

AD736

scalony przetwornik

True RMS

Najśłynniejsze

część 1

aplikacje

Niniejszy artykuł powstał jako odpowiedź na prośby wyrażane w ankietach, a także w związku z wynikami konkursu pt. "Kłopoty z prądem".

Czytelnicy EdW niejednokrotnie spotykają się z określeniami RMS i True RMS.

Prawie wszyscy wiedzą, że określenia te wiążą się z pomiarami wartości skutecznej napięcia i prądu. W artykule zostały krótko omówione podstawy teoretyczne, a co znacznie ważniejsze - zaprezentowany jest popularny scalony przetwornik wartości skutecz-

Dla kogo i po co?

W codziennej praktyce bardzo często trzeba mierzyć przebiegi zmienne. Jak wiadomo, ich podstawowymi parametrami są wartości skuteczne, a nie wartości średnie czy szczytowe. Przy pomiarach napięć o kształcie sinusoidy nie ma problemów. Wszystkie multimetry, nawet te najtańsze, prawidłowo pokazują wartość skuteczną mierzonego przebiegu sinusoidalnego.

Okazuje się jednak, że gdy trzeba zmierzyć napięcie lub natężenie przebiegów odkształconych, niesinusoidalnych, wtedy zdecydowana większość prostych mierników daje fałszywe wskazania - wynik jest zwykle mniejszy od wartości skutecznej. Błąd jest tym większy, im bardziej kształt badanego przebiegu różni się od sinusoidy. Przyczyną są prostowniki, a właściwie przetworniki napięcia zmiennego na stałe. W ogromnej większości przyrządów wykorzystuje się tanie prostowniki wartości średniej, wyskalowane w wartości skutecznej. Jak wspomniano, dają one prawidłowe wskazania tylko przy sygnałach sinusoidalnych. Przy bardzo odkształconych przebiegach wskazania bywają obarczone ogromnym błędem, sięgającym kilkudziesięciu, a nawet kilkuset procent! Oczywiście takie wyniki są bezwartościowe! Aby można z nich skorzystać, błąd nie powinien przekraczać 10%, tymczasem w przypadku krótkich przebiegów o charakterze impulsowym czy sygnałów audio, wskazania przyrządów mogą być nawet dziesięciokrotnie mniejsze od war-

tości skutecznej przebiegów! Problem ten występuje z całą ostrością przede wszystkim w dwóch dziedzinach:

1. przy pomiarach napięć i prądów w obwodach sieci energetycznej, gdzie zastosowano regulatory fazowe zawierające tyrystory lub triaki,

2. przy pomiarach sygnałów audio.

Dla większości Czytelników EdW bardziej interesująca jest ta druga dziedzina. Rzecz w tym, że ani powszechnie stosowane dziś wskaźniki wartości szczytowej (PPM - peak program meter), ani wcześniej stosowane VU-metry nie pokazują wartości, odpowiadającej natężeniu uzyskiwanego z nich dźwięku. Wbrew pozorom nie jest to drobny błąd - w wielu zastosowaniach bardzo potrzebne są właśnie takie przyrządy, których wskazania byłyby proporcjonalne do natężenia dźwięku i subiektywnie odczuwanej głośności. Dotyczy to nie tylko wskaźnikówysterowania czy mierników natężenia dźwięku, ale także wszelkiego rodzaju procesorów dźwięku, gdzie w miarę możliwości powinny być stosowane przetworniki wartości skutecznej. Tylko one gwarantują uzyskanie znakomych efektów.

Ogólnie biorąc, we wszystkich przyrządach mierzących przebiegi zmienne powinny być stosowane przetworniki wartości skutecznej, czyli układy zamieniające (dowolny) przebieg zmienny na stały, o wartości odpowiadającej wartości skutecznej przebiegu zmiennego.

Przeszkodą są dość wysokie ceny takich przetworników. Dawniej były to rozbudowa-

ne układy budowane z pojedynczych elementów, dziś są to układy scalone. Cena niektórych z nich pozostaje w zasięgu praktycznie wszystkich hobbystów. Przykładem jest kostka AD736, opisana szczegółowo w drugiej części artykułu. Z kostką tą powinien zapoznać się każdy elektronik, ponieważ wcześniej czy później zechce ją wykorzystać.

