

# Evaluation of Applicability of Classic Methods of a Fault Loop Impedance Measurement to Circuits with Residual Current Devices

## Authors

Stanisław Czapp  
Kornel Borowski

## Keywords

residual current devices, fault loop impedance, measurements

## Abstract

Measurement of fault loop impedance in low voltage grids and systems is in most cases performed to verify the effectiveness of protection against electric shock by automatic disconnection of supply. For the sake of measurement accuracy, it is advisable to perform it using large current. Unfortunately, in circuits with residual current devices which are very widely used nowadays, a large measurement current may trigger those devices unnecessarily. The study presents results of an investigation of residual current devices behaviour during measurements of fault loop impedance performed with selected measuring devices. The tests have been performed on circuits with residual current devices with a rated residual operating current  $I_{\Delta n} = 30$  mA, of AC and A type. Based on the performed tests and analyses, a method for measurement of fault loop impedance which does not unnecessarily trigger residual current devices has been proposed.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016305

## 1. Introduction

Measurement of fault loop impedance is performed within the framework of initial and periodical verification of low voltage electrical systems [1]. It serves for assessing the effectiveness of protection against electric shock through automatic disconnection of supply.

The measuring method most frequently applied is the artificial fault method (Fig. 1) [2–8].

Voltage differences before and after connection of measuring load  $Z_0$  are measured, and the value of the fault loop's impedance  $Z$  is calculated according to the following dependency:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_0 \frac{U_1 - U_2}{U_2} = \underline{Z}_0 \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (1)$$

where:

$\underline{Z}$  – measured impedance,  $\underline{Z}_0$  – impedance of measuring load,  $U_1$  – voltage before connection of measuring load,  $U_2$  – voltage after connection of measuring load.

Measurement of fault loop impedance is also conducted in circuits protected by residual current devices. High-sensitivity ( $I_{\Delta n} \leq 30$  mA) residual current devices are most often installed, as

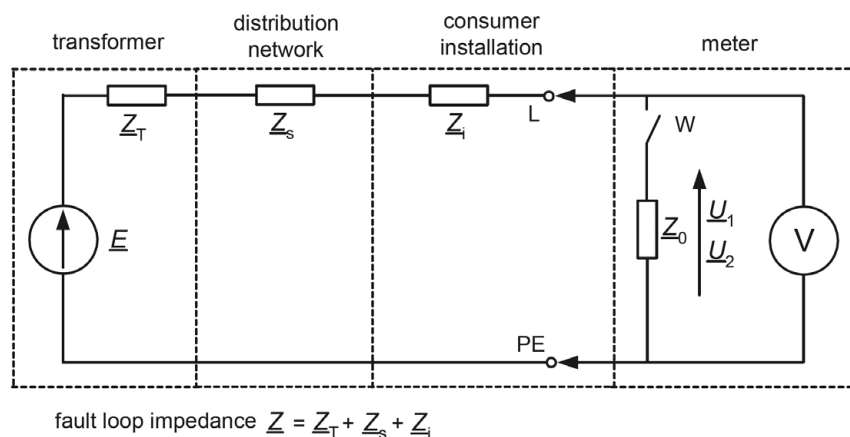


Fig. 1. Equivalent circuit diagram of fault loop impedance measurement according to the artificial fault method

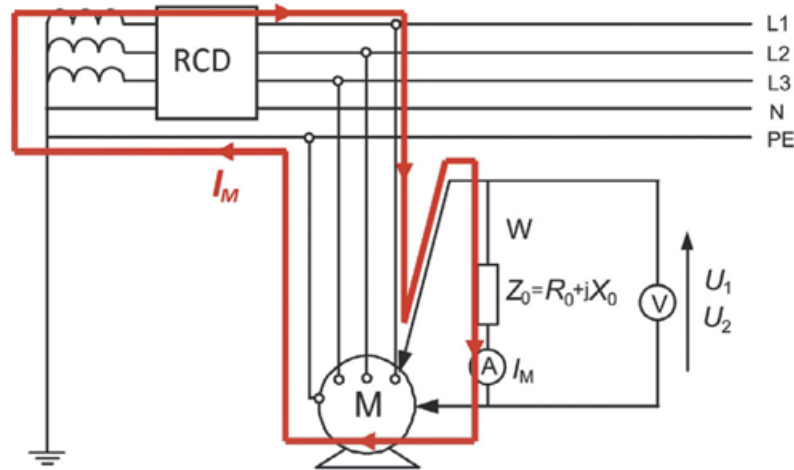


Fig. 2. Diagram of fault loop impedance measurement in circuit with residual current device; RCD – residual current device,  $I_M$  – measuring current

required by standards [9, 10]. The application of a classical fault loop impedance meter in circuits protected with residual current devices often causes their nuisance tripping during measurement, since measuring current is a residual current to the device (Fig. 2).

To achieve high accuracy of measurement, the impedance of measuring load  $Z_0$  is to be selected so that a relatively high measuring current flows in the circuit, ensuring a significant difference between measured voltages  $U_1 - U_2$ . An advantage of measurement at high current is the capability of detecting uncertain connections in a system as well as reduction of the effect of the difference between the argument of measured impedance and impedance of measuring load ( $\varphi - \varphi_0$ ) on accuracy of measurement. Figure 3 presents a chart of measurement error for different measuring current values (in reference to measuring load impedance). Error values were lowest for currents of the greatest values (impedance  $Z_0 = 1 \Omega$ ).

However, a high value of measuring current may cause nuisance tripping of protections in the tested circuit, particularly residual current devices. For this reason, it is important to develop methods of measurement that will not cause nuisance tripping

of residual current devices despite the application of measuring current of a relatively high value.

## 2. Testing of meters – characteristic of measuring current

A series of tests was conducted in order to assess the suitability of fault loop impedance meters for circuits with residual current devices. Test results for three meters are presented in this paper: Kyoritsu 4120A, Kyoritsu KEW 4140 and Sonel MPI-520 multifunctional meter of electrical system parameters. Waveforms of measuring voltages and currents were registered by means of a digital oscilloscope, which made it possible to compare and evaluate the properties of these meters. According to the manufacturer's declaration, all of the aforementioned meters have an additional function allowing for measurement of fault loop impedance without tripping residual current devices. In the case of the Kyoritsu company, this function is called "ATT" (Anti-Trip Technology) or "Auto RCD Lock" [11, 12], and in the case of the Sonel company, it is called "RCD mode" [13]. Measuring currents were registered without an active ATT/RCD function (Fig. 4) and with an active ATT/RCD function (Fig. 5).

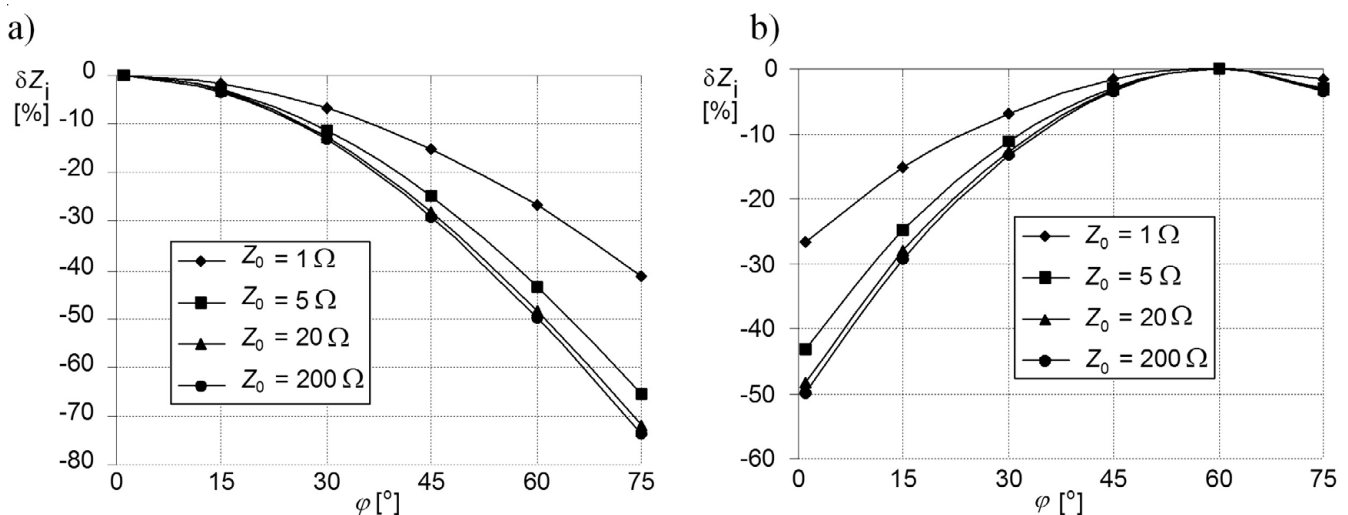


Fig. 3. Measurement errors  $\delta Z_i = f(\varphi)$  for selected values of measuring load impedance  $Z_0$ ; sinusoidal supply voltage:  $Z = 1 \Omega$ , a)  $\varphi_0 = 0^\circ$ , b)  $\varphi_0 = 60^\circ$

