiadomo było, że takie urządzenie musi być zbudowane z elementów dyskretnych, z lampową lub tranzystorową końcówką mocy. Pojawienie się układów scalonych znacznie uprościło konstrukcję wzmacniacza, ale jednocześnie ogromny wybór może przyprawić o zawrót głowy. Współcześnie w torze audio używane są nawet mikroprocesory. Dlatego też zdecydowaliśmy się podjąć ten temat i przybliżyć rozwiązania dostępne na rynku. Cykl składa się z dwóch części. W części pierwszej opisujemy układy wysokiej jakości scalonych wzmacniaczy klasy AB, natomiast w części drugiej zajmiemy się wzmacniaczami klasy D, T i słuchawkowymi.

Wzmacniacze akustyczne, nazywane też wzmacniaczami małej częstotliwości, są układami, z którymi zetknął się prawie każdy. Początkowo stosowane były głównie w kinach i odbiornikach radiowych. Rewolucja w muzyce rozrywkowej w latach 50-tych ubiegłego wieku wymusiła rozwój wzmacniaczy gitarowych, a potem wzmacniaczy do instrumentów klawiszowych. Jako konsekwencja powstawał rynek wymagających odbiorców chcących słuchać dobrej jakości nagrań muzycznych. Dodatkowym czynnikiem było wynalezienie i wdrożenie stereofonii oraz wysokiej jakości nośnika – słynnego „czarnego krążka” tj. płyty *Long Play*.

Obecnie wzmacniacze akustyczne stosowane są w wielu urządzeniach, od odtwarzaczy MP3 do wielokanałowych systemów kina domowego, od prostych głośników „komputerowych” do bajecznie drogich, wyrafinowanych, zaawansowanych, stereofonicznych wzmacniaczy dla koneserów. Tak szeroki obszar zastosowań wymusza różne rozwiązania konstrukcyjne.

Konstruktor dobierając układ scalonego wzmacniacza mocy musi rozważyć co najmniej kilka kryteriów:

- parametry techniczne: moc wyjściową, charakter obciążenia, dopuszczalne zniekształcenia, pasmo przenoszonych częstotliwości itd.;
- sposób realizacji: układ scalony, tranzystory, lampy;
- rodzaj zasilania: bateryjne, sieciowe;
- wymagana sprawność wzmacniacza;
- wielkość i ciężar układu;
- cena lub stosunek cena/jakość.

Dla wzmacniaczy z segmentu audiofilskiego pierwszorzędne znaczenie mają bar-

dzo dobre parametry techniczne i ewentualnie sposób realizacji w technice lampowej lub dyskretniej, tranzystorowej. W tym segmencie wielkość, ciężar oraz cena, są zazwyczaj kryteriami drugorzędnymi.

Oczywiście, w stereofonicznych i wielokanałowych wzmacniaczach powszechnego użytku dąży się do uzyskania dobrych parametrów, ale bardzo ważny jest stosunek cena/jakość, ponieważ te urządzenia są produkowane masowo i muszą znajdować się w zasięgu przeciętnych konsumentów, a cenie i parametrami odpowiadać ich gustom.

W ostatnim czasie bardzo się rozwinął segment urządzeń zasilanych bateryjnie, których elementami składowymi są między innymi wzmacniacze małej częstotliwości. Są to przede wszystkim telefony komórkowe oraz odtwarzacze MP3 i MP4. Tu wymaga się uzyskania dużej sprawności przy niskim napięciu zasilania oraz tego, aby urządzenie było małe i lekkie.

Do wyżej wymienionych można dodać jeszcze kilka mniej lub bardziej specyficznych zastosowań, na przykład wzmacniacze do sprzętu *car audio*. Wymaga się od nich sporej mocy wyjściowej przy stosunkowo niskim napięciu zasilania.

Właściwości klas wzmacniaczy

Wzmacniacze akustyczne mogą być wykonywane w różnej technologii i topologii (klasach). Do niedawna najbardziej popularną klasą wzmacniaczy była klasa AB, lecz dziś trudno powiedzieć, czy nie jest nią klasa D. W klasie A elementy czynne (lampy, tranzystory) przewodzą prąd przez cały czas, niezależnie od wartości sygnału wejściowego. Klasa A zapewnia najmniejsze zniekształce-

nia harmoniczne sygnału, ale ma najmniejszą sprawność energetyczną (do 20%). W klasie B elementy czynne nie przewodzą prądu przy braku sygnału wejściowego. Po pojawieniu się sygnału przewodzą one na przemian dodatnią i ujemną jego połówkę. Klasa B pozwala uzyskać dużą sprawność (do 60% przy maksymalnej mocy wyjściowej), ale dla małych sygnałów wprowadzane są stosunkowo duże zniekształcenia, dlatego polaryzacja elementu czynnego w klasie AB jest tak dobrana, że dla małych sygnałów wejściowych wzmacniacz pracuje w klasie A, a dla większych w klasie B, łącząc w ten sposób zalety obu klas.

