

Jakub Furgał¹

ANALIZA WYBRANYCH PRZEPIĘĆ W TRANSFORMATORZE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA CHRONIONYM OGRANICZNIKAMI PRZEPIĘĆ Z TLENKÓW METALI

Streszczenie: Do ochrony od przepięć transformatorów są stosowane beziskiernikowe ograniczniki przepięć z tlenków metali. Zastępowane są nimi ograniczniki iskiernikowe z węgla krzemu. Wiąże się to ze zmianą narażeń przepięciowych izolacji transformatora istniejących w warunkach eksploatacji. Są one zależne od parametrów ograniczników, dobieranych w zależności od warunków pracy sieci. W artykule porównano wybrane przepięcia w transformatorze średniego napięcia chronionym ogranicznikami przepięć z tlenków metali i ogranicznikami iskiernikowymi.

Słowa kluczowe: transformatory, ochrona przed przepięciami, ograniczniki przepięć z tlenków metali

1. Wstęp

W sieciach elektrycznych są obecnie instalowane beziskiernikowe ograniczniki przepięć z tlenków metali zamiast ograniczników iskiernikowych z warystorami z węgla krzemu. Ograniczniki iskiernikowe pracują jeszcze w sieciach do czasu ich naturalnego zużycia lub awarii. Po zastosowaniu ograniczników beziskiernikowych ulegają zmianie narażenia przepięciowe izolacji chronionych urządzeń. Zmiany wynikają z odmiennych charakterystyk ochronnych, uzależnionych od budowy i działania ograniczników beziskiernikowych i iskiernikowych. Ograniczniki beziskiernikowe z tlenków metali chronią urządzenia zarówno od przepięć piorunowych jak i łączeniowych. Jednymi z urządzeń chronionymi przed przepięciami za pomocą tych ograniczników są transformatory.

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń wybranych przepięć w transformatorze średniego napięcia chronionym ogranicznikami beziskiernikowymi. Porównano je z przepięciami powstającymi w transformatorze z ogranicznikami iskiernikowymi.

2. Dobór ograniczników przepięć

Parametry ograniczników beziskiernikowych z tlenków metali, montowanych w sieciach wysokich napięć, dobiera się w zależności od przewidywanych warunków pracy.

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Wynikają one głównie z najwyższego napięcia sieci U_s , sposobu połączenia punktu neutralnego sieci z ziemią, czasu trwania zwarcia doziemnego jednej fazy, rozległości sieci, miejsca zainstalowania ogranicznika oraz właściwości stosowanej aparatury łączeniowej [1]. Przy doborze ograniczników wyznacza się napięcie pracy ciągłej U_c , napięcie znamionowe U_r , znamionowy prąd wyładowczy I_n wymagany poziom ochrony od przepięć piorunowych i od przepięć łączeniowych oraz wytrzymałość na zabrudzenia powierzchniowe [1,2]. Zalecane wartości parametrów beziskiernikowych ograniczników przepięć przeznaczonych do pracy w sieciach 15 kV, gdzie czas wyłączenia zwarć nie jest ograniczony oraz w sieciach z automatyczną eliminacją zwarć doziemnych zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zalecane wartości parametrów beziskiernikowych ograniczników przepięć z tlenków metali przeznaczonych do pracy w wybranych sieciach 15 kV [1]

Napięcie pracy ciągłej U_c i napięcie znamionowe U_r			
Czas trwania zwarcia nie jest ograniczony		Automatyczna eliminacja jednofazowego zwarcia doziemnego	
U_c	U_r	U_c	U_r
kV	kV	kV	kV
17,6	22	12,8	16
Pozostałe parametry: znamionowy prąd wyładowczy 8/20 μ s: $I_n = 10$ kA lub $I_n = 5$ kA; zdolność pochłaniania energii: nie mniej niż 2 kJ na 1 kV napięcia U_r ; wytrzymałość na udary o kształcie prostokątnym, 2000 μ s: próba prądem ≥ 250 A; wytrzymałość zwarciowa: dostosowana do spodziewanego prądu zwarciowego doziemnego; droga wpływu izolacji: dostosowana do warunków zabrudzeniowych			

Prawidłowy dobór parametrów ograniczników z tlenków metali jest niezbędny dla zapewnienia niezawodnej pracy ograniczników. Z drugiej strony parametry te mają wpływ na skuteczność ochrony urządzeń od przepięć. Napięcia obniżone ograniczników beziskiernikowych zależą bowiem od ich napięć znamionowych. W tabeli 2 zamieszczono znormalizowane wartości napięć obniżonych ograniczników przepięć z tlenków metali stosowanych w sieciach średnich napięć. Są one liniowymi funkcjami napięć znamionowych ograniczników. W tabeli 3 zamieszczono napięcia obniżone ograniczników beziskiernikowych typu GXD przeznaczonych do pracy w sieciach 15kV o najdłuższym i najkrótszym czasie wyłączenia zwarć doziemnych.

Tabela 2. Znormalizowane wartości napięć obniżonych ograniczników beziskiernikowych średnich napięć o znamionowym prądzie wyładowczym 10kA [3]

Napięcie znamionowe U_r	Poziom ochrony przy stromym udarze prądowym	Piorunowy poziom ochrony	Łączeniowy poziom ochrony
kV _{sk}	kV _{max}	kV _{max}	kV _{max}
3-29	2,6 - 4 U_r	2,3 - 3,6 U_r	2 - 2,9 U_r

Tabela 3. Napięcia obniżone beziskiernikowych ograniczników prądów typu GXD przeznaczonych do pracy w wybranych sieciach 15kV [4]

Czas eliminacji zwarcia doziemnego	Typ ogranicznika	U _r	U _c	Napięcie obniżone przy prądzie wyładowczym					
				1/2,5μs	8/20μs		30/60μs		
				10 kA	5 kA	10 kA	20 kA	500 A	1000 A
		kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	
- nieograniczony	GXD 22	22	17,6	62,9	54,0	57,2	62,3	45,2	47,3
- eliminacja automatyczna	GXD 16	16	12,8	46,2	39,7	42,0	45,7	33,2	34,7

Dla ograniczników iskiernikowych wyznaczane było napięcie znamionowe, które powinno być nie mniejsze od największej dopuszczalnej wartości napięcia roboczego ogranicznika [5], znamionowy prąd wyładowczy, wytrzymałość zwarciowa oraