

## Zastosowanie procesora mocy wg DIN 40100 do pomiarów mocy i energii prądu zmiennego

### Application of a power processor (by DIN 40100) for AC power and energy measurements

Rodzielny pomiar mocy  $P_v$  i energii wejściowej  $E_v$  oraz mocy  $P_r$  i energii powrotnej  $E_r$  pozwala na prawidłowy bilans energetyczny w węzle pomiarowym, ponieważ moc dostarczona  $P_d$  jest równa sumie mocy, które należy stosować bez znaku (w równaniach  $P$  oznacza średnią wartość mocy, moce są bez znaku, gdyż nie ma pojęcia mocy ujemnej, a znak przed  $P$  oznacza kierunek propagacji energii), stąd:

$$P_d = P_v + P_r \text{ inaczej } (P + +P -) \text{ wg [2, 11, 12]} \quad (1)$$

gdzie:

$$P_v = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt \text{ dla } (u(t)i(t)) > 0,$$

wartości chwilowe zaznaczono linią zieloną na rysunku 2

oraz

$$P_r = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)i(t)|dt \text{ dla } (u(t)i(t)) < 0,$$

wartości chwilowe zaznaczono linią żółtą na rysunku 2,

w przeciwieństwie do mocy czynnej, czyli średniej, która jest różnicą, ponieważ określa moc zużyta przez urządzenie, a nie zawsze jest to cała moc dostarczona:

$$P = P_v - P_r \quad (2)$$

Moc powrotna  $P_r$  jest bez znaku, jak w [4], znak (-) przed  $P_r$  oznacza jej kierunek, a wartość średnia lub różnica, jak w (2), jest mocą zużyta przez odbiornik. Stąd widać, że płacimy za moc czy energię zużyta, a nie dostarczona, która może być większa, jak w równaniach (2) i (3).

Powyższe równanie pokazuje, że nawet mała wartość mocy powrotnej zmniejsza wartość mocy czynnej, co spowalnia działanie licznika energii elektrycznej. Trójkąt mocy z mocą bierną, która nie ma żadnej fizyczności, służy do zamknięcia bilansu mocy do skutecznych wartości iloczynu napięcia i prądu [3]. Próby kompensacji wg [9] na jego podstawie zawsze będą przy-

bliżeniem niewłaściwego modelu do warunków rzeczywistych. W pracy [10] występuje pojęcie składowych mocy o ujemnym znaku, które pomniejszają wartość dodatnią pierwszej składowej mocy po rozłożeniu w szereg, co jest zgodne z równaniem (2). Wzór (2) jest odpowiednikiem wzoru (7) z pracy [10] z tym, że w [10] zachowano pojęcie mocy ujemnej, co utrudnia analizę i w konsekwencji prowadzi do błędów.

Podstawiając (2) do (1) otrzymujemy

$$P_d = P + 2P_r, \quad P = P_d - 2P_r, \quad (3)$$

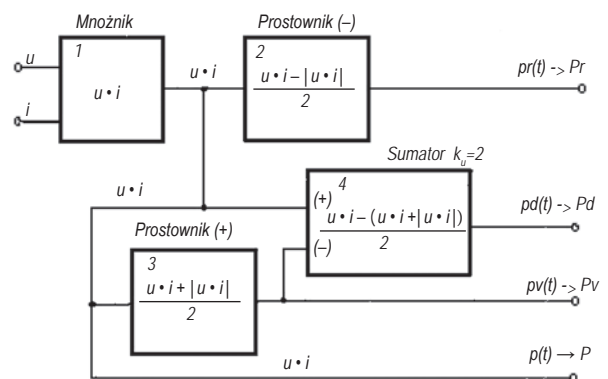
gdzie:  $2P_r$  nazwana jest mocą wzajemnej wymiany [4].

Moc  $P = P_d$  tylko wtedy, gdy  $P_r = 0$ . Wzór (3) pokazuje dlaczego liczniki energii mierzące moc czynną  $P$  (zgodnie z normą EN 50470-1:2006) zwalniają i zliczają za mało impulsów lub obrotów tarczy, gdy pojawia się szkodliwa moc powrotna o wartości  $2P_r$ .

Moc dostarczoną można zapisać również prostym wzorem z [1]:

$$P_d = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)i(t)|dt \quad (4)$$

dla iloczynu  $u(t)i(t)$  o dowolnym znaku



Rys.1. Schemat blokowy układu procesora mocy

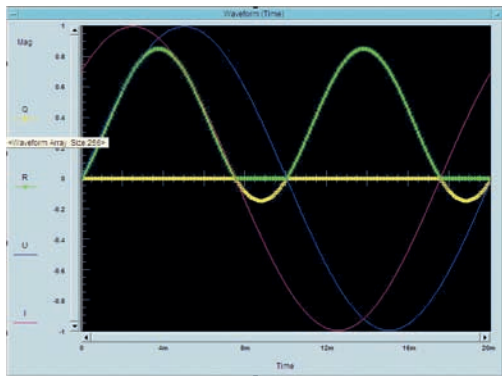
Moc wejściowa i powrotna mają swoją fizyczność, bo ich chwilowe wartości są odpowiednio dodatnie  $p_v(t) > 0$  i ujemne  $p_r(t) < 0$ , stąd obliczenia i rozliczenia oparte na nich, odpowiednie sumowanie bez znaku jak we wzorze (4) są naturalnie prawidłowe i to dla różnych kształtów prądu i napięcia (odkształconych i niestacjonarnych), co nie ma miejsca w warunkach obowiązujących norm i przepisów nieuwzględniających naturalnego podziału chwilowych wartości mocy na dodatnie i ujemne (moc wejściową i powrotną). W pracach [7-8] przedstawiono ciekawe podejście teoretyczne i parametry mocy elektrycznej oparte na powierzchniach pod krzywą mocy biernej w płaszczyźnie x,y, niemniej jednak autorzy nie analizują problemu od strony znaku sygnału mocy i podziału na moc wejściową i powrotną.