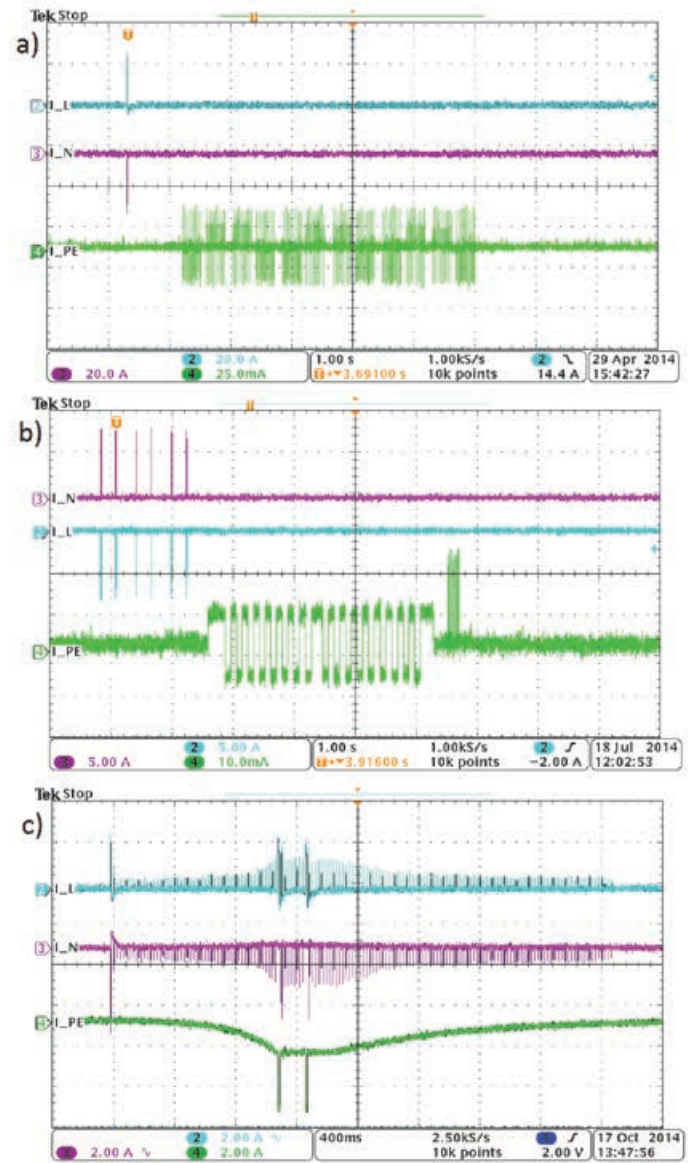
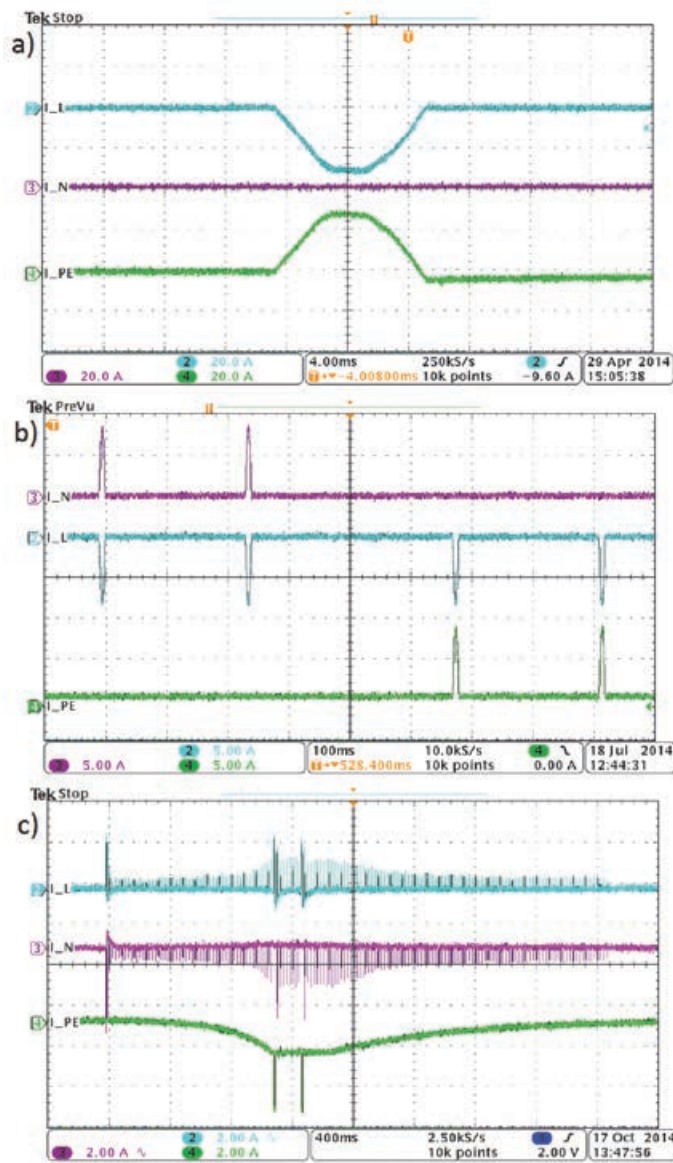


Fig. 4. Current waveforms in L, N and PE conductors during measurement without active ATT/RCD function, a) Sonel MPI-520 (scale 20 A/unit), b) Kyoritsu KEW 4140 (scale 5 A/unit), c) Kyoritsu 4120A1 (scale 2 A/unit)

Fig. 5. Current waveforms in L, N and PE conductors during measurement with active ATT/RCD function, a) Sonel MPI-520 (scale:  $I_L, I_N$  – 20 A/unit,  $I_{PE}$  – 25 mA/unit), b) Kyoritsu KEW 4140 (scale  $I_L, I_N$  – 5 A/unit,  $I_{PE}$  – 10 mA/unit), c) Kyoritsu 4120A (scale 2 A/unit)

Sonel MPI-520 and Kyoritsu KEW 4140 meters without an active ATT/RCD function are characterised by a typical, half-wave measuring current (Fig. 4a and Fig. 4b), occurring in the majority of fault loop impedance meters.

The waveform of measuring current in the case of an active ATT/RCD function is different for every meter. In the case of the Sonel MPI-520 meter, measurement with full-wave current was applied (Fig. 6), but with an rms value amounting to just a dozen or so milliamperes. Thanks to this, nuisance tripping of residual current devices, with  $I_{\Delta n} = 30$  mA, does not take place, but due to such a low value of measuring current, accuracy of measurement is insufficient in many cases.

A similar measuring method was applied in the Kyoritsu KEW 4140 meter. Here also, measurement was performed with current

with an rms value of a dozen or so milliamperes. The measurement itself was preceded by flow of alternating current with a rectangular characteristic. An enlargement of current waveform in PE conductor from Fig. 5b has been presented in Fig. 7. In the case of Sonel MPI-520 and Kyoritsu KEW 4140 meters, current waveforms with an active ATT/RCD function differ significantly from measurements without such a function. The situation is different for the Kyoritsu 4120A meter – the ATT/RCD function activated automatically in every measurement (see waveforms in Fig. 4c and Fig. 5c). In the case of this meter, half-wave measuring current was applied after prior saturation of the core of the current transformer of the residual current device with direct current having negligible ripple. This method is similar to the one presented in patent description [14].

<sup>1</sup> In the case of the Kyoritsu 4120 meter, ATT/RCD function is activated automatically.



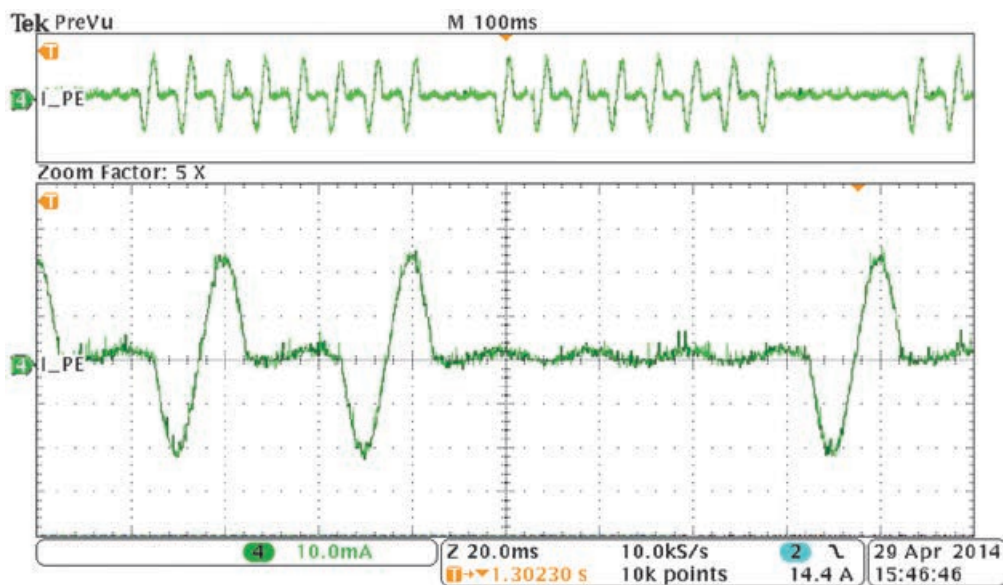


Fig. 6. Current waveform in PE conductor during measurement with Sonel MPI-520 meter with active ATT/RCD function – (enlargement of oscillogram from Fig. 5a); scale 10 mA/unit