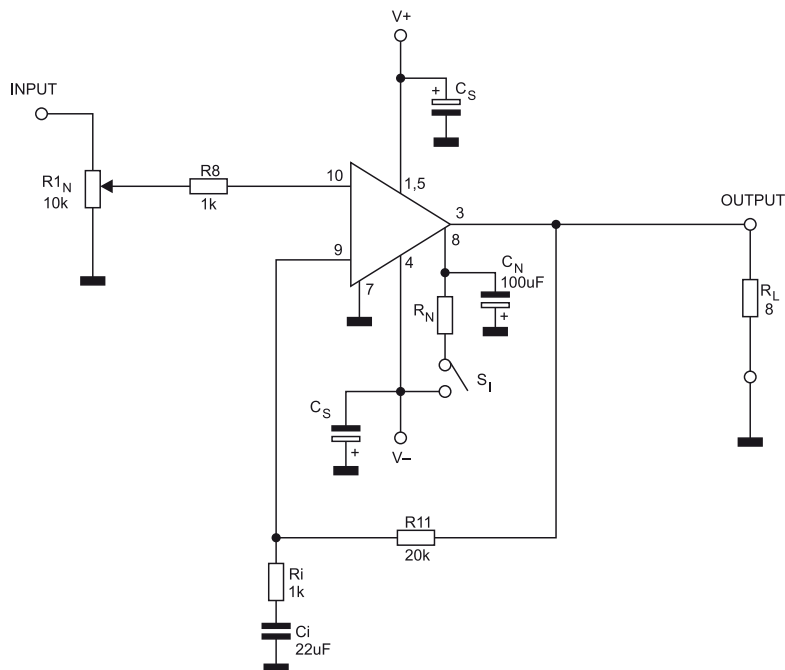
Rozwój technologii układów scalonych umożliwił stosunkowo prostą implementację wzmacniaczy w klasie D. W takt analogowego sygnału wejściowego jest sterowany wyjściowy sygnał mocy PWM o stosunkowo dużej (w porównaniu z sygnałem akustycznym) częstotliwości. Pasywny, dolnoprzepustowy filtr LC na wyjściu wzmacniacza przekształca sygnał PWM w sygnał analogowy. Nowoczesne wzmacniacze klasy D mają tak dobre parametry, że ich wykorzystanie rozważają nawet audiofile. Podstawową zaletą tych wzmacniaczy jest bardzo duża sprawność (do 95%). Dlatego są one chętnie stosowane w sprzęcie z zasilaniem bateryjnym oraz w wielokanałowych końcówkach mocy kina domowego. Klasa D doczekała się różnie nazywanych odmian. Przykładem jest klasa T nazwana tak przez nieistniejącą już firmę Tripath.

Dla zwiększenia mocy wyjściowej wzmacniacze klasy AB i klasy D można łączyć mostkowo. Takie połączenie jest nazywane BTL (*Bridge Tied Load*).

Klasa H została zaprojektowana do wzmacniaczy, które mają ograniczenia napięcia zasilania, na przykład zasilane są z instalacji samochodowej. Dla mniejszych mocy wzmacniacz pracuje w klasie AB. Przy większychysterowaniach napięcie zasilania jest dynamicznie podnoszone – wzmacniacz zasilany jest przez układ przypominającego diodowo-pojemnościowy powielacz napięcia. Oprócz podwyższonej mocy wyjściowej, klasę H wzmacniaczy charakteryzuje również podwyższona sprawność.

Lampowy, tranzystorowy czy scalony?

Ujmując rzecz historycznie, pierwsze wzmacniacze lampowe, mimo sporego szu-



Rys. 1. Schemat aplikacji układu LM3886

mu medialnego, są stosowane marginalnie i głównie przez entuzjastów. Największa ich zaleta tzw. lampowe brzmienie nie jest w stanie zrekompensować wielu wad: małej mocy wyjściowej, kosztownej budowy i bardzo małej sprawności energetycznej, wynikającej z konieczności żarzenia lamp. Wzmacniacze te są również kłopotliwe w eksploatacji. Delikatne i mocno nagrzane lampy wymagają od użytkownika większej uwagi niż w przypadku konstrukcji opartych na półprzewodnikach.

Wzmacniacze tranzystorowe są stosowane szeroko głównie w sprzęcie powszechnego użytku wysokiej i średniej klasy oraz w sprzęcie estradowym. Ich zaletami są możliwość uzyskania bardzo dobrych parametrów i wysokiej mocy. Jako elementy wyjściowe stosowane są tranzystory bipolarne, tranzystory unipolarne MOS lub tranzystory IGBT. Wzmacniacze te budowane są głównie w klasie AB.

Wzmacniacz akustyczny jest elementem, który daje się stosunkowo łatwo umieszczać w strukturze układu scalonego. Scalone wzmacniacze mocy są bardzo łatwe w apli-

kacji, mają bardzo dobre parametry i dlatego chętnie są szeroko stosowane

Na rys. 1 przedstawiono aplikację wzmacniacza klasy AB typu LM3886. Żeby zbudować dobry wzmacniacz o mocy ciąglej ok. 60 W potrzeba tylko kilku elementów zewnętrznych! Układ ma wbudowane zabezpieczenia chroniące wzmacniacz przed zwarciami na wyjściu, przed przepięciami i przegrzaniem.

Do niedawna scalone wzmacniacze mocy były produkowane niemal wyłącznie w klasie AB, ale obecnie widać coraz większą ekspansję wzmacniaczy impulsowych klasy D.

Układy scalone do wzmacniaczy audiofilskich

Prezentację scalonych wzmacniaczy akustycznych rozpoczniemy od układów pretendujących do miana konstrukcji audiofilskich. Taki wzmacniacz musi się charakteryzować bardzo dobrymi parametrami elektrycznymi: dużą mocą i niewielkimi zniekształceniami. Duża moc jest niezbędna doysterowania kolumn z głośnikami o małej efektywności.

Kolumny dla audiofilów są często zbudowane z użyciem takich głośników, a przebieg impedancji w funkcji częstotliwości pozostawia wiele do życzenia. Na rynku można znaleźć wiele zestawów głośnikowych określanych jako trudne doysterowania, ale po zastosowaniu odpowiedniego wzmacniacza jakość uzyskiwanego brzmienia jest bardzo dobra.

Przy dzisiejszym stanie techniki wytwarzania układów scalonych wykonanie wzmacniacza o mocy 100 W i bardzo dobrych parametrach elektrycznych nie stanowi większego problemu. Jednak to nie wystarczy w świecie audiofilów. Tam potrzeba czegoś więcej niż parametrów – potrzeba legendy.

