

# Miernik energii elektrycznej i watomierz, część 1

## AVT-555



**PROJEKT Z OKŁADKI**



Korzystając intensywnie z komputera, często zostawiamy go włączonym przez 24 godz/dobę. Zadajemy sobie wówczas pytanie: „Ile energii zużywa ten komputer?“. Odpowiedź na to pytanie pozwala obliczyć ile to kosztuje. Niestety rada w rodzaju: „zmiernij pobór prądu amperomierzem, pomnóż przez 220V i czas włączenia“ nie jest właściwa.

Do prawidłowego pomiaru mocy czynnej wymagany jest bardziej skomplikowany miernik niż amperomierz - jest nim watomierz. Natomiast aby określić pobraną energię należy „śledzić“ pobieraną moc zasilania w czasie.

**Rekomendacje:** miernik energii niezbędny wszystkim użytkownikom urządzeń zasilanych z sieci energetycznej, którym zależy na zminimalizowaniu wysokości rachunków płaconych za energię elektryczną.

### O mocach w telegraficznym skrócie

Obliczenie mocy pobranej przez odbiornik jest łatwe, gdy jest on zasilany ze źródła prądu stałego. Wystarczy zmierzyć napięcie i prąd, pomnożyć i otrzymujemy moc w watach. Gdy chcemy obliczyć moc odbiornika zasilanego z sieci prądu przemiennego, sytuacja się komplikuje. Aby poprawnie obliczyć moc czynną (P) pobraną przez odbiornik należy jeszcze znać przesunięcie fazowe pomiędzy przebiegiem sinusoidalnym napięcia i prądu. Pomnożenie tylko wartości skutecznych napięcia i prądu da w wyniku moc pozorną (S), która jest pobierana z sieci, ale nie jest zamieniana w całości na pracę. Przyjmijmy, że napięcie i prąd ma przebieg sinusoidalny wyrażający się wzorem:

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \phi)$$

gdzie:

U, I - wartości skuteczne,  
 $\phi$  - przesunięcie fazowe między U a I.

Moc chwilowa pobierana przez odbiornik w chwili t jest równa:

$$p(t) = u(t) \times i(t) = UI \cos \phi \cdot (1 - \cos(2\omega t)) - UI \sin \phi \cdot \sin(2\omega t)$$

$$p(t) = P(1 - \cos(2\omega t)) - Q \sin(2\omega t),$$

zatem:

$$P = UI \cos \phi ; Q = UI \sin \phi ; S = UI$$

### Charakterystyka przyrządu

#### Pomiar wielkości:

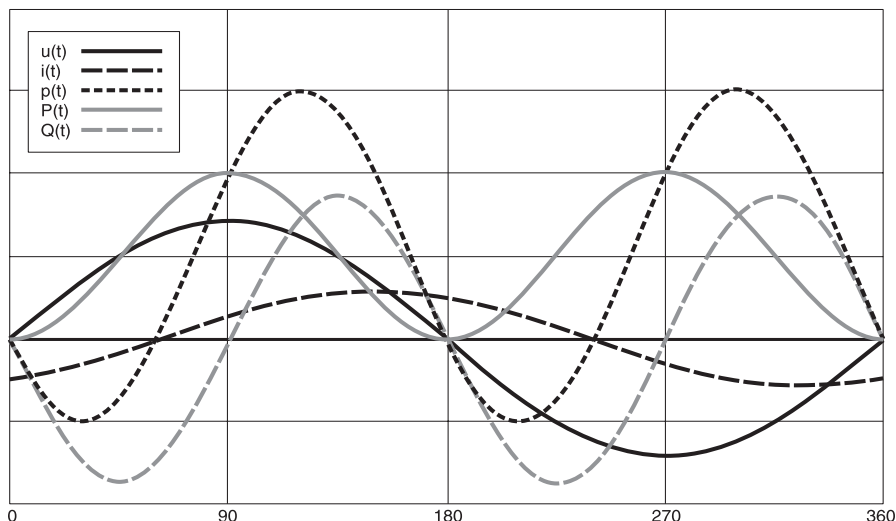
- ✓ mocy chwilowej (w odstępach 1-sekundowych) czynnej, biernej i pozornej,
- ✓ energii czynnej, (pozornej - opcja), energii czynnej w zadanym przedziale czasowym, również w systemie dwutaryfowym,
- ✓ wyliczenie współczynnika mocy PF,
- ✓ napięcia RMS, średniego, amplitudy dodatniej i ujemnej połówki przebiegu,
- ✓ prądu RMS (oraz j.w.),
- ✓ częstotliwości napięcia.

#### Zakres i rozdzielczości:

- ✓ napięcie: zakres 270 VAC, rozdzielczość 0,1 V,
- ✓ prąd: zakres 14 AAC, rozdzielczość 1 mA lub 10 mA (powyżej 250 mA),
- ✓ moc: 3200 VA, rozdzielczość 0,1 VA,
- ✓ energia: maks. 2000000 kWh, rozdzielczość 1 Wh,
- ✓ pasmo pomiarowe ok. 7 kHz.

Pobór mocy: 2VA/0,25W.

Zewnętrzne wymiary: 110x90x40, obudowa plastikowa (konieczna całkowita izolacja galwaniczna).



Rys. 1. Zależności pomiędzy mocami, napięciem i prądem w zależności od kąta przesunięcia fazowego

Jak wynika z analizy równania, przebieg mocy chwilowej ma również kształt sinusoidy, ale o dwukrotnie większej częstotliwości ( $2\omega$ ). W dodatku moc chwilowa może przybierać wartości ujemne (rys. 1). Wielkość  $\cos\phi$  jest znana Czytelnikom: im mniejszy kąt przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem a prądem, tym większa jest moc czynna. Gdy prąd jest opóźniony względem napięcia, to obciążenie ma charakter indukcyjny (np. silniki), natomiast gdy je wyprzedza, to obciążenie ma charakter pojemnościowy. Symbolem Q oznaczono moc bierną.

Jest ona wydzielana na reaktancji, moc czynna na rezystancji a moc pozorna na impedancji odbiornika. Przebieg mocy biernej jest przesunięty w stosunku do przebiegu mocy czynnej o  $90^\circ$  (analogicznie jak prąd w stosunku do napięcia), a więc zależność między tymi mocami można przedstawić w trójkącie mocy (rys. 2). Moc bierna może mieć dwojaki charakter zależny od rodzaju obciążenia: indukcyjny lub pojemnościowy. Na tych wykresach występuje moc bierna indukcyjna. Całkując (uśredniając) moc chwilową w czasie trwania jednego okresu otrzymujemy moc czynną P, natomiast całkując moc czynną P w czasie t otrzymujemy energię czynną E zużytą przez odbiornik.

W przypadku przebiegów niesinusoidalnych obliczanie mocy jest bardziej skomplikowane. Moc

czynna jest sumą mocy czynnych dla każdej z harmonicznych napięcia i prądu. W typowym odbiorniku z prostownikiem i kondensatorem wygładzającym jedynie prąd ma bardzo odkształcony przebieg od sinusoidy. Zatem moc

**Uwaga!**

**Ze względu na bezpośrednie podłączenie przyrządu do sieci 230VAC, w zależności od zorientowania wtyczki sieciowej włożonej do gniazodka, na masie przyrządu, a więc i na metalowej ramce wyświetlacza LCD może pojawić się faza napięcia sieciowego! Z tego względu praca z przyrządem bez obudowy z tworzywa sztucznego jest wysoce niebezpieczna.**

czynna jest przede wszystkim zależna od podstawowej (pierwszej) harmonicznej o częstotliwości 50 Hz. Moc pozorna jest obliczana klasycznie: jako iloczyn wartości skutecznych napięcia i prądu. Stosunek mocy P/S nie jest jednak oznaczany jako  $\cos\phi$ , lecz jako PF (*power factor* - współczynnik mocy). W obu przypadkach ( $\cos\phi$ , PF) należy dążyć do tego, aby odbiornik pobierał jak najmniej mocy biernej, lecz osiągnięcie tego celu realizuje się różnymi sposobami.

Wyjaśnienia wymaga jeszcze pojęcie wartości skutecznej (inaczej RMS). Wartość skuteczna prądu zmiennego odpowiada takiemu natężeniu prądu stałego, który płynąc w obciążeniu rezystancyjnym wydzieli identyczną moc co prąd zmienny. Dlatego najlepszym sposobem na zmierzenie wartości

skutecznej dowolnego przebiegu w szerokim zakresie częstotliwości jest metoda kompensacyjna na dwóch grzejnikach rezystancyjnych. Wartość skuteczną można również wyliczyć dokonując obliczeń na skwantowanym przebiegu napięcia za pomocą procesora.

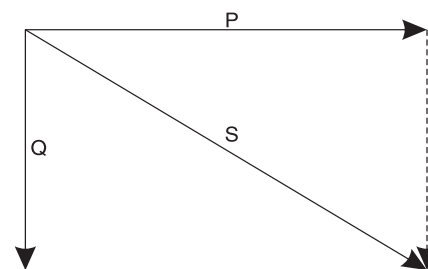
**Działanie układu ADE7759**

Pomiar mocy metodą analogową jest możliwy na dwa sposoby. Pierwszy i najprostszy, to pomiar watomierzem wskazówkowym. Jest to miernik magnetoelektryczny, w którym wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do iloczynu napięcia i prądu chwilowego, a więc również jest uwzględnione przesunięcie fazowe.

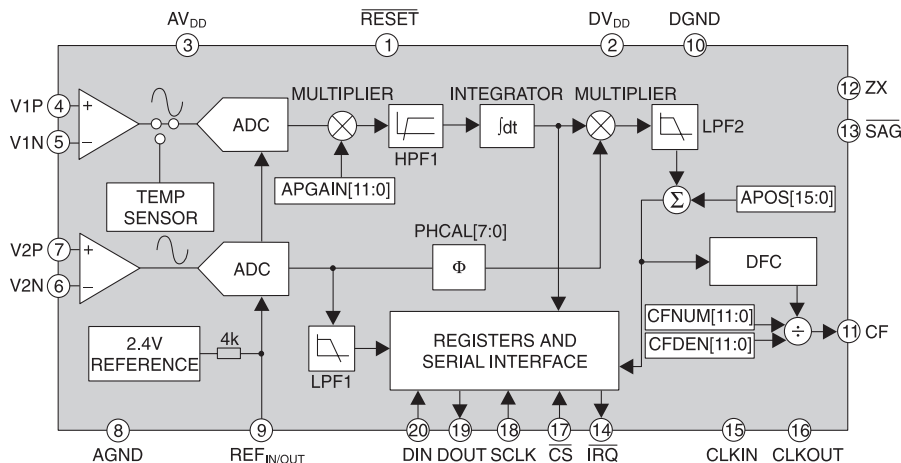
Drugi sposób polega na obliczeniu mocy przez analogowy układ mnożący zbudowany ze wzmacniaczy operacyjnych, jednak niewielka dopuszczalna dynamika sygnału na wejściu i wyjściu czyni taki przyrząd trudnym w obsłudze.

Ale wraz z rozwojem techniki cyfrowej możliwe stało się obliczenie mocy (i nie tylko) w sposób całkowicie cyfrowy. Wystarczyłoby w zasadzie skwantować przebieg napięcia i prądu z odpowiednią częstotliwością, a resztą zajęłyby się już odpowiednio zaprogramowany procesor. Jednak wydajność obliczeniowa tego procesora musiałaby być dość duża, ponieważ wymagana jest wysoka częstotliwość próbkowania sygnałów, aby przebiegi niesinusoidalne (o szerokim widmie częstotliwości) nie powodowały zbyt dużego błędu.

Na szczęście producenci układów scalonych konstruują coraz to lepsze i wymyślniejsze „kostki“, integrujące wiele układów niełatwych do dyskretnego zrealizowania. Układy z rodziny ADE775x firmy



Rys. 2. Trójkąt mocy



Rys. 3. Schemat blokowy układu ADE7759

Analog Devices są tego przykładem, a najnowszy układ ADE7759 (dostępny w sprzedaży), to właściwie kompletny watomierz sterowany cyfrowo poprzez magistralę szeregową SPI. Na rys. 3 przedstawiono jego schemat blokowy.

Opiszę teraz działanie układu scalonego, zaznaczając co zostało wykorzystane w opisywanym przyrządzie. Jak widać, układ zawiera dwa toru pomiarowe przetwarzające sygnały wejściowe: tor V1 - prądowy i tor V2 - napięciowy. Poza jednakowymi przetwornikami analogowo-cyfrowymi (A/C) toru znacznie różnią się od siebie. Wzmacniacze programowalne mają możliwość ustawienia jednej z pięciu wartości wzmocnienia: 1, 2, 4, 8 lub 16. Tor napięciowy ma zakres wejściowy napięcia ustawiony na  $\pm 0,5$  V (różnicowo), natomiast tor prądowy ma dodatkowo jeszcze dwa zakresy do wyboru:  $\pm 0,25$  V i  $\pm 0,125$  V. Te wartości odpowiadają 63% pełnej skali na wyjściu przetwornika A/C. Ponieważ w opisywanym watomierzu nie jest wykorzystywane wyjście impulsowe CF, nie ma potrzeby kalibrowania przetwarzania bezpośrednio w ADE7759 za pomocą rejestrów. Dlatego też zmieniłem w projekcie maksymalne napięcie wejściowe doprowadzone do wejść na 100% skali A/C. W efekcie kanał napięciowy może „przyjmować” napięcie z zakresu do 0,79 V, a kanał prądowy prąd do 0,395 V. W rezultacie lepsza jest dynamika mierzonych wartości napięć. Wzmocnienie wzmacniaczy ustawia się za pomocą jednego z rejestrów bloku GAIN. Ze wzmacniaczy sygnał trafia na

przetworniki A/C typu sigma-delta. Przetworniki dają na wyjściu 20-bitową liczbę w uzupełnieniu do dwóch (U2). Wartość liczbowa w kanale prądowym można korygować w zakresie  $\pm 50\%$  za pomocą rejestru APGAIN (tutaj nie wykorzystywany). W kanale prądowym występują jeszcze dwa bloki specjalne. Pierwszym jest filtr górnoprzepustowy HPF1 eliminujący składową stałą, a drugim jest cyfrowy układ całkujący przeznaczony do współpracy z cewką Rogowskiego, służącą do pomiaru prądu. Obydwa bloki nie są wykorzystywane w tym watomierzu.

W kanale napięciowym umieszczono blok korekcji fazowej sterowany rejestrem PHCAL, wymagany, gdy do pomiaru prądu użyto przekładnika prądowego lub gdy filtr HPF1 zostanie włączony. Ponieważ ten watomierz mierzy prąd za pomocą bocznika, nie jest wymagana żadna korekta fazy. Następnie sygnały obu torów trafiają do układu mnożącego. Wynikiem mnożenia jest 20-bitowa liczba w kodzie U2 odpowiadająca wartości chwilowej mocy czynnej. Uśrednianie mocy chwilowej w filtrze dolnoprzepustowym LPF2 daje moc czynną. Suma tej wartości mocy z zawartością rejestru APOS pozwala zminimalizować błąd wartości niezerowej mocy przy braku obciążenia. Akumulacja mocy w 40-bitowym rejestrze AENERGY pozwala mierzyć dokładnie ilość zużytej energii elektrycznej przez podłączony odbiornik.

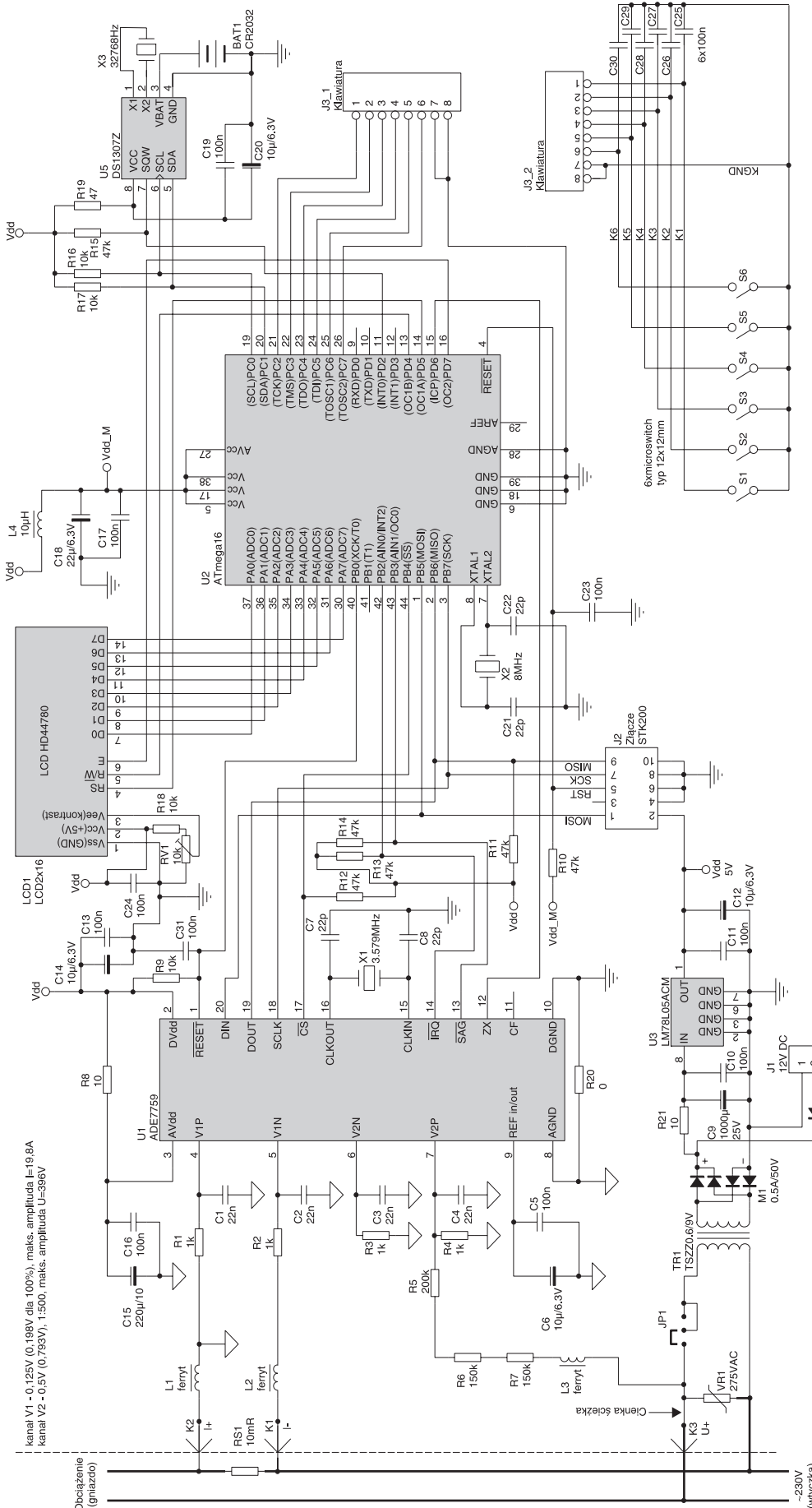
Ponieważ wszystkie te czynności odbywają się „sprzętowo”, w odpowiednich blokach układu ADE7759 możliwe stało się

zmniejszenie czasu potrzebnego na przetwarzanie próbek danych. Cykl pracy układu powtarza się z częstotliwością czterokrotnie mniejszą niż wynosi jego częstotliwość taktowania. Zalecana częstotliwość rezonatora kwarcowego wynosi 3,579545 MHz, a więc próbkowanie przebiegu wejściowego, mnożenie i akumulacja energii odbywa się z częstotliwością prawie 900 kHz. Z powodu występowania zjawiska aliasingu przy przetwarzaniu analogowo-cyfrowym, konieczne jest ograniczenie pasma sygnałów wejściowych za pomocą filtrów RC do około 7 kHz (dla -3dB spadku).

W kanale napięciowym występuje dodatkowo filtr LPF1 ograniczający pasmo przebiegu do 156 Hz. Jest on wykorzystywany przez blok detekcji przebiegu napięcia przez zero (wyjście ZC) oraz blok detekcji spadku lub zaniku napięcia (wyjście SAG). Szerzej o tym i jeszcze o innych funkcjach ADE7759 można przeczytać w opisie udostępnionym przez producenta. Wspomnę jeszcze o jednej ważnej funkcji, mianowicie o możliwości zgłaszania przerwania (wyjście IRQ) przez układ pomiarowy, jeśli wystąpi jedno z kilku zdarzeń. Może nim być pojawienie się w specjalnym rejestrze 20-bitowej próbki chwilowej napięcia, prądu lub mocy, co zostało wykorzystane w tym watomierzu do obliczenia wartości napięcia, prądu, mocy pozornej itp. Częstotliwość uaktualniania próbek została wybrana tak, aby program realizowany przez procesor zdążył obsłużyć przerwanie i dokonać niezbędnych obliczeń przed nadejściem kolejnej próbki. W praktyce udało się to wykonać w czasie krótszym niż 70  $\mu$ s, co dało rozdzielczość 280 próbek na okres sieci (50 Hz).

Podsumowując: moc i energia czynne są obliczane co 1,12  $\mu$ s sprzętowo w ADE7759, natomiast pozostałe wielkości są wyliczane programowo przez procesor sterujący, na podstawie próbek przychodzących co 71  $\mu$ s.

Do wszystkich funkcji i rejestrów dostęp jest możliwy poprzez szeregową magistralę SPI. Jest to bardzo wygodne i nowoczesne rozwiązanie - wszystkie ustawienia i kalibracje dokonywane są pro-



Rys. 4. Schemat elektryczny miernika mocy

gramowo za pomocą odpowiednich opcji i zmiennych. Magistrala SPI jest taktowana sygnałem SCLK, którego częstotliwość nie zależy od częstotliwości pracy układu ADE7759.

Zastosowanie 20-bitowego słowa wyjściowego z przetworników A/C pozwoliło uzyskać dużą dynamikę i rozdzielczość pomiarów napięć wejściowych. Producent deklaruje dokładność przetwarzania 0,1% przy dynamice 1000:1 i PF=1. Przy PF=0,5 i skrajnej wartości temperatury otoczenia, błąd rośnie do ±0,4%. Jest to znakomita dokładność i potrzebna jest dobra konstrukcja przyrządu (precyzyjne elementy, dobrze zaprojektowana PCB), aby nie pogorszyć znacząco tego wyniku.

### Budowa i działanie układu

Na rys. 4 pokazano schemat elektryczny watomierza. Jest to schemat aplikacyjny ADE7759, nieróżniący się bardzo od proponowanego przez producenta. Zasilanie części cyfrowej  $V_{DD}$  i analogowej  $AV_{DD}$  jest takie jak w nocie aplikacyjnej. Wyjście wewnętrzne napięcia odniesienia 2,4 V na nóżce 9 zostało zablokowane dwoma kondensatorami: 10  $\mu F$  i 100 nF. Masa części analogowej jest połączona z masą cyfrową w jednym punkcie, pod układem U1 („symboliczny” rezystor R20 o rezystancji 0  $\Omega$ ). Nieco zmieniony jest sposób podłączenia wejść pomiarowych do sieci 230 V. Napięcie z bocznika prądowego RS1 o wartości 0,01 $\Omega$  jest podane na wejście różnicowe V1P-V1N poprzez filtr antyaliasingowy R1-C1, R2-C2 i koraliki ferrytowe L1, L2. Koraliki ferrytowe zapobiegają przedostawianiu się z sieci do przyrządu impulsów zakłócających o wysokiej częstotliwości. Jak już podałem wcześniej, maksy-

malna wartość różnicowa w kanale prądowym została ustalona (w rejestrze GAIN) na 0,4 V przy wzmacnieniu  $\times 2$ . Daje to maksymalną amplitudę napięcia wejściowego 0,2 V, co odpowiada prądowi 20 A, czyli 14 A<sub>rms</sub>.

Kanał napięciowy również posiada identyczne filtry antyaliasingowe. Napięcie sieciowe jest dzielone w stosunku 1:500 w dzielniku R4/(R4+R5+R6+R7). Punkt wspólny napięć wejściowych, czyli masa analogowa została wybrana w punkcie K2 za koralikiem ferrytowym, więc wejścia V1P i V2N są na poziomie masy.

Układ ADE7759 jest taktowany przbiegiem zegarowym o częstotliwości 3,579 MHz. Wyjście zgłaszania przerwania (IRQ) i detekcji zaniku lub spadku napięcia (SAG) oraz wejście uaktywniające magistralę SPI (CS) są podciągnięte do V<sub>dd</sub> za pomocą rezystorów R13, R14 i R12. Wyjścia te są podłączone do odpowiednich linii mikrokontrolera sterującego.

Układem steruje mikrokontroler ATmega16 z popularnej rodziny AVR firmy Atmel. Tym co zdecydowało o jego wyborze, była dostępność sprzętowego interfejsu SPI, TWI (czyli I2C) oraz jednostki mnożącej, a także duża szybkość wykonywania obliczeń i możliwość programowania pamięci programu w układzie docelowym (ISP). ATmega16 posiada 16KB pamięci Flash, co daje możliwość zapisania prawie 8 tysięcy rozkazów - jest to więc spora pamięć jak na program pisany wyłącznie w assemblerze (takie było założenie). Z wyposażenia ATmega16 zostały wykorzystane jeszcze: *Watchdog* i *Brown-Out-Detector* (generuje sygnał zerujący przeryt przy zbyt niskim napięciu zasilania), funkcja ICP timera T1 (mierzenie czasu trwania impulsu) oraz dwa wejścia przerwań zewnętrznych (INT0 i INT2).

