

**REZYSTANCYJNY DZIELNIK NAPIĘCIA DO POMIARÓW  
WYŻSZYCH HARMONICZNYCH W SIECIACH 400 KV****Grzegorz Blajszczak,**  
PSE Operator S.A.**Jan Olak**  
Transformex Sp z o.o.

W artykule przedstawiono szczegółowy opis rezystancyjnego, pomiarowego dzielnika napięcia. Dzielnik został zaprojektowany i zbudowany przez firmę Transformex przy współpracy z PSE Operator i jest przeznaczony do pracy w sieciach 400 kV. Zadaniem dzielnika jest obniżenie badanego napięcia do wartości akceptowalnej przez elektroniczne urządzenia pomiarowe. Dzięki charakterystyce niezależnej od częstotliwości, dzielnik może służyć do precyzyjnych pomiarów odkształceń napięcia. W artykule przedstawiono charakterystyki pomiarowe dzielnika

**CEL BUDOWY DZIELNIKA NAPIĘCIA**

Monitorowanie wyższych harmoniczných i innych parametrów jakości energii prowadzone jest w sieciach elektrycznych na wszystkich poziomach napięć. Wynika to nie tylko z konieczności spełnienia wymagań prawnych, ale również z konsekwencji technicznych niedotrzymania tych parametrów. Pomiary parametrów napięcia wymagają obniżenia badanego napięcia do poziomu akceptowalnego przez elektroniczne przyrządy pomiarowe. W tym celu wykorzystuje się obecnie odczepy w transformatorach przesyłowych lub transformatory pomiarowe. Transformatory stosowane w energetyce projektowane są do pracy przy częstotliwości 50 Hz, a dla wyższych częstotliwości ich charakterystyki są na ogół nieznanne. Analizując schemat zastępczy transformatora można zauważyć wpływ indukcyjności i licznych nieliniowości na charakterystyki w dziedzinie częstotliwości. Jednocześnie wymagania stawiane pomiarom są bardzo wysokie. Celem pomiarów jest na ogół sprawdzenie nie przekroczenia wartości dopuszczalnych poszczególnych parametrów. Przykładowo, maksymalne wartości dopuszczalne wyższych harmoniczných (w sieciach o napięciu wyższym lub równym 110 kV) wynoszą od 0,5% do 2% w zależności od rzędu harmonicznej. Wielkości te muszą być zmierzone z zadowalającą dokładnością.

W celu stworzenia precyzyjnego i wiarygodnego narzędzia pomiarowego PSE Operator przy współpracy z firmą Transformex rozpoczął projekt budowy i wdrożenia rezystancyjnego dzielnika pomiarowego przeznaczonego do pracy w liniach 400 kV. Dzielnik rezystancyjny jest pozbawiony większości wad, które posiadają transformatory i teoretycznie powinien przenosić wszystkie częstotliwości i stochastyczne zakłócenie bez żadnych zniekształceń. Prace projektowe rozpoczęto jeszcze w 2009 r. Budowę urządzenia do pomiarów wyższych harmoniczných w sieciach 400 kV zakończono w czerwcu 2010 r.

We wrześniu 2010 r., po licznych próbach i testach, PSE Operator podjął decyzję o zainstalowaniu pomiarowego dzielnika rezystancyjnego w stacji 400 kV Narew. Urządzenie będzie spełniać dwa główne cele.

Pierwszym z nich jest precyzyjny pomiar parametrów napięcia: wyższych harmonicznyc, częstotliwości oraz pojedynczych zakłóceń (np. stromości przepięć lub zapadów).

Drugim celem jest porównywanie charakterystyk dzielnika rezystancyjnego i wybranych transformatorów pomiarowych. Na podstawie porównania pomiarów będzie można określić przydatność badanych transformatorów do pomiarów wyższych harmonicznyc, a w niektórych przypadkach określić współczynniki korekcyjne.