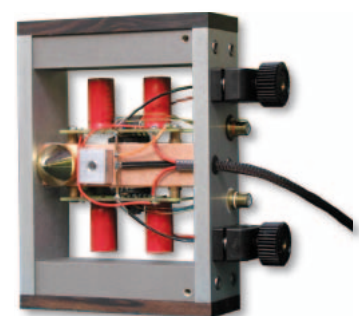
W Polsce bardzo dobrze znane są dwa scalone wzmacniacze mające opinie konstrukcji nadających się do zbudowania wzmacniacza bardzo wysokiej klasy. Są to TDA7294 firmy ST oraz układy z rodziny Overture firmy National Semiconductor (tab. 1).

TDA7294 dobrą opinię zawdzięcza mieszanej technologii. Tranzystory końcowe są wykonane w technologii MOS, a reszta obwodów w technologii bipolarnej. Niektórzy uważają, że tranzystory MOS w stopniu końcowym powodują, że wzmacniacz brzmi „bardziej lampowo” i pewnie stąd ogromna popularność tego układu. Oczywiście jego parametry są bardzo dobre, jednak przypuszczalnie u innych producentów można by było znaleźć podobny układ, ale nie tak „legendarny”.

Popularność układów z rodziny Overture to klasyczny przykład kreowania audiofilskiej legendy. Grupa ludzi skupiona wokół audiofilskich, internetowych grup dyskusyjnych stworzyła konstrukcję nazywaną Gainclone. W dużej ogólności polegała ona na zastosowaniu dobrego, scalonego wzmacniacza mocy i zaaplikowaniu go z wykorzystaniem bardzo drogiej biernych elementów zewnętrznych. Wzmacniacz był budowany metodą montażu przestrzennego (jak w układach lampowych) lub montowany na płytkach ze złożonymi punktami lutowniczymi. Oczywiście, całość musiała być lutowana cyną z dodatkiem srebra. Zbudowany zgodnie z tymi i im podobnymi zasadami Gain-

Tab. 1. Wzmacniacze z rodziny Overture oferowane przez National Semiconductor

Typ	Moc wyj. (R _L =8 Ω, THD=1%) [W]	Moc wyj. (R _L =4 Ω, THD=10%) [W]	Moc wyj. (R _L =8 Ω, THD=10%) [W]	THD [%]	PSRR [dB]	SNR [dB]	Liczba kanałów
LM3886	63	87	78	0,03			1
LM3876	45		56	0,06		98	1
LM4780	55			0,03	120	114	2
LM3875	56	56	70	0,06			1
LM4766	26	53	37	0,06		100	2
LM4781	25			0,02	125	17	3
LM4782	25	40	30	0,2	115	98	3
LM1876	20	29	26	0,08			2
LM4765	30	30	40	0,08			2
LM1875	25		30	0,022	95		1
LM2876	45		50	0,06	125	98	1



Fot. 2. Przykład budowy wzmacniacza Gainclone

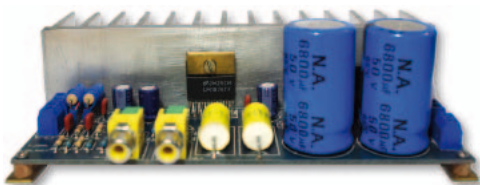
Tab. 2. Wybrane parametry elektryczne układów TDA 7294 i LM3886		
Parametr	TDA7294	LM3886
Napięcie zasilania	Min. ± 10 V maks. ± 40 V	Min. ± 10 V maks. ± 42 V
Moc wyjściowa, ciągła dla $f=1$ kHz	THD+N $\leq 0,5\%$ $U_{ZAS}=\pm 27$ V, $R_L=4 \Omega$, $P_{WY}=70$ W $U_{ZAS}=\pm 35$ V, $R_L=8 \Omega$, $P_{WY}=70$ W	Dla THD+N $\leq 0,1\%$ $U_{ZAS}=\pm 28$ V, $R_L=4 \Omega$, $P_{WY}=60$ W $U_{ZAS}=\pm 28$ V, $R_L=8 \Omega$, $P_{WY}=30$ W
Zniekształcenia THD+N	$P_{WY}=5$ W, $f=1$ kHz, THD+N $\leq 0,005\%$ $P_{WY}=0,1$ W...50 W, $f=20$ Hz...20 kHz, THD+N $\leq 0,1\%$	$P_{WY}=68$ W, $R_L=4 \Omega$ $P_{WY}=34$ W, $R_L=8 \Omega$ $f=20$ Hz...20 kHz THD $\leq 0,03\%$
Prędkość narastania sygnału SR	10 V/ μ s	19 V/ μ s
SVR	$F=100$ Hz $V_{ripple}=0,5$ V _{rms} 75 dB	Brak danych
PSSR	Brak danych	105 dB
CMMR	Brak danych	110 dB
SNR		A-ważony 92,5 dB



Fot. 3. Wzmacniacz z układem TDA7294

lone miał oferować dźwięk porównywalny z dużo droższymi wzmacniaczami budowanymi z elementów dyskretnych. Pojawiały się konstrukcje różnych wzmacniaczy, zależnie od żądanej mocy wyjściowej. Na fot. 2 pokazano przykładowo konstrukcję takiego wzmacniacza wykonanego przez Petera Daniela.

W tab. 2 porównano parametry układów TDA7294 i LM3886 z rodziny Overture. Wypada ono lekko na korzyść układu LM3886, jednak różnice są niewielkie i raczej ktoś o przeciętnym słuchu nie będzie w stanie rozróżnić brzmienia obu wzmacniaczy. Osobną sprawą jest subiektywna ocena brzmienia wzmacniaczy zbudowanych w oparciu o te układy. Każdy z nich ma tylu swoich zagorzałych zwolenników, co i przeciwników. Osobiście zbudowałem i użytkuję wzmacniacze z układami TDA7294 i LM1876 (fot. 3 i fot. 4). Jest to wzmacniacz Overture o mniejszej mocy, ale o bardzo pozostałych parametrach podobnych do LM3886. Przy takim samym źródle sygnału i kolumnach, różnice przy normalnym słuchaniu muzyki są prawie niezauważalne. Jednak gdybym miał wybierać, to subiektywnie wybrałbym LM1876.



Fot. 4. Wzmacniacz z układem LM1876



Fot. 5. Wzmacniacz z historycznymi już dziś układami STK032

Oprócz scalonych wzmacniaczy w sprzęcie audio wyższej jakości chętnie są stosowane wzmacniacze hybrydowe. Są to klasyczne układy zbudowane z elementów dyskretnych na płytkach drukowanych zamkniętych w obudowach z wyprowadzeniami w jednym rzędzie. Elementy bierne są najczęściej wykonane w technice SMD. Tranzystory wyjściowe mogą być pozbawione własnej obudowy, a ich struktura jest bezpośrednio przyklejona do metalowej części obudowy przykręcanej do radiatora. Obecnie głównym producentem układów hybrydowych jest firma Sanyo. Kiedyś na jej licencji były produkowane w Polsce układy GML025 i GML026 stosowane w krajowym sprzęcie, między innymi w amplitunerach Elisabeth, Merkur i Amator. Hybrydowe wzmacniacze Sanyo typu STK4042 lub STK4044 były stosowane w ostatnich wzmacniaczach Diory WS504 i WS704.

Firma Sanyo do dziś produkuje wzmacniacze hybrydowe. Przykładem może być wzmacniacz STK404-230E o mocy wyjściowej 150 W i parametrach porównywalnych

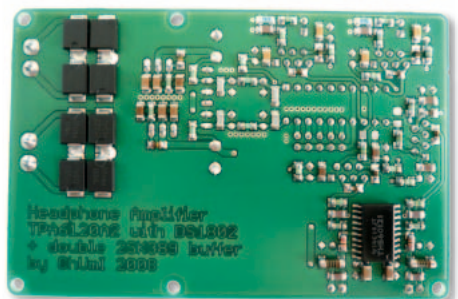
Tab. 3. Podstawowe parametry wzmacniacza STK4044II	
Parametr	STK4044II
Napięcie zasilania	± 51 V
Moc wyjściowa P_o	THD=0,4%, $f=20$ Hz...20 kHz $R_{WY}=100$ W przy $R_L=8 \Omega$
Pasma przeniesienia	$P_{WY}=1$ W 20 Hz...50 kHz dla spadku -3 dB
THD	$P_{WY}=1$ W, $f=1$ kHz THD $\leq 0,3\%$

z STK4044II. Na fot. 5 pokazano wzmacniacz z układem STK032.

O ile stosowanie scalonych wzmacniaczy mocy do sterowania kolumn głośnikowych w segmencie audiofilskim może budzić mieszane uczucia wśród ortodoksyjnych audiofilów, to scalone wzmacniacze słuchawkowe mają już zasłużenie bardzo dobre opinie. Kiedyś słuchawki były sterowane przez wzmacniacz mocy za pomocą osobnego gniazda podłączonego do tego samego wyjścia wzmacniacza co kolumny głośnikowe jedynie przez rezystory zabezpieczające. Najczęściej słuchawki podłączane były poprzez gniazdo jack. Było to zwykle gniazdo z wyłącznikiem, więc po włożeniu wtyku kolumny głośnikowe były odłączane, a dźwięk był słyszany tylko przez słuchawki. Od jakiegoś czasu dla słuchawek stosuje się oddzielne wzmacniacze o różnej konstrukcji: lampowe, tranzystorowe i z układami scalonymi.

Sterowanie słuchawkami jest z jednej strony łatwiejsze bo ich moc jest zdecydowanie mniejsza niż zestawów głośnikowych. Jednak wysoka jakość przetworników słuchawek z wyższych półek i to że przetworniki są bardzo blisko uszu powoduje, że sygnał ze wzmacniacza musi być wolny od szumów i przydźwięków oraz jakichkolwiek innych zniekształceń. Impedancja słuchawek wysokiej klasy jest różna, zależnie od producenta. Na przykład bardzo dobre słuchawki AKG K-701 mają impedancję ok. 60 Ω , a porównywalne jakością Beyerdynamic DT880Pro 250 Ω , czy Sennheiser HD600 300 Ω . Na rynku można też znaleźć dobre słuchawki o impedancji 600 Ω . Tak szeroki zakres impedancji obciążenia może sprawiać wzmacniaczowi pewne problemy, ale dobre konstrukcje znakomicie radzą sobie z tym problemem.

Dobry wzmacniacz słuchawkowy można zbudować w oparciu o wspomniane wcześniej scalone wzmacniacze mocy. Producenci oferują też specjalizowane układy przeznaczone do tego celu. Szczególnie godny uwagi jest TPA6120 (tab. 4) – specjalizowany wzmacniacz słuchawkowy wysokiej klasy firmy Texas Instruments, który powstał na bazie układu drivera ADSL THS6012. Na bazie tego układu wielu elektroników bu-



