

Konstanty KRISZNIIEWSKI

Emilia NOWACZYK

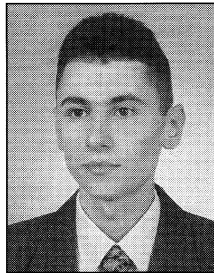
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ PODSTAW PROBLEMÓW TECHNIKI

## Przetwornik wartości skutecznej napięcia zmiennego z aproksymacją sygnału wejściowego za pomocą trapezu

Mgr inż. Konstanty KRISZNIIEWSKI

– urodził się i skończył szkołę średnią w Altanie (Kazachstan). Przez rok kształcił się w zaocznej szkole matematycznej przy Uniwersytecie w Nowosybirsku. W roku 1994 podjął studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. W roku 1999 uzyskał na tym Wydziale dyplom mgr inż. elektronika ze specjalnością aparatura elektroniczna.



Dr inż. Emilia NOWACZYK

– po ukończeniu studiów na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej rozpoczęła pracę naukowo-dydaktyczną na tym Wydziale, w Katedrze Miernictwa Elektronicznego, później przemianowanej na Instytut Metrologii Elektrycznej. Obecnie pracuje na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki. Jej aktywność naukowa poczynając od pracy magisterskiej, poprzez doktorat do chwili obecnej, skupia się wokół zagadnień związanych z przetwarzaniem i pomiarami parametrów napięć zmiennych. Żywo także zajmuje się problemami związanymi z teorią pomiaru.



### Streszczenie

Ograniczona szybkość działania, przy równoczesnym wymaganiu dość dobrej rozdzielczości przetworników a/c powoduje, że nie mogą one sprostać ciągle rosnącym wymaganiom w zakresie przetwarzania sygnałów. W artykule opisano sposób, w jaki można, przy niewielkiej rozbudowie układu elektronicznego urządzenia, znacznie poprawić dokładność pomiaru wartości skutecznej napięcia (lub prądu) sygnału niesinusoidalnego.

### Abstract

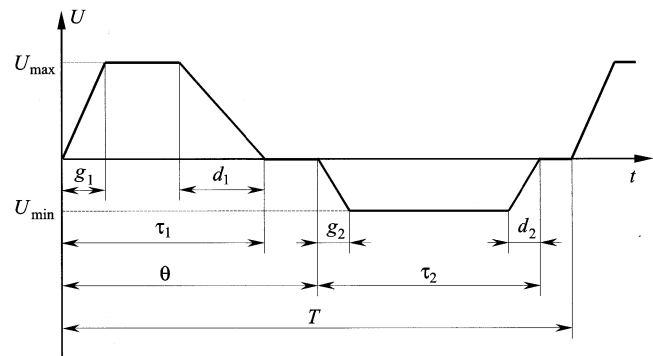
A limited possible sampling rate with simultaneous requirement for high resolution of A/D converters effects that they often will not be up the still fast grower demand of the signal conversion quality. This problem will occur in the conversion of non-sinusoidal signals, if their frequency are in supersonic of higher range. Using of nonstandard hardware and software solutions take place in this case.

This paper presents a way of this problem solution with the help of little building up of the electronic circuit. The additional fast, but not very much accurate

A/D converter is used. This converter samples an input signal in order to determination of parameters which approximate the converted non-sinusoidal signal by a trapezoid-form signal. On the base of the parameter values the correction is estimated and used for decreasing the final uncertainty of the measurement.

### Wstęp

Bezpośrednie stosowanie przetworników a/c umożliwia, w miarę wzrostu ich szybkości i rozdzielczości, coraz precyzyjniejsze badanie sygnałów w szerszym pasmie częstotliwości. Stale rozwijająca się technika wymaga poprawiania dokładności pomiaru; udoskonal



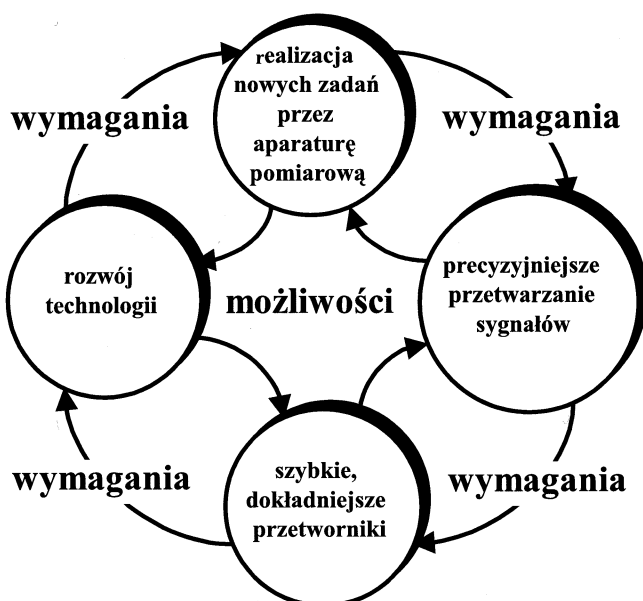
Rys. 2. Sygnał trapezowy stosowany do aproksymacji kształtu sygnałów niesinusoidalnych

lana technologia wspomaga osiągnięcie tego celu. Powstaje coś w rodzaju samonapędzającej się, coraz szybciej kręcącej się, pętli wymagań i możliwości ich realizacji (rys.1).

Zawsze jednak możliwości wykonania przetworników a/c, posiadających określone właściwości, będą mniejsze niż aktualne potrzeby techniki. Stąd wynikają poszukiwania niestandardowych metod zwiększania informacji o sygnale [5].

### Błędy przetwarzania wartości skutecznej napięcia dla sygnałów niesinusoidalnych

Jednym z parametrów sygnału elektrycznego, którego dokładność pomiaru jest ciągle za mała w stosunku do potrzeb, jest war



Rys. 1. Wzajemne powiązanie wymagań stawianych przetwornikom z możliwościami ich realizacji

tość skuteczna napięcia (i prądu) sygnałów niesinusoidalnych. Przetworniki znajdujące się na rynku pozwalają mierzyć sygnały sinusoidalne (lub o niewielkich zniekształceniach) z błędem równym dziesiątej części procenta do częstotliwości kilkuset kHz (1MHz). Natomiast, jeżeli sygnał wejściowy jest niesinusoidalny, dokładność przetwarzania gwałtownie spada [2]. Dysponując wystarczającą ilością informacji o kształcie przetwarzanego sygnału i charakterystykach zastosowanego przetwornika, można obliczyć i wprowadzić poprawkę do uzyskanego wyniku przetwarzania. W pracy [3] podane zostały odpowiednie zależności matematyczne, a także ich przybliżone postaci, słuszne w ograniczonym zakresie błędów przetwarzania. Proces identyfikacji kształtu sygnału i wprowadzania poprawki można zautomatyzować; wykonano prototyp przyrządu, posiadający takie właściwości [6]. Procedura wyliczania poprawki, przyjęta w opisanym tam przetworniku, ma niestety ograniczone zastosowanie, dobre wyniki uzyskiwane są dla wybranych, typowych, kształtów sygnału.

Aby ujednoczyć wyliczanie poprawki dla różnych kształtów sygnału mierzonych, zaproponowano aproksymację sygnałów niesinusoidalnych sygnałem trapezowym [4], rys. 2.

Sygnał taki, dla określonych, opisujących go parametrów, staje się np. sygnałem prostokątnym ( $g_1 = g_2 = d_1 = d_2 = 0$ ), trójkątnym ( $g_1 = g_2 = d_1 = d_2 = T/2$ ), piłokształtnym lub może przybliżyć sygnały sinusoidalne ( $g_1 = g_2 = d_1 = d_2 = 0,2$ ;  $\tau_1 = \tau_2$ ) albo składające się z części połówek sinusoidy powstającej przy stosowaniu prostowników sterowanych.