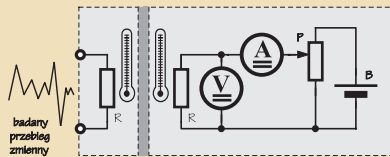
Trochę teorii

W podręcznikach można znaleźć dwie główne definicje wartości skutecznej. Łatwa do intuicyjnego pojęcia jest ta, która mówi, że:

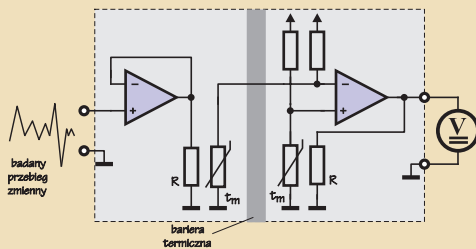
wartość skuteczna napięcia (prądu) zmiennego to taka wartość napięcia (prądu) stałego, która spowoduje wydzielenie w rezystancji obciążenia takiej samej ilości ciepła, co badany przebieg zmienny.

Opierając się na tej definicji, można zaproponować budowę najprostszego "cieplnego" przetwornika wartości skutecznej. Jeżeli wartość skuteczna przebiegu zmiennego odpowiada wartości przebiegu stałego, wywołującego te same skutki cieplne, wystarczy zastosować układ z **rysunku 1**. Jeden z dwóch jednakowych rezystorów jest zasilany mierzonym przebiegiem, drugi regulowanym napięciem (prądem) stałym. Podczas pomiaru należy tak ustawić potencjometr, by termometry wskazywały jednakową temperaturę. Miernik prądu stałego (woltomierz, amperomierz) pokaże wtedy wartość równą wartości skutecznej badanego przebiegu zmiennego. W praktyce bywają (lub raczej bywały)

stosowane przetworniki wartości skutecznej oparte na podobnej zasadzie, zbudowane mniej więcej jak na **rysunku 2**. Pokazano tu układ z grzejnikami i termistorami, znane są także analogiczne układy z żarówkami i fotoelementami. Na wejście takiego przetwornika podawany jest przebieg zmienny (napięcie lub prąd), a na wyjściu występuje przebieg stały (napięcie lub prąd), odpowiadający wartości skutecznej wejściowego przebiegu zmiennego. Wszystko zgodnie z podaną definicją.



Rys. 1 Prosty sposób pomiaru wartości skutecznej



Rys. 2

Druga definicja, która w rzeczywistości jest równoważna pierwszej, ujmuje rzecz z matematycznego punktu widzenia. Dla przebiegów okresowych wartość skuteczną napięcia (prądu) zmiennego określa wzór:

$$U_{sk} = \sqrt{\int_{t_0}^{t_0+T} [u(t)]^2 dt}$$

$$I_{sk} = \sqrt{\int_{t_0}^{t_0+T} [i(t)]^2 dt}$$

Choć dla praktyka zdecydowanie bardziej strawną jest pierwsza definicja, nie można pominąć drugiej. W gruncie rzeczy mówi ona to samo co pierwsza, tylko wyraża to językiem matematyki.

Obie nawiązują do zależności energetycznej, a ściślej do mocy, jaka wydzieli się w obciążeniu rezystancyjnym przy dołączeniu danego napięcia zmiennego lub przepływie prądu zmiennego. Właśnie ta druga definicja otwiera drogę do zrozumienia nie tylko skrótów RMS, ale także do zrozumienia działania przetworników prawdziwej wartości skutecznej. Jak wiadomo, wzory na moc P wydzielaną w obciążeniu rezystancyjnym R są następujące:

$$P = U^2 / R$$

$$P = I^2 * R$$

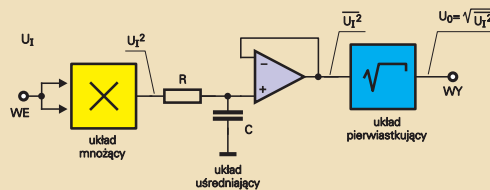
Trzeba zwrócić uwagę, że zarówno napięcie, jak i prąd występują w tych wzorach w drugiej potęgze. Wzory te obowiązują także dla wartości chwilowych mocy, napięcia i prądu, oznaczanych małymi literami p , u , i .

Pamiętając o tej drugiej potęgze we wzorach na moc, nietrudno uchwycić sens groźnie wyglądających wzorów na wartość skuteczną napięcia i prądu. Wzory te wskazują po prostu, że aby obliczyć wartość skuteczną, trzeba:

1. chwilowe wartości napięcia (prądu) podnieść do drugiej potęgi, czyli do kwadratu $\{[i(t)]^2 dt\}$
2. scałkować, czyli uśrednić w czasie jednego okresu $\{ \text{całka od } t_0 \text{ do } t_0+T \}$
3. wyciągnąć pierwiastek kwadratowy.

Operacje podnoszenia do kwadratu, całkowania (uśredniania) i pierwiastkowania można przeprowadzić na drodze elektronicznej, za pomocą układów analogowych. Można więc zbudować układ elektroniczny, który zrealizuje podaną funkcję matematyczną. Na wejście podawany jest badany sygnał zmienny, na wyjściu pojawia się napięcie stałe, odpowiadające wartości skutecznej napięcia badanego przebiegu. Ilustruje to **rysunek 3**. Jest to przetwornik wartości skutecznej, w którym realizowane są: pierwiastkowanie (ang. ROOT - pierwiastek), uśrednianie (ang. MEAN - średni) i podnoszenie do kwadratu (ang. SQUARE - kwadrat). Z pierwszych liter powstał skrót RMS. Tym samym Root Mean Square oznacza po prostu wartość skuteczną, a w praktyce także przetwornik wartości skutecznej lub miernik (multimetr) z takowym przetwornikiem. Spotyka się także określenie True RMS (true - prawdziwy). Słowo true podkreśla, że jest to przetwornik prawdziwej wartości skutecznej, a nie tylko odpowiednio wyskalowany "zwykły" prostownik, pokazujący wartość skuteczną jedynie przebiegów sinusoidalnych.

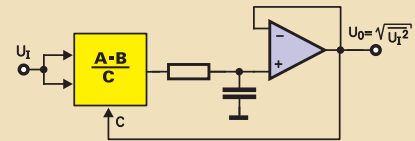
Rysunek 3 sugeruje, jak można w praktyce zbudować przetwornik wartości skutecznej. Uśrednianie nie stanowi żadnego problemu. Układy podnoszące do kwadratu i pierwiastkujące można zbudować na co najmniej kilka sposobów.



Rys. 3 Schemat blokowy klasycznego przetwornika RMS

Okazuje się jednak, że budowane obecnie przetworniki wartości skutecznej są zbudowane trochę inaczej. Są to oczywiście gotowe układy scalone. W katalogach podaje się zalecane układy aplikacyjne. Nie trzeba rozumieć szczegółów ich działania. W zasadzie wystarczy tylko informacja o niezbędnych elementach zewnętrznych, napięciach zasilania i uzyskiwanej dokładności. Dla ciekawskich na **rysunku 4** podano bardzo uproszczony schemat blokowy współczesnego scalonego

przetwornika RMS. Choć różni się od układu z rysunku 3, spełnia taką samą funkcję - daje na wyjściu napięcie stałe, odpowiadające wartości skutecznej przebiegu zmiennego podawanego na wejście.



Rys. 4 Schemat blokowy praktycznego przetwornika RMS

Podane rysunki i elementarne informacje mogą sugerować, że praktyczna realizacja przetwornika RMS jest bardzo prosta, a zastosowane rozwiązanie zapewni uzyskanie na wyjściu napięcia stałego, dokładnie odpowiadającego wartości skutecznej zmiennego przebiegu wejściowego. W zasadzie tak jest. Jak się za chwilę okaże, wystarczy zakupić odpowiedni układ scalony, np. AD736, dołączyć dosłownie dwa dodatkowe kondensatory, i pożyteczny przetwornik prawdziwej wartości skutecznej jest gotowy do pracy. Tym samym odkryte aurą tajemniczości przetworniki RMS tracą całą swą niezwykłość. Stają się najzwyklejszymi podzespołami, które można i trzeba stosować w budowanych układach pomiarowych. Co istotne, nie trzeba wgłębiać się w szczegóły budowy, wystarczy poznać podstawowe układy aplikacyjne i rozumieć kluczowe parametry. Doświadczenia Pracowni Konstruktorskiej AVT i współpracowników EdW świadczą niezbicie, że praktyczne wykorzystanie scalonych przetworników RMS jest bardzo łatwe, a co ważniejsze, nie trzeba się zbytnio obawiać o uszkodzenie tych, trzeba przyznać, dość kosztownych elementów.

Nie ulega wątpliwości, że każdy średnio

zaawansowany elektronik powinien dosłownie i w przenośni dotknąć przetworników RMS. Doświadczenia zebrane w Redakcji EdW wskazują, że idealnym układem na dobry początek jest kostka AD736. Jej układ aplikacyjny jest beznadziejnie prosty, a jednak przetwornik ten doskonale zdaje egzamin w ogromnej większości zastosowań. Na przykład z powodzeniem może być wykorzystywany w multimetrach czy przystawkach do multimetrów do pomiaru odkształconych przebiegów sieciowych (triaki, tyrystory), a co ważniejsze także do pomiaru sygnałów audio w pełnym zakresie pasma akustycznego. Taki obszar zastosowań powinien zachęcić duże grono Czytelników EdW do prób i eksperymentów z użyciem świetnego układu AD736.

