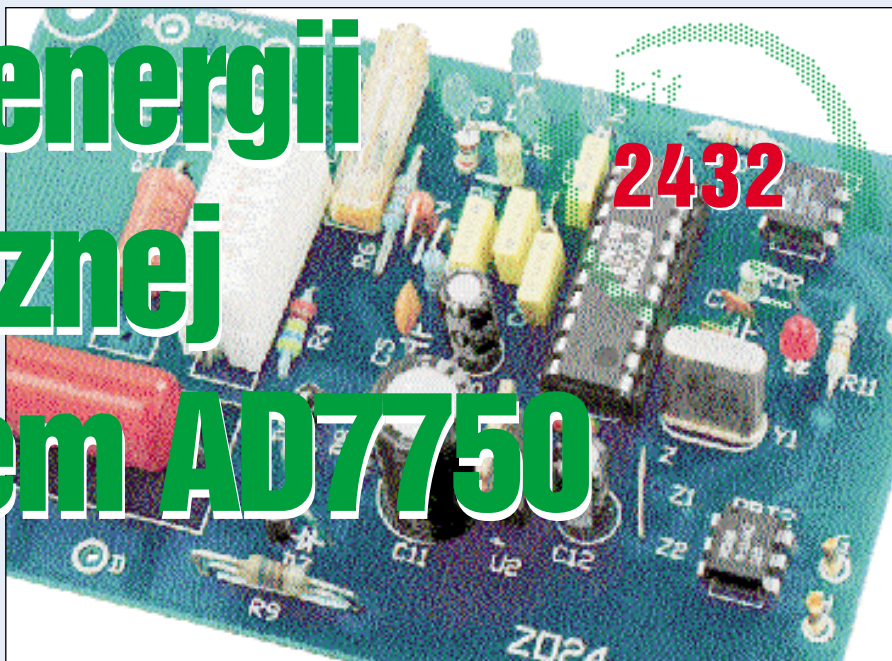




Licznik energii elektrycznej z układem AD7750



ANALOG DEVICES

Część 1

Jakiś czas temu uczestnicy Szkoły Konstruktorów mieli za zadanie zaprojektować prosty licznik poboru mocy i energii elektrycznej. Zadanie było uproszczone do granic możliwości, ponieważ pomiar mocy miał być dokonywany jedynie na podstawie pomiaru prądu, przy założeniu, że napięcie nie zmienia swej wartości (co nie jest do końca zgodne z prawdą) oraz że prąd i napięcie są ze sobą zgodne w fazie (co jest słuszne jedynie dla obciążenia o charakterze rezystancyjnym). Uczestnicy Szkoły poradzili sobie z postawionym zadaniem i zaproponowali układy przydatne w praktyce. Oczywiście układy takie nie sprawdzą się w przypadkach, gdy obciążenie ma charakter indukcyjny bądź pojemnościowy, a nie rezystancyjny. Po opublikowaniu wspomnianego zadania, do redakcji napłynęły pytania i opinie. Większość pochodziła od uczniów ostatnich klas szkół średnich i dotyczyła możliwości wykonania w ramach pracy dyplomowej podobnego urządzenia, ale bardziej precyzyjnego, które pokazywałoby wartość mocy czynnej, bądź ilość zużytej energii przy obciążeniu o dowolnym charakterze.

Próba skonstruowania “prawdziwego” i dokładnego miernika mocy czynnej albo licznika energii prądu zmiennego wymaga zbudowania układu, który uwzględniałby zarówno wahania napięcia, jak i osławiony “kosinus fi”. **Moc czynna** prądu zmiennego wyraża się bowiem wzorem:

$$P = U * I * \cos\phi$$

Przy budowie **licznika energii** należy jeszcze chwilowe wartości mocy całkować w czasie.

