

Ćwiczenie nr 3

Pomiar parametrów napięcia i prądu przemiennego

Cel ćwiczenia: zapoznanie z pomiarami wartości skutecznej, średniej, współczynników kształtu, szczytu, zniekształceń oraz mocy czynnej, biernej, pozornej i współczynnika $\cos\varphi$ w obwodach prądu przemiennego metodą wyznaczania parametrów na podstawie próbek przebiegów napięcia i prądu

1. Wstęp

Pomiary mocy mają istotne znaczenie we wszystkich procesach technicznych, a przede wszystkim w produkcji przemysłowej. Bez dokonywania pomiarów mocy nie można optymalnie zarządzać zasobami finansowymi zarówno zakładów przemysłowych jak i gospodarstw domowych. Najważniejszą rolę odgrywa zużycie energii, której koszty stanowią znaczący procent wydatków. Dlatego wymagany jest dokładny pomiar energii zwłaszcza w przypadku gdy mamy do czynienia z niewielkim współczynnikiem mocy $\cos\varphi$.

Rosnąca liczba odbiorców energii stawia nowe zadania w jej dystrybucji. W wielu przypadkach powoduje to, że klasyczne przyrządy analogowe nie są w stanie dokonywać żądanych pomiarów. Stosowanie wielu taryf, sprzedaż energii na zasadzie przedpłaty, pomiar energii w przypadku obciążeń o małym współczynnikiem mocy wymaga zmiany aparatury pomiarowej. W takich przypadkach okazuje się, że jedynym rozwiązaniem jest zastosowanie przyrządów próbkujących współpracujących z systemem mikroprocesorowym. Możliwości takiego systemu są bardzo rozbudowane a jego koszt, ze względu na coraz niższe ceny podzespołów elektronicznych na świecie, jest konkurencyjny do tradycyjnych rozwiązań. Dlatego też warto zapoznać się z zasadą działania takich przyrządów, ich zaletami i wadami oraz ograniczeniami w stosowaniu.

2. Podstawy teoretyczne

Moc czynną w obwodach prądu przemiennego określamy jako:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (1)$$

gdzie:

$p(t) = u(t) \cdot i(t)$ - moc chwilowa
 $u(t), i(t)$ - wartości chwilowe napięcia i prądu
 T - okres napięcia i prądu

Warto przypomnieć wyrażenie na wartość skuteczną napięcia:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (2)$$

oraz wartość skuteczną prądu:

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (3)$$

Zatem moc pozorna wyrazi się zależnością;

$$S = U_{sk} \cdot I_{sk} \quad (4)$$

moc bierna;

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (5)$$

współczynnik mocy;

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (6)$$

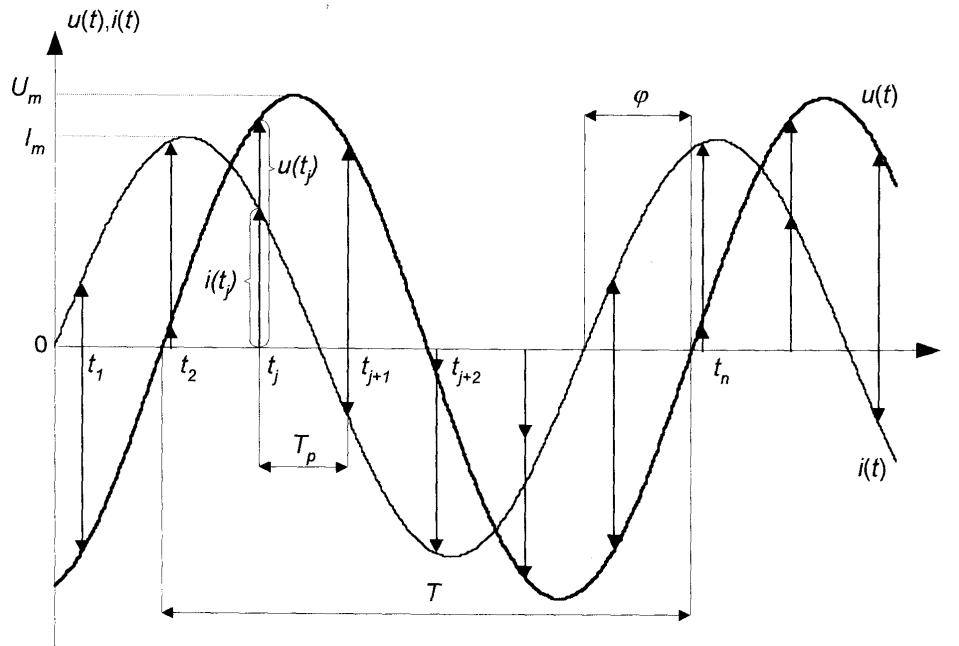
a energia:

$$A = P \cdot t \quad (7)$$

Wzory są słuszne kiedy operujemy na wartościach chwilowych sygnałów sinusoidalnych napięć i prądów.

Założmy, że w określonych chwilach czasowych dokonaliśmy zebrania próbek napięcia i prądu zgodnie z rysunkiem 1. Odstęp pomiędzy kolejnymi próbkami T_p jest stały i określony w następujący sposób:

$$T_p = t_{j+1} - t_j \quad (8)$$



Rys.1. Przebieg prądu i napięcia z naniesionymi chwilami próbkowania sygnałów

W takim przypadku wartości chwilowe napięcia i prądu będą reprezentowane przez kody cyfrowe odpowiednio dla napięcia:

$$u(t_j) \rightarrow N_u(t_j) \quad (9)$$

oraz prądu:

$$i(t_j) \rightarrow N_i(t_j) \quad (10)$$

Kiedy liczba próbek n jest duża to nasze zależności przyjmują następującą postać:

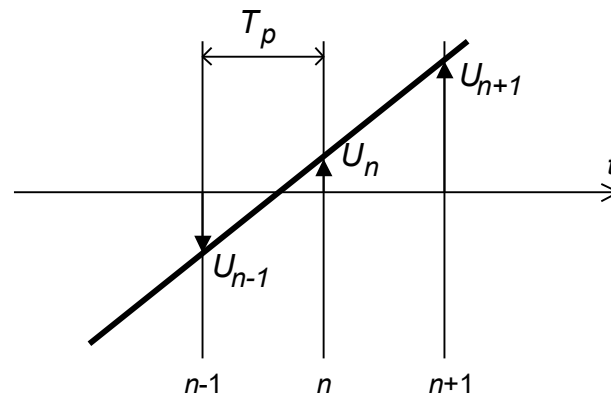
$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i^2(t_j)} \quad (11)$$

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_u^2(t_j)} \quad (12)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_u(t_i) \cdot N_i(t_j) \quad (13)$$

Pozostałe wielkości wyznaczamy ze wzorów jak dla wartości chwilowych.

Algorytmy wyznaczania wartości skutecznej w oparciu o zebrane próbki wymagają określenia liczby próbek n przypadającej na jeden okres sygnału. Aby ją wyznaczyć trzeba wyznaczyć chwile przejścia przez 0 sygnału z tą samą fazą. Powiększony przebieg w momencie przejścia przez 0 pokazany jest na rysunku 2.



Rys.2. Powiększony przebieg sygnału w momencie przejścia przez 0

Przejście przebiegu przez 0 z dodatnią pochodną spełnia następujące warunki:

$$U_n > 0 \text{ i } (U_n + U_{n-1}) \leq (U_n - U_{n-1}) \quad (14)$$

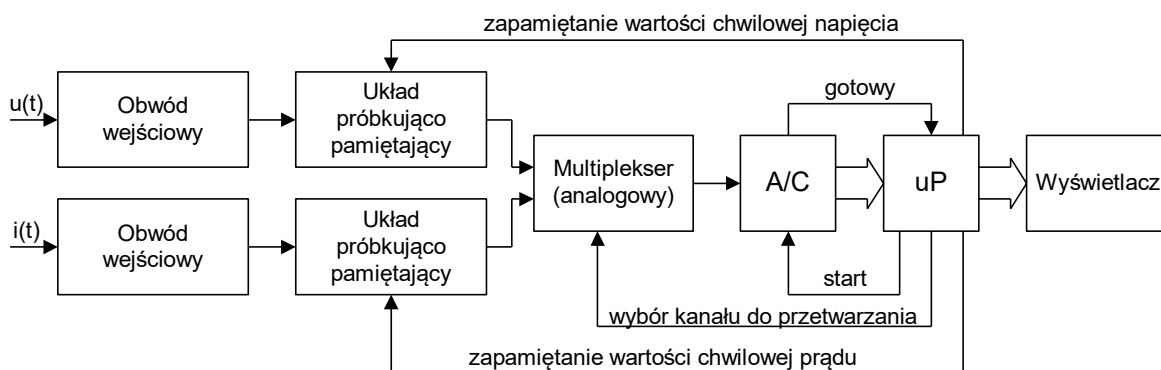
Znajdując dwa przejścia przez 0 z dodatnią pochodną następujące po sobie można wyznaczyć liczbę próbek przypadającą na okres przebiegu. Podobnie można wyznaczyć przesunięcie fazowe dwóch przebiegów porównując o ile przesunięte są względem siebie ich przejścia przez 0 z tą samą fazą.

3. Realizacja układowa

Przyrząd pomiarowy działający w oparciu o podaną metodę pomiaru powinien posiadać następujące elementy:

- obwody wejściowe dostosowujące poziom sygnałów do dalszych elementów toru przetwarzania sygnału
- układy próbkująco - pamiętające do zbierania próbek sygnału w określonych chwilach czasowych
- multiplexer analogowy i przetwornik analogowo - cyfrowy lub też kilka przetworników analogowo - cyfrowy i multiplexer cyfrowy do przetwarzania kolejnych wielkości analogowych w kod
- system procesorowy wyzwalający w odpowiednim momencie przetworniki próbkująco - pamiętające, sterujący przetwornikiem analogowo - cyfrowym oraz obliczający wynik i prezentujący go na wyświetlaczu

Przykładowa realizacja takiego układu jest przedstawiona na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat blokowy watomierza próbkującego

4. Błędy pomiarowe

W przypadku opisywanej metody mamy do czynienia ze źródłami błędów po stronie analogowej i cyfrowej. W części analogowej błędy mogą powstawać w układzie kondycjonowania sygnału oraz układach próbkująco - pamiętających, przy czym bardzo ważne jest tu jednoczesne zbieranie próbek. Duży wpływ na dokładność pomiaru ma rozdzielczość przetwornika analogowo - cyfrowego, jest to szczególnie istotne dla małych sygnałów mierzonych (wtedy nie jest wykorzystywana pełna rozdzielczość przetwornika). Oczywiście dokładność samego przetwornika a w przypadku osobnych przetworników dla sygnału reprezentującego napięcie i prąd też ma znaczenie. Mniejsze znaczenie mają błędy zaokrąglania wyniku obliczeń numerycznych mierzonych wartości. Jednym z ważniejszych zagadnień przy źródle błędów jest liczba próbek. Jeżeli jest zbyt mała wynik będzie miał niewiele wspólnego z rzeczywistością. Szczególnie ważne jest to w przypadku przebiegów odkształconych.

