

# Scalone wzmacniacze akustyczne (3)

## Wzmacniacze słuchawkowe i klasy D

*Scalone wzmacniacze mocy używane we wzmacniaczach słuchawkowych wysokiej klasy już były opisywane w pierwszej części artykułu. Również wiele wzmacniaczy małej mocy jest przystosowanych do podłączenia słuchawek. Teraz zajmiemy się wzmacniaczami słuchawkowymi o dobrych parametrach, ale przeznaczonymi do sprzętu przenośnego: telefonów komórkowych, odtwarzaczy MP3, MP4, itp. Takie wzmacniacze muszą charakteryzować się niskim napięciem zasilania, bo są przystosowane do zasilania bateryjnego, wysoką sprawnością i małymi wymiarami.*

W **tab. 8** pokazano zestawienie oferty firmy National Semiconductor, a na **rys. 12** pokazano schemat blokowy wzmacniacza LM48860. Mimo pojedynczego zasilania i konfiguracji SE, obciążenie podłączane jest bez kondensatora separującego składową stałą. Normalnie w takich układach na wyjściu wzmacniacza jest napięcie stałe równe poło-

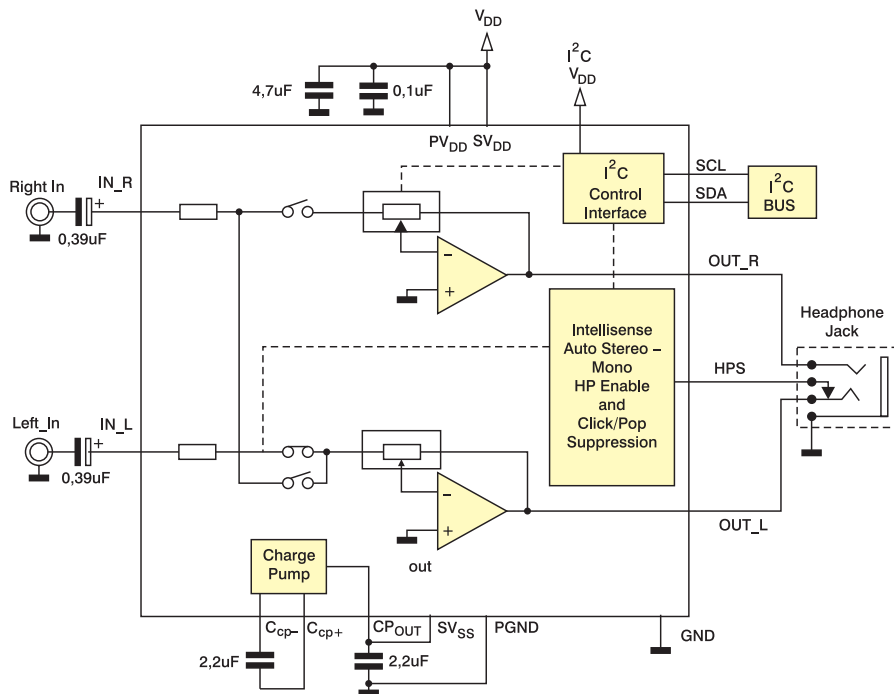
wie napięcia zasilania, jednak w ten układ wbudowano przetwornicę *charge pump* wytwarzającą ujemne napięcie. Dzięki temu wzmacniacze mocy są zasilane symetrycznym napięciem i na wyjściu nie ma napięcia stałego. Brak kondensatorów o zwykle dość dużej pojemności i wymiarach umożliwia miniaturyzację układu wzmacniacza.

LM48860 może być zasilany maksymalnym napięciem 6 V, ale typowe napięcie to 3 V. Dla tego zasilania moc wyjściowa wynosi 40 mW przy THD+N=1%, f=1 kHz i obciążeniu 16 Ω. Zniekształcenia THD+N=0,025% mierzone przy mocy 20 mW, obciążeniu 16 Ω i f=1 kHz, ale dla obciążenia 32 Ω THD+N wynosi 0,014%. Dla układu zasilanego napięciem 3 V parametry są bardzo dobre.

Podobną budowę ma wzmacniacz LM4982 (**rys. 13**), ale dodatkowo jest wyposażony w cyfrowy regulator poziomu sygnału sterowany magistralą I<sup>2</sup>C. Układ jest wzmacniaczem słuchawkowym z rodziny Boomer. LM4982 może automatycznie przełączać się w konfigurację mono/stereo, zależnie od stanu wejścia HPS. Wejście HPS jest podłączane do styku złącza słuchawkowego i jeżeli włożony jest wtyk słuchawek stereo,

Tab. 8. Wzmacniacze słuchawkowe firmy National Semiconductor

Układ	Moc 16 Ω 1% THD [W]	Moc 32 Ω 1% THD [W]	Moc 8 Ω 10% THD [W]	Moc 16 Ω 10% THD [W]	Moc 32 Ω 10% THD [W]	THD [%]	PSSR [dB]	SNR [dB]	kanały
LM4881	0,15	0,092	0,3	0,2	0,11	0,02	50	100	2
LM4480	0,16	0,085	0,325	0,2	0,11	0,02	50		2
LM4809	0,13	0,08	0,18	0,16	0,09	0,03	70	107	2
LM4810	0,13	0,08	0,18	0,16	0,09	0,03	70	107	2
LM4811	0,13		0,18	0,16		0,03	60	106	2
LM4916	0,055		0,1	0,7		0,2	66		2
LM48820	0,095	0,080				0,007	80	100	2
LM48821	0,093	0,079				0,011	82	100	2
LM48822	0,035	0,040				0,04	110	100	2
LM48860	0,04	0,05				0,014	80	105	2
LM48861	0,012	0,013				0,04	83	102	2
LM4808	0,105	0,07		0,15	0,09	0,05	66	105	2
LM4911	0,145	0,085		0,15	0,11		65	110	2
LM4915	0,25	0,12				0,1	65		1
LM4910	0,062	0,035		0,08	0,048	0,3	65	97	2
LM4917	0,097	0,082		0,108	0,108	0,02	70	100	2
LM4920	0,08	0,065				0,03	70	100	2
LM4921		0,05				0,03	70	100	2
LM4924	0,04					0,01	66		2
LM4980	0,042	0,028				0,02	90		2
LM4982	0,047	0,051					66	100	2
LM4985	0,135	0,08				0,08	77		2



Rys. 12. Schemat blokowy układu LM48860

wzmacniacz pracuje w konfiguracji stereo, a po włożeniu wtyku słuchawek mono przelacza się na konfigurację mono. Maksymalna moc wzmacniacza to 51 mW mierzone przy THD+N=1% , f=1 kHz i Robc=32 Ω. Typowo napięcie zasilania wynosi 3,3 V.

Również firma Texas Instruments ma w swojej ofercie wzmacniacze słuchawkowe. Wymieniono je w tab. 9. Jest tu opisywany już wcześniej wzmacniacz TPA6120A2. Wyróżnia się od pozostałych dużą mocą jak na wzmacniacz słuchawkowy (1,5 W na kanał).

Innym przykładem układu o bardzo dobrych parametrach i prostego w aplikacji jest TPA152.

Przy zasilaniu napięciem 5 V i obciążeniu 32 Ω moc wyjściowa wynosi 75 mW, a THD<=0,03%. Dla mocy wyjściowej 75 mW THD+N=0,2% w całym paśmie 20 Hz...20 kHz. Moim zdaniem są to bardzo dobre parametry. TPA6101A2 jest wzmacniaczem specjalnie zaprojektowanym do zasilania bateryjnego. Przy obciążeniu 16 Ω i napięciu zasilania 3,3 V moc wyjściowa wynosi 50 mW. Dla tego samego obciążenia i mocy 40 mW THD+N jest na poziomie 0,08% przy f=1 kHz, a dla całego pasma THD+N jest nie większe niż 0,2%. Układ ma wejście !SHUTDOWN wprowadzające układ w stan wyłączenia. W trybie tym układ pobiera tylko 50 nA.

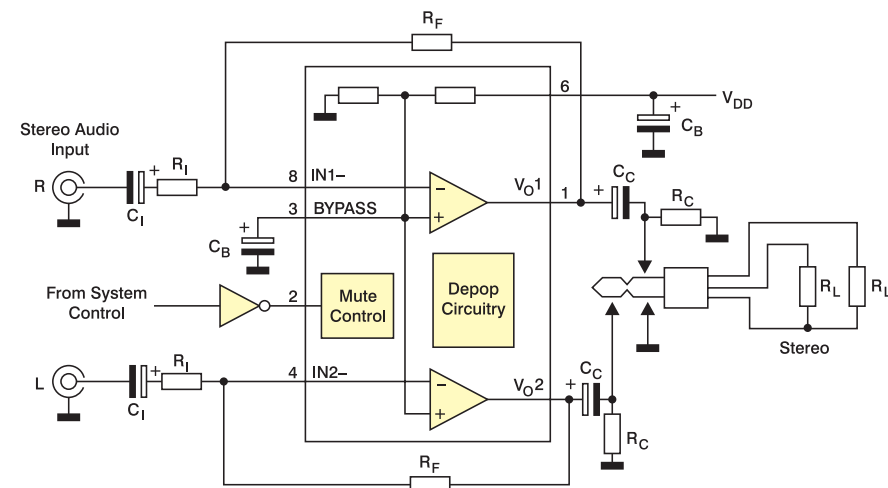
**Wzmacniacze klasy D**

W porównaniu z klasą AB wzmacniacze klasy D są bardziej rozbudowane, ale idea ich działania nie jest zbyt skomplikowana. Analogowy sygnał wejściowy jest konwertowany na sygnał prostokątny o zmiennym współczynniku wypełnienia, czyli sygnał PWM. Ten sygnał jest wzmacniany, a potem ponownie zamieniany na sygnał analogowego przez wyjściowy filtr dolnoprzepustowy LC. W klasycznym układzie wzmacniacza klasy D do konwersji sygnał analogowy na sygnał PWM wykorzystuje się porównywanie przez komparator sygnału analogowego i z sygnałem z generatora przebiegu trójkątnego (rys. 16).

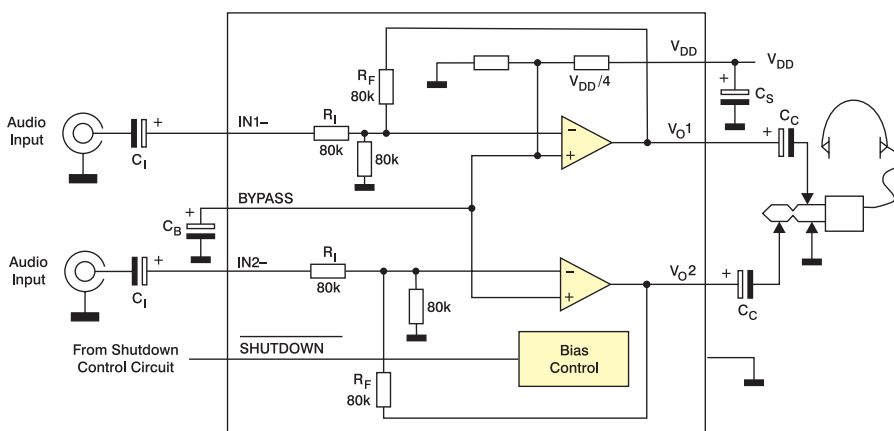
Do pewnego czasu trudno było uzyskać zadowalająco niskie zniekształcenia harmoniczne i poziom szumów (THD+N), co wpływało na niezbyt dobrą jakość dźwięku. W nowych układach ten problem został przynajmniej częściowo pokonany i klasa D zdobywa sobie zwolenników wśród bardziej wymagających użytkowników.

Aplikacja wzmacniacza klasy D jest trudniejsza w porównaniu z klasą AB. Wymaga stosowania dobrej jakości diod i kondensatorów w układzie wyjściowego filtra dolnoprzepustowego. Trzeba sobie zdawać sprawę, że sygnał wyjściowy ma częstotliwość od 250 kHz do 1,5 MHz i bardzo krótkie czasy narastania. Dlatego zewnętrzne filtrowanie dolnoprzepustowe filtrem LC może być źródłem zakłóceń EMI i konieczne jest bardzo staranne projektowanie płytek drukowanych.

Klasa D ma jedną niezaprzeczalną zaletę: bardzo dużą sprawność energetyczną. Można budować wzmacniacze o sporych mocach bez kosztownych zasilaczy i radiatorów. Dlatego obserwuje się ciągle rozwój scalonych wzmacniaczy mocy klasy D. Jednym ze sposobów uproszczenia układu, poprawienia parametrów i znaczącej redukcji zakłóceń EMI jest zastosowanie nowej topologii niewymagającej zewnętrznego filtra LC. Ideę takiego rozwiązania pokazano na rys. 17.



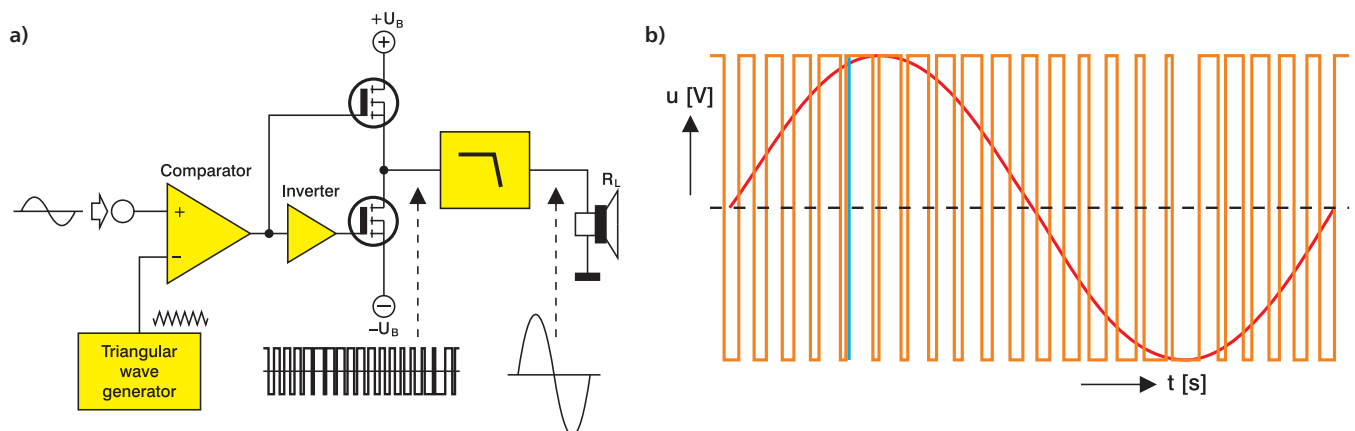
Rys. 13. Wzmacniacz LM4982



Rys. 14. Wzmacniacz TPA152

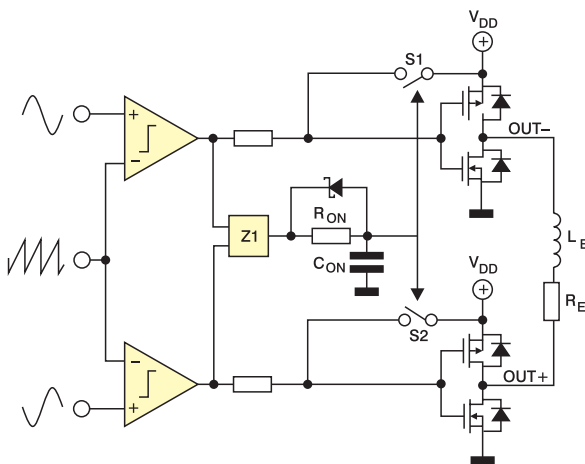
Tab. 9. Wzmacniacze słuchawkowe Firmy Texas Instruments

