

# Mikroprocesorowy miernik energii elektrycznej

## AVT-592

*Przedstawiony w artykule miernik umożliwia pomiar energii elektrycznej, a także mocy doprowadzanej do odbiorników. Pomimo dużych możliwości, budowa urządzenia jest nadzwyczaj prosta, co udało się osiągnąć dzięki zastosowaniu mikrokontrolera i specjalizowanego układu pomiarowego.*

**Rekomendacje:** urządzenie polecamy wszystkim tym, których interesuje, ile mocy i energii pobierają urządzenia przez nich stosowane, dzięki czemu można racjonalniej zużywać energię lub rozliczać się z innymi użytkownikami.



### Krótką charakterystyka

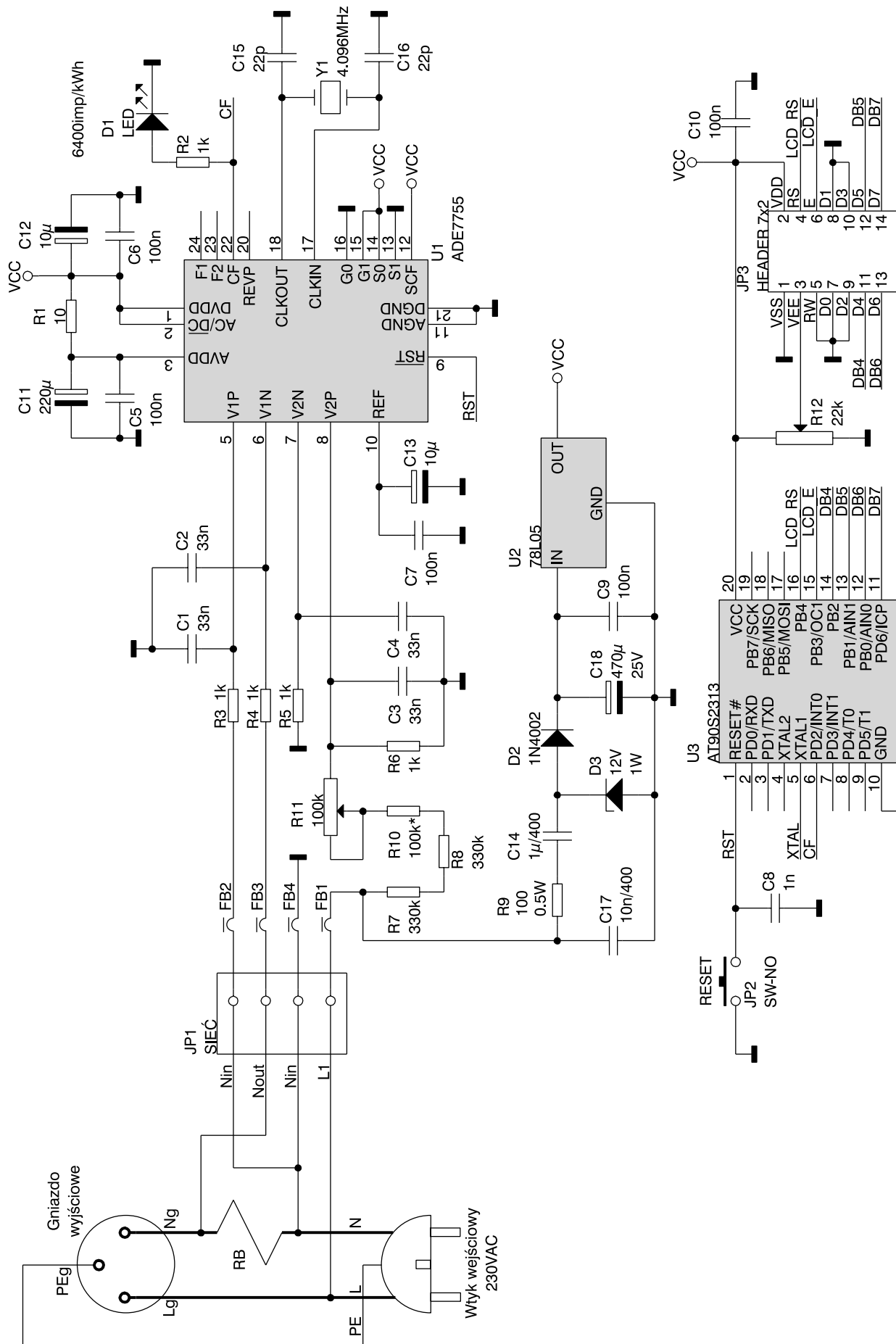
Urządzenie prezentowane w artykule umożliwia pomiar energii pobieranej przez odbiorniki podłączone do sieci energetycznej 230 V. Maksymalne natężenie prądu płynącego przez obciążenie wynosi 16 A (co daje moc do 3,7 kVA). Miernik pozwala zmierzyć także czas i w efekcie użytkownik może zmierzyć ilość pobranej energii. Mierzona jest moc czynna pobierana przez odbiornik, a wyniki pomiaru są wyświetlane na wyświetlaczu alfanumerycznym LCD 2x16 znaków.

### Opis urządzenia

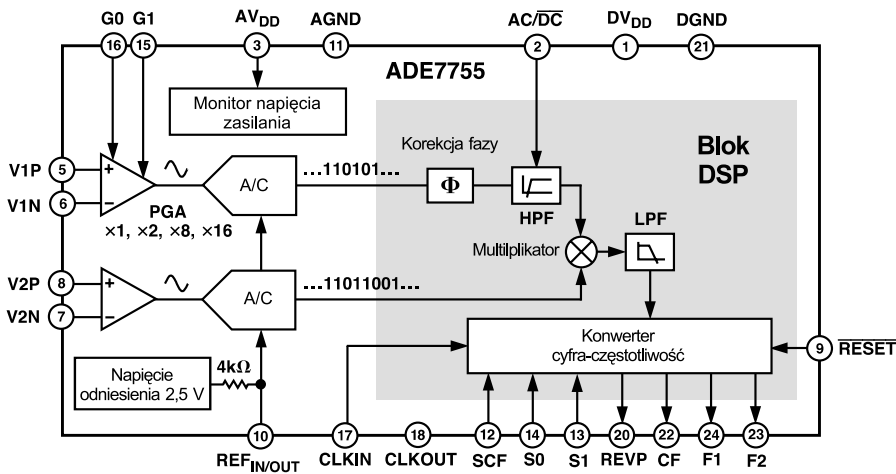
Miernik energii elektrycznej składa się z trzech podstawowych bloków (schemat elektryczny pokazano na rys. 1):

- Specjalizowanego przetwornika energia/częstotliwość firmy Analog Devices (ADE7755AN).
- Mikroprocesora współpracującego z wyświetlaczem LCD (AT90S2313).
- Beztransfornatorowego bloku zasilania o napięciu wyjściowym 5 V.

Układ scalony ADE7755 zaprojektowano z myślą o stosowaniu w aplikacjach pomiaru energii elektrycznej. Może on bezpośrednio sterować liczydłem elektromagnetycznym o napięciu znamionowym 5 V, dając 100 impulsów na kilowatogodzinę, co zapewnia rozdzielczość pomiaru 0,01 kWh. Układ posiada dwie pary wejść różnicowych: V1P, V1N, V2P, V2P (rys. 2). W kanale pierwszym sygnał jest wzmacniany za pomocą wzmacniacza o regulowanym wzmacnieniu (PGA). Wartość wzmacnienia ustala się za pomocą wejść G0 i G1. Maksymalna wartość chwilowa sygnału różnicowego może wynosić od  $\pm 30$  mV do  $\pm 470$  mV. Ze względu na wysoką czułość kanał 1 wykorzystano do pomiaru prądu przez pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym. W prezentowanym urządzeniu wartość wzmacnienia PGA ustalono na  $8^{\frac{V}{V}}$  ( $G1=1$ ,  $G0=0$ ), więc sygnał różnicowy powinien nie przekraczać  $\pm 60$  mV. Pozwala to na zastosowanie rezystora pomiarowego o wartości 0,4 m $\Omega$ . Moc tracona w boczniku o tak niskiej rezystancji jest znikoma i nie przekracza 0,1 W przy przepływie prądu o wartości 15 A. Kanał drugi wykorzystywany jest



Rys. 1. Schemat elektryczny miernika mocy



Rys. 2. Schemat blokowy układu ADE7755

do pomiaru napięcia i sygnał różnicowy nie powinny przekraczać wartości  $\pm 660$  mV.

