

DODATEK DO MIESIĘCZNIKA „INPE” SEP



**INPE**

**PODRĘCZNIK  
DLA ELEKTRYKÓW**

ZESZYTY MONOTEMATYCZNE

ODZNACZONY m.in. ZŁOTĄ ODZNAKĄ HONOROWĄ SEP

Zeszyt 50

**Ryszard Roskosz**

**Nowe rozwiązania  
pomiaru impedancji pętli zwarciowej  
przy odkształceniu krzywej napięcia  
w miejscu badania**

Listopad 2014

# PODRECZNIK DLA ELEKTRYKÓW

praca zbiorowa pod redakcją Jana Strojnego

Zeszyt 50

## Nowe rozwiązania pomiaru impedancji pętli zwarciowej przy odkształceniu krzywej napięcia w miejscu badania

**Autor:** dr hab. inż. Ryszard Roskosz, prof. PG

**Recenzenci:** dr hab. inż. Zdzisław Nawrocki, prof. PW,  
prof. dr hab. inż. Jerzy Sawicki

Tekst dostarczono we wrześniu 2014 r.

---

### Od Wydawcy

*Zeszyt poświęcony jest problematyce pomiaru impedancji pętli zwarciowej w sieciach niskiego napięcia, a w szczególności w tych miejscach badania, gdzie krzywa napięcia może być odkształcona. Zmierzona wartość pętli zwarciowej jest potrzebna do wyznaczenia spodziewanych prądów zwarciowych, które są podstawą do wymiarowania zabezpieczeń nadmiarowoprądowych, określenia wskaźników jakości dostarczanej energii elektrycznej, jak również dla oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.*

*W pracy przeanalizowano wpływ występujących w sieci czynników wpływających na błędy pomiaru, co umożliwiło ocenić, które znane metody i mierniki impedancji pętli zwarciowej mogą być stosowane w rzeczywistych układach elektroenergetycznych o wyraźnym odkształceniu krzywej napięcia. Przedstawiono nową metodę i przyrząd do pomiaru impedancji pętli zwarciowej oraz jej składowych ortogonalnych – rezystancji i reaktancji, która pozwala na eliminację błędu z tytułu odkształcenia krzywej napięcia. W metodzie tej stosowane jest rezystancyjne obciążenie pomiarowe, korzystne ze względu na wymiary i masę przyrządu.*

*W załączniku do pracy zaproponowano metodę i miernik impedancji pętli, eliminujący wpływ na wynik pomiaru wszystkich wyższych harmonicznych występujących w krzywej napięcia sieci. Artykuł był publikowany w Nr 180, wrzesień 2014 r. Miesięcznika SEP INPE.*

*Zeszyt jest przystępny także dla inżynierów – praktyków; bardzo potrzebny, zwłaszcza osobom zajmującym się pomiarami elektrycznymi związanymi z oceną skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.*

---

© Copyright by: COSiW SEP – Zakład Wydawniczy „INPE” w Belchatowie

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany, ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

**Miesięcznik INPE (Informacje o Normach i Przepisach Elektrycznych)**

**ISSN 1234-0081**

**Zeszyty Podręcznika INPE dla Elektryków** (bezpłatny dodatek dla całorocznych prenumeratorów INPE)

**Wydawca i Redakcja:**

SEP – COSiW Zakład Wydawniczy INPE

ul. Czaplinska 96 wejście B, 97-400 Belchatów, tel. 44 633 33 55

e-mail: redinpe@neostrada.pl, www.redinpe.com

**NIP: 526-000-09-79**

**Redaktor naczelny:**

Tadeusz Malinowski, tel. 785 028 557

**Z-ca Redaktora naczelnego:**

Jan Strojny, tel. 695 899 729

**Biurowisko księgowość:**

Małgorzata Filipiak, tel. 783 976 966

Skład komputerowy: KON Tekst Kraków, www.kon-tekst.pl

Druk: Leyko Kraków

**Rok wyd. XX**

Nakład: do 5500 egz.

