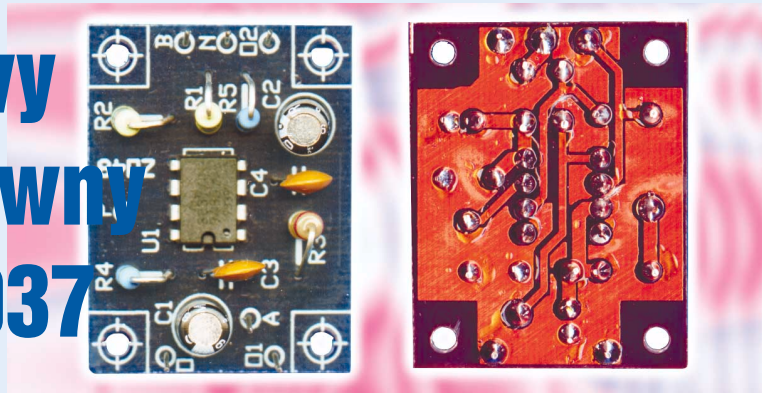




Szerokopasmowy prostownik aktywny z układem AD8037



Do czego to służy?

Jak wskazuje tytuł projektu, prezentowany moduł jest aktywnym prostownikiem dwupółkownym. Od innych prostowników aktywnych odróżniają go ważne cechy:

- może pracować z sygnałami o częstotliwościach ponad 100MHz
- zbudowany jest w oparciu o wzmacniacz operacyjny, ale nie zawiera diod.

Zakres zastosowań modułu jest bardzo szeroki. Zazwyczaj będzie częścią większego urządzenia pomiarowego

Jak to działa?

Schemat ideowy modułu pokazany jest na **rysunku 1**. Na pierwszy rzut oka nic nie wskazuje, że jest to prostownik. Układ połączeń sugeruje raczej, że jest to najzwyczajniejszy wzmacniacz odwracający o wzmacnieniu 1. Cała tajemnica tkwi w wewnętrznej budowie kostki AD8037 (AD8036) i w obwodach końcówki 5, na którą nietypowo podaje się sygnał wyjściowy.

Aby zrozumieć działanie prostownika, trzeba poznać tę interesującą kostkę. Jest to bardzo szybki wzmacniacz operacyjny ze

sprężeniem napięciowym, szerokopasmowy, o małych zniekształceniach, z dwoma tak zwanymi wejściami ograniczającymi. W katalogu opisany jest jako **Voltage Feedback Clamp Amplifier**, gdzie *clamp* wskazuje na funkcję ograniczania. Chodzi tu o ograniczenie zakresu napięć wyjściowych.

W typowym wzmacniaczu operacyjnym napięcie wyjściowe zmienia się w szerokim zakresie i pożądane jest, by zakres tych zmian był jak najszerszy, w idealnym przypadku równy całkowitemu napięciu zasilania. W popularnych wzmacniaczach nie jest aż tak dobrze. Przykładowo przy zasilaniu $\pm 9V$ napięcie na wyjściu może zmieniać się w zakresie $-8,4...+7,5V$. Produkowane są też wzmacniacze operacyjne, określane **rail-to-rail**, gdzie zakres napięć wyjściowych jest tylko nieco mniejszy od napięć zasilania. Zwłaszcza wzmacniacze operacyjne wykonane w technologii CMOS mają przy braku obciążenia zakres napięć wyjściowych różniących się od napięcia zasilania o kilkadziesiąt czy nawet kilkanaście miliwoltów. Wzmacniacze o szerokim zakresie napięć wyjściowych są stosowane zwłaszcza przy niskich napięciach zasilania.

We wzmacniaczu z ograniczeniem (*clamp*) sytuacja jest odwrotna. Tu celowo ogranicza się zakres zmian napięcia wyjściowego. Właśnie do tego służą dwa dodatkowe wejścia. Napięcie wyjściowe będzie zmieniać się tylko w zakresie wyznaczonym przez napięcia stałe podane na te dodatkowe wejścia, które można nazwać progra-

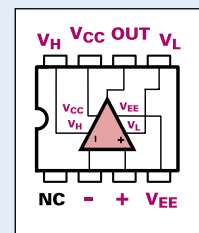
mujującymi. Przykładowo przy zasilaniu $\pm 5V$ i przy podaniu na te wejścia programujące napięć $-1V$ i $+1V$, napięcie wyjściowe będzie się zmieniać jedynie w zakresie $\pm 1V$. Ilustruje to **rysunek 2**, pokazujący przykładową, uproszczoną aplikację wzmacniacza nieodwracającego o wzmacnieniu 2. Sens takiego ograniczania może wydać się dziwny, jednak wzmacniacze ograniczające są wykorzystywane w praktyce.