Sygnał ze wzmacniaczy różnicowych trafia do przetworników analogowo-cyfrowych (A/C). Są to przetworniki sigma-delta o rozdzielczości 16 bitów i częstotliwości próbkowania około 900 kHz (przy typowej częstotliwości oscylatora). W obwodzie prądowym znajduje się także filtr górno-przepustowy (HPF), który zapobiega pomiarowi składowej stałej, co w rezultacie polepsza dokładność pomiaru mocy czynnej. Sygnały z przetworników trafiają do układu mnożącego, dalej do filtru dolnoprzepustowego (LPF), który uśrednia wartość chwilową mocy do wartości mocy czynnej. Ze względu na wysoką częstotliwość próbkowania, układ mierzy poprawnie także przebiegi niesinusoidalne. Napięcie referencyjne o wartości 2,5 V dla przetworników jest uzyskiwane z wewnętrznego stabilnego źródła i jest dodatkowo odsprężone przez kondensatory C7 i C13.

W kolejnym bloku sygnał jest zamieniany na częstotliwość. Stąd trafia do wyjść F1 i F2 oraz CF. Wyjścia F1 i F2 mogą bezpośrednio sterować silnikiem krokowy liczydła elektromagnetycznego. Na wyjściu CF występuje sygnał o częstotliwości większej niż na wyjściach F1 i F2, w zależności od stanu wejść S0, S1, SCF. Może on służyć do kalibracji miernika lub w naszym wypadku jest to wyjście wartości mierzonej podłączone do członu mikroprocesorowego. Ustawiona została wartość 6400 imp/kWh.

Wszystkie sygnały wejściowe doprowadzone są do układu poprzez koraliki ferrytowe (FB1...FB4). Zmniejsza to możliwość występowania zakłóceń podczas pomiarów. Sygnał prądowy dociera do układu poprzez rezystory R3 i R4 i jest odfiltrowany za pomocą kondensatorów C1 i C2. Sygnał napięciowy jest obniżany w dzielniku R7, R8, R10, R11, R6, przy czym wieloobrotowy potencjometr R11 umożliwia kalibrację przyrządu. Jego wartość jest jednak niewielka w stosunku do rezystancji całego dzielnika, dzięki czemu zakres przestrajania jest zmniejszony, ale stabilność kalibracji jest wysoka. Dodatkowo przewidziano możliwość zmiany rezystora R10. W prototypie zamiast R10 użyto zwory. Należy zwrócić uwagę, że od stabilności parametrów wspomnianych rezystorów zależy dokładność miernika z upływem czasu. Dlatego należy stosować rezystory metalizowane o możliwie niewielkiej tolerancji.

Układ jest taktowany za pomocą rezonatora kwarcowego Y1 o częstotliwości 4,096 MHz. Do poprawnej pracy generatora niezbędne są kondensatory C15 i C16. Nota aplikacyjna układu ADE7755 zaleca stosowanie kwarcu 3,58 MHz, jednak wybrałem inną wartość, ponieważ ten sam sygnał z wyprowadzenia CLKOUT taktuje mikroprocesor, a taka częstotliwość okazała się „wygodna” podczas pisania programu i obsługi pomiaru czasu.

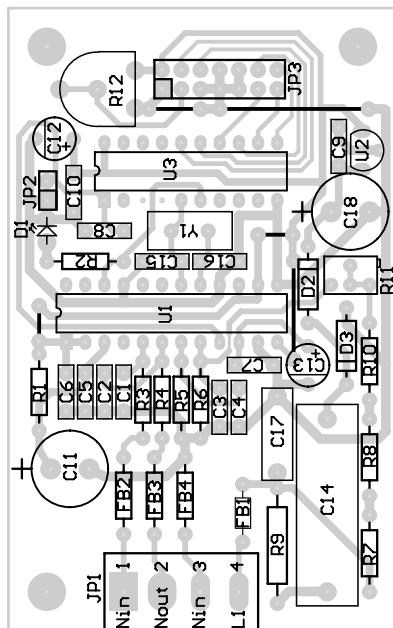
Ze względu na małą szybkość narastania napięcia zasilającego w układzie zerowania zastosowano kondensator C8 o stosunkowo

dużej pojemności – aż 1  $\mu$ F. Ten sam sygnał steruje także wejście zerujące mikrokontrolera.