Mikrokontroler jest zasilany przez filtr LC (L4, C17, C18), co ma dodatkowo zapobiegać możliwości zakłócenia jego pracy. Taktowany jest sygnałem zegarowym stabilizowanym za pomocą rezonatora 8 MHz, dzięki czemu łatwo jest obliczyć czasy wykonywania procedur.

Do portu A oraz linii PD4 PD5 i PD7 podpięto alfanumeryczny wyświetlacz LCD 2x16. Do sześciu

linii portu C zostało dołączonych 6 przycisków S1...S6 wraz z kondensatorami C25...C30 służącymi do tłumienia drgań ich styków. Wejście INT0 (port PD2) i magistrala TWI (porty PC0, PC1) są połączone z zegarem czasu rzeczywistego DS1307. Układ ten pracuje z własnym kwarcem częstotliwości rezonansowej 32 kHz, a jego praca jest podtrzymywana baterią litową. Na wyjściu SQW podłączonym do INT0 w ATmega16 występuje przebieg o częstotliwości 1 Hz, który rozpoczyna start nowego cyklu pomiarów.

Układ ADE7759 komunikuje się z mikrokontrolerem poprzez magistralę szeregową SPI (PB5...PB7). Wyjście SS (PB4), aktywne poziomem niskim, inicjuje komunikację w ADE7759. Magistrala SPI, sygnał RESET i zasilanie są także wyprowadzone na złącze szpilkowe J2 (standard STK200), które służy do programowania pamięci programu mikrokontrolera.

Przerwania z ADE7759 są zgłaszane zmianą poziomu z wysokiego na niski na wejściu INT2 (PB2). Poziom niski na linii SAG sygnalizuje zbyt niskie napięcie sieciowe lub jego brak, co jest wykorzystywane w programie do zapisu stanu liczników energii. Ponadto procesor ma możliwość wyzerowania ADE7759 poprzez linię PB0, co jest przydatne (właściwie wymagane) podczas restartu watomierza.

Pobór prądu przez układy scalone i wyświetlacz wynosi około 20 mA. Do obniżenia napięcia sieciowego zastosowany został miniaturowy transformator o napięciu wtórnym 9 V. Aby zmniejszyć udar prądowy przy włączeniu oraz zakłócenia z sieci, przed kondensatorem filtrującym znajduje się rezystor R21 (10Ω). Kondensator C9 ma dużą pojemność jak na tak niewielki pobór prądu, ponieważ jego zadaniem dodatkowym jest podtrzymanie działania watomierza jeszcze przez chwilę po zaniku napięcia sieciowego. Napięcie 5 V jest stabilizowane przez układ scalony U3 (78L05).

Złącze J1 służy do zasilania watomierza podczas programowania procesora. Niedopuszczalne jest wgrywanie programu przy zasilaniu przyrządu z sieci 230 V (choć jest to możliwe, gdy komputer nie jest uziemiony).

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

R1...R4: 1kΩ/1%  
R5: 200kΩ/1%  
R6, R7: 150kΩ/1%  
R8, R21: 10Ω/5%  
R9, R16...R18: 10kΩ/5%  
R10...R15: 47kΩ/5%  
R19: 47Ω/5%  
RV1: 10kΩ potencjometr  
RS1: 0,01Ω RS-3668671  
VR1: 275VAC JVR-14N 431K

#### Kondensatory

C1...C4: 22nF/10%  
C5, C10, C11, C13, C16, C17, C19: 100nF  
C6, C12, C14, C20: 10μF/6,3V  
C7, C8, C21, C22: 22pF/5% NPO  
C9: 1000μF/25V  
C15: 220μF/10V  
C18: 22μF/6,3V  
C23...C31: 100nF/20%

#### Półprzewodniki

U1: ADE7759  
U2: ATmega16  
U3: LM78L05ACM  
U4: DS1307Z  
D1: LL4148  
M1: 0,5A/50V B080C1000DIL

#### Różne

X1: 3,579MHz  
X2: 8MHz  
X3: 32768Hz  
S1...S6: microswitch 12x12  
TR1: TSZZ0.6/9V (Indel)  
LCD1: LCD 2x16  
BAT1: CR2032 podstawka  
L1...L3: koralik ferrytowy 3,5x9 mm  
L4: 10μH  
J1, JP1: goldpiny  
J2: DC10  
obudowa Z5, kabel trójżyłowy z wtyczką, gniazdko sieciowe

Do ochrony przyrządu przed przepięciami w sieci zasilającej służy warystor VR1. Cienka ścieżka na płytce drukowanej pomiędzy przewodem sieciowym a transformatorem, dzielnikiem i warystorem pełni rolę bezpiecznika. Jumper JP1 służy do rozłączania transformatora od przewodów pomiarowych (sieciowych) podczas kalibracji watomierza napięciem stałym.

**Grzegorz Gajewski**  
gayos@interia.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: [pcb.ep.com.pl](http://pcb.ep.com.pl) oraz na płycie CD-EP12/2003B w katalogu PCB.

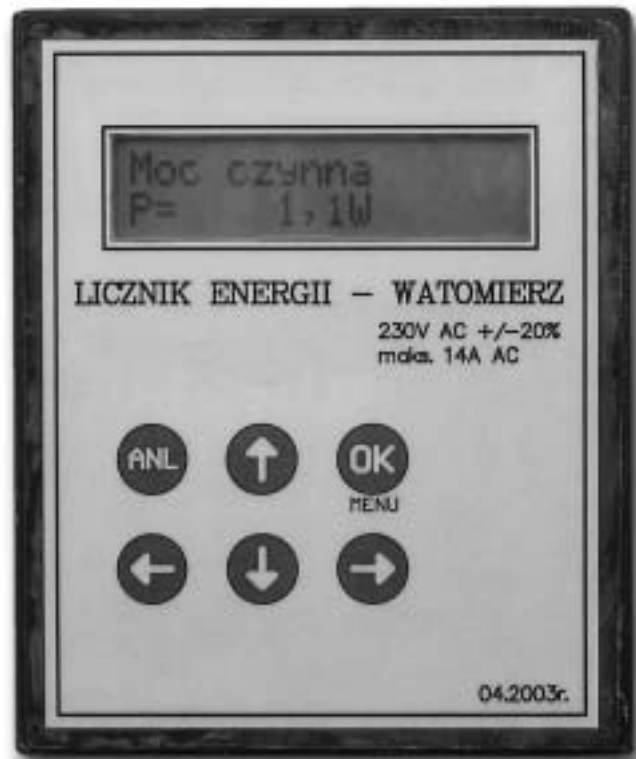
# Miernik energii elektrycznej i watomierz, część 2

## AVT-555



W drugiej części artykułu przedstawiamy opis montażu, uruchomienia, kalibracji i posługiwania się przyrządem. Ze względu na duże znaczenie dokładności otrzymywanych wyników i bezpieczeństwo obsługi, artykuł polecamy wszystkim wykonawcom przyrządu.

**Rekomendacje:** watomierz niezbędny użytkownikom urządzeń zasilanych z sieci energetycznej, którym zależy na zminimalizowaniu wysokości rachunków płaconych za energię elektryczną, czyli wszystkim.



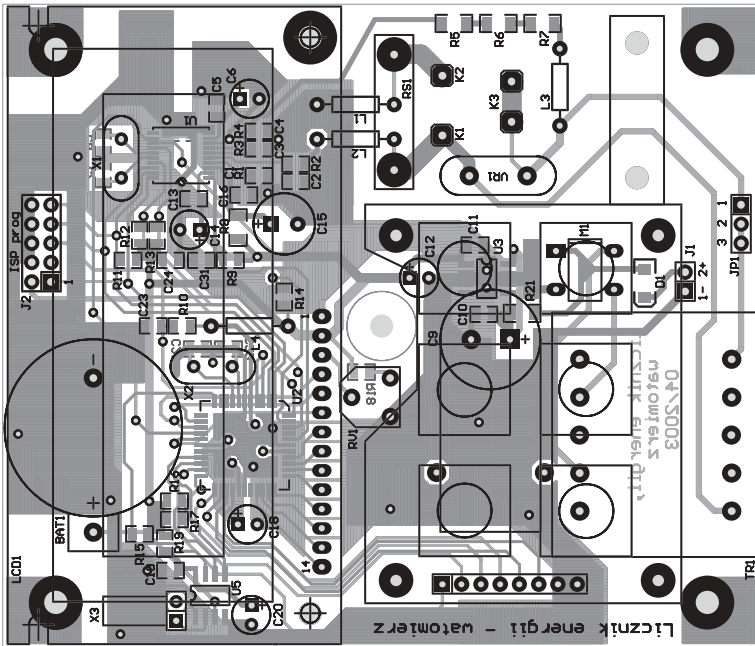
### Montaż przyrządu

Większość elementów watomierza jest w wersji do montażu powierzchniowego (schemat montażowy płytki pokazano na rys. 5). Główna płytka drukowana jest dwustronna, ale elementy są montowane na jednej stronie (z kilkoma wyjątkami: C7, C8, C21, C22, C17, R18).