## PROJEKT I KONSTRUKCJA URZĄDZENIA DO POMIARÓW WYŻSZYCH HARMONICZNYCH NAPIĘCIA .

Urządzenie do pomiarów wyższych harmonicznyc napięcia składa się z następujących podzespołów:

- rezystancyjnego dzielnika napięcia;
- przetwornika światłowodowego-część nadawcza i odbiorcza z kablem o długości 300m;
- elektronicznego wzmacniacza sygnałów.

Konstrukcja dzielnika pokazana została na Rys. 1. Schemat elektryczny dzielnika przedstawia Rys.2. Rezystancyjny dzielnik napięcia zawiera w sobie bardzo dokładnie dobrany układ pojemnościowego sterowania rozkładu napięcia, niezwykle ważny dla dokładności przenoszenia wyższych harmonicznyc. Elementy rezystancyjne i pojemnościowe zostały tak dobrane, aby rozkład napięcia był liniowy wzdłuż całej wysokości dzielnika niezależnie od rodzaju napięcia mierzonego, t.j. dla napięcia stałego i przemiennego do 10.000Hz. Do wykonania dzielnika zastosowano rezystory o dużej dokładności i stabilności. Specjalnie zaprojektowane kondensatory sterujące wysokiego napięcia zostały wykonane w Instytucie Tele-Radiotechnicznym w Warszawie.

Dzielnik jest przystosowany do transportu samochodowego w pozycji pochylonej.

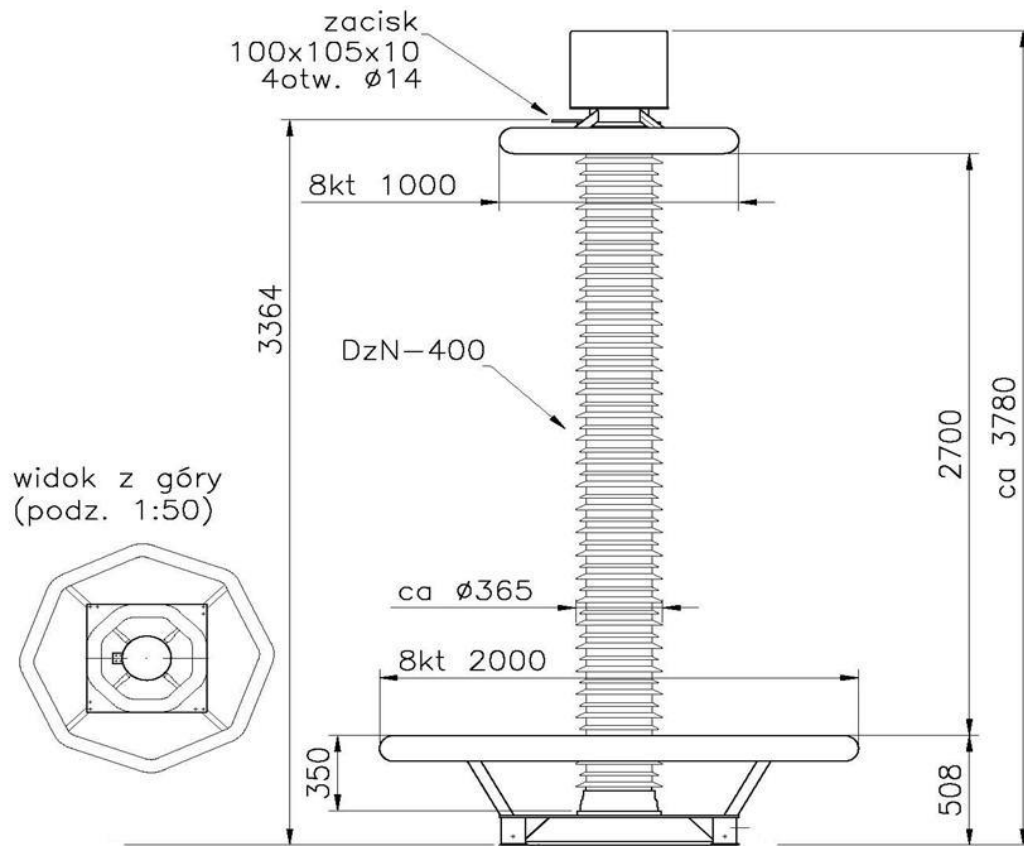
Schemat blokowy pełnego układu pomiarowego pokazano na Rys. 3.

