

Jakub FURGAŁ<sup>1</sup>  
Maciej KUNIEWSKI<sup>2</sup>

## ANALIZA PRZEPIĘĆ PIORUNOWYCH PRZENOSZONYCH PRZEZ TRANSFORMATORY ROZDZIELCZE DO SIECI NISKIEGO NAPIĘCIA

Urządzenia elektryczne niskiego napięcia są poddawane działaniu przepięć powstających w sieciach i instalacjach niskiego napięcia oraz przepięć powstających w sieciach rozdzielczych. Analiza narażeń przepięciowych w sieciach niskiego napięcia ma duże znaczenie ze względu na wzrastającą liczbę urządzeń elektrycznych niskiego napięcia i aparatury elektrycznej wrażliwej na oddziaływanie przepięć oraz zwiększające się wymagania odnośnie do niezawodności ich działania. Przepięcia powstające w sieciach rozdzielczych docierają do sieci niskiego napięcia między innymi w wyniku zjawiska przenoszenia przepięć przez uzwojenia transformatorów rozdzielczych. Uzwojenia transformatorów stanowią bowiem złożone nieliniowe układy elektryczne między którymi istnieją silne sprzężenia elektromagnetyczne. Przyczyną powstawania przepięć o największych wartościach w sieciach rozdzielczych są wyładowania piorunowe do linii napowietrznych. Podstawą analizy przepięć w układach elektroenergetycznych są głównie wyniki symulacji komputerowych wykonane z zastosowaniem modeli urządzeń odzwierciedlających zjawiska fizyczne w warunkach szybkozmiennych zjawisk przejściowych.

W artykule przedstawiono analizę przepięć piorunowych w sieciach niskiego napięcia przenoszonych przez transformatory rozdzielcze na podstawie wyników obliczeń przepięć wykonanych z zastosowaniem programu Electromagnetic Transients Program-Alternative Transients Program (EMTP-ATP). Do obliczeń zastosowano wysokoczęstotliwościowy model transformatora rozdzielczego, opracowany na podstawie wyników rejestracji funkcji przenoszenia. Analizowano wpływ beziskiernikowych ograniczników przepięć z tlenków metali na przepięcia piorunowe przenoszone przez transformatory rozdzielcze do sieci niskiego napięcia.

**Słowa kluczowe:** przepięcia piorunowe, przepięcia przenoszone, transformatory rozdzielcze, ochrona przepięciowa, symulacje komputerowe

---

<sup>1</sup> Jakub Furgał, Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, Al. A. Mickiewicza 30, 30-962 Kraków, tel.: 126173761, furgal@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Autor do korespondencji: Maciej Kuniewski, Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, Al. A. Mickiewicza 30, 30-962 Kraków, tel.: 126174416, maciej.kuniewski@agh.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

W układach elektroenergetycznych generowane są przebiegi o zróżnicowanych przebiegach i wartościach szczytowych. Przebiegi o największych wartościach maksymalnych powstają głównie podczas wyładowań piorunowych. Szczególnie duże wartości maksymalne osiągają przebiegi piorunowe powstające w liniach napowietrznych średnich napięć z powodu braku ochrony odgromowej takich linii oraz dużej wytrzymałości elektrycznej doziemnej niektórych konstrukcji wsporczych. Napięcia obniżone beziskiernikowych ograniczników napięć z tlenków metali stosowanych do ochrony urządzeń w układach elektroenergetycznych od przebiegów są około trzykrotnie większe od napięć roboczych sieci elektrycznych. Przebiegi piorunowe, powstające w sieciach średnich napięć, narażają układy izolacyjne urządzeń rozdzielczych oraz są przenoszone przez uzwojenia transformatorów do sieci niskiego napięcia.

Przebiegi są przenoszone przez transformatory w wyniku sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych między uzwojeniami [6]. Przebiegi i wartości maksymalne napięć przenoszonych przez transformatory są odmienne od przebiegów i wartości napięć przejściowych docierających do zacisków transformatora. Zmiany te są efektem zjawisk przejściowych wewnętrznych w uzwojeniach. Duży wpływ na wartości napięć przenoszonych mogą mieć między innymi zjawiska rezonansowe wewnątrz transformatorów. Przebiegi przenoszone są treścią prac między innymi Grupy Roboczej *CIGRE A2/C4-39* powołanej w 2008 roku [1].

Analiza przebiegów w sieciach niskiego napięcia ma duże znaczenie praktyczne. Urządzenia elektryczne, a szczególnie aparatura elektroniczna zasilana z sieci niskiego napięcia jest wrażliwa na oddziaływanie przebiegów. Jednocześnie systematycznie wzrastają wymagania odnośnie do niezawodności działania urządzeń niskiego napięcia i aparatury elektronicznej. Złożone kosztowne układy elektroniczne i systemy komputerowe decydują o pracy wielu instytucji w różnych działach gospodarki [2][7][11][14].