Na fot. 6 pokazano widok prototypu watomierza. Widać na niej, jak powinny być zamocowane: płytka klawiszy, LCD i przewody sieciowe. Płytkę drukowaną ma na środku otwór  $\phi 9$ , w który wchodzi słupek obudowy Z5. Jeżeli płytki drukowane będą wykonywane samodzielnie, to należy wykonać kilkadziesiąt przelotek cienkim drucikiem uważając, aby pod układami scalonymi były możliwie mało wypukłe. W punktach lutowniczych należy przylutować końcówki elementów przewlekanych (z obu stron - szczególnie ważne przy kondensatorach elektrolitycznych) lub wykorzystać taki punkt do montażu przelotki.

Lutowanie należy zacząć od dwóch gniazd, wykonanych z kawałków podstawek precyzyjnych, ułatwiających podłączenie LCD i płytki klawiatury. Potem należy przylutować układy scalone. Następnie lutujemy elementy w kolejności od najmniejszych do największych. W punktach K1, K2, K3 najlepiej przynitować i zalutować odcinki drutu miedzianego lub specjalne kołki lutownicze.

Aby zamontować wyświetlacz i klawiaturę, należy przygotować obudowę. Szablon do wycięcia otworów w obudowie pokazano na rys. 7. W dolnej części obudowy należy wywiercić pięć otworów oraz sfazować je od zewnątrz tak, aby schował się łeb wkręta. W płytce wyświetlacza LCD również należy sfazować dwa otwory, gdyż może być problem ze zbyt wystającym łbem śruby. Za pomocą dwóch tulejek plastikowych o długości około 36 mm i dwóch długich śrub z łbem stożkowym przykręcamy LCD do płytki głównej. Pod jedną nakrętkę należy dać nieprzewodzącą podkładkę. Śruby należy



Rys. 5. Schemat montażowy płytki drukowanej

uciąć tuż za nakrętkami. Dwie kolejne tulejki będą podtrzymywały LCD przy górnej jego krawędzi. Przez te tulejki przechodzą długie śruby, którymi płytka główna jest przykręcona do obudowy. Tak więc długość tych tulejek powinna być krótsza o grubość nakrętki.

Płytkę klawiszy montuje się za pomocą odcinków miedzianego drutu  $\phi 1,4$ . Drut należy przylutować do płyty głównej, a płytkę klawiszy tylko nałożyć na druty.

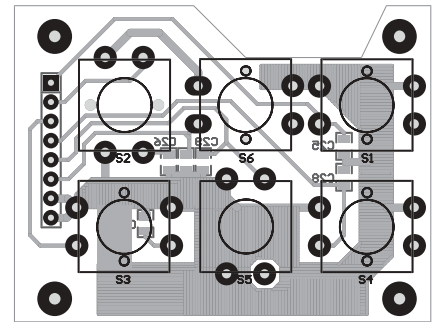
Aby ułatwić montaż i demontaż płytki głównej i obudowy, należy pocynować boki nakrętek (najlepiej mosiężnych) i po przykręceniu płyty głównej w obudowie przylutować je do pól lutowniczych. Teraz można skrócić obie połówki obudowy razem (ale bez wstawek bocznych). Ponieważ pomiędzy słupkami centralnymi jest zbyt duża przerwa, należy włożyć pomiędzy nie nakrętkę M5 lub coś innego o tej grubości.

Po skróceniu obudowy sprawdzamy, czy ramka wyświetlacza LCD układa się równo z obudową. W razie potrzeby należy skrócić albo dać nowe tulejki. Prawidłowo zamontowany wyświetlacz nie powinien pod naciskiem uginać się poniżej poziomu górnej obudowy (po to są tulejki). Następnie tak ustawiamy płytkę klawiszy, aby przyciski wystawały 0,3...0,5mm ponad obudowę. Po ustawieniu wstępnie przylutowujemy płytkę klawiszy do drutów.

Niestety, ten sposób montażu ma jedną trochę irytującą wadę. Połączenie górnej części obudowy z dolną za pomocą tylko jednego centralnego wkręta powoduje, że obudowa ugina się i „skrzypi” na łączeniach bocznych. Dla wyeliminowania tego efektu można, po całkowitym uruchomieniu watomierza, posmarować krawędzie elastycznym klejem, np. butaprenem. Butapren nie powinien skleić trwale plastikowej obudowy.

Po dopasowaniu LCD i klawiszy do obudowy należy je połączyć elektrycznie. Najlepiej do tego celu nadają się wyprowadzenia rezystorów przewlekanych. Wciskamy je w podstawkę, ucinamy na wymaganą długość i lutujemy końce. Dzięki temu demontaż LCD jest łatwy i szybki. Demontaż klawiatury jest zbędny.

Obejmę na przewody sieciowe należy wykonać z kawałka blachy

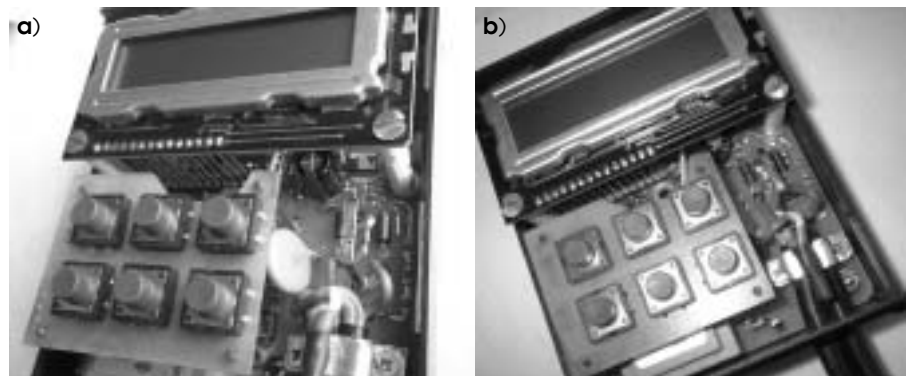


stalowej o grubości milimetra. Przewód musi być umocowany 5mm nad płytką, a więc należy wykonać podkładkę takiej grubości, najlepiej z nieprzewodzącego materiału. Do punktów K1 i K3 lutujemy kabel sieciowy z wtyczką, a do punktów K2 i K3 kabel z gniazdkiem. Przewody ochronne (zielono-żółty) łączymy razem poza płytką główną.

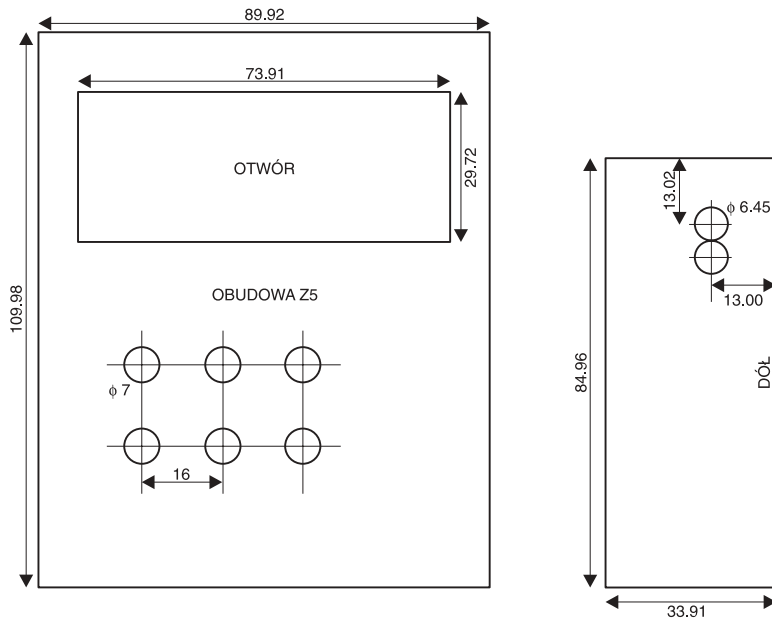
„Płytkę czołową” trzeba zalaminować i przykleić do obudowy. Klejenie polietylenu jest trudne. Dobrze trzyma, choć trochę nieefektywnie wygląda (na obrzeżach), tani klej „szewski”. Smarując klejem obudowę, należy zostawić wolną powierzchnię wokół krawędzi otworów na przyciski (odstęp min. 5mm).

