

Universal Current Transformer for Accurate Measurement of Short-circuit Currents

Authors

Jerzy Przybysz
 Jan Olak
 Zbigniew Piątek

Keywords

current transformer, aperiodic time constant, short circuit tests

Abstract

The paper presents the design of a special current transformer developed by the Institute of Power Engineering in cooperation with TRANSFORMEX sp. z o.o. The aim of the project was to obtain current transformers allowing not only a thorough transformation of symmetrical currents – which is characteristic for typical current transformers, but also of asymmetrical short-circuit currents containing an aperiodic component, which are not reproduced by classic current transformers. A current transformer has been developed with a range of short-circuit currents established from 1 kA to 50 kA, and short-circuit currents with an aperiodic component with a decay time constant up to 200 ms, peak value from 2.5 kA to 125 kA, assuming the possibility of five-fold repetition of short circuits with the same value and the same constant component polarity, with the assumed transformation accuracy.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2017109

Received: 02.02.2017

Accepted: 22.03.2017

Available online: 30.03.2017

1. Introduction

Short circuit withstand – thermal and dynamic, attributed by the manufacturers of electrical equipment intended for use in power systems – must be confirmed by performing relevant tests in specialised laboratories. Thermal short-circuit withstand is tested using symmetrical current over a time specified by relevant standards, while dynamic short-circuit withstand is tested using asymmetrical current with a decaying transient constant component with a time constant $\bar{\tau}$, depending on the installation location of equipment. In practice, the value of the time constant $\bar{\tau}$ is in the 20–250 ms range. High current laboratories also conduct tests of heating equipment with rated symmetrical current. Symmetrical and asymmetrical currents, with a constant transient component, should be carefully measured to remove doubts about the credibility of the short-circuit tests. The values of symmetrical currents used to test electrical equipment are very different – from several dozen amperes to several dozen kiloamperes. The values of short circuit currents used to test dynamic short-circuit withstand are 2.5 times greater than the value of symmetrical currents. Problems occur in the measurement of asymmetrical currents, when the measured current contains a decaying constant component with a time constant $\bar{\tau}$. The constant component of current causes the current transformer

core saturation and the formation of very large transformation errors. These errors grow very rapidly with an increase of the time constant $\bar{\tau}$.

Since the short-circuit tests and heating tests are often carried out in the same laboratory, it is convenient to use universal current transformers with multiple ranges for measuring short circuit currents.

2. Design assumptions

Design assumptions for the current transformers have been developed at the Institute of Power Engineering, taking into account the current needs, e.g. the inability to measure currents using resistive shunts in circuits where, due to their topologies, one side of the shunt cannot be earthed. Assumptions include technical parameters as well as design and operational requirements placed on current transformers:

- Rated insulation voltage: 30 kV
- Rated primary currents: 1–2–5–10–20–50 kA
- Rated secondary currents: 5 A and 2 A
- Rated power: 20 VA
- Accuracy class: 0.2
- Decay time constant of the short circuit current's constant component: $\bar{\tau} = 200$ ms

- Continuous operation: up to 20 kA
- Primary winding: single bus
- Switching rated ranges between primary and secondary current: on the insulation terminal plate, on the secondary side of the current transformer
- Design suitable for transport with a forklift and a hoist with ropes fitted with hooks
- Design adapted for attachment to the floor

3. Choosing the type of design

Selection of the type of design is not obvious due to the large range of the rated values of primary currents, from 1000 to 50,000 A, and the required „pass-through” design, in which the primary winding is in the form of a single bus and thus the rated primary current corresponds to the rated ampere- turns of the current transformer. Cascade designs are used for large current values, greater than 2000 A. In the case of a ratio of 50,000/5 A/A, for single-core designs, it would be necessary to wind secondary winding, with 25,000 turns, which would be very labour-intensive, resulting in a significant extension of the dimensions of the current transformer and would cause secondary winding to induct very high voltage in the case of inadvertently opening the secondary terminals. Therefore, for rated primary currents of 2000-50,000 A, a cascade (double-core) design has been adopted.

The linking winding is wound on the primary core with a window for the current circuit. It is selectable for different ranges of the primary current (2–5–10–20–50 kA) and connected to the primary winding of the secondary core, wound with taps selected so that the nominal ampere- turns of the secondary core always amounts to 2000 ampere- turns for all measurement ranges of the current transformer (2–5–10–20–50 kA). Secondary winding of the secondary core is wound for rated secondary currents of 5 A and 2 A.

For primary current of 1000 A, the cascade design is very unfavourable since for the rated ampere- turns of 1000, when the secondary core loads on the primary core, the accuracy of transformation would be small, and improving it would require enlarging the section of the primary core, which would increase the weight and cost of the current transformer. Therefore, a single-core design has been assumed for the primary current of 1000 A. For the ratio of 1000/5 A/A, additional secondary winding was wound on the primary core, and only the primary core works with this ratio as a single-core transformer (secondary terminals 1S1-1S2, Fig. 1).

For the ratio of 1000/2 A/A, secondary winding of a single-core transformer is in the form of four sections of linking winding connected in series, wound on the primary core (secondary terminals 1S1-1S3, Fig. 1).

Current transformer winding connections diagram is shown on Fig. 1. (Patent application P-419 196 of 13.10.2016)

4. Description of the transformer's design

The transformer is built in the form of two cores:

- Primary core, consisting of a toroidal core made of high grade magnetic steel with the link winding and additional

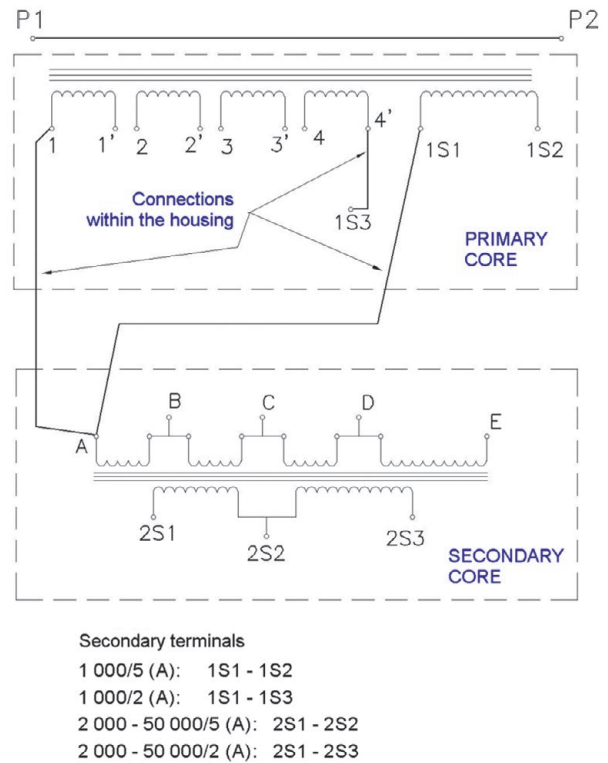


Fig. 1. Current transformer winding connections diagram



Photo 1. PPZw-30 current transformers, general view

secondary winding wound on it, whose window has an insulating tubular passageway, for passing a bus which is a part of the current circuit

- Secondary core, placed in the upper part of the transformer, with primary windings constituting the linking winding of the cascade current transformer and secondary winding serving as secondary winding of the cascade current transformer (for primary currents 2–5–10–20–50 kA).