Na potrzeby opisywanego projektu można stwierdzić w pewnym uproszczeniu, że napięcie wyjściowe nie może być niższe, niż napięcie podane na wejście ograniczające oznaczone V_L .

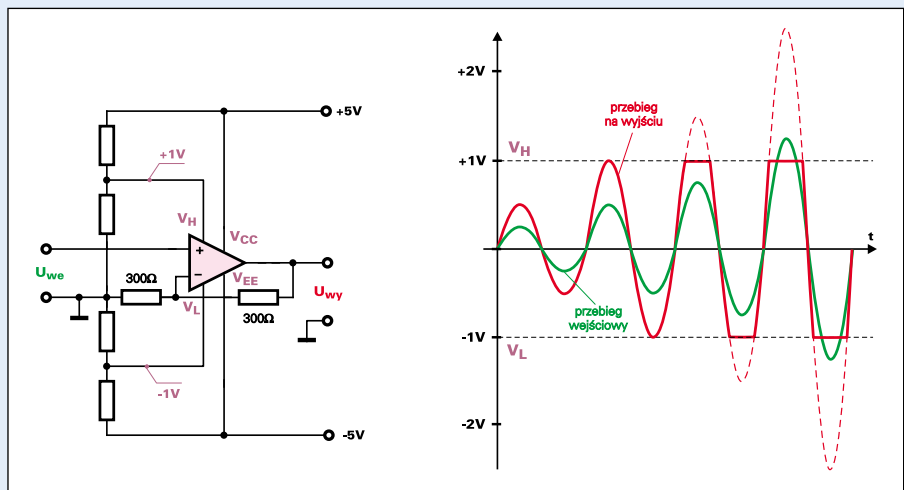
Kostka AD8036 jest takim właśnie wzmacniaczem ograniczającym. Jest to układ dość precyzyjny, bardzo szybki, mający małe zniekształcenia. Podstawowe parametry układów AD8036 oraz AD8037 podane są w **tabeli 1**, a rozkład wyprowadzeń na **rysunku 3**.

Wzmacniacz AD8036 różni się od AD8037 głównie tym, że jest stabilny także przy wzmacnieniu równym 1. Układ AD8037 jest nieco szybszy, producent gwarantuje jego stabilność przy wzmacnieniu równym 2 lub więcej.