Sygnał wyjściowy CF trafia do wejścia mikrokontrolera. Dodatkowo jest podłączony do diody D1, sygnalizując w ten sposób pojawienie się impulsów. Częstotliwość sygnału jest zależna od mierzonej mocy czynnej. Stała miernika wynosi 6400 impulsów/kWh, co daje przy mocy 1 kW przebieg o częstotliwości 1,78 Hz, a przy 100 W już tylko 0,178 Hz.

Elementem dokonującym przetwarzania i zliczania impulsów z przetwornika pomiarowego jest mikrokontroler AT90S2313. Wyniki pomiarów są wyświetlane na wyświetlaczu alfanumerycznym LCD 2x16 ze sterownikiem zgodnym z HD47780. Zastosowano interfejs 4-bitowy. Potencjometr R12 służy do regulacji kontrastu wyświetlania. Miernik nie posiada żadnych przycisków. Opcjonalnie można wyprowadzić przycisk zerowania, aby dało się skasować wskazania bez odłączania zasilania od odbiornika.

Ponieważ układ przetwornika jest podłączony galwanicznie do sieci energetycznej, w celu minimalizacji liczby elementów dodatkowych wykorzystano bezpośrednio sprzężenie mikrokontrolera z układem pomiarowym. Dzięki temu można było zrezygnować z dodatkowego rezonatora kwarcowego, transoptora oraz całego układu zasilania. Zasilanie obydwu układów scalonych zapewnia zasilacz beztransformatorowy. Napięcie sieci jest doprowadzane przez elementy R9 i C14. Dalej dzięki diodzie Zenera D3 ujemne połówki są obcinane, a dodatkowo ograniczone do wartości napięcia około 12V. Taki przebieg jest wyprostowany przez diodę D2 i odfiltrowany przez C18, C9. Stabilizację napięcia zapewnia miniaturowy stabilizator scalony 78L05. Kondensatory C12, C6, C10 odsprężają zasilanie 5 V. Do zasilania części analogowej układu przetwornika U1 służy rezystor R1 oraz kondensatory C11 i C5. Obciążalność zasilacza wynosi około 30 mA. Jeżeli zrezygnujemy z diody LED D1, w zupełności wystarczy prąd rzędu kilkunastu miliamperów i możemy zastosować kondensator C14 o wartości 470 nF/400 V.



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

## Program mikrokontrolera

Program obsługi urządzenia został napisany w języku C z użyciem darmowego kompilatora AVR-GCC oraz edytora AVRside (*avrside*

schematem. Czynności należy wykonać starannie, gdyż w niedalekim sąsiedztwie znajdują się punkty o znacznej różnicy potencjałów. Należy szczególnie uważać, by nie pomylić kolejności przewodów. Ustawiamy rezystor R12 odpowiadający za kontrast LCD w lewą skrajną pozycję, co odpowiada napięciu  $V_{ee} = 0$  V. Załączenie zasilania sieciowego powinno spowodować wyświetlenie napisów na wyświetlaczu LCD. Regulujemy R12 tak, by otrzymać odpowiedni kontrast na wyświetlaczu.

Elementem, któremu musimy poświęcić sporo uwagi, jest rezystor pomiarowy. Jego wartość powinna wynosić około  $400 \mu\Omega$  i powinien mieć on obciążalność długotrwałą minimum 15 A. Proponowanym rozwiązaniem jest zastosowanie instalacyjnego drutu miedzianego o przekroju  $2,5 \text{ mm}^2$ . Oczywiście rezystancja ta nie może być zwiększona poprzez żadne dodatkowe czynniki, np. złącze śrubowe. Dlatego też rezystor pomiarowy wykonujemy jako 4-zaciskowy. Schematyczny sposób podłączenia przewodu zasilającego, gniazda wyjściowego oraz rezystora RB z wykorzystaniem łączówki 4-zaciskowej przedstawia rysunek. Przewody *L*, *N*, *PE* są podłączone do przewodu zasilającego. *Lg*, *Ng* oraz *PEg* to przewody do gniazda sieciowego miernika. *L1*, *Nin*, *Nout* to przewody, które podłączamy do płytki miernika.