Układ będzie opisany w następnym numerze EdW.

(red.)

Kluczowe parametry

Aby podczas stosowania scalonych przetworników RMS nie popełnić poważnych błędów, trzeba rozumieć znaczenie kluczowych parametrów. Pierwszy to zakres napięć zasilania i związany z nim zakres napięć wejściowych.

Zakres napięć zasilania jest podany w katalogu, przykładowo dla kostki AD736 jest bardzo szeroki i wynosi $+5...+33V$ ($+2,8; -3,3...+16,5V$). W zasadzie nie ma tu nic tajemniczego - należy przypuszczać, że czym większe napięcie zasilające, tym większe sygnały (wejściowe) może przetwarzać układ. Tak jest w istocie, ale trzeba tu pamiętać o pewnych specyficznych właściwościach sygnałów zmiennych. Rysunek 5 pokazuje kilka przebiegów, których wartość skuteczna, co bardzo ważne, jest taka sama (0,5V). Podanie ich na wejście przetwornika RMS powinno dać na wyjściu takie samo napięcie stałe, równe 0,5V. Trzeba jednak uwzględnić dopuszczalny zakres napięć wejściowych.

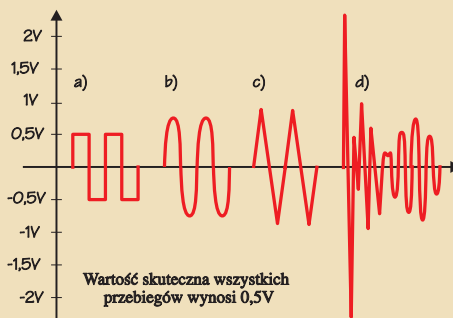
Przykładowo, przy zasilaniu napięciem $+2,8V -3,2V$ zakres dopuszczalnych napięć wejściowych układu AD736 w typowej aplikacji wynosi $\pm 0,9V$. Tym samym przebiegi z rysunku 5a, 5b, 5c zostałyby zmierzone poprawnie, natomiast przebieg z rysunku 5d nie mieści się w tym dopuszczalnym zakresie napięć wejściowych. Co prawda kostka nie zostanie uszkodzona (dopuszczalne nieniszczące napięcie wejściowe to $\pm 12V$), ale napięcie wyjściowe nie będzie odpowiadać wartości skutecznej przebiegu wejściowego. Przy zasilaniu większym napięciem $\pm 5V$ zakres dopuszczalnych napięć wejściowych wynosi $\pm 2,7V$, i wtedy przebieg z rysunku 5d także byłby zmierzony poprawnie. Przy napięciu zasilania $\pm 16,5V$ dopuszczalny zakres napięć wejściowych wynosi co najmniej $\pm 4V$.

Powyższe dane i **rysunek 5** obrazowo pokazują problem stosunku wartości szczytowej do skutecznej danego przebiegu. Aby to ująć ściślej, wprowadzono parametr zwany współczynnikiem szczytu. Ten współczynnik szczytu, z angielska nazywany crest factor (w skrócie CF), to właśnie stosunek wartości szczytowej do skutecznej. Dla sygnału prostokątnego współczynnik szczytu wynosi 1, dla sinusoidy 1,41..., dla przebiegu trójkątnego 1,73..., dla przebiegów audio sięga 3...5, a przy muzyce nawet więcej.

Jeśli więc przetwornik RMS ma mierzyć przebiegi o dużym współczynniku szczytu, na przykład sygnały audio, trzeba zapewnić odpowiedni zapas dopuszczalnych napięć wejściowych. Dlatego, na przykład, zarówno przy zasilaniu $+2,8V, -3,2V$, jak i $\pm 5V$ zalecany zakres napięć wyjściowych wynosi co najwyżej 200mV. Po pierwsze te 200mV to typowy zakres pomiarowy scalonych woltomierzy (np. ICL7106/07), po drugie umożliwia to także prawidłowy pomiar przebiegów odkształco-

nych, o dużym współczynniku szczytu. (Informacja dla dociekliwych - przy pomiarach sygnałów o dużym współczynniku szczytu trzeba liczyć się z dodatkowym błędem, ale w typowych zastosowaniach nie trzeba się tym przejmować - ogólnie biorąc dokładność przetwarzania jest i tak bardzo dobra. Szczegóły można znaleźć w katalogach.)