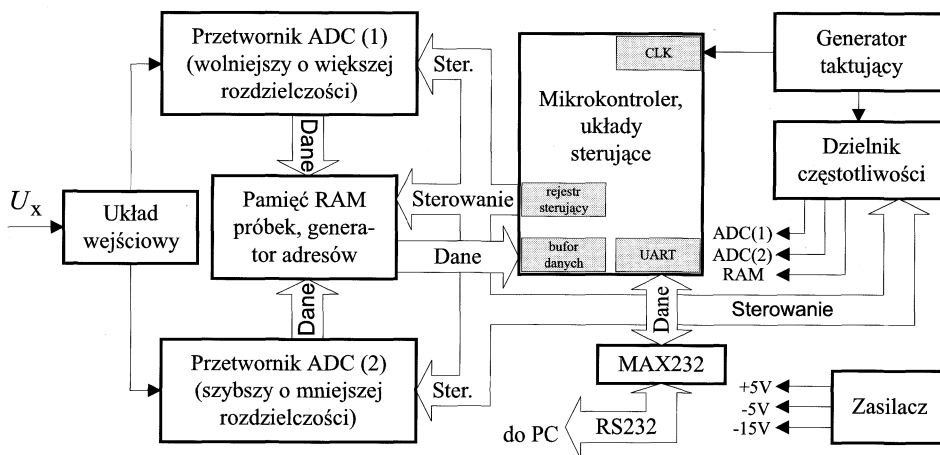
Stosując odpowiednio szybki dodatkowy przetwornik o niezbyt dużej rozdzielczości i wyznaczając, na podstawie pobranych próbek sygnału, parametry przybliżającego go sygnału trapezowego, można wyliczyć wartość poprawki. Odpowiednie zależności matematyczne podano w [4]. Poprawka ta dodana do wyniku przetwarzania uzyskanego z przetwornika podstawowego zmniejsza końcowy błąd wyznaczenia wartości skutecznej.

### Przetwornik wartości skutecznej z aproksymacją sygnału mierzonych trapezem

Zbudowany został przetwornik wartości skutecznej sygnału zmiennego, w którym zastosowano opisaną powyżej metodę zmniejszania końcowego błędów przetwarzania [1]. Schemat blokowy części sprzętowej przedstawiony jest na rys. 3. Wyróżnić w nim można podstawowe bloki funkcyjne:

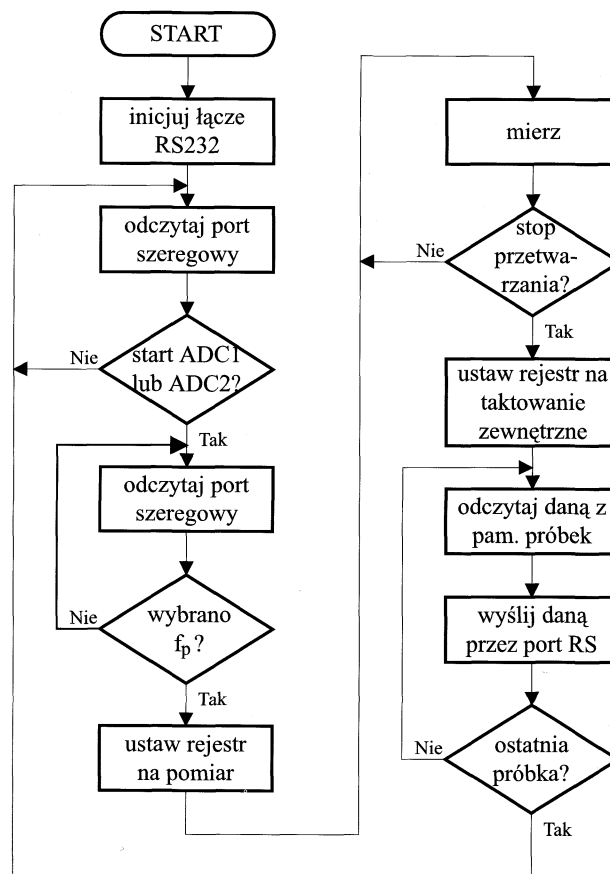
- układ wejściowy,
- moduły przetworników próbkujących ADC1 i ADC2,
- pamięć próbek i generator adresów,
- mikrokontroler sterujący,
- generator taktujący,
- programowalny dzielnik częstotliwości,
- blok komunikacji z komputerem,
- zasilacz.