Fot. 6. Wzmacniacz słuchawkowy z wykorzystaniem układu TPA6120A2

Tab. 4. Wybrane parametry układu TPA6120A2

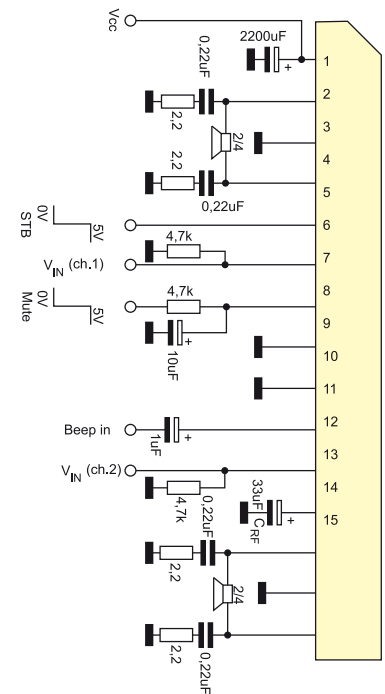
Parametr		Warunki pomiaru	Typ.	Jedn.
THD+N	Zawartość harmonicznych + szum	$P_{wy}=100\text{ mW}$, $R_L=32\ \Omega$, $f=1\text{ kHz}$, $V_{CC}=\pm 15\text{ V}$	0,0006	%
		$P_{wy}=100\text{ mW}$, $R_L=600\ \Omega$, $f=1\text{ kHz}$, $V_{CC}=\pm 15\text{ V}$	0,000065	%
CMRR	Tłumienie zakłóceń trybu wspólnego	$V_{CC}=\pm 15\text{ V}$	100	dB
SR	Czas narostu	$V_{CC}=\pm 15\text{ V}$, $ku=5\text{ V/V}$	1300	Ms
SNR	Stosunek mocy sygnału do mocy szumu	$f=1\text{ kHz}$, $R_L=32\dots 64\ \Omega$, $f=1\text{ kHz}$, $V_{CC}=\pm 12\dots 15\text{ V}$	104	dB

Tab. 5. Wybrane parametry układu LT1210

Parametr	Warunki pomiaru	LT1210			Jedn.
		Min.	Typ.	Maks.	
CMRR	Tłumienie zakłóceń trybu wspólnego	$V_S=\pm 15\text{ V}$, $V_{CM}=\pm 12\text{ V}$	55	62	dB
PSRR	Tłumienie zakłóceń zasilania	$V_S=\pm 5\text{ V}$, $V_{CM}=\pm 2$	50	60	dB
SR	Czas narostu	$T_A=25^\circ\text{C}$, $A_V=2$, $R_I=400\ \Omega$ $T_A=25^\circ\text{C}$, $A_V=2$, $R_I=10\ \Omega$	400	900 900	V/ μs V/ μs
	Wzmocnienie różnicowe	$V_S=\pm 15\text{ V}$, $R_F=750\ \Omega$, $R_G=750\ \Omega$, $R_I=15\ \Omega$		0,3	%
	Faza różnicowa	$V_S=\pm 15\text{ V}$, $R_F=750\ \Omega$, $R_G=750\ \Omega$, $R_I=15\ \Omega$		0,1	°
BW	Pasma przeniesienia	$A_V=2$, $V_S=\pm 15\text{ V}$, $R_F=R_G=680\ \Omega$, $R_I=100\ \Omega$		55	MHz
		$A_V=2$, $V_S=\pm 15\text{ V}$, $R_F=R_G=680\ \Omega$, $R_I=10\ \Omega$		35	MHz

Tab. 6. Wybrane parametry układu OPA552

Parametr	Warunki pomiaru	OPA552UA, PA, FA			Jedn.
		Min.	Typ.	Maks.	
e_n	Zakłócenia (gęstość napięcia szumów, $f=1\text{ kHz}$)		14		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
GBW	Pasma przeniesienia		12		MHz
SR	Czas narostu	$G=5$	± 24		
ST	Czas do ustalenia 0,1%, 0,01%	$G=5$, $C_L=100\text{ pF}$, skokowo 10 V	2,2		μs
			3,0		μs
THD+N	Zawartość harmonicznych + szum	$f=1\text{ kHz}$, $V_O=15\text{ V}_{RMS}$, $R_L=3\text{ k}\Omega$, $G=5$	0,0005		%
		$V_O=15\text{ V}_{RMS}$, $R_L=300\ \Omega$, $G=5$	0,0005		%
CMRR	Tłumienie zakłóceń trybu wspólnego	$-27,5\text{ V} < V_{CM} < +27,5$	92	102	dB



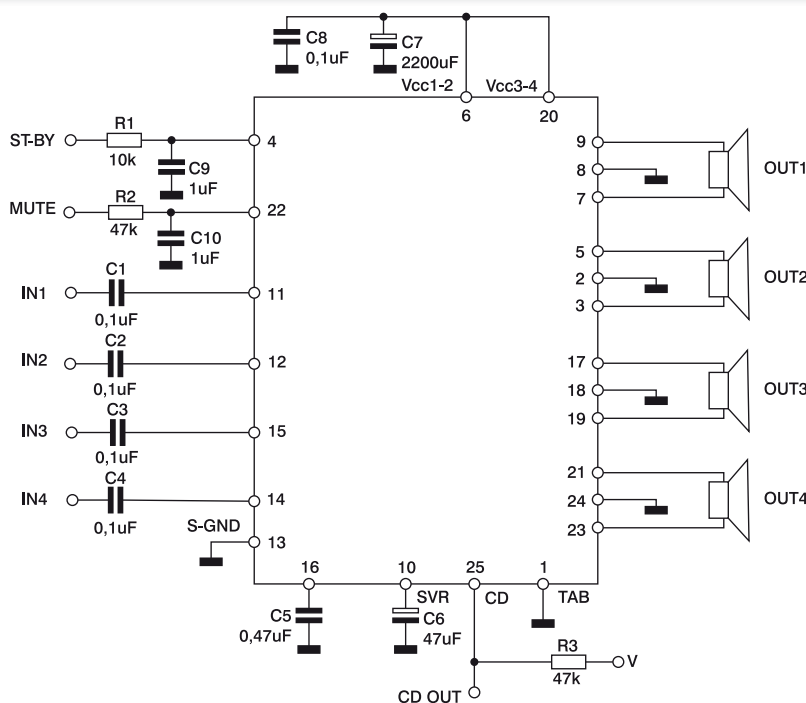
Rys. 8. Typowa aplikacja układu AN7190 firmy Panasonic

duże doskonale wzmacniacze słuchawkowe. Przy konstruowaniu wzmacniacza aby uniknąć problemu jego wzbudzenia się należy przestrzegać kilku zasad podanych w nocie katalogowej producenta. O wzmacniaczach słuchawkowych więcej napiszemy w drugiej części artykułu.

