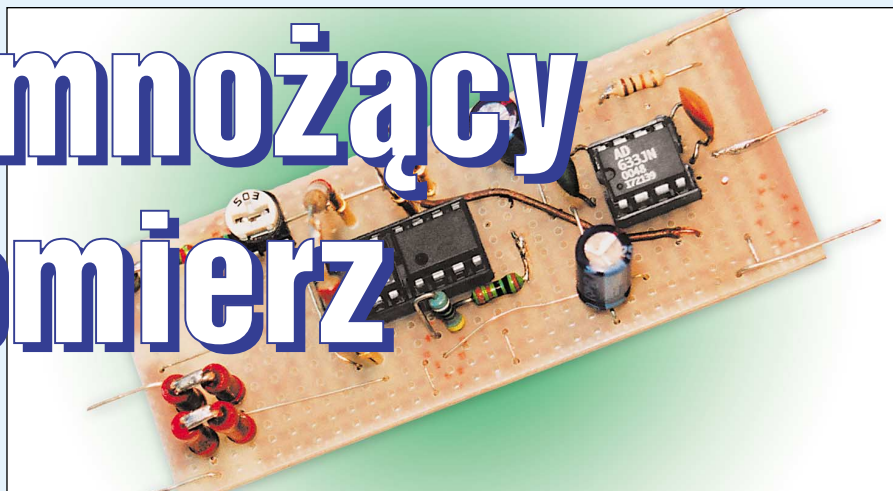




Układ mnożący – watomierz



Opisany dalej układ powstał z potrzeby chwili: podczas pracy nad układem łagodnego włączania transformatora toroidalnego trzeba było sprawdzać moc strat, wydzielającą się w elemencie regulacyjnym. Nie chodziło o moc ciągłą, średnią, tylko moc chwilową. Badane przebiegi nie są powtarzalne - występują bowiem tylko w krótkich okresach czasu podczas włączania, a chwilowa wartość mierzonej mocy strat mocy zależy silnie od tego, przy jakim chwilowym napięciu sieci dołączony został transformator.

Aby zmierzyć chwilową wartość mocy nie wystarczyło oddzielnie mierzyć napięcie i prąd. Trzeba było od razu pomnożyć chwilowe wartości prądu i napięcia, zapamiętać wartość tak obliczonej maksymalnej mocy chwilowej i sprawdzić, czy nie zagraża ona elementowi regulacyjnemu.

Aby rozwiązać ten i podobne problemy, potrzebny jest jakiś układ mnożący, analogowy bądź cyfrowy. Wybrano prostszą w realizacji metodę analogową. Po sprawdzeniu oferty rynkowej okazało się, że bez kłopotu (w poznańskiej firmie Alfine) można zakupić analogowy układ mnożący AD633 produkcji Analog Devices.

Ponieważ wspomniane pomiary mocy chwilowej przeprowadzone są w obwodach dołączonych wprost do sieci energetycznej, na początek powstał dość rozbudowany schemat z wejściowymi wzmacniaczami różnicowymi i z izolacją galwaniczną. Schemat ten jednak nie doczekał się praktycznej realizacji ze względu na znaczny czas, potrzebny na wykonanie płytek próbnych oraz zmontowanie i skalibrowanie układu. Układ pomiaru mocy był potrzebny natychmiast, więc ostatecznie powstała wersja znacznie uproszczona. Spełniła ona znakomicie swoje zadanie i właśnie ją opisuje niniejszy artykuł.

Oprócz pomiarów przebiegów niepowtarzalnych i przypadkowych, układ z powodzeniem może mierzyć moc czynną i bierną, co umożliwi zastosowanie pokazanego rozwiązania w wielu aplikacjach, w tym jako część prac dyplomowych.

Pomiar mocy

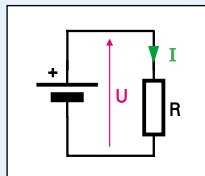
Na początek warto przypomnieć elementarne wiadomości o mocy.

Dla obwodu elektrycznego z **rysunku 1** moc elektryczna wydzielana w obciążeniu to iloczyn napięcia na obciążeniu i prądu płynącego przez to obciążenie:

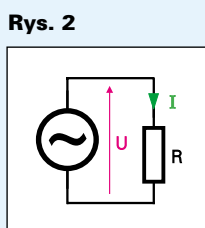
$$P = U \cdot I$$

W układzie z rysunku 1 w rezystorze będzie się wydzielać ciepło - mówimy, że moc elektryczna zamienia się na ciepłą. Przy prądzie stałym sprawa jest oczywista - czym większy prąd i większe napięcie, tym większa moc, czyli więcej ciepła.

Taka sama zależność (dla wartości skutecznych napięcia i prądu) obowiązuje, gdy układ jest zasilany napięciem przemiennym - patrz **rysunek 2**. Inaczej jest, gdy w obwodzie prądu przemiennego zamiast rezystora umieścimy kondensator lub cewkę. Wtedy również przez obciążenie będzie płynął prąd i na obciążeniu wystąpi napięcie - patrz **rysunek 3**. W (idealnej) cewce lub (idealnym) kondensatorze nie będzie się jednak wydzielać ciepło. Iloczyn $U \cdot I$ może być duży, a ciepło się nie wydzieli...

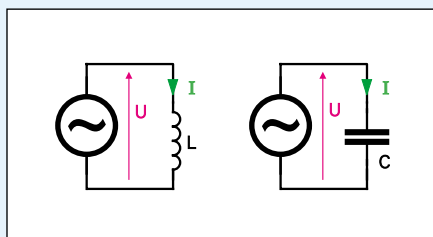


Rys. 1



Rys. 2

Rys. 3



Co można powiedzieć o mocy w takim przypadku? Czy podany wzór na moc już nie obowiązuje? Intuicja podpowiada, że jeśli mamy jednocześnie prąd i napięcie, to powinna tu występować jakaś moc.

I tak jest w istocie, choć w cewce czy kondensatorze nie wydziela się ciepło. Wyjaśnienie okaże się proste, jeśli sięgniemy do definicji.

Definicja głosi, że moc elektryczna to pochodna energii elektrycznej względem czasu. Mówiąc prościej, **moc wyraża zależność pracy (energii) i czasu**. Właśnie ten szczegół uchodzi początkującym, którzy nieodłącznie kojarzą moc z ciepłem. Tymczasem nie zawsze moc wiąże się z ciepłem - w ogólnym przypadku moc wskazuje na zależność energii i czasu, czyli przepływ energii.

W obu układach z rysunku 3 w obciążeniu w pewnych chwilach gromadzi się energia. Trzeba jednak pamiętać, że jest to obwód prądu przemiennego. W pewnym niewielkim uproszczeniu można to rozumieć następująco: w jednej części okresu kondensator jest ładowany i energia przekazywana jest ze źródła do obciążenia. W drugiej części okresu kondensator jest rozładowywany i... energia z obciążenia jest zabierana z powrotem do źródła. Tak samo jest z cewką. W obwodzie z kondensatorem lub cewką jak najbardziej możemy mówić o energii. Trzeba jednak pamiętać, że energia ta krąży nieustannie między źródłem a obciążeniem. Inaczej jest w obwodzie z rezystorem - rezystor nie ma zdolności magazynowania energii - tu energia źródła nie krąży, tylko jest przekazywana ze źródła do obciążenia i zamienia się tam na ciepło.

Podsumowując możemy powiedzieć, że w obwodach z rysunku 3 nie wydziela się ciepło, ale z obwodem związana jest jakaś moc. Ta „dziwna” moc wskazuje po prostu, jak dużo energii krąży między źródłem a obciążeniem.

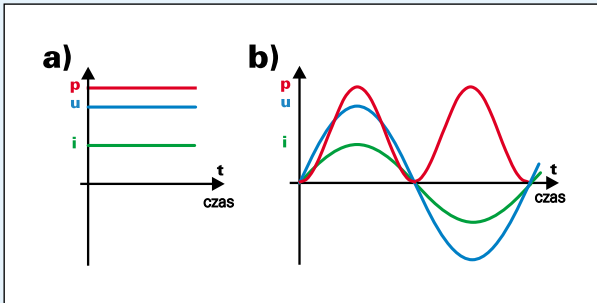
Już tu widać, że należałoby wykorzystać pojęcie mocy chwilowej. Zależność jest tu prosta i zgodna z intuicją: moc chwilowa to

iloczyn chwilowej wartości napięcia i prądu. Aby wskazać, że są to wartości chwilowe, zapisujemy to małymi literkami:

$$p = u \cdot i$$

Wartości chwilowe prądu i napięcia mogą być dodatnie bądź ujemne, nietrudno się więc domyślić, że **o wartości mocy chwilowej decyduje nie tylko wartość, ale też kierunek prądu i napięcia**. Wychodzi na to, że moc chwilowa może być dodatnia, ujemna lub równa zeru. Określenie *ujemna moc* może się wydać szokujące, ale w sumie chodzi tu o jak najbardziej zgodne z intuicją rozładowywanie cewki lub kondensatora i przekazywanie energii z powrotem do źródła. Możemy mówić o mocy dodatniej, gdy energia jest przekazywana ze źródła do obciążenia oraz o mocy ujemnej, gdy energia jest zabierana z powrotem do źródła.

W układach z rysunków 1 i 2 moc nie może być ujemna - **rysunek 4a, b** pokazuje jak zmienia się w czasie moc chwilowa związana z rezystorem w tych przypadkach. Zmiana biegunowości źródła napięcia stałego nie spowoduje, że moc będzie ujemna. Ujemne (względem wcześniej przyjętych założeń) będą zarówno prąd, jak i napięcie, a z pomnożenia dwóch wartości ujemnych otrzymujemy dodatnią – zgadza się to z intuicją – z rezystora nie da się pobrać energii i „cofnąć” ją do źródła.



Rys. 4

Rysunek 5 pokazuje, zależność mocy chwilowej od czasu w układach z rysunku 3 z idealnymi elementami C, L, gdzie prąd przesunięty jest w fazie względem napięcia dokładnie o 90° ($\frac{\pi}{2}$ radianów).

W rzeczywistości sytuacje z rysunków 3, 5 nie występują, ponieważ nie ma idealnych kondensatorów i cewek. Cewka ma jakąś rezystancję uzwojenia, a w kondensatorze zawsze występują jakieś straty reprezentowane przez szeregowy rezystor. Z tego względu prąd przesunięty jest względem napięcia o kąt mniejszy niż 90° ($\frac{\pi}{2}$ radianów).

Jak wspomniano, chwilowa wartość mocy zależy od kierunku (biegunowości) napięcia i prądu. Jeśli prąd przesunięty jest względem napięcia o kąt mniejszy od 90°, przebieg mocy może wyglądać jak na **rysunku 6**. Pokazane dwa wykresy dotyczą przykładowych obwodów RL oraz RC.

Rysunek 6 przedstawia jakieś wybrane dowolnie przypadki pośrednie między przykładami z rysunków 4 i 5. Widać wyraźnie, że dodatnie części przebiegu mocy chwilowej są teraz większe niż części ujemne. Znaczący to, że choć energia nieustannie krąży między źródłem a obciążeniem, średnio biorąc, energia jest przekazywana ze źródła do obciążenia i wydziela się w rezystancji obciążenia w postaci ciepła. Można więc mówić o „rzeczywistej” mocy wydzielanej w rezystancji oraz o dziwnej mocy „błąkającej się” między źródłem a obciążeniem. Tę „rzeczywistą” moc powodującą wydzielanie się ciepła nazywamy mocą czynną i oznaczamy literą P. Moc „błąkającą się” nazywamy mocą bierną i oznaczamy literą Q. Dodatkowo możemy mówić też o tak zwanej mocy pozornej (S), która jest w pewnym sensie całkowitą mocą związaną z tym obwodem. Moc czynna P jest też mocą średnią, a właściwie odwrotnie: uśredniona w czasie wartość mocy całkowitej jest mocą czynną. Co ciekawe i ważne moc pozorna nie jest zwykłą sumą mocy czynnej i biernej, ale ten szczegół nie jest istotny dla niniejszego artykułu.

Ważne jest natomiast to, że przy przebiegach sinusoidalnych prądu i napięcia można łatwo obliczyć moc pozorną, czynną i bierną, znając wartości skuteczne prądu, napięcia i (kąta) przesunięcia fazowego między nimi.

Wyrażają to znane wzory:

$$\text{moc pozorna } S = U \cdot I$$

$$\text{moc bierna } Q = U \cdot I \cdot \sin \phi$$

$$\text{moc czynna } P = U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Trzeba jednak podkreślić, iż obliczenia są proste jedynie dla przebiegów o czystym kształcie sinusoidalnym. Niestety, w wielu przypadkach trzeba zmierzyć moc, najczęściej moc czynną, w obwodach, gdzie

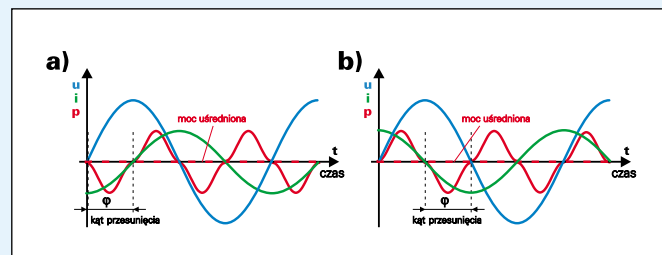
przebiegi są odkształcone. Czasem trzeba też zmierzyć moc bądź energię przebiegów niepowtarzalnych, występujących sporadycznie. Wtedy jedynym rozwiązaniem jest pomiar mocy chwilowej i analiza uzyskanego przebiegu. Aby dowiedzieć się, jaka jest moc czynna, wystarczy uśrednić uzyskany przebieg mocy chwilowej. Do takich operacji można śmiało wykorzystać czterościwkowy analogowy układ mnożący. Czterościwkowy, to znaczy mnożący dwa sygnały o dowolnej biegunowości.