Składowa zmienna sygnału mierzonych  $U_x$  doprowadzana jest do wejść obu przetworników ADC bloku próbkująco-pamiętającego. Na podstawie próbek z wolniejszego ale bardziej dokładnego, 12-bitowego podstawowego przetwornika ADC1 wyznaczana jest wartość skuteczna mierzonych napięcia. Natomiast próbki z drugiego, dodatkowego, szybszego ale mniej dokładnego, 8-bitowego przetwornika ADC2 służą do oszacowania parametrów czasowych oraz amplitud przebiegu wejściowego.

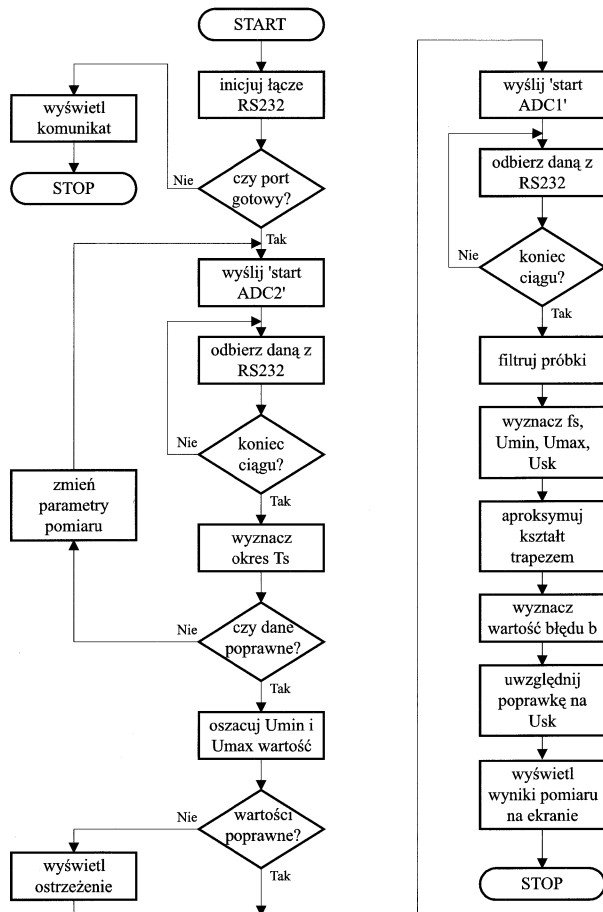


Rys. 3. Schemat blokowy przetwornika wartości skutecznej (części sprzętowej)

Całym procesem pomiarowym zarządza mikrokontroler z rodziny '51. Po starcie programu (rys. 4) inicjowane jest łącze szeregowe i urządzenie wchodzi w pętlę oczekującą na zgłoszenie się komputera. Po odebraniu sygnału „ADC1” lub „ADC2” następuje wyzolenie pomiaru odpowiednim przetwornikiem. Następuje kasowanie liczników generatora adresów próbek i odpowiednie ustawienie rejestru sterującego. Wejściowe napięcie zostaje przetworzone z odpowiednią częstotliwością na kod cyfrowy, który zapisywany jest w pamięci próbek. Po zakończeniu przetwarzania („stop przetwarzania”), próbki pobierane są z pamięci i wysyłane do komputera, po zakończeniu transmisji urządzenie czeka na wyzwolenie następnego pomiaru.



Rys. 4. Algorytm działania części sprzętowej przetwornika

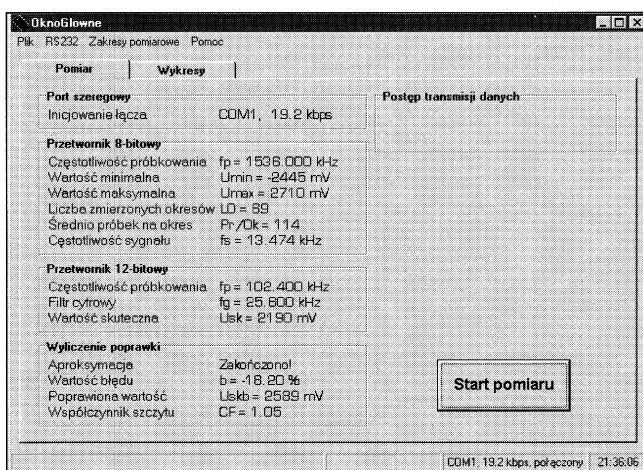


Rys. 5. Algorytm działania komputera przy współpracy z częścią sprzętową przetwornika

Matematyczna obróbka wyników pomiaru wymaga zastosowania procesora dysponującego dużą mocą obliczeniową. Z tego powodu zrezygnowano z obliczeń za pomocą mikrokontrolera '51 a wykorzystano do tego celu komputer.