Okazuje się, że zadanie to można zrealizować na drodze elektronicznej – analogowo lub cyfrowo. W przypadku analogowego licznika energii trzeba zastosować układ mnożący, obwód uśredniający, przetwornik napięcie/częstotliwość oraz licznik zliczający wytworzone impulsy. Układ mnożący nie tylko pomnoży wartości skuteczne prądu i napięcia, ale niejako przy okazji uwzględni wartość $\cos\phi$, czyli przesunięcie fazy między prądem a napięciem. Matematyczne szczegóły są dość zawiłe, ale nie trzeba się w to wgłębiać – końcowy wniosek jest prosty: układ mnożący wzbogacony o pewne “dodatki” określi moc czynną i to także wtedy, gdy przebieg prądu (lub napięcia) jest odkształcony i wcale nie przypomina sinusoidy.

Dużym utrudnieniem przy budowie tego typu urządzenia “na piechotę”, czyli z oddzielnych bloków i podzespołów, jest znaczny stopień skomplikowania oraz wymagania dotyczące dokładności i stabilności. Dlatego do tej pory budowa takich urządzeń na drodze elektronicznej była raczej nieopłacalna – zdecydowaną przewagę miały mierniki i znane z naszych domów liczniki elektromechaniczne.

Ostatnio sytuacja radykalnie się zmieniła, ponieważ firma Analog Devices wypuściła na rynek układy scalone przeznaczone właśnie do budowy elektronicznych liczników energii elektrycznej. Niniejszy artykuł opisuje część pomiarową elektronicznego licznika mocy czynnej i energii. **Zaprezentowany moduł jest precyzyjnym przetwornikiem moc czynna/częstotliwość**. Pomiar częstotliwości wyjściowej impulsów daje informacje

o chwilowym poborze mocy. Impulsy wyjściowe z takiego przetwornika mogą być zliczane przez jakikolwiek licznik, na przykład elektromechaniczny lub z silnikiem krokowym – taki układ będzie pełnił rolę licznika energii. Największe możliwości daje podanie tych impulsów do mikroprocesora, który je odpowiednio przetworzy, obliczając zarówno moc, jak i energię.

Koncepcja

Rysunek 1 pokazuje uproszczony schemat blokowy układu scalonego AD7750. Generalnie jest to układ mnożący sygnały z wejść różnicowych V1, V2 i dający na wyjściach F1, F2, FOUT impulsy o częstotliwości proporcjonalnej do iloczynu napięć $V1 * V2$. Ponieważ w praktycznych układach pracy napięcie V1 jest proporcjonalne do prądu, układ pełni funkcję przetwornika moc/częstotliwość.

Kostka, wykonana w technologii CMOS, jest zasilana pojedynczym napięciem 5V, a dzięki przemyślanej konstrukcji zakres roboczych napięć na wejściach pomiarowych V1, V2 wynosi $\pm 1V$. Napięcia z wejść różnicowych V1, V2 są podawane na wzmacniacze. W torze V1 - “prądowym” można ustawić wzmocnienie 16x lub 1x za pomocą wejścia G1. W torze V2 - “napięciowym” wzmocnienie zawsze wynosi 2x. Wzmocnione sygnały podawane są na przetworniki analogowo-cyfrowe ADC1, ADC2. Dalsza obróbka odbywa się na drodze cyfrowej. Sygnał w torze “prądowym” może być cyfrowo odfiltrowany, by usunąć składową stałą. Dokonuje tego filtr górnoprzepustowy HPF. Blok opóźnienia (DELAY) jest potrzebny, żeby skompensować przesunięcie fazowe

wnoszone przez filtr HPF. Sygnały z obu torów są cyfrowo mnożone (MULT) i po odfiltrowaniu składowych zmiennych napięcie stałe zależne od mocy podawane jest na przetwornik napięcie/częstotliwość.

Ostatecznie układ scalony AD7750 jest precyzyjnym przetwornikiem moc/częstotliwość. Częstotliwość impulsów występujących na wyjściach F1, F2, FOUT jest wprost proporcjonalna do pobieranej mocy czynnej.

Na wyjściach F1, F2 uzyskuje się ujemne impulsy o jednakowej, bardzo małej częstotliwości, przesunięte w fazie. Wykorzystywane są one do sterowania zewnętrznego licznika, np. elektromechanicznego – na jedną kilowatogodzinę przypada 100 albo 1000 impulsów. Umożliwia to zliczanie energii z do-

stany przez współpracujący system mikroprocesorowy.

Układ scalony zawiera też źródło napięcia odniesienia 2,5V i obwody do podłączenia rezonatora kwarcowego.

Wejścia FS, S1, S2 służą do programowania trybu pracy. Kostka może pracować w ośmiu trybach. Przy pracy w roli miernika mocy i licznika energii wykorzystywane są tryby nr 2 albo nr 6.

Układ scalony jest niewątpliwie bardzo skomplikowany, przez co zrozumienie wszystkich szczegółów jego działania i stosowania w poszczególnych trybach nie jest takie proste. Nie należy się jednak tym przejmować. **Do wykonania i praktycznego wykorzystania układu scalonego w typowej aplikacji nie są potrzebne**

pełne informacje z karty katalogowej. Wszystko, co jest niezbędne na dobry początek, zawarte jest w niniejszym artykule, a ściślej w pierwszej jego części. Część druga artykułu przeznaczona jest dla zaawansowanych i ciekawskich, którzy zechcą zmienić zakresy pomiarowe. Jedynie jeśli ktoś chciałby zastosować układ w zupełnie nietypowej aplikacji (np. jako cztero-

Opis modułu

Schemat ideowy modułu miernika mocy czynnej (licznika energii) pokazany jest na **rysunku 4**. Układ mierzy moc czynną pobieraną przez obciążenie i daje na wyjściach przebieg impulsowy o częstotliwości wprost proporcjonalnej do tej mocy.

Napięcie sieci energetycznej podane jest na punkty C, D. Odbiornik bądź odbiorniki podłączone są do punktów A, B. Elementy C6, R9, D6, D7, D8, C11, U2, C12 to beztransformatorowy zasilacz i stabilizator napięcia 5V.

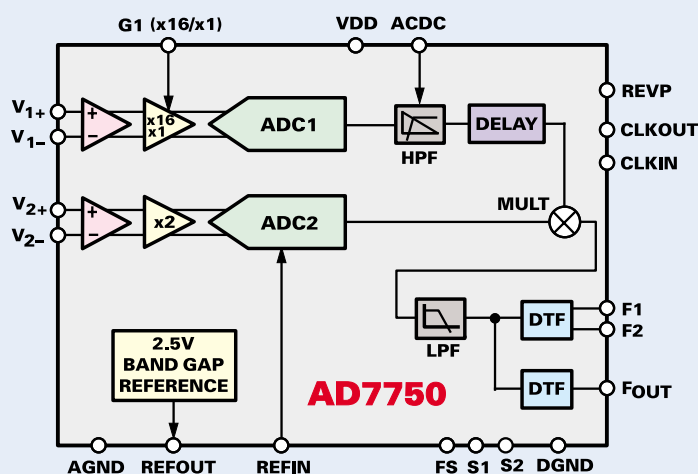
Spadek napięcia z rezystorów RS1, RS2 proporcjonalny do płynącego prądu, podawany jest przez obwody zabezpieczające z elementami R3, R4, D1...D4 na wejścia V1+, V1- (nóżki 3, 4). Zielone diody świecące pełnią tu rolę diod Zenera. Na wejścia V2+, V2- (nóżki 6, 7) przez dzielnik R1, R1A, PR1, R5 podawane jest napięcie będące drobnym ułamkiem napięcia sieci.