Wzory (1), (2) i (3) powstały w wyniku prac i badań procesora mocy i są wzorami oryginalnymi autorów, stanowią podstawę zgłoszenia patentowego [6, 13,14]. Moc  $P_r$  i energia  $E_r$  pozwala na prawidłowe określenie strat energii w odbiorniku i nie była do tej pory rozważana w literaturze, oprócz wzmianki w [4] i normie niemieckiej [12]. Zachowanie się składowych mocy przedstawiono w pracy [11], gdzie przeanalizowano zmiany wartości  $P_d$ ,  $P_v$ ,  $P_r$  w zależności od kąta fazowego dla przebiegów sinusoidalnych prądu i napięcia. Analiza posłużyła do przygotowania warunków pierwszych pomiarów z użyciem układu analogowego procesora mocy, jak na rysunku 1. Schemat blokowy, a następnie układ procesora mocy został przygotowany w formie makiety studenckiej w 2008 roku.

## Symulacja

Moc  $P$  jest definiowana według definicji całkowej wartości średniej mocy, czyli jako moc czynna, która występuje jako sygnał pomiarowy na jednym z wyjść procesora mocy:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = UI \cos \varphi = P_v - P_r \quad (5)$$

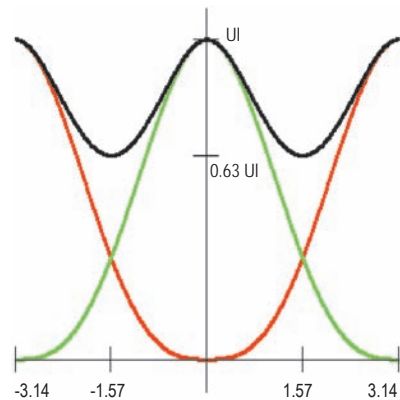


Rys. 2. Symulacja komputerowa podziału sygnału mocy na moc:  $P_v$  – zielona,  $P_r$  – żółta krzywa

Rysunek 2 przedstawia rozdzielanie sygnału pomiarowego mocy chwilowej na odpowiednio sygnał mocy wejściowej  $P_v$  i powrotnej  $P_r$ , co do tej pory nie było badane i mierzone. Zbudowany układ procesora mocy w wersji analogowej jak na rysunku 1 pozwolił na przeprowadzenie badań z zastosowaniem sprzętu pomiarowego wysokiej klasy w Instytucie Komputero-

wych Systemów Automatyki i Pomiarów we Wrocławiu. Układ pomiarowy składał się z kalibratora SQ-33 *Lumel*, układu procesora mocy, który pracuje w zakresie napięć wejściowych  $\pm 10$  V (w rzeczywistości procesor mocy pracuje z sygnałami napięciowymi proporcjonalnymi do sygnałów mocy).

Układ zawierał bocznik dla źródła prądowego kalibratora 40 Ohm, filtr trzystopniowy RC i woltomierz wysokiej klasy firmy *Schlumberger* do pomiaru uśrednionych wartości sygnałów mocy  $P_v$ ,  $P_r$ ,  $P$ ,  $P_d$ . Badano zależność zmian wartości średnich sygnałów mocy od kąta fazowego, zgodnie z oczekiwaną zależnością z pracy [11] przedstawioną poniżej.



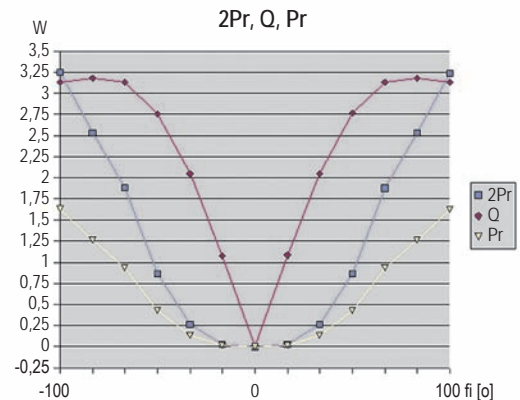
Rys. 3. Zależność teoretyczna wartości mocy  $P_d$  (kolor czarny),  $P_r$  (czerwony),  $P_v$  (zielony) od kąta fazowego; kąt fazowy podano w radianach; zależności wyznaczone dla przebiegów sinusoidalnych

Zależność składowych mocy od kąta fazowego wyznaczono według równań z pracy [11] i przedstawiono na rysunku 3. Moc dostarczona wg [11] :

$$P_d(\varphi) = 2UI \frac{1}{\pi} \sin|\varphi| + UI \frac{\pi - 2|\varphi|}{\pi} \cos \varphi \quad (6)$$

## Badania

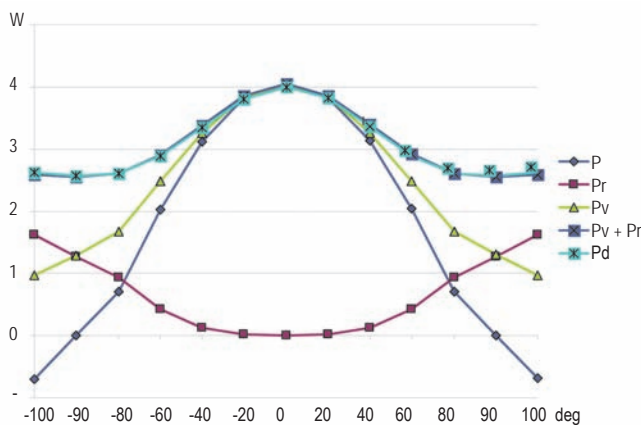
Pierwsze badania polegały na sprawdzeniu poprawności działania procesora mocy według równań [11].