Po uruchomieniu programu inicjowane jest łącze RS232 (rys.5) i w przypadku wystąpienia konfliktu sprzętowego zgłaszane jest to użytkownikowi. Po wysłaniu rozkazu „ADC2” rozpoczyna się cykl pomiarowy w sposób opisany powyżej i przedstawiony na rys. 4.

Po odebraniu wszystkich próbek, komputer rozpoczyna analizę danych, określa okres sygnału i zmienia częstotliwość próbkowa-



Rys. 6. Okno „Pomiar” na ekranie monitora PC

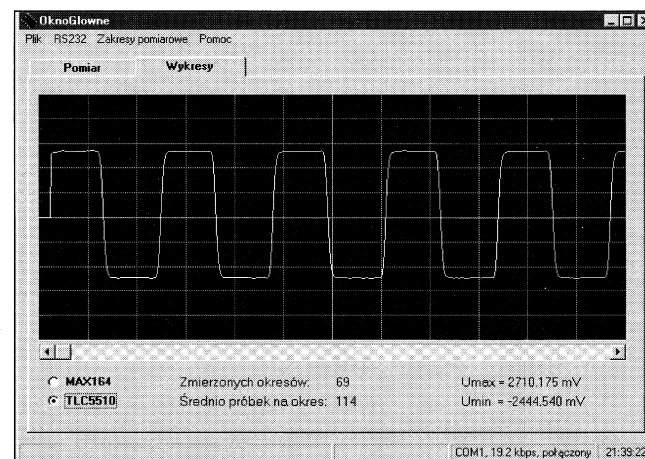
nia, jeśli jest to potrzebne. Następnie uruchomiony zostaje przetwornik ADC1 a pobrane przez niego próbki są wysyłane do komputera. W celu zmniejszenia przypadkowych błędów powstających przy próbkowaniu a także zakłóceń i szumu kwantyzacji, przeprowadzana jest filtracja cyfrowa próbek. Na podstawie odfiltrowanego ciągu próbek z tego dokładniejszego przetwornika wyliczana jest wartość skuteczna mierzonego napięcia  $U_{sk}$ . W kolejnym kroku przebieg mierzony  $U_x$  aproksymowany jest trapezem tzn. wyliczane są czasy narostu ( $g_1, g_2$ ), opadania ( $d_1, d_2$ ), trwania impulsu ( $\tau_1, \tau_2$ ), maksymalna wartość dodatnia i ujemna  $U_{max}$  i  $U_{min}$  i okres sygnału T. Parametry te są tak dobierane, aby przybliżyć przebieg mierzony trapezem z najmniejszym błędem średniokwadratowym. Wyliczana jest wartość poprawki b i wprowadzana do wyniku końcowego. Poprawiony wynik wyświetlany jest jako  $U_{skb}$ .

W opcji „Pomiar” (rys. 6) wyświetlane są warunki pomiaru, postęp transmisji danych oraz uzyskane wyniki. W opcji „Wykresy” (rys. 7) obejrzyć można oscylogramy sygnałów uzyskane na podstawie próbek z obu przetworników.

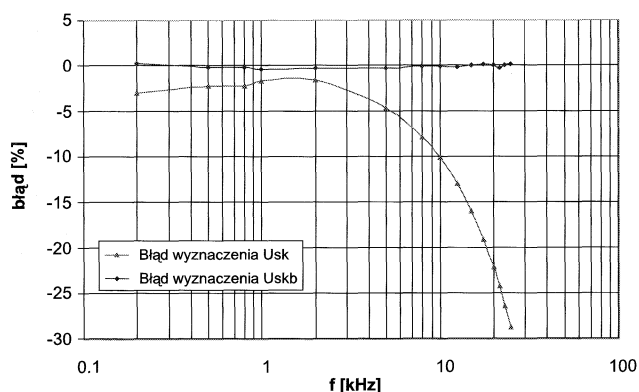
Powierzenie komputerowi zadania wykonywania obliczeń (zamiast wykorzystania do tego celu mikrokontrolera użytego w wykonanym urządzeniu) pozwala przyspieszyć proces obliczeń, w sposób przejrzysty i czytelny prezentować wyniki pomiarów oraz zapewnia bardzo łatwe i wygodne sterowania pracą urządzenia. Dodatkową zaletą jest możliwość zapisania ciągów próbek oraz wyników obliczeń do pliku w celu dalszej ich obróbki za pomocą zaawansowanych programów komputerowych. Oczywiście wadą tego typu rozwiązania jest konieczność transmisji danych do komputera, co z kolei wpływa na wydłużenie całkowitego czasu przetwarzania (w prezentowanym rozwiązaniu zastosowano transmisję szeregową).