Kostka AD633

Na **rysunku 7** pokazany jest blokowy schemat wewnętrzny czterościwkowego układu mnożącego AD633 oraz układ wyprowadzeń wersji w klasycznej obudowie DIP8 (wersja SMD ma inny rozkład wyprowadzeń). Sygnałem wejściowym są dwa napięcia podane na wejścia X, Y, a sygnałem wyjściowym – napięcie na wyjściu W. Na wejściach umieszczono dwa różnicowe bufory o wzmacnieniu 1. Dzięki temu rezystancja wejściowa jest bardzo duża, a napięcia wejściowe o dowolnej biegunowości nie są mierzone względem masy, tylko właśnie różnicowo, między wejściami.

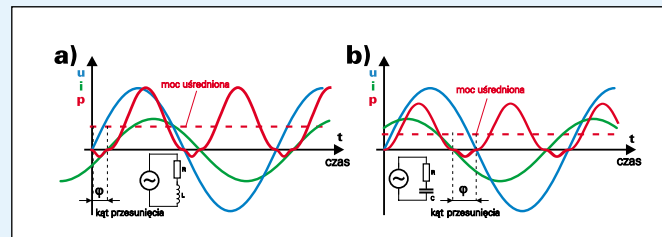
Każdy egzemplarz układu scalonego AD633 jest podczas produkcji dodatkowo korygowany za pomocą lasera, co zapewnia dużą precyzję. Duża szybkość i szerokie pasmo pozwalają stosować tę stosunkowo tanią kostkę w wielu interesujących aplikacjach, na przykład w precyzyjnych modulatorach, detektorach fazy, wzmacniaczach o wzmacnieniu regulowanym napięciem (VCA), w tłumikach, filtrach, miernikach wartości skutecznej i innych układach, gdzie w sposób analogowy trzeba wykonać operacje mnożenia, dzielenia, potęgowania czy wyciągania pierwiastka.

Dużą zaletą jest fakt, że w podstawowych



Rys. 5

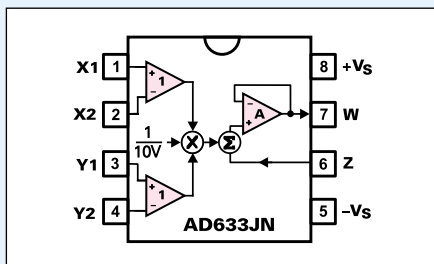
Rys. 6



aplikacjach nie są potrzebne żadne elementy zewnętrzne – wszystko realizuje układ scalony. Zaleca się jedynie standardowe odsprężnienie szyn zasilania za pomocą kondensatorów 100nF.

Działanie i wykorzystanie tego bardzo pożytecznego elementu jest w sumie bardzo proste. Mnoży on dwa sygnały wejściowe, a konkretnie napięcia podawane na wejścia WeX, WeY. Na wyjściu W występuje napięcie, którego wartość jest iloczynem

napięć wejściowych podzielonym przez 10V. Dzielenie przez 10V oznacza, że wynik jest dziesięciokrotnie mniejszy, niż wynikałoby z prostego przemnożenia napięć wejściowych. Przykładowo jeśli napięcie UX wynosiłoby 9V, a UY wynosiłoby -9V, ich iloczyn wynosi -81V. Jest to wartość, której na pewno nie uzyska się w układzie zasilanym napięciem ±15V. Wprowadzenie dzielenia przez 10V bez problemu pozwala zmieścić się w zakresie użytecznych napięć wyjściowych.



Rys. 7

Końcówka Z otwiera dodatkowe możliwości. Pozwala sumować sygnały z kilku takich układów mnożących, zmieniać współczynnik skalowania, ewentualnie zamienić wyjściowy sygnał napięciowy na prądowy.

Ostatecznie układ AD633 realizuje funkcję:

$$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10V} + Z$$

Warto podkreślić, że jest to układ czteroćwiartkowy, czyli oba napięcia wejściowe mogą mieć dowolną biegunowość. Oczywiście napięcia wyjściowe będą ujemne lub dodatnie, zależnie od biegunowości napięć wejściowych.

Nietrudno się domyślić, że układ musi być zasilany napięciem symetrycznym względem masy – typowo ±15V. Układ poprawnie pracuje w zakresie napięć zasilania ±8...±18V, a pobór prądu wynosi 4...6mA.

Podstawowe parametry kostki AD633 przy napięciu zasilania ±15V podane są w tabeli 1.

Tabela 1

Zakres różnicowych napięć wejściowych	min ±10V
Zakres wspólnych napięć wejściowych	min ±10V
Wejściowe napięcie niezrównoważenia (X, Y)	typ ±5V, max ±30V
Wejściowy prąd polaryzujący	typ 0,8µA, max 2µA
Różnicowa rezystancja wejściowa	10MΩ
Nieliniowość toru X	typ. ±0,4%, max 1% pełnej skali
Nieliniowość toru Y	typ. ±0,1%, max 0,4% pełnej skali
Błąd całkowity	max 2% pełnej skali
Pasmo (małe sygnały)	1MHz
Szybkość zmian na wyjściu	typ. 20V/µs
Zakres napięć wyjściowych	min ±11V
Zwarciovyy prąd wyjściowy typ	30mA, max 40mA
Wyjściowe napięcie niezrównoważenia	typ. ±5, max ±50mV
Gwarantowany zakres temperatur pracy	0...+70°C

W oryginalnej karcie katalogowej kostki AD633 (www.analog.com także na stronie internetowej EdW) można znaleźć wiele dalszych informacji dotyczących sposobów wykorzystania układu do mnożenia, dzielenia, podnoszenia do kwadratu, realizacji funkcji odwrotnych, modulacji amplitudy, realizacji przestrajalnych filtrów, podwajania częstotliwości, itd.

Opis modułu pomiarowego

Schemat blokowy układu pomiarowego i przykład wykorzystania pokazany jest na rysunku 8. Rezystor Rs o niewielkiej wartości służy jako boczny do pomiaru prądu. Obwody wejściowe umożliwiają wybór zakresu pomiarowego. Serce modułu jest układ mnożący AD633, na wyjściu którego uzyskuje się napięcie proporcjonalne do mocy chwilowej. W punkcie C występuje przebieg odwzorowujący moc chwilową związaną z obciążeniem RL. Do wyjścia można podłączyć oscyloskop albo, jak pokazano na rysunku, kondensator uśredniający i woltomierz, który pokaże moc czynną.

Oczywiście przyrządem można mierzyć moc w obwodach zarówno prądu stałego, jak i zmiennego.

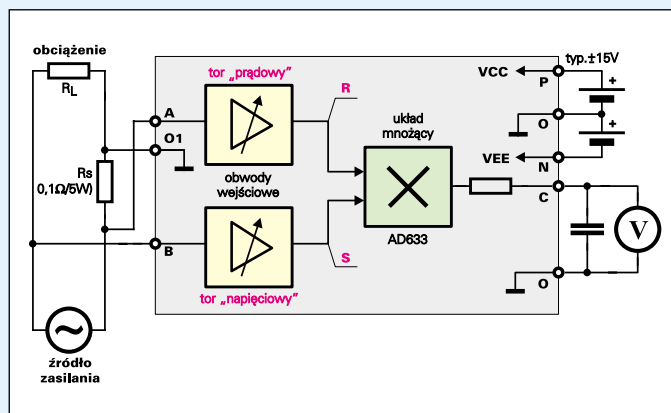
Pełny schemat ideowy modułu pokazany jest na rysunku 9. Jak widać układ mnożący pracuje tu w najprostszej konfiguracji, zasilany napięciem symetrycznym, typowo ±15V.

Ważną rolę odgrywają obwody wejściowe: wzmacniacze/tłumiki. Pozwalają one mierzyć napięcia i prądy w bardzo szerokim zakresie. Należy zauważyć, że napięcia wejściowe mierzone są nie różnicowo, tylko względem wspólnej lokalnej masy. Ogranicza to, co prawda, zakres zastosowań, ale pozwala radykalnie uproszczyć układ i doskonale zdaje egzamin w większości przypadków.

W z m a c n i a c z U2B pracuje w torze pomiaru napięcia. Jest to najwykleszy wzmacniacz odwracający. Wzmocnienie, które nigdy nie jest większe niż 1, ustalane jest za pomocą dołączanego rezystora R5.

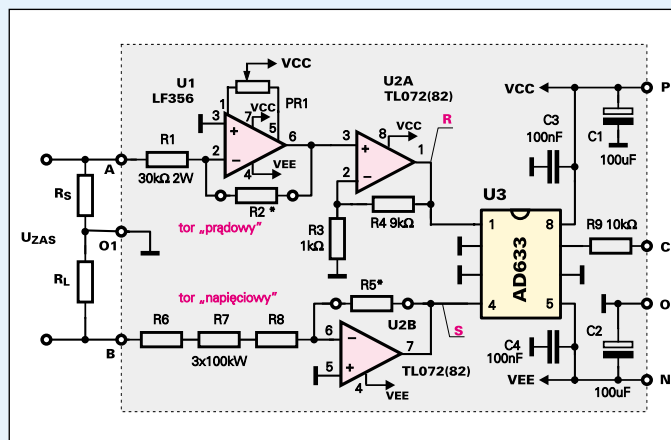
W obwodzie pomiaru prądu pracują dwa wzmacniacze. Pomiar prądu polega na sprawdzaniu spadku napięcia na małej rezystancji szeregowej Rs (patrz rysunek 8). Ponieważ ten spadek napięcia jest niepożądany, powinien być i jest, bardzo mały, rzędu miliwoltów. Dlatego Rs powinien mieć małą wartość, przykładowo 0,1Ω. Właśnie ze względu na to, że tor „prądowy” wzmacnia maleńkie napięcia zmiennie, przewidziano wzmacniacz dwustopniowy, przy czym pierwszy stopień ze wzmacniaczem operacyjnym U1 wyposażony jest w obwód korekcji napięcia niezrównoważenia. Potencjometr montażowy PR1 pozwala wyeliminować nie tylko błędy wzmacniacza operacyjnego, ale w dużym stopniu także napięcia niezrównoważenia układu mnożącego. Nie jest więc potrzebna dodatkowa korekcja kostki AD633.

Wzmocniony sygnał z kostki U1 jest dodatkowo wzmacniany dziesięciokrotnie w nieodwracającym wzmacniaczu z kostką U2A. Sygnały „napięciowy” i „prądowy” są doprowadzone do nóżek 4, 1 kostki AD633. Takie dołączenie może się na pierwszy rzut oka wydać dziwne, ale właśnie ono zapewnia dodatnie napięcie wyjściowe przy „dodatniej” mocy dostarczanej do obciążenia RL.



Rys. 8 Schemat blokowy

Rys. 9 Schemat ideowy



Sygnaly z punktów oznaczonych R, S można wykorzystać do pomiaru wartości chwilowych prądu i napięcia.

Wbrew pozorom, ten prosty moduł ma duże możliwości. Zakresy pomiarowe mocy można zmieniać w bardzo szerokim zakresie co najmniej 1W...10kW przez zmianę rezystorów R2 i R5 oraz Rs. Zasady ich doboru są, wbrew pozorom, dość proste.

Warto pamiętać, że układ AD633 mnoży dwa sygnały i uzyskaną wartość dzieli przez 10V. Jeśli na przykład sygnały na nóżkach będą mieć wartość 10V, to na wyjściu pojawi się napięcie 10V ($10 \cdot 10 / 10$), jeśli oba mieć będą 1V, napięcie wyjściowe wyniesie tylko 0,1V ($1 \cdot 1 : 10$). Napięcia wejściowe mogłyby teoretycznie mieć np. po 100mV, ale wtedy napięcie wyjściowe wyniosłoby tylko 1mV ($0,1 \cdot 0,1 : 10$), czyli mniej, niż wynoszą napięcia niezrównoważenia i szumy.

W prezentowanym układzie napięcie 10V jest w pewnym sensie napięciem „nominalnym”.

Aby uzyskać dużą dokładność pomiarów, napięcie wyjściowe układu mnożącego (w punkcie C) powinno w miarę możliwości wynosić 1...10V, a do tego potrzebne są napięcia wejściowe kostki AD633 (w punktach R, S) o amplitudach w zakresie 3...10V. Można je uzyskać dzięki odpowiednim wartościom Rs, R2, R5.

W zasadzie rezystancje te można dobrać na niezliczoną liczbę sposobów, jednak dla wygody obliczeń należy stosować „okrągłe” wartości, by zakresy pomiarowe prądu i napięcia po pomnożeniu również dawały „okrągłe” wartości. Zaleca się stosowanie R5 o wartościach:

- 300kΩ - zakres 0...10V
- 100kΩ - zakres 0...30V
- 30kΩ - zakres 0...100V
- 10kΩ - zakres 0...300V

Rs powinien mieć wartość 0,1Ω, ewentualnie 0,01Ω lub 1Ω. Natomiast zalecane wartości R2 to:

- 300kΩ - zakres 0...1A przy Rs=0,1Ω
- 100kΩ - zakres 0...3A przy Rs=0,1Ω
- 30kΩ - zakres 0...10A przy Rs=0,1Ω
- 10kΩ - zakres 0...30A przy Rs=0,1Ω

Dla napięć i prądów stałych nie ma problemu, wszystko jest jasne. Inaczej z przebiegami zmiennymi.

W tym wypadku trzeba wyraźnie podkreślić, że nie chodzi tu o wartości skuteczne, tylko szczytowe, czyli największe możliwe amplitudy (dla sinusoidy wartość szczytowa jest 1,41 razy większa od skutecznej, dla przebiegów odkształconych może być jeszcze większa).

Przykładowo można ustawić zakresy pomiarowe 10A i 100V, stosując Rs=0,1Ω, R2=30kΩ, R5=30kΩ, a wtedy zakres pomiaru mocy wyniesie 1kW. Oznacza to, że chwilowe napięcie wyjściowe w punkcie C równe 10V odpowiada mocy chwilowej 1kW.

Chwilowe wartości mocy można obserwować za pomocą oscyloskopu. Natomiast dodanie prostego filtra uśredniającego RC pozwoli mierzyć moc skuteczną za pomocą jakiegokolwiek miernika – woltomierza.

Dla dociekliwych

Dobór zakresów pomiarowych związany jest z dopuszczalnymi amplitudami przebiegów w module pomiarowym, a to wynika z wartości napięcia zasilającego. Przy zasilaniu $\pm 15V$ zakres napięć wejściowych kostki AD633 (napięć w punktach R, S) wynosi co najmniej $\pm 10V$.

Najpierw, znając maksymalne napięcie na obciążeniu należy dobrać R5. Jeśli maksymalna wartość szczytowa napięcia na obciążeniu RL wynosiłaby, powiedzmy, 100V, sygnał należy zmniejszyć dziesięciokrotnie, czyli R5 winien mieć wartość 30kΩ. Jeśli przykładowo napięcie maksymalne (szczytowe) w jakimś układzie wynosiłoby 15V, należałoby zastosować R5 o „okrągłej” wartości 100kΩ, bo wtedy maksymalne napięcie w punkcie S wyniesie 5V, a co ważne, maksymalny zakres pomiaru napięcia będzie równy 30V. Jeśli rezystor R5 będzie miał 10kΩ, zakres pomiaru napięcia wyniesie 300V – takie napięcie wyjściowe da w punkcie S napięcie równe 10V.

Podobnie, znając lub zakładając maksymalny prąd obciążenia, należy zastosować odpowiednie wartości Rs i R2. Zewnętrzny rezystor Rs może mieć typową wartość 10Ω, 1Ω, 0,1Ω, ewentualnie nawet 0,01Ω. W każdym razie przy maksymalnym prądzie spadek napięcia na Rs powinien być wielokrotnie mniejszy niż napięcie na obciążeniu RL. Trzeba też zastosować rezystor Rs o odpowiedniej obciążalności.

Jeśli przykładowo maksymalny spodziewany prąd wyniesie 8A, należy zastosować Rs o wartości 0,1Ω lub 0,01Ω. Wtedy spadek napięcia na Rs wyniesie 800mV lub 80mV. Aby uzyskać sensowne napięcie w punkcie R, należy zastosować R2 o wartości odpowiednio 30kΩ lub 300kΩ. W obu przypadkach zakres pomiarowy prądu będzie wynosił 10A, a przy prądzie 8A w punkcie R wystąpi napięcie równe 8V.

Jeśli natomiast maksymalny prąd wynosi tylko, powiedzmy 300mA, Rs powinien mieć wartość 1Ω lub 0,1Ω, a R2 odpowiednio 30kΩ lub 300kΩ. W oby wypadkach prąd ten da w punkcie R napięcie równe 3V, a zakres pomiarowy prądu wyniesie 1A.

Gdy Rs=0,1Ω, a R2=100kΩ zakres pomiarowy prądu wyniesie 3A – przy takim prądzie w punkcie R napięcie wyniesie 10V.

Znając zakres pomiarowy prądu i napięcia (odpowiadający napięciu 10V w punktach R, S) można obliczyć zakres pomiaru mocy. Jeśli przykładowo zakres pomiaru prądu wyniesie 10A, a napięcia 300V, zakres pomiaru mocy będzie równy 3kW. Należy pamiętać,

że mocy 3kW odpowiadać będzie napięcie wyjściowe (w punkcie C) równe 10V, czyli współczynnik przetwarzania wyniesie 300W/V. Jeśli z kolei zakres pomiaru prądu wynosiłby 1A, a napięcia 100V (R5=30kΩ), napięcie wyjściowe 10V wystąpi przy mocy 100W, czyli współczynnik przetwarzania będzie równy 10W/V. Przy wartościach R2=0,1Ω, R2=100kΩ i R5=10kΩ zakresy prądowy i napięciowy wyniosą 3A i 300V, a zakres pomiaru mocy 900W, czyli napięcie 1V będzie odpowiadać mocy 90W (90W/V).

