

Grzegorz SADKOWSKI
Główny Urząd Miar
Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu

WZORCOWANIE MOSTKÓW DO POMIARU BŁĘDÓW PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH I NAPIĘCIOWYCH ZA POMOCĄ SYSTEMU PRÓBKUJĄCEGO

W artykule opisano zbudowany w Głównym Urzędzie Miar system pomiarowy do wzorcowania mostków do pomiaru błędów przekładników prądowych i napięciowych, wielkości wzorcowane oraz sposób ich odniesienia do wzorców państwowych jednostek miar utrzymywanych w GUM.

Słowa kluczowe: mostki pomiarowe, DFT, przekładniki.

THE SAMPLING SYSTEM FOR CALIBRATION OF THE BRIDGES FOR CALIBRATION INSTRUMENTS TRANSFORMERS

This paper describes the measurement system built in the Central Office of Measures for the calibration of bridges for measuring errors of current and voltage transformers, calibrated quantities and their traceability to the national standards maintained in the Central Office of Measures.

Keywords: measuring bridges, DFT, instruments transformers.

1. Wstęp

Przekładniki prądowe i napięciowe są wzorcowane metodą mostkową z zastosowaniem mostków służących do pomiaru błędów przekładników. Mostki te również podlegają wzorcowaniu. Dotychczas do wzorcowania ww. mostków w Głównym Urzędzie Miar (GUM) stosowano kompensator prądu przemiennego równoważony ręcznie (KLW).

Wzorcowanie mostków za pomocą KLW wymaga równoważenia ręcznego każdego punktu pomiarowego oraz wykonania pracochłonnych obliczeń wartości wielkości wzorcowanych – błąd przekładni oraz błąd kątowy. Sam kompensator KLW również wymaga wzorcowania, które wykonuje się za pomocą mostka do pomiaru błędów przekładników wywzorcowanego w zagranicznej instytucji metrologicznej (NMI). Zastosowanie systemu próbkującego, którego każdy element może być wzorcowany w GUM, a wyniki tego wzorcowania są odniesione do państwowych wzorców jednostek miar napięcia stałego, rezystancji oraz częstotliwości utrzymywanych w GUM, pozwoli na zwiększenie dokładności pomiarów, uproszczenie procesu pomiaru oraz wyeliminuje potrzebę wykonywania wzorcowań w zagranicznych NMI.

2. Wielkości wzorcowane

Mostki do pomiaru błędów przekładników mają dwie pary zacisków wejściowych. Para oznaczona jako X służy do podłączenia przekładnika badanego, a para oznaczona jako N do podłączenia przekładnika wzorcowego [1].

Wynik pomiaru odczytywany na mostku to tzw. błąd przekładni i błąd kątowy. Błąd przekładni jest to stosunek różnicy napięć lub prądów na zaciskach X i N do napięcia lub prądu na zaciskach N. Błąd przekładni napięciowej i prądowej, wyrażony w procentach, jest wyznaczany odpowiednio ze wzorów

1 i 2 [1]. Błąd kątowy jest to przesunięcie fazowe pomiędzy napięciami U_X i U_N oznaczony φ_U lub prądami I_X i I_N oznaczony φ_I . Jest wyrażany w minutach kątowych [1].

$$F_U = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

$$F_I = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

F_U – błąd przekładni napięciowej,

F_I – błąd przekładni prądowej,

U_X – napięcie skuteczne na zaciskach X mostka,

U_N – napięcie skuteczne na zaciskach N mostka,

I_X – prąd skuteczny na zaciskach X mostka,

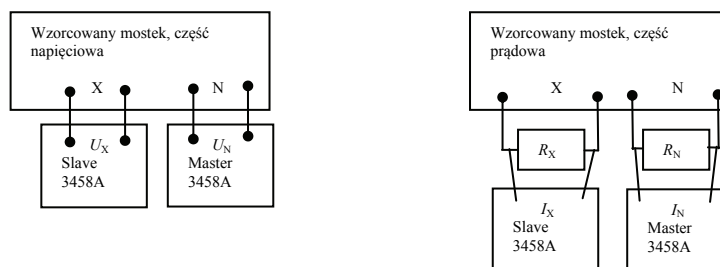
I_N – prąd skuteczny na zaciskach N mostka.

