

# HiEnd-owy (de)symetryzator audio Uniwersalny moduł symetryczny

kit  
2645  
AVP

## Do czego to służy?

Opisywane moduły przeznaczone są dla szerokiej rzeszy miłośników audio. Wersja droższa zainteresuje wyrafinowanych audiofilów, którzy wykorzystując wzmacniacze mostkowe zechcą sprawdzić właściwości inwertera z najlepszymi dostępnymi obecnie wzmacniaczami operacyjnymi.

Wersja prostsza przeznaczona jest dla wszystkich elektroników, którzy budują wzmacniacze mostkowe i potrzebują modułu, który z jednego sygnału audio zrobi dwa o przeciwnych fazach.

W zasadzie zadanie odwrócenia fazy jest dziecinnie proste – wystarczyłoby do tego jeden wzmacniacz operacyjny. Opisywany układ powstał dla zaspokojenia szczególnej potrzeby. Po opublikowaniu w EdW 6/2001 projektu *Hybrydowy wzmacniacz mostkowy* pojawiła się myśl, żeby wypróbować układ z inwerterem zbudowanym na najwyższej klasy wzmacniaczach operacyjnych. Dodatkowo moduł powinien zawierać obwód czasowy do opóźnionego dołączania głośników.

Po przemysleniu problemu pojawiło się przekonanie, że jeśli już projektować taki moduł, to niech będzie nim uniwersalna płytka, pozwalająca zrealizować także inne, pokrewne zadania.

Podstawowe zastosowanie to inwerter-symetryzator, który z jednego zrobi dwa sygnały o przeciwnych fazach według rysunku 1a. I odwrotnie, z sygnału symetrycznego zrobi sygnał niesymetryczny według rysunku 1b - inaczej mówiąc chodzi o wejściowy beztransformatorowy układ symetryzujący. Symetryczne przesłanie sygnału zapewnia mniejszą czułość na zewnętrzne zakłócenia i jest powszechnie stosowane w technice studyjnej. W profesjonalnym sprzęcie prawie wszystkie wejścia i wyjścia są symetryczne. Choć w wielu urządzeniach profesjonalnych stosowane są transformatory, które dodatkowo zapewniają

izolację galwaniczną, jednak nie zawsze trzeba oddzielać współpracujące urządzenia; najczęściej doskonale zda egzamin (de)symetryzator elektroniczny.

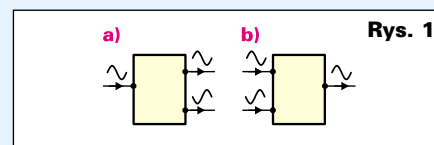
## Jak to działa?

Pierwszy moduł umożliwia wykorzystanie najlepszych współczesnych wzmacniaczy operacyjnych i przeznaczony jest dla miłośników rozwiązań szczytowej klasy. Schemat ideowy tej wersji pokazany jest na rysunku 2. Ponieważ moduł często zasilany będzie napięciem niestabilizowanym zasilającym wzmacniacze, przewidziano dwie diody Zenera D1, D2, które w razie potrzeby zmniejszą napięcie na wejściach stabilizatorów U5, U7 do dopuszczalnej wartości  $\pm 35V$ . Przy napięciu zasilającym poniżej  $\pm 35V$  diody te można zastąpić zworami.