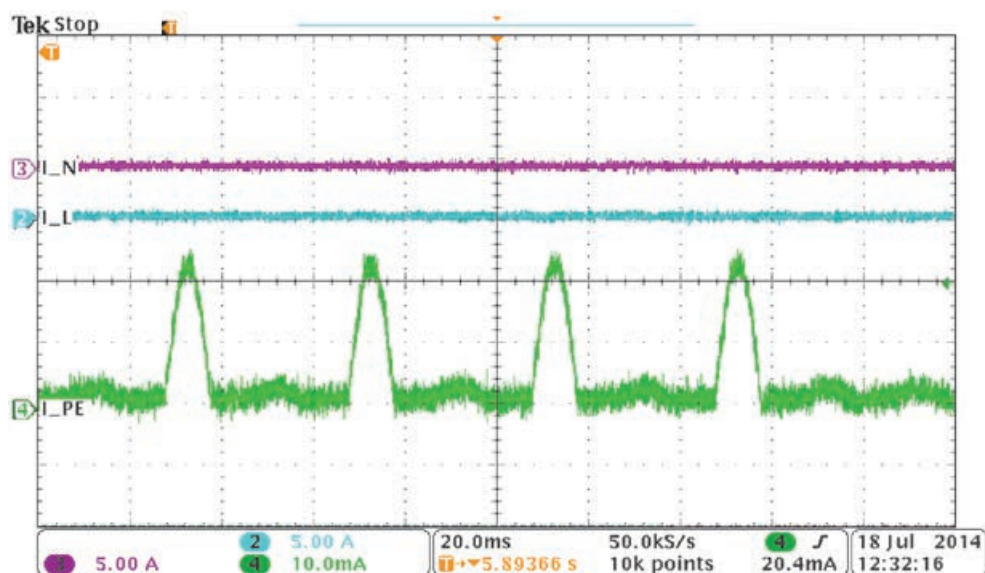


Fig. 7. Current waveform in PE conductor during measurement with Kyoritsu KEW 4140 meter with active ATT/RCD function (enlargement of part of oscillogram from Fig. 5b); scale 10 mA/unit

### 3. Testing of the reaction of residual current devices to measuring current

Measurements of fault loop impedance were conducted at a laboratory stand with residual current devices using the meters discussed above. Measurements without active ATT/RCD function were conducted first. Every meter was connected to one of fourteen residual current devices with  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$  (type AC or A). One of the residual current devices had short time-delay G (residual current holding time equal to 10 ms), and the others were without time-delay (table 1). This table does not present test results for the Kyoritsu 4120A meter, because the ATT/RCD function activated automatically in it.

Three measurements were conducted for each polarity, for every RCD. The interval between every measurement amounted to several seconds. The change of polarity of measuring current was realised by a special measuring attachment created for the purposes of testing, making it possible to change the direction of current flow through the RCD with one switch, without the need to disconnect leads. Tripping of the residual current device (designation "+" in Tab. 1) and no tripping of the device (designation "-" in Tab. 1) were registered during tests. Measurements conducted without an active ATT/RCD function caused RCD tripping in the majority of cases – this was due to the significant measuring (residual) current flowing through the RCD. In the case of RCDs A1, M1, SH1, SH25, SH26, tripping only

Meter	Current polarity	Name	A1	A2	D1_2	D2_1	F1	M1	M2	S1	SH1	SH7	SH21	SH22	SH25	SH26	
Kyoritsu KEW 4140	positive	Test no.	1	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-*	+	+	+	+
			2	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
			3	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
	negative		1	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-*	+	+	+	+
			2	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
			3	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
Sonel MPI-520	positive	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
		2	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
		3	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
	negative	1	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
		2	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
		3	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
Name			A1	A2	D1_2	D2_1	F1	M1	M2	S1	SH1	SH7	SH21	SH22	SH25	SH26	
Type			AC	A	A	AC	AC	AC	A	A	AC	AC	A	A	AC	AC	
Time-delay			B	B	B	B	B	B	B	B	B	G	B	B	B	B	

\* in the case of measurements at intervals not exceeding 1 second, the RCD is tripped, and in the case of intervals greater than 1 second, the RCD is not tripped

Tab. 1. Results of testing the reaction of residual current devices with  $I_{\Delta n} = 30$  mA to measuring current for selected fault loop impedance meters (ATT/RCD function inactive). Time-delay: B – no time-delay, G – short time-delay

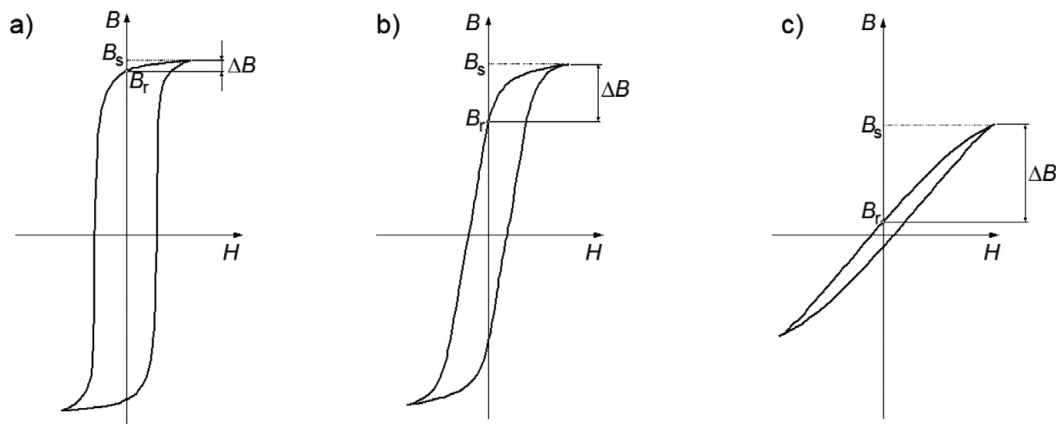


Fig. 8. Characteristic shapes of the hysteresis loop of current transformers,  $B_s$  – saturation magnetic flux density,  $B_r$  – remanent magnetic flux density,  $\Delta B$  – approximated changes of magnetic flux density at half-wave current flow, a) rectangular loop, b) rounded loop, c) flat loop

occurred at the first measurement, and the next two measurements did not result in tripping. This characteristic feature is related to the shape of the hysteresis loop of the transformer core most frequently applied in AC-type RCDs (Fig. 8a). After saturation of the core during flow of the first half-wave of measuring current, successive half-waves of current of the same polarity do not cause a magnetic flux density change  $\Delta B$  large enough to trip the residual current device [3].

The RCD designated D1\_2 exhibited an interesting property, tripping only at a specific current polarity. This feature is probably related to the type of residual current trip (a polarised tripping

mechanism was applied) found in the secondary circuit of the current transformer [15].

As expected, residual current devices did not trip after activation of the ATT/RCD function. Devices M1 and SH22 were the exception, tripping unnecessarily upon measurement with the Sonel MPI-520 meter, despite the active ATT/RCD function. Unnecessary trips occurred regardless of the polarity of measuring current. One must remember that measurement with current at a level of 10-15 mA is burdened with significant error and does not allow for detection of weak electrical connections in the measured circuit. In addition, the manufacturer [13] informs that measuring parameters are maintained only above the value of 0.5  $\Omega$ , which

disqualifies such a meter from measurements of fault loop impedance in a TN earthing system in the majority of cases.

#### 4. Proposal of fault loop impedance measurement with high current without RCD tripping

Considering the limitations that characterise fault loop impedance meters available on the market, a new measuring solution [16] is proposed, in a system as in Fig. 9. This system enables measurement of fault loop resistance, but this is sufficient, because residual current devices are present in final circuits, above all, and reactance is negligible in such circuits.

Measurement is conducted according to dependency (1), meaning that voltage  $U_1$  (before closing of switch W) and voltage  $U_2$  (after closing of switch W) are measured. Peak voltage values are measured in the case of this method. Resistance  $R_o$  is the measuring load. Thanks to the application of capacitance  $C_o$  and diode D, measuring current is unidirectional with relatively low ripples. The system of resistances  $R_1, R_2, R_3$  and thyristors  $T_G, T_1, T_2, T_3$  allows for a gradual increase of measuring current preventing unnecessary tripping of the RCD.

Figure 10 presents a schematic simulation diagram of the proposed system, made in LTspice software and obtained from simulation of the waveform of unidirectional measuring current, which increased in a controlled manner. Measurement of peak voltage  $U_2$  occurs after stabilisation of the waveform of measuring current. Simulations and preliminary experimental verification have shown that measuring current with a peak value of several amperes can be applied in practice, which is a value multiple times greater than the rated residual current of the most commonly used residual current devices.

#### 5. Conclusions

Circuits protected with residual current devices pose difficulties during the verification of low voltage electrical systems. Traditional fault loop impedance measurement methods may cause nuisance tripping of residual current devices. Certain available meters actually offer the capability of measuring fault loop impedance without tripping residual current devices, but in many cases, the accuracy of measurement is insufficient due to the low value of measuring current.