3. Opis systemu próbkującego

System składa się dwóch multimetrów firmy Keysight Technologies, typ 3458A, połączonych w trybie „master-slave”, w którym multimetr oznaczony jako „master” podaje sygnał wyzwalający pomiar na multimetr oznaczony jako „slave”. Multimetry pracują w trybie próbkowania DCV, tryb ten umożliwia bardzo dokładne próbkowanie w paśmie od DC do 150 kHz [2].

Podczas wzorcowania części napięciowej mostka do badania przekładników wejścia multimetrów są włączone równolegle do zacisków wejściowych mostka, podczas wzorcowania części prądowej natomiast w szereg do zacisków badanego mostka włącza się boczniki prądowe R_X i R_N , do których dołącza się multimetry próbkujące. Sposób podłączenia jest przedstawiony schematycznie na rysunku 1. Wzorcowanie polega na zadaniu żądanych punktów pomiarowych, a następnie porównaniu odczytów z mostka wzorcowanego i systemu próbkującego.

Do sterowania pracą systemu pomiarowego oraz do akwizycji danych i obliczenia wyników pomiarów służy program sterujący utworzony w środowisku programowania LabView. Program oblicza wartości błędów przekładni i błędu kąтового z zarejestrowanych synchronicznie próbek napięcia.



Rys. 1. Schemat podłączenia systemu próbkującego do wzorcowanego mostka

4. Algorytm obliczania błędu przekładni oraz błędu kąтового

Do wyznaczenia błędu przekładni i błędu kąтового zastosowano dyskretną transformatę Fouriera [3, 4]. Dla napięcia lub prądu spróbkowanego na zaciskach X oraz N wyznaczono składowe

kosinusoidalne i sinusoidalne korzystając ze wzorów 3÷10 dla częstotliwości podstawowej ($k=1$) wynoszącej 50 Hz. Ze składowych następnie obliczono błąd przekładni i błąd kątowy [4, 5].

Wzory na składowe kosinusoidalne i sinusoidalne napięcia na zaciskach X.

$$X_{CU} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_X(n) \cos\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (3)$$

$$X_{SU} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_X(n) \sin\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (4)$$

Wzory na składowe kosinusoidalne i sinusoidalne napięcia na zaciskach N.

$$N_{CU} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_N(n) \cos\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (5)$$

$$N_{SU} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_N(n) \sin\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (6)$$

Wzory na składowe kosinusoidalne i sinusoidalne prądu płynącego przez zaciski X.

$$X_{CI} = \frac{2}{NR_X} \sum_{n=0}^{N-1} u_X(n) \cos\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (7)$$

$$X_{SI} = \frac{2}{NR_X} \sum_{n=0}^{N-1} u_X(n) \sin\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (8)$$

Wzory na składowe kosinusoidalne i sinusoidalne prądu płynącego przez zaciski N.

$$N_{CI} = \frac{2}{NR_X} \sum_{n=0}^{N-1} u_N(n) \cos\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (9)$$

$$N_{SI} = \frac{2}{NR_N} \sum_{n=0}^{N-1} u_N(n) \sin\left(n \frac{2\pi}{N}\right) \quad (10)$$

Stosunek napięć U_X / U_N wyznacza się z następującego wzoru:

$$\frac{U_X}{U_N} = \sqrt{\frac{X_{CU}^2 + X_{SU}^2}{N_{CU}^2 + N_{SU}^2}} \quad (11)$$

Podstawiając do wzoru 1 otrzymujemy wzór na błąd przekładni napięciowej F_U .

$$F_U = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\% = \left(\frac{U_X}{U_N} - 1 \right) \times 100\% = \left(\sqrt{\frac{X_{CU}^2 + X_{SU}^2}{N_{CU}^2 + N_{SU}^2}} - 1 \right) \times 100\% \quad (12)$$