## SPIS TREŚCI

1.	Wstęp	7
2.	Klasyczne metody pomiaru impedancji pętli zwarciowej w sieciach niskiego napięcia	10
2.1.	Wprowadzenie	10
2.2.	Zasada klasycznych metod pomiaru	11
3.	Czynniki wpływające na dokładność pomiaru przy sinusoidalnej krzywej napięcia	15
3.1.	Kąt fazowy impedancji badanej	15
3.2.	Odchylenia i wahania napięcia sieci	16
3.3.	Obciążenia robocze sieci	17
3.4.	Stany przejściowe wywołane działaniem miernika	18
3.5.	Wpływ wartości prądu pomiarowego	20
4.	Zagadnienia wpływu odkształcenia krzywej napięcia sieci na dokładność pomiaru	21
4.1.	Model układu badanego	22
4.2.	Dane do analizy błędów pomiaru	23
4.2.1.	Napięcie w miejscu pomiaru	23
4.2.2.	Impedancja pętli zwarciowej	24
4.2.3.	Impedancja obciążenia pomiarowego	26
4.3.	Różne rozwiązania metody	26
4.3.1.	Pomiary oparte na wartościach skutecznych napięcia	26
4.3.2.	Pomiary oparte na wartościach maksymalnych napięcia	27
4.4.	Badania i dyskusja otrzymanych wyników	27
4.4.1.	Pomiary przy sinusoidalnej krzywej napięcia	28
4.4.2.	Błędy pomiaru przy różnych krzywych napięcia odkształconego	28
4.4.3.	Wpływ odkształceń na błędy pomiaru dla różnych typów mierników	37
4.4.4.	Porównanie błędów pomiaru	39
4.4.5.	Wpływ jednej składowej harmonicznej lub zespołu dwóch harmonicznych na błąd pomiaru	39
4.4.6.	Wybór liczby stopni nastawiania argumentu pomiarowego	43
4.4.7.	Wykresy błędów pomiaru	45
4.5.	Wnioski	52

5.	Nowa metoda pomiaru impedancji pętli zwarciowej z eliminacją wpływu harmonicznych w krzywej napięcia sieci	54
5.1.	Zasada nowej metody	54
5.2.	Podstawy teoretyczne nowej metody eliminującej wpływ odkształceń napięcia	58
5.2.1.	Eliminacja składowej stałej oraz harmonicznych parzystych	59
5.2.2.	Eliminacja trzeciej harmonicznej	60
5.2.3.	Eliminacja piątej harmonicznej	61
5.2.4.	Eliminacja siódmej harmonicznej	62
5.2.5.	Określenie momentów pomiaru składowych ortogonalnych harmonicznej podstawowej	63
5.2.6.	Zestawienie momentów próbkowania napięcia	65
6.	Rozwiązanie układu nowego miernika impedancji pętli zwarciowej	66
6.1.	Praktyczna realizacja modelu nowego miernika	66
6.2.	Zasada pomiaru	67
6.3.	Badanie błędu pomiaru nowego miernika impedancji pętli zwarciowej	69
6.4.	Wnioski	76
7.	Podsumowanie	79
	Literatura	81
	Załącznik	91

# Nowe rozwiązania pomiaru impedancji pętli zwarciowej przy odkształceniu krzywej napięcia w miejscu badania

## STRESZCZENIE

Praca jest poświęcona pomiarom impedancji pętli zwarciowej szczególnie w tych układach niskiego napięcia, gdzie krzywa napięcia w miejscu badania może być odkształcona. Przeprowadzono analizę wpływu odkształcenia na błędy pomiaru, co umożliwiło ocenę, które znane metody i przyrządy mogą być stosowane do wyznaczania impedancji pętli przy wyraźnym odkształceniu krzywej napięcia. Przedstawiono nowe opatentowane rozwiązania pomiaru impedancji pętli zwarciowej, w których eliminowany jest wpływ wyższych harmonicznych na wynik pomiaru.