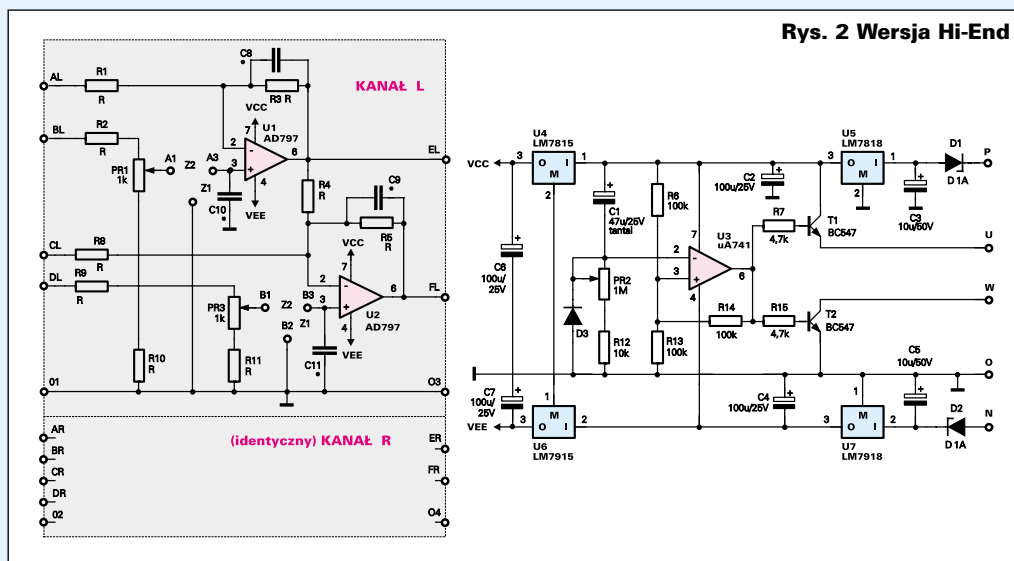
Stabilizacja jest dwustopniowa. Najpierw z niestabilizowanego, tętniącego przebiegu wytwarzane jest napięcie symetryczne  $\pm 18V$ . Mogłoby ono posłużyć wprost do zasilania wzmacniaczy operacyjnych modułu, jednak napięcie to może zawierać minimalne tętnienia i zakłócenia. Aby definitywnie się ich pozbyć, wprowadzono dodatkowe stabilizatory U4, U6. Różnica napięć na wejściach i wyjściach tych stabilizatorów, wynosząca 3V,

całkowicie wystarczy do ich prawidłowej pracy. Dzięki takiemu rozwiązaniu napięcie zasilające jest nie tylko dobrze stabilizowane, ale także zawiera bardzo mało szumów. Pod tym względem popularne stabilizatory 78xx/79xx mają wystarczająco dobre parametry.

Staranna filtracja napięcia zasilającego jest szczególnie ważna w układach najwyższej klasy pracujących z małymi sygnałami, gdzie trzeba uwzględnić wpływ szumów napięcia zasilania i przenikania tego szumu do toru sygnałowego wskutek niedoskonałego współczynnika tłumienia tętnień zasilania (PSRR), zwłaszcza przy wyższych częstotliwościach. Wcale nie chodzi tu o stłumienie tętnień sieci (50Hz i 100Hz), tylko właśnie niedopuszczenie do przejścia wysokoczęstotliwościowych szumów z szyn zasilania do toru sygnałowego. Wpływ na to mają także właściwości zastosowanych wzmacniaczy operacyjnych, a konkretnie ich współczynnika PSRR przy dużych częstotliwościach. W opisywanym module sygnały robocze są duże i można



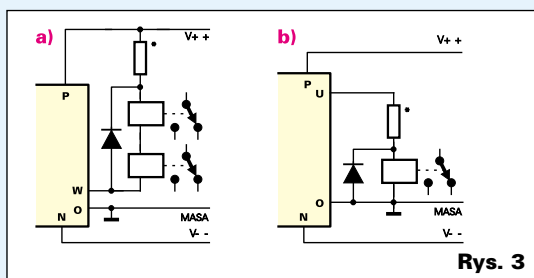
Rys. 1



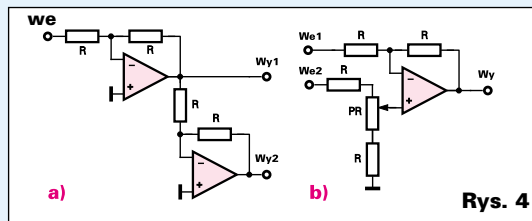
Rys. 2 Wersja Hi-End

wykorzystać różne typy wzmacniaczy operacyjnych. Nawet gdyby ich współczynnik PSRR był słaby, dzięki rozbudowanym obwodom zasilania nie pogorszy to jakości sygnału.