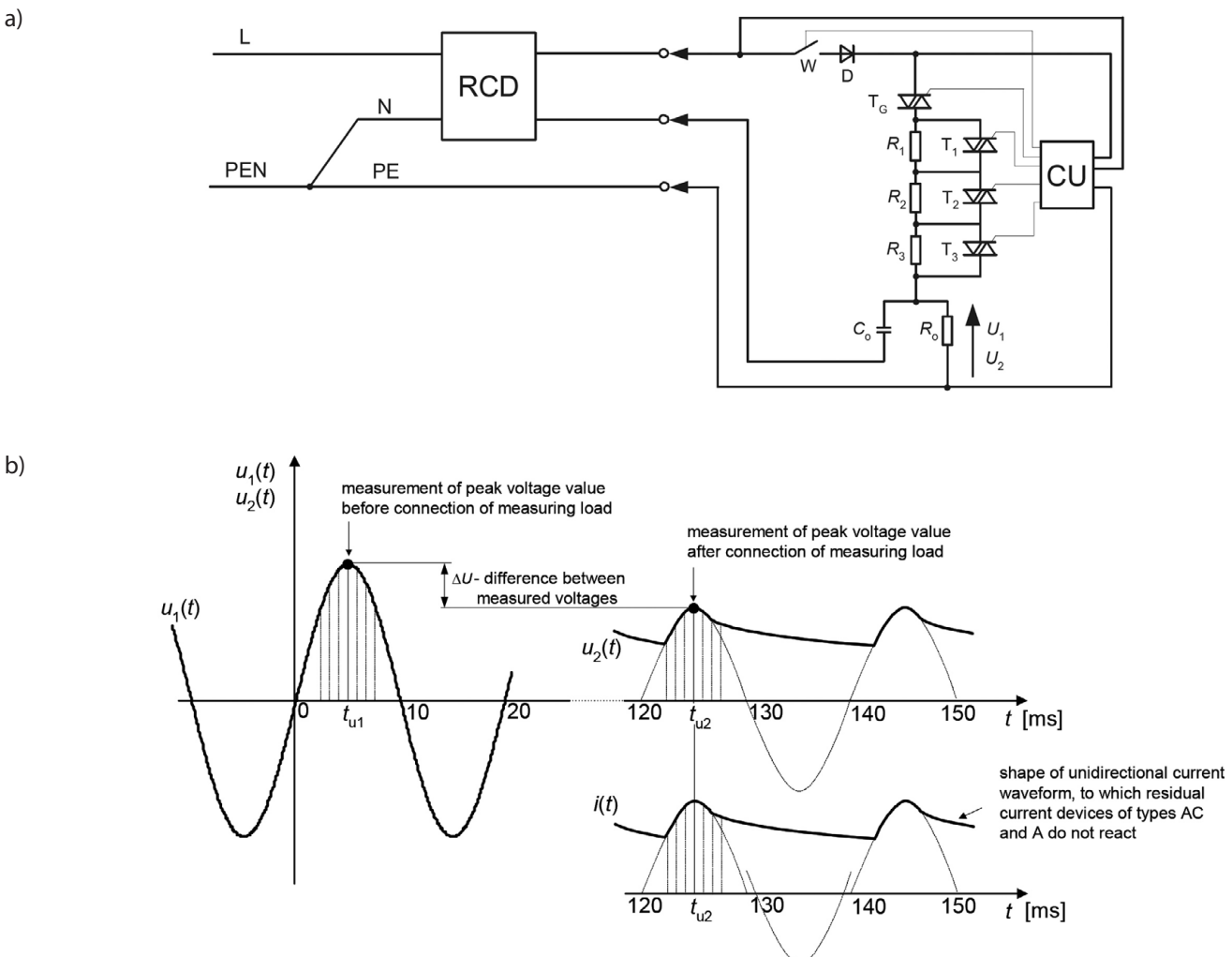


Fig. 9. Structure of proposed system for measurement of fault loop impedance (resistance) (a) and characteristic waveforms during measurement (b)

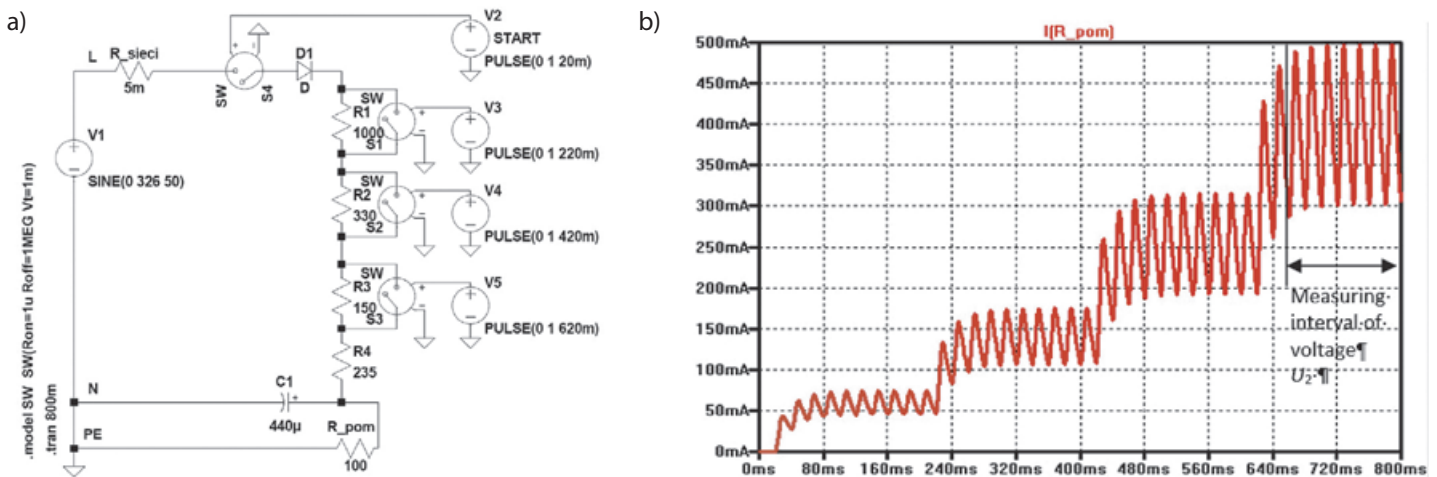


Fig. 10. Schematic simulation diagram of proposed fault loop impedance (resistance) measurement system (a) and measuring current waveform obtained from simulation (b)

## REFERENCES

1. PN-HD 60364-6:2008 Instalacje elektryczne niskiego napięcia [Low voltage electrical installations]. Part 6: Verification.
2. S. Czapp, Metoda wektorowa pomiaru impedancji pętli zwarciowej w obecności zakłóceń [Vectorial method for measurement short-circuit loop impedance in network with disturbances], *Archiwum Energetyki*, 2003, t. 32, No. 1–2, pp. 43–62.
3. S. Czapp, Pomiary impedancji pętli zwarciowej w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi [Fault loop impedance measurements in circuits protected with residual current devices], *Biuletyn Techniczno-Informacyjny Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich*, 2014, nr 2 (65), pp. 2–11.
4. P. Danzer, Impedance measurement in low voltage systems. Proc. 5th International Symposium on Short Circuit, Vol. 1, Warszawa, 1992.
5. J. Masny, Pomiary impedancji pętli zwarciowej [Fault loop impedance measurements], *Gospodarka Paliwami i Energią*, 1987, No. 10, pp. 16–21.
6. Z. Nawrocki, Analiza błędów metody przy pomiarach skuteczności zerowania układem różnicowym o łączniku sterowanym cyklicznie [Method error analysis in measurements of the effectiveness of automatic disconnection of supply a differential system with a cyclically controlled switching device], *Przegląd Elektrotechniczny*, 1983, No. 5.
7. R. Roskosz, Przyrządy typu MR do pomiaru impedancji pętli zwarciowej. [MR-type instruments for fault loop impedance measurement], *Przegląd Elektrotechniczny*, 1990, No. 6, pp. 125–127.
8. R. Roskosz, Nowe rozwiązania pomiaru impedancji pętli zwarciowej przy odkształceniu krzywej napięcia w miejscu pomiaru [New solution for measurement of power system loop impedance in the presence of distorted voltage waveforms at testing point], *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Elektryka*, 1995, No. 79.
9. PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4–41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym. [Low voltage electrical installations. Part 4–41: Protection for safety. Protection against electric shock].
10. PN-HD 60364-7-7xx Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Części 7–7xx: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji i lokalizacji. [Low voltage electrical installations. Parts 7–7xx: Requirements for special installations or locations].
11. Meter catalogue sheets from the <http://www.kew-ltd.co.jp/en> website.
12. D-LOK function for fault loop measurement without tripping residual current devices (RCD) in meter KEW4120A. Assessment of fault loop impedance measurement results. Catalogue materials from the KYORITSU company.
13. Meter catalogue sheets from the <http://www.sonel.pl> website.
14. D.R. Harris, M.B. Litherland, A.L. Flowerday, Circuit testing, European patent no. 295800, 1988.
15. S. Czapp, Wyłączniki różnicowoprądowe w ochronie przeciwporażeniowej przy odkształconym prądzie różnicowym [Residual current devices in protection against electric shock under distorted earth fault current], Gdańsk 2009.
16. S. Czapp, K. Borowski, Sposób i układ do pomiaru rezystancji pętli zwarciowej w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi typu AC i typu A. Zgłoszenie patentowe nr P.407795 z 3.04.2014. [Method and system for measurement of fault loop resistance in circuits protected with type AC and type A residual current devices. Patent application no. P.407795 of 03/04/2014].

### **Stanisław Czapp**

Gdańsk University of Technology

e-mail: stanislaw.czapp@pg.gda.pl

A graduate of Gdańsk University of Technology (1996). An employee of the Faculty of Electrical and Control Engineering of his alma mater. His research activity is related to electrical installations and devices, electric lighting, and in particular protection against electric shock. Author and co-author of many articles and papers, and unpublished studies such as designs and expert evaluations and opinions. SEP Association of Polish Electrical Engineers expert in section 08 Electrical installations and devices.

### **Kornel Borowski**

Gdańsk University of Technology Faculty of Electrical and Control Engineering

e-mail: kornel.borowski@pg.gda.pl

Graduated with Master's degree in electrical power engineering from the Faculty of Electrical and Control Engineering of Gdańsk University of Technology (2012). Postgraduate Ph.D. student at the Power Engineering Department of his alma mater. His Ph.D. thesis relates to issues of automatic protections and measurements in power systems. Designer of electrical installations.



This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 45–52. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Ocena przydatności klasycznych metod pomiaru impedancji pętli zwarciowej do obwodów z wyłącznikami różnicowoprądowymi

### Autorzy

Stanisław Czapp  
Kornel Borowski

### Słowa kluczowe

wyłączniki różnicowoprądowe, impedancja pętli zwarciowej, pomiary

### Streszczenie

Pomiar impedancji pętli zwarciowej w sieciach i instalacjach niskiego napięcia wykonuje się najczęściej w celu oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania. Z punktu widzenia dokładności pomiaru korzystne jest, aby wykonać go dużym prądem. Niestety, w obwodach z wyłącznikami różnicowoprądowymi, które obecnie są stosowane na bardzo szeroka skalę, duży prąd pomiarowy może powodować ich zbędne wyzwalenie. W pracy przedstawiono wyniki badań zachowania się wyłączników różnicowoprądowych przy pomiarze impedancji pętli zwarciowej, wykonanym wybranymi miernikami. Badania przeprowadzono w obwodach z wyłącznikami różnicowoprądowymi o prądzie znamionowym różnicowym  $I_{\Delta n} = 30$  mA, typu AC oraz typu A. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz zaproponowano sposób pomiaru impedancji pętli zwarciowej, który nie powoduje zbędnego zadziałania wyłączników różnicowoprądowych.

### 1. Wstęp

Pomiar impedancji pętli zwarciowej wykonuje się w ramach odbiorczego i eksploatacyjnego sprawdzania instalacji elektrycznych niskiego napięcia [1]. Służy on do oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania.

Najczęściej stosowaną metodą pomiarową jest metoda z wykorzystaniem tzw. sztucznego zwarcia (rys. 1) [2–8].

Mierzy się różnicę napięć przed i po załączeniu obciążenia pomiarowego  $Z_0$  i oblicza wartość impedancji pętli zwarciowej  $Z$  zgodnie z następującą zależnością:

$$\underline{Z} = Z_0 \frac{U_1 - U_2}{U_2} = Z_0 \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (1)$$

gdzie:

$\underline{Z}$  – impedancja mierzona,  $Z_0$  – impedancja obciążenia pomiarowego,  $U_1$  – napięcie przed załączeniem obciążenia pomiarowego,  $U_2$  – napięcie po załączeniu obciążenia pomiarowego.

Pomiar impedancji pętli zwarciowej wykonuje się też w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi. Najczęściej są zainstalowane wyłączniki wysokoczułe ( $I_{\Delta n} \leq 30$  mA), ponieważ ich stosowanie wymagają normy [9, 10]. Zastosowanie klasycznego miernika impedancji pętli zwarciowej w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi bardzo często powoduje ich zbędne zadziałanie podczas pomiaru, ponieważ prąd pomiarowy jest dla wyłącznika różnicowoprądowego prądem różnicowym (rys. 2).

Dla uzyskania dużej dokładności pomiaru impedancja obciążenia pomiarowego  $Z_0$  powinna być tak dobrana, aby w obwodzie popłynął stosunkowo duży prąd pomiarowy, zapewniający znaczną różnicę mierzonych napięć  $U_1 - U_2$ . Zaletą pomiaru dużym prądem jest możliwość wykrycia

niepewnych połączeń w instalacji oraz zmniejszenie wpływu różnicy argumentu impedancji mierzonej i impedancji obciążenia pomiarowego ( $\varphi - \varphi_0$ ) na dokładność pomiaru. Na rys. 3 przedstawiono wykres błęd pomiaru dla różnych wartości prądu pomiarowego (w odniesieniu do impedancji obciążenia pomiarowego). Dla prądów o wartościach największych (impedancja  $Z_0 = 1 \Omega$ ) wartości błędów są najmniejsze.

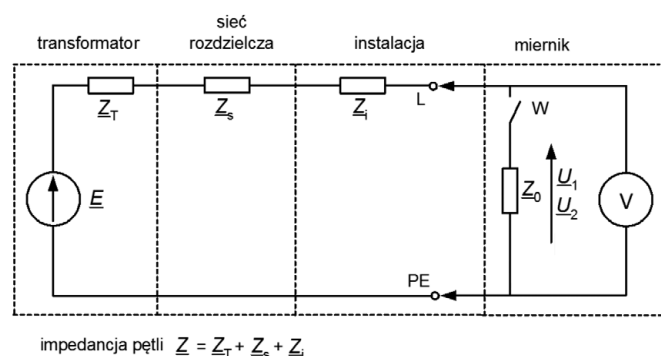
Duża wartość prądu pomiarowego może jednak spowodować zbędne zadziałanie zabezpieczeń badanego obwodu, w szczególności wyłączników różnicowoprądowych. Z tego powodu istotne jest opracowanie metod pomiaru, które mimo zastosowania prądu pomiarowego o stosunkowo dużej wartości nie będą powodować zbędnego zadziałania wyłączników różnicowoprądowych.

### 2. Badania mierników – charakterystyka prądu pomiarowego

Aby ocenić przydatność mierników impedancji pętli zwarciowej do obwodów z wyłącznikami różnicowoprądowymi,

przeprowadzono wiele badań. W artykule przedstawiono wyniki badań dla trzech mierników: Kyoritsu 4120A, Kyoritsu KEW 4140 oraz wielofunkcyjnego miernika parametrów instalacji elektrycznej Sonel MPI-520. Za pomocą oscyloskopu cyfrowego rejestrowano przebiegi napięć i prądów pomiarowych, co umożliwiło porównanie i ocenę właściwości tych mierników. Zgodnie z deklaracją producenta wszystkie wymienione wyżej mierniki mają dodatkową funkcję pozwalającą na pomiar impedancji pętli zwarciowej bez wyzwiania wyłączników różnicowoprądowych. W przypadku firmy Kyoritsu funkcja ta nazywa się ATT (ang. *Anti-Trip Technology*) lub Auto RCD Lock [11, 12], a w przypadku firmy Sonel jest to tryb RCD [13]. Rejestracji prądów pomiarowych dokonano bez aktywnej funkcji ATT/RCD (rys. 4) oraz z aktywną tą funkcją (rys. 5).

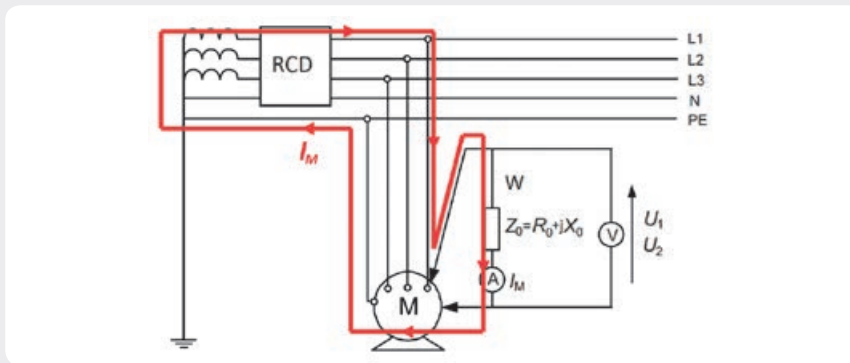
Mierniki Sonel MPI-520 i Kyoritsu KEW 4140 bez aktywnej funkcji ATT/RCD charakteryzują się typowym półfalowym przebiegiem prądu pomiarowego (rys. 4a i rys. 4b), występującym w większości mierników impedancji pętli zwarciowej.



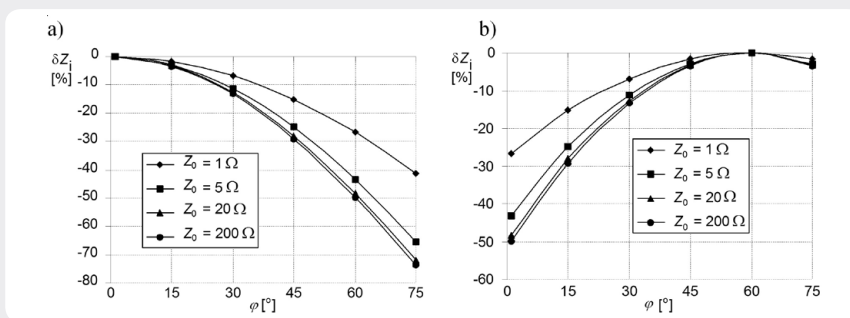
Rys. 1. Schemat zastępczy obwodu przy pomiarze impedancji pętli zwarciowej metodą sztucznego zwarcia

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 45–52. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 2. Schemat pomiaru impedancji pętli zwarciowej w obwodzie z wyłącznikiem różnicowoprądowym; RCD – wyłącznik różnicowoprądowy,  $I_M$  – prąd pomiarowy



Rys. 3. Błędy pomiaru  $\delta Z_1 = f(\varphi)$  dla różnych wartości obciążenia pomiarowego, przy sinusoidalnym przebiegu napięcia sieci:  $Z = 1 \Omega$ , a)  $\varphi_0 = 0^\circ$ , b)  $\varphi_0 = 60^\circ$

Przebieg prądu pomiarowego w przypadku aktywnej funkcji ATT/RCD jest dla każdego miernika inny. W przypadku miernika Sonel MPI-520 zastosowano pomiar prądem półfalowym

(rys. 6), ale o wartości skutecznej wynoszącej tylko kilkanaście miliamperów. Dzięki temu nie dochodzi do zbędnego zadziałania wyłączników różnicowoprądowych o  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ , ale ze względu na tak małą

wartość prądu pomiarowego dokładność pomiaru w wielu przypadkach jest niewystarczająca.

Podobny sposób pomiaru zastosowano w mierniku Kyoritsu KEW 4140. Tutaj również pomiar wykonywany jest prądem o wartości skutecznej kilkunastu miliamperów. Pomiar właściwy poprzedzony jest przepływem prądu przemiennego o charakterystyce prostokątnej. Powiększenie przebiegu prądu w przewodzie PE z rys. 5b przedstawiono na rys. 7.

W przypadku mierników Sonel MPI-520 i Kyoritsu KEW 4140 przebiegi prądów z aktywną funkcją ATT/RCD w stosunku do pomiaru bez aktywnej tej funkcji znacznie się różnią. Odmienna sytuacja występuje w mierniku Kyoritsu 4120A – funkcja ATT/RCD uaktywniła się automatycznie przy każdym pomiarze (por. przebiegi na rys. 4c i rys. 5c). W przypadku tego miernika zastosowano prąd pomiarowy półfalowy po uprzednim nasyceniu rdzenia przekładnika sumującego wyłącznika różnicowoprądowego prądem stałym o pomiaralnym tętnieniu. Jest to metoda podobna do tej, którą przedstawiono w opisie patentowym [14].

### 3. Badania reakcji wyłączników różnicowoprądowych na prąd pomiarowy

Na stanowisku laboratoryjnym z wyłącznikami różnicowoprądowymi przeprowadzono pomiary impedancji pętli zwarciowej, wykorzystując omówione już mierniki. W pierwszej kolejności wykonano pomiary bez aktywnej funkcji ATT/RCD. Każdy miernik przyłączano do jednego z 14 wyłączników różnicowoprądowych o  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$  (typu AC lub A). Jeden z wyłączników był krótkozwłoczny G (czas przetrzymywania prądu różnicowego równy 10 ms), a pozostałe to wyłączniki bezzwłoczne (tab. 1). W tabeli

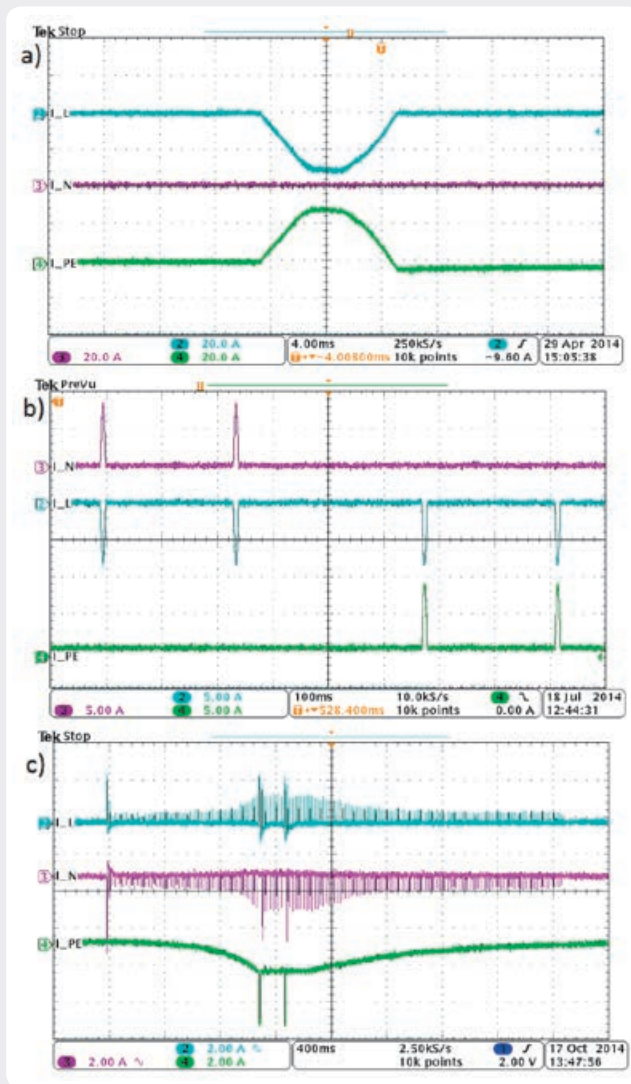
Miernik	Polaryzacja	Nazwa	A1	A2	D1_2	D2_1	F1	M1	M2	S1	SH1	SH7	SH21	SH22	SH25	SH26		
Kyoritsu KEW 4140	dodatnia	Nr próby	1	-	+	+	+	+	+	+	+	-*	+	+	+	+		
			2	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-	
			3	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
	ujemna		1	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-*	+	+	+	+	
			2	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
			3	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-	-
Sonel MPI-520	dodatnia	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+		
		2	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
		3	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
	ujemna	1	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
		2	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
		3	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
Nazwa			A1	A2	D1_2	D2_1	F1	M1	M2	S1	SH1	SH7	SH21	SH22	SH25	SH26		
Typ			AC	A	A	AC	AC	AC	A	A	AC	AC	A	A	AC	AC		
Zwłoczność			B	B	B	B	B	B	B	B	B	G	B	B	B	B		

\* w przypadku pomiarów w odstępach nieprzekraczających 1 s wyłącznik wyzwala, w przypadku odstępów większych niż 1 s wyłącznik nie wyzwala

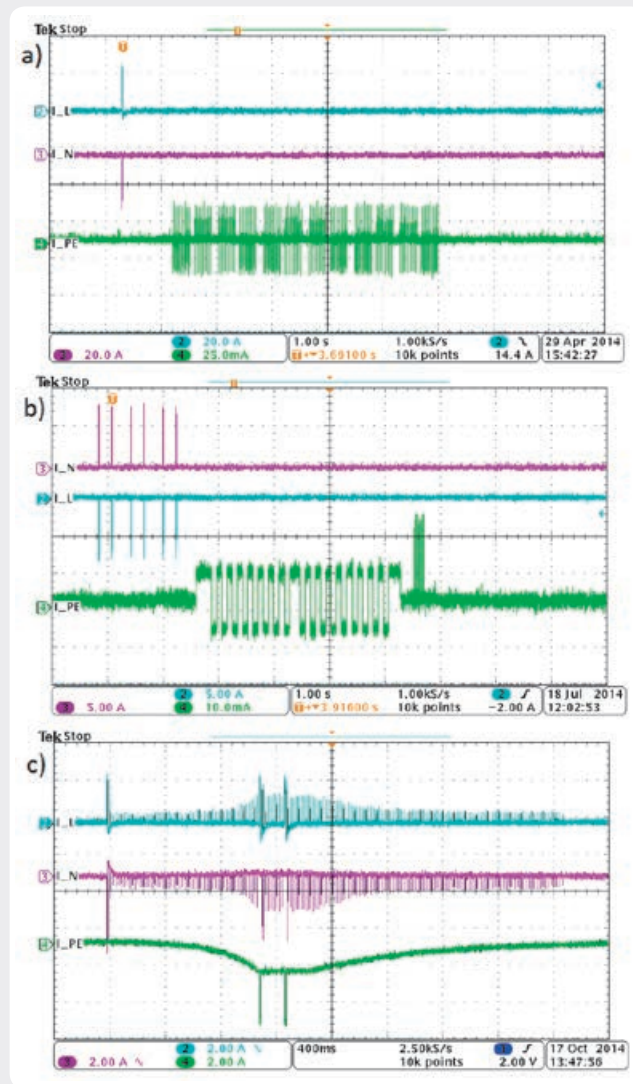
Tab. 1. Wyniki badań reakcji wyłączników różnicowoprądowych o  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$  na prąd pomiarowy dla wybranych mierników impedancji pętli zwarciowej (funkcja ATT/RCD nie była aktywna). Zwłoczność: B – bezzwłoczny, G – krótkozwłoczny

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 45–52. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 4. Przebiegi prądów w przewodach L, N i PE podczas pomiaru bez aktywnej funkcji ATT/RCD, a) Sonel MPI-520 (skala 20 A/dz.), b) Kyoritsu KEW 4140 (skala 5 A/dz.), c) Kyoritsu 4120A<sup>1</sup> (skala 2 A/dz.)



Rys. 5. Przebiegi prądów w przewodach L, N i PE podczas pomiaru z aktywną funkcją ATT/RCD, a) Sonel MPI-520 (skala:  $I_L, I_N - 20$  A/dz.,  $I_{PE} - 25$  mA/dz.), b) Kyoritsu KEW 4140 (skala  $I_L, I_N - 5$  A/dz.,  $I_{PE} - 10$  mA/dz.), c) Kyoritsu 4120A (skala 2A/dz.)

nie przedstawiono wyników badań dla miernika Kyoritsu 4120A, ponieważ automatycznie aktywowała się w nim funkcja ATT/RCD.

Dla każdego wyłącznika wykonano po trzy pomiary dla każdej polaryzacji. Przerwa pomiędzy każdym pomiarem wynosiła kilka sekund. Zmianę polaryzacji prądu pomiarowego realizowano poprzez specjalną przystawkę pomiarową stworzoną na potrzeby badań, pozwalającą jednym przełącznikiem zmieniać kierunek przepływu prądu przez wyłącznik bez odłączania przewodów. Podczas badań rejestrowano wyzwolenie wyłącznika różnicowoprądowego (oznaczenie „+” w tab. 1) oraz brak wyzwolenia (oznaczenie „-” w tab. 1). Pomiary wykonane bez aktywnej funkcji ATT/RCD w większości przypadków powodowały wyzwolenie wyłącznika – wpływ na to miał znaczny prąd pomiarowy (różnicowy) przepływający przez

wyłącznik. W przypadku wyłączników A1, M1, SH1, SH25, SH26 wyzwolenie nastąpiło tylko przy pierwszym pomiarze, natomiast następne dwa pomiary nie powodowały wyzwolenia. Ta charakterystyczna cecha związana jest z kształtem pętli histerezy rdzenia przekładnika najczęściej stosowanego w wyłącznikach typu AC (rys. 8a). Po nasyceniu rdzenia podczas przepływu pierwszej półfali prądu pomiarowego kolejne półfale prądu tej samej polaryzacji nie powodują już tak dużej zmiany indukcji  $\Delta B$ , by zadziałał wyłącznik różnicowy wyłącznika [3].

Interesującą właściwość wykazał wyłącznik oznaczony jako D1\_2, który wyzwalał tylko przy określonej polaryzacji prądu. Cecha ta najprawdopodobniej jest związana z typem wyłącznika różnicowego (zastosowano wyłącznik spolaryzowany) znajdującego się w obwodzie wtórnym przekładnika sumującego [15].