The two cores are mounted in the metal frame support structure with insulated walls and cover. One of the walls is used as a terminal plate with terminals to which the connections of all

link windings and secondary windings are connected. Switching between the rated primary current ranges takes place by means of special connectors that constitute the current transformer's elements. Choosing the value of rated secondary current is accomplished by connecting the current recorders to the suitable, labelled secondary terminals.

5. Tests

The current transformer was subjected to metrological verification consisting of the following tests:

- Product tests performed at TRANSFORMEX sp. z o.o.
- Checking the accuracy of processing short circuit current waveforms with a non-periodic component having large time constants, at the Distribution Equipment Laboratory of the Institute of Power Engineering in Warsaw

- Calibration at the Laboratory of Low Frequency Electrical Values of the Electrical Department at the Central Office of Measures, in regard to the processing of steady-state symmetrical currents.

Product tests and calibration refer to the final device, which the current transformer is, and the accuracy of transformation of the actual short-circuit current waveforms with an aperiodic component was checked throughout the process of developing the final design of the current transformer. This is due to the fact that meeting the condition of faithfully reconstructing the waveform of asymmetrical short circuit current with a long decay time of the constant component was the most difficult to implement and required designing, building and testing many current transformer prototypes. They were performed at the Distribution Equipment Laboratory of the Institute of Power Engineering in

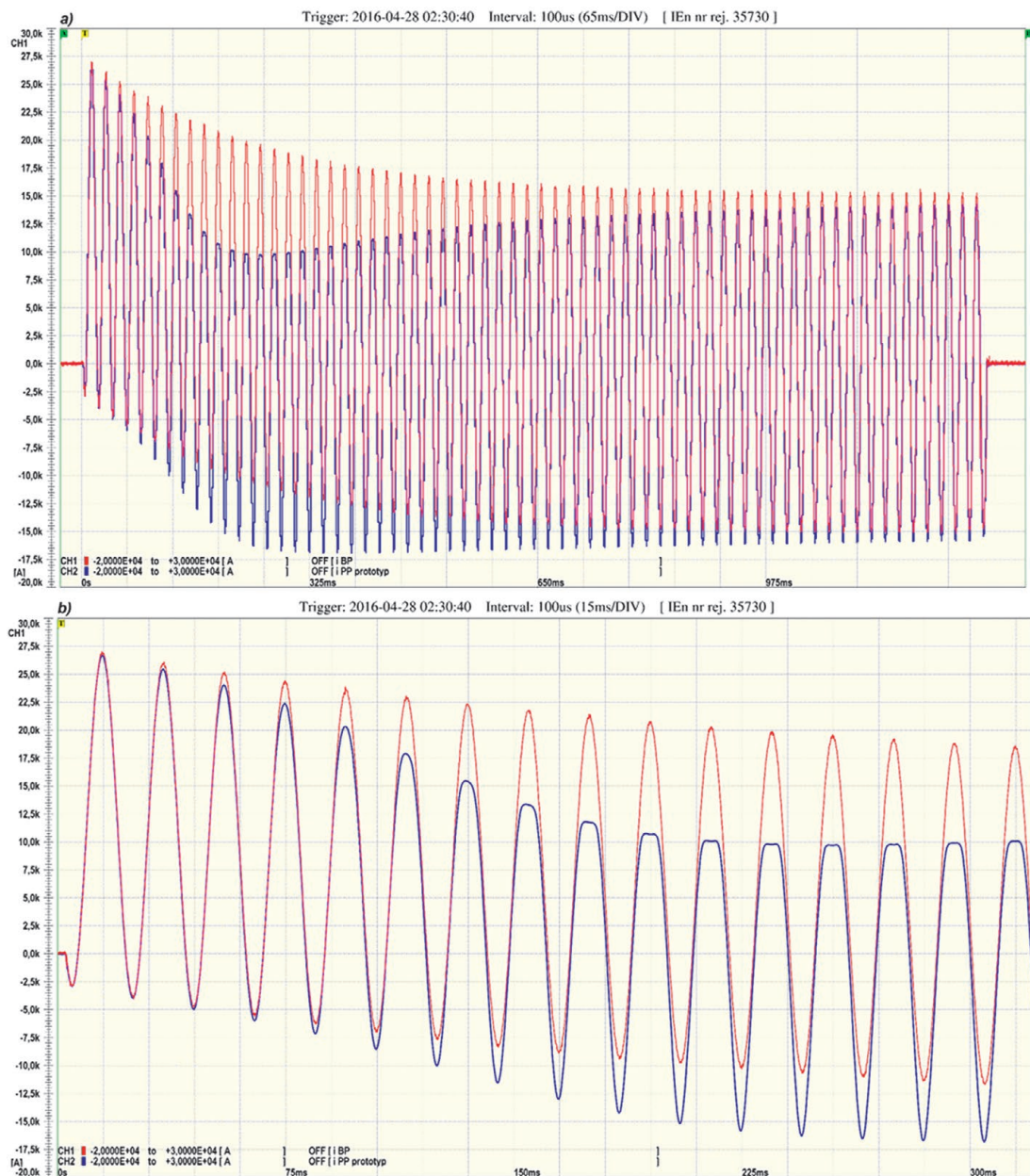


Fig. 2. Oscillogram from test checking the processing of short-circuit current with $\tau = 235$ ms for the current transformer prototype with a negative result of the verification a) Oscillogram for the entire test, b) Oscillogram of first 16 peaks of current

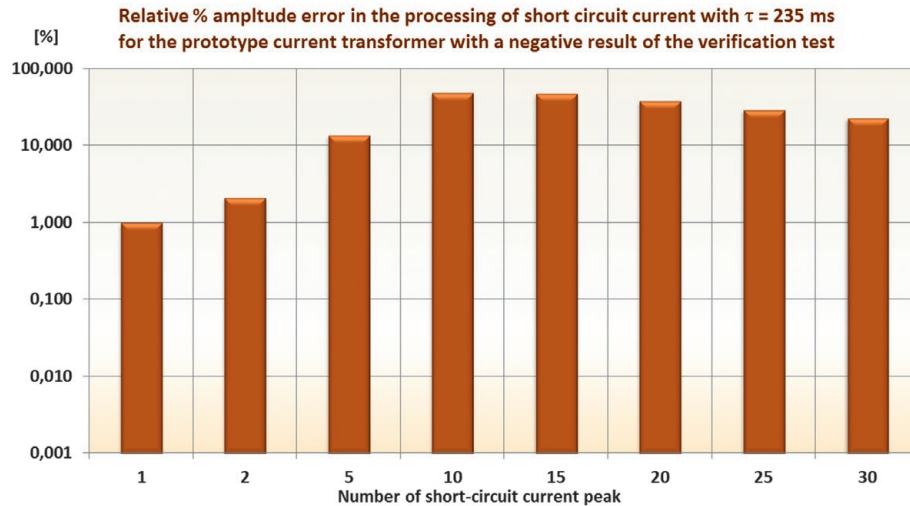


Fig. 3. Graph of relative amplitude errors on selected peaks of current waveforms from the test verifying the processing of short-circuit current with $\tau = 235$ ms for the current transformer prototype with a negative result of the verification

Warsaw, in a special, single-phase, double-loop test circuit. In a typical short-circuit circuit, it is not possible to obtain such large decay time components of the aperiodic constant.