Podstawą analizy przebiegów w układach elektroenergetycznych wysokich i średnich napięć są głównie wyniki symulacji komputerowych. Możliwości wyznaczania przebiegów piorunowych metodą doświadczalną są ograniczone przede wszystkim z powodu przypadkowego charakteru zjawisk przebiegowych, krótkich czasów trwania przebiegów przebiegów oraz dużych wartości szczytowych przebiegów powstających podczas wyładowań piorunowych [4][7].

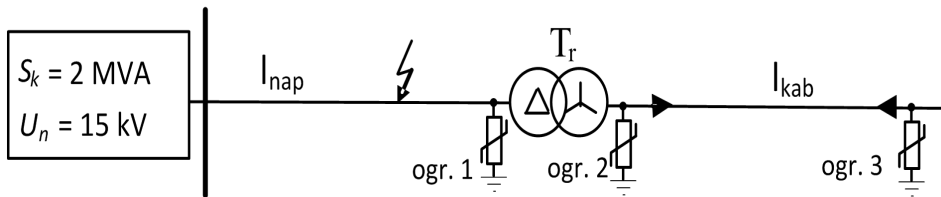
W artykule przedstawiono analizę przebiegów przenoszonych do sieci niskich napięć przez transformatory rozdzielcze. Analizowano wpływ ochrony przebiegowej transformatorów stosowanych w sieciach średniego napięcia i linii kablowych niskiego napięcia na przebiegi piorunowe w sieciach niskiego napięcia. Podstawą analizy były wyniki symulacji przebiegów wykonane w programie komputerowym *Electromagnetic Transients Program-Alternative Transients*

Program (EMTP-ATP). Do modelowania transformatorów rozdzielczych zastosowano model wysokoczęstotliwościowy transformatorów opracowany na podstawie wyników rejestracji zależności częstotliwościowych funkcji przenoszenia transformatora.

## 2. Charakterystyka fragmentu sieci sn/mn

W artykule wykonano symulacje przepięć pojawiających się w sieci niskiego napięcia 0,4 kV podczas wyładowań piorunowych do przewodów fazowych linii napowietrznych średniego napięcia 15 kV w wyniku zjawiska przenoszenia przez uzwojenia transformatora rozdzielczego. Schemat fragmentu układu elektroenergetycznego, w którym obliczono przepięcia, przedstawiono na rysunku 1.

Układ zawiera linię napowietrzną 15 kV  $l_{nap}$ , transformator rozdzielczy typu *TNOSCT-250/15.75PNS* 250 kVA 15,75/0,4 kV (tab. 1) [15], linię kablową 0,4 kV  $l_{kab}$  oraz ograniczniki przepięć z tlenków metali (*ogr. 1*, *ogr. 2*, *ogr. 3*). Linia napowietrzna połączona jest z szynami zbiorczymi rozdzielni 15 kV o mocy zwarciowej 2 MVA. Linia napowietrzna 15 kV zawiera przewody fazowe *AFL-6* 70 mm<sup>2</sup> w układzie płaskim, zawieszona na wysokości 10,25 m i ułożone w odległości 0,6 m od siebie. Linię  $l_{kab}$  stanowi kabel typu *YLY* 3x70 mm<sup>2</sup> 0,6/1 kV o długości 100 m. Do ochrony przepięciowej uzwojeń górnego napięcia zastosowano bezskiernikowe ograniczniki przepięć typu *POLIM-D 12* [13] (*ogr. 1*) (tab. 2) natomiast uzwojenia niskiego napięcia i linia kablowa niskiego napięcia jest chroniona od przepięć z zastosowaniem *LOVOS 5* [12] (*ogr. 2*, 3) (tab. 3).



Rys. 1. Fragment sieci elektrycznej *sn/mn*, w której wykonano symulacje przepięć piorunowych przenoszonych przez transformator rozdzielczy:  $l_{nap}$  - linia napowietrzna 15 kV,  $l_{kab}$  - linia kablowa 0,4 kV,  $T_r$  - transformator rozdzielczy 250 kVA, 15,75/0,4 kV *ogr. 1*, *ogr. 2*, *ogr. 3* - ograniczniki przepięć z tlenków metali.