Rys. 4. Fragment analizy nastawy kalibratora  $Q$  i pomiaru  $P_r$  oraz zobrazowania  $2P_r$  do wzoru (3)

Wyniki pierwszych badań zamieszczono na rysunku 4. Badania wykonano w zakresie  $\varphi = (-100^\circ, 100^\circ)$ . Scharakteryzowano zachowanie się mocy biernej  $Q$  oraz mocy powrotnej  $Pr$  i  $2Pr$ , do wzoru (3), która jest wartością korekcyjną dla mocy  $P$ .

Procesor mocy (rys.1) został wykonany wg zaleceń normy DIN 40100 (wersja z 1975 r.) i publikacji [4] oraz zgłoszenia patentowego [6]. Widoczne zmiany  $Pr$  i  $2Pr$  w zależności od kąta fazowego między prądem i napięciem są łagodniejsze niż dla mocy biernej  $Q$  z nastawy kalibratora. Porównanie wyników obarczone jest błędem wynikającym z pracy kalibratora w zakresie bardzo małych mocy do 3,5 W, jakkolwiek same pomiary sygnału z procesora mocy były wykonane z niedokładnością woltomierza Schlumberger ( $< 0,01\%$ ), a wyniki pomiarów sygnałów procesora mocy przedstawione na rysunku 5 potwierdzają prawidłowość konstrukcji i przydatność do zastosowań w formie układu analogowego. Rysunek 5 potwierdza doświadczalnie przebiegi mocy przewidziane w [11] i przedstawione na rysunku 3. Moc  $Pd$  to wartość sumy mocy wg wzoru (1), której przebieg porównano z mocą  $Pd$ , co oznacza zbieżność układową i obliczeniową dla mocy  $Pd$ . Niebieską linią zaznaczono sygnał mocy  $P$ , którego wartości są mniejsze w stosunku do  $Pv$  i tym bardziej do  $Pd$ , co w praktyce oznacza, że liczniki energii, w tym statyczne, mierzą  $P$  i energię  $E$  prawidłowo tylko w warunkach obciążenia rezystancyjnego i jest to moc i energia zużyta na pracę urządzenia. Jest ona mniejsza od mocy i energii dostarczonej, ponieważ niektóre urządzenia oddają część mocy do sieci –  $Pr$ . Pojęcie mocy dostarczonej  $Pd$  jest istotne dla zakładu energetycznego jako sprzedawcy energii.



Rys. 5. Wyniki pomiarów „zbieżności własnej” procesora mocy (oznaczenia jak w tekście)

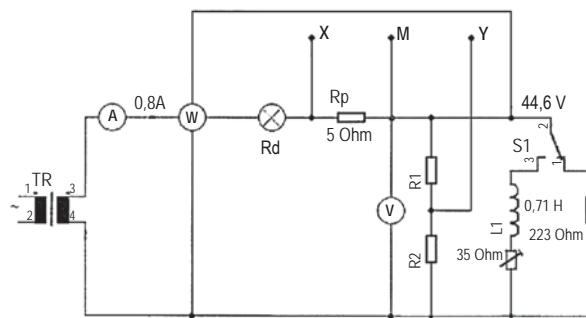
## Eksperyment przez ciepło oddane do rezystora pomiarowego

Eksperyment przez ciepło oddane do rezystora pomiarowego (układ z rys. 6,7)  $R_o$  pokazał, że istnieje moc dostarczona większa od mocy  $P$  czynnej, a tym samym, że istnieje moc powrotna jako składowa mocy dostarczonej.

Eksperyment przez ciepło oddane do obciążenia pomiarowego  $R_o$  i zmierzone termometrem elektronicznym polegał na obserwacji zmiany mocy (watomierzem elektrodynamicznym, watomierzem cyfrowym z procesorem mocy i wzmacniaczem mocy sygnału  $p(t) = u(t)i(t)$  obciążonym rezystorem pomiarowym

$R_o$  z termometrem cyfrowym) w zależności od kąta fazowego wytworzonego w rzeczywistym układzie laboratoryjnym z obciążeniem  $R$  i  $RL$ . Układ ma dwa rodzaje obciążenia  $R$ ,  $RL$ , by można było zmierzyć moce dostarczoną i czynną dla kąta = 0 i 50 st. Układ wytwarza napięcie pomiarowe 40 V sk i 0,8 A dla obciążenia  $R$  i  $RL$ .

W układzie ( $RL$ ) dodano rezystor wyrównujący napięcie pomiarowe tak, aby w obu położeniach przełącznika było takie same. Zastosowano amperomierz wskazówkowy elektrodynamiczny kl.0,5, woltomierz V-542, watomierz LW-1 kl.0,5, dławik 4,6 A STS-400-500,  $R1$ ,  $R2$ ,  $Rp$ ,  $Rd$  – rezystory obniżające napięcia wejściowe do 7 V sk.