Na fot. 6 pokazano przykład słuchawkowego wzmacniacza mocy DIY zbudowanego z użyciem TPA6120A2. Ma on bardzo dobre parametry, a został zbudowany przez jednego z użytkowników forum dyskusyjnego portalu www.audiostereo.pl. Układ TPA6120 był też wykorzystany w opisywanym w EP wzmacniaczu słuchawkowym z wejściem USB (AVT5170).

Dużą popularnością cieszą się wzmacniacze zbudowane na bazie układów scalonych pierwotnie przeznaczonych do innych zastosowań. Przykładem może być LT1210 firmy Linear Technology, który jest przeznaczony do wzmacniania mocy szerokopasmowych sygnałów na przykład wizyjnych, ADSL itp. Podstawowe parametry układu podano w tab. 5. Ponieważ nie jest to układ przeznaczony do zastosowań w torze audio, to producent nie podaje wielu istotnych parametrów, ale wzmacniacze zbudowane w oparciu o niego oferują również dźwięk niezwykle wysokiej jakości. Do budowy wzmacniaczy słuchawkowych wysokiej klasy stosuje się też wzmacniacze operacyjne z wysokoprędkowym wyjściem i bufory audio.

Wzmacniacz operacyjny OPA552 (tab. 6) produkowany przez Texas Instruments może być zasilany napięciem $\pm 30\text{ V}$, a ciągły prąd wyjściowy to 200 mA. Taki element doskonale nadaje się do budowy wzmacniacza słuchawkowego wysokiej klasy.



Rys. 7. Wzmacniacz 4x28W z układem TDA7854

Przykładem bufora audio doskonale nadającego się do zbudowania stopnia mocy wzmacniacza słuchawkowego jest układ LME49600 produkowany przez firmę National Semiconductor. Do zbudowania kompletnego wzmacniacza niezbędny jest dodatkowy napięciowy stopień wzmacniający. Na fot. 10 pokazano płytkę drukowaną wzmacniacza słuchawkowego z układem LME49600 zbudowanego przez jednego z użytkowników portalu www.audiostereo.pl

Wzmacniacze mocy do odtwarzaczy samochodowych

We wzmacniaczach mocy stosowanych w odtwarzaczach samochodowych moc wyjściowa nie może być dowolnie duża ze względu na ograniczenie napięcia zasilającego. Kiedy pracuje silnik samochodu, to napięcie w instalacji ma wartość ok. 14,4 V. Klasyczny wzmacniacz w klasie AB może przy tym napięciu zasilania oddać do obciążenia szacunkową, maksymalną moc według zależności:

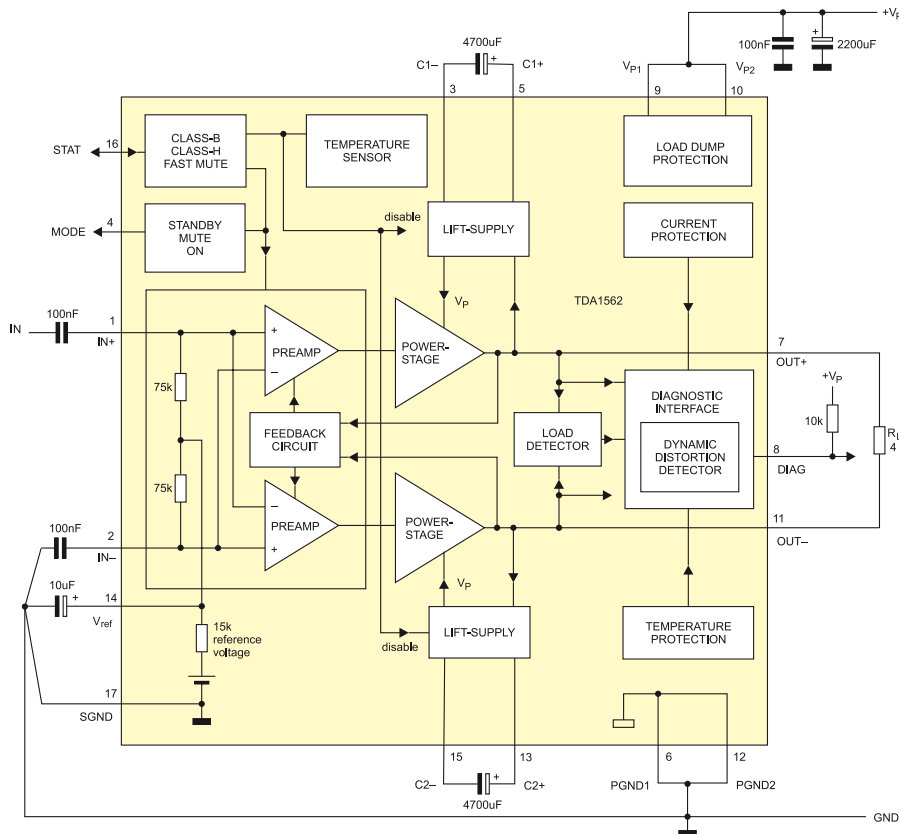
Dla napięcia $U_{ZAS}=14,4\text{ V}$ i $R_{OBC}=8\ \Omega$ maksymalna moc wyjściowa $P_{MAKS.}=6,48\text{ W}$. Żeby uzyskać większą moc można zastosować do zasilania przetwornicę napięcia, głośniki o mniejszej impedancji lub wzmacniacza o innej topologii. Np. dla najbardziej popularnych we wzmacniaczach samochodowych układach mostkowych BTL moc wyjściowa wzmacniacza rośnie dwukrotnie. Wynika to z faktu, że każdą połówkę sygnału wzmacnia osobny wzmacniacz.