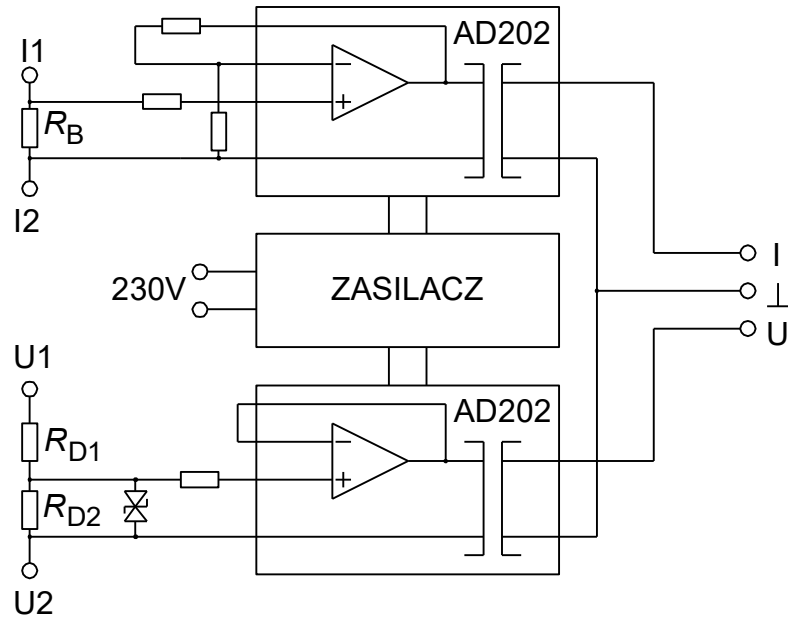
5. Opis stanowiska pomiarowego

Watomierz próbkujący zbudowany jest z przystawki kondycjonującej sygnały pomiarowe, karty pomiarowej oraz systemu komputerowego wraz z odpowiednim oprogramowaniem.

Zadaniem przystawki kondycjonującej sygnały do wejścia karty pomiarowej jest:

- dostosowanie parametrów i rodzaju sygnału do poziomów dopuszczalnych przez kartę pomiarową
- separacja galwaniczna obwodu, w który dokonywany jest pomiar od wejść karty pomiarowej i systemu komputerowego
- zabezpieczenie wejść karty pomiarowej przed przekroczeniem dopuszczalnych poziomów sygnału

Karta pomiarowa dysponuje wejściami napięciowymi, dlatego wszystkie mierzone sygnały muszą być przetworzone na sygnał napięciowy o odpowiednim poziomie. W torze prądowym napięcie z bocznika R_B proporcjonalne do przepływającej wartości prądu podawane jest na wejście wzmacniacza izolacyjnego o ustalonym wzmacnieniu $15V/V$. Na wyjściu otrzymywany jest sygnał napięciowy proporcjonalny do wartości prądu dostosowany poziomem do wejścia karty pomiarowej. W torze napięciowym sygnał z dzielnika napięcia R_{D1} , R_{D2} podawany jest na wejście drugiego wzmacniacza izolacyjnego pracującego jako wtórnik (czyli posiadającego wzmacnienie $1V/V$) dzięki czemu napięcie na wyjściu jest proporcjonalne do napięcia wejściowego i nie przekracza dopuszczalnego napięcia wejściowego karty pomiarowej.



Rys 4. Uproszczony schemat wewnętrzny przystawki kondycjonowanie sygnałów do wejść karty pomiarowej

W ćwiczeniu została użyta karta pomiarowa National Instruments USB-6008. Posiada ona 4 różnicowe wejścia analogowe z rozdzielczością 12 bitów (differential) lub 8 wejść analogowych przetwarzających z rozdzielczością 11 bitów pracujących jako pojedyncze (single ended). Użyte są przetworniki z sukcesywną aproksymacją o maksymalnej szybkości 10000 próbek/s. Oprócz przetworników A/C na karcie są dwa 12 bitowe przetworniki C/A a także 12 uniwersalnych wejść i wyjścia cyfrowe oraz 32 bitowy licznik. Charakterystyka niedokładności przetworników A/C została opisana przez producenta w sposób jaki podaje tabela 1.

Tabela 1. Niedokładność wejść analogowych modułu National Instruments USB-6008

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Oprogramowanie jest utworzone w środowisku LabView. Program realizuje kilka etapów.