Z obwodami zasilania współpracuje kostka U3. Ten wzmacniacz operacyjny objęty pętlą dodatniego sprzężenia zwrotnego (R6, R13, R14) pełni rolę układu opóźniającego. Czas opóźnienia wyznaczony jest przez pojemność C1 i rezystancję PR2, R12. Transystory T1 i T2 zostają otwarte kilkanaście...kilkadziesiąt sekund po włączeniu napięcia zasilania. Do jednego z punktów U, W można podpiąć przełącznik(-i) dołączający głośniki do wyjścia wzmacniacza. Dioda D3 jest potrzebna do szybkiego rozładowania C1 po wyłączeniu zasilania. **Rysunek 3** pokazuje przykłady dołączenia przełączników.



kondensatorów w torze sygnału. Ponieważ cały układ jest w pełni symetryczny, nie ma potrzeby stosowania takich kondensatorów. Gdyby okazały się potrzebne, można je włączyć na wejściach. Będą to oczywiście kondensatory foliowe MKT, a nie żadne „elektrolity”.



dołączyć równolegle do R3 i R5 kondensatory 3pF (C8, C9), co skutecznie usunęło skłonność do samowzbudzenia i dało płaską charakterystykę, przy czym szybkość zmian napięcia nie pogorszyła się i wynosiła, zgodnie z katalogiem, 20V/μs. Z rezystorami o wartości 1,82kΩ 0,5% (takie akurat były pod ręką) tendencji do samowzbudzenia praktycznie nie było, niemniej aby uzyskać idealnie płaską charakterystykę, pojemność C8 i C9 trzeba zwiększyć do 10...15pF.

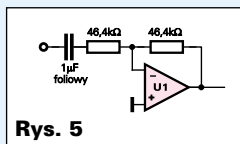
Można sprawdzić właściwości z innymi typami układów scalonych U1, U2. Różnorodne wzmacniacze operacyjne firmy Analog Devices dostępne są u krajowych dystrybutorów, m.in. w poznańskiej firmie Alfine ([www.alfine.com.pl](http://www.alfine.com.pl)). Przeprowadzono też próby z bardzo szybką kostką AD817. Dała ona rewelacyjną szybkość narastania napięcia, nieco ponad 180V/μs. Czy jest ona naprawdę potrzebna, audiofile mogą sprawdzić osobiście (ani cyfrowe, ani analogowe źródła nie dadzą sygnału o takiej stromości zboczy). Tu z rezystorami 1,82kΩ dla uzyskania dokładnie płaskiej charakterystyki trzeba było dodać kondensatory 3pF, które zlikwidowały niewielkie podbicie w zakresie megahercowym.

Właściwy układ symetryzująco-desymetryzujący zawiera dwa identyczne kanały (L - lewy, R - prawy), gdzie pracują cztery wzmacniacze operacyjne U1, U2 i sieć jednokowych rezystorów – ich wartość może wynosić 1kΩ...50kΩ. Numeracja elementów w obu kanałach jest identyczna. Każdy kanał ma aż cztery wejścia (punkty A, B, C, D) i dwa wyjścia (punkty E, F). **Nigdy wszystkie nie będą wykorzystane i nigdy nie będą montowane wszystkie rezystory i potencjometry.** **Rysunek 4** pokazuje elementy inwertera-symetryzatora i desymetryzatora. W układzie desymetryzatora przewidziano potencjometry montażowe, umożliwiające dokładne zrównoważenie układu (o wartości około 30...100 razy mniejszej od użytej wartości rezystorów R). W większości przypadków nie będą one montowane, a ich wyprowadzenia trzeba zewrzeć – z powodzeniem wystarczy zastosowanie precyzyjnych rezystorów o tolerancji 1%, ewentualnie dodatkowo dobranych parami (R1,R2; R2,R10; R8,R5; R9,R11) za pomocą cyfrowego miernika. W wersjach najprostszych moduł pozwoli zrealizować aż cztery niezależne torry. Oprócz funkcji inwertera do wzmacniacza mostkowego, układ może realizować funkcję symetrycznego wyjścia i wejścia, zastępując kosztowne układy z transformatorami. Jeśli obciążenie miałoby wtedy charakter pojemnościowy (np. długie kable), należy sprawdzić czy układ nie ma skłonności do oscylacji - warto na tak obciążonych wyjściach wzmacniaczy operacyjnych umieścić dodatkowe rezystory szeregowo (100Ω...1kΩ).