Dla wzmacniaczy BTL pracujących w klasie AB i obciążenia $4\ \Omega$ maksymalna moc wzmacniacza zasilanego z instalacji samochodowej to 25 W, która a przy obciążeniu $2\ \Omega$ rośnie do 50 W.

Oprócz połączenia BTL w klasie AB w celu zwiększenia mocy stosuje się przetwornice podwyższające napięcie zasilania klasycznych wzmacniaczy AB, wzmacniacze w kasie H lub w klasie D. Przykład samochodowej instalacji *car audio* przedstawiono na fot. 6.

Wzmacniacze klasy AB

Obecnie do większości standardowych odtwarzaczy samochodowych stosuje się scalone wzmacniacze w klasie AB połączone mostkowo (BTL). Wzmacniacze te są 2- lub 4-kanalowe. 4-kanalowe wzmacniacze są stosowane w samochodach z czterema głośnikami: dwoma z przodu i dwoma z tyłu, do nagłaśniania przestrzeni przeznaczonych dla pasażerów. Nowoczesne wzmacniacze tego typu, ze względu na trudne warunki pracy, są bardzo dobrze zabezpieczone przed przeciążeniem, przegrzaniem i odwrotnym lub zbyt wysokim napięciem zasilania. W wielu nowych konstrukcjach jest stosowana magistrała szeregową (najczęściej I²C) do programowania zabezpieczeń i odczytywania danych diagnostycznych. Ponieważ w praktycznie każdym odtwarzaczu samochodowym jest



Rys. 9. Wzmacniacz klasy H z układem TDA1562

stosowany do sterowania mikrokontroler, to takie rozwiązanie znacznie podnosi walory użytkowe sprzętu.

Scalone wzmacniacze mocy stosowane nie wymagają wielu elementów zewnętrznych. Na rys. 7 pokazano schemat czterokanałowego wzmacniacza o mocy 4x28 W dla obciążenia $4\ \Omega$ z układem TDA7854 produkowanym przez firmę STM.

Jednym z czołowych producentów scalonych wzmacniaczy mocy do nagłośnienia wnętrza samochodów jest firma NXP (dawniej Philips). W tab. 8 zestawiono przykłady wzmacniaczy pracujących w klasie AB i połączeniach mostkowo (BTL). Moc podana w tej tabeli jest mocą sygnału użytecznego dla zniekształceń THD=10% i napięcia za-

silania +14,4 V. Część wzmacniaczy może pracować z napięciem wyższym na przykład +18 V i wtedy moc jest oczywiście większa

Drugim znanym producentem wzmacniaczy samochodowych jest Firma STM (dawniej Thomson). Oferta tej firmy jest bardzo bogata. Podobnie jak układ TDA7294 opisywany wcześniej scalone wzmacniacze tej firmy mają tranzystory mocy wykonane technologii MOS. W tab. 9 jest pokazanych kilka przykładowych układów pracujących w klasie AB

Tego typu układy produkuje wiele firm. Przedstawione tu przykłady dotyczą dwóch znanych w naszym kraju i wywodzących się z Europy firm Philips i Thomson. Równie bogatą ofertę tych układów mają firmy azjaty-

Tab. 7. Wybrane parametry układu LME49600

Parametr	Warunki pomiaru	LME49600		Jedn.
		Typowo	Maksymalnie	
THD+N	$A_V=1, V_{OUT}=3\ V_{RMS}, R_L=32\ \Omega, BW=80kHz, \text{ zamknięta pętla sp. zwrotnego } f=1\text{ kHz}$ $f=20\text{ kHz}$	0,000035	0,0005	% %
SR	$30 \leq BW \leq 180\text{ MHz}, V_{OUT}=20\ V_{P-P}, R_L=100\ \Omega$	2000		V/ μ s
BW	$A_V=-3\text{ dB}$ BW pin: nie podłączony $R_L=100\ \Omega$ $R_L=1\text{ k}\Omega$	100 110		MHz MHz
	$A_V=-3\text{ dB}$ BW pin: zwarty z V_{EE} $R_L=100\ \Omega$ $R_L=1\text{ k}\Omega$	160 180		MHz MHz
Gęstość zakłóceń	$f=10\text{ kHz}$ BW pin: nie pđłączony	3		nV/ \sqrt Hz
	$f=10\text{ kHz}$ BW pin: zwarty z V_{EE}	2,6		nV/ \sqrt Hz

Tab. 8. Przykłady wzmacniaczy samochodowych pracujących w klasie AB firmy STM

Typ	Moc wyjściowa THD=10%	Dodatkowe informacje
TDA7564	4×28 W BTL $R_L=4\ \Omega$ 4×46 W BTL $R_L=2\ \Omega$	Magistrala I ² C: – funkcje standby, enable/disable – programowane wzmocnienie 26...12 dB – diagnostyka układu: wykrywanie przeciążeń, zwarcń, braku obciążenia na wyjściu Rozbudowany system zabezpieczeń przeciwzwarciowych, termicznych i przeciwprzepięciowych.
TDA7854	4×28 W BTL $R_L=4\ \Omega$ 4×48 W BTL $R_L=2\ \Omega$	Funkcje standby i mute Zabezpieczenia: przeciwzwarciowe, termiczne i przeciwprzepięciowe, przed odwrotnym podłączeniem zasilania.
TDA7563A	4×28 W BTL $R_L=4\ \Omega$ 4×50 W BTL $R_L=2\ \Omega$	Magistrala I ² C: – funkcja standby, – pełne sterowanie play/mute dla kanałów front/tył, – nastawa wzmocnienia 12/26 dB, – diagnostyka działania zabezpieczeń. Rozbudowany system zabezpieczeń przeciwzwarciowych, termicznych i przeciwprzepięciowych.

