

IX Krajowa Konferencja
POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ
9-th National Conference
CORROSION MEASUREMENTS IN ELECTROCHEMICAL PROTECTION
7-9. 06. 2006 Zakopane, Poland



**ODZIAŁYWANIE PRĄDÓW I NAPIĘĆ PRZEMIENNYCH
NA OBWODY POMIAROWE PRĄDU STAŁEGO**

**THE INFLUENCE OF AN ALTERNATE CURRENTS AND VOLTAGES
ON DIRECT CURRENT MEASURING CIRCUITS**

Juliusz Leszek Radoliński

POLDE Sp. z. o.o. 43-246 Strumień, ul. Kolejowa 21
juliusz.radolinski@polde.pl

Słowa kluczowe: wartość skuteczna, prawdziwa wartość skuteczna, wartość średnia, transformata Fourier'a, analizator harmonicznych, uniwersalne wejście pomiarowe
Key words: RMS value, True RMS value, mean value, Fourier Transform, harmonics analyzer, universal measuring input

Streszczenie

W referacie przedstawiono metody pomiaru napięć i prądów ze szczególnym uwzględnieniem wpływu składowych zmiennych na zachowanie się układów pomiarowych prądu stałego. Układami pomiarowymi prądu stałego, w rozumieniu niniejszego referatu, są samodzielne układy pomiarowe a także układy będące podzespołami złożonych układów pomiarowych.

Summary

The paper deal with methods of measuring currents and voltages with special attention paid on the influence of an alternate currents and voltages on behaviour of direct current measuring circuits. Direct current measuring circuits are, in the meaning of this paper, separate measuring instruments and measuring circuits as parts of complex measuring equipment.

Pomiar wartości skutecznej

Klasyczna metoda określania *wartości skutecznej* zakłada, że mierzony sygnał nie zawiera składowej stałej i jest sinusoidą o dowolnej częstotliwości. Najczęściej układem wejściowym takiego przyrządu jest separator składowej stałej i detektor szczytowy jedno- lub dwupołówkowy - układ pomiarowy zaś jest miernikiem prądu stałego, który koryguje wskazanie wg wzoru (1). Współczynnik 0,707 wynika z wzoru (2) i jak wspomniano wyżej - obowiązuje tylko dla przebiegów sinusoidalnych. Stosowanie tego typu przyrządów do pomiaru sygnałów odkształconych prowadzi często do dużych, trudnych do oszacowania błędów. Dodatkową trudność stanowi niemożność określenia stopnia odkształcenia sygnału i jego wpływu na wynik pomiaru.

$$V_{RMS} = \frac{0,707}{2} [MAX(u(t)) - MIN(u(t))] \quad (1)$$

Dla $u(t) = \cos(t)$:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2(t) dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \quad (2)$$

Pomiar prawdziwej wartości skutecznej

Wraz z rozwojem techniki pomiarowej i zastosowaniem mikroprocesorów w przyrządach pomiarowych, pojawiła się możliwość bezpośredniego pomiaru wartości skutecznej sygnałów odkształconych i zawierających składową stałą. Wprowadzono pojęcie „True RMS” (True Root Mean Square) czyli *prawdziwej wartości skutecznej*, które wyróżnia metodę opisaną ogólnym wzorem (3). Wyrażenie (4) jest nieciągłym odpowiednikiem podstawowego wzoru (3) i ma coraz powszechniejsze zastosowanie we współczesnych mikroprocesorowych urządzeniach pomiarowych. We wcześniejszych rozwiązaniach stosowano przetworniki termiczne bezpośrednio realizujące definicję (wzór (3)) wartości skutecznej, obecnie powszechne jest próbkowanie sygnału, przetwarzanie do wartości cyfrowej i obróbka matematyczna – wzór (4). W układach tych istotna jest duża dynamika obwodów wejściowych, co nie zawsze można pogodzić z odpornością na zakłócenia i przepięcia. W obecności składowej zmiennej o niestabilnej częstotliwości pojawiają się dodatkowe błędy wynikające z niesynchronicznego próbkowania – efekt falowania.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (3)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_k^2} \quad (4)$$

Pomiar wartości średniej

Metoda stosowana jest najczęściej do pomiaru wolnozmiennych, nieokresowych sygnałów. Cechą charakterystyczną jest to, że wynik stanowi uśrednioną wartość całości lub części przebiegu. Zwykle stosowana jest średnia arytmetyczna lub jej szczególna forma- średnia krocząca.

$$\bar{V} = \sum_{k=1}^n \frac{u_k}{n} \quad (5)$$

Uśrednianie umożliwia wyeliminowanie przypadkowych zakłóceń i składowych okresowych nakładających się na mierzony sygnał. Proces uśredniania wprowadza element inercyjny do wyniku pomiaru stąd aktualne wskazanie nie zawsze odpowiada rzeczywistej wartości mierzonego sygnału. Składowe okresowe mierzonego sygnału o relatywnie dużej wartości w stosunku do wartości średniej powodują, mimo stosowania filtrów wejściowych, niestabilne wskazania.

Pomiar wartości chwilowej

Pomiary rzadko stosowane samodzielnie gdyż obciążone są dużymi błędami w obecności zakłóceń i szumów. Z kolei metoda ta znana jako „sample-and-hold” (pobranie próbki – zapamiętanie) jest powszechnie stosowana w elektronicznych przyrządach pomiarowych wyposażonych w przetworniki analogowo-cyfrowe. W celu eliminowania zakłóceń często stosuje się w takich układach filtry środkowe nie wprowadzające elementu inercyjnego.

Pomiary złożone z zastosowaniem transformaty Fourier’a

Jest to aktualnie najnowocześniejsza metoda pomiarowa zawierająca w sobie wszystkie dobre cechy metod wymienionych powyżej – i, co najważniejsze - zastępując jednocześnie każdą z nich.

Wyrażenie (5) jest szczególną, nieciągłą postacią *transformaty Fourier’a*. W literaturze forma ta określana jest zwykle skrótem FFT (Fast Fourier Transform) lub DFT (Discrete Fourier Transform). Począwszy od lat 60-tych ubiegłego wieku wyrażenie było wielokrotnie modyfikowane w celu ograniczenia ilości niezbędnych operacji matematycznych i zastosowania w działających w czasie rzeczywistym cyfrowych analizatorach harmonicznym. Istotnym ograniczeniem przytoczonego algorytmu jest to, że wynik końcowy zależy od przyjętej częstotliwości próbkowania badanego sygnału – czyli, inaczej mówiąc, badacz stosując to równanie powinien znać jego rozwiązanie, co najmniej w części dotyczącej odpowiedzi, jakich harmonicznym należy się spodziewać.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n W_N^{nk} \quad (6)$$

gdzie: $0 \leq k \leq N-1$; $W_N = e^{-j2\pi/N}$; n – numer harmonicznym, k – numer próbki sygnału, X_k - ciąg harmonicznym (X_0, X_1, \dots, X_{N-1}), x_n - skończony ciąg próbek sygnału (x_0, x_1, \dots, x_{N-1}).

Porównanie wyników różnych metod pomiarowych

W układzie zastosowanym do przeprowadzenia pomiarów występują dwa źródła sygnałów połączone szeregowo: pierwsze – $u(t)$ generuje sygnał sinusoidalny o okresie T , drugie – $u(2t)$ o okresie $T/2$ symuluje działanie prostownika dwupołkowego. Amplitudy obu sygnałów mogą być regulowane a obciążeniem jest rezystancja. Układ ten jest uproszczonym odpowiednikiem stacji ochrony katodowej zasilającej napięciem $u(2t)$ gazociąg – obciążenie rezystancyjne. Sygnał $u(t)$ odpowiada obcemu napięciu indukowanemu w gazociągu. Rys. 1. przedstawia przebiegi czasowe obu sygnałów oraz przebieg $s(t)$ powstały w wyniku ich nałożenia się – czyli zsumowania. W tabelicy 1. umieszczono wyniki pomiarów (obliczeń) uzyskanych wymienionymi wyżej metodami.

Kolumna druga tabeli opisuje stan gdy występują oba napięcia. W trzeciej kolumnie umieszczono wyniki pomiarów dla $u(2t) = 0$ – czyli z wyłączonym prostownikiem, a w czwartej dla $u(t) = 0$ – a więc bez wyidukowanego napięcia. Jak widać z wyników uzyskanych pierwszymi trzema metodami, żadna z nich nie daje w pełnego obrazu. Niektóre wyniki są ponadto fałszywe - stąd fachowiec wykonujący pomiary musi umieć wybrać do

każdej sytuacji właściwą metodę, a z uzyskanych wyników wybrać tylko te prawdziwe. Zadanie niełatwe gdy uświadomi sobie, że większość wyników to wartości złożone. Tablica pierwsza ponadto, opisuje sytuację możliwą jedynie teoretycznie, gdyż w praktyce prawie nigdy nie można wyłączyć napięcia zakłócającego $u(t)$. Mimo wszystko, jest to i tak sytuacja komfortowa – z uzyskanych wyników można wyciągnąć właściwe wnioski. Mierzony obiekt jest jednak, jak wspomniano wyżej, jedynie dość prostą próbą przybliżenia rzeczywistych warunków.

W tablicy drugiej umieszczone zostały wyniki pomiarów przeprowadzonych na rzeczywistym obiekcie tj. stacji ochrony katodowej w Warszawie – Rembelszczyźnie. Jak należało się spodziewać czwarta kolumna jest niedostępna, gdyż nie udało się wyłączyć elektrowni na czas pomiarów. Wyniki zawarte w drugiej kolumnie uzyskane trzema pierwszymi metodami nie dają, poza wartością średnią, żadnej istotnej informacji. Kolumna trzecia wprowadza jeszcze dodatkowy zamęt - zawarte w niej wyniki w żaden sposób nie przystają do tych w drugiej kolumnie. Na rys. 2. przedstawiono przybliżone przebiegi napięć odtworzone z uzyskanych wyników pomiarów.

Zasadnicze różnice pomiędzy drugą i trzecią kolumną wynikają z efektu częściowego zwierania składowej zmiennej przez prostownik. Fizyczne odłączenie obwodu prostownika powoduje zatem wzrost indukowanej składowej $u(t)$.

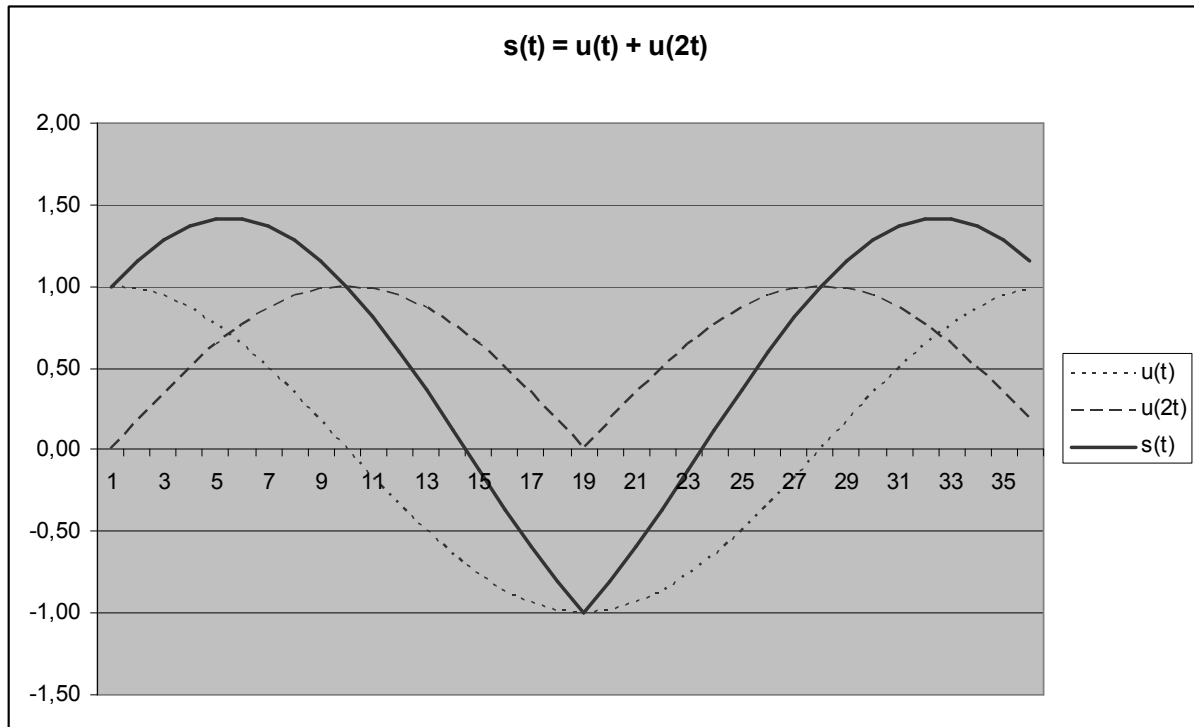
Pomiar wartości średniej w obecności składowej zmiennej