Innymi kluczowymi parametrami są charakterystyki częstotliwościowe. Nietrudno



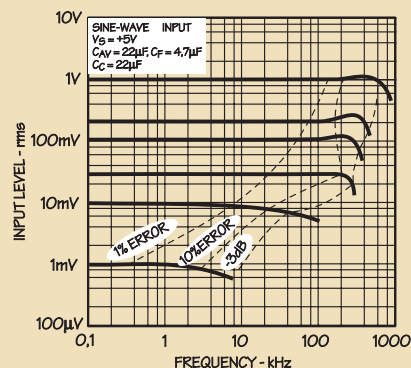
Rys. 5 Typowe przebiegi zmienne

się domyślić, że rzeczywiste układy mają ograniczoną szybkość i nie "poradzą sobie" z bardzo szybkimi przebiegami zmiennymi. W zależności od budowy wewnętrznej przetwornika RMS, przebieg charakterystyk może być nieco inny, jednak z grubsza biorąc, jest podobny do charakterystyk z rysunku 6. **Rysunek 6** pokazuje, jak zmienia się dokładność przetwarzania układu AD736 w podstawowej aplikacji w zależności od amplitudy i częstotliwości. Jak widać, przy większych amplitudach pasmo znacznie przekracza górną granicę pasma akustycznego (20kHz). Jedynie przy niskich napięciach, poniżej 10mV, pasmo jest węższe. Na rysunku 6 liniami przerywanymi zaznaczono dla jakich zakresów częstotliwości uzyskuje się dokładność 1% (przyrządy pomiarowe), 10%, czyli nieco ponad 1dB, oraz 3dB (układy audio).

Na pierwszy rzut oka zawężanie pasma przy zmniejszaniu amplitudy może wyglądać niezbyt zachęcająco, ale trzeba pamiętać, że w praktyce bardzo rzadko zachodzi potrzeba dokładnego mierzenia na zakresie pomiarowym 200mV czy 1V przebiegów mniejszych niż 10mV. W takich wypadkach trzeba po prostu zmienić zakres, czyli wzmocnić ten mały sygnał. Rysunek 6 powinien zostać dokładnie przeanalizowany jedynie w przypadku budowy jakiegoś bardzo precyzyjnego układu pomiarowego. W typowych zastosowaniach osiągi kostki AD736 są jak najbardziej zadowalające i można przyjąć, że dobrze pracuje ona w całym zakresie pasma akustycznego. Kto chciałby poszerzyć w górę zakres mierzonych częstotliwości, może zastosować AD736 w niestandardowym układzie pracy albo wykorzystać inną, szybszą kostkę z tej rodziny, np. AD637. O tym za chwilę.

Trzecią sprawą, którą trzeba rozumieć, jest znaczenie kondensatorów dołączanych z zewnątrz. W zasadzie z wcześniejszych rozważań wynika, że potrzebny jest tylko jeden kondensator uśredniający, jednak w praktyce zazwyczaj stosowane są dwa. Jeden z nich jest głównym kondensatorem uśredniającym, oznaczonym na rysunku 4 C_{AV} (AV - average, średni). Jest on absolutnie niezbędny do pracy przetwornika RMS. Bez niego układ przestaje być przetwornikiem wartości skutecznej i staje się najzwyczajszym prostownikiem dwupołkowym. Bez tego kondensatora na wyjściu występowałby po prostu przebieg tętniący, dokładnie taki, jak w prostowniku dwupołkowym. To jest ciekawostka bez praktycznego znaczenia - co prawda każdy scalony przetwornik RMS z rodziny AD można wykorzystać jako prostownik dwupołkowy, jednak zdecydowanie taniej można zrobić taki prostownik z dwóch wzmacniaczy operacyjnych, dwóch zwykłych diod i kilku rezystorów.

Nietrudno się domyślić, że pojemność omawianego kondensatora uśredniającego powinna być jak największa. Istotnie, czym większa pojemność, tym mniejszy błąd pomiaru i mniejsze tętnienia napięcia wyjściowego. Tak jest, w rzeczywistości na wyjściu pojawia się napięcie stałe, ale ma ono niewielką składową zmienną (o częstotliwości dwukrotnie większej niż częstotliwość przebiegu wejściowego - dokładnie tak, jak w "zwykłych" prostownikach dwupołkowych).



