

LABORATORIUM METROLOGII  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Katedra Automatyki i Metrologii

## Ćwiczenie Nr 35

### WSPOMAGANE KOMPUTEROWO PRÓBKUJĄCE POMIARY PRĄDU, NAPIĘCIA, MOCY I ENERGII

#### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z jednym ze sposobów wykorzystania komputera osobistego wyposażonego w kartę rozszerzającą w postaci wielokanałowego, próbkującego przetwornika analogowo-cyfrowego do pomiarów prądu, napięcia, mocy i energii urządzeń zasilanych bezpośrednio z sieci energetycznej.

*(Opracował: prof. Jan R. Jasik)*

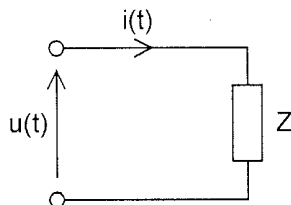
Lublin 2008 r

## 1. WPROWADZENIE

Cyfrowe pomiary prądu, napięcia, mocy i energii stanowią ważny problem współczesnej techniki pomiarowej. Spotyka się dwa podstawowe rozwiązania tego typu przyrządów, różniące się sposobem przetwarzania sygnałów wejściowych [1]. Albo sygnały te podlegają obróbce w analogowych blokach funkcyjnych, po czym wyjściowy sygnał analogowy jest przetwarzany w postać cyfrową w integracyjnych przetwornikach analogowo-cyfrowych (A/C) [2, 3], albo podlegają one wstępnemu próbkowaniu i przetwarzaniu w postać cyfrową, z użyciem szybkich przetworników analogowo-cyfrowych (najczęściej z sukcesywną aproksymacją) [2, 3], obrabianą następnie metodami numerycznymi. Przydatność pierwszego z wymienionych rozwiązań ograniczona jest dokładnością dostępnych analogowych bloków funkcyjnych (kwadratorów, układów mnożących, pierwiastkujących itp.), drugiego zaś wciąż wysoką ceną szybkich i dokładnych przetworników A/C oraz układów mikroprocesorowych.

### 1.1 Podstawowe definicje

W przypadku odbiorników (rys.1.1) zasilanych z sieci energetycznej najczęściej mierzone są następujące wielkości:



Rys.1.1 Schemat odbiornika  $Z$  zasilanego napięciem zmiennym;  $u(t)$  i  $i(t)$  oznaczają odpowiednio wartości chwilowe napięcia i prądu

$$\text{wartość skuteczna napięcia } U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}, \quad (1.1)$$

$$\text{wartość skuteczna prądu } I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}, \quad (1.2)$$

$$\text{moc czynna } P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt, \quad (1.3)$$

gdzie:  $T$  oznacza okres napięcia i prądu.

W oparciu o powyższe wzory możemy określić dodatkowo:

$$\text{moc pozorną } S = UI, \quad (1.4)$$

$$\text{moc bierną } Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \quad (1.5)$$

$$\text{współczynnik mocy } \cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad (1.6)$$

$$\text{energię } A = Pt, \quad (1.7)$$

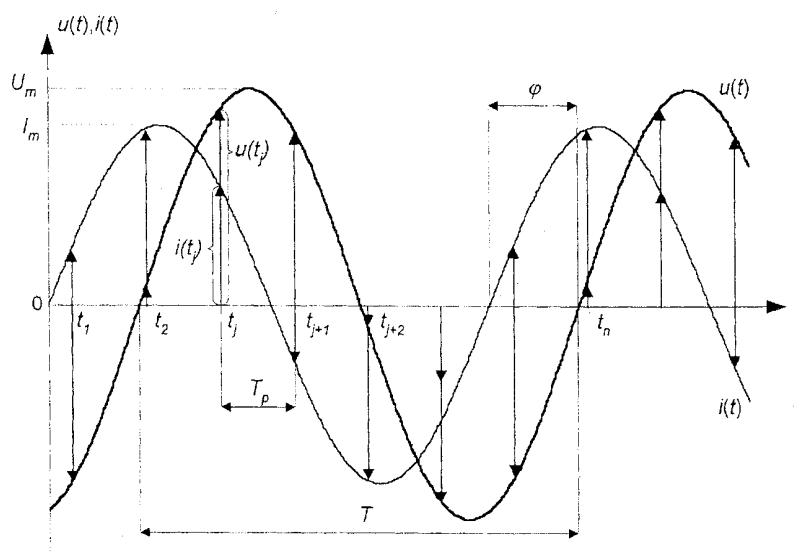
gdzie:  $t$  – czas.

### 1.2 Idea pomiarów próbkujących

W pomiarze próbkującym rzeczywiste przebiegi napięcia  $u(t)$  i prądu  $i(t)$  zostają zastąpione przez ciągi chwilowych próbek analogowych  $u(t_j)$  i  $i(t_j)$  (rys.1.2), branych z równomiernym krokiem  $T_p = t_j - t_{j-1} = const.$ , zwanym okresem próbkowania. Wymaga się przy tym by próbki były rozłożone równomiernie w okresie  $T$  prądu lub napięcia, tzn. by spełniony był warunek, że

$$\frac{T}{T_p} = n, \quad (1.8)$$

gdzie liczba próbek  $n$  jest liczbą całkowitą.



Rys.1.2 Ilustracja procesu kwantowania przesuniętych w fazie o kąt  $\phi$  sinusoidalnych przebiegów napięcia  $u(t)$  i prądu  $i(t)$

Cyfrowe pomiary próbkujące wymagają ponadto przetworzenia w cyfrowy kod  $N_u(t_j)$  i  $N_i(t_j)$  (najczęściej dwójkowy) analogowych próbek napięcia i prądu, tzn. wymagają wykonania ciągu przetworzeń:

$$\begin{aligned} u(t) &\rightarrow u(t_j) \rightarrow N_u(t_j), \\ i(t) &\rightarrow i(t_j) \rightarrow N_i(t_j). \end{aligned}$$

Warto zaznaczyć, że proces próbkowania, przeprowadzany za pomocą układów próbkująco-pamiętających (P-P) [3] (ang. *sample and hold S&H*), nazywany jest dyskretyzacją, zaś proces przetwarzania analogowych wartości próbek w cyfrowy kod, realizowanych z użyciem przetworników A/C, nazywany jest kwantowaniem.

Korzystając z uzyskanych kodów wartości skuteczne napięcia i prądu oraz mocy czynnej obliczymy z wzorów:

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_u^2(t_j)}, \quad (1.9)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_i^2(t_j)}, \quad (1.10)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_u(t_j) N_i(t_j). \quad (1.11)$$

Z wzorów (1.9) do (1.11) wynika, że wartości chwilowe  $u(t)$  i  $i(t)$  zostają zastąpione przez wartości dyskretne (próbki wartości chwilowych  $u(t_j)$  i  $i(t_j)$ ) skwantowane w poziomie a właściwy metodom analogowym proces całkowania wartości chwilowych zostaje zastąpiony przez sumowanie kodów  $N_u(t_j)$  i  $N_i(t_j)$  lub ich kombinacji, tzn. przez całkowanie numeryczne metodą prostokątów.

Uzyskane wartości napięcia, prądu i mocy czynnej służą do obliczenia mocy pozornej  $S$ , mocy biernej  $Q$ , energii  $A$  i współczynnika mocy  $\cos\varphi$ , analogicznie jak ma to miejsce w przypadkach opisanych wzorami (1.4) do (1.7)

### 1.2.1 Dobór częstotliwości próbkowania

Wybór struktury układu pomiarowego bazującego cyfrowym przetwarzaniu kodów reprezentujących próbki chwilowych wartości sygnałów zależy w znaczącym stopniu od kształtu tych sygnałów i od obecności zakłóceń wpływających na ich kształt. Z tego punktu widzenia rozróżnia się:

- struktury do pomiarów parametrów odbiorników w przypadku sygnałów sinusoidalnych,
- struktury do pomiarów parametrów odbiorników w przypadku sygnałów niesinusoidalnych lub sygnałów sinusoidalnych w obecności w nich zakłóceń.

Do pomiarów wielkości elektrycznych w obwodach, w których prąd i napięcie mogą być z dużą pewnością traktowane jako sinusoidalne rekomendowane są algorytmy pomiarowe [4], w których próbkowanie odbywa się w „wybranych” punktach np. podczas pomiarów wartości skutecznej napięcia  $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$  lub prądu  $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$  wygodnie jest wybrać próbki odpowiednio w punktach  $(\omega t_j + \varphi_u) = \pi/4(2j+1)$  i  $(\omega t_j + \varphi_i) = \pi/4(2j+1)$ , dla których wartość chwilowa jest równa liczbowo wartości skutecznej. Próbkowanie w „wybranych” punktach np. napięcia w punkcie  $(\omega t_j + \varphi_u) = \pi/4(4j+1)$  i prądu w punkcie  $(\omega t_j + \varphi_i) = \pi/4(4j+1)$  może być korzystne również podczas pomiarów mocy czynnej i mocy biernej [ ].

Przy spełnieniu określonych warunków liczba  $n$  próbek sygnałów nie musi być zbyt duża. Również dyskretyzacja niekoniecznie musi odbywać się w czasie trwania jednego okresu i może być rozciągnięta na  $m$  okresów, przy czym  $m$  powinno być liczbą całkowitą. [5, 6].

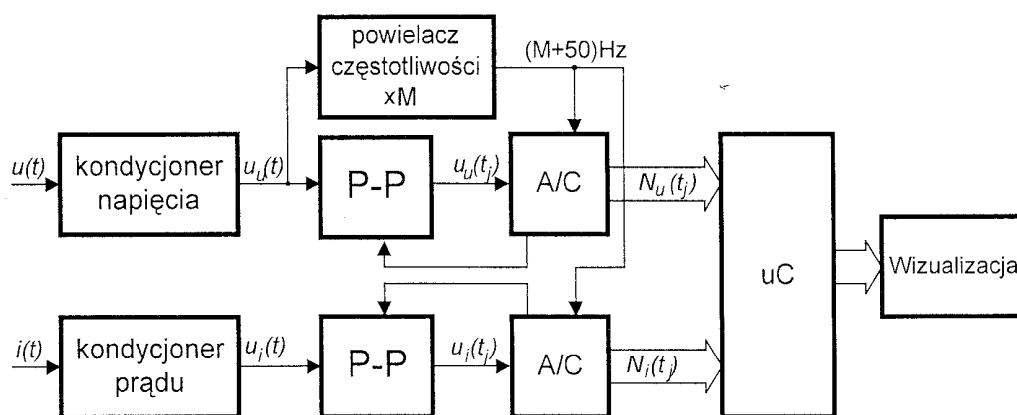
Współcześnie, w związku z dostępnością szybkich (czas przetwarzania krótszy niż  $10\mu s$ ) przetworników analogowo-cyfrowych (A/C) o dużej rozdzielczości (12 bitów i więcej), stosuje się tzw. próbkowanie nadmiarowe z liczbą próbek  $n$  przekraczającą wymagania wynikające z rozważań teoretycznych.

## 1.3 Struktury układów pomiarowych

### 1.3.1 Rozwiązania układowe

Struktury typowych układów pomiarowych są przedstawione na rys.1.3 rys.1.4. W pierwszym etapie odbywa się kondycjonowanie [1, 8] mierzonego napięcia i prądu mające na celu sprowadzenie poziomów występujących w rzeczywistych warunkach wartości do poziomów dopuszczalnych na wejściach układów P-P (najczęściej  $\pm 10V$ ). Rolę kondycjonera napięcia może pełnić zwykły przekładnik napięcia lub skompensowany dzielnik napięcia [8]. W charakterze kondycjonera prądu może być użyty przekładnik prądowy obciążony niewielką rezystancją lub

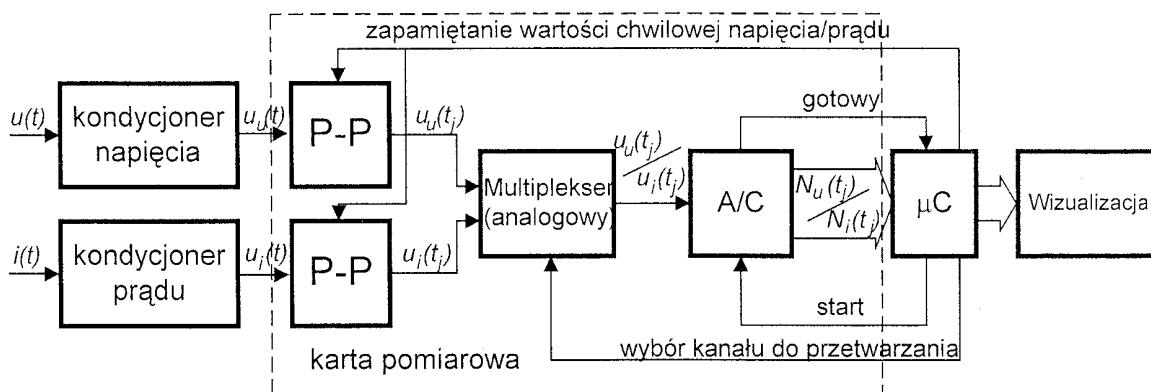
zwykły bocznik [8]. Oczywiście wzory (1.9), (1.10) i (1.11) przy zastosowaniu kondycjonerów muszą zostać skorygowane o wartości przekładni  $\mathcal{G}_u = u(t)/u_u(t)$  i  $\mathcal{G}_i = i(t)/i_i(t)$  odpowiednio kondycjonera napięcia i kondycjonera prądu. Dodatkowo od kondycjonerów wymaga się by zapewniały galwaniczną izolację między obiektem mierzonym (będącym na potencjale sieci energetycznej) i pozostałą częścią układu pomiarowego. Postulat ten dobrze wypełniają przekładniki pomiarowe.



Rys.1.3 Struktura układu pomiarowego z dwoma próbkującymi przetwornikami A/C

W przedstawionym na rys.1.3 układzie pomiarowym następną operacją jest próbkowanie napięcia i prądu w  $n$  równoodległych ( $T_p$ ) chwilach czasowych w obrębie okresu  $T$  napięcia sieciowego. Próbkę te są przetwarzane w postać cyfrową przez dwa bipolarne przetworniki A/C i następnie dostarczane do układu mikroprocesorowego  $\mu C$  w celu wykonania operacji wynikających z wzorów definicyjnych (1.9), (1.10) i (1.11). Najbardziej oczywiste błędy przybliżenia (1.1) do (1.3) przez (1.9) do (1.11) związane są z dyskretyzacją napięcia i prądu w czasie i amplitudzie.

W układzie zastosowano powielacz częstotliwości o współczynniku powielenia  $M$  zrealizowany w oparciu o pętlę sprzężenia zwrotnego fazowego (*ang.* PLL)[2] w celu spełnienia warunku poprawnego całkowania, tzn. podziału okresu napięcia mierzonego na całkowitą liczbę  $n$  przedziałów całkowania. Oczywiście warunek ten powinien być spełniony dla najwyższych harmonicznnych występujących w wejściowym napięciu lub prądzie. Należy zaznaczyć, że w przypadku szybkich zmian częstotliwości sygnałów wejściowych pętla PLL koryguje trwania okresu próbkowania  $T_p$  z opóźnieniem rzędu  $T$ .



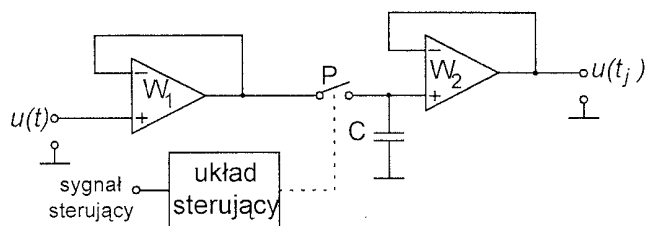
Rys.1.4 Struktura układu pomiarowego z jednym przetwornikiem A/C i multiplexerem analogowym

Kolejne możliwe rozwiązanie układu pomiarowego przedstawiono na rys.1.4. Układ, podobnie jak ten z rys.1.3, zawiera kondycjonery napięcia i prądu oraz dwa układy P-P, zapewniające równoczesność próbkowania w torze napięciowym i prądowym. Multiplexer analogowy podaje, naprzemiennie, próbki  $u_u(t_j)$  i  $u_i(t_j)$ , reprezentujące wartości chwilowe mierzonego napięcia i prądu, do przetwornika A/C, gdzie są przetwarzane na postać cyfrową. Mikroprocesor realizuje wszystkie niezbędne operacje wynikające z wzorów (1.9) do (1.11). Jest oczywiste, że w tym rozwiązaniu szybkość zastosowanego przetwornika A/C powinna być co najmniej dwukrotnie większa w porównaniu z szybkością przetworników A/C stosowanych w układzie z rys.1.3.

Struktura z rys.1.4 jest podstawą układu zastosowanego na stanowisku dydaktycznym [9], w którym dzięki zastosowaniu wysokiej nadmiarowości próbkowania zrezygnowano z układu PLL zapewniającego równomierność rozstawienia próbek w okresie mierzonego napięcia lub prądu.

### 1.3.2 Niektóre przetworniki pomiarowe

W przedstawionych na rys.1.3 i rys.1.4 układach pomiarowych następną operacją jest próbkowanie napięcia i prądu w  $n$  równoodległych ( $T_p$ ) chwilach czasowych w obrębie okresu  $T$  napięcia sieciowego. Podstawowy schemat układu P-P [2, 3] jest przedstawiony na rys.1.5.



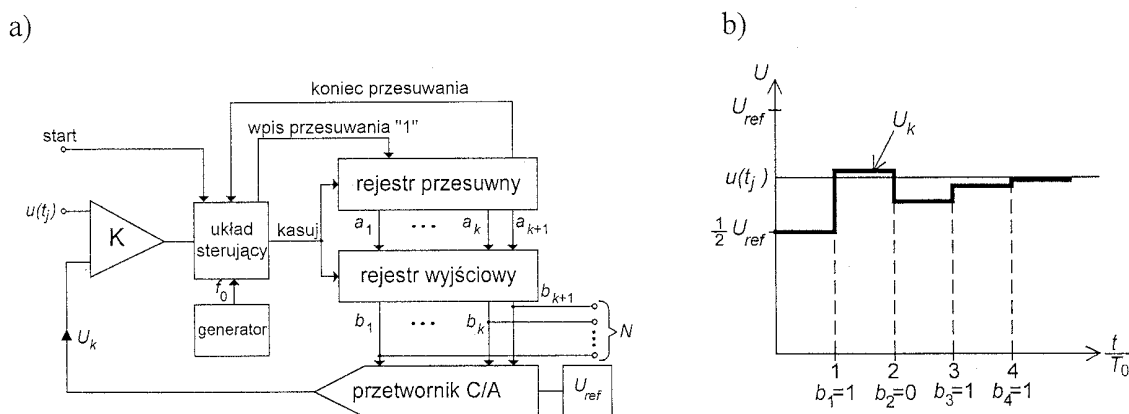
Rys.1.5 Podstawowa konfiguracja układu próbkująco-pamiętającego z podwójnym odseparowaniem

W fazie próbkowania, pod wpływem impulsu próbkującego (sygnał sterujący), układ sterujący zamyka przełącznik P i umożliwia naładowanie kondensatora C. Czas przebywania w fazie próbkowania jest równy czasowi trwania impulsu próbkującego. Po zakończeniu fazy próbkowania układ sterujący otwiera przełącznik P i napięcie kondensatora jest dostępne na wyjściu jako napięcie  $u(t_j)$  określane mianem próbki napięcia wejściowego  $u(t)$ . Ta druga faza pracy układu nazywa się pamiętaniem. W stanie pamiętania kondensator C utrzymuje

wypróbkowane napięcie przez określony czas zwany czasem pamiętania. W chwilę po ponownym zamknięciu przełącznika kondensator zostaje przeładowany i napięcie wyjściowe przyjmuje nową wartość  $u(t_{j+1})$ . Warto zaznaczyć, że czas zamknięcia przełącznika powinien być dużo mniejszy od czasu jego otwarcia. Sumę czasów zamknięcia i otwarcia przełącznika nazywa się okresem próbkowania  $T_p$  a jego odwrotność częstotliwością próbkowania  $f_p = 1/T_p$ .

Widoczne na schemacie (rys1.5) wzmacniacze pełnią rolę buforów. Wzmacniacz  $W_1$  powinien mieć dużą rezystancję wejściową aby nie obciążać źródła sygnału wejściowego, szczególnie w przypadku, gdy jest on dostarczany z multipleksera analogowego [2, 3]. Wydajność prądowa wzmacniacza  $W_1$  powinna umożliwiać szybkie ładowanie kondensatora pamięciowego. Wzmacniacz  $W_2$  powinien mieć bardzo dużą rezystancję wejściową oraz jak najmniejsze napięcie i prąd niezrównoważenia, a także małą rezystancję wyjściową.

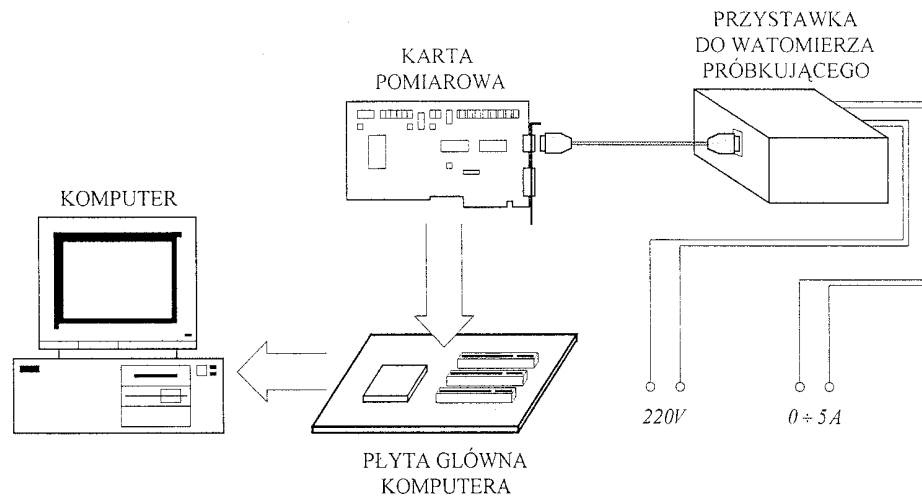
Zasadę działania przetwornika A/C z sukcesywną aproksymacją (kompensacyjny) [2, 3] zilustrowano na rys.1.6. W pętli sprzężenia zwrotnego układ zawiera przetwornik cyfrowo-analogowy (C/A) połączony ze źródłem napięcia odniesienia  $U_{ref}$ . Algorytm pracy przetwornika [ ] sprowadza się do sukcesywnego wykonywania operacji dzielenia napięcia wejściowego  $u(t_j)$  przez wzorcowe napięcie odpowiadające najstarszemu bitowi i dalej na dzieleniu otrzymanej reszty na napięcie odpowiadające drugiemu co do starszeństwa bitowi itd.



Rys. 1.6 Podstawowa konfiguracja przetwornika A/C z kompensacją wagową (z sukcesywną aproksymacją): a) schemat blokowy, b) kolejne fazy przetwarzania w funkcji bitów „ważonych”

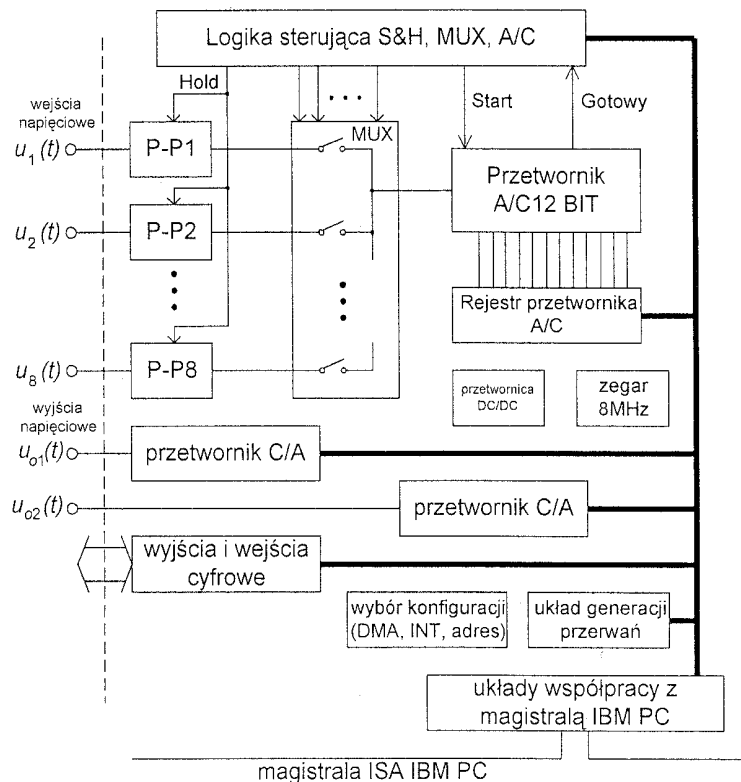
## 2 OPIS STANOWISKA DYDAKTYCZNEGO

Konfiguracja wspomaganego komputerowo stanowiska [9] do pomiarów parametrów obiektów zasilanych z sieci energetycznej metodą próbkowania prądu i napięcia, zrealizowanego zgodnie ze strukturą układu pomiarowego z rys. 1.4, jest przedstawiona na rys. 2.1. Przyrząd pomiarowy, bazujący na karcie rozszerzającej (*ang. Data Acquisition Card*) podłączonej do magistrali ISA odpowiednio oprogramowanego komputera osobistego i zamontowanej w jego wnętrzu, należy do klasy tzw. wirtualnych przyrządów pomiarowych [7, 8]. Wirtualny przyrząd pomiarowy jest uzupełniony tzw. „przystawką pomiarową”[9], zawierającą układy kondycjonowania mierzonego napięcia i prądu sieciowego. Przystawka pomiarowa zapewnia galwaniczną izolację wirtualnego przyrządu pomiarowego od sieci energetycznej.



Rys.2.1 Konfiguracja wspomaganego komputerowo stanowiska do pomiarów parametrów obiektów zasilanych z sieci energetycznej metodą próbkowania prądu i napięcia [9]

Wirtualny przyrząd pomiarowy zrealizowano przy wykorzystaniu karty pomiarowej typu LC-020-0812 firmy „AMBEX”[10], której schemat blokowy jest przedstawiony na rys. 2.2.



Rys.2.2 Schemat blokowy karty rozszerzającej do komputera osobistego z wielokanałowym, próbkującym przetwornikiem A/C z sukcesywną aproksymacją

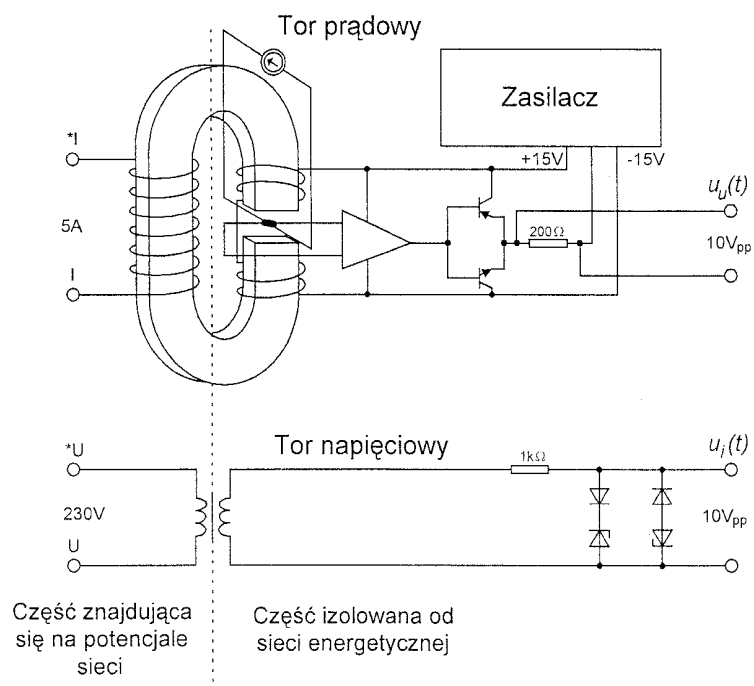


Tor pomiarowy karty rozszerzającej [10] składa się z 12-bitowego (rozdzielczość 0,488mV) przetwornika A/C z sukcesywną aproksymacją (typ AD 578 JN) o dużej szybkości przetwarzania i dużej dokładności, multiplexera analogowego MUX (typ AD 7501 JN) oraz 8-uzwamniaczy próbkująco-pamiętających P-P (typ AD 585 AQ), gwarantujących równoczesność pomiarów we wszystkich kanałach. Automat sterujący karty (logika sterująca) umożliwia wykonanie pomiarów w zaprogramowanej liczbie kanałów (na stanowisku laboratoryjnym pomiary w 2-ch kanałach) z zaprogramowaną częstotliwością. Ustawiony zakres napięć wejściowych karty wynosi  $\pm 10V$ . Komunikacja komputera osobistego z kartą odbywa się za pomocą instrukcji (IN/OUT) według zasady [7, 8] przyjętej przez producentów komputerów typu IBM PC.

Kondycjoner toru napięciowego (rys.2.3b) stanowi przekładnik napięciowy o przekładni znamionowej  $\mathcal{G}_u=230V/10V$ , na wyjściu którego włączony jest układ diodowy, zabezpieczający przed niedopuszczalnym wzrostem napięcia podawanego na wejście układu P-P.

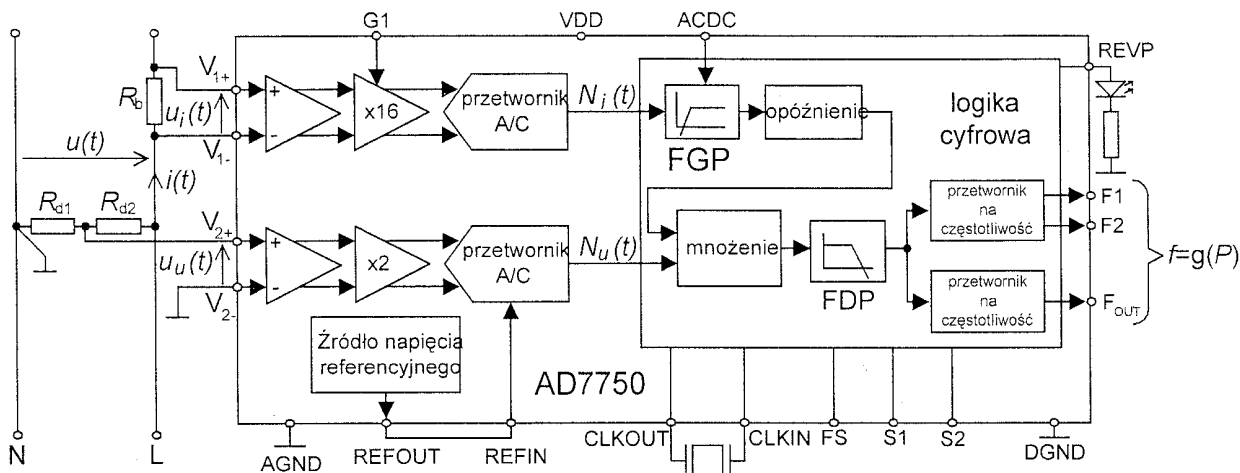
Kondycjonowanie w torze prądowym (rys.2.3a) jest realizowane w oparciu o układ LEM [11], w którym pole magnetyczne, wytworzone w rdzeniu przez mierzony prąd płynący w uzwojeniu pierwotnym, jest kompensowane polem wytworzonym przez prąd uzwojenia wtórnego, tak, że w rdzeniu i jego szczelinie, gdzie znajduje się hallotron, istnieje strumień różnicowy o wartości bliskiej zeru. Tak więc prąd uzwojenia wtórnego płynący przez jeden z tranzystorów wzmacniacza wyjściowego ma wartość chwilową, proporcjonalną do wartości chwilowej prądu pierwotnego w stosunku przekładni zwojowej. Prąd ten wytwarza na precyzyjnym rezystorze  $200\Omega$  napięcie o wartości dopuszczalnej dla wejścia układu P-P ( $10V_{pp}$ ). Tak więc w zastosowanym układzie współczynnik przetwarzania wynosi  $=5A/10V$ .

Układy kondycjonerów są umieszczone w specjalnie skonstruowanej PRZYSTAWCE DO WATOMIERZA PRÓBKUJĄCEGO. Rzeczywiste wartości współczynników  $\mathcal{G}_u$  i  $\mathcal{G}_i$  zostały wyznaczone doświadczalnie.



Rys. 2.3 Schemat układów kondycjonerów: a) tor prądowy, b) tor napięciowy

Dodatkowo w skład układu pomiarowego wchodzi laboratoryjny model elektronicznego licznika energii [12] zrealizowany z wykorzystaniem układu AD 7750 [13] przedstawionego na rys.2.4. Licznik energii posiada strukturę analogiczną do przedstawionej na rys.1.3, z tym że zastosowano w niej przetworniki A/C typu „sigma – delta” [3], należące do grupy przetworników jednobitowych o dużej rozdzielczości i szybkości.



Rys.2.4 Schemat układu AD 7750

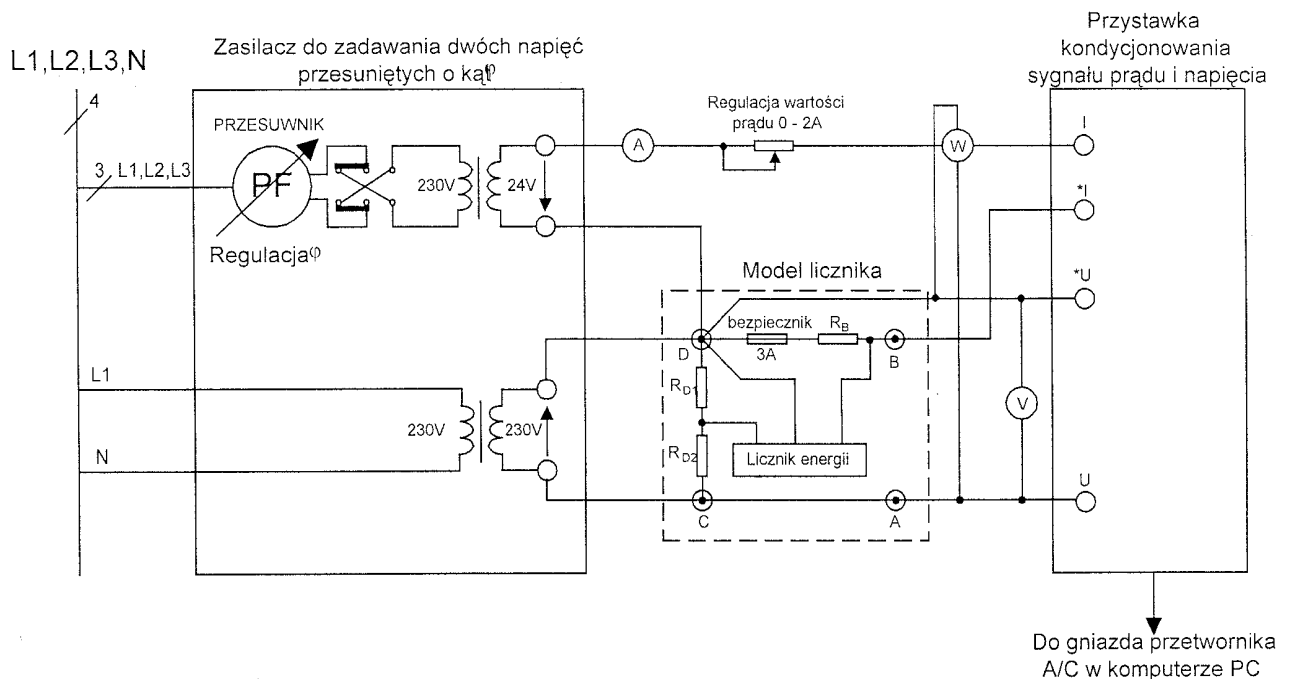
Oprócz cyfrowego wyświetlacza wskazującego zużyta energię  $A$  w kWh:

$$A = \frac{T}{n} \sum_{j=1}^n N_u(t_j) N_i(t_j), \quad (2.1)$$

licznik posiada wyjście impulsowe o standardzie TTL. Częstotliwość impulsów jest proporcjonalna do chwilowej mocy czynnej  $P$  pobieranej przez wirtualny odbiornik i mierzonej przez wirtualny, wspomagany komputerowo, watomierz a także przez istniejący w układzie analogowy watomierz ferrodynamiczny. Liczba zliczonych w czasie pomiaru impulsów z wyjścia impulsowego licznika jest miarą energii pobranej przez wirtualny odbiornik.

Schemat połączeń układu pomiarowego, znajdującego się na stanowisku laboratoryjnym, jest przedstawiony na rys. 2.4. Mierzone, przez układ wspomagany komputerowo, prąd  $i(t)$  oraz napięcie  $u(t)$  pochodzą ze specjalnego ZASILACZA DO ZADAWANIA DWÓCH NAPIĘĆ PRZESUNIĘTYCH O KĄT  $\varphi$ . Zasilacz rozdziela galwanicznie obwód mierzonego prądu od obwodu mierzonego napięcia. Zapewnia on także dodatkową separację wspomaganego komputerowo układu pomiarowego od sieci energetycznej: obwód napięciowy separuje transformator 230V/230V, zaś obwód prądowy separuje od sieci energetycznej transformator 230V/24V oraz PRZESUWNIK fazowy PF. Przesuwnik fazowy służy do nastawiani fazy prądu mierzonego co umożliwi symulowanie charakteru (indukcyjny lub pojemnościowy) nie istniejących w rzeczywistości odbiorników energii, których prąd napięcie moce i energię mierzy wspomagany komputerowo układ pomiarowy.

W układzie włączono analogowe przyrządy: elektromagnetyczny woltomierz i elektromagnetyczny amperomierz a także ferrodynamiczny watomierz. Wskazania przyrządów analogowych są wykorzystywane w charakterze wielkości porównawczych (wzorcowych) w stosunku do wyników uzyskiwanych za pomocą wspomaganego komputerowo układu pomiarowego.



Rys. 2.5 Schemat połączeń układu pomiarowego na stanowisku laboratoryjnym

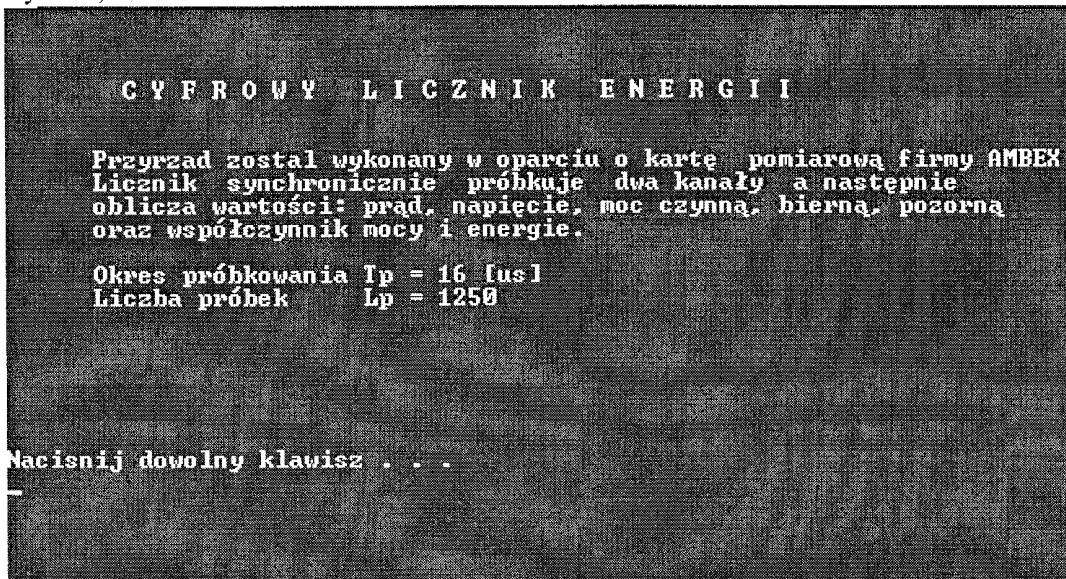
Stanowisko pomiarowe zostało oprogramowane w środowisku Borland Pascal. Zaimplementowane w pamięci komputera programy [9] (Dodatek) zawarte w katalogu LAB\_35 umożliwiają wykonywanie pomiarów przy: 10, 625 1250 i 2500 próbkach przypadających w jednym okresie napięcia sieci energetycznej to jest z częstotliwością próbkowania odpowiednio: 500Hz, 31250Hz, 62500Hz i 125000Hz.

### 3. ZADANIA POMIAROWE

#### 3.1 Czynności wstępne

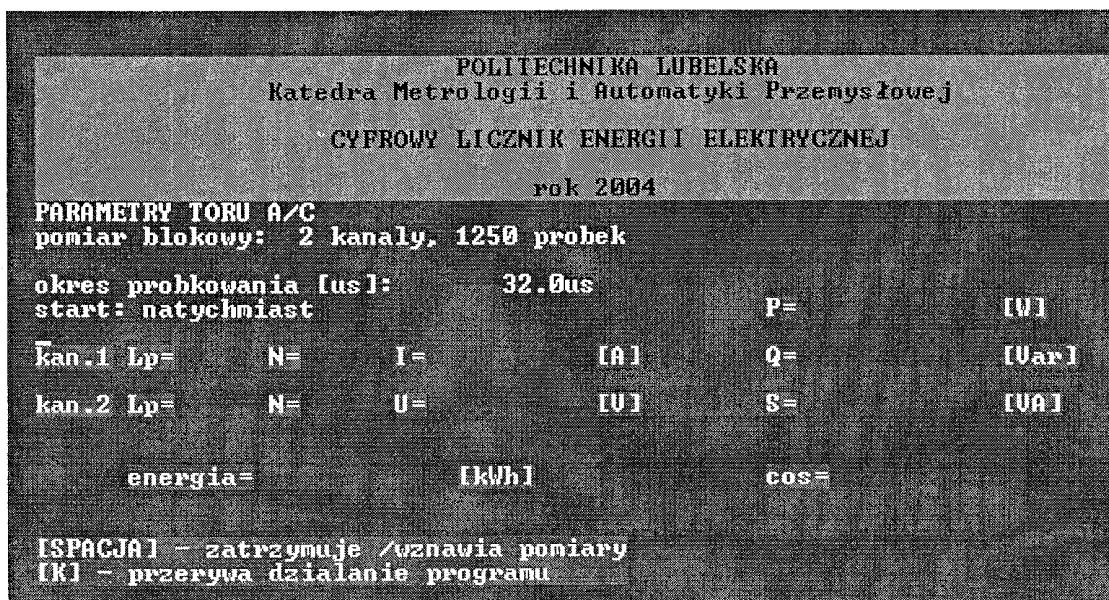
- a) Zapoznać się z układem pomiarowym połączonym zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 2.5:
  - zwrócić uwagę na sposób zasilania obwodu prądowego i napięciowego oraz sposób regulacji kąta fazowego  $\varphi$ ,
  - ustalić punkty załączania zasilania obwodu prądowego i napięciowego oraz położenie łącznika umożliwiającego załączenie zasilania przystawki kondycjonującej i łącznika służącego do załączania toru prądowego,
  - nastawić rezystor suwakowy w torze prądowym na maksymalną wartość rezystancji ograniczającą prąd w obwodzie prądowym,
  - dobrać właściwe zakresy mierników analogowych oraz nastawić ich wskazówki na zerowe działki podziałki.

- b) Włączyć komputer, poczekać na uruchomienie się systemu DOS. Uruchomić poleceniem NC program Norton Comander. Przejść do katalogu c:\LAB\_35, odszukać program 35\_1250.EXE i uruchomić go. Ekran informujący o zgłoszeniu się programu ma postać jak na rys.3.1,



Rys.3.1 Okno zgłoszenia się programu 35\_2500.exe

- c) Postępując zgodnie z poleceniami pojawiającymi się na ekranie komputera uzyskać postać okna pomiarowego przedstawioną na rys.3.2.



Rys.3.2 Okno wykonywania pomiarów

- d) Włączyć zasilanie częstotściomierza cyfrowego (PFL 20) skonfigurowanego do pomiarów okresu sygnału wyjściowego cyfrowego licznika energii elektrycznej; mierzony sygnał

dołączyć kablem BNC do wejścia B częstotliwościomierza ustawionego na pomiar 10 okresów przy częstotliwości wzorcowej 10 kHz i poziom AUTO.

- e) Sprawdzić działanie układu na stanowisku laboratoryjnym:
- włączyć zasilanie przystawki kondycjującej (lewy łącznik z tyłu obudowy) oraz zamknąć tor prądowy przystawki (prawy łącznik z tyłu obudowy),
  - załączyć zasilanie torów: napięciowego i prądowego: ustawić według wskazań woltomierza napięcie w torze napięciowym o wartości 220V; prąd w torze prądowym nastawić na wartość około 1A według wskazań amperomierza; wskazania mierników analogowych porównać z wynikami pomiaru napięcia i prądu prezentowanymi przez program.
- f) Wyskalować przesuwnik fazowy: skalowanie polega na wyznaczeniu położenia twornika przesuwnika odpowiadającym określonym kątom przesunięcia fazowego, przy których będą wykonywane pomiary oraz na określeniu charakteru obciążenia: kolejność postępowania jest następująca:
- obracając twornikiem przesuwnika fazowego wyznaczyć takie jego położenie, w którym wskazanie watomierza będzie maksymalne – odpowiada ono  $\cos \varphi = 1$  (kąt fazowy  $\varphi = 0^\circ$ ); sprawdzić i ewentualnie skorygować ustawienie tarczy przesuwnika fazowego na wartość  $\varphi = 0^\circ$ .
  - wyznaczyć kierunki obrotu twornika przesuwnika fazowego odpowiadające indukcyjnemu i pojemnościowemu charakterowi obciążenia; w tym celu należy przy niezmiennych wartościach napięcia i prądu obracać twornik przesuwnika do położenia, w którym wskazanie watomierza będzie zerowe – odpowiada ono  $\cos \varphi = 0$  (kąt fazowy  $\varphi = 90^\circ$ ),
  - zewrzeć zaciski prądowe watomierza krótkim przewodem o małej rezystancji i obserwować wskazówkę watomierza; odchylenie wskazówki w lewo świadczy o indukcyjnym charakterze obciążenia w prawo – o charakterze pojemnościowym,
  - powrócić do położenia początkowego odpowiadającego  $\cos \varphi = 1$ ; w tym położeniu odczytać i zanotować wynik pomiaru 10 okresów sygnału wyjściowego licznika energii elektrycznej; obliczyć wartość mocy czynnej  $P_L$  mierzony przez licznik według wzoru:

$$P_L = \frac{3600 \times 10^3}{C \times T_x} \quad (3.1)$$

gdzie:  $C = 1600 \text{ imp/kWh}$ ,

$T_x$  - czas trwania jednego okresu sygnału wyjściowego licznika;

porównać wynik pomiaru  $P_L$  z wynikami pomiaru mocy wskazywanej przez watomierz analogowy  $P_w$  i program  $P_p$

- g) po pozytywnym wyniku sprawdzenia działania układu na stanowisku pomiarowym zakończyć działanie programu (naciskając dowolny klawisz) i rozłączyć obwód prądowy przystawki (łącznik z prawej strony z tyłu obudowy); stanowisko jest gotowe do pomiarów.

### 3.4 Wyznaczanie błędu pomiaru w funkcji częstotliwości próbkowania $f_p$ przy $\cos \varphi = 1$

Pomiary wykonać dla dostępnych w programie częstotliwości próbkowania przy napięciu 220V (nastawionym na woltomierzu analogowym), przy uzgodnionej z prowadzącym ćwiczenia wartości prądu. Wyniki pomiarów notować w tabeli. Wartości  $P_L$  obliczać korzystając z wzoru (3.1).

**Uwaga: Każdorazowo po odczytaniu wyników dla każdej z częstotliwości próbkowania należy zakończyć działanie programu i ponownie go uruchamiać do pomiarów przy innej częstotliwości!!!**

Liczba próbek $n$	Częstotliwość próbkowania	$U_A$	$U_P$	$I_A$	$I_P$	$P_A$	$P_P$	$P_L$	$Q_P$	$S_P$
	Hz	V	V	A	A	W	W	W	Var	VA
10										
625										
1250										
2500										

Przyjmując za wzorcowe wskazania przyrządów analogowych  $X_A$  obliczyć względne błędy wyników otrzymanych z programu i przedstawić je na wykresach typu:

$$\gamma_{fp} = \frac{X_P - X_A}{X_A} 100\% = g(n)$$

Oceń celowość zwiększania częstotliwości próbkowania podczas pomiaru parametrów energetycznych przebiegów harmoniczných.

### 3.2 Wyznaczanie błędów pomiaru mocy w funkcji kąta fazowego odbiornika

- Pomiarы wykonywać przy znamionowym napięciu  $U = 220V$  i prądzie o wartości uzgodnionej z prowadzącym ćwiczenie dla dwóch częstotliwości próbkowania.
- Zaprojektować tabelę do notowania wyników pomiarów z wszystkich przyrządów analogowych istniejących w układzie pomiarowym, wyników dostarczanych przez program oraz wskazań licznika energii i częstotliciomierza.
- Kolejno, dla nastawionych na przesuwniku fazowym kątów fazowych:  $\varphi = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, \dots, 90^\circ$  (kąty fazowe określać na podstawie wskazań watomierza) oraz stałej wartości prądu, odczytać i notować w tabeli protokołu wskazania: przyrządów analogowych, wyniki dostarczane przez program oraz licznik energii i okresomierz cyfrowy.
- Zakończyć działanie programu a następnie powtórzyć pomiary dla wirtualnego odbiornika energii o przeciwnym charakterze.

Przyjmując za wzorcowe wskazania watomierza analogowego obliczać względne błędy pomiaru mocy czynnej dostarczanej przez program i przedstawić je na wykresie jako funkcję  $\gamma_{\cos\varphi} = g(\cos\varphi)$ .

### 3.3 Wyznaczanie błędów pomiaru w funkcji prądu odbiornika

Zaproponować i przedstawić w formie pisemnej (zawierającej sposób postępowania i odpowiednią tabelkę do notowania wyników) procedurę wyznaczania błędów pomiaru w funkcji natężenia prądu pobieranego przez wirtualny odbiornik. Przeprowadzić pomiary dla wartości prądu uzgodnionej z prowadzącym ćwiczenie.