Kondensatory C1..C4 współpracujące z rezystorami R6, R3, R4, (R7+R8) tworzą filtry antyaliasingowe, zapobiegające przedostawaniu się na wejście układu scalonego wyższych częstotliwości pochodzących od krótkich impulsowych zakłóceń.

Połączenia obwodów wejść V1 i V2 mogą się wydać dziwne. W zasadzie są to wejścia symetryczne, ale pracują jako asymetryczne. Bliższa analiza pokazuje, że wejścia V1- oraz V2- są przez wspomniane obwody ochronne połączone z... masą układu, a ściślej z wyprowadzeniem masy analogowej – AGND (n. 5). Ze względu na wymaganą precyzję i spodziewane spadki napięć na ścieżkach i przewodach, zastosowano taki właśnie rozkład połączeń, co znajduje odbicie także na schemacie ideowym.

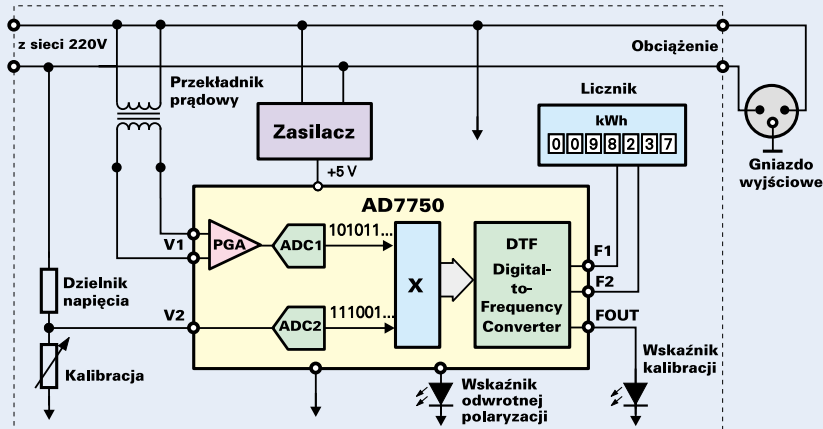
Dodatkowy rezystor R7 o wartości takiej jak R5 służy wyrównaniu parametrów filtrów współpracujących z wejściami V2+, V2-. W precyzyjnych aplikacjach należałoby zresztą zastosować selekcyjonowane kondensatory C1...C4 o dokładnie tej samej wartości, a rezystancje R3, R4, (R5+R6), (R7+R8) też powinny być identyczne. Rozrzut tych wartości powoduje bowiem nawet przy przebiegu o częstotliwości 50Hz pewne niewielkie błędy fazowe, które obniżają dokładność. W podstawowej aplikacji nie trzeba się nimi przejmować, bo są to niewielkie błędy, poniżej 0,5%.

Kondensatory C5, C10 filtrują napięcie odniesienia. Układ jest taktowany sygnałem używanym z generatora z rezonatorem kwarcowym Y1. Dioda świecąca D5 sygnalizuje niewłaściwe podłączenie układu – takie, w którym klasyczny licznik elektromechaniczny kręciłby się do tyłu - w praktyce taka sytuacja ma miejsce przy dołączeniu obciążenia do punktów C, D, a napięcia sieci do punktów A, B. W czasie normalnej pracy dioda ta pozostaje wygaszona, a jej zaświecenie sygnalizuje błąd w podłączeniu i dla powrotu do poprawnej pracy wymaga wyłączenia zasilania.



Rys. 1 Schemat blokowy

pełnie nietypowej aplikacji (np. jako cztero-



Rys. 2 Przykładowy licznik

kładnością odpowiednio 0,01kWh (10Wh) oraz 0,001kWh (1Wh).

Na pomocniczym wyjściu FOUT występują dodatnie impulsy, których częstotliwość jest 16 (albo 32, zależnie od trybu pracy) razy większa niż na F1, F2, a przebieg z tego wyjścia jest wykorzystywany do testowania i kalibracji modułu. Może też być wykorzy-

ciwartkowy układ mnożący, miernik mocy pobranej i oddanej), powinien sięgnąć do oryginalnej karty katalogowej.