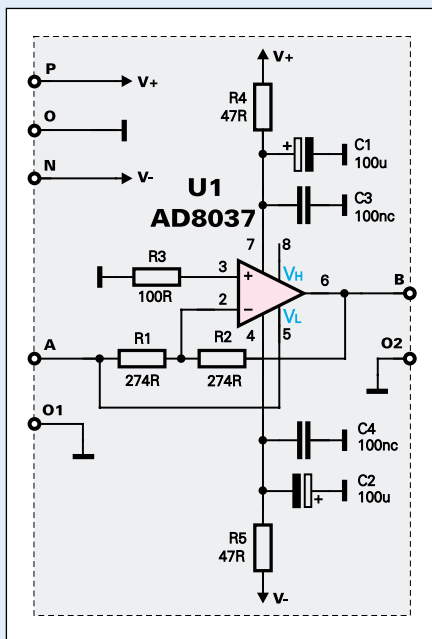
Rys. 3 AD8036/37



Rys. 2 Sterowanie wzmacniacza z ograniczeniem



Rys. 1 Schemat ideowy



Zakres napięć zasilania	$\pm 3... \pm 6V$
Pobór prądu	ok. 20mA
Wejściowe napięcie nierównoważenia	typ. $\pm 2mV$
Prąd polaryzacji wejść	typ. 3...4 μA max 10 μA
Wzmocnienie z otwartą pętlą	typ 55...60dB
Pasma małosygnalowe AD8036	typ. 240MHz
Pasma małosygnalowe AD8037	typ. 270MHz
Szybkość narastania AD8036	1200V/ μs
Szybkość narastania AD8037	1500V/ μs
Szumy wejścia	4,5...6,7nV/(Hz) ^{1/2} 2,1...2,2pA/(Hz) ^{1/2}
Nieliniowość fazy w paśmie 0...200MHz	1,1deg
Zakres napięć ograniczających (Uzas= $\pm 5V$)	typ. 3,9V
Dokładność ograniczania	typ. $\pm 3mV$
Prąd wejść ograniczających	max $\pm 70\mu A$
Prąd wyjściowy	do 70mA

Tabela 1

Układy można wykorzystać jak klasyczne wzmacniacze operacyjne z napięciowym sprzężeniem zwrotnym. Wtedy wejścia ograniczające (nóżki 5, 8) mają zostać niepodłączone. Uwaga! Funkcja ograniczania powinna być wykorzystywana tylko w konfiguracji wzmacniacza nieodwracającego.

Producent (Analog Devices) zwraca uwagę, że w przeciwieństwie do wcześniejszych wzmacniaczy ograniczających, dokładność ograniczania jest wyjątkowo duża i wynosi kilka miliwoltów. Oznacza to, że ograniczenie napięcie wyjściowe odbiega od napięcia na odpowiednim wejściu programującym tylko o kilka miliwoltów. Co jest bardzo ważne, funkcja ograniczania jest prawidłowo realizowana nawet dla sygnałów o częstotliwościach powyżej 100MHz. Właśnie te cechy umożliwiają wykorzystanie tego wzmacniacza operacyjnego w zupełnie nietypowej roli prostownika dwupołówkowego.

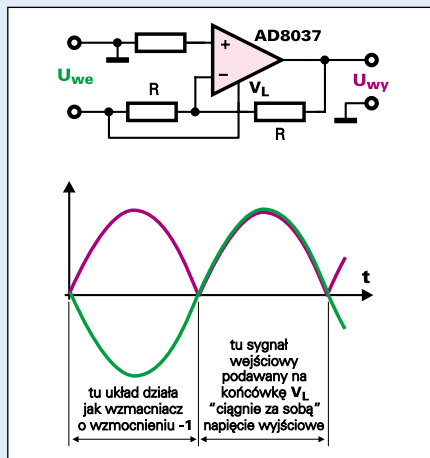
Działanie prostownika dwupołówkowego z rysunku 1 jest proste. Gdy napięcie wejściowe jest ujemne, wzmacniacz pracuje jako klasyczny wzmacniacz odwracający o wzmocnieniu -1 . Tym samym na wyjściu pojawia się napięcie dodatnie, o amplitudzie takiej, jak ujemne napięcie wejściowe. Wejście programujące nie ma żadnego wpływu na działanie układu. Zupełnie inaczej jest, gdy na wejście podane jest napięcie dodatnie. Wbrew pozorom, wzmacniacz nie jest wtedy wzmacniaczem nieodwracającym o wzmocnieniu -1 . Napięcie wyjściowe „chciałoby być” ujemne, ale nie pozwala na to wejście V_L , na które podany jest bezpośrednio (dodatni) sygnał wyjściowy. Biorąc rzecz w największym uproszczeniu, kluczem jest podane wcześniej stwierdzenie, że **napięcie wyjściowe nie może być niższe, niż napięcie podane na wejście ograniczające V_L** . Wejście programujące V_L nie pozwala na pojawienie się na wyjściu napięcia ujemnego, tylko niejako „ciągnie za sobą” napięcie wyjściowe i podciąga je do poziomu wyznaczonego przez napięcie na wejściu V_L . Napięcie wyjściowe jest wtedy takie samo, jak (dodatnie) napięcie wejściowe. Ilustruje to **rysunek 4**.

Takie wyjaśnienie jest proste i oczywiste, jednak w rzeczywistości sprawa jest znacznie bardziej skomplikowana, bo wzmacniacz pracuje w konfiguracji odwracającej, a wtedy w grę wchodzi jeszcze inne czynniki, w tym

obecność rezystora na wejściu nieodwracającym. Właśnie dlatego rezystor R3 o wartości 100 Ω jest, wbrew pozorom, niezbędny i nie należy go zastępować zworą. Aby dokładnie zrozumieć szczegóły, należałoby zajrzeć do katalogu i przeanalizować budowę wewnętrzną układu. Docieklivi zapewne zrobią to

we własnym zakresie, niemniej efekt końcowy jest właśnie taki, jak pokazuje rysunek 4 i powyższy uproszczony opis.