W module nie przewidziano wejściowych kondensatorów separujących. Puryści unikają

Jak pokazuje **rysunek 5**, przy wartości rezystorów równej 46,4kΩ już pojemność 1μF da znakomitą częstotliwość graniczną poniżej 5Hz. Właśnie ze względu na możliwość dodania kondensatorów wejściowych, być może zajdzie potrzeba zastosowania rezystorów o dużej wartości (np. 46,4kΩ). Jeśli kondensatorów wejściowych nie będzie i nie ma innych powodów, warto zdecydowanie zmniejszyć wartość rezystorów do wartości 1kΩ...3kΩ. Zmniejszy to też nieco szumy, ale przy poziomach sygnału rzędu pojedynczych woltów szumy rezystorów nie mają znaczenia.

Moduł został sprawdzony „na przyrządach” zarówno w roli symetryzatora, jak i desymetryzatora z różnymi typami układów scalonych. Przede wszystkim z Rolls-Royce’em – kostką AD797 Analog Devices. Podczas testów okazało się, że trzeba zastosować dodatkowe kondensatory kompensujące (co zresztą jest zgodne z uwagami z karty katalogowej). W symetryzatorze z kostką AD797 i rezystorami 46,4kΩ, by usunąć silną skłonność do samowzbudzenia, trzeba było koniecznie

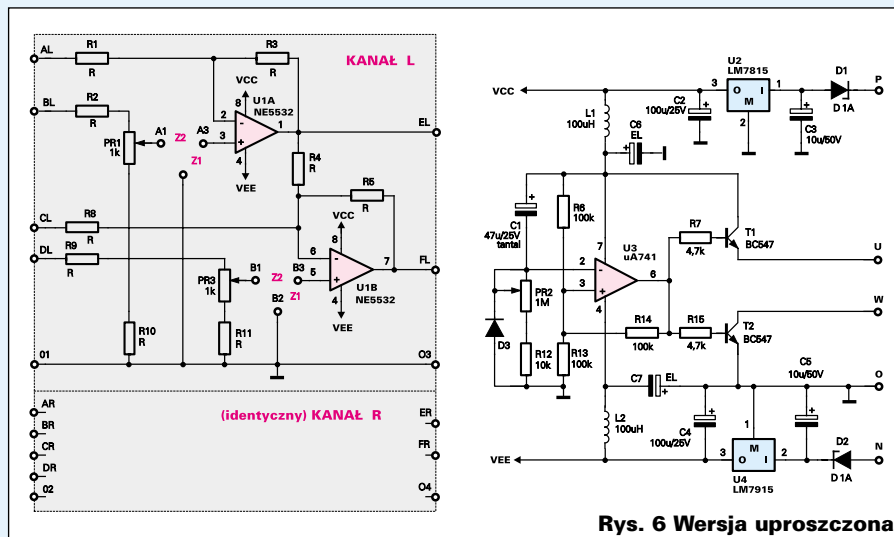


Oczywiście kondensatory te nie są wymagane, bo wpływają na przebieg charakterystyki w zakresie częstotliwości wielokrotnie większych od akustycznych, a i to w niewielkim stopniu. Jednak w układzie dla zaawansowanych audiofilów taka dbałość o szczególności na pewno nie zaszkodzi.

Próby laboratoryjne wykazały, iż nie są wymagane dodatkowe kondensatory filtrujące obwody zasilania wzmacniaczy operacyjnych, umieszczone tuż przy kostkach.

Jeśli ktoś chce, może przylutować takie kondensatory od strony druku (między masą a szynami zasilania).

Ponieważ taki uniwersalny układ zainteresuje nie tylko audiofilów, przewidziano



**Rys. 6 Wersja uproszczona**

drugą wersję modułu z popularnymi i tanimi wzmacniaczami operacyjnymi NE5532, przeznaczonymi właśnie do układów audio lub innymi podwójnymi wzmacniaczami.

Schemat takiej uproszczonej wersji pokazany jest na **rysunku 6**. Dwa kanały audio są identyczne, jak na rysunku 2. Różnica w stosunku do wersji Hi-Endowej polega tylko na uproszczeniu obwodów zasilania. Zamiast dwóch stopni stabilizacji, występuje tylko jeden, a w układzie opóźniającym zastosowano dodatkowe dławiki, które jak pokazały testy, mogą być zastąpione zworami. Testy te wykazały również, iż z kostkami NE5532 i rezystorami R o wartościach z zakresu 1kΩ...4kΩ nie są potrzebne kondensatory kompensujące. Układ wypróbowano także z kostkami LM833, które są bardzo podobne do układów NE5532. Nie zaleca się natomiast stosowania bardzo popularnych kostek TL072, choć od biedy mogłyby być wykorzystane. Znacznie lepsze wyniki osiąga się z niemniej popularnymi i również bardzo tanimi układami NE5532.