Schemat blokowy przykładowego licznika energii z układem AD7750 i elektromechanicznym licznikiem pokazany jest na **rysunku 2**. W praktyce zamiast przekładnika prądowego można zastosować rezystor szeregowy i mierzyć na nim spadek napięcia, jak pokazuje **rysunek 3**.

Wyjściami modułu są punkty E, F oraz G, H. Moduł zasilany jest bezpośrednio z sieci i będzie współpracował z jakimś licznikiem lub mikroprocesorem. Aby zredukować niebezpieczeństwo porażenia, przewidziano separację za pomocą dwóch transoptorów OPT1

i OPT2. Pojawienie się impulsu dodatniego na wyjściu układu scalonego powoduje przewodzenie fototranzystora w transoptorze. Dalsze obwody (licznik, mikroprocesor) należy wykonać we własnym zakresie według potrzeb.

Dzięki podłączeniu nóżki 2 do plusa zasilania tor pomiaru prądu wzmacnia 16-krotnie sygnał z wejść V1+, V1-. Umożliwia to zastosowanie bocznika (RS1, RS2) o bardzo małej rezystancji.

Nóżki 11...14 U1 pozwalają ustawić tryb pracy układu scalonego. W wersji podstawowej wejście FS (n. 11) jest połączone do masy – punkty Z, Z2 są połączone odcinkiem ścieżki. Układ pracuje wtedy w tzw. trybie 2, a przebieg na nóżce 18 ma częstotliwość 16 razy większą od częstotliwości przebiegu głównego na wyj-

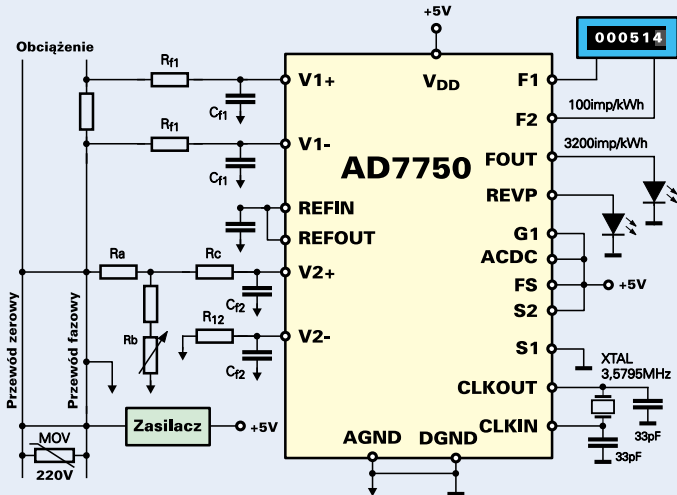
ściach F1, F2. Połączenie nóżki 11 do plusa zasilania oznacza pracę w tzw. trybie 6, gdy częstotliwości na wyjściach F1 i FOUT są większe. Kto nie ma ochoty, nie musi wgłębiać się w szczegóły – będzie pracował w trybie 2.

Na schemacie pewne obwody zaznaczono kolorem czerwonym. W drugiej części artykułu podano informacje o możliwych zmianach w tych obwodach – w wersji podstawowej nie ma to znaczenia.

Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 5. Warto zacząć od wlutowania jedynej zwory umieszczonej