We wstępie rozprawy omówiono rolę i znaczenie pomiarów impedancji pętli zwarciowej a następnie nakreślono cel rozprawy. W pierwszych rozdziałach przedstawiono problematykę pomiarów impedancji w sieciach o napięciu sinusoidalnym. Na podstawie literatury i wcześniejszych opracowań autora przedyskutowano wpływ na błędy pomiaru takich czynników jak różnica argumentów impedancji pętli i obciążenia pomiarowego, odchylenia i wahanía wartości napięcia sieci, występowanie obciążeń roboczych, a także stanów przejściowych w badanym obwodzie od działania miernika.

Przedmiotem rozdziału 4. jest analiza wpływu wyższych harmonicznych zawartych w napięciu badanym na błędy pomiaru impedancji pętli przy stosowaniu klasycznych metod opartych na pomiarze skutecznych wartości oraz dla metod wykorzystujących amplitudy mierzonych napięć. Badania i obliczenia błędów pomiaru przeprowadzone zostały dla wybranych typów odkształceń krzywej napięcia oraz dla różnych parametrów obwodu badanego.

W rozdziale 5. przedstawiono podstawy teoretyczne nowej zasady pomiaru impedancji pętli zwarciowej opartej na próbkowaniu napięcia. Wyprowadzone zostały zależności dla wyznaczenia impedancji, rezystancji i reaktancji pętli z eliminacją wpływu na wynik pomiaru wszystkich składowych harmonicznych parzystych oraz składowych nieparzystych o numerach 3, 5, 7 i 9.

Rozdział 6. poświęcony jest praktycznej realizacji nowej metody. Przedstawiono tu mikroprocesorowy miernik impedancji pętli zwarciowej, w którym wyeliminowany jest wpływ 3, 5 i 7 harmonicznych na błąd pomiaru. Podano wyniki badań błędu pomiaru nowego miernika.

Niniejsze opracowanie zawiera obszernie fragmenty pracy habilitacyjnej Autora opublikowanej w Zeszytach Naukowych Politechniki Gdańskiej Nr 527 w 1995 roku. Zestawienie prac naukowo-badawczych od roku 1995 autora i jego współpracowników na temat pomiaru impedancji pętli zwarciowej zamieszczono na końcu spisu literatury tego opracowania.

# **New solution for measurement of power system loop impedance in the presence of distorted voltage waveforms at testing point**

## **ABSTRACT**

This study is devoted to the problems of power system loop impedance measurement in low voltage systems with special reference to cases where the voltage waveform at the testing point is distorted. An analysis of the effect of waveform distortion on measurement errors allows for the assessment of known loop impedance measuring methods and instruments in networks with distinct voltage waveform distortion. New patented solutions for loop impedance measurement, which eliminate the effect of higher harmonics on the measurement result are proposed.

The significance of loop impedance measurements is presented in the introduction, followed by an outline of the aim and scope of the dissertation. Problems of loop impedance measurement in networks with sinusoidal voltage waveforms are discussed in the leading chapters. The effect on measurement errors of factors like: difference in phase angle between loop impedance and measurement load impedance, network voltage fluctuations, presence of working loads, and the existence of transients in the tested circuit due to operation of the measuring instrument, are discussed with reference to the author's previous works and other literature. An analysis of the effect of tested voltage harmonics on measurement errors is conducted in Chapter 4, with special emphasis on present-day loop impedance measurement methods and instruments. Test and calculations of measurement errors were done for given types of distorted waveforms and for different parameters of the tested circuit.

The theoretical principles governing the new loop impedance measurement method, based on particular sampling, are presented in Chapter 5. Relations are derived for determining the values of loop impedance, resistance and reactance in which the influence of higher harmonics are eliminated. Chapter 6 deals with the practical realization of the new method. A system loop impedance measuring instrument with built-in microprocessor is presented. Examples of test measurement error results obtained using the new instrument are also presented.

The present study contains extensive fragments of author Doctor of Science dissertation published in the „Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej” No. 527 in 1995. Assemble the research work since 1995 of the author and his co-workers on the measurement of loop impedance is posted on the end of references list of this elaboration..