### Montaż i uruchomienie

Moduł w wersji Hi-End można zmontować na płytce pokazanej na **rysunku 7**. Nigdy nie będą montowane wszystkie elementy (jak w prototypie na fotografii wstępnej). Zależnie od przeznaczenia, należy zmontować elementy według rysunku 4, nie zapominając o zworach Z1, Z2. Najczęściej rezystory oznaczone R mogą mieć wartość 1kΩ...3kΩ,

byle miały parami jednakowe wartości, najlepiej z dokładnością lepszą niż 1%. Koniecznie trzeba tu zastosować precyzyjne rezystory o tolerancji co najmniej 1%. Z kostką AD797 właściwa pojemność C8, C9 wynosi 15pF, z kostką AD817 – 2,7...3,9pF.

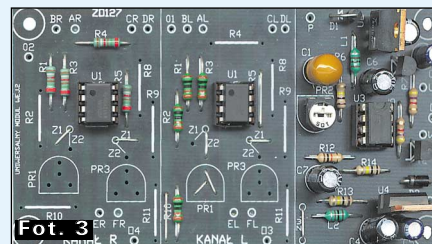
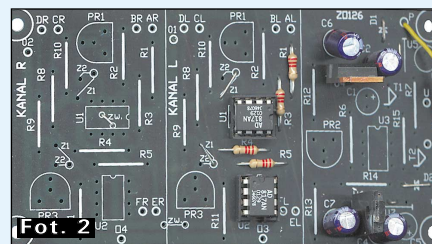
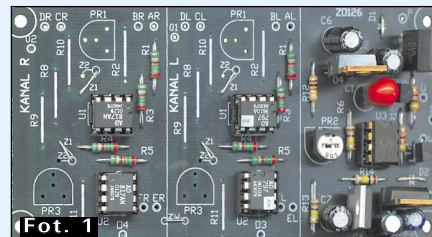
Jeśli ktoś zastępuje jeszcze inne wzmacniacze operacyjne, zechce uzyskać na wyjściach jak najlepszy przebieg prostokątny bez zwiśów i przerzutów, może z pomocą oscyloskopu i generatora przebiegów prostokątnych dobrać kondensatory C8, C9; w większości przypadków nie będą one konieczne.

**Fotografia 1** pokazuje symetryzator do wzmacniacza mostkowego z kostkami AD817 i AD797. Kondensatory kompensujące C8 i C9 (2x3pF i 2x15pF) zostały w tym prototypie dolutowane od strony ścieżek do rezystorów R3 i R5, które mają po 1,82kΩ. Na **fotografii 2** pokazana jest wersja z jednym kanałem, bez układu czasowego.

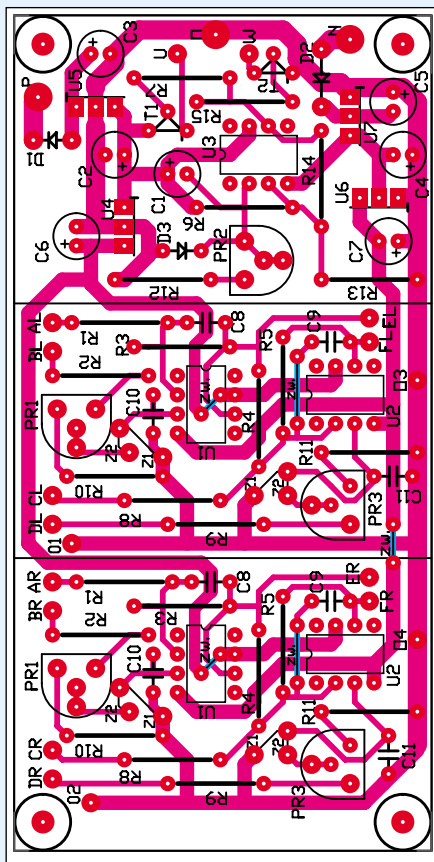
Wersję uproszczoną z rysunku 6 można zmontować na płytce drukowanej pokazanej na **rysunku 8**. Zalecany zakres wartości R to 1...4kΩ (1% lub lepiej); tylko przy większych rezystancjach R (10kΩ...50kΩ) trzeba sprawdzić odpowiedź impulsową i w razie wystąpienia przerzutów dodać niewielkie kondensatory równoległe do R3, R5. W desymetryzatorze w miejsce potencjometrów trzeba wlutować zwory. **Fotografia 3** pokazuje model z kostkami NE5532, w którym

jeden kanał pełni rolę symetrycznego wyjścia, drugi – wejścia.

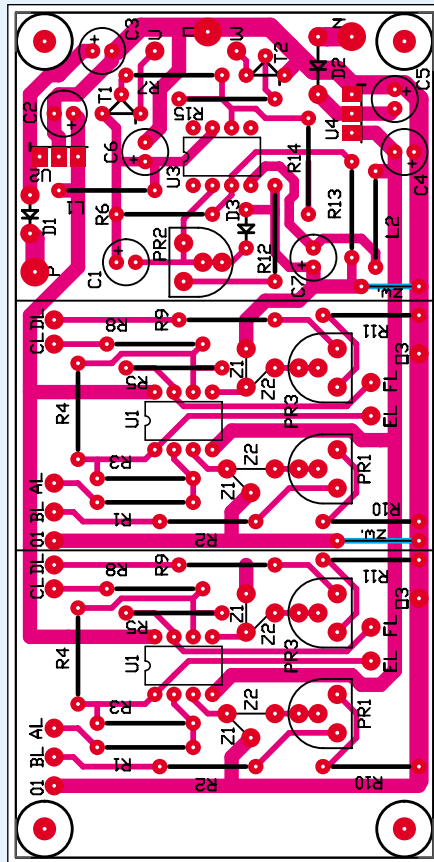
Ryszard Ronikier



Rys. 7 Schemat montażowy (do rys. 2)



Rys. 8 Schemat montażowy (do rys. 6)



### Wykaz elementów:

#### Moduł wejściowy Hi-End wg rys 2:

R12	.....	10kΩ
R1-R5, R8-R11, R1R-R5R, R8R-R11R	.....	1,47kΩ 1% - 9szt. (1kΩ...47k 1%) patrz tekst
R6, R13, R14	.....	100kΩ
R7, R15	.....	4,7kΩ
PR1, PR3, PR1R, PR3R	.....	* patrz tekst
PR2	.....	1MΩ mini
C1	.....	47µF/25V tantalowy
C2, C4, C6, C7	.....	100µF/25V
C3, C5	.....	10µF/50V
C8-C11, C8R-C11R	.....	* patrz tekst
D1, D2	.....	dioda Zenera 1W - patrz tekst
D8	.....	1N4148
T1, T2	.....	BC547
U1, U2, U1R, U2R	.....	AD797
U3	.....	µA741
U4	.....	LM7815
U5	.....	LM7818
U6	.....	LM7915
U7	.....	LM7918

#### Moduł wejściowy z kostkami NE5532 wg rys. 6

R1-R5, R8-R11, R1R-R5R, R8R-R11R	.....	1,47kΩ 1% - 9szt. (1kΩ...47k 1%) patrz tekst
R6, R13, R14	.....	100kΩ
R7, R15	.....	4,7kΩ
R12	.....	10kΩ
PR1, PR3, PR1R, PR3R	.....	* (0,01...0,03°R) patrz tekst
PR2	.....	1MΩ PR
C1	.....	47µF/25V tantalowy
C2, C4, C6, C7	.....	100µF/25V
C3, C5	.....	10µF/50V
D1, D2	.....	dioda Zenera 1W - patrz tekst
D8	.....	1N4148
T1, T2	.....	BC547
U1, U1R	.....	NE5532
U2	.....	LM7815
U3	.....	µA741 lub podobny
U4	.....	LM7915
L1, L2	.....	zwora lub 100µH

Płytki drukowane są dostępne w sieci handlowej AVT jako:  
 AVT-2645/1 - HiEnd-owy (de)symetryzator audio,  
 AVT-2645/2 - Uniwersalny moduł symetryczny