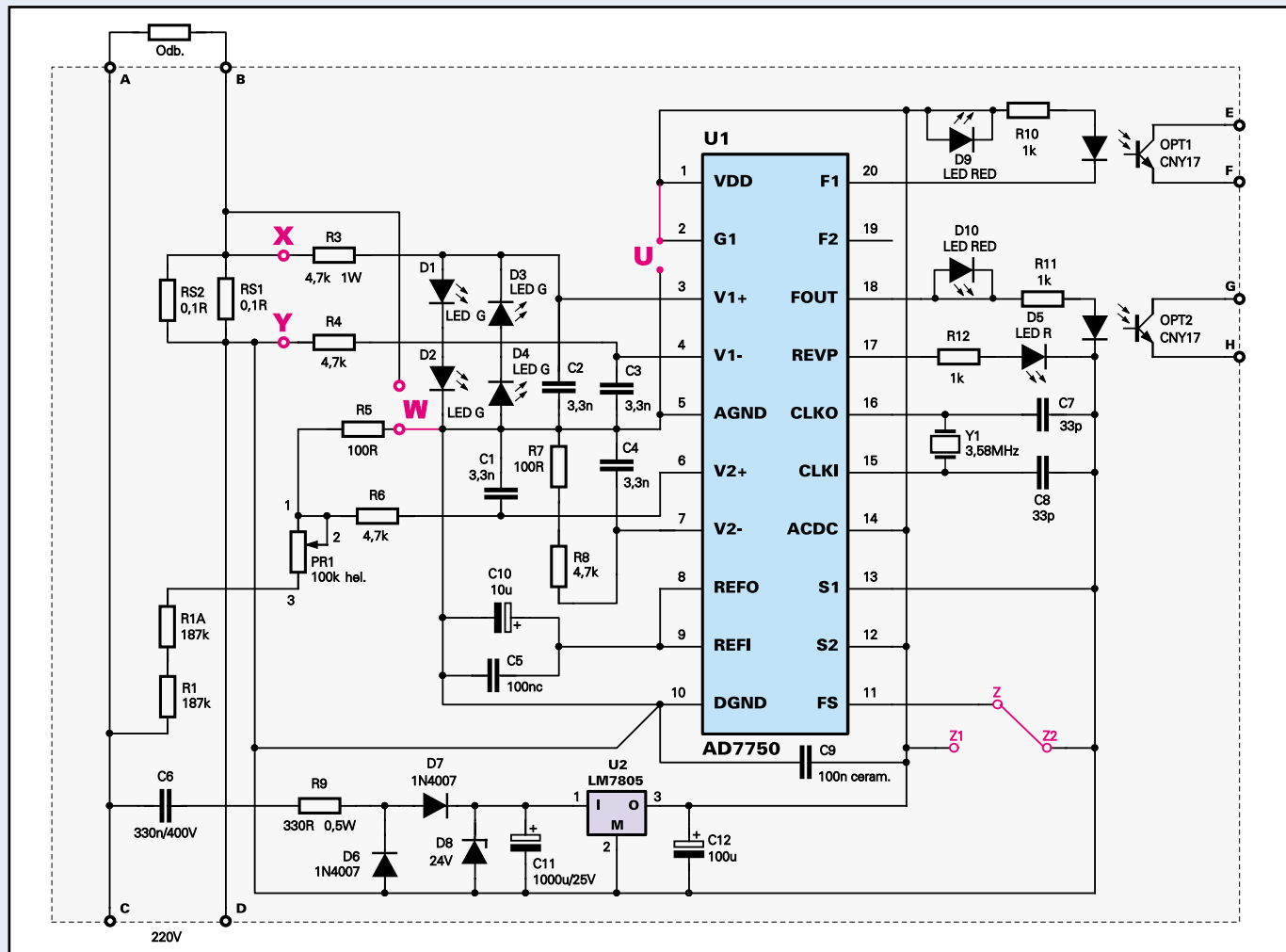
Uwaga!
W układzie występują napięcia groźne dla życia i zdrowia. Osoby niepełnoletnie mogą wykonać, uruchomić i skalibrować układ tylko pod opieką wykwalifikowanych osób dorosłych.