#### 4. WYKONANIE SPRAWOZDANIA

W sprawozdaniu należy zamieścić:

- aktualny schemat połączeń układu pomiarowego,
- charakterystykę metrologiczną wykorzystanej aparatury pomiarowej,
- dokładny, aktualny schemat połączeń układu pomiarowego,
- charakterystykę metrologiczną użytej w ćwiczeniu aparatury uwzględniającą zakresy pomiarowe, znormalizowaną dokładność oraz impedancje obwodów napięciowych i prądowych,
- wzory niezbędne do przeprowadzenia obliczeń,
- krótki opis postępowania przy wykonywaniu poszczególnych pomiarów,
- tabele z cząstkowymi wynikami pomiarów oraz wynikami obliczeń uzupełnione przykładami ilustrującymi sposób dokonywania tych obliczeń,
- wyniki pomiarów wraz z oszacowaniem ich błędów lub niepewności z uwzględnieniem przyjętych zasad zaokrąglania,
- uzyskane w wyniku pomiarów wykresy i charakterystyki wraz ze zwięzłą ich interpretacją,
- uwagi i wnioski z przebiegu ćwiczenia, dotyczące wykonanych pomiarów, podsumować uzyskane wyniki.

**Uwaga: Za wartość odniesienia, względem, której należy wyliczać błędy należy przyjmować wskazania przyrządów analogowych.**

#### Literatura

- [1] Bolikowski J., Czarnecki L., Miłek M., Pomiary wartości skutecznej i mocy w obwodach o przebiegach niesinusoidalnych, PWN, Warszawa 1990 r.
- [2] Kulka Z., Libura A., Nadachowski M., Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, WKiŁ, Warszawa 1985 r.
- [3] Van de Plassche R. Scalone przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, (tłum. z j. angielskiego), WKiŁ, Warszawa 1997 r.
- [4] Gorłacz A. A., Minc M. Ja., Czinkow B., N., Cyfrowa obróbka sygnałów w izmierzitelnoy tiechnike, „Tiechnika”, Kijew 1985
- [5] Corney A. C., Pullman R. T. Digital sampling laboratory wattmeter, IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement N° 1 1986.
- [6] Majewski J., O doborze częstotliwości próbkowania w pomiarach mocy czynnej watomierzem próbkującym, XXVI MKM t 2, Zeszyty Naukowe WSI w Opolu, Opole 1994 r.
- [7] Tumański S., Technika Pomiarowa, WNT, Warszawa 2007 r.
- [8] Nawrocki W., Rozproszone systemy pomiarowe, WKiŁ, Warszawa 2006 r.
- [9] Reja G., Rusinek R., Wspomagane komputerowo pomiary mocy czynnej metodą próbkowania wartości chwilowych prądu i napięcia, Praca dyplomowa wykonana pod kierunkiem prof. J.R. Jasika, Politechnika Lubelska, Lublin 2001 r.
- [10] Instrukcja obsługi modułu kontrolno-pomiarowego LC -020 - 0812, AMBEX POLAND Spółka z o.o., Warszawa 1992 r.
- [11] Korcz K., Nowe serie przetworników pomiarowych LEM, Elektronizacja Nr 2, 1997 r.
- [12] Szczepaniak L. Elektroniczny licznik energii elektrycznej, Praca dyplomowa wykonana pod kierunkiem dra E. Pawłowskiego, Politechnika Lubelska, Lublin 2002 r.
- [13] Product-to-Frequency Converter AD7750, www.analog.com.

## Pytania i inne problemy

1. Podać wzory umożliwiające wyznaczenie, z kodowych reprezentacji wartości chwilowych prądu i napięcia, wielkości energetycznych (wartość średnia oraz skuteczna prądu i napięcia, moc czynna i energia) występujących w obwodach prądu sinusoidalnego.
2. Podać kryteria doboru częstotliwości próbkowania podczas pomiarów parametrów energetycznych w obwodach prądu sinusoidalnego.
3. Objasnić zasadę całkowania numerycznego metodą prostokątów.
4. Wyznaczyć wartość średnią wyprostowaną i wartość skuteczną przebiegu sinusoidalnego dysponując kodowymi reprezentacjami próbek wartości chwilowych pobranych co: a) 1/10 okresu, b) 1/12 okresu, c) 1/18 okresu.
5. Omówić zasadę działania i właściwości metrologiczne przetworników prądu z czujnikiem hallotronowym [11].
6. Podać wymagania stawiane kondycjonerom napięcia i prądu stosowanym w systemach pomiarowych wspomaganych komputerowo [8] oraz omówić możliwe ich rozwiązania techniczne [1, 7, 8].
7. Objasnić zasadę działania i podać podstawowe parametry charakteryzujące właściwości układów próbkująco-pamiętających [2, 3, 8]
8. Objasnić zasadę działania i podać definicje podstawowych parametrów (czas przetwarzania, rozdzielczość przetworników A/C z sukcesywną aproksymacją [2, 3, 7].
9. Podać zasadę działania przetwornika A/C typu „sigma-delta” [3, 7].
10. Jakimi parametrami charakteryzowane są karty pomiarowe z wielokanałowymi przetwornikami analogowo-cyfrowymi? [8].
11. Podać zasady obowiązujące przy stosowaniu pomiarowej karty rozszerzającej do komputera osobistego [7, 8, 10].

## Dodatek

W programie do gromadzenia określonej liczby próbek użyto bufora, którego wielkość może być dobierana zależnie od potrzeb. Ten bufor jest zmienną tablicową typu *type* dzięki czemu jest osiągalny z poziomu poszczególnych procedur programu:

```
buftype = array [1 .. 5000] of integer;
```

Zadeklarowanie zmiennych:

```
var
```

```
  s_init:          lc0_init;  
  s_total:        lc0_total;  
  s_module:       lc0_module;  
  s_info:         lc0_info;  
  s_break:        lc0_break;  
  s_analog_in:    lc0_analog_in;  
  s_analog_out:   lc0_analog_out;  
  s_leave:        lc0_leave;  
  s_interr:       lc0_interrupt;
```

```
  r: registers;      (* parametr dla funkcji intr      *)  
  LCinterrupt: integer; (* numer przerwania driver'a      *)  
  modulenum: integer; (* numer badanego modulu      *)  
  koniec: integer;   (* parametr ustawiany w funkcji *)  
                    (* dla funkcji my_break      *)
```

```
const
```

```
  BUFLen = 5000;      (* dlugosc bufora      *)
```



```
SAMPLES    = 1250;    (* liczba probek    *)
CHANNELS    = 2;      (* liczba kanalow  *).
```

Do prawidłowo obliczenia wartości prądu i napięcia można zastosować następujący zapis:

```
if liczba1[i]<>2048 then
kan1[i]:=(liczba1[i]-2048)*(20/4096);
```

```
if liczba2[i]<>2048 then
```

```
kan2[i]:=(liczba2[i]-2048)*(20/4096);
```

```
if liczba1[i]=2048 then
kan1[i]=0;
```

```
if liczba2[i]=2048 then
```

```
kan2[i]=0;
```

Pętla zbierania próbek i przechowywania ich w buforze wygląda następująco:

```
repeat
for i:=1 to samples do
begin
for c:=1 to 2 do
liczba1[i]:=(buf[(i-1)*c+1]);
liczba2[i]:=(buf[(i-1)*c+2]);
if liczba1[i]<>2048 then
kan1[i]:=(liczba1[i]-2048)*(20/4096);

if liczba2[i]<>2048 then
kan2[i]:=(liczba2[i]-2048)*(20/4096);
if liczba1[i]=2048 then
kan1[i]=0;
if liczba2[i]=2048 then
kan2[i]=0;
end;
until i>=samples;
```

Dysponując sygnałami już w woltach możemy w prosty sposób obliczyć wartości skuteczne sygnału. Zatem:

```
Usk:=0;
for a:=1 to samples do
Usk:=Usk+(kan2[a])*(kan2[a]);
```

W celu ingerencji w oprogramowanie należy skorzystać z instrukcji do karty[10].