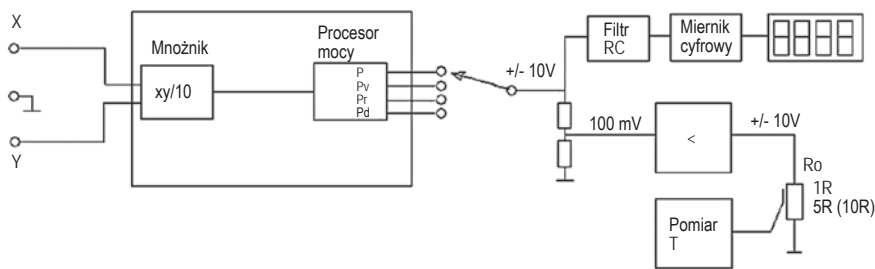
Rys. 6. Układ laboratoryjny zasilania odbiornika typu  $R$  i  $RL$

Układ wytwarza sygnały  $U_i$  i  $U_v$  (X,Y) dla drugiej części układu, w którym zrealizowano watomierz elektroniczny za pomocą procesora mocy zawierającego mnożnik analogowy (rys.1). Ten układ dodatkowo wyposażono w wzmacniacz mocy, by wydzielić moc  $p(t) = u(t)i(t)$  na rezystorze  $R_o$  jak na rysunku 7. Dalej następuje porównanie wartości mocy poprzez ciepło wydzielone w rezystorze  $R_o$  w warunkach zerowego przesunięcia fazowego i przesunięcia ok. 50 deg dla obciążenia  $RL$ . Badanie pokazuje, że moc zmierzona przy pomocy układu watomierza cyfrowego i przez temperaturę jest większa niż wskazana przez watomierz elektrodynamiczny i jest taka sama dla  $P$  i  $Pd$ . Oba sygnały pochodzą z procesora mocy i są podawane kolejno przez przełącznik S3 w układzie z rysunku 6.

Układ jest kalibrowany dla kąta równego zero i wtedy moc czynna jest równa dostarczonej, a temperatura rezystora jest temperaturą odniesienia i wynosi  $T_o = 66^\circ C$ . Wartość mocy czynnej  $P$  wydzielonej na rezystorze jest więc równa mocy  $Pd$  w pomiarze przez temperaturę.

Wartość mocy spada wraz z rosnącym kątem fazowym i dotyczy to wszystkich badanych mocy. Moc czynna spada do 66% wartości początkowej wg wskazań watomierza elektrodynamicznego, ale temperatura na rezystorze spada tylko do wartości 77% (przełącznik mocy ustawiony w pozycji P) dla obciążenia  $RL$ , co świadczy o występowaniu mocy większej niż moc czynna. Moc dostarczona  $Pd$  mierzona watomierzem elektronicznym spada do wartości 77%, co świadczy o prawidłowym pomiarze w stosunku do pomiaru mocy czynnej. Różnica 11% to podwójna moc powrotna  $Pr$ .

Obliczając procentową zmianę wartości mocy dostarczonej ze wzoru (6), czyli  $Pd/S$  otrzymuje się również wartość 77% w stosunku do mocy dla obciążenia rezystancyjnego.



Rys. 7. Układ watomierza z procesorem mocy, wzmacniacz mocy i rezystor pomiarowy z termometrem cyfrowym

W tabeli 1 podano wyniki pomiarów w układzie przedstawionym na rysunkach 6 i 7 (warunki:  $T_{ot} = 23^{\circ}\text{C}$ ).

Tabela 1

Wyniki pomiarów i obliczenie procentowych zmian wartości mocy mierzonych (dokładność  $<1\%$ ) (zawiera średnie wartości z 10 pomiarów),  $S$  mierzono przy pomocy dodatkowej funkcji procesora mocy

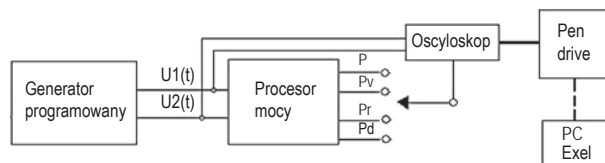
$I = 0,78\text{ A}$ $U = 44,69\text{ V}$	$P_w$ , W	$P_{wcyfr}$ , W	$P_v$ , W	$2Pr$ , W	$S$ , VA	$T$ , $^{\circ}\text{C}$	$Pd$ , W	$Pd/S$ , %
$\Phi = 50^{\circ}$	23,1	25,2	28,1	2x2,8	38,0	50	30,0	78
$\Phi = 0^{\circ}$ 0,76A	34,5	38,4	39,2	0	40,0	66	38,4	96
Procent zmiany	67	65	73		95	76	78	77 oblicz. z (5)

Niepewność pomiaru jest tu zredukowana poprzez kilkakrotne powtórzenie pomiaru i przez wzorcowanie urządzeń przed pomiarem. Rozdzielczość watomierza cyfrowego wynosiła  $0,1\text{ W}$ . Widoczne jest mniejsze wskazanie watomierza elektrodynamicznego  $P_w$  (ma mniejsze pasmo częstotliwości) w stosunku do  $P_{wcyfr}$  – tor watomierza elektronicznego. Zastosowanie zasilania sieciowego i rzeczywistego układu  $RL$  pozwoliło na wykonanie pomiarów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Dowód przez ciepło pokazuje, że istnieje fizycznie moc czynna zużywana przez urządzenie i moc dostarczona, która jest niezbędna do wykonania pracy przez urządzenie. Temperatura rezystora kontrolnego jest taka sama przy podaniu na wzmacniacz mocy sygnału mocy  $P$  i  $Pd$  z procesora mocy. W tej sytuacji należałoby zrewifikować pojęcie mocy pozornej  $S = UI$  jako podstawy do rozliczeń między elektrownią a odbiorcami, ponieważ występuje niedopasowanie odbiornika i spadek mocy zużywanej przez odbiornik ( $Pd/S$ ).