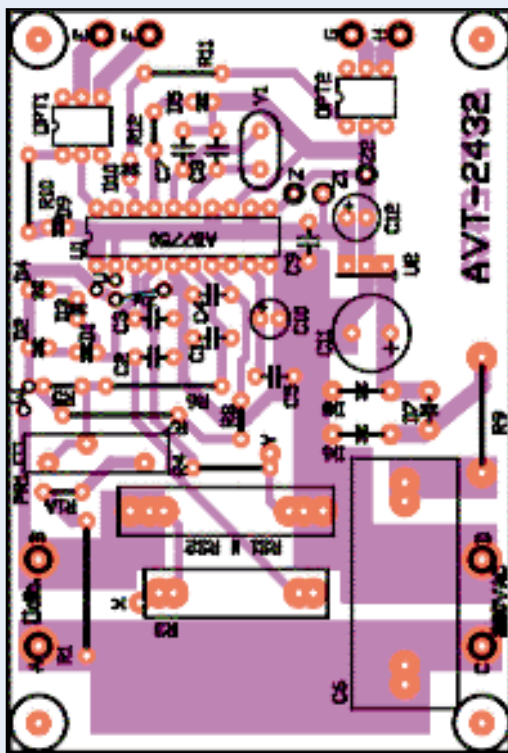
Rys. 3 Przykład do zastosowania

Rys. 4 Schemat ideowy

nóżce 18 ma częstotliwość 16 razy większą od częstotliwości przebiegu głównego na wyj-



obok kondensatora C3, a potem montować elementy, poczynając od najmniejszych. Sam montaż jest klasyczny i nie powinien sprawić trudności nawet początkującym. Delikatny i dość kosztowny układ scalony AD7750 należy włożyć do podstawki po zmontowaniu wszystkich innych elementów. Uwaga! W wersji podstawowej punkty oznaczone X, Y, U, W, Z, Z1, Z2 nie są wykorzystane – nie należy ich łączyć.



Rys. 5 Schemat montażowy

W wersji podstawowej nie występują także diody świecące D9, D10. Nie trzeba ich montować

Stopień trudności projektu wyznaczono na trzy gwiazdki nie ze względu na kłopoty montażowe, tylko ze względu na ryzyko porażenia (zasilanie wprost z sieci) oraz na fakt, że sam moduł nie stanowi kompletnego urządzenia – jest to jedynie przetwornik, który będzie współpracował albo z jakimś licznikiem, albo, co bardziej prawdopodobne – z mikroprocesorem.

Układ zmontowany ze sprawnych elementów będzie od razu działał, należy go tylko skalibrować.

Uwaga! Podczas procesu kalibracji należy zachować szczególną ostrożność, ponieważ na elementach układu wystąpią potencjalnie śmiertelne napięcia sieci.

Na czas kalibracji do wyjść A, B należy podłączyć obciążenie rezystancyjne (np. grzałkę, żarówkę) o mo-

cy około 200...300W, co daje prąd bliski nominalnemu 1,5A. Należy zmierzyć prąd płynący przez to obciążenie i napięcie na nim. Ich iloczyn ($U \cdot I$) da moc czynną P, pobieraną aktualnie przez to obciążenie. Znając moc należy obliczyć odpowiadającą jej częstotliwość na wyjściu F1 (F2):

$$F1 = 0,2777(7) \text{ Hz/kW} \cdot P$$

W praktyce łatwiej mierzyć (w trybie 2 - 16 razy) większą częstotliwość na wyjściu FOUT przeznaczonym właśnie do testów i kalibracji. Dla tego wyjścia współczynnik przetwarzania ma wynosić 4,444(4) Hz/kW, czyli częstotliwość FOUT wyniesie:

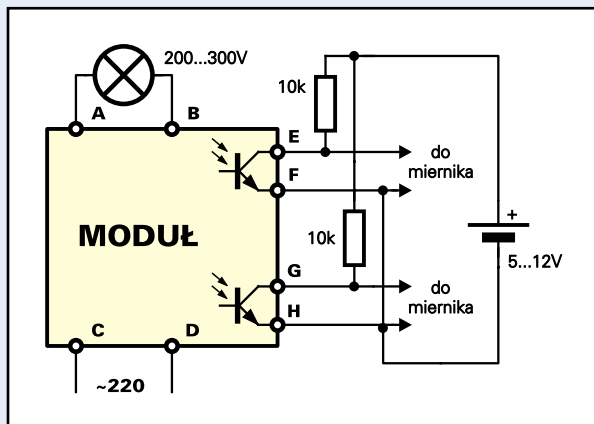
$$F_{OUT} = 4,444(4) \text{ Hz/kW} \cdot P$$

Znając aktualnie pobieraną moc i odpowiadającą jej częstotliwość, należy ustawić taką częstotliwość za pomocą potencjometru PR1. Ponieważ częstotliwości są bardzo małe, zamiast nich należy mierzyć okres T, czyli zamiast częstotlicznika trzeba użyć czasomierza, a potem policzyć częstotliwość z zależności $f = 1/T$.

Miernik zaleca się dołączyć nie wprost do wyjść F1 bądź FOUT, tylko za transpatorami, do punktów E-F, bądź G-H, dobudowując próciutki układ z zasilaczem (baterią) i rezystorem według rysunku 6.

Kto nie ma odpowiedniego miernika, mierzącego dokładny czas w zakresie sekundy...kilkunastu sekund, może wykorzystać sposób zastępczy ze stoperem: zliczać impulsy z wyjścia Fout w dłuższym odcinku czasu (kilka minut), a potem obliczyć częstotliwość dzieląc liczbę impulsów przez czas pomiaru. Można też za pomocą stopera lub nawet zegarka zmierzyć czas, w jakim pojawi się np. 10 impulsów na wyjściu F1, a potem policzyć okres jednego cyklu i częstotliwość. Czym dłuższy czas pomiaru (więcej impulsów), tym większa dokładność. Do liczenia impulsów podczas takiej kalibracji nie będzie potrzebny żaden licznik – wystarczy liczyć je osobiście. Właśnie w tym celu

Rys. 6 Obwody wyjściowe



przewidziano czerwone diody świecące D9, D10, które w wersji podstawowej nie są montowane. Potrzebne będą jedynie do takiej uproszczonej kalibracji – po ich wlutowaniu należy przeciąć umieszczone pod nimi odcinki ścieżek. Po kalibracji należy je zwrzeć, by nie obniżyć prądu płynącego przez transpatory.

Po opisanej kalibracji, czyli ustawieniu właściwej częstotliwości, każde 1000 impulsów na wyjściu F1 będzie oznaczać zużycie 1 kilowatogodziny energii. Podane informacje wystarczą do wykonania użytecznego układu. Kto chciałby bliżej poznać układ AD7750 i jego pobratymców, znajdzie wiele ważnych informacji w drugiej części artykułu, w następnym numerze EdW.

Piotr Górecki

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R1A	.....187kΩ
R3	.....4,7kΩ 1W
R4,R6,R8	.....4,7kΩ
R5,R7	.....100Ω
R9	.....330Ω 0,5W
R10-R12	.....1kΩ
RS1,RS2	.....0,1Ω 3W
PR1	.....100kΩ helitrim

Kondensator

C1-C4	.....3,3nF
C5, C9	.....100nF ceramiczny
C6	.....330nF/400V
C7, C8	.....33pF
C10	.....10μF/16V
C11	.....1000μF/25V
C12	.....100μF/16V

Półprzewodniki

D1-D4	.....LED zielona 3mm
D5	.....LED czerwona 3mm
D6, D7	.....1N4007
D8	.....dioda Zenera 24V
*D9,D10	.....LED czerwona (patrz tekst)
OPT1, OPT2	.....CNY17
U1	.....AD7750
U2	.....LM7805

Inne

Y1kwarc 3,58MHz
----	--------------------

* Nie wchodzi w skład kitu.

Komplet podzespołów z płytka jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2432