The measuring part of the test circuit consists of the tested prototype of a current transformer and a resistive shunt regarded as a reference measuring device as well as a digital recorder for recording and comparing the two current waveforms. According to the plans, the main parameters of the short-circuit current (effective value of the periodic component, peak factor and the decay time constant of the aperiodic component) were determined for each short-circuit test and recorded using a resistive shunt. Two sets of the results of verifications are presented to illustrate the method used to verify the correctness of processing asymmetrical short-circuit current waveforms. The first is an example of a negative result for one of the working prototypes of the current transformer, while the other illustrates a positive result of checking the final version of the current transformer.

Fig. 2 shows the oscillograms from the failed attempt to check the processing accuracy of short-circuit current with a time constant $\tau = 235$ ms. Two current waveforms shown on the same time axis: from the resistive shunt, treated as a reference – in red, and from the tests prototype of a current transformer – in blue.

The lower oscillogram is the initial part of the entire test, which the upper oscillogram contains, stretched over time. Inaccuracy of processing is visible to the naked eye.

Fig. 3 shows a graph of amplitude errors on selected 8 peaks of the current waveforms being compared. For the selected 8 peaks of the larger half-waves of short circuit current (peaks no. 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25 and 30), the instantaneous values of the current waveforms being compared from the shunt (reference) and the tested prototype of a current transformer were determined, and then the relative percentage amplitude errors for each of these current peaks. The values of these errors and the shapes of current waveforms being compared were a determinant of the processing accuracy of the prototype current transformer being tested. The maximum relative error in processing (in a set

of 8 designated value) of 48.3% occurred for the verification test in the current's 10th peak. This is a definite negative result.

It was decided that for this original, non-normative method for checking the accuracy of processing an asymmetrical short circuit current waveform, successful verification occurs when the amplitude error on any of the 8 analysed current peaks will not exceed 1%, and the superimposed waveforms will not show any obvious phase shifts. For such large values (~ 200 ms) of the time constants, this criterion is very severe. Below is an example of a short-circuit test that meets these criteria.

Fig. 4 shows oscillograms from the test checking the transformation fidelity of short-circuit current with a time constant of $\tau = 193$ ms by a current transformer in its final design. As before, two current waveforms are shown on the same time axis: reference waveform from the resistive shunt – in red, and the waveform from the current transformer tested – in blue. The lower oscillogram is a portion of the upper oscillogram of the entire test stretched over time. Visually, the two current waveforms practically overlap. There is no significant phase shift between the waveforms (oscillogram 4b).

It should be noted that the verification test presented as an example was the fourth short-circuit test with the same parameters (especially the same peak polarity), with small intervals of several minutes between the tests. This represents a significant increase in the working conditions of the current transformer.

Fig. 5 shows a graph of relative amplitude errors for the selected 8 peaks of current waveforms. The highest error value occurs on peak 15 and amounts to 0.92%. According to the accepted criterion for assessing the accuracy of processing asymmetrical short-circuit current, the current transformer verification result is positive.

After checking the processing of asymmetrical short-circuit currents at the Institute of Power Engineering in Warsaw (and after product testing at TRANSFORMEX sp. z o.o. – the manufacturer), the current transformer was subjected to a verification of the measurement accuracy of symmetrical currents at the

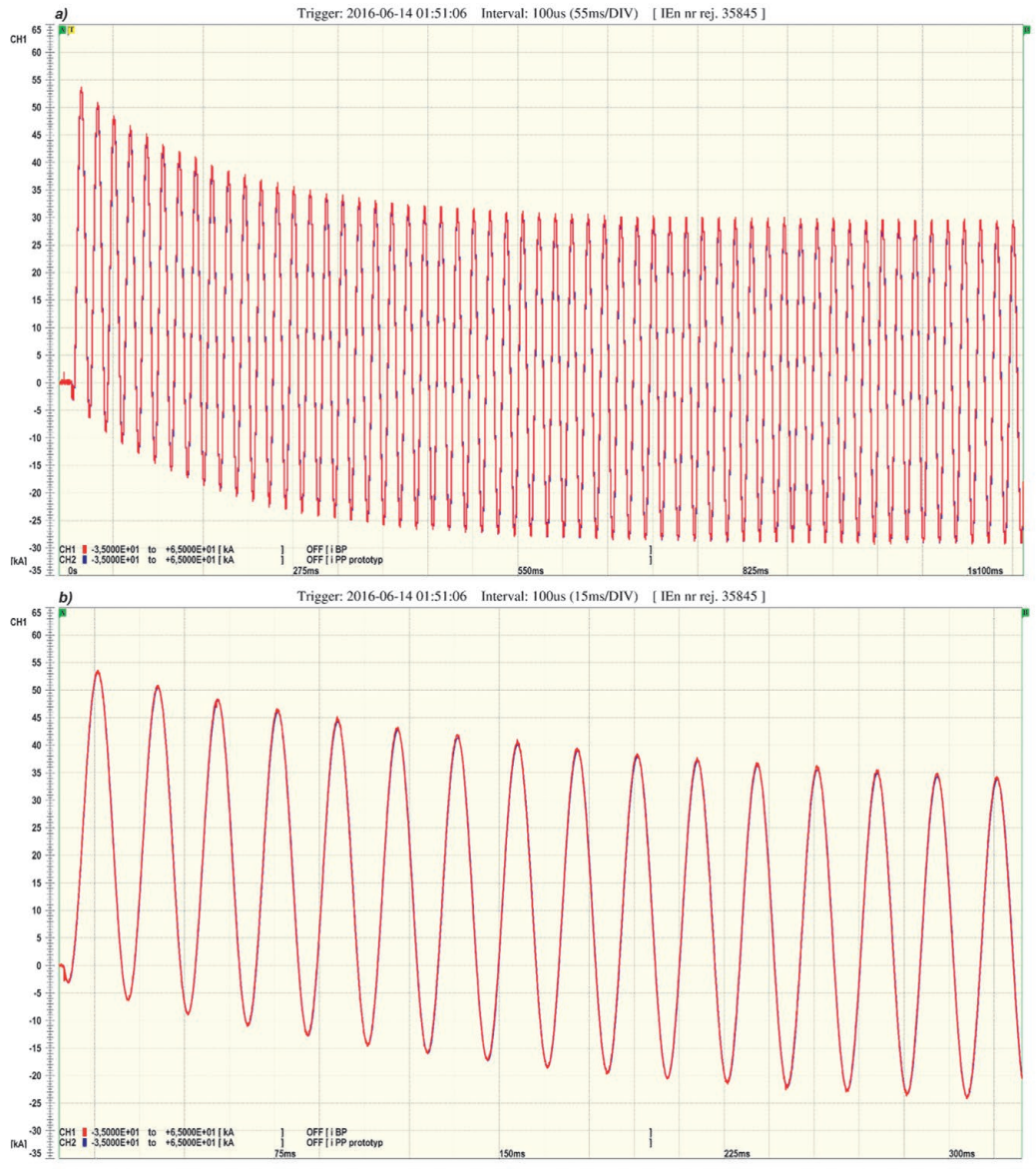


Fig. 4. Oscillogram from the verification of processing of short-circuit current with $\tau = 193$ ms for a current transformer with a positive result of the verification / a) oscillogram for the entire test, b) oscillogram of the first 16 peaks of current