W szafce sterowniczej Firmy RITTAL jest umieszczony człon niskonapięciowy dzielnika napięcia oraz część nadawcza przetwornika światłowodowego AFL-500 , Firmy M.A.A. Lab Systems Ltd. z zasilaczem. Kabel światłowodowy o długości 300 m, umożliwia przesłanie sygnału pomiarowego z pola wysokiego napięcia do nastawni. Klimatyzowana szafka napowietrzna zapewnia właściwe warunki pracy, gwarantujące żadaną dokładność przetwornika światłowodowego, niezależnie od warunków zewnętrznych.

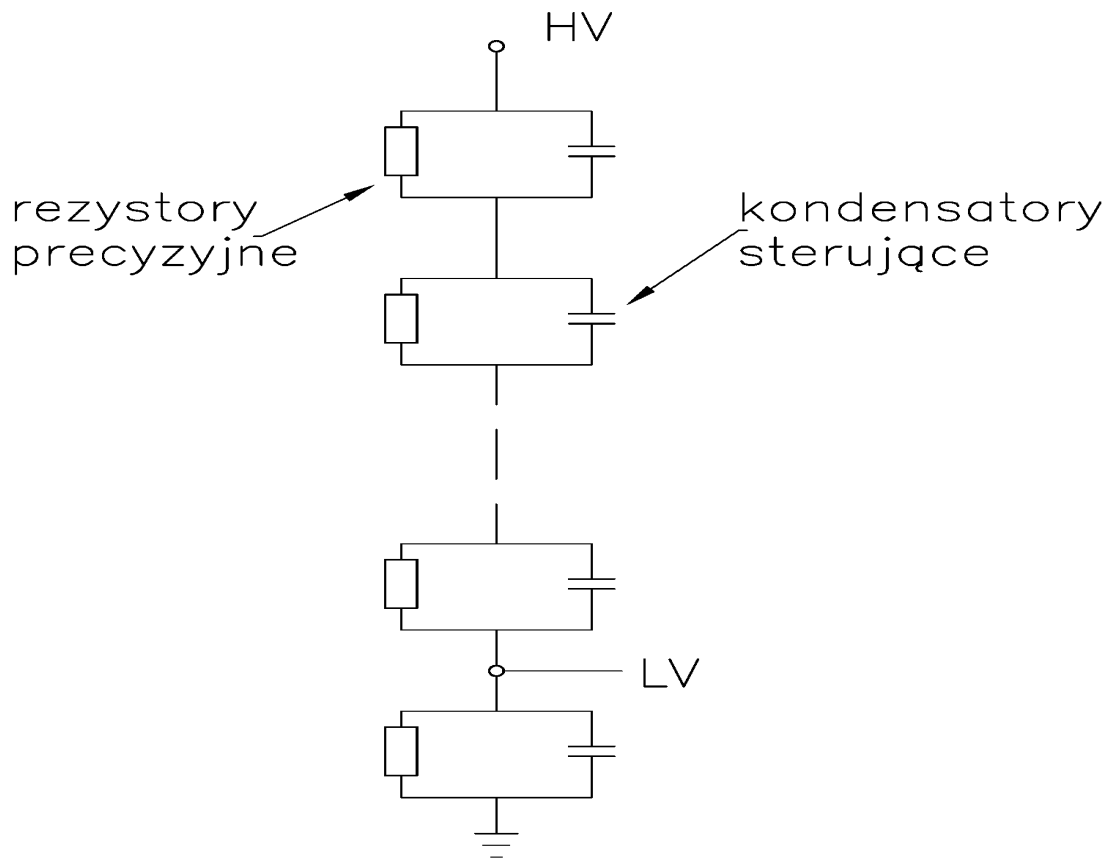
Sygnał pomiarowy przesyłany światłowodem jest przetworzony w nastawni na sygnał elektryczny przez część odbiorczą przetwornika AFL-500 i jest wzmacniony przez wzmacniacz sygnałów WZS 3,5/57,8 ,wykonany w Katedrze Przekładników Politechniki Łódzkiej. Parametry kompletnego układu pomiarowego odpowiadają typowym parametrom przekładnika napięciowego do pomiarów, zgodnie z normą