### Uruchomienie watomierza

Po sprawdzeniu poprawności montażu, szczególnie przy samodzielnym wykonywaniu płytek drukowanych, sprawdzamy, czy jeden z przewodów sieciowych ma połączenie z masą watomierza. Następnie do złącza J1 dołączamy zasilacz regulowany. Zwiększając powoli napięcie od 5 V, mierzymy jednocześnie napięcie zasilania procesora. Przy prawidłowym montażu i sprawnych elementach stabilizator będzie działał poprawnie.



Fot. 6. Widoki wnętrza prototypu watomierza



Rys. 7. Szablon do wycięcia otworów w obudowie

Do zaprogramowania procesora można użyć dowolnego programatora SPI wyposażonego we wtyk standardu STK200, np. PonyProg ([www.lancos.com](http://www.lancos.com)). Wskazane jest, aby programator zawierał bufory, np. układ HC244. Podłączamy wtyk programatora do gniazda J2, przyłączamy zasilanie do J1 i uruchamiamy program obsługujący programator. Najpierw należy wykasować pamięć Flash, potem załadować do niej program procesora ATmega16, a na końcu ustawić bity konfiguracyjne (*fuse bits*). Bity BODLEVEL, BODEN, SUT1, SPIEN muszą być zaprogramowane (zaznaczone w programatorze), a pozostałe bity należy pozostawić niezaprogramowane.

Po zaprogramowaniu i ustawieniu kontrastu LCD potencjometrem RV1, na LCD powinien pokazać się napis o braku napięcia sieciowego.

Teraz można sprawdzić działanie watomierza, włączając go do sieci 230 V (ostrożnie!). Po podłączeniu sprawdzamy napięcie wtórne transformatora - powinno wynosić 12...14 V. Jeśli wszystko działa prawidłowo, to odłączamy watomierz od sieci, wkładamy baterię do podtrzymania zegara i ponownie włączamy go do sieci. Powinien być wyświetlany komunikat powitalny.

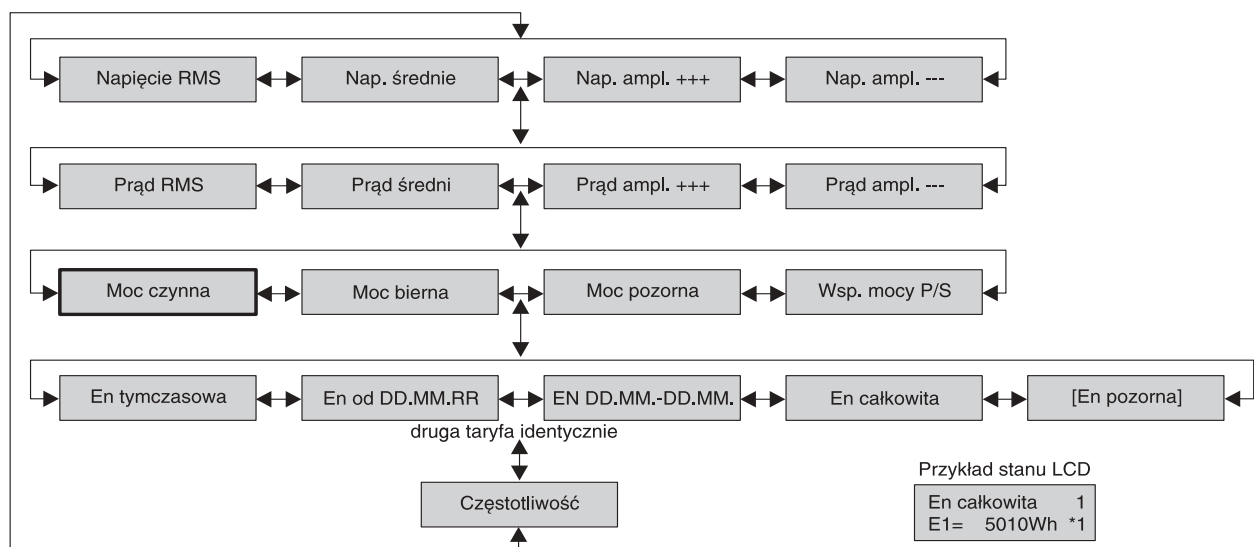
Aby watomierz zaczął pracować, należy ustawić bieżący czas na zegarze. Naciskamy trzy razy

OK i na wyświetlaczu pojawia się migający kursor wskazujący, która część daty jest edytowana. Strzałkami w górę i w dół zmieniamy wartość (dłuższe przyciśnięcie klawisza powoduje szybkie zmiany), strzałkami w lewo i w prawo wybieramy liczbę do edycji (oraz dzień tygodnia), klawiszem OK zatwierdzamy ustawienie całości, a klawiszem ANL anulujemy zmiany (wychodzimy z edycji bez zatwierdzenia). Naciśnięcie ANL poza trybem edycji powoduje wyjście z menu i powrót do normalnego działania przyrządu. Strzałkami wybieramy kolejne pozycje z menu.

### Obsługa przyrządu

Po włączeniu watomierza do sieci, na LCD jest wyświetlana moc czynna. Strzałkami można wybrać inną wielkość zgodnie ze schematem z **rys. 8**. Przykład wyświetlania mocy pokazano na **foto. 9**. Po prawej stronie wyświetlacza mogą pojawić się dodatkowe symbole:

- 1 lub 2 oznacza numer taryfy dla konfiguracji licznika dwutaryfowego (nie pojawia się, gdy licznik działa jako jednotaryfowy).
- \* oznacza, że energia jest ujemna („płynię” od gniazdka do wtyczki).
- **Migające P** to symbol przekroczenia zakresu prądu lub napięcia. Gdy ten stan wystąpi, to przy jednostce prądu lub napięcia pojawia się napis *max*, informujący o przekroczeniu zakresu.



Rys. 8. Struktura menu watomierza



Wartość RMS, czyli skuteczna, to najbardziej przydatny wynik pomiaru. Wartość średnia to po prostu suma próbek w czasie jednego okresu napięcia sieci (wartość bezwzględna), podzielona przez liczbę próbek. Dla każdego przebiegu okresowego (sinusoidea, prostokąt, trójkąt) stosunek wartości skutecznej do średniej jest różny, lecz ściśle określony, np. dla sinusoidy 1,11. Amplituda przebiegu to po prostu maksymalna wartość przebiegu.

Energia tymczasowa to wartość energii tylko na czas działania watomierza. Przy każdym starcie akumulator tej energii zostaje wyzerowany. Natomiast energia całkowita jest sumą energii od początku działania watomierza - jest pamiętana nieulotnie. Jej pamięć można wyzerować z menu w trybie kalibracji. Podobnie jest z energią pozorną. Licznik tej ostatniej i dwa liczniki energii „czasowej” zostały opisane niżej. Gdy licznik energii działa w trybie dwutaryfowym, to każdy z akumulatorów energii posiada odpowiednik dla drugiej taryfy oznaczony symbolem E2. Akumulator energii taryfy pierwszej ma symbol E1. Dostępny jest jeszcze pomiar częstotliwości napięcia sieciowego oraz współczynnik wypełnienia przebiegu tego napięcia, podany w procentach.

Poruszanie się w menu zostało opisane wyżej. Symbol >>> oznacza istnienie podmenu dla danej opcji. Jeśli podczas wywołania menu przerwa pomiędzy naciśnięciami klawiszy wyniesie powyżej minuty, to następuje automatyczne wyjście z menu. Wyjaśnię jeszcze niektóre jego opcje.

**Zakres zliczania energii** - w tym podmenu można ustawić zakres zliczania energii dla dwóch różnych liczników (akumulatorów): En od DD.MM.RR i En DD.MM-DD.MM. Daty ustawia się podobnie jak dla *data* i *czas*. Akumulacja dla pierwszego licznika rozpocznie się z chwilą osiągnięcia ustalonego terminu i trwać może „w nieskończoność”, natomiast w drugiej termin zakończenia jest ustalany w menu. Najmniejszy przedział czasu to minuta. Należy również pamiętać, że porównywanie czasu odbywa się „od...do włącznie”, czyli np. gdy

chcemy zliczać energię przez godzinę, należy ustawić identyczną datę i godzinę, minutę początkową na 00, a minutę końcową na 59. Zawartość licznika energii jest zapamiętywana do czasu, aż nastąpi kolejne wejście w tryb edycji daty (oddzielnie dla każdego).