Ponieważ wzmacniacz jest bardzo szybki, konieczne jest zastosowanie kondensatorów odsprężających umieszczonych blisko układu scalonego – zobacz rysunek 1. Wykorzystując układ należy uwzględnić spadek napięcia na rezystorach szeregowych R4, R5, by napięcie zasilania kostki wynosiło około 5V. Typowe napięcie zasilania modułu (podane na punkty P, O, N) to $\pm 6V$. Jeśli układ ma pracować przy sygnałach o czystotliwości wielu megaherców, wartości rezystorów R1, R2 powinny być stosunkowo małe, jak pokazuje schemat i wykaz elementów.



Rys. 4

Dzięki specyficznej budowie wewnętrznej, funkcja ograniczania działa także przy sygnałach o częstotliwościach ponad 100MHz. Bardzo dobre wyniki uzyskuje się jednak w paśmie „jedynie” do 20MHz.

Co ciekawe, w tym układzie pracy o wzmocnieniu 1 wykorzystano kostkę AD8037, która według katalogu przeznaczona jest do pracy ze wzmocnieniem co najmniej 2. Jest to jednak zgodne z kartą katalogową – AD8037 może śmiało pracować w takim nietypowym prostowniku aktywnym. Dalsze informacje o układach AD8036/37 można znaleźć w karcie katalogowej (www.analog.com także na stronie internetowej EdW).

Montaż i uruchomienie

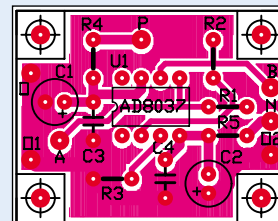
Układ można zmontować na małej płytce drukowanej, pokazanej na **rysunku 5**. Moduł nie wymaga żadnego uruchamiania i od razu pracuje poprawnie. Zazwyczaj moduł będzie zasilany napięciem $\pm 6V$ lub nieco wyższym, by napięcie na nóżkach 7, 4 układu scalonego wynosiło $\pm 5V$ lub nieco więcej.

M o d e l

pokazany na fotografii nie s p r a w i a ł żadnych kłopotów i od razu pracował poprawnie. Podczas

testów okazało się jednak, że źródło prostowanego sygnału zmiennego musi mieć bardzo małą impedancję wyjściową, najlepiej poniżej 1 Ω . W poprzednim stopniu będzie zazwyczaj pracował jakiś (szybki) wzmacniacz operacyjny i wtedy problemu nie ma. Jeśli jednak źródło sygnału miałoby impedancję wyjściową porównywalną z wartościami R1, R2, amplitudy obu połówek wyprostowanego sygnału nie będą równe.

Choć teoretycznie prostownik może pracować przy częstotliwościach ponad 100MHz i amplitudach do 3,9V, najlepsze parametry uzyskuje się dla sygnałów o częstotliwościach od zera do 20MHz i amplitudach do 1V. Przy większych częstotliwościach i amplitudach dokładność będzie obniżona.



Rys. 5

Wykaz elementów

R1,R2	274 Ω
R3	100 Ω
R4,R5	47 Ω
C1,C2	100 μF /16V
C3,C4	100nF ceramiczny
U1	AD8037

Projekt oznaczono dwiema gwiazdkami nie ze względu na montaż czy uruchomienie, a jedynie ze względu na fakt, że nie jest to projekt dla początkujących. Opisany prostownik będzie częścią większej całości, prawdopodobnie będzie pracował z sygnałami o dużych częstotliwościach, a do budowy takich układów i projektowania płytek drukowanych wymagane jest pewne doświadczenie. Z tego względu układ nie będzie dostępny w postaci kitu AVT. O możliwość zakupu układu AD8036/AD8037 należy pytać w Dziale Handlowym AVT lub w poznańskiej firmie ALFINE, która jest autoryzowanym dystrybutorem Analog Devices.

Piotr Górecki