Po uaktywnieniu funkcji ATT/RCD wyłączniki różnicowoprądowe, zgodnie z oczekiwaniem, nie wyzwały. Wyjątkiem były wyłączniki M1 i SH22, które zbędnie wyzwały przy pomiarze miernikiem Sonel MPI-520, mimo aktywnej funkcji ATT/RCD. Zbędne zadziały wystąpiły bez względu na polaryzację prądu pomiarowego.

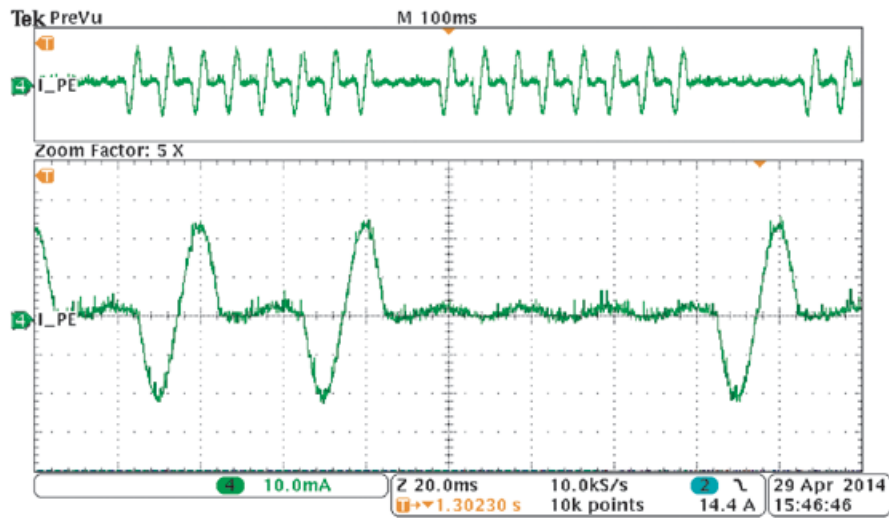
Należy pamiętać, że pomiar prądem na poziomie 10–15 mA jest obciążony znacznym błędem i nie pozwala na wykrycie słabych połączeń elektrycznych w mierzonym obwodzie. Dodatkowo producent [13] podaje, że parametry pomiaru są zachowane dopiero powyżej wartości 0,5  $\Omega$ , co w większości przypadków dyskwalifikuje taki miernik w pomiarach impedancji pętli zwarciowej w układzie sieci TN.

<sup>1</sup> W przypadku miernika Kyoritsu 4120A funkcja ATT/RCD uaktywniała się automatycznie.

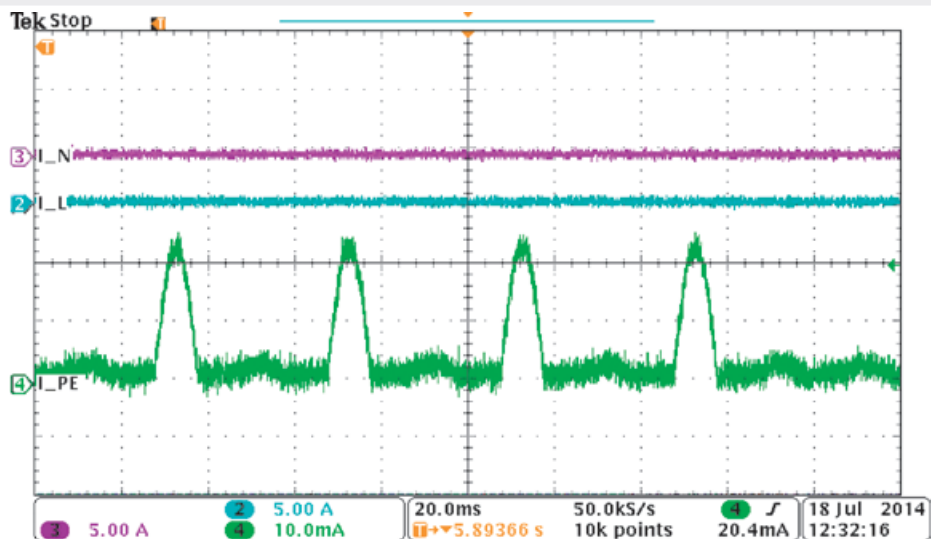


This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 45–52. When referring to the article please refer to the original text.

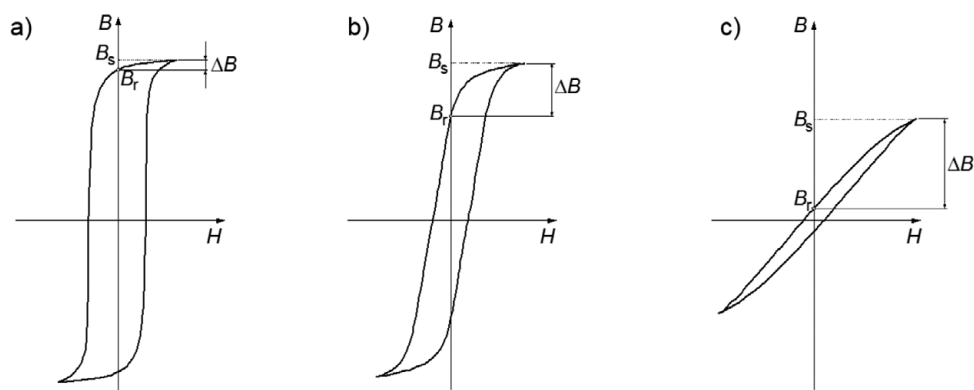
PL



Rys. 6. Przebieg prądu w przewodzie PE podczas pomiaru miernikiem Sonel MPI-520 z aktywną funkcją ATT/RCD (powiększenie oscylogramu z rys. 5a), skala 10 mA/dz.



Rys. 7. Przebieg prądu w przewodach L, N i PE podczas pomiaru miernikiem Kyoritsu KEW 4140 z aktywną funkcją ATT/RCD (powiększenie fragmentu przebiegu z rys. 5b), skala  $I_{PE}$  – 10 mA/dz.

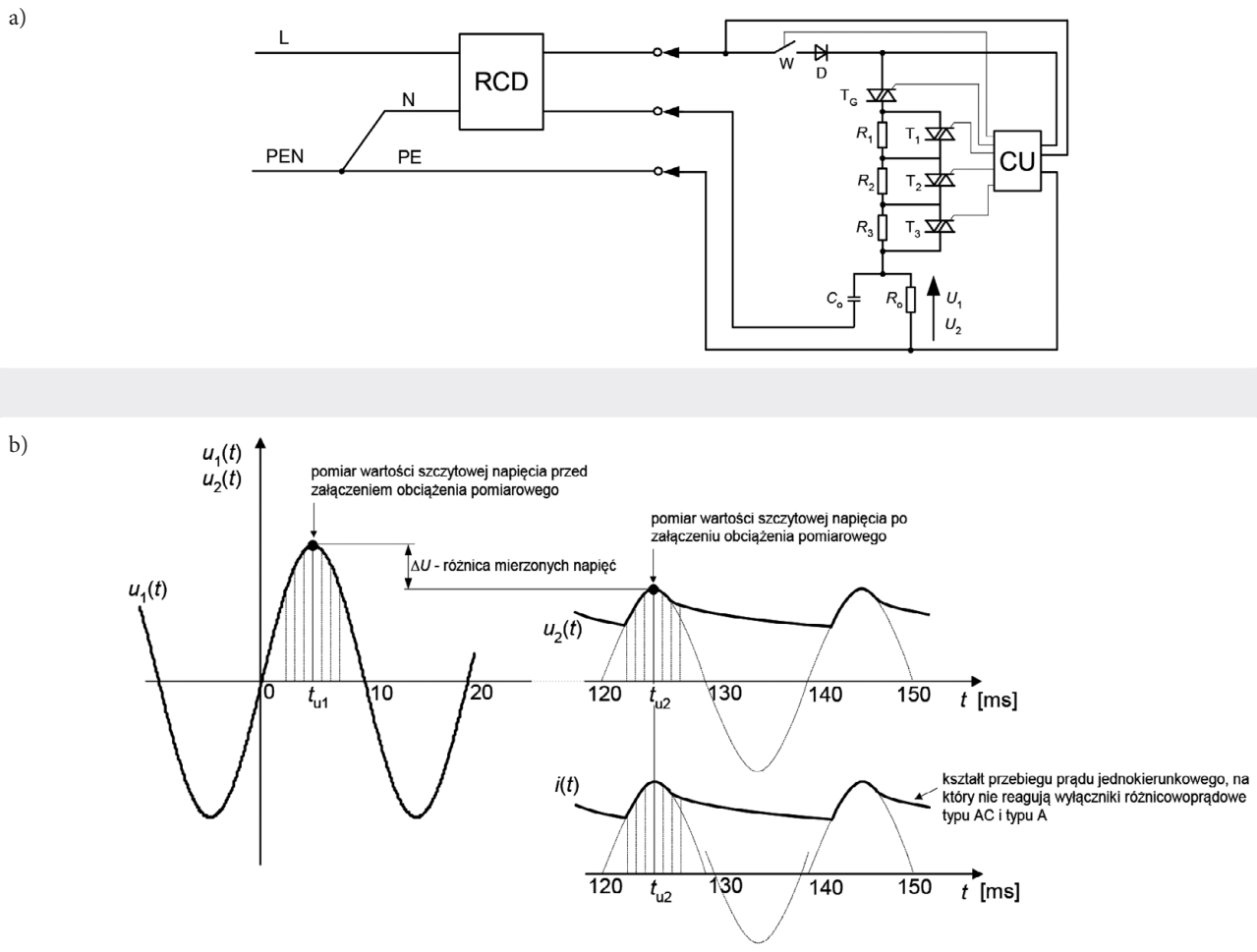


Rys. 8. Charakterystyczne kształty pętli histerezy przekładników sumujących,  $B_s$  – indukcja magnetyczna nasycenia,  $B_r$  – indukcja magnetyczna szczątkowa,  $\Delta B$  – przybliżone zmiany indukcji magnetycznej przy przepływie prądu półfalowego, a) pętla prostokątna, b) pętla zaokrąglona, c) pętla płaska