Etap konfiguracji:

- zadeklarowanie zmiennych (w tym także liczby próbek)
- konfiguracja karty pomiarowej

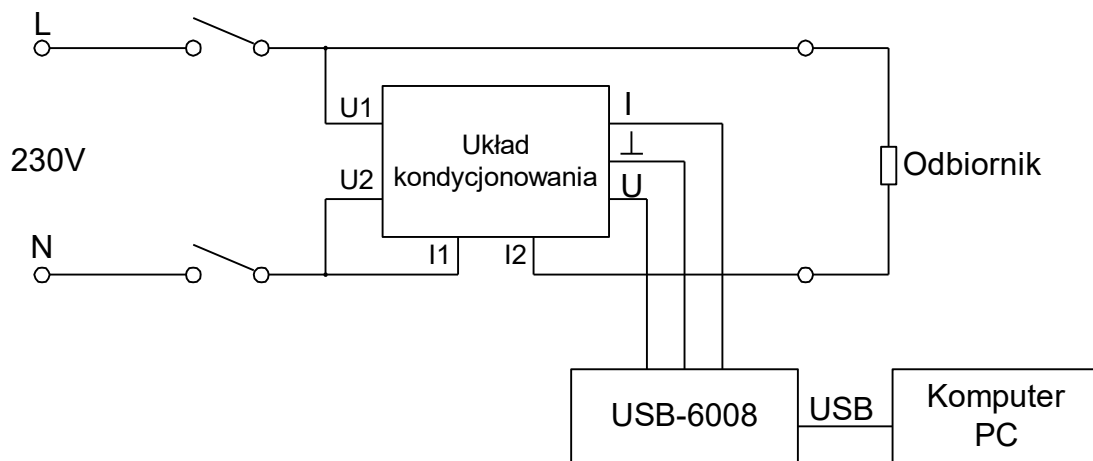
Etap pomiaru

- zebranie próbek do zadeklarowanego wcześniej bufora
- przeliczenie danych do wartości reprezentujących wartość prądu i napięcia
- wyliczenie pozostałych wielkości
- prezentacja wyników pomiaru na ekranie

Program pracuje w trybie on-line czyli zmierzone i obliczone wartości są od razu prezentowane na ekranie.

6. Szczegółowy program pomiarów

Schemat układu pomiarowego przedstawiony został na rysunku 5. W przypadku tworzenia oprogramowania wygodniej i bezpieczniej jest posługiwać się zamiast układem kondycjonowania, sygnałem z generatora dwóch napięć przesuniętych w fazie. Stanowisko pomiarowe może zostać zestawione w dwóch wersjach – z układem kondycjonowania lub z generatorem, co nie zmienia przebiegu ćwiczenia.



Rys. 5. Schemat stanowiska pomiarowego

Karta pomiarowa podłączona jest do portu USB komputera. Wykorzystywane są w niej dwa wejścia napięciowe w trybie pracy RSE (z odniesieniem do wspólnej masy). Amplituda sygnału z generatora lub układu kondycjonowania nie przekracza 5V. Do pierwszego wejścia karty doprowadzony jest sygnał reprezentujący sygnał napięciowy, do drugiego wejścia sygnał prądowy (do przeliczenia napięcia zdawanego z generatora na wartość natężenia prądu przyjmując rezystancję bocznika 1 om).

Wykonanie ćwiczenia

6.1. Rozpoznać konfigurację stanowiska pomiarowego. Ze względu na bezpieczeństwo obsługi karty pomiarowej należy pamiętać, że powinna ona zostać zasilona przed doprowadzeniem do niej sygnału pomiarowego.

6.2 Włączyć komputer, po załadowaniu systemu uruchomić środowisko LabVIEW. Utworzyć nowy plik (Blank VI). Zapisać plik pod swoją nazwą we wskazanym przez prowadzącego miejscu (domyślnie folder Student) nadając mu nazwę w postaci rok_grupa_nazwisko.vi (np. 2015_A_Kowalski.vi). Po każdej pozytywnej modyfikacji programu zaleca się go zapisywać.

6.3. Jeżeli ćwiczenie wykonywane jest z generatorem to należy go teraz uruchomić i nastawić parametry sygnału podane przez prowadzącego zajęcia. W przypadku rzeczywistego układu

kondycjonującego pozostaje on wyłączony aż do chwili, w której będzie wykorzystywany przy pomiarze.