Fig. 1. Part of electrical network *mv/lv*, in which were performed simulation of lightning overvoltages transferred through power transformer winding:  $l_{nap}$  - overhead line 15 kV,  $l_{kab}$  - cable line 0,4 kV,  $T_r$  - distribution transformer of 250 kVA, 15,75/0,4 kV *ogr. 1*, *ogr. 2*, *ogr. 3* - metal oxide surge arresters

Tabela 1: Podstawowe parametry transformatora rozdzielczego 250 kVA [15]

Table 1: Basic parameters for distribution transformer of 250 kVA [15]

parametr	$S_n$	$U_n$	$U_z$	$\Delta P_{fe}$	$\Delta P_{cu}$	$I_0$
jednostka	kVA	kV	%	kW	kW	%
wartość	250	15,75/0,4	4,5	0,486	3,509	1

Tabela 2: Podstawowe parametry ograniczników przepięć typu *POLIM – D12* [13]Table 2: Basic parameters for metal oxide surge arresters of type *POLIM – D12* [13]

typ ogranicznika	$U_r$	napięcie obniżone przy uderzeniach prądowych									
		1/5 $\mu$ s		8/20 $\mu$ s				30/60 $\mu$ s			
		kA						A			
		5	10	2,5	5	10	20	125	250	500	
		kV									
<i>POLIM–D</i>	15	12	43,3	47,9	37	39,1	42	47,7	31,1	32,2	33,2

Tabela 3: Podstawowe parametry ograniczników przepięć typu *LOVOS-5* [12]Table 3: Basic parameters for metal oxide surge arresters of type *LOVOS-5* [12]

typ ogranicznika	$U_r$	$U_c$	napięcie obniżone przy wymuszeniu prądowym		zdolność pochłaniania energii	napięcie obniżone dla uderzeń długotrwałych 2500 $\mu$ s
			5 kA	25 kA		
			V			
<i>LOVOS - 5</i>	220	280	1100	1500	1800	850

### 3. Metoda symulacji przepięć przenoszonych w sieci niskiego napięcia

Obliczenia przepięć piorunowych przenoszonych w sieci niskiego napięcia wykonano z zastosowaniem programu *Electromagnetic Transients Program-Alternative Transients Program (EMTP-ATP)*. Linie napowietrzne i kablowe modelowano przy użyciu modelu procedury *JMarti*. Beziskiernikowe ograniczniki przepięć zastępowano modelem ograniczników opracowanym przez Grupę Roboczą *WG 3.4.11 IEEE* [10]. Do modelowania przebiegu prądu kanału wyładowania piorunowego zastosowano model *CIGRE* [3]. Zjawisko przeskoku na izolatorach linii napowietrznej modelowano za pomocą modelu *Flash* zamieszczonego w przykładzie 9 programu *EMTP-ATP* [5].

Do modelowania transformatora rozdzielczego zastosowano model wyso-

koczęstotliwościowy transformatorów, dla którego zależności napięciowo-prądowe przedstawia następująca zależność:

$$I = YU \quad (1)$$

gdzie:  $Y$  – macierz admitancji transformatora,

$U$  – wektor napięć poszczególnych uzwojeń transformatora,

$I$  – wektor prądów wpływających do zacisków transformatora.

Współczynniki częstotliwościowe elementów macierzy admitancyjnej stanowią zależności częstotliwościowe amplitudy i fazy admitancji transformatora. W celu wyznaczenia tych charakterystyk zastosowano metodę *SFRA* (*Sweep Frequency Response Analysis*). W metodzie rejestrowane są odpowiednie przebiegi napięć lub prądów przy wymuszeniu napięciem sinusoidalnym o zmieniającej się częstotliwości. Na podstawie wyników rejestracji wyznaczane są charakterystyki częstotliwościowe amplitudy i fazy współczynników:

$$\overline{Y}(f) = \frac{\overline{I}_n(f)}{\overline{U}_k(f)} \quad (2)$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{\text{imag}(\overline{Y})}{\text{real}(\overline{Y})} \right) \quad (3)$$

gdzie:  $Y(f)$  - charakterystyka częstotliwościowa admitancji,

$U_k(f)$  - wartość zespolona napięcia w fazie  $k$  transformatora,

$I_n(f)$  - wartość zespolona prądu indukowanego w zwartym uzwojeniu  $n$ ,

$\varphi$  - kąt przesunięcia fazowego między wektorami napięcia i prądu indukowanego w drugim uzwojeniu.