W obwodach elektrycznych stosowanych w ochronie katodowej pomiar wartości średniej ma szczególne znaczenie. To właśnie średnia wartość potencjału gazociągu w stosunku do elektrody odniesienia jest miarą jakości i skuteczności ochrony katodowej. Obecność składowych zmiennych w tych obwodach może w znacznym stopniu zakłócić pomiar i doprowadzić do uzyskania nieprawidłowych wyników. Szczególnie groźne są sytuacje, w których amplituda składowej zmiennej znacznie przekracza ustawiony zakres pomiarowy. Stan taki może doprowadzić do przesterowania obwodów wejściowych i w konsekwencji do zafałszowania wyników. Mechanizm tego zjawiska wynika częściowo z niesymetrycznych progów nasycenia wzmacniaczy pomiarowych i częściowo z ich nieliniowości w obszarach bliskich nasycenia. W wyniku, składowa zmienna w obwodzie jest desymetryzowana i pojawia się dodatkowa składowa stała zaburzająca rzeczywistą wartość średnią sygnału. Innym problemem zakłócającym pomiar jest zjawisko falowania wartości średniej wynikające ze zdudnienia wielokrotności częstotliwości próbkowania i częstotliwości składowej zmiennej. Zjawisko to jest szczególnie dokuczliwe gdy różnice częstotliwości są niewielkie. W efekcie obserwujemy pływające wskazanie przyrządu. Rozwiązaniem problemu jest wydłużenie czasu próbkowania co niestety spowalnia odświeżanie wyników lub synchronizacja obu częstotliwości, co z kolei nie zawsze jest możliwe.

Podsumowanie

Jako odniesienie, w obu tablicach pokazane zostały wyniki uzyskane metodą rozkładu sygnału na składowe harmoniczne. Pomiary wykonano rejestratorem AVR200 – SMOK produkowanym przez firmę POLDE w Strumieniu. Rejestrator ten posiada cztery niezależne i odizolowane kanały pomiarowe. Każdy z kanałów pomiarowych stanowi *uniwersalne wejście pomiarowe* zdolne do jednoczesnego pomiaru składowej stałej i składowych zmiennych w rozbiciu na poszczególne harmoniczne. Ponadto zastosowany algorytm umożliwia pomiar prawdziwej wartości skutecznej, wartości średniej, wartości skutecznych poszczególnych składowych a także skutecznej wartości składowych zmiennych łącznie. Z przedstawionych wyników pomiarów wynika, że jest to najefektywniejsza metoda umożliwiająca szybką i kompleksową analizę układu a także niweluje problemy interpretacyjne związane ze stosowaniem innych metod.

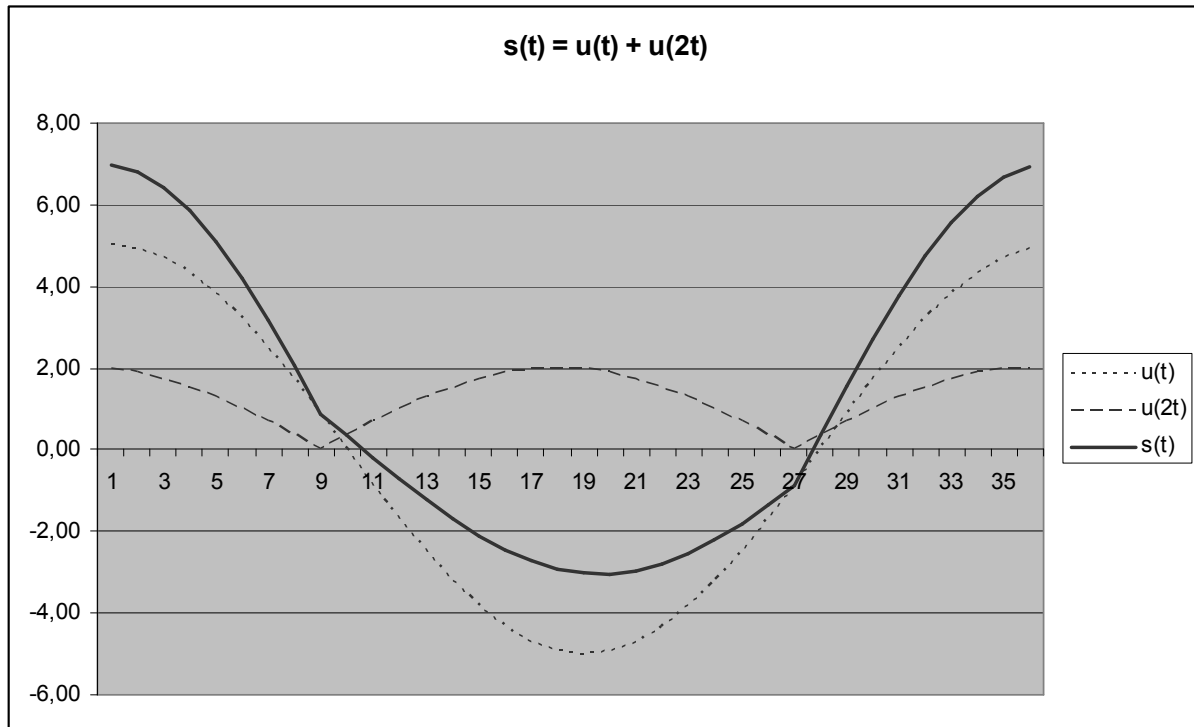
Rys. 1. Przebiegi sygnałów w obwodzie uproszczonym



Tablica 1. Zestawienie wyników pomiarów w obwodzie uproszczonym

Metoda pomiaru	$U(T) = 1$ $U(2T) = 1$	$U(T) = 1$ $U(2T) = 0$	$U(T) = 0$ $U(2T) = 1$	Uwagi
Wartość średnia	0,64V	0,00V	0,64V	wg wzoru (5)
Wartość skuteczna - metoda klasyczna	0,85V	0,707V	0,35V	wg wzoru (2)
Wartość skuteczna - metoda pomiaru prawdziwej wartości skutecznej	1,00V	0,707V	0,707V	wg wzorów (3) i (4)
Wartości skuteczne - metoda analizy składowych harmonicznnych	$U(0) = 0,64V$ $U(T) = 0,707V$ $U(2T) = 0,38V$	$U(0) = 0,00V$ $U(T) = 0,707V$ $U(2T) = 0,00V$	$U(0) = 0,64V$ $U(T) = 0,00V$ $U(2T) = 0,38V$	wg wzoru (5) Pominięto wyższe harmoniczne

Rys. 2. SOK Rembelszczyzna – przebiegi sygnałów



Tablica 2. SOK Rembelszczyzna - zestawienie wyników pomiarów

Metoda pomiaru	$U(T) = 1$ $U(2T) = 1$	$U(T) = 1$ $U(2T) = 0$	$U(T) = 0$ $U(2T) = 1$	Uwagi
Wartość średnia	1,27V	0,00V	Brak pomiaru	wg wzoru (5)
Wartość skuteczna - metoda klasyczną	3,54V	<u>5,10V (!)</u>	Brak pomiaru	wg wzoru (2)
Wartość skuteczna - metoda pomiaru prawdziwej wartości skutecznej	3,80V	<u>5,10V (!)</u>	Brak pomiaru	wg wzorów (3) i (4)
Wartości skuteczne - metoda analizy składowych harmonicznich	$U(0) = 1,27V$ $U(T) = 3,54V$ $U(2T) = 1,41V$	$U(0) = 0,00V$ <u>$U(T) = 5,10V(!)$</u> $U(2T) = 0,00V$	Brak pomiaru	wg wzoru (6) Pominięto wyższe harmoniczne