**Zakres godzin taryfy 2** - są cztery możliwe ustawienia przedziałów czasowych, dla których energia będzie akumulowana w licznikach E2, przy czym nie wszystkie muszą być aktywne. Zasada ustalania czasu trwania jest taka sama jak powyżej. Dodatkowo, w każdym przedziale jest możliwość określenia dni aktywnych również w formacie „od...do włącznie”, przy czym mogą być w kolejności „malejącej”, np. *Czw...Pon* oznacza dni od czwartku do poniedziałku (włącznie) przez piątek i weekend. Aby taryfa 2 była aktywna, musi być włączona odpowiednia opcja w menu Ustawienia. Oczywiście liczników E2 można także używać jako specyficznej odmiany licznika En DD.MM-DD.MM.

**Ustawienia** - w tym menu dostępne są cztery ustawienia: Pokazuj energię [Wh] lub [kWh]; Licznik energii [jednotaryfowy] lub [dwutaryfowy]; *Energia pozorna* [nieliczona] lub [liczona]; *Akumuluj energię* [tylko dodatnią] lub [również ujemną].

Włączenie zliczania energii pozornej powoduje pojawienie się dodatkowego wskazania na wyświetlaczu, pokazującego stan licznika energii pozornej. Ponieważ energia pozorna jest obliczana przez procesor (jako iloczyn napięcia i prądu), więc zawartość licznika energii pozornej jest obciążona błędem znacznie większym niż energii czynnej przynajmniej z dwóch powodów. Po pierwsze, obliczanie energii pozornej odbywa się raz na sekundę, a więc i akumulacja tej energii odbywa się co sekundę. Po drugie, gdy watomierz jest w trybie menu, akumulowana jest ostatnia wartość mocy pozornej, ponieważ wtedy nie są wykonywane żadne obliczenia poza odczytem energii czynnej z ADE7759.

Akumulacja energii ujemnej ma sens tylko wtedy, jeśli taka energia będzie przepływać. Odbiornik musiałby więc oddawać energię



Fot. 9. Widok wyświetlacza przyrządu podczas wyświetlania zmierzonej mocy

do źródła, co byłoby widoczne na wyświetlaczu w postaci symbolu \*. W takim przypadku akumulacja energii ujemnej to po prostu „cofanie się” licznika.

### Opis działania programu

Po starcie programu następuje inicjalizacja rejestrów, zmiennych, bloków procesora i urządzeń zewnętrznych (np. LCD) oraz detekcja pierwszego uruchomienia watomierza po zaprogramowaniu procesora. Gdy zostanie to wykryte, następuje odpowiednia inicjalizacja pamięci EEPROM: domyślne wartości zmiennych nieulotnych, zerowanie liczników itp. Potem następuje sprawdzenie stanu klawiszy odpowiedzialnych za wejście w tryb kalibracji. Następnie inicjowane są pozostałe wymagane rejestry i program wchodzi do pętli głównej. Na początku pętli program odczytuje zawartość rejestru energii z ADE7759, przelicza ją i akumuluje w licznikach energii oraz wylicza moc czynną. Po zakończeniu tych działań ustawiana jest flaga zezwalająca na zbieranie próbek napięcia i prądu. Odczyt kolejnej próbki (jednocześnie z dwóch kanałów) jest realizowany w przerwaniu zgłaszanym co 71  $\mu$ s (280 próbek na okres sieci), natomiast pętla główna czeka na przestawienie flagi z powrotem w stan nieaktywny. Próbkę są zbierane i wstępnie przetwarzane przez określoną liczbę okresów (np. 25) lub gdy zostanie zebrana ich określona liczba. Następnie program przechodzi w tryb obliczeń - obliczane są wszystkie wielkości, a także mierzony jest czas jednego okresu, co umożliwia obliczenie częstotliwości przebiegu napięcia.

W kolejnym kroku następuje wyświetlenie wartości wybranej wielkości na wyświetlaczu. Konwersja z postaci binarnej na kod BCD jest wykonywana tylko dla danego wyniku, a następnie wypełniany jest bufor drugiej linii

LCD, w której jest wyświetlany wynik. Na koniec aktualizowany jest napis na wyświetlaczu LCD.

W następnych kilku procedurach odczytywany jest czas z RTC, sprawdzana jest taryfa.

Gdy zostanie naciśnięty klawisz OK, wywoływana jest procedura obsługi menu. Obsługa menu nie pozwala na zbieranie i przetwarzanie próbek. Ale odbieranie zawartości rejestru energii musi być wykonywane nieprzerwanie. Powrót z menu powoduje rozpoczęcie wykonywania pętli głównej od początku, a nie od miejsca, w którym jej wykonywanie zostało wstrzymane.

Przerwanie z ADE7759 może wystąpić z dwóch powodów. Pierwszy został już podany - jest to nadejście kolejnej porcji próbek. Zbieranie próbek odbywa się jednak tylko przez pewien czas, a potem procesor przestawia bit w rejestrze zezwalającym ADE7759 i ten nie zgłasza już przerw, chyba że zaistnieje powód drugi. Jest nim nieprawidłowe napięcie w kanale V2. Procesor reagując na przerwanie INT2, najpierw sprawdza stan linii SAG. Gdy linia jest na poziomie niskim, to oznacza nieprawidłową wartość napięcia w kanale V2. Reakcją procesora jest zatrzymanie przerw, zapisanie stanu liczników energii w pamięci DS1307 i czekanie na powrót linii SAG do poziomu wysokiego, co wcale nie musi nastąpić. Jeśli nastąpi, praca procesora jest wznowiana od początku. Zapis zawartości liczników do pamięci RTC trwa znacznie krócej niż zapis kilkudziesięciu bajtów w EEPROM-ie procesora.

## Kalibracja

Aby uruchomić watomierz w trybie kalibracji, należy wcisnąć klawisze OK i ANL, a następnie włączyć przyrząd (do sieci lub z osobnego zasilacza). Ten tryb pracy nie różni się wiele od normalnego. Nie działa układ detekcji napięcia zasilającego, stany liczników nie są zapisywane, menu jest inne. Pojawia się dodatkowa wielkość *Energ. SEKUND*. Jest to energia chwilowa, zebrana przez ADE7759 w czasie 1s. Po kalibracji wartość ES oscyluje wokół wartości zerowej, przyjmując wartości dodatnie i ujemne (syg-

nalizowane gwiazdką). W normalnym trybie działania watomierza wartość ES musi przekroczyć próg 500 Ws, aby została akumulowana. Zapobiega to zmianom stanu licznika podczas pracy bez obciążenia.

Kalibrację watomierza należy rozpocząć od zerowania wskazań napięcia. Watomierz musi być zasilany z osobnego zasilacza poprzez złącze J1. Po wejściu w tryb kalibracji należy odczekać kilka minut na ustabilizowanie się temperatury układów. Następnie wchodzimy w menu, wybieramy Zerowanie wskazań -> napięcia i naciskamy OK. Po czasie 32 s wskazania wartości napięć będą zerowe. Teraz trzeba zapisać konfigurację (pierwsza pozycja w menu) i odłączyć napięcie. Kolejny krok to ustawienie mnożnika napięcia, aby pomiary były zgodne z rzeczywistymi wartościami.

Jeżeli ktoś ma dobry, precyzyjny multimetr z pomiarem RMS, to kalibrację napięcia może przeprowadzić bezpośrednio dla napięcia sieciowego. Jeżeli nie ma, to lepiej jest przeprowadzić skalowanie przy napięciu stałym, ponieważ pomiar napięć stałych w każdym multimetrze jest dokładniejszy. W tym celu należy przygotować źródło napięcia stałego o dość dużej wartości, co najmniej 100 V (im wyższe, tym lepiej). Najlepiej jakiś zasilacz wysokonapięciowy, stabilizowane wysokie napięcie z jakiegoś urządzenia, ale może też być np. wyprostowane i odfiltrowane napięcie sieciowe (tu uwaga: popularne woltomierze cyfrowe mają zakres 200 V, przy którym jeszcze jest dostępna cyfra po przecinku; warto to wykorzystać podczas kalibracji, czyli trzeba podzielić napięcie sieciowe).