Zarejestrowane charakterystyki częstotliwościowe admitancji aproksymowano w dziedzinie Laplace'a za pomocą zależności:

$$TF(s) = \sum_{n=1}^N \frac{c_n}{s - a_n} + d + sh \quad (4)$$

gdzie:  $s$  - operator Laplace'a,

$a_n$  - bieguny,

$c_n$  - residua,

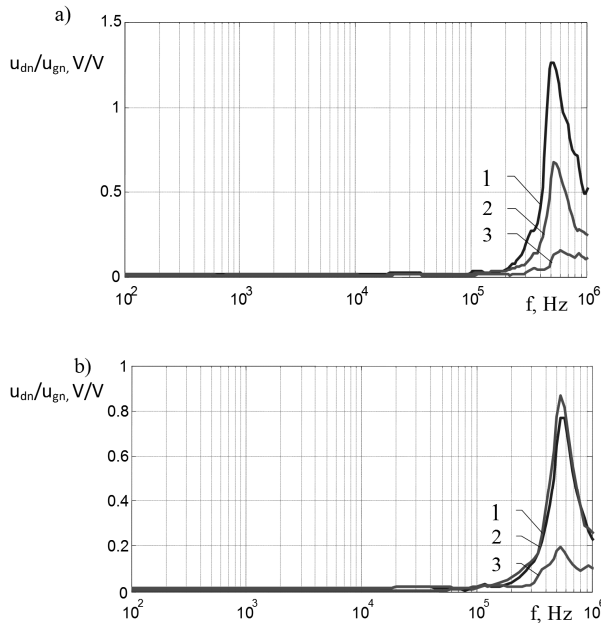
$d, h$  - stałe rzeczywiste.

W celu aproksymacji doświadczalnych charakterystyk częstotliwościowych skorzystano z metody dopasowania wektorowego (*Vector Fitting*) [8][9].

Model wysokoczęstotliwościowy transformatora ma postać układu elektrycznego *RLC*, dla którego charakterystyki częstotliwościowe admitancji są

zgodne z charakterystykami uzyskanymi w wyniku rejestracji dla modelowanego transformatora.

Zależności częstotliwościowe ilorazu napięć fazowych uzwojenia górnego i dolnego napięcia dla poszczególnych faz transformatora 250 kVA (tab. 1), uzyskane za pomocą opracowanego modelu wysokoczęstotliwościowego, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zależności częstotliwościowe przepięć przenoszonych do uzwojeń niskiego napięcia transformatora rozdzielczego 250 kVA: a – wynik rejestracji, b – zależności uzyskane z zastosowaniem opracowanego modelu wysokoczęstotliwościowego; 1 – faza *a*, 2 – faza *b*, 3 – faza *c*

Fig. 2. Frequency characteristics of overvoltages transferred to low voltage windings of distribution transformer of 250 kVA: a – measurement results, b – dependencies obtain by use of high frequency model; 1 – phase *a*, 2 – phas *b*, 3 – phase *c*

#### 4. Wyniki symulacji przepięć piorunowych przenoszonych do sieci niskiego napięcia

Wykonano symulacje przepięć w sieci niskiego napięcia przenoszonych przez transformator rozdzielczy podczas wyładowań piorunowych do przewodów linii napowietrznej 15 kV zasilającej transformator 250 kVA przedstawionej na rysunku 1. Do obliczeń założono bezpośrednie wyładowanie do przewodu fazy *A* w odległości 400 m od transformatora rozdzielczego. Wartość maksymalna prądu piorunowego wynosi 10 kA. Obliczenia wykonano dla trzech układów połączeń ograniczników przepięć z tlenków metali:

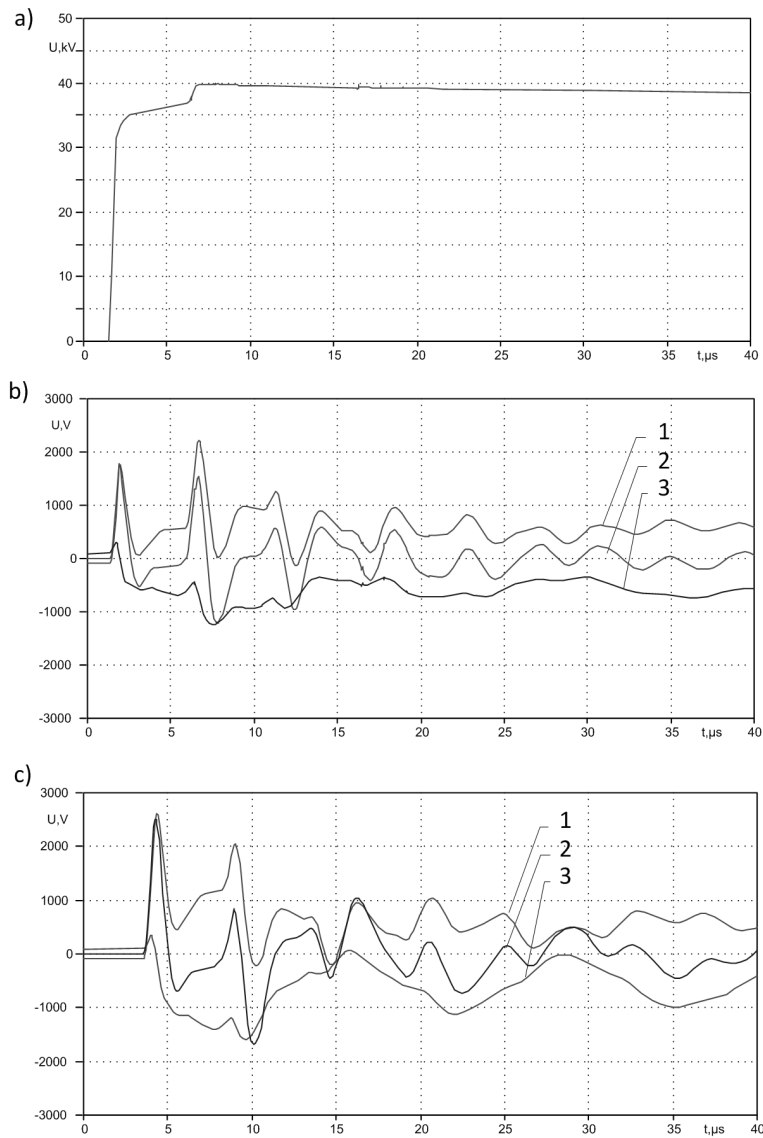
- a) ograniczniki przepięć zainstalowane są na zaciskach wejściowych uzwojeń 15 kV transformatora,
- b) ograniczniki połączone są z zaciskami wejściowymi uzwojeń 15 kV oraz uzwojeń 0,4 kV,
- c) ograniczniki zainstalowane na zaciskach wejściowych uzwojeń 15 kV i uzwojeń 0,4 kV oraz dodatkowo na końcu zasilanej linii kablowej niskiego napięcia.

Symulowano przebiegi napięć fazowych doziemnych na zaciskach uzwojeń 0,4 kV i na końcu linii kablowej 0,4 kV (rys. 1). Wyniki obliczeń zamieszczono na rysunkach 3-5.

Przebieg napięcia doziemnego powstające na ograniczniku przepięć fazy A w linii 15 kV podczas wyładowania piorunowego przedstawiono na rysunku 3a. Przebieg jest zbliżony do przebiegu prostokątnego. Wartość maksymalna napięcia wynosi około 40 kV (tab. 2). Przepięcia piorunowe powstające na zaciskach uzwojenia 15 kV transformatora są przenoszone do uzwojeń 0,4 kV (rys. 3b). Przebiegi tych przepięć są odmienne od przepięć powstających w sieci 15 kV. W przebiegach przepięć przenoszonych występują składowe oscylacyjne o częstotliwościach wynikających ze zjawisk przejściowych w układzie transformator-kabel niskiego napięcia. Wartości maksymalne przepięć sięgają 6,8-krotnej wartości maksymalnej napięcia roboczego sieci niskiego napięcia. Przepięcia przenoszone do uzwojeń dolnego napięcia transformatora są źródłem przepięć narażają układy izolacyjne zasilanych linii kablowych niskiego napięcia. W wyniku zjawiska odbić wielokrotnych fal napięciowych przepięcia na końcu linii kablowej osiągają wartości większe od wartości przepięć na zaciskach wejściowych uzwojeń niskiego napięcia. Przepięcia doziemne na końcu linii kablowej 0,4 kV osiągają wartość 8 p.u. (rys. 3c).

Po zainstalowaniu ograniczników przepięć po stronie dolnego napięcia transformatora wartości przepięć doziemnych na zaciskach uzwojeń 0,4 kV uległy zmniejszeniu do wartości 2,15 p.u. (rys. 4b). Przepięcia na końcu kabla 0,4 kV osiągają wartości 3,3 p.u. Są więc większe od przepięć na transformatorze zasilającym (rys. 4c). Zainstalowanie ograniczników na zaciskach uzwojenia 0,4 kV transformatora rozdzielczego nie zapewnia więc skutecznej ochrony sieci niskiego napięcia od przepięć przenoszonych przez transformatory z sieci rozdzielczej. W wyniku zjawiska wielokrotnych odbić napięcia przejściowe, których źródłem są przepięcia indukowane w uzwojeniach niskiego napięcia transformatorów rozdzielczych.