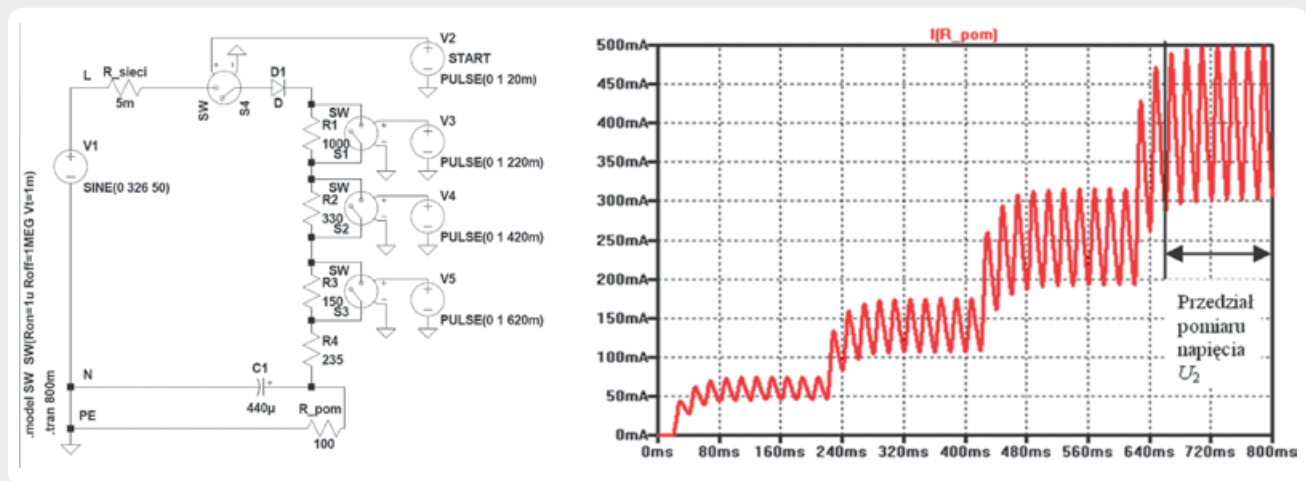


This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 45–52. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 9. Struktura proponowanego układu do pomiaru impedancji (rezystancji) pętli zwarciowej (a) i charakterystyczne przebiegi podczas pomiaru (b)



Rys. 10. Schemat ideowo-symulacyjny proponowanego układu pomiaru impedancji (rezystancji) pętli zwarciowej (a) oraz uzyskany z symulacji przebieg prądu pomiarowego (b)

**4. Propozycja pomiaru impedancji pętli zwarciowej znacznym prądem bez wyzwalania wyłączników różnicowoprądowych**  
Biorąc pod uwagę ograniczenia, które cechują dostępne na rynku mierniki impedancji pętli zwarciowej, proponuje się nowe

rozwiązanie pomiarowe [16], w układzie jak na rys. 9. Układ ten pozwala na pomiar rezystancji pętli zwarciowej, ale jest to wystarczające, ponieważ wyłączniki różnicowoprądowe występują przede wszystkim w obwodach odbiorczych, a w nich reakcja jest pomijalna.

Pomiar jest wykonywany zgodnie z zależnością (1), tzn. jest mierzone napięcie  $U_1$  (przed zamknięciem łącznika W) i napięcie  $U_2$  (po zamknięciu łącznika W). W przypadku tej metody mierzone są wartości szczytowe napięć. Obciążeniem pomiarowym jest rezystancja  $R_0$ . Dzięki zastosowaniu

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 45–52. When referring to the article please refer to the original text.

PL

pojemności  $C_0$  oraz diody D prąd pomiarowy jest jednokierunkowy o stosunkowo niewielkim tętnieniu. Układ rezystancji  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  oraz tyrystorów  $T_G$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  pozwala na stopniowe zwiększanie prądu pomiarowego zapobiegające zbędnemu zadziałaniu wyłącznika różnicowoprądowego RCD.

Na rys. 10 przedstawiono schemat ideowo-symulacyjny proponowanego układu, wykonany w programie LTSpice oraz otrzymany z symulacji przebieg prądu pomiarowego jednokierunkowego, narastającego w sposób kontrolowany. Pomiar wartości szczytowej napięcia  $U_2$  następuje po ustaleniu się przebiegu prądu pomiarowego. Symulacje i wstępna weryfikacja eksperymentalna wykazały, że w praktyce będzie można zastosować prąd pomiarowy o wartości szczytowej kilku amperów, co jest wartością wielokrotnie większą od prądu znamionowego różnicowego najpowszechniej stosowanych wyłączników różnicowoprądowych.

### 5. Wnioski

Obwody chronione wyłącznikami różnicowoprądowymi sprawiają kłopoty przy sprawdzaniu instalacji elektrycznych niskiego napięcia. Tradycyjne metody pomiaru impedancji pętli zwarciowej mogą powodować zbędne wyzwalenie wyłączników różnicowoprądowych. Niektóre dostępne mierniki wprawdzie oferują możliwość pomiaru impedancji pętli zwarciowej bez wyzwiania wyłączników różnicowoprądowych, ale ze względu na małą wartość prądu pomiarowego dokładność pomiaru w wielu przypadkach jest niewystarczająca.

### Bibliografia

1. PN-HD 60364-6:2008 – wersja polska: Instalacje elektryczne niskiego napięcia, część 6: Sprawdzenie.
2. Czapp S., Metoda wektorowa pomiaru impedancji pętli zwarciowej w obecności zakłóceń, *Archiwum Energetyki* 2003, t. 32, nr 1–2, s. 43–62.
3. Czapp S., Pomiar impedancji pętli zwarciowej w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi, *Biuletyn Techniczno-Informacyjny Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich* 2014, nr 2 (65), s. 2–11.
4. Danzer P., Impedance measurement in low voltage systems, Proc. 5th International Symposium on Short Circuit, Vol. 1, Warszawa 1992.
5. Masny J., Pomiar impedancji pętli zwarciowej, *Gospodarka Paliwami i Energią* 1987, nr 10, s. 16–21.
6. Nawrocki Z., Analiza błędów metody przy pomiarach skuteczności zerowania układem różnicowym o łączniku sterowanym cyklicznie, *Przegląd Elektrotechniczny* 1983, nr 5.
7. Roskosz R., Przyrządy typu MR do pomiaru impedancji pętli zwarciowej, *Przegląd Elektrotechniczny* 1990, nr 6, s. 125–127.
8. Roskosz R., Nowe rozwiązania pomiaru impedancji pętli zwarciowej przy odkształceniu krzywej napięcia w miejscu pomiaru, *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Elektryka* 1995, nr 79.
9. PN-HD 60364-4-41:2009 – wersja polska: Instalacje elektryczne niskiego napięcia, część 4–41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa, Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
10. PN-HD 60364-7-7xx Instalacje elektryczne niskiego napięcia, części 7–7xx: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji i lokalizacji.
11. Karty katalogowe mierników [online], <http://www.kew-ltd.co.jp/en>.
12. Funkcja D-LOK do pomiaru pętli zwarcia bez wyzwiania wyłączników różnicowoprądowych (RCD) w mierniku KEW4120A. Ocena wyników pomiarów impedancji pętli, katalog firmy KYORITSU.
13. Karty katalogowe mierników [online], <http://www.sonel.pl>.
14. Harris D.R., Litherland M.B., Flowerday A.L., Circuit testing, European patent nr 295800, 1988.
15. Czapp S., Wyłączniki różnicowoprądowe w ochronie przeciwporażeniowej przy odkształconym prądzie różnicowym, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2009.
16. Czapp S., Borowski K., Sposób i układ do pomiaru rezystancji pętli zwarciowej w obwodach chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi typu AC i typu A, zgłoszenie patentowe nr P.407795 z 03.04.2014.

### Stanisław Czapp

dr hab. inż.

Politechnika Gdańska

e-mail: stanislaw.czapp@pg.gda.pl

Absolwent Politechniki Gdańskiej (1996). Jest pracownikiem Wydziału Elektrotechniki i Automatyki swojej macierzystej uczelni. Jego działalność naukowa jest związana z instalacjami i urządzeniami elektrycznymi, oświetleniem elektrycznym, a szczególnie ochroną przed porażeniem prądem elektrycznym. Autor lub współautor wielu artykułów i referatów oraz opracowań niepublikowanych o charakterze projektów, ekspertyz i opinii. Jest rzeczoznawcą SEP w dziale 08 Instalacje i urządzenia elektryczne.

### Kornel Borowski

mgr inż.

Politechnika Gdańska

e-mail: kornel.borowski@pg.gda.pl

Ukończył studia magisterskie na kierunku elektrotechnika, specjalność elektroenergetyka na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (2012). Doktorant w Katedrze Elektroenergetyki swojej macierzystej uczelni. W ramach realizacji pracy doktorskiej zajmuje się problematyką związaną z automatyką zabezpieczeniową i pomiarami w instalacjach elektroenergetycznych. Projektant instalacji elektrycznych i elektroenergetycznych.