Ponieważ układ modelowy ma pracować w obwodach sieci, największe spodziewane szczytowe napięcie mierzone wyniesie 325V ($230V \cdot 1,41$). Gdy R5 będzie miał 10kΩ, wzmocnienie U2B wyniesie 0,0333 ($10k\Omega / 300k\Omega$) i maksymalne napięcie w punkcie S będzie wynosić 10,83V (ale nie zmienia to poprzednich rozważań – „nominalne” napięcie wyjściowe w punkcie C nadal wynosi 10V). Większość egzemplarzy układu AD633 powinna poradzić sobie z takimi napięciami wejściowymi już przy zasilaniu $\pm 15V$. Aby jednak kostka U3 bez cienia ryzyka poradziła sobie z takim zakresem napięć wejściowych, warto ją zasilić napięciem $\pm 16,5...18V$, bo przy takim napięciu zasilania zakres gwarantowanych napięć wejściowych kostki AD633 (w punktach R, S) wynosi co najmniej $\pm 11V$. Przy rezystorach Rs=0,1Ω i R2=30kΩ nominalny zakres pomiarowy prądu (odpowiadający napięciu 10V w punkcie R) wynosi 10A. Maksymalny spadek napięcia na Rs sięga wprawdzie 1V, jednak w układzie zasilanym z sieci energetycznej nie jest to wartość znacząca. Oczywiście napięcie wyjściowe równe 1V odpowiada mocy 300W.

Montaż i uruchomienie

Jak pokazuje fotografia, układ modelowy zmontowano na kawałku płytki uniwersalnej. Montaż jest w zasadzie dowolny, trzeba tylko skutecznie oddzielić punkty A, B od pozostałej części układu, a elementy C3, C4 umieścić blisko kostki U3.

Uwaga! Układ nie jest przeznaczony dla początkujących! W czasie pracy występują na nim napięcia sieci, groźne dla życia i zdrowia. Układ może być wykorzystany tylko pod nadzorem wykwalifikowanych opiekunów i nauczycieli.

Podczas pomiarów można stosować rozmaite wartości Rs, R2, R3. Aby to ułatwić, w modelu zastosowano szpilki i nasadki ze złącz DB-xx dla rezystorów R2 i R5 – znakomicie ułatwia to zmianę zakresu. Celowo zrezygnowano z przełączników.

Ciąg dalszy na stronie 29.

Ciąg dalszy ze strony 21.

Zakresy pomiarowe zmienia się nasadzając rezystory z dolutowanymi nasadkami na kołki wlutowane w płytkę. Szczegóły widoczne są na fotografii.

Zmontowany i starannie sprawdzony układ wymaga tylko prościutkiej regulacji. Mianowicie przy zwarciu punktów A, B do masy (punktu O1) należy za pomocą PR1 ustawić napięcie na wyjściu U3 (punkt C) równe zeru.

Biorąc pod uwagę fakt, że przyrząd ma być wykorzystywany przez osoby doświadczone, w modelu w obu kanałach nie zastosowano elementów zabezpieczających. Przy

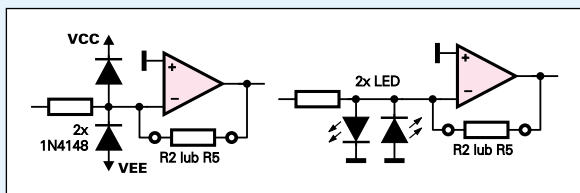
stosunkowo dużej wartości rezystorów R6...R8 oraz R1 ryzyko uszkodzenia kostek U2 przez zbyt wysokie napięcie wejściowe jest minimalne, ale jeśli ktoś dopuszcza możliwość pomyłki, może dodatkowo wlutować diody zabezpieczające. Dwie możliwości pokazane są na rysunku 10.

Podczas pomiarów moduł pomiarowy włączony będzie jak pokazuje rysunek 8. Należy zwrócić uwagę, że przy pomiarach obwodów zasilanych z sieci energetycznej masa modułu niestety nie może być uziemiona. Masa modułu i dołączonego oscyloskopu będą na pewnym potencjale względem ziemi. Aby zminimalizować ryzyko porażenia, należy w miarę możliwości podłączyć punkt A modułu do przewodu zerowego, a nie fazowego. Wtedy na masie modułu i współpracującego oscyloskopu wystąpi niewielkie napięcie względem ziemi.

Piotr Górecki

Kartę katalogową kostki AD633 można ściągnąć ze strony firmy Analog Devices (www.analog.com) oraz z naszej strony www.edw.com.pl/ z działu FTP.

Rys. 10



Wykaz elementów

R1	.....	30kΩ (30Ω, 1kΩ 1%)
R2	.....	.patrz tekst
R3	.....	1kΩ (1kΩ 1%)
R4	.....	9kΩ (9,09kΩ 1%)
R5	.....	.patrz tekst
R6-R8	.....	100kΩ (100kΩ 1%)
R9	.....	1...100kΩ 5%
Rs	.....	.patrz tekst
PR1	.....	22...50kΩ
C1,C2	.....	10...100μF/25V
C3,C4	.....	100nF ceram.
U1	.....	.LF356
U2	.....	.TL072 lub TL082
U3	.....	.AD633