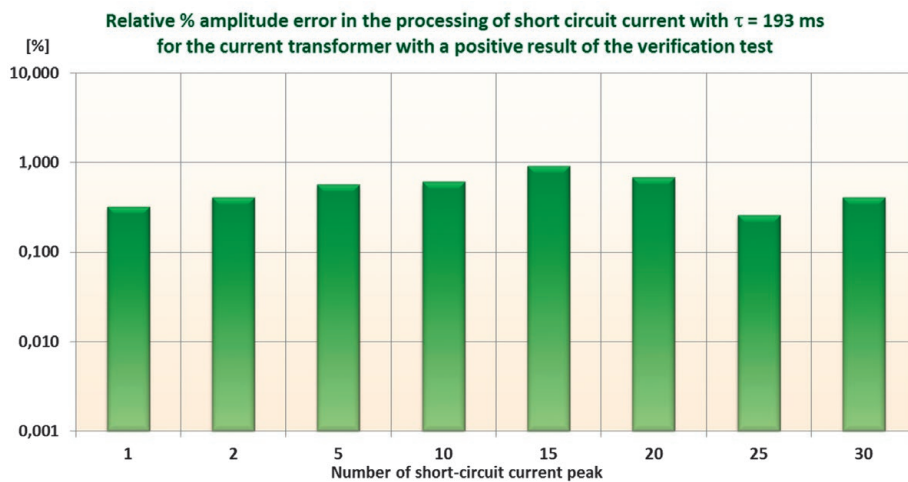


Fig. 5. Graph of relative amplitude errors on selected peaks of current waveforms from the test verifying the processing of short-circuit current with $\tau = 193$ ms for a transformer with a positive verification result

Laboratory of Low Frequency Electrical Values of the Electrical Department at the Central Office of Measures. The obtained calibration certificate confirmed the assigned accuracy class 0.2 assigned to the transformer.

6. Summary

Based on the results of the tests conducted, it should be stated that the presented universal current transformer for accurate measurement of short-circuit current meets the metrological assumptions.

REFERENCES

1. A. Wiszniewski, "Przekładniki w elektroenergetyce" [*Current transformers in power system*], WNT, Warszawa 1982.
2. A. Koszmider, J. Olak, Z. Piotrowski, "Przekładniki prądowe" [*Current transformers*], WNT, Warszawa 1985.
3. Capacitors, Magnetic Circuits and Transformers", ed. L.W. Matsch, Prentice-Hall, INC, Englewood Cliffs, N.J., 1964.
4. A. Olak, J. Olak, J. Przybysz, "Przetwornik prądowy do jednoczesnej transformacji dużych i małych prądów zwarciovych w zakresie wysokich napięć" [*The current transducer for simultaneous transformation of high and low Short-Circuit Currents in the high voltage range*], Patent P.419126, 13.10.2016.
5. С.Л. Кужиков, А.А. Дегтярев, К.В. Чердниченко, "Об обеспечении необходимой точности работы защитных трансформаторов тока в переходных режимах" [*On ensuring work accuracy of protective current transformers in transient modes*] *Электрические Станции* 2015, No. 5.
6. В.К. Ванін і ін., "Повышение достоверности работы измерительных цепей релейной защиты", *Электрические Станции* 2015 [*Increase of operation reliability of measuring circuits in power system protection*], No. 11.

Jerzy Przybysz

Institute of Power Engineering Research Institute in Warsaw
 e-mail: jerzy.przybysz@ien.com.pl

A graduate of the Electrical Engineering Department of Warsaw University of Technology, major: electrical machinery (1959). He has been an employee of the Institute of Power Engineering since 1960. In his original department, he defended his doctoral thesis in the field of turbogenerator design (1968). He received his doctoral degree at the Faculty of Electrical Engineering at the Wrocław University of Technology (2000). Jerzy Przybysz works with issues related to the operation and diagnostics of turbogenerators and hydrogenerators. He is the author of 5 books in this field, more than 100 publications in technical journals, many papers at national and international conferences and 6 patents for devices used in the power industry.

Jan Olak

TRANSFORMEX sp. z o.o. in Warsaw
 e-mail: janolak90@gmail.com

He is a graduate of the Electrical Engineering Department of Warsaw University of Technology, major: industrial electrical engineering (1961). In his original department, he completed postgraduate studies in the field of power equipment and then in the field of high voltage power equipment. His professional interests include power equipment and LV, MV and HV current-voltage transformers. He is an author and co-author of dozens of transformer designs implemented into production, for which he has received numerous awards and distinctions. He has co-authored 20 patents for power equipment (transformers, auxiliary transformers, etc.).

Zbigniew Piątek

Institute of Power Engineering Research Institute in Warsaw
 e-mail: zbigniew.piatek@ien.com.pl

He is a graduate of the Electrical Engineering Department of Warsaw University of Technology, major: power equipment. Since 1981, he has been employed at the Distribution Equipment Laboratory of the Institute of Power Engineering, where he participates in tests of medium and high voltage power equipment – mainly checking short-circuit strength and switching ability. As a measurement engineer, he has participated in network tests in a number of power facilities, such as power plants and substations. He has participated in acceptance testing for the only Polish 750 kV high-voltage line. He is a co-author of several papers presented at international scientific and technical conferences organised in Poland and the author of articles in technical journals.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 101–106. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Uniwersalny przekładnik prądowy do dokładnego pomiaru prądów zwarciovych

Autorzy

Jerzy Przybysz
Jan Olak
Zbigniew Piątek

Słowa kluczowe

przekładnik prądowy, aperiodyczna stała czasowa, badania zwarciove

Streszczenie

W artykule przedstawiono konstrukcję specjalnego przekładnika prądowego opracowanego we współpracy Instytutu Energetyki z firmą TRANSFORMEX sp. z o.o. Celem pracy było uzyskanie przekładników prądowych umożliwiających nie tylko dokładną transformację prądów przemiennych ustalonych – co jest znamienne dla typowych przekładników prądowych, ale również niesymetrycznych prądów zwarciovych zawierających składową bezokresową, których klasyczne przekładniki prądowe nie odtwarzają. Opracowano przekładnik prądowy o zakresie prądów zwarciovych ustalonych od 1 kA do 50 kA oraz prądów zwarciovych ze składową bezokresową o stałej czasowej zanikania do 200 ms, o wartości szczytowej od 2,5 kA do 125 kA, przy przyjęciu możliwości pięciokrotnego powtarzania zwarć tej samej wartości i tej samej biegunowości składowej stałej, przy założonej dokładności transformacji.