Rys. 6 Charakterystyki częstotliwościowe układu AD736 w typowej aplikacji

Czym mniejsze częstotliwości przebiegów mierzonych, tym większa powinna być pojemność uśredniająca. Czym mniejszy ma być błąd wynikający z niedoskonałego uśredniania, tym większa powinna być ta pojemność. W przypadku układu AD736 zwiększanie pojemności uśredniającej ma jednak pewne niekorzystne skutki uboczne. (Tylko dla dociekliwych: wynika to ze specyficznej budowy wewnętrznej układu. Kondensator C_{AV} dołączony jest równolegle do złącza baz-emiter tranzystora. W przetworniku wyko-

rzystuje się logarytmiczną zależność napięcia na tym złączu od płynącego prądu. Jak wiadomo, zastępcza rezystancja złącza B-E, do której równolegle jest podłączony kondensator uśredniający, bardzo silnie zwiększa się wraz ze zmniejszaniem prądu.) Mianowicie, gdy sygnał wejściowy zmniejsza się, potrzeba stosunkowo długiego czasu, by napięcie na kondensatorze uśredniającym spadło. Tym samym czas ustalania wskazań przy szybkim zmniejszaniu się sygnału jest znaczny. Inaczej jest przy zwiększaniu sygnału - prawidłowe napięcie wyjściowe ustala się wtedy bardzo szybko. Opisana właściwość może się wydawać poważną wadą, jednak w ogromnej większości praktycznych zastosowań nie trzeba się nią przejmować. Ponadto odpowiednio dobranie pojemności pozwala uzyskać optymalne rezultaty dla danego zakresu częstotliwości, rodzaju przebiegów i spodziewanych amplitud. Szczegóły będą podane w dalszej części artykułu.

Ewentualny drugi kondensator C_F ma za zadanie dodatkowo filtrować przebieg wyjściowy, dzięki czemu zawartość tętnień na wyjściu jest bardzo mała.

W tym miejscu należy dodać, że lektura oryginalnej karty katalogowej może wpędzić w stres - większość zamieszczonych tam wykresów oraz objaśnień dotyczy różnorodnych błędów. Wykresy te są jednak niezbędne tylko wtedy, gdy układ będzie stosowany w precyzyjnym przyrządzie pomiarowym. W typowych zastosowaniach, także przy pomiarach sygnałów audio czy przebiegów sieci 50Hz, nie ma potrzeby wgłębiać się w te szczegóły. Ogólnie biorąc nawet stosunkowo prosty i względnie tani układ AD736 ma świetne parametry, które wynikają z zastosowania nowoczesnej technologii produkcji, obejmującej także laserową korekcję każdego produkowanego egzemplarza układu scalonego.

AD736

Typowy układ aplikacyjny kostki AD736, produkowanej przez Analog Devices, jest pokazany na **rysunku 7**. Choć układ scalony musi być zasilany napięciem symetrycznym, łatwo je uzyskać przez zastosowanie dwóch rezystorów (nawet o dużej wartości 100k Ω), tworzących obwód sztucznej masy. Oczywiście napięcie wyjściowe występuje między wyjściem (nóżka 6) a (sztuczną) masą, czyli punktem połączenia rezystorów. Kondensator dołączony do nóżki 5 jest kondensatorem uśredniającym C_{AV} . Kondensator łączący nóżki 3 i 5 jest dodatkowym kondensatorem filtrującym C_F .

Inny przykład zastosowania układu AD736 jest pokazany na **rysunku 8**. Tu układ jest zasilany napięciem symetrycznym względem masy. Dzięki bardzo dużej rezystancji wejściowej (nóżka 2) możliwa

jest bezpośrednia współpraca z typowym dzielnikiem, stosowanym w multimetrach cyfrowych. Dodatkowy rezystor na wejściu (47k Ω 1W) i dwie diody chronią układ przez przypadkowym uszkodzeniem zbyt wysokimi napięciami wejściowymi, które mogą wystąpić przy złym ustawieniu przełącznika zakresów. Kondensator C_C (występujący także na rysunku 7) może być zastąpiony zworą.

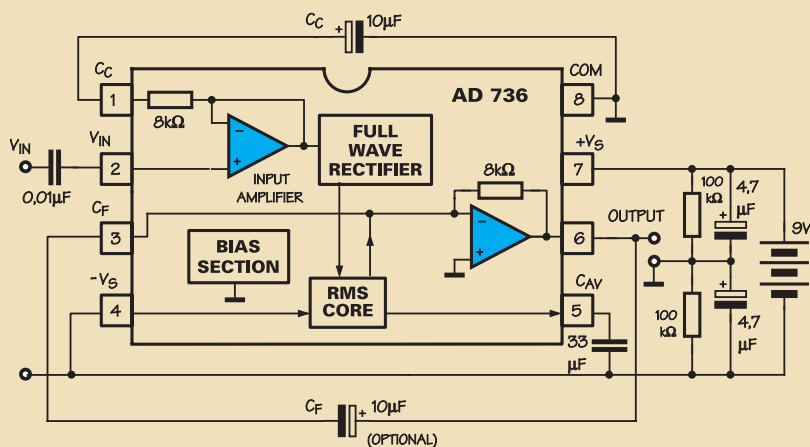
Charakterystyki częstotliwościowe typowych układów z rysunków 7 i 8 pokazane były na rysunku 6.