PN-EN 60044-2. (  $U_{2n}=100:\sqrt{3}$  V ; 10VA, kl. 0,2 )

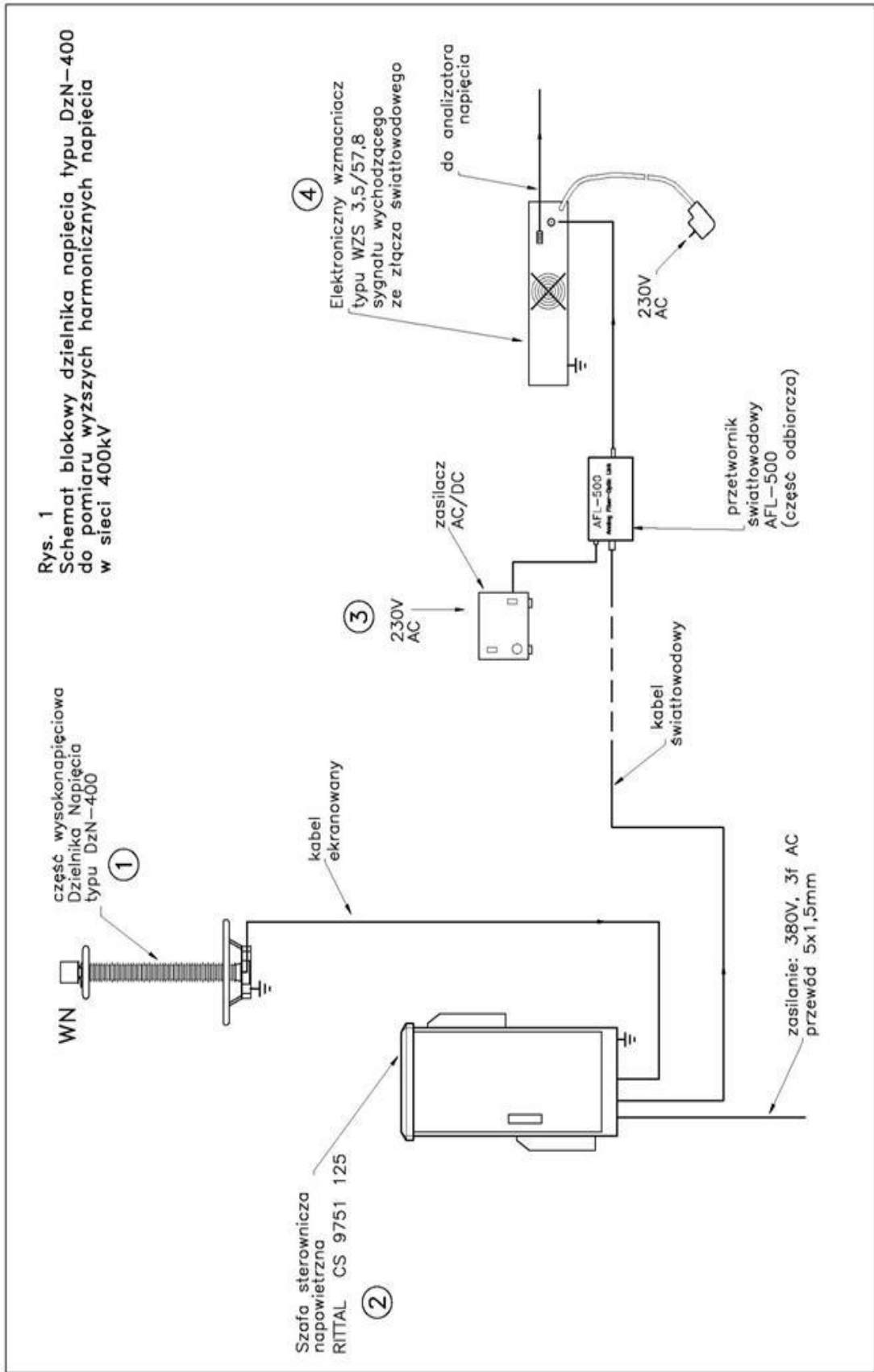
Rys. 4 przedstawia dzielnik przygotowywany do badań w Laboratorium Wysokich Napięć, a Rys. 5 – klimatyzowaną szafkę sterowniczą firmy Rittal.