Data wpływu do redakcji: 02.02.2017

Data akceptacji artykułu: 22.03.2017

Data publikacji online: 30.03.2017

1. Wstęp

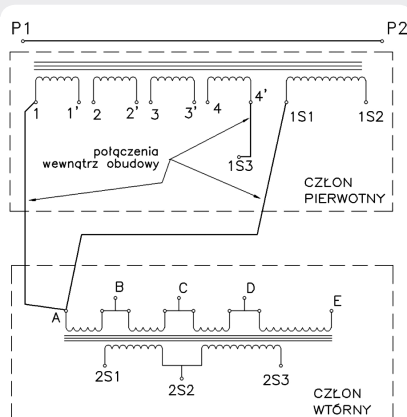
Przypisywaną przez producentów urządzeń elektroenergetycznych przeznaczonych do pracy w systemach elektroenergetycznych wytrzymałość zwarciovą – cieplną i dynamiczną należy potwierdzić przez wykonanie odpowiednich badań w specjalistycznych laboratoriach. Badanie wytrzymałości zwarciovej cieplnej wykonuje się prądem sinusoidalnym ustalonym, w czasie określonym przez odpowiednie normy przedmiotowe, a badanie wytrzymałości zwarciovej dynamicznej – prądem asymetrycznym, z przejściową składową stałą, zanikającą ze stałą czasową \bar{t} , zależną od miejsca zainstalowania urządzenia. Wartość stałej czasowej \bar{t} w praktyce mieści się w granicach 20–250 ms.

W laboratoriach wieloprądowych wykonuje się też próby nagrzewania urządzeń znamionowym ustalonym prądem sinusoidalnym. Prądy: sinusoidalny ustalony oraz asymetryczny, ze składową przejściową stałą, powinny być dokładnie mierzone, aby nie budziła wątpliwości wiarygodność badań zwarciovych. Wartości prądów ustalonych, przy których bada się aparaturę elektroenergetyczną, są bardzo różne – od kilkudziesięciu amperów do kilkudziesięciu kiloamperów. Wartości prądów udarowych, przy których bada się wytrzymałość zwarciovej dynamiczną, są 2,5 razy większe od wartości prądów ustalonych. Problemy występują przy pomiarze prądów nieustalonych, gdy w mierzonym prądzie występuje składowa stała, zanikająca

ze stałą czasową \bar{t} . Składowa stała prądu powoduje nasycenie się rdzenia przekładnika i powstawanie bardzo dużych błędów transformacji. Błędy te rosną bardzo szybko, ze wzrostem stałej czasowej \bar{t} . Ponieważ badania zwarciove i próby nagrzewania wykonuje się często w tym samym laboratorium, wygodne jest stosowanie do pomiaru prądów zwarciovych uniwersalnych przekładników prądowych, o wielu zakresach.

2. Założenia projektowe

Założenia projektowe przekładników zostały opracowane w Instytucie Energetyki, przy uwzględnieniu aktualnych potrzeb, np. niemożliwością pomiaru prądów za pomocą boczników rezystancyjnych w obwodach,



Zaciski wtórne

1000/5(A): 1S1–1S2

1000/2(A): 1S1–1S3

2.000–50.000/5(A): 2S1–2S2

2.000–50.000/2(A): 2S1–2S3



Rys. 1. Schemat połączeń uzwojeń przekładnika

Fot. 1. Przekładniki typu PPZw-30, widok ogólny

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 101–106. When referring to the article please refer to the original text.

PL

w których ze względu na ich topologie nie można uziemiać jednej strony bocznika. Założenia obejmują parametry techniczne oraz wymagania konstrukcyjno-eksploatacyjne stawiane przekładnikom:

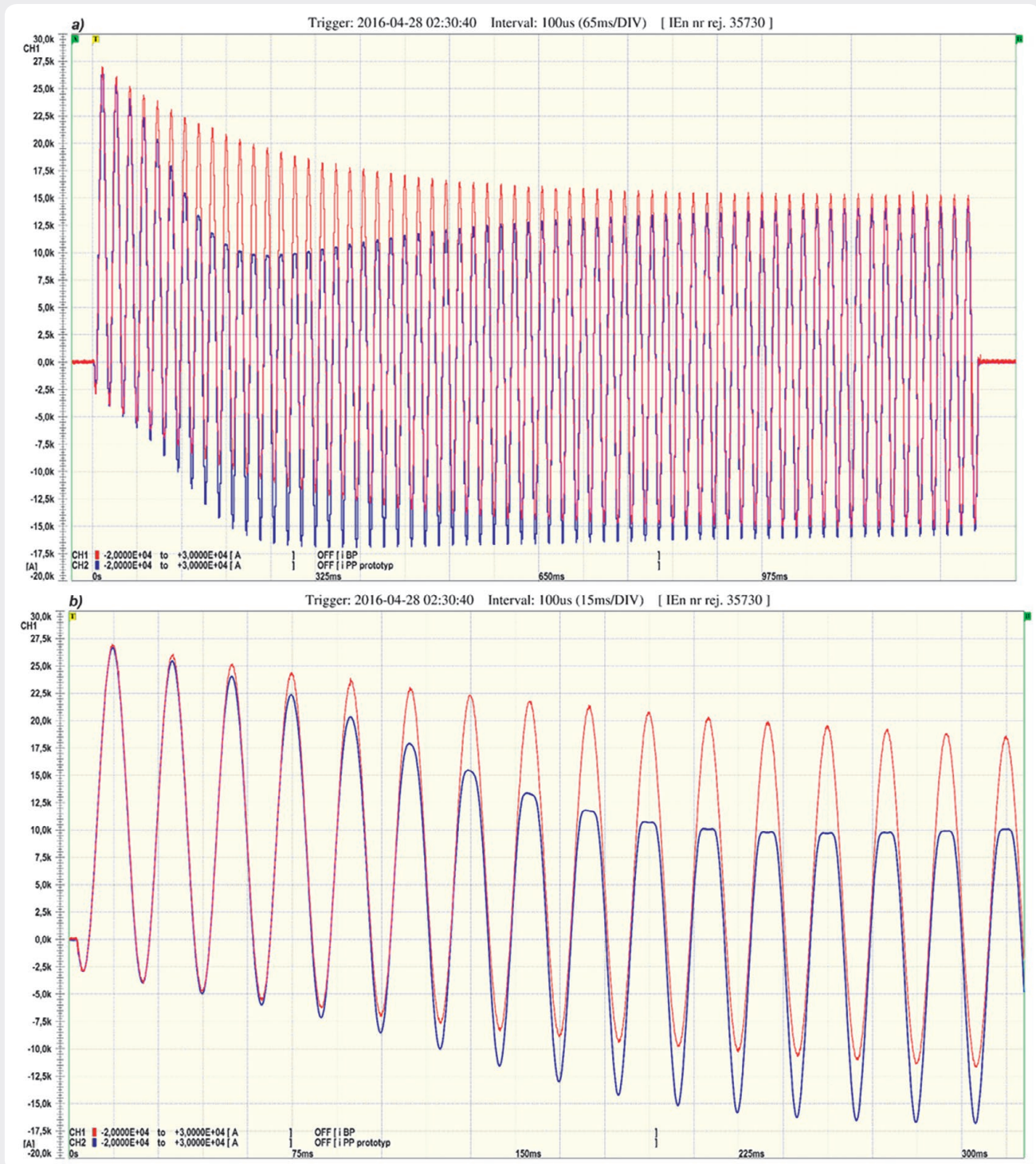
- napięcie znamionowe izolacji: 30 kV
- znamionowe prądy pierwotne: 1–2–5–10–20–50 kA
- znamionowe prądy wtórne: 5 A i 2 A
- moc znamionowa: 20 VA

- klasa dokładności: 0,2
- stała czasowa zanikania składowej stałej prądu zwarciovego: $\tau = 200$ ms
- praca ciągła: do 20 kA
- uzwojenie pierwotne: szyna toru prądowego
- przełączanie zakresów znamionowych prądów pierwotnych i wtórnych: na izolacyjnej płycie zaciskowej, po stronie wtórnej przekładnika

- konstrukcja przystosowana do transportu za pomocą wózka widłowego oraz dźwigu z linami wyposażonymi w haki
- konstrukcja przystosowana do zamocowania do podłoża.