Układ z rysunku 7 jest sprzężony zmiennoprądowo (kondensatory na wejściach 1 i 2), czyli reaguje tylko na składową zmienną przebiegów. W niektórych zastosowaniach mierzone będą przebiegi zawierające składową stałą. W takim wypadku trzeba by podać na nóżkę 2 bezpośrednio, a nóżkę 1 zewrzeć do masy, jak pokazuje rysunek 8. Generalna zasada jest taka: jeśli układ ma mierzyć napięcia wejściowe wraz ze składową stałą (oczywiście w stosunku do masy - nóżki 8), nie stosuje się kondensatora wejściowego (nóżka 2) oraz kondensatora C_C , a nóżkę 1 należy zewrzeć z masą. W znacznej większo-

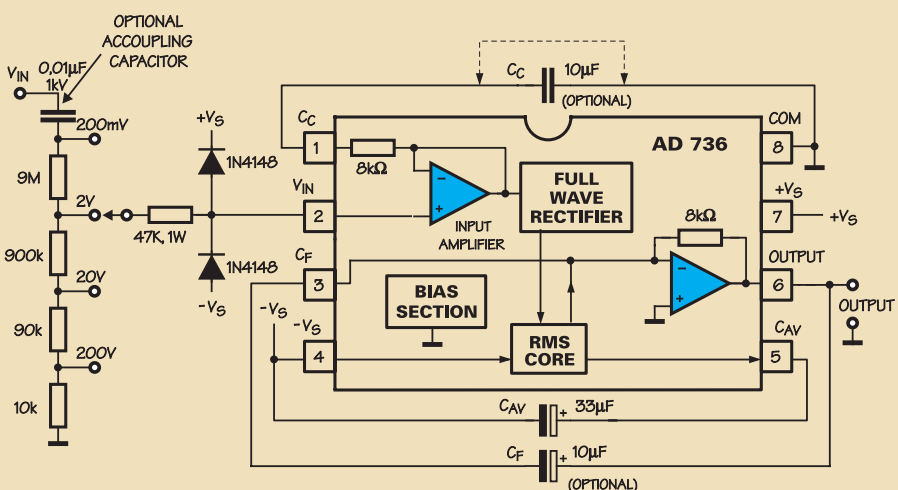
ści przypadków mierzona jest tylko składowa zmienna. Wtedy składowa stała jest odcinana przez kondensator wejściowy, dołączony do nóżki 2. Kondensator C_C , który też poniekąd odcina składową stałą, nie jest wtedy konieczny: można go zastosować lub zewrzeć nóżkę 1 wprost do masy, czyli nóżki 8. W każdym przypadku nóżka 1 nie powinna wisieć w powietrzu.

Kostka AD736 ma dwa wejścia. Zwykle w tej roli wykorzystywana jest nóżka 2. Jest to wejście o ogromnej oporności wejściowej (1000G Ω) i znikomym prądzie polaryzacji (1...10pA). Pomimo tych świetnych parametrów wejścia 2, w niektórych zastosowaniach warto wykorzystać jako wejście nóżkę 1, a nóżkę 2 dołączyć do masy. Wersję do pomiaru przebiegów zmiennych bez składowej stałej pokazuje **rysunek 9** (reszta układu jest taka sama, jak na rysunkach 7 lub 8). Układ ma wtedy niewielką rezystancję wejściową, równą 8k Ω , ale za to znacznie szersze pasmo przenoszenia i szerszy zakres napięć wejściowych. Udowadniają to **rysunki 10 i 11**.

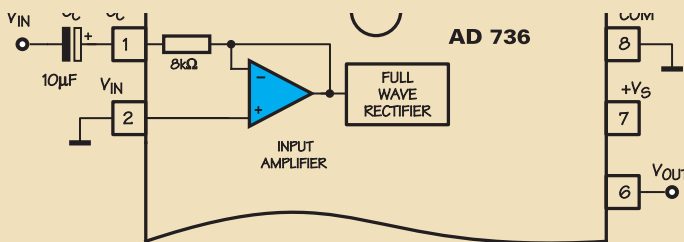
Tabela 1 zawiera podstawowe parametry układu AD736.