U	Kanały	Moc wyjściowa [W]	Obciążenie [ $\Omega$ ]	Zasilanie [V]	(połowa mocy maks.) THD 1 kHz (%)	I <sub>q</sub> na kanał (mA)	ISD ( $\mu$ A)	PSSR (dB)	opis
TPA152	2	0,075	32	4,5-5,5	0,007	2,8		81	Wzmacniacz słuchawkowy Hi-Fi stereo
TPA4411	2	0,080	16	1,8-4,5	0,05	3,7	0,1	80	Wzmacniacz słuchawkowy 80 mW Direct Path
TPA6100 A2	2	0,05	16	1,6-3,6	0,1	0,8	0,05	72	Wzmacniacz słuchawkowy 50 mW, niskie napięcie zasilania
TPA6101 A2	2	0,05	16	1,6-3,6	0,1	0,32	0,05	72	Wzmacniacz słuchawkowy 50 mW, niskie napięcie zasilania, stałe wzmocnienie (2 dB)
TPA6102 A2	2	0,05	16	1,6-3,6	0,1	0,32	0,05	72	Wzmacniacz słuchawkowy 50 mW, niskie napięcie zasilania, stałe wzmocnienie (14 dB)
TPA6110 A2	2	0,15	8	2,5-5,5	0,25	0,75	10	83	Wzmacniacz słuchawkowy 150 mW, wyprowadzenia kompatybilne z LM4881
TPA6111 A2	2	0,15	8	2,5-5,5	0,25	0,75	1	83	Wzmacniacz słuchawkowy 150 mW, wyprowadzenia kompatybilne z LM4880 i LM4881
TPA6112 A2	2	0,15	8	2,5-5,5	0,25	0,75	10	83	Wzmacniacz słuchawkowy 150 mW z wejściem symetrycznym
TPA6120 A2	2	1,5	32	10-30		11,5		75	Wzmacniacz słuchawkowy wysokiej jakości
TPA6130A2	2	0,138	16	2,5-5,5	0,008	2	1	109	Wzmacniacz słuchawkowy 138 mW z regulatorem poziomu interfejsem I <sup>2</sup> C

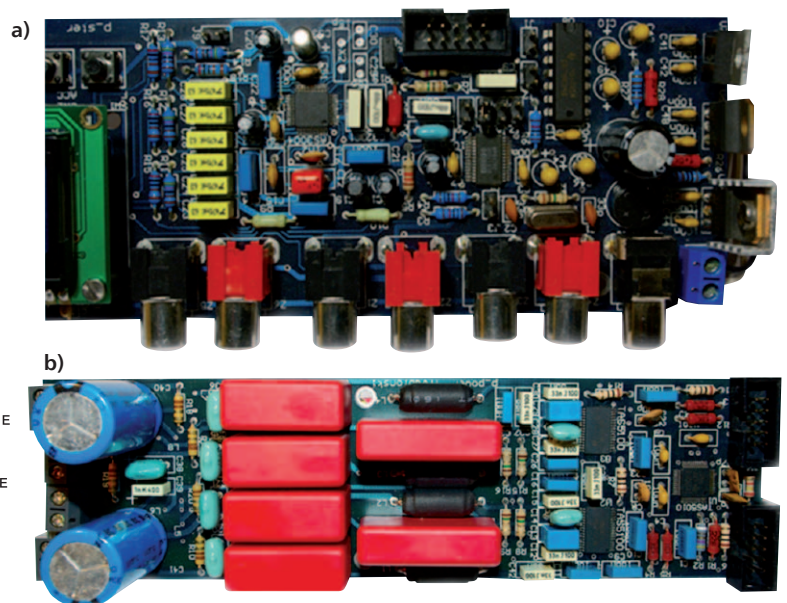


Rys. 15. Wzmacniacz TPA6101A2: a) schemat blokowy wzmacniacza, b) sygnał z wyjścia przed filtrowaniem dolnoprzepustowym

Tor sygnałowy jest podzielony na 2 symetryczne części i ma 2 komparatory. Sygnał audio o odwróconych o 180° fazach (sygnał symetryczny) jest porównywany w komparatorach z sygnałem piłocznym.



Rys. 16. Zasada działania wzmacniacza klasy D



Rys. 17. Wzmacniacz klasy D bez zewnętrznego filtra LC: a) sterownik z układami DIR1703 i TAS3004, b) moduł procesora/konwertera z układem TAS5010 i wzmacniaczami TAS5100

Tab. 10. Wzmacniacze rodziny Pure Path firmy Texas Instruments.