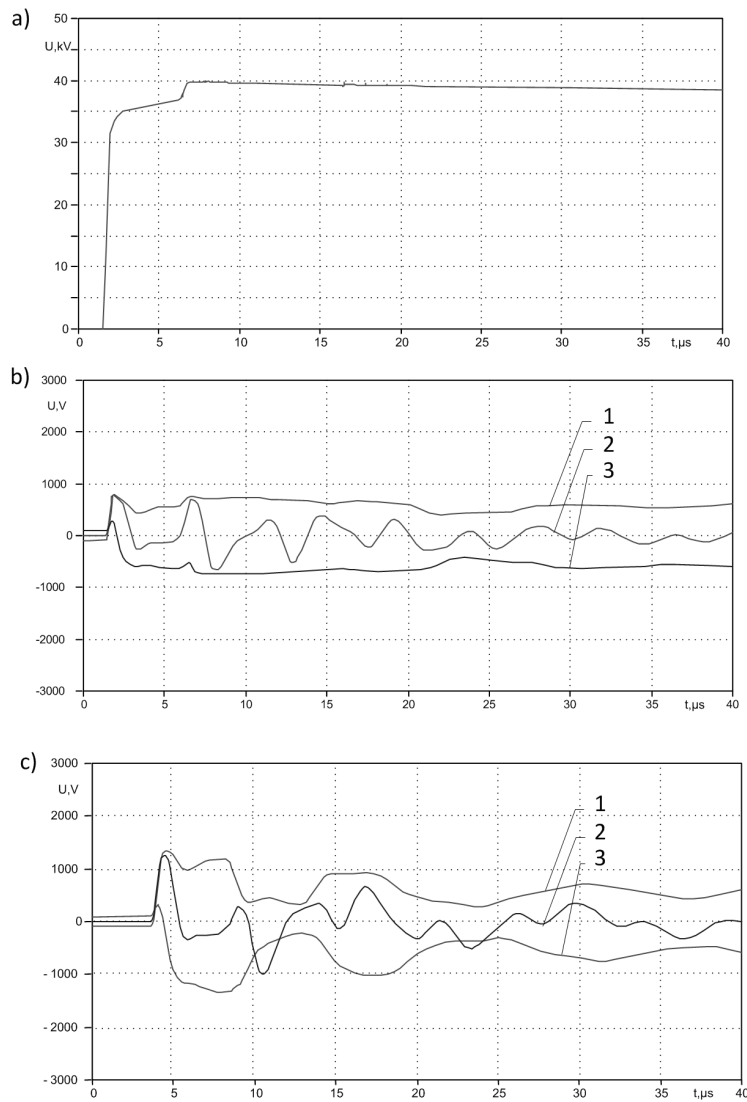
Ograniczniki przepięć, zainstalowane na końcu linii kablowej, powodują zmniejszenie przepięć pojawiających się podczas wyładowań piorunowych do przewodów fazowych linii napowietrznych sieci średniego napięcia do wartości 2,15 wynikających z napięć obniżonych stosowanych ograniczników przepięć (rys. 5c). Zmniejszenie przepięć na końcu linii zasilającej powoduje ograniczenie przepięć narażających układy izolacyjne urządzeń zasilanych niskiego napięcia.



Rys. 3. Wyniki symulacji przebiegów napięć doziemnych przenoszonych przez transformator 250 kVA podczas wyładowania piorunowego do przewodów fazowych linii napowietrznej (rys. 1), (uzwojenie górnego napięcia chronione ogranicznikami napięć): a - przebieg napięcia doziemnego w fazie A uzwojenia 15 kV, b - przebiegi napięć przenoszonych doziemnych do uzwojeń 0,4 kV, c - przebiegi napięć na końcu kabla 0,4 kV; 1 - faza A, 2 - faza B, 3 - faza C