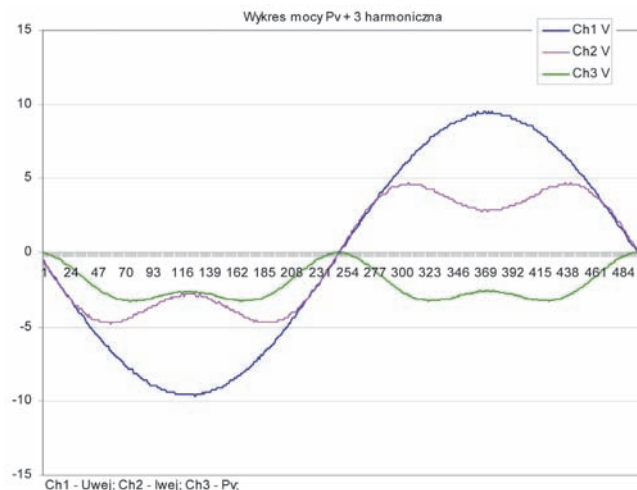
### Dalsze badania procesora mocy

Badania potwierdziły poprawność konstrukcji procesora mocy, co zostało potwierdzone również w drugiej serii badań z generatorem arbitralnym T122 i oscyloskopem cyfrowym 4-kanalowym Le Croy (rys. 8). Badania wykonano w zakresie częstotliwości do  $10\text{ kHz}$  i dla różnych kształtów przebiegów prądu (sinusoidalny, trójkątny, z zawartością 3. harmonicznej (+ i -) i prąd triaka włączanego w zerze i włączanego w max prądu). Badania wykonano przy użyciu generatora arbitralnego, więc nie obrazują one rzeczywistego oddziaływania w warunkach zasilania z sieci. Charakterystyki błędów pokazały konieczność dodatkowej kalibracji cyfrowej, by utrzymać dokładność poniżej  $0,2\%$ .



Rys. 8. Układ do badania charakterystyk procesora mocy

Poniżej przedstawiono wybrane charakterystyki czasowe dla  $f = 50\text{ Hz}$ .



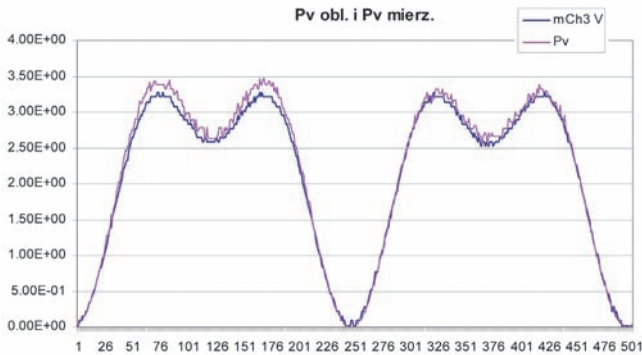
Rys. 9. Wpływ 3. harmonicznej prądu (składowa harmoniczna ujemna) na kształt sygnału napięcia proporcjonalnego do mocy wejściowej  $P_v$ : Ch1 – napięcie, Ch2 – prąd, Ch3 – moc  $P_v$  odwrócona ze względu na konstrukcję procesora mocy ( $50\text{ Hz}$ )

Rysunek 9 przedstawia zmniejszenie mocy dostarczonej w wyniku występowania trzeciej harmonicznej prądu, co przekłada się na harmoniczne mocy powrotnej zmniejszające wartość mocy czynnej i dostarczonej. Nie występuje tu pierwsza harmoniczna mocy, stąd nie ma składowej stałej o znaku przeciwnym do  $P_v$ .

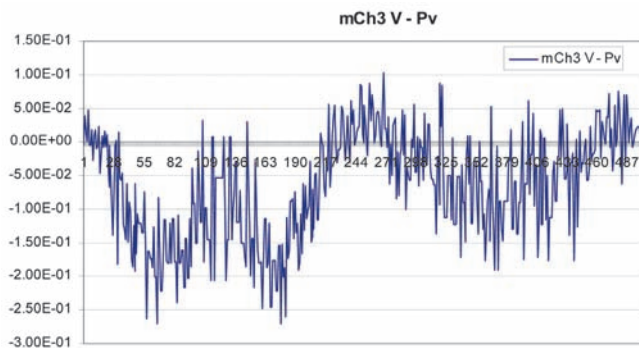
Rysunki 10 i 11 pokazują rozbieżność mocy obliczonej i zmierzonej na wyjściu procesora mocy.

Wyniki przedstawiono tak jak w eksperymencie. Generator podawał napięcie  $U_{we} = 9\text{ V}$  (ampl), co daje maksymalne napięcie wyjściowe mnożnika równe  $8,1\text{ V}$ . Przy zniekształconym przebiegu prądu (jak na rys.9) amplituda sygnału mocy zmniejsza się

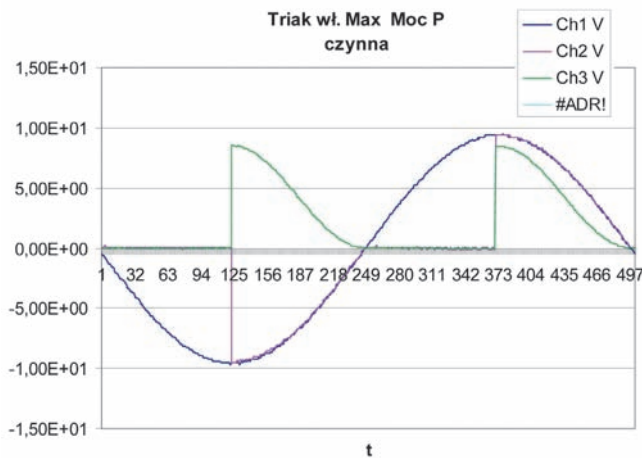
do 3,5 V i wygląda jak na rysunku 10. Rysunek 11 przedstawia różnicę pomiędzy wartościami sygnału wyjściowego i obliczonego z wartości sygnałów wejściowych. Widoczny jest szum kwantyzacji przetwarzania oscyloskopu cyfrowego. W układzie występuje błąd addytywny, który można skompensować poprzez kalibrację układu.



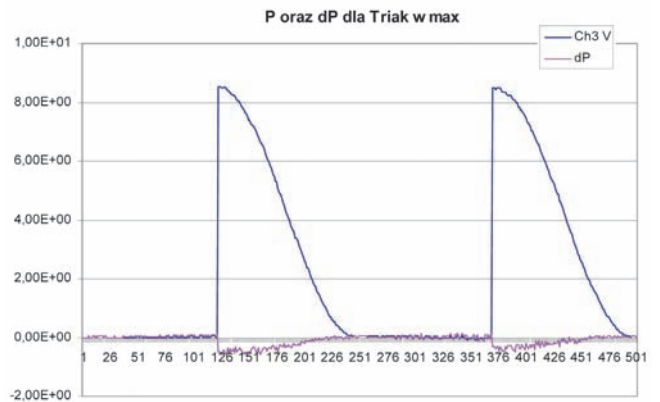
Rys.10. Wynik porównania wartości mierzonej napięcia proporcjonalnego do mocy wejściowej  $P_v$  i obliczonego  $P_{vm}$  z wartości napięć generatora w układzie z rysunku 2 (50 Hz)



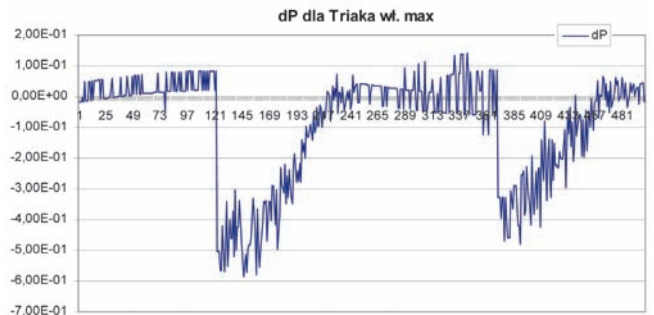
Rys.11. Wykres różnicy wartości mierzonej mocy  $P_v$  i obliczonej  $P_{vo}$  (szum kwantyzacji oscyloskopu)



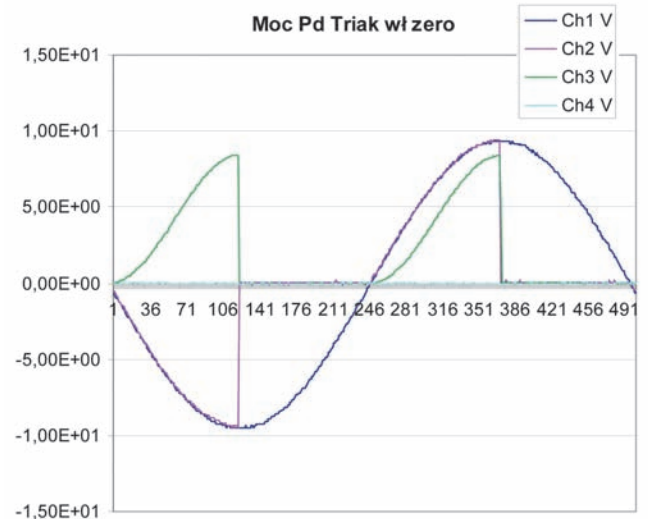
Rys. 12. Analiza czasowa dla układu włączającego prąd w maximum. Układ reaguje prawidłowo, nie widać żadnych błędów dynamicznych  $Ch1$  – napięcie,  $Ch2$  – prąd,  $Ch3$  – moc  $P$  czynna, 50 Hz



Rys. 13. Sygnał proporcjonalny do mocy  $P$  i błąd addytywny wynikający z różnicy sygnału zmierzonego i obliczonego (50 Hz)

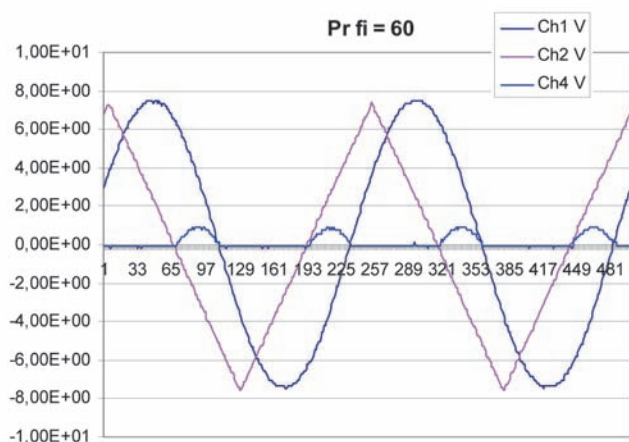


Rys. 14. Błąd addytywny układu mnożącego obliczony jako różnica między sygnałem wyjściowym i obliczonym dla  $P$ , moc czynna (50 Hz)



Rys. 15. Moc  $P_d = f(t)$  dostarczona dla triaka włączanego w zerze i wyłączanego w maximum prądu (50 Hz)

Pomiary procesora mocy wykazały, że układ pracuje prawidłowo, błędy z odwzorowania sygnału mocy są niewielkie i wynikają z niedokładnej kalibracji. Zniekształcenie sygnału prądu np. w żarówkach energooszczędnych, jak na rysunku 15 (podobny przebieg mocy) jak i występowanie harmonicznych w prądzie nie wpływa na powstawanie mocy powrotnej (w warunkach symulacji – układ z rys. 8). Moc powrotna powstaje w wyniku rozsunienia fazy napięcia i prądu szczególnie pierwszej harmonicznej.



Rys. 16. Moc powrotna  $P_r$  dla trójkątnego przebiegu prądu,  $P_r - Ch4$  ( $f = 10$  kHz)



Rys. 17. Moc powrotna  $P_r$  spowodowana włączeniem indukcyjności dławika (kąta 50 stopni)

Watomierz i normy wskazują na pomiar wartości średniej mocy i energii. Jednak, jak wykazano, ta sama moc wydzielona na rezystorze w układzie z rysunku 3 jest większa o 11% w stosunku do wskazań watomierza elektrodynamicznego. Oznacza to, że definicja mocy czynnej nie opisuje prawidłowo zjawiska wydzielania mocy. Opisuje tylko moc czynną zużywaną przez urządzenie. Wskazania watomierza są prawidłowe tylko dla kąta fazowego równego zero. To oznacza, że nie można stosować tej ogólnie przyjętej definicji dla różnych obciążeń. Pojęcie mocy bierniej wyrównujące bilans do wartości mocy pozornej  $S$  nie ma swojej fizyczności. Istnieje moc dostarczona – jak wykazano w eksperymencie – i można ją mierzyć przy pomocy procesora mocy wyżej opisanego. Eksperyment wykazał, że prawidłowy pomiar mocy ze względu na ciepło, jakie ona wytwarza polega na pomiarze mocy dostarczonej  $P_d$ , co zostało zrealizowane w układzie procesora mocy i miernika mocy z procesorem mocy.

## Rozszerzenie normy EN 50470-1:2006

Pomiary potwierdziły istnienie mocy powrotnej, a także mocy dostarczonej. Za tym idzie propozycja rozszerzenia normy, która zawiera definicje i pojęcia związane z fizycznym opisem przepływu mocy i energii w węzle pomiarowym. Pozwala na pomiar i obliczenie rzeczywistej wartości mocy i energii. Nie jest

konkurencyjna w stosunku do definicji korzystających z trójkąta mocy. Jest opisem mocy i energii zgodnym z fizyką zjawiska i efektami cieplnymi, jakie towarzyszą podczas przepływu energii w węzle pomiarowym.

Proponowane zapisy w normie:

### 3.1.3 a

*licznik energii dostarczonej,*

przyrząd przeznaczony do mierzenia sumy energii dostarczonej w wyniku odrębnego całkowania mocy wejściowej i mocy powrotnej w funkcji czasu z sumowaniem wartości scałkowanych.

$$E_d = \int (p_v(t) + |p_r(t)|) dt = \int |p(t)| dt$$

### 3.1.6 a

*moc dostarczona*

dla przebiegów dowolnych: stacjonarnych, niestacjonarnych, okresowych, nieokresowych, zniekształconych, odkształconych, wartość średnia mocy wejściowej i powrotnej w czasie  $T$

$$P_d = \frac{1}{T} \int_0^T (p_v(t) + |p_r(t)|) dt = \int_0^T |p(t)| dt$$

gdzie:

$p_v$  – chwilowa moc wejściowa  $u(t)i(t) > 0$ ,

$p_r$  – chwilowa moc powrotna  $u(t)i(t) < 0$

UWAGA 1. Moc dostarczona jest sumą mocy chwilowych o znaku dodatnim i ujemnym bez znaku.

UWAGA 2. Jednostką mocy dostarczonej jest wat.

### 3.1.7 a

*moc powrotna*

dla przebiegów stacjonarnych, niestacjonarnych, okresowych, nieokresowych, zniekształconych, odkształconych w dowolnym rozkładzie widma i częstotliwości napięcia i prądu jest zdefiniowana jako wartość średnia całkowa w czasie  $T$  bez znaku, iloczynów prądu i napięcia o ujemnym znaku:

$$P_r = \frac{1}{T} \int_0^T |p_r(t)| dt \quad \text{gdzie: } p_r = u(t)i(t) < 0$$

### 3.1.7 b

*moc wejściowa*

dla przebiegów stacjonarnych, niestacjonarnych, okresowych, nieokresowych, zniekształconych, odkształconych w dowolnym rozkładzie widma i częstotliwości napięcia i prądu jest zdefiniowana jako wartość średnia całkowa bez znaku iloczynów prądu i napięcia o dodatnim znaku.

$$P_v = \frac{1}{T} \int_0^T p_v(t) dt \quad \text{gdzie: } p_v = u(t)i(t) > 0$$

### 3.1.7c

Licznik energii powrotnej przyrząd przeznaczony do mierzenia energii powrotnej w wyniku całkowania podwójnej wartości mocy powrotnej w funkcji czasu zgodnie z równaniem

$$2P_r = \frac{2}{T} \int_0^T |p_r(t)| dt \quad \text{gdzie: } 2P_r = P_d - P$$

## Wnioski

Procesor mocy powstał w Politechnice Wrocławskiej i jest rozwijany konstrukcyjnie i aplikacyjnie w Instytucie Komputerowych Systemów Automatyki i Pomiarów po to, by poprawić zaniżone wskazania liczników, zwłaszcza indukcyjnych, jak również elektronicznych, gdzie możliwa jest zmiana oprogramowania w celu uzyskania wartości  $P_+$  i  $P_-$  po wprowadzeniu poprawki do normy. Korekta cyfrowa wskazań o  $2Pr$  jest prosta i możliwa. Moc powrotna  $Pr$  i wartość  $2Pr$  do korekcji wynika z innego rodzaju odbiorników, których nie było 100 lat temu. Są to komputery, telewizory, pralki, lodówki, urządzenia tyrystorowe. Procesor mocy separuje wartości chwilowe dodatnie i ujemne mocy pozwalając je mierzyć osobno, co jest istotą jego działania [2,11], a zniekształcenia sygnału zwłaszcza prądowego nie mają znaczącego wpływu na działanie układu ze względu na szerokie pasmo ( $f > 1$  MHz) działania tego układu.

Obecnie prowadzone są dalsze badania procesora mocy ze zmianą kształtu i częstotliwości sygnału, które powinny potwierdzić, że proste wzory całkowite z rozdziałem mocy wystarczą do opisu wszystkich anomalii w sieciach energetycznych.

Moc bierna dla dużych odbiorców jest mierzona, ale jak na rysunku 4 jej wartości są zbyt duże w stosunku do rzeczywistej mocy (powrotnej), która ma swoją fizyczną postać i można ją obserwować w układzie pomiarowym po pomnożeniu sygnału prądowego i napięciowego, wzmocnieniu i wydzieleniu na rezystorze w postaci ciepła.



Rys. 18. Modele mierników mocy



Rys. 19. Miernik mocy na stanowisku pomiarowym (zaciski pomiarowe napięciowe na rewersie przyrządu); w czarnej obudowie model synchronicznego miernika mocy i obok wzorcowy licznik energii elektrycznej

W artykule przedstawiono porównanie wartości mocy wg podziału zrealizowanego przez procesor mocy oraz standardowych wartości mocy czynnej  $P$  i biernej  $Q$  oraz pozornej  $S$  z trójkątą mocy zgodnie z możliwościami kalibratora SQ33 dla sygnałów sinusoidalnych. Badania dla sygnału prądowego zawierającego zniekształcenia o różnym charakterze są prowadzone na bieżąco. Stwierdzono, że występowanie składowych harmonicznycy nie wpływa znacząco na działanie procesora mocy ze względu na jego szerokie pasmo przenoszenia sygnału. Właściwości skonstruowanego procesora mocy oraz omówione jego parametry metrologiczne zostały potwierdzone jako właściwe i możliwe do stosowania w układach pomiarowych, głównie do rozliczeń finansowych. Procesor mocy może być stosowany razem z prostym miernikiem cyfrowym lub układem scalonym zawierającym woltomierz cyfrowy jako przystawka do kontroli mocy powrotnej, dostarczonej i wejściowej lub jako układ korekcyjny do wskazań liczników statycznych ( $2Pr$ ). W 2013 i 2014 r. w IKSAP zbudowano do dalszych badań dwa modele miernika mocy o zakresie 100 W i 1000 W z wyborem mocy mierzonej i wyjściem pomiarowym, oscyloskopowym, widoczne na rysunkach 18 i 19.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Kolanko J., *Metody synchroniczne w pomiarach parametrów sygnałów elektrycznych*, Monografia, Politechnika Wroclawska 1992
- [2] Dudzik J., Kolanko J., Modzel P., Wierzbicki Z., *Zastosowanie procesora mocy do pomiarów energii prądu zmiennego*. Podstawowe Problemy Metrologii, Materiały konferencyjne, 2012.
- [3] Kolanko J., *Definicje całkowite dla mocy prądu przemiennego, zamknięcie trójkąta mocy*. CIRE, 2008.
- [4] Krogieris A.F., Raszczewicz K.K., Trejmanis A., Szinka J.K., *Moszczność pieremiennego toka*, Riga 1993.
- [5] Kolanko J., *Synchronous counting in power and true voltage measurement*, IEEE Transactions on Test and Measurement 1983.
- [6] Kolanko J., Zgłoszenie patentowe nr 22012/2008, *Układ do pomiaru mocy, procesor mocy*.
- [7] Kossobudzki G., Nawrocki Z., Nowak J., *Measure of electric reactive power*, Metrology and Measurement Systems 2005, Vol. XI, nr 2.
- [8] Kossobudzki G., Nawrocki Z., Nowak J., *Parametry mocy elektrycznej*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2007, nr 6.
- [9] Czarniecki L., *Moc i kompensacja w układach z niesinusoidalnymi przebiegami prądu i napięcia*. Elektroenergetyka, stan obecny i problemy jej rozwoju. Materiały konferencji INFOTECH, czerwiec 2010.
- [10] Czarniecki L., *Working, reflected and detrimental active powers*. IET Generation, Transmission & Distribution.
- [11] Kolanko J., Wójcik M., *Procesor mocy wg DIN 40100*, MKM 2011.
- [12] Norma DIN 40100, *Całkowite definicje mocy*, 1976.
- [13] Kolanko J., *Sposób pomiaru mocy biernej*, Zgłoszenie patentowe nr 2202/2008.
- [14] Dudzik J., Kolanko J., Modzel P., Wierzbicki Z., *Sposób pomiaru mocy w systemach energetycznych*, Zgłoszenie patentowe nr 201/2012.
- [15] Dudzik J., Kolanko J., Modzel P., Wierzbicki Z., *Zastosowanie procesora mocy do pomiarów energii prądu zmiennego*. Podstawowe Problemy Metrologii, Materiały konferencyjne, 2012.