Układ	Kanały	$P_{wy}$ [W]	$RL_{MIN}$ [ $\Omega$ ]	THD [%] 1 kHz, 50% $P_{wy}$	Dyna- mika [dB]	Fs Min kHz	Fs Max kHz	Zasilanie układów cyfro- wych (V)	Zasilanie ukła- dów analog. (V)	Zasilanie ukła- dów mocy (V)	opis
TAS 5162	2	200	3	>0,05	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-50	Stereo 200 W
TAS 5176	2-6	100	3	>0,05	109	192	432	3-3,6	10,8-13,2	40	Stereo 100 W Kanały 5,1
TAS 5182	2	100	6	0,15		192	432	3-3,6	9-12,6	0-42	Stereo 100 W
TAS 5186A	6	30	3	0,07	105	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-40	210 W Kanały 5,1
TAS 5261	1	315		>0,05	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-52,5	Mono 315 W
TAS 5342	2-4	100	2	0,06	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-34	Stereo 100 W
TAS 5342A	2-4	100	2	0,06	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-34	Stereo 100 W
TAS 5342L	2-4	100	2	0,1	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-34	Stereo 100 W
TAS 5342LA	2-4	100	2	0,1	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-34	Stereo 100 W
TAS 5352	2-4	125	2	0,06	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-37	Stereo 125 W
TAS 5102	1-4	20	4	<0,1	105	192	432	3-3,6	8-23		Stereo 20 W
TAS 5102	1-4	15	4	<0,1	105	192	432	3-3,6	8-23		Stereo 15 W
TAS 5111A	1	70	4	0,025	95	192	432	3-3,6	16-30,5	0-30,5	Mono 70 W
TAS 5112A	2	50	6	0,025	95	192	432	3-3,6	16-30,5	0-30,5	Stereo 50 W
TAS 5121	1	100	4	0,05	95	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-32	Mono 100 W
TAS 5121I	1	100	4	0,09	95	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-32	Mono 100 W
TAS 5122	2	30	6	0,05	95	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-32	Stereo 50 W
TAS 5132	2	20	6	0,03	106	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-19	Stereo 20 W
TAS 5142	2	100	2	0,1	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-34	Stereo 100 W
TAS 5152	2	125	2	0,1	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-37	Stereo 125 W
TAS 5352A	2-4	125	2	0,06	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-37	Stereo 125 W
TAS 5601	2-4	20	2	<0,01	96	200	400	3-4,2	10 26		Stereo 20 W
TAS 5601	2-4	20	2	<0,01	96	200	400	3-4,2	10 26		Stereo 20 W
TAS 5516	1-4	300	8	0,04	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-50	Stereo 160 W Mono 300 W
TAS 5531	1-4	600	4	0,04	110	192	432	3-3,6	10,8-13,2	0-50	Stereo 300 W Mono 600 W

Kiedy wyjście obu komparatorów jest w stanie niskim, to wyjścia obu driverów OUT- i OUT+ są w stanie wysokim. Wtedy też wyjście bramki NOR przechodzi stan wysoki, ale to przejście jest opóźniane przez stałą czasową ton określoną wartością elementów Ron i Con. Kiedy po tym opóźnieniu na wyjściu bramki ustali się stan wysoki, wtedy oba klucze S1 i S2 zostaną zwarte i oba wyjścia OUT- i OUT+ przejdą w stan niski. Stan wysoki na wyjściach driverów jest wymuszany tylko na czas określony przez stałą określoną przez Ron i Con, kiedy sygnał na wejściu ma amplitudę zerową. Przy niezzerowych wartościach oba komparatory są

wyzwalane w różnych momentach. Kombinacja stanów na wyjściu komparatorów powoduje, że na jednym z wyjść stan aktywny będzie trwał przez czas zależny od poziomu sygnału, a na drugim czas równy ton.

Takie rozwiązanie umożliwia dołączenie głośnika bezpośrednio do wyjść wzmacniacza i rezygnację z zewnętrznego filtra LC.

Wzmacniacze klasy D mają jeszcze jedną zaletę. Możliwe jest zbudowanie całkowicie cyfrowego toru: od cyfrowego źródła sygnału (np. z płyty CD) do końcowego wzmacniacza klasy D. Takie rozwiązania oferuje na przykład Texas Instruments.

Swego czasu wykonałem taki kompletny tor składający się z odbiornika S/PDIF DIR1703, cyfrowego procesora dźwięku TAS3004, procesora/konwertera PCM/PWM TAS5010 i wzmacniaczy klasy D TAS5100. Wzmacniacz był opisany w „Elektronice Praktycznej” 06 i 07/2006.

Układy zastosowane w tym rozwiązaniu w większości nie są już produkowane, ale Texas Instruments oferuje nowe, bardziej dopracowane układy pozwalające na zbudowanie kompletnego cyfrowego toru audio.

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