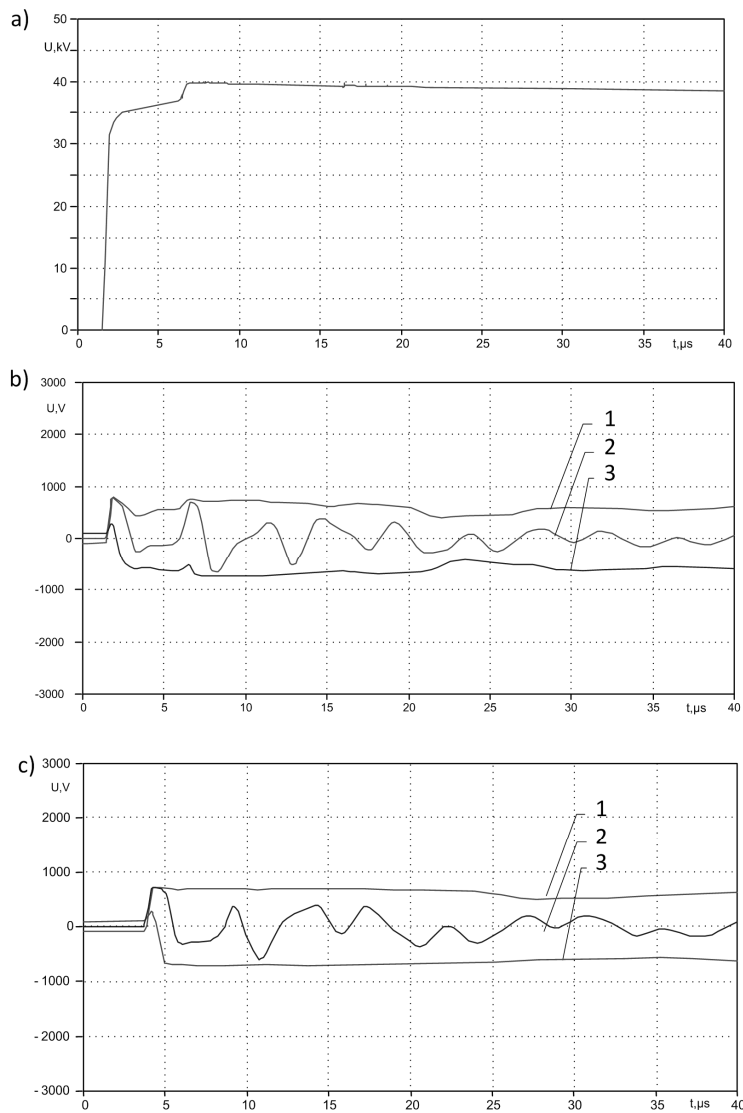
Fig. 3. Simulation results of overvoltages transferred through power transformer windings during lightning strike to overhead line (fig. 1), medium voltage windings protected with metal oxide surge arresters, a - overvoltages measured in phase A on 15 kV side, b - overvoltages measured in 0.4 kV windings, c - overvoltages measured at end of 0.4 kV cable; 1 - phase A, 2 - phase B, 3 - phase C





Rys. 4. Wyniki symulacji przebiegów prępieć doziemnych przenoszonych przez transformator 250 kVA podczas wyładowania piorunowego do przewodów fazowych linii napowietrznej (rys. 1), (uzwojenie górnego i dolnego napięcia chronione ogranicznikami prępieć): a - przebieg napięcia doziemnego w fazie A uzwojenia 15 kV, b - przebiegi prępieć przenoszonych doziemnych do uzwojeń 0,4 kV, c - przebiegi prępieć na końcu kabla 0,4 kV; 1 - faza A, 2 - faza B, 3 - faza C.

Fig. 4. Simulation results of overvoltages transferred through power transformer windings during lightning strike to overhead line (fig. 1), medium voltage and low voltage windings protected with metal oxide surge arresters, a - overvoltages measured in phase A on 15 kV side, b - overvoltages measured in 0,4 kV windings, c - overvoltages measured at end of 0.4 kV cable; 1 - phase A, 2 - phase B, 3 - phase C



Rys. 5. Wyniki symulacji przebiegów napięć doziemnych przenoszonych przez transformator 250 kVA podczas wyładowania piorunowego do przewodów fazowych linii napowietrznej (rys. 1), (uzwojenie górnego, dolnego napięcia i koniec kabla chronione ogranicznikami napięć): a - przebieg napięcia doziemnego w fazie A uzwojenia 15 kV, b - przebiegi napięć przenoszonych doziemnych do uzwojeń 0,4 kV, c - przebiegi napięć na końcu kabla 0,4 kV; 1 - faza A, 2 - faza B, 3 - faza C

Fig. 5. Simulation results of overvoltages transferred through power transformer windings during lightning strike to overhead line (fig. 1), medium voltage windings, low voltage windings and end of 0.4 kV cable protected with metal oxide surge arresters, a - overvoltages measured in phase A on 15 kV side, b – overvoltages measured in 0,4 kV windings, c - overvoltages measured at end of 0,4 kV cable; 1 - phase A, 2 - phase B, 3 - phase C

## 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę przebiegów piorunowych przenoszonych do sieci niskich napięć przez transformatory rozdzielcze. Analizowano wpływ ochrony przepięciowej transformatorów stosowanych w sieciach średniego napięcia i zasilanych linii kablowych na przepięcia piorunowe w sieciach niskiego napięcia.

Symulacje przebiegów, wykonane w programie *EMTP-ATP*, potwierdzają, że:

- przebiegi przebiegów przenoszonych są odmienne od przebiegów oddziałujących przebiegów piorunowych, a ich wartości maksymalne są większe od wartości wynikających z przekładni transformatora,
- przepięcia przenoszone do uzwojeń dolnego napięcia mogą ulec wzmocnieniu na końcu linii niskiego napięcia połączonych z transformatorem,
- w celu ochrony przepięciowej urządzeń niskiego napięcia od przebiegów przenoszonych niezbędne jest stosowanie ograniczników przepięć na końcach linii zasilanych przez transformatory rozdzielcze.