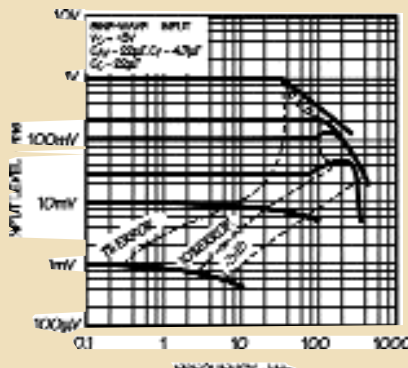
Rys. 7 Typowa aplikacja kostki AD736



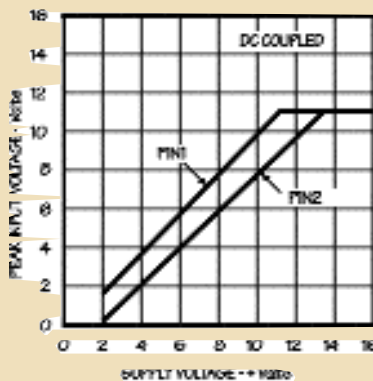
Rys. 8 Inna popularna aplikacja



Rys. 9 Wykorzystanie wejścia niskoporowego



Rys. 10 Charakterystyka częstotliwościowa przy wykorzystaniu wejścia niskoporowego (n. 1)



Rys. 11 Dopuszczalne napięcia wejściowe na nóżkach 1 i 2

Dopuszczalny zakres napięć zasilania: $\pm 2,8V, -3,2V \dots \pm 16,5V$
 Typowe zalecane napięcie zasilające: $\pm 5V$
 Pobór prądu: typ. $0,17mA$, max $0,27mA$
 Dokładność przetwarzania (sinusoida $1kHz$ $200mV$):
 typ. $\pm 0,3mV/\pm 0,3\%$
 Dodatkowy błąd przy $CF=1 \dots 3$ (CAV, $CF=100\mu F$): typ. $0,7\%$
 Dodatkowy błąd przy $CF=5$ (CAV, $CF=100\mu F$): $2,5\%$
 Rezystancja wejściowa nóżki 2: typ $1000G\Omega$
 Prąd polaryzacji nóżki 2: typ. $1pA$, max (+50C) $10pA$
 Dopuszczalny zakres wejściowych napięć pracy nóżki 2:
 $U_{zas}=\pm 2,8V, -3,2V$: min. $\pm 0,9V$
 $U_{zas}=\pm 5V$: typ. $\pm 2,7V$
 $U_{zas}=\pm 16,5V$: min $\pm 4,0V$
 Rezystancja wejściowa nóżki 1: typ. $8k\Omega$ ($6,4 \dots 9,6k\Omega$)
 Dopuszczalny zakres wejściowych napięć pracy nóżki 1:
 $U_{zas}=\pm 2,8V, -3,2V$: typ. $\pm 1,7V$
 $U_{zas}=\pm 5V$: typ. $\pm 3,8V$
 $U_{zas}=\pm 16,5V$: min $\pm 11V$
 Wyjściowe napięcie niezrównoważenia: typ $0,1mV$, max $0,5mV$
 Zakres napięcia wyjściowego ($R_L=2k$)
 $U_{zas}=\pm 2,8V, -3,2V$: min. $0 \dots +1,6V$
 $U_{zas}=\pm 5V$: min. $0 \dots +3,6V$
 $U_{zas}=\pm 16,5V$: min. $0 \dots +4V$
 Maksymalny prąd wyjściowy: min. $2mA$

Tabela 1

| Zastosowanie | Poziom wejściowy | Dolna częstotl. graniczna (-3dB) | Max. wsp. szczytu CF | C_{AV} | C_F | Czas ustalania do 1% |
|------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------|---------------|-------------|----------------------|
| Ogólnego przeznaczenia | 0-1V | 20Hz 200Hz | 5 5 | 150uF 15uF | 10uF 1uF | 360ms 36ms |
| | 0-200mV | 20 Hz 200 Hz | 5 5 | 33uF 3,3uF | 10uF 1uF | 360ms 36ms |
| Układy tyrystorowe | 0-200mV | 50 Hz | 5 | 100uF | 33uF | 1,2s |
| | 0-100mV | 50 Hz | 5 | 50uF | 33uF | 1,2s |
| Audio | 0-200mV | 300Hz | 3 | 1,5uF | 0,47uF | 18 ms |
| | | 20 Hz | 10 | 100uF | 68uF | 2,4s |

Tabela 2