## Uzyskane wyniki badań

Porównanie końcowego błędu przetwarzania dla przykładowych kształtów sygnałów wejściowych przedstawiają rysunki 8 i 9. Wynika z nich, że wprowadzenie poprawki do wartości skutecznej napięcia, wyznaczonej na podstawie próbek z dokładnego ale wolnego przetwornika, w dużym stopniu poprawia precyzję pomiaru. Aproksymacja sygnałem trapezowym sygnału wejściowego, w tym także sinusoidalnego, dla częstotliwości bliskich górnej częstotliwości granicznej przetwornika podstawowego, następnie wylczenie i wprowadzenie poprawki, pozwala na uzyskanie wartości końcowej  $U_{skb}$  znacznie mniej różniącej się od poprawnej, niż bezpośrednio uzyskany wynik  $U_{sk}$ . Oczywiście, poprawka może być określana z mniejszą precyzją niż wartość  $U_{sk}$ , a więc do jej wyznaczenia można użyć przetwornika o mniejszej rozdzielczości.



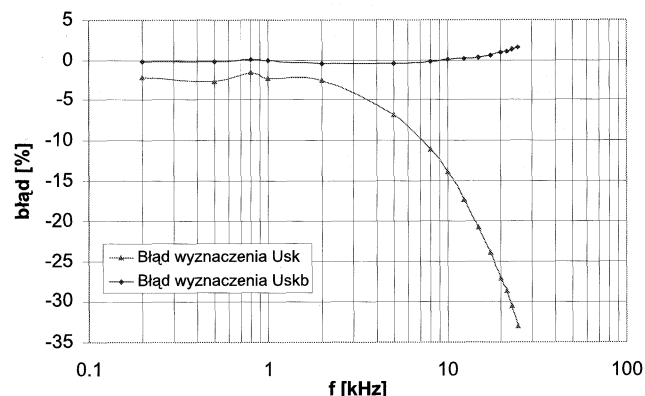
Rys. 7. Przykładowy oscylogram sygnału uzyskany na podstawie próbek z szybszego przetwornika ADC2



Rys. 8. Zmierzony błąd dla wykonanego przetwornika wartości skutecznej bez wprowadzania poprawki ( $U_{sk}$ ) i po wprowadzeniu poprawki ( $U_{skb}$ ) dla sygnału prostokątnego

Wykonany prototyp przetwornika ma następujące parametry:

- zakres napięcia wejściowego: 5V,
- zakres częstotliwości podstawowej (1. harmonicznej) napięcia wejściowego: 20Hz ÷ 20kHz,
- błąd pomiaru wartości skutecznej w całym zakresie częstotliwości: <1,2%,
- błąd wyznaczenia wartości amplitudy : <0,1%,
- dodatkowy błąd wynikający ze zmian temperatury otoczenia: <0,04%/K.



Rys. 9. Zmierzony błąd dla wykonanego przetwornika wartości skutecznej bez wprowadzania poprawki ( $U_{sk}$ ) i po wprowadzeniu poprawki ( $U_{skb}$ ) dla sygnału pilokształtnego

Jak wynika z podanych wyżej parametrów wykonany przetwornik pracuje w niezbyt szerokim pasmie częstotliwości. Jest to jednak rezultat wcześniejszych założeń: celem, jaki należało osiągnąć przy wykonaniu prototypu przetwornika, była praktyczna weryfikacja obliczeń teoretycznych a nie uzyskanie parametrów ekstremalnych; trzeba podkreślić, że otrzymane wyniki są w pełni zadowalające.