Rys. 1. Konstrukcja części wysokonapięciowej dzielnika napięcia



Rys.2 . Schemat elektryczny dzielnika napięcia.



Rys. 3. Schemat blokowy kompletnego urządzenia do pomiaru wyższych harmonicznych napięcia.



Rys. 4. Montaż dzielnika napięcia



Rys. 5. Szafa sterownicza (firmy Rittal)

## CHARAKTERYSTYKI POMIAROWE

Dzielnik napięcia przeszedł badania w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Energetyki (Warszawa, ul. Mory) w zakresie zakłóceń radioelektrycznych, prób napięciem udarowym piorunowym, prób napięciem udarowym łączeniowym i sprawdzanie dokładności zgodnie z procedurami określonymi w normach PN 60044-2, PN 04060, CISPR 18-2. Kolejne badania łącznie z charakterystyką przenoszenia wyższych częstotliwości zostały wykonane w Instytucie Elektrotechniki (Warszawa-Międzylesie).

Dzielnik napięcia przeznaczony jest do pomiarów w sieciach 400 kV. Sieci określane są przez podanie napięcia przewodowego. Dzielnik podczas wykonywania pomiarów podłączany jest do napięcia fazowego wynoszącego  $400/\sqrt{3}$  kV. Badania charakterystyk częstotliwościowych wykonano w zakresie od zera (składowej stałej) do 10 kHz. W rzeczywistych warunkach dzielnik będzie wykorzystywany do pomiarów składowych harmonicznych do 50-harmonicznej (tj. 2,5 kHz) - czyli w jednej czwartej badanego zakresu. Dokładność przenoszenia wyższych harmonicznych opisywana liczbowo w dalszej części artykułu (rysunki 8, 9 i 10) jest wyrażona względem wartości danej harmonicznej po stronie wysokiego napięcia (a nie względem napięcia 50 Hz).

Najważniejsze wyniki badań zostały potwierdzone certyfikatem wydanym przez Instytut Elektrotechniki (Warszawa-Międzylesie) - Rys. 7 i 8.



Rys. 6. Dzielnik napięcia podczas prób napięciem udarowym łączeniowym pod deszczem.



# Instytut Elektrotechniki Electrotechnical Institute

Certyfikat Systemu Jakości / Certificate of Quality System: PCBC 976/3/2009  
Jednostka Notyfikowana Nr / Notified body No: 1460 (AC073; AB074; AB022; AP102)

04-703 WARSZAWA ul. M. Pożaryskiego 28; tel./fax.: (48) 22 812 04 07



## CERTYFIKAT<sub>WN</sub>

### CERTIFICATE<sub>HV</sub>

## Nr/No. 0869/NBR/2010

Wydany na podstawie § 4 ust.4 p.2 Statutu Instytutu Elektrotechniki o badaniach, atestowaniu i certyfikacji aparatów i urządzeń elektrycznych oraz w oparciu o pismo Ministerstwa Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej Nr DIN-V/RK/62/2004 z dnia 8.04.2004 r. uprawniające Instytut Elektrotechniki do wydawania opinii o jakości aparatury i urządzeń elektrycznych wysokiego i niskiego napięcia, prądu przemiennego i stałego oraz wszelkiego sprzętu, oprzyrządowania i komponentów zasilanych energią elektryczną lub przeznaczonych do pracy pod napięciem a także z upoważnienia Short-Circuit Testing Liaison (STL) do wydawania Certyfikatów Badania Typu.

Issued on the basis of § 4 clause 4 p.2 of the Electrotechnical Institute Statute connected with testing attestation and certification of electrical apparatus and the Ministry of Economy, Labour and Social Policy disposition No. DIN-V/RK/62/2004 of 8.04.2004 relating to the authorisation of the Electrotechnical Institute to issue the opinions on the quality of high and low voltage, alternating and direct current electrical apparatus, devices and every equipment, instrumentation and components supplied by electrical energy or designated for live working and according to the Short-Circuit Testing Liaison (STL) authorization for issue Type Test Certificates

*Dla: / For:*

**TRANSFORMEX Sp. z o.o.**

Ul. Jachtowa 5; 04 - 965 Warszawa

**Polskie Sieci Elektroenergetyczne Operator S.A.**

Ul. Warszawska 165; 05 - 520 Konstancin-Jeziorna

*Dotyczy wyrobu: / Applies to the product:*

**Dzielnik Napięcia**  
*typu DzN-400*

**do pomiaru wyższych harmonicznych napięcia  
w sieciach elektroenergetycznych 400 kV**

**Voltage Divider**  
*Type DzN-400*

**for higher harmonics measuring  
in power electrical lines 400 kV**

Certyfikat stanowi podstawę przyjmowania do eksploatacji, wyżej wymienionych wyrobów, dla Zakładów Energetycznych, Elektrowni, Zakładów Przemysłowych oraz innych Przedsiębiorstw wytwarzających, przesyłających lub użytkujących energię elektryczną.

Certificate is the basis for implementation of above mentioned products for Power Engineering Plants, Electric Power Stations, Industry Plants and other Enterprises which generate, transmit or utilize electrical energy.

Rys. 7. Certyfikat dzielnika napięcia wydany przez Instytut Elektrotechniki  
(Warszawa-Międzylesie) - pierwsza strona





# CERTYFIKAT WN/CERTIFICATE HV Nr/No. 0869/NBR/2010

## STWIERDZENIE DANYCH ZNAMIONOWYCH / STATEMENT OF RATING

**Dzielnik Napięcia typu DzN-400  
do pomiaru wyższych harmonicznych napięcia  
w sieciach elektroenergetycznych 400 kV**

**Voltage Divider Type DzN-400  
for higher harmonics measuring  
in power electrical lines 400 kV**

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w Laboratoriach IEI Certyfikat Akredytacji AB 022 i IEn Certyfikat Akredytacji AB 272 zawartych w Sprawozdaniach Nr: **138/NZL/NBW/2010/S**  
On the basis of results of the tests carried out at the Laboratories IEI Accreditation Certificate **EWN/107/E/10**  
AB 074 and IEn Accreditation Certificate AB 272 included in the Test Reports No:

można przypisać następujące dane znamionowe: /it is assigned the following rating:

<b>Napięcie znamionowe pierwotne / Rated primary voltage</b>	<b>400/√3 = 230 kV</b>
<b>Najwyższe napięcie pracy / Maximal operating voltage</b>	<b>253 kV</b>
<b>Znamionowe napięcie probiercze izolacji udarowe Rated impulse withstand voltage of insulation</b>	
<b>Udar piorunowy 1,2/50 μs / lightning impulse 1,2/50 μs</b>	<b>1300 kV</b>
<b>Udar łączeniowy 250/2500 μs / switching impulse 250/2500 μs</b>	<b>1050 kV</b>
<b>Przekładnia znamionowa / Rated ratio</b>	<b>400:√3 / 0,1:√3</b>
<b>Rezystancja dzielnika / Resistance of divider</b>	<b>150 MΩ</b>
<b>Pojemność dzielnika / Capacitance of divider</b>	<b>150 pF</b>
<b>Dokładność przekładni dzielnika / Accuracy of ratio</b>	<b>Kompl. urządź    Człon WN</b>
<b>dla napięcia AC 50 Hz / AC 50 Hz voltage</b>	<b>± 0,2 %        ± 0,2 %</b>
<b>dla napięcia DC / DC voltage</b>	<b>± 1 %           ± 0,1 %</b>
<b>dla napięcia AC 10 Hz – 10 kHz / AC 10Hz – 10 kHz voltage</b>	<b>± 3 %           ± 3 %</b>
<b>Maksymalna moc czynna wydzielana w dzielniku Maximal resistance loss</b>	<b>400 W</b>
<b>Maksymalne obciążenie obwodu wyjściowego Maximal burden of output circuit</b>	<b>5 VA cos φ 0,8</b>
<b>Klasa dokładności / Accuracy class</b>	<b>0,2</b>