## Literatura

- [1] Angélica da Costa Oliveira Rocha: Electrical transient interaction between transformers and the power system, on behalf of Cigré-Brazil Joint Working Group - JWG - A2/C4-03, CIGRE 2008
- [2] Borghetti A., Morched A., Napolitano F., Nucci C. A., Paolone M.: Lightning-induced overvoltages transferred through distribution power transformers, IEEE Trans. on Pow. Deliv., Vol. 24, No. 1, Jan. 2009, pp. 360 – 372
- [3] CIGRE Working Group 33-01 of Study Committee 33: Overvoltages and insulation coordination: Guide to procedure for estimating the lightning performance of transmission lines, CIGRE Publication, No 63, Oct. 1991
- [4] De Conti A. R., Visacro S., Pereira C., Silveira F. H., Duarte J. V. P.: Effects of transferred lightning surges on consumer's loads for typical Brazilian low voltage networks. 26<sup>th</sup> Int. Conf. on Light. Protec., Cracow, 2 - 6 Sept. 2003, paper 6a.2, pp. 423 – 428
- [5] Dommel H. and et. al.: Electromagnetic Transients Program - Theory Book, Portland, prepared for BPA, 1986
- [6] EN 60071-2: Insulation coordination. Part. 2: Application guide.
- [7] Furgał J., Kuniewski M.: Wyznaczanie napięć przenoszonych przez transformatory przy zastosowaniu charakterystyk częstotliwościowych, Zesz. Nauk. Wydz. Elektrot. i Autom. Polit. Gdańskiej, Nr 31, 2012, str. 49 - 52
- [8] Gustavsen B., Semelyen A.: Rational approximation of frequency domain response by vector fitting, IEEE Trans. Pow. Deliv., Vol. 14, No. 3, July 1999, pp. 1052 - 1059
- [9] Gustavsen B.: Wide band modeling of power transformers, IEEE Trans. on Pow. Deliv., Vol. 19, No. 1, Jan. 2004, pp. 414 - 422

- [10] IEEE Working Group 3.4.11.: Modeling of metal oxide surge arresters, IEEE Trans. Pow. Deliv., Vol. 7, No. 1, Jan. 1992, pp. 302 - 309
- [11] Obase P. F., Romero F., Janiszewski J. M., Piantini A., Neto A. S., Carvalho T. O., Araújo Filho A. A.: Lightning surges transferred to the secondary of distribution transformers due to direct strikes on mv lines, considering different lv line configurations, X Int. Symp. on Light. Protection, 9<sup>th</sup> - 13<sup>th</sup> Nov., 2009, Curitiba (Brazil), pp. 581 - 586
- [12] Ograniczniki przepięć z tlenków metali typu LOVOS - 5 i LOVOS - 10. ABB low voltage products, 2009 (strona internetowa: www.abb.pl)
- [13] Ograniczniki przepięć z tlenków metali typu POLIM - D. ABB Power Distribution, Wyd. 08.2011 (strona internetowa: www.abb.pl)
- [14] Popov M., van der Sluis L., Smeets R. P. P.: Evaluation of surge-transferred overvoltages in distribution transformers, Elec. Pow. Syst. Research, Vol. 78, Issue 3, March 2008, pp. 441 - 449
- [15] Transformatory olejowe. Katalog transformatorów produkcji ABB, Łódź 2004

## **ANALYSIS OF LIGHTNING OVERVOLTAGES TRANSFERRED THROUGH DISTRIBUTION TRANSFORMERS TO LOW VOLTAGE NETWORKS**

### **S u m m a r y**

Low voltage electrical devices are affected on overvoltages occurred in low voltage networks and in medium voltage networks. Analysis of overvoltages in low voltage networks is very important due to increasing number of low voltage equipment and increasing demands on electrical reliability. Overvoltages occurred in medium voltage networks are transferred through power transformer windings to low voltage networks. Transformer windings behave as non linear electromagnetic coupled elements. Origin of transferred overvoltages with biggest maximal values are lightning overvoltages to overhead lines. Main research area in this field of study is made with computer simulations which uses high frequency models.

This paper presents analysis of lightning overvoltages transferred to low voltages networks through power transformer windings made by simulations performed in *Electromagnetic Transients Program-Alternative Transients Program (EMTP-ATP)*. Simulations uses high frequency transformer model which was developed with measured frequency characteristics. Analysis of influence of metal oxide surge arresters on maximal values of overvoltages transferred to low voltage windings was done.

**Keywords:** lightning overvoltages, distribution transformers, transferred overvoltages, overvoltage protection, computer simulations

DOI: 10.7862/re.2013.7

*Tekst złożono w redakcji:* lipiec 2013

*Przyjęto do druku:* grudzień 2013