Tab. 9. Przykłady wzmacniaczy samochodowych pracujących w klasie AB firmy NXP

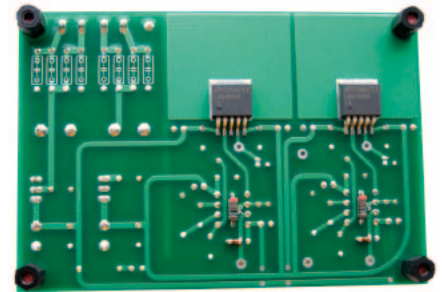
Typ	Moc wyjściowa THD=10%	Dodatkowe informacje
TDA8561Q	4×12 W SE Robc =2 Ω 2×24 W BTL Robc=4 Ω	Zabezpieczenie przeciwzwarciowe, termiczne Wejście Standby
TDA8567Q	4×25 W BTL Robc=4 Ω	Zabezpieczenie przeciwzwarciowe, termiczne i przed odwrotnym połączeniem zasilania Wejście MODE: standby, mute, normal
TDA8571J	4×25 W BTL Robc=4 Ω	Zabezpieczenie przeciwzwarciowe, termiczne i przed odwrotnym połączeniem zasilania Wejście MODE: stanby, mute, normal
TDA8589AJ	4×50 W BTL Robc=2 Ω	Magistrala I ² C Programowane progi sygnalizacji zabezpieczeń termicznych i przeciwzwarciowych Programowany próg detekcji obciążenia wierzchołków sygnału wyjściowego (clip detect) Rozbudowany system zabezpieczeń Wielowyjściowy stabilizator napięcia stałego
TDA8594J	4×50 W BTL Robc=2 Ω	Magistrala I ² C Rozbudowany system programowania progów detekcji zagrożeń. Wykrywanie obciążenie wyjścia. Rozbudowany system zabezpieczeń przeciwzwarciowych i termicznych

kie, a ich układy można dostać bez problemu, bo są używane przez serwisy jako części zamienne. Przykładem mogą być wzmacniacze BTL AN7190 i AN7195 produkowane przez firmę Panasonic. Pierwszy z nich (rys. 8) ma moc (dla THD=10%) 2×20 W przy obciążeniu 4 Ω , a drugi 2×15 W przy obciążeniu 4 Ω . Oczywiście jak przystało na wzmacniacze car audio układy są zabezpieczone przeciwzwarciowo i termicznie.

Scalone wzmacniacze mocy klasy AB przeznaczone do zastosowań w samochodach (car audio) są chętnie stosowane nie tylko w aplikacjach do których zostały zaprojektowane. Duża moc i dość dobre parametry wielokanałowych wzmacniaczy powoduje, że były one chętnie stosowane przez elektroników amatorów we wzmacniaczach wielokanałowych dla systemów kina domowego niższej klasy. Na bazie scalonych wzmacniaczy car audio można też budować dla mniej wymagających użytkowników wzmacniacze stereofoniczne. Są to układy, które doskonale nadają się do rozpoczęcia przygody ze wzmacniaczami mocy przez początkujących elektroników.

Wzmacniacze klasy H

Klasa H powstała, żeby zwiększyć moc wzmacniacza przy ograniczonym napięciu zasilania. Jednym z przykładów wzmacniacza pracującego w klasie H jest układ NXP typu TDA1562 (rys. 9). Topologia wzmacniacza jest oparta o rozwiązanie typu BTL. Przy mocy wyjściowej nie przekraczającej 18 W układ pracuje jak normalny wzmacniacz mostkowy BTL w klasie AB. Powyżej tej mocy uruchamiany jest układ chwilowo podnoszący zasilanie stopni końcowych tak by moc wzmacniacza mogła osiągnąć moc chwilowa ok. 70 W. Przy konstruowaniu tej klasy wzmacniaczy przyjęto, że przy wzmacnianiu sygnału muzycznego wysoka moc jest potrzebna tylko przez niewielką część czasu. W czasie odtwarzania cichych fragmentów wzmacniacz pracuje w klasie AB, a układ podwyższający napięcie jest przygotowywany (ładowany). W czasie odtwarzania impulsów o większej mocy do układu zasilania jest dostarczana energia z kondensatorów układu podwyższającego napięcie. Deklarowana moc 70 W nie jest mocą ciągłą, ale mocą, którą można nazwać muzyczną. W trakcie



Fot. 10. Wzmacniacz słuchawkowy zbudowany w oparciu o bufory LME49600



Fot. 11. Wzmacniacz dużej mocy z zestawem głośnikowym

odtworzenia normalnego materiału muzycznego rzeczywista moc wzmacniacza w klasie H może tutaj być o 50% wyższa od wzmacniacza klasy AB.

Układ TDA1562 podobnie jak inne układy car audio jest prosty w aplikacji. Jedyną różnicą jest konieczność dołączenia do wyprowadzeń dwu kondensatorów elektrolitycznych C1 i C2 układu podwyższającego napięcie zasilania – rys. 4. Wszystkie niezbędne do działania wzmacniacza zawarte są w strukturze układu scalonego.

Trójpoziomym wejściem MODE można ustawić trzy tryby pracy wzmacniacza:

- Stan niski: wyłączenie wzmacniacza standby.
- Stan średni: wyciszenie wzmacniacza MUTE- układ jest włączony, ale brak jest sygnału na wyjściu.
- Stan wysoki: normalna praca.

TDA1562 można przełączać wejściem do pracy tylko w klasie AB, lub w pełnej klasie H.

Jeżeli wejście STAT jest w stanie niskim, to układ jest wyciszony, dla stanu średniego wzmacniacz pracuje tylko w klasie AB, a dla stanu wysokiego w pełnej klasie H.

Wzmacniacze scalone dla tego segmentu to bardzo liczna rodzina. Bardzo podobną konstrukcją mają wzmacniacze stosowane w odbiornikach telewizyjnych i małych popularnych zestawach stereo (małe „wieże”). Jednak w tych zastosowaniach klasyczne wzmacniacze są wypierane przez coraz lepszej jakości wzmacniacze klasy D.

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