3. Wybór rodzaju konstrukcji

Ze względu na dużą rozpiętość wartości znamionowych prądów pierwotnych 1000–50 000 A i wymaganą konstrukcję



Rys. 2. Oscylogram z próby sprawdzającej przetwarzanie prądu zwarciovego o $\tau = 235$ ms dla prototypu przekładnika prądowego o negatywnym wyniku sprawdzenia / a) oscylogram z całej próby, b) oscylogram pierwszych 16 szczytów b) przebiegu prądowego

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 101–106. When referring to the article please refer to the original text.

PL

„przelotową”, w której uzwojenie pierwotne stanowi jedna szyna, a więc znamionowy prąd pierwotny odpowiada znamionowemu przepływowi przekładnika, wybór rodzaju konstrukcji nie jest oczywisty. Dla dużych wartości prądu, większych od 2000 A, stosuje się konstrukcje kaskadowe. Przy przekładni 50 000/5 A/A, dla konstrukcji jednoczłonowej, konieczne byłoby nawinięcie uzwojenia wtórnego, liczącego 25 000 zwojów, co byłoby czynnością bardzo pracochłonną, powodowało znaczne powiększenie wymiarów przekładnika i sprawiło, że w uzwojeniu wtórnym indukowałyby się bardzo wysokie napięcia w przypadku nieumyślnego rozwarcia zacisków wtórnych. Tak więc dla znamionowych prądów pierwotnych 2000–50 000 A przyjęto konstrukcję kaskadową (dwuczłonową).

Na rdzeniu członu pierwotnego z oknem na szynę toru prądowego jest nawinięte uzwojenie wiążące, przełączalne dla różnych zakresów prądu pierwotnego (2–5–10–20–50 kA), które jest połączone z uzwojeniem pierwotnym członu wtórnego, nawiniętym z odczepami tak dobranymi, aby przepływ znamionowy wtórnego członu wynosił zawsze 2000 A dla wszystkich zakresów pomiarowych przekładnika (2–5–10–20–50 kA). Uzwojenie wtórne członu wtórnego jest nawinięte na znamionowe prądy wtórne 5 A i 2 A.

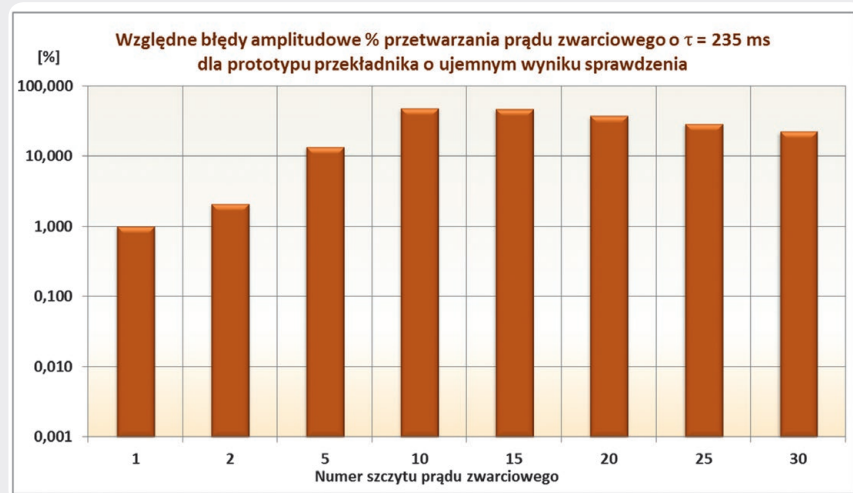
Dla prądu pierwotnego 1000 A konstrukcja kaskadowa jest bardzo niekorzystna, gdyż przy przepływie znamionowym 1000 A, gdy wtórny człon obciąża człon pierwotny, dokładność transformacji byłaby mała, a dla jej poprawienia konieczne byłoby powiększenie przekroju rdzenia członu pierwotnego, co spowodowałoby powiększenie masy i kosztów przekładnika. W związku z tym dla prądu pierwotnego 1000 A przyjęto konstrukcję jednoczłonową. Dla przekładni 1000/5 A/A na rdzeniu członu pierwotnego nawinięto dodatkowe uzwojenie wtórne i z tą przekładnią pracuje tylko człon pierwotny jako przekładnik jednoczłonowy (zaciski wtórne IS1–IS2, rys. 1).

Dla przekładni 1000/2 A/A uzwojenie wtórne przekładnika jednoczłonowego stanowią połączone szeregowo cztery sekcje uzwojenia wiążącego, nawinięte na rdzeniu członu pierwotnego (zaciski wtórne IS1–IS3, rys. 1). Schemat połączeń uzwojeń przekładnika przedstawiony jest na rys. 1. (Zgłoszenie patentowe P-419 196 z dnia 13.10.2016)

4. Opis budowy przekładnika

Przekładnik jest zbudowany w postaci dwóch członów:

- pierwotnego, składającego się z pierścieniowego rdzenia z wysokogatunkowej stali magnetycznej z nawiniętym uzwojeniem wiążącym i dodatkowym uzwojeniem wtórnym, w oknie którego jest umieszczony izolacyjny przepust rurowy, umożliwiający przełożenie szyny będącej częścią obwodu prądowego
- wtórnego, umieszczonego w górnej części przekładnika, z uzwojeniami: pierwotnym, stanowiącym uzwojenie wiążące przekładnika kaskadowego, i wtórnym, pełniącym funkcję uzwojenia wtórnego przekładnika kaskadowego (dla prądów pierwotnych 2–5–10–20–50 kA).



Rys. 3. Wykres względnych błędów amplitudowych na wybranych szczytach przebiegów prądowych z próby sprawdzającej przetwarzanie prądu zwarciego o $\tau = 235$ ms dla prototypu przekładnika o negatywnym wyniku sprawdzenia

Obydwa człony są zamocowane w szkieletowej metalowej konstrukcji nośnej z izolacyjnymi ścianami i pokrywą. Jedna ze ścian jest wykorzystana jako płyta zaciskowa z zaciskami, do których są podłączone wyprowadzenia wszystkich uzwojeń wiążących i wtórnych. Przełączanie zakresów znamionowych prądów pierwotnych odbywa się za pomocą specjalnych łączników stanowiących elementy przekładnika. Wybór wartości znamionowego prądu wtórnego dokonuje się poprzez podłączenie rejestratorów przebiegów do odpowiednich, opisanych zacisków wtórnych.

5. Badania

Omawiany przekładnik prądowy poddany został weryfikacji metrologicznej polegającej na wykonaniu badań składających się z:

- prób wyrobu wykonywanych w firmie TRANSFORMEX sp. z o.o.
- sprawdzenia dokładności przetwarzania przebiegów prądu zwarciego ze składową bezokresową o dużych stałych czasowych, wykonaną w Laboratorium Urządzeń Rozdzielczych Instytutu Energetyki w Warszawie
- wzorcowania w Laboratorium Wielkości Elektrycznych Małej Częstotliwości Zakładu Elektrycznego w Głównym Urzędzie Miar, w zakresie przetwarzania prądów ustalonych symetrycznych.