Analogicznie wyznacza się wzór dla błędu przekładni prądowej F_I .

$$F_I = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\% = \left(\frac{I_X}{I_N} - 1 \right) \times 100\% = \left(\sqrt{\frac{X_{CI}^2 + X_{SI}^2}{N_{CI}^2 + N_{SI}^2}} - 1 \right) \times 100\% \quad (13)$$

Błąd kątowy φ_U dla napięć oraz błąd kątowy φ_I dla prądów wyznacza się odpowiednio ze wzoru 14 i 15,

$$\varphi_U = \arctan\left(\frac{X_{SU}N_{CU} + X_{CU}N_{SU}}{X_{CU}N_{CU} + X_{SU}N_{SU}} \right) \quad (14) \quad \varphi_I = \arctan\left(\frac{X_{SI}N_{CI} + X_{CI}N_{SI}}{X_{CI}N_{CI} + X_{SI}N_{SI}} \right) \quad (15)$$

gdzie:

N - liczba próbek sygnału przypadająca na jeden okres,

n - n -ta próbka sygnału.

u_N - n -ta wartość próbki napięcia na zaciskach N mostka lub napięcia na boczniku prądowym R_N ,

u_X - n -ta wartość próbki napięcia na zaciskach X mostka lub napięcia na boczniku prądowym R_X .

W Tabeli 1 porównano wyniki pomiarów błędów przekładni i błędu kąowego uzyskane za pomocą systemu próbkującego oraz kompensatora KLW.

Tabela 1

Wyniki pomiarów dla systemu próbkującego i kompensatora KLW przy napięciu 70 V i częstotliwości 50 Hz

System	System	KLW	KLW	System-KLW	System-KLW
$F_U, \%$	φ_U, min	$F_U, \%$	φ_U, min	$\%$	min
0,0052	0,492	0,0049	0,516	0,0003	-0,024
0,0101	0,992	0,0098	1,011	0,0003	-0,019
0,0500	4,998	0,0498	5,068	0,0002	-0,070
0,0999	10,005	0,1000	10,083	-0,0001	-0,078
0,4980	20,035	0,5007	20,416	-0,0027	-0,381
-0,0046	-0,508	-0,0049	-0,4833	0,0004	-0,025
-0,0095	-1,008	-0,0099	-0,9860	0,0004	-0,022
-0,0494	-5,013	-0,0502	-4,9132	0,0007	-0,100
-0,0995	-10,021	-0,1006	-9,8745	0,0012	-0,146
-0,5023	-20,050	-0,5016	-19,5463	-0,0007	-0,504

5. Zakończenie

Opisany system pomiarowy można zbudować w oparciu o inne elementy takie jak karty akwizycji danych pomiarowych oraz przekładniki. Zaprezentowany algorytm obliczeniowy można łatwo zaimplementować na innych platformach sprzętowych.

Spójność pomiarową dla systemu próbkującego zapewnia się stosując wzorce jednostek miar napięcia stałego i częstotliwości oraz rezystancji do wzorcowania odpowiednio multimetrów oraz boczników.

Wyniki pomiarów dla błędu przekładni i błędu kąowego mieszczą się w granicach błędów dopuszczalnych kompensatora KLV wynoszących 0,002% i 1 min. Oznacza to, że metoda z systemem próbkującym może być z powodzeniem stosowana przy wzorcowaniu mostków do pomiaru błędów przekładników.

LITERATURA

1. Instrukcja obsługi mostka typ 2761
2. Agilent Technologies 3458A Multimeter User's Guide
3. Augustyn J.: Pomiary impedancji metodami algorytmicznymi, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 52, 4 (2006), s. 14-16.
4. Piotrowicz J.: Pomiar impedancji z wykorzystaniem algorytmu adaptacyjnego. *Transactions on computer applications in electrical engineering: XIV Conference ZKwE '09, Poznan, April 20-22, 2009.*