Ponieważ nie jesteśmy w stanie określić z wymaganą dokładnością wartości rezystancji rezystora pomiarowego, więc musimy ustawić wartość „czynnej” rezystancji podczas kalibracji. W prototypie wykorzystano przewód elektroinstalacyjny o przekroju  $2,5 \text{ mm}^2$ . Pomiar średnicy jednak dał wynik  $1,65 \text{ mm}$ , co odpowiada rzeczywistemu przekrojowi  $2,14 \text{ mm}^2$ . Przy takim przekroju okazało się, że wymagana „czynna” długość rezystora pomiarowego to około  $50 \text{ mm}$ . Tak więc pomiędzy miejscem podłączenia przewodów *Nin* oraz *Nout* musi być taka odległość. Połączenie powinno umożliwiać przesuwanie jednego z tych przewodów po przewodzie prądowym w pewnych granicach. W ten sposób będziemy mogli dokonać kalibracji. Może to być połączenie poprzez owinięcie odizolowanego przewodu pomiarowego, które potem zostanie zalutowane.

### Kalibracja

Celem kalibracji jest ustawianie tak miernika, by wartość mocy i energii wskazywanej przez niego była jak najbardziej zbliżona do prawdziwej. Sam przetwornik ADE7755 cechuje się błędem poniżej  $0,1\%$ . Dokładność całego urządzenia zależy tylko od wykonanej kalibracji i bez trudu powinna sięgnąć  $1\%$ . Do kalibracji będziemy potrzebować dokładnego watomierza lub miernika uniwer-

salnego. Elementami regulacyjnymi są wielobrotowy precyzyjny potencjometr montażowy R11 oraz wykonany samodzielnie rezystor pomiarowy RB. Przed wlutowaniem warto ustawić (z użyciem omomierza) wartość rezystancji R11 na połowę nominalnej.

Upewniwszy się, że urządzenie po włączeniu do sieci działa poprawnie i wyświetla odpowiednie napisy, możemy przystąpić do regulacji. Ponieważ nie znamy wartości rezystancji wykonanego przez nas rezystora pomiarowego RB, musimy mieć możliwość jego zmiany. Cały przewód pomiarowy powinien mieć odpowiednią długość, aby był możliwy jego montaż w listwie zacisków śrubowych. Na początek podłączamy przewody *Nin* oraz *Nout* w odległości  $50 \text{ mm}$  od siebie na przewodzie pomiarowym. Jeden przewód możemy od razu owinać i przylutować, natomiast drugi najlepiej najpierw owinać, a lutowanie wykonać po wstępnej kalibracji.

W celu kalibracji przygotowujemy odbiornik rezystancyjny o dość dużej mocy. Może to być np. czajnik elektryczny, żelazko, grzewacz, itp. Wskazane jest, by moc była w granicach  $1\text{--}2 \text{ kW}$ . Podłączamy go do gniazda miernika. Ustawiamy rezystor R11 w środkowej pozycji. Potrzebujemy teraz zmierzyć jak najdokładniej moc pobieraną przez odbiornik po podłączeniu przez