Próba wyrobu i wzorcowanie odnoszą się do finalnego urządzenia, jakim jest przekładnik prądowy, natomiast próby sprawdzania dokładności transformacji rzeczywistych przebiegów prądów zwarciego ze składową aperiodyczną wykonywane były w ciągu całego procesu opracowywania ostatecznej konstrukcji tego przekładnika prądowego. Wynika to z tego, że spełnienie warunku wiernego odtwarzania przebiegu prądu zwarciego niesymetrycznego o długim czasie zanikania składowej stałej było najtrudniejsze do zrealizowania i wymagało opracowania, wykonania i badania wielu prototypów przekładnika. Wykonywano je w Laboratorium Urządzeń Rozdzielczych Instytutu Energetyki

w Warszawie, w specjalnym, jednofazowym, dwuoczkowym obwodzie probierczym. W typowym obwodzie zwarcim nie ma bowiem możliwości uzyskania tak dużych stałych czasowych zanikania składowej aperiodycznej.

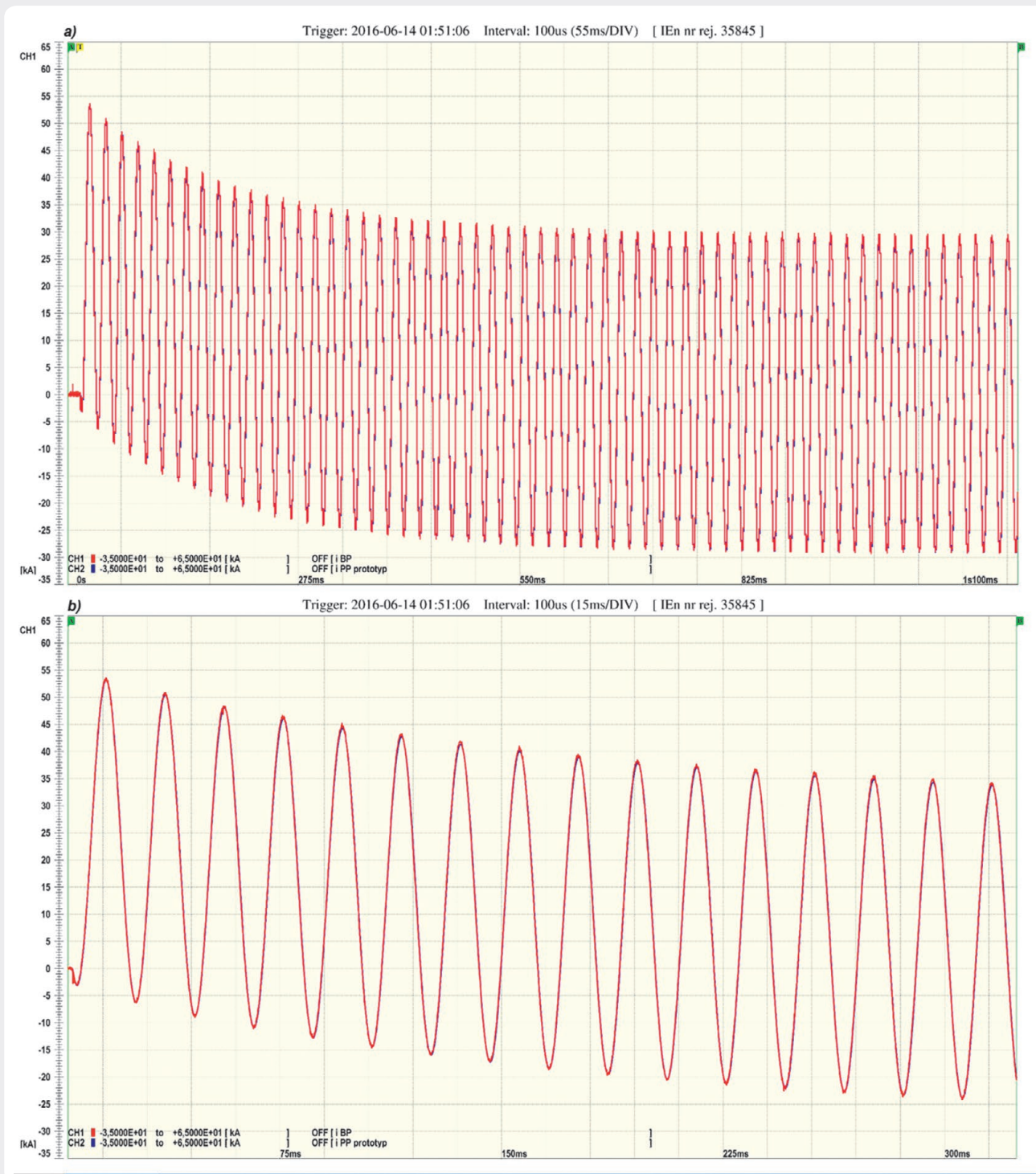
Część pomiarową obwodu probierczego stanowią: badany prototyp przekładnika prądowego i rezystancyjny bocznik prądowy traktowany jako przetwornik odniesienia (wzorzec) oraz rejestrator cyfrowy umożliwiający zapis i porównywanie dwóch przebiegów prądowych. Zgodnie z ustaleniami dla każdej próby zwarcim wyznaczane były główne parametry prądu zwarciego (wartość skuteczna składowej okresowej, współczynnik udaru oraz stała czasowa zanikania składowej aperiodycznej) zarejestrowanego przy użyciu bocznika rezystancyjnego. Dla zobrazowania przyjętej metody weryfikacji poprawności przetwarzania niesymetrycznych przebiegów zwarcim przedstawiono przykładowe dwa zestawy wyników sprawdzeń. Jako pierwszy zaprezentowano przykład wyniku negatywnego dla jednego z roboczych prototypów przekładnika, natomiast przykład drugi ilustruje pozytywny wynik sprawdzenia finalnej wersji przekładnika prądowego.

Na rys. 2 przedstawiono oscylogramy z negatywnej próby sprawdzającej dokładność przetwarzania prądu zwarciego o stałej czasowej $\tau = 235$ ms. Na wspólnej osi czasowej umieszczone są dwa przebiegi prądowe: z bocznika rezystancyjnego traktowanego jako wzorzec – kolor czerwony oraz z badanego prototypu przekładnika prądowego – kolor niebieski.