Podłączamy zasilanie na J1 (wchodząc w tryb kalibracji), rozpinamy jumper JP1 w watomierzu (aby nie uszkodzić trafo TR1), podłączamy do wtyczki watomierza wspomniane napięcie stałe i woltomierz cyfrowy. Porównując wskazania napięcia RMS w watomierzu ze wskazaniami woltomierza, należy doprowadzić je do jednakowych wskazań, zmieniając mnożnik napięcia w menu *Kalibracja wskazań -> napięcia*. Następnie należy zapisać konfigurację.

Kalibracja kanału prądowego rozpoczyna się od zerowania wskazań prądu. Należy to wykonać, gdy watomierz zasilany jest napięciem sieciowym (normalna praca). Od razu można też wykonać zerowanie mocy P (i energii, bowiem moc czynna jest wyliczana z ES). Kalibracja poprawności wskazań prądu jest nieco trudniejsza, choćby ze względu na wymagany dość duży prąd pomiarowy rzędu kilku amperów. Najlepiej jest wykorzystać jeden przewód sieciowy watomierza, w którym jest bocznik pomiarowy i przeprowadzić kalibrację dla prądu stałego. Jako źródło prądu można zastosować akumulator samochodowy 12 V, a jako obciążenie żarówkę 50 W, co da prąd około 4 A. Multimetr uniwersalny można włączyć szeregowo, wykorzystując go do pomiaru prądu lub zastosować dodatkowy bocznik (np. 0,1Ω/5W 1%) i wykonać pomiar napięcia (zalecane, ale uwaga na tolerancję bocznika!). Równość wskazań uzyskuje się analogicznie jak dla kalibracji napięcia.

Ostatnią czynnością, ale właściwie najważniejszą jest kalibracja wskazań mocy czynnej. Postępując analogicznie jak dla poprzednich kalibracji, należałoby zastosować fabryczny watomierz i ustawić na nim i kalibrowanym watomierzu jednakowe wskazania mocy. Jednak watomierz nie jest zbyt popularnym przyrządem (dla tego właśnie postanowiłem go zbudować), więc należy wykonać kalibrację, opierając się na wskazaniach woltomierza i amperomierza, przy zastosowaniu obciążenia rezystancyjnego. Powinno być stosunkowo dużej mocy, około 1000 W. Chyba najlepszym rozwiązaniem dla amatora jest zastosowanie kuchenki elektrycznej, w której elementem grzejnym jest spirala z drutu oporowego. Niestety zasilanie sieciowe nie jest stabilne, a więc wartość mocy wydzielanej w spirali fluktuuje, co bardzo utrudnia kalibrację. Gdy woltomierz i amperomierz prądu przemienneego są wpięte odpowiednio w obwód wraz z badanym watomierzem, moc wskazywana przez watomierz powinna być równa iloczynowi napięcia i prądu. Przy braku dwóch przyrządów pomiarowych można od-

czytywać z miernika kolejno napięcie i prąd i na tej podstawie korygować mnożnik mocy. Sam mnożnik mocy jest trzybajtowy, jednak z powodu uproszczeń programowych osobno zmienia się dwa mniej znaczące bajty (LSB) a osobno bardziej znaczący bajt (MSB). Wartość mnożnika jest więc równa  $65536 * \text{MSB} + \text{LSB}$ .

W menu trybu kalibracji dostępnych jest jeszcze kilka innych pozycji. Warto wiedzieć do czego służą, aby nie rozstroić przyrządu próbując ich na chybił trafił.

*Zmiana offsetów i współcz.* - w tym podmenu można ręcznie korygować offset napięcia, offset prądu oraz inne parametry. Offsety to wartości, które pozwalają wyzerować wskazania napięcia i prądu przy braku napięć na wejściach V1 i V2. Są one automatycznie wyliczane podczas wywołania zerowania opisanych wyżej wskazań.

*Offset DC* służy do eliminacji składowej stałej - „szum“ powinien być symetryczny (jednakowa amplituda + i -).

*Offset F* służy do korekcji wartości wyświetlanej częstotliwości. Odchyłka może wystąpić wtedy, gdy zastosowany rezonator kwarcowy będzie generował drgania o częstotliwości znacznie odbiegającej od 8 MHz. Trzeba posiadać dobry częstotściomierz, aby to zmierzyć.

*Ilość okresów* oznacza liczbę okresów przebiegu napięcia, w czasie których zbierane będą próbki.

*Histeresa zera* określa liczbę kolejnych dodatnich próbek napięcia od ostatniej próbki ujemnej, aby stwierdzić pewne przejście napięcia przez zero.

*Hist. przepeł* I (i U) to maksymalna liczba kolejnych przepełnionych próbek (przekroczenie zakresu), które nie spowodują jeszcze sygnalizowania tego faktu. W sieci mogą pojawiać się zakłó-

cenia szpilkowe, które mogłyby generować fałszywe alarmy o przekroczeniu zakresu. Domyślna wartość 5 (na 280) próbek jest rozsądną wartością (maksymalny czas trwania impulsu  $\sim 350\mu\text{s}$ ).

*Obsługa ADE7759* - to podmenu zawiera jeszcze trzy podrzędne podmenu: *Rejestr MODE*, *Odczyt rejestrów* z ADE7759 i *Zmiana rejestrów*. Rejestr MODE jest szesnastobitowy, a we wspomnianym podmenu można zmieniać wartość niektórych z bitów. Odczyt rejestrów ma charakter informacyjny i był bardzo użyteczny na etapie pisania oprogramowania. Ostatnie podmenu umożliwia zmianę rejestrów (nie wszystkich) zarówno na czas kalibracji, jak i na stałe po wybraniu pierwszej opcji z menu głównego *Zapisz konfigurację* (dotyczy to także rejestru MODE).

*Zerowanie liczn. energii* - zerowanie liczników energii pozornej i całkowitej.

*Zapisz stan liczników energii* - zapisuje stan liczników w pamięci EEPROM procesora, dzięki czemu można wymienić baterię podtrzymującą działanie zegara, a potem wykonując poniższą opcję przywrócić ich poprzedni stan. Procesor bowiem odczytuje zawartość liczników energii tylko z pamięci w RTC.

*Przywróć stan liczników energii* - przepisuje stan liczników z pamięci EEPROM do pamięci RAM w DS1307 podtrzymywanej z baterii.

*Domyślna konfiguracja* - jeśli mimo wszystko tak pozmieniano opcje, że miernik zachowuje się dziwnie, to operatora „urатуje“ ta opcja.

### Dokładność pomiarów

Na początku artykułu w sekcji *Charakterystyka przyrządu* celowo nie napisałem nic o dokładności pomiarów. ADE7759 zapewnia dokładność  $\pm 0,5\%$  w szerokim zakresie napięć wejściowych. Niestety jest problem z dokładną ka-

libracją przyrządu w warunkach domowych, a więc dokładność wskazań będzie tak dobra, jak dobrze zostanie skalibrowany przyrząd. Dodatkowo dokładność pomiarów psuje nieco wpływ temperatury. ADE7759 ma wbudowany czujnik temperatury, który może być wykorzystany do programowej korekcji wyników. Jednak zmiany temperatury mają również wpływ na stabilizację napięcia zasilającego, a to również wpływa w niewielkim stopniu na wyniki pomiarów. Jednak z praktyki wynika, że wpływ zmian temperatury nie jest zbyt duży (oczywiście nie w pełnym zakresie temperatury pracy), tak więc korekcja wskazań (i wykorzystanie czujnika) nie została zaimplementowana w programie.

### Podsumowanie

Elementy do budowy watomierza nie są trudne do zdobycia poza bocznikiem. W praktyce wystarczą zakupy w Seguro Elektronik i w lokalnym sklepie elektronicznym. Boczniki o rezystancji  $10\text{m}\Omega$  kupiłem w RS Components. Transformator produkuje firma Indel. Układ ADE7759 można nabyć u przedstawiciela Analog Devices na Polskę - firmie Alfine. Koralki ferrytowe występują w starych modemach (w tych nowych są mniejsze i SMD). Koszt elementów watomierza to mniej więcej 170 zł (nie licząc płytki drukowanej).

Kod źródłowy jest dostępny dla wszystkich (na licencji GPL). Jeśli go zmodyfikujesz, bardzo proszę o przysłanie mi go w wersji źródłowej wraz z opisem zmian. Być może zostanie stworzona strona z projektem watomierza.

**Grzegorz Gajewski**  
**gayos@interia.pl**

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: [pcb.ep.com.pl](http://pcb.ep.com.pl) oraz na płycie CD-EP1/2004B w katalogu PCB.*