**WYKAZ ELEMENTÓW:**

RB – rezystor pomiarowy wg opisu  
– drut elektroinstalacyjny 2,5 mm<sup>2</sup>;  
C1, C2, C3, C4 33nF  
C5, C6, C7, C9, C10: 100nF  
C8: 1μF  
C11: 220μF/10V  
C12, C13: 10μF/25V  
C14: 1μF/400V monolityczny  
C15, C16: 22pF  
C17: 10nF/400V  
C18: 470μF/25V  
D1: LED  
D2: 1N4002 lub inna prostownicza  
D3: BZX85C12 lub inna dioda Zenera 12V 1W  
FB1, FB2, FB3, FB4: koralik ferrytowy;  
JP1: złącze śrubowe 4 piny raster 5mm  
JP2: przycisk (opcjonalnie)  
JP3: złącze LCD 14pin – wyświetlacz LCD 2x16 zgodny z HD44870  
R1: 10Ω  
R2, R3, R4, R5, R6: 1kΩ/1%  
R7, R8: 330kΩ/1%  
R9: 100Ω/0,5W  
R10: zwora lub dobrany  
R11: 100kΩ potencjometr wieloobrotowy  
R12: 22kΩ  
U1: ADE7755AN (DIP24)  
U2: 78L05 (TO92)  
U3: AT90S2313 (DIP20)  
Y1: kwarc 4,096MHz

nasz miernik. Najlepszy do tego byłby watomierz o odpowiednim zakresie pomiarowym. Z watomierza odczytujemy bezpośrednio wartość mocy pobieranej przez odbiornik. Porównujemy ją z wartością wyświetlaną przez nasz miernik. Jeżeli nie różni się więcej niż 5% od mierzonej watomierzem, opornik RB jest dobrany prawidłowo. Jeżeli miernik pokazuje zbyt dużą moc musimy zmniejszyć odległość pomiędzy przewodami *Nin*, *Nout* proporcjonalnie do wymaganej zmiany wskazania. Jeżeli wartość jest zaniżona, musimy tę odległość zwiększyć. Oczywiście czynności z tym związane przeprowadzamy przy urządzeniu odłączonym od sieci. Gdy uda nam się uzyskać wartość nieodbiegającą o więcej niż 5% od wskazywanej przez watomierz, końcowej regulacji dokonujemy za pomocą rezysto-

ra R11. Ustawiamy tak długo, aż wyniki będą do siebie możliwie najbardziej zbliżone.

Jeżeli nie dysponujemy watomierzem, możemy dokonać kalibracji za pomocą jednego lub dwóch multimetrów. Musimy mierzyć jednocześnie (lub w podobnym czasie) prąd oraz napięcie na odbiorniku. Pomiar napięcia musi być dokonany podczas podłączonego odbiornika, ponieważ tak duże obciążenie powoduje spadek napięcia w linii zasilającej rzędu kilku woltów. Inna sprawa ważna podczas kalibracji to zapewnienie w miarę stałego napięcia w sieci podczas tej czynności. Zwykle nie mamy na to jednak większego wpływu. Dlatego, jeżeli napięcie w miejscu kalibracji cechuje się widocznymi, nieprzewidzianymi zmianami, powinniśmy poszukać lepszego zasilania. Kalibrujemy analogicznie jak z użyciem watomierza, z tą różnicą, że moc musimy obliczyć jako iloczyn prądu i napięcia skutecznego.

Zgodnie ze specyfikacją układ przetwornika nie mierzy energii przy zbyt małym obciążeniu. Dla proponowanego rozwiązania jest to około 1,7 W. Odczyt mocy jest możliwy dla wartości obciążeń równych co najmniej 4 W. Dodatkowo można wyprowadzić sygnał RESET. Dzięki niemu można będzie kasować stan licznika bez odłączania obciążenia od sieci.

Urządzenie prototypowe zostało wykonane jako przedłużacz z bolcem uziemiającym. Należy pamiętać, że cały prąd pobierany przez odbiornik musi przepływać przez przewód zasilający do gniazda odbiornika. Tak więc, jeśli chcemy stosować urządzenie do pomiaru prądów rzędu 15 A (3,5 kVA), musimy zastosować przewód zasilający o odpowiednim przekroju – 3x1,5 mm<sup>2</sup>.

**Edward Michalczewski**  
**edim123@poczta.onet.pl**

*Dodatkowe informacje na temat układu ADE7755 można znaleźć na stronie: [http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/57173399ADE7755\\_0.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/57173399ADE7755_0.pdf).*

*Wzory płytek drukowanych w formie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: [pcb.ep.com.pl](http://pcb.ep.com.pl) oraz na płycie CD-EP9/2004B w katalogu PCB.*