Dolny oscylogram jest rozciągnięciem w czasie początkowej części całej próby, którą zawiera górny oscylogram. Niedokładność przetwarzania widoczna jest gołym okiem. Na rys. 3 przedstawiono wykres błędów amplitudowych na wybranych 8 szczytach porównywanych przebiegów prądowych. Dla wybranych 8 szczytów większych półfal prądu zwarciego (szczyty: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25 i 30) wyznaczano wartości chwilowe porównywanych przebiegów

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 101–106. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 4. Oscylogram z próby sprawdzającej przetwarzanie prądu zwarciego o $\tau = 193$ ms dla przekładnika prądowego o pozytywnym wyniku sprawdzenia / a) oscylogram z całej próby; b) oscylogram pierwszych 16 szczytów przebiegu prądowego

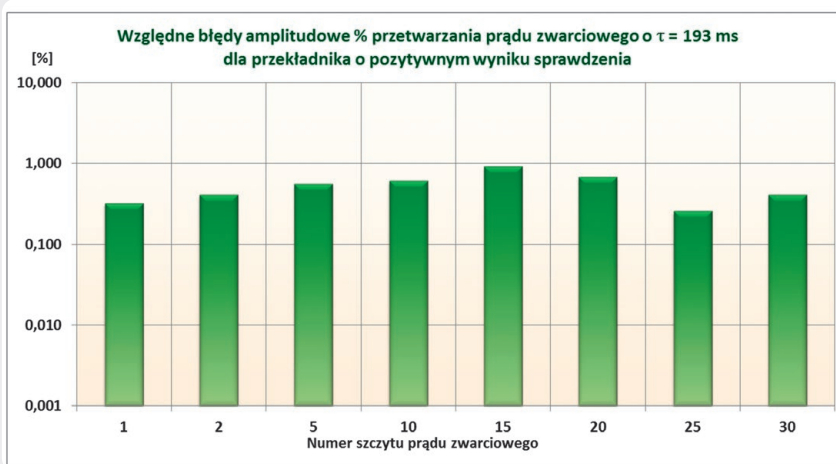
prądowych z bocznika (wzorca) i sprawdza- nego prototypu przekładnika prądowego, a następnie względne procentowe błędy amplitudowe dla każdego z tych szczytów prądu. Wartości tych błędów oraz kształty porównywanych przebiegów prądowych stanowiły wyznacznik poprawności przetwarzania badanego prototypu przekład- nika. Maksymalny błąd względny przetwar- zania (w zbiorze 8 wyznaczonych wartości),

wynoszący 48,3%, wystąpił dla tej próby sprawdzającej na 10 szczycie prądu. Jest to wynik zdecydowanie negatywny. Uznano, że dla tej autorskiej, nienorma- tywnej metody sprawdzania dokładności przetwarzania niesymetrycznego przebiegu prądu zwarciegowego pozytywny wynik wery- fikacji wystąpi wtedy, gdy błąd amplitudowy na żadnym z analizowanych 8 szczytów prądu nie przekroczy 1% oraz nałożone

na siebie przebiegi nie będą wykazywały widocznych przesunięć fazowych. Dla tak dużych (~200ms) wartości stałych czasow- ych jest to kryterium bardzo ostre. Poniżej przedstawiono przykładową próbę zwarcio- wą spełniającą te kryteria. Na rys. 4 zamieszczono oscylogramy z próby sprawdzającej wierność transformacji prądu zwarciegowego o stałej czasowej $\tau = 193$ ms przez przekładnik prądowy w swej

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 101–106. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 5. Wykres względnych błędów amplitudowych na wybranych szczytach przebiegów prądowych z próby sprawdzającej przetwarzanie prądu zwarcowego o $\tau = 193$ ms dla przekładnika o pozytywnym wyniku sprawdzenia

ostatecznej wersji konstrukcyjnej. Tak jak poprzednio, na wspólnej osi czasowej umieszczono dwa przebiegi prądowe: przebieg odniesienia z bocznika rezystancyjnego – kolor czerwony oraz przebieg z badanego przekładnika prądowego – kolor niebieski. Dolny oscylogram jest rozciągniętym w czasie fragmentem oscylogramu górnego

z całej próby. Wizualnie oba przebiegi prądowe praktycznie się pokrywają. Między przebiegami nie występuje znaczące przesunięcie fazy (oscylogram 4b).

Należy zaznaczyć, że prezentowana jako przykładowa próba sprawdzająca była czwartą z kolei próbą zwarciovą o tych samych parametrach (szczególnie o tej

samej biegunowości udaru), przy niewielkich, kilkuminutowych odstępach czasowych między próbami. Stanowi to znaczne zaostrożenie warunków pracy przekładnika prądowego.

Na rys. 5 przedstawiono wykres względnych błędów amplitudowych dla wybranych 8 szczytów przebiegów prądowych. Największa wartość błędu występuje na szczycie nr 15 i wynosi 0,92%. Zgodnie z przyjętym kryterium oceny dokładności przetwarzania niesymetrycznego prądu zwarciovego wynik sprawdzenia przekładnika jest pozytywny.

Po sprawdzeniu przetwarzania prądów zwarciovych niesymetrycznych w Instytucie Energetyki w Warszawie (oraz po próbach wyrobu w TRANSFORMEX sp. z o.o. – u producenta) przekładnik poddano sprawdzeniu dokładności pomiarowej prądów ustalonych symetrycznych w Laboratorium Wielkości Elektrycznych Małej Częstotliwości Zakładu Elektrycznego w Głównym Urzędzie Miar. Uzyskane świadectwo wzorcowania potwierdziło przypisaną przekładnikowi klasę dokładności 0,2.

6. Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że prezentowany uniwersalny przekładnik prądowy do dokładnego pomiaru prądów zwarciovych spełnia przyjęte założenia metrologiczne.

Jerzy Przybysz

dr hab. inż., prof. IE
Instytut Energetyki Instytut Badawczy w Warszawie
e-mail: jerzy.przybysz@ien.com.pl

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, kierunek: maszyny elektryczne (1959). Od 1960 roku jest pracownikiem Instytutu Energetyki. Na swoim macierzystym wydziale obronił pracę doktorską z zakresu konstrukcji turbogeneratorów (1968). Na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej uzyskał stopień doktora habilitowanego (2000). Zajmuje się zagadnieniami eksploatacji i diagnostyki turbo- i hydrogeneratorów. Jest autorem 5 książek z tego zakresu, ponad 100 publikacji w czasopismach technicznych, wielu referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz 6 patentów na urządzenia stosowane w energetyce.

Jan Olak

mgr inż.
TRANSFORMEX sp. z o.o. w Warszawie
e-mail: janolak90@gmail.com

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, kierunek: elektrotechnika przemysłowa (1961). Na swoim macierzystym wydziale ukończył studia podyplomowe z zakresu aparatów elektroenergetycznych, a następnie z zakresu aparatów elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Jego zainteresowania zawodowe obejmują: aparaturę elektroenergetyczną i przekładniki prądowo-napięciowe dla nn, SN WN. Autor i współautor kilkudziesięciu konstrukcji przekładników wdrożonych do produkcji, za które otrzymał liczne nagrody i odznaczenia. Współautor 20 patentów dotyczących urządzeń dla energetyki (przekładniki, transformatory potrzeb własnych i in.).

Zbigniew Piątek

inż.
Instytut Energetyki Instytut Badawczy w Warszawie
e-mail: zbigniew.piątek@ien.com.pl

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, kierunek: aparaty elektryczne. Od 1981 roku zatrudniony jest w Laboratorium Urządzeń Rozdzielczych Instytutu Energetyki, gdzie bierze udział w badaniach urządzeń elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć – głównie sprawdzania wytrzymałości zwarcioviej i zdolności łączenia. Jako pomiarowiec brał udział w badaniach sieciowych w wielu obiektach elektroenergetycznych, takich jak elektrownie i rozdzielnie. Uczestniczył w badaniach odbiorczych jedynej w Polsce linii wysokiego napięcia 750 kV. Jest współautorem kilku referatów wygłaszanych na międzynarodowych konferencjach naukowo-technicznych organizowanych w kraju oraz autorem artykułów w branżowych czasopismach technicznych.