6.4. Utworzyć algorytm obsługujący kartę pomiarową. W tym celu z palety Functions należy wybrać Express i następnie wejście (Input). Obsługi karty dokonujemy za pomocą bloku DAQ Assistant. Po uruchomieniu DAQ Assistant należy wybrać wejście sygnału napięciowego zgodnie z numerem wejścia opisanym na obudowie karty pomiarowej. Po wybraniu wejścia właściwej karty pomiarowej (USB6008) należy skonfigurować jego parametry. Wybrać zakres napięć od -5 do 5 V, tryb pracy RSE oraz skonfigurować parametry próbkowania. Częstotliwość próbkowania ustawić na 5 kSPS, liczbę zbieranych próbek na 400. Dokonać sprawdzenia działania używając opcji RUN. Sprawdzić czy uzyskany sygnał jest zgodny z sygnałem doprowadzonym z generatora lub z układu rzeczywistego (na czas pomiaru włączyć zasilanie układu rzeczywistego). Dodać kolejny kanał (Add Chanel). Sprawdzić czy nastawy są prawidłowe i przeprowadzić test działania. Jeżeli wszystko przebiega prawidłowo należy zakończyć działanie kreatora DAQ Assistant poprzez naciśnięcie OK.

6.5. Na wyjściu DATA utworzonego i skonfigurowanego w poprzednim punkcie bloku DAQ Assistant utworzyć wskaźnik graficzny (Graph Indicator). Sprawdzić działanie programu.

6.6. Z wyjścia DATA uzyskujemy sygnał pomiarowy z obu kanałów w formacie DDT (Dynamic Data Type). W celu uzyskania potrzebnego do obliczeń sygnału w postaci macierzy wartości chwilowych należy użyć palety Signal Manipulation (z Functions, potem Express) i bloku From DDT. Sygnał wyjściowy ma wektorem wartości z jednego kanału (pamiętać o wybraniu właściwego kanału odpowiednio dla próbek napięcia i prądu). Dodać elementy umożliwiające uwzględnienie stałych przetwarzania układu kondycjonowania zadawanych bezpośrednio z panelu aplikacji. Utworzyć wskaźniki obu macierzy. Opisać ich nazwę odpowiednio jako $Nu(t_i)$ oraz $Ni(t_i)$.

6.7. Z danych zapisanych w tablicach zawierających wartości chwilowe (próbki) napięcia i prądu wyznaczyć wartości skuteczne napięcia i prądu oraz wartość średnią mocy (moc czynną P). Jako liczbę próbek n we wzorach przyjąć początkowo liczbę wszystkich zebranych próbek, a następnie liczbę próbek przypadającą na jeden okres przy założeniu częstotliwości sieci 50Hz (pamiętając, że częstotliwość próbkowania wynosi 5 kSPS).

6.8. Rozbudować algorytm o wyznaczenie mocy pozornej S , mocy biernej Q oraz współczynnika mocy $\cos\varphi$ na podstawie wartości mocy czynnej P i pozornej S .

6.9. Utworzyć algorytm wyznaczenia rzeczywistej liczby próbek przebiegu w oparciu o określenie miejsc przejścia przez 0 z dodatnią pochodną przebiegu. Zmodernizować algorytm z punktu 6.7 aby do obliczeń wykorzystywał tylko próbki przypadającą na jeden okres sygnału.

6.10. Na podstawie obliczonej liczby próbek przypadających na jeden okres sygnału wyliczyć częstotliwość. Poprawić dokładność obliczania częstotliwości poprzez uwzględnienie fragmentów przebiegu na początku i na końcu przedziału, które stanowią część okresu próbkowania.

6.11. Rozbudować program o wyznaczenie przesunięcia fazowego w oparciu o przesunięcie punktów przejścia przez 0 przebiegu napięcia i prądu.

7. Literatura

Wisniewski A. "Algorytmy pomiarów cyfrowych w automatyce elektroenergetycznej" WNT Warszawa 1990