Niniejszy Certyfikat odnosi się tylko do obiektu badanego. Producent ponosi odpowiedzialność za każdy inny wyrób oznaczony tak samo jak obiekt badany. / This Certificate applies to the tested object only. The responsibility for conformity of any object having the same designations as the tested one rests with the Manufacturer.

Termin ważności Certyfikatu: / This Certificate is valid till: **27.08.2013**

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań uznaje się zgodność obiektu, w zakresie określonym w Sprawozdaniu, z zaleceniami norm: / A sample of the product has been tested and found, in a scope specified in the Test Report, to be in conformity with the standards:

- PN-EN 60044-2:2001/A1:2003/A2:2004 „Przekładniki. Część 2: Przekładniki napięciowe indukcyjne”
  - PN-EN 60060-2:2000/Ap1:2002 „Wysokonapięciowa technika probiercza. Układy pomiarowe”
  - PN-EN 04060:1992 „Wysokonapięciowa technika probiercza - Ogólne określenia i wymagania probiercze”
  - CISPR 18-2:1986/A1:1993/A2:1996 „Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment. Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits”
- i normy związane / and related standards**

W oparciu o powyższe stwierdza się, że wyrób spełnia wymagania stawiane urządzeniom przeznaczonym do stosowania w elektroenergetyce. / On the basis of above this is to certify that product fulfils requirements stated for the equipment designated to power engineering application.

**Laboratorium Badawcze  
Aparatury Różdzielczej**  
High Voltage & Short-Circuit Testing Laboratory

**dr inż. Albert Gmitrzak**



**Dyrektor  
Instytutu Elektrotechniki**  
Director of Electrotechnical Institute

**doc. dr hab. Wiesław Wilczyński**

**Warszawa / Warsaw 2010.08.27**

Rys. 8. Certyfikat dzielnika napięcia wydany przez Instytut Elektrotechniki (Warszawa-Międzylesie) - druga strona

Badania liniowości przenoszenia wyższych harmonicznych przeprowadzono zadając (po stronie górnego napięcia) kolejno różne harmoniczne, wszystkie o tej samej amplitudzie. Na Rys. 9 pokazano nieliniowość przenoszenia członu wysokonapięciowego dzielnika. Uchyb przenoszenia dla częstotliwości  $n$  obliczono jako:

$$100\% (U_n - U_{av})/U_{av}$$

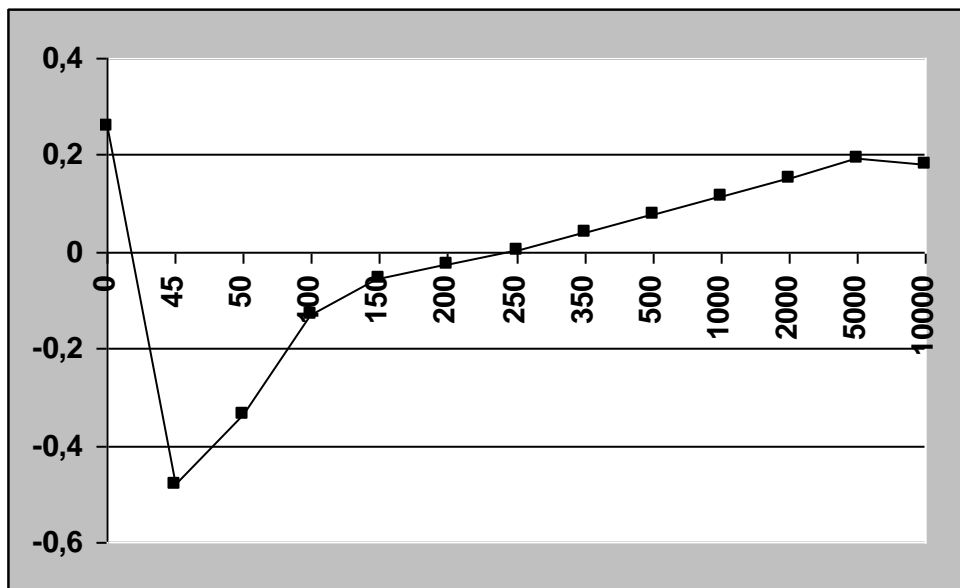
gdzie:

$U_n$  jest wartością przenoszonego napięcia (po stronie dolnej dzielnika) o częstotliwości  $n$

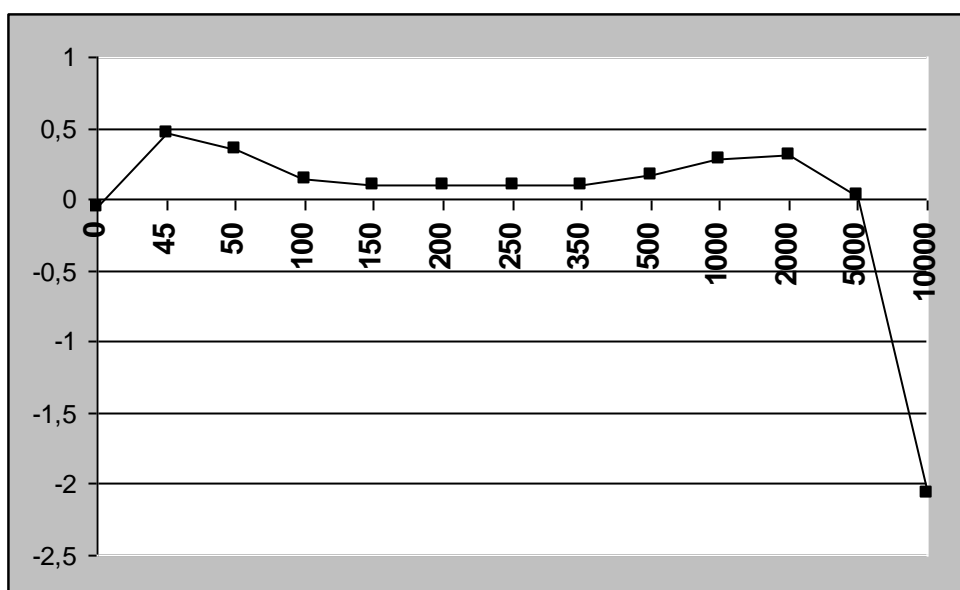
$U_{av}$  jest średnią wartością przenoszonego napięcia (po stronie dolnej dzielnika)

w zakresie 0 - 10 kHz

Na Rys. 10 pokazano nieliniowość przenoszenia całego układu pomiarowego dzielnika napięcia.



Rys. 9. Wyrażona w % nieliniowość przenoszenia członu wysokonapięciowego dzielnika w funkcji częstotliwości.



Rys. 10. Wyrażona w % nieliniowość przenoszenia całego układu pomiarowego dzielnika w funkcji częstotliwości.

## PODSUMOWANIE

Xxxxx xxxxx xxxxx xxxxxx xxxx xxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx xx  
xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xx xxxxx xxxx xxxxx xxx xxxxxx  
xxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxx xxxxx xx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxxx xxx xxxxxx  
xxx xxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx x xxx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxxx. xxxxx xx xxxxx  
xxxxxxxx xxxx xxx xxxxx xx x. xxxxx xxxxx xxxxxxx xx xxx.

## **RESISTIVE VOLTAGE DIVIDER FOR HIGHER HARMONIC MEASUREMENTS IN 400 kV NETWORKS**

The paper presents a detailed description of a resistive divider that was designed by Transformex Sp z o.o. with collaboration of PSE Operator S.A. The measurements at 400 kV require linear voltage reduction to the value acceptable by electronic equipment. The divider will be used for upmarket accurate measurements of higher harmonics and other voltage distortions. It can be also used for evaluation and correction of frequency characteristics in traditional measure transformers.