Należy zauważyć, że wykorzystany algorytm wprowadzania poprawki jest słuszny również dla większych częstotliwości, nie zmieniają się bowiem postaci wykorzystanych wzorów [4]. Udoskonalenie procedury aproksymacyjnej, wprowadzenie „lepszych” filtrów poprawiłoby jeszcze uzyskane efekty w zakresie zmniejszenia końcowego błędów przetwarzania.

Zastosowanie do wyznaczenia poprawki, drugiego, szybkiego, lecz mniej dokładnego przetwornika (oraz dodatkowego bufora) w bardzo niewielkim stopniu zwiększa koszt całego urządzenia; może być to rozwiązanie o wiele bardziej ekonomiczne niż zastosowanie bardzo szybkiego i dokładnego pojedynczego przetwornika a/c.

## Literatura

- [1] K. KRISZNIEWSKI:  
Moduł przetwornika a/c z oprogramowaniem rozpoznawania kształtu sygnału. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki, Wrocław 1999.
- [2] E. NOWACZYK:  
Pasma częstotliwości sygnałów niesinusoidalnych w przyrządach mierzących wartość skuteczną. XX Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, Materiały konferencyjne, Szczecin 1988.
- [3] E. NOWACZYK:  
Non-sinusoidality of a signal as a source of error in instruments measuring root-mean-square value. Metrologia 1998, No 35.
- [4] E. NOWACZYK, J. NOWACZYK:  
Zastosowanie wstępnej identyfikacji atrybutów sygnałów do optymalizacji procedur ich przetwarzania. Metrologia Wspomagana Komputerowo, Materiały konferencyjne, t.2, Rynia 1999.
- [4] E. NOWACZYK:  
Aproksymacja sygnałem trapezowym kształtu sygnałów niesinusoidalnych do oceny niedokładności przetworników wartości skutecznej. Metrologia i Systemy Pomiarowe, t.V, z.1-2 (1998).
- [5] E. NOWACZYK, L. SZEMERDA:  
Analogowo cyfrowy przetwornik skutecznej wartości napięć zmiennych. Materiały X Konferencji Naukowo - Technicznej, Zastosowanie Mikroprocesorów w Automatyce i Pomiarach, Warszawa 1996.

Artykuł recenzowany



**ENERGOAPARATURA SA**  
Energoparatura SA  
40-273 Katowice, ul. Pułaskiego 7

**Informacja Techniczna:**  
Dział Handlowy Oddział Kraków, ul. Błonie Beszcz 2, 31-903 Kraków,  
Tel. 012-648 02 09, 012-648 02 29, fax 012-648 00 70  
e-mail: ehkrakow@enap.com.pl

**MIKROPROCESOROWE  
MIERNIKI I  
REGULATORY**



**STEROWANIE**

**POMIARY**

**AUTOMATYKA**

- Uniwersalne wejścia pomiarowe: czujniki rezystancyjne, termopary, oraz sygnały analogowe prądowe i napięciowe
- Regulacja typu PID, Fuzzy PID oraz wyłącz - wyłącz
- Wyjścia regulacyjne prądowe, SSR oraz stykowe
- Programowalne charakterystyki regulacji
- Autotuning, funkcja Timer, komunikacja cyfrowa
- Regulacja czasowo krokowa (do 16 kroków)
- Retransmisja sygnału pomiarowego
- Wysoka jakość: 3 LATA GWARANCJI, ISO 9001

Aparatura kontrolno-pomiarowa:  
czujniki temperatury, pirometry, kamery termowizyjne,  
przetworniki ciśnienia, niskich ciśnień, wilgotności,  
przenośne przyrządy pomiarowe,  
urządzenia dla klimatyzacji i wentylacji

Kompleksowe usługi z zakresu pomiarów, automatyki i sterowań:  
- projektowanie, kompletacja dostaw aparatury, i osprzętu, montaż, rozruch i serwis  
- produkcja osprzętu montażowego: koryta kablowe, konstrukcje wspornicze, złącza rurowe, manometryczne i inne...  
- produkcja szaf, szafek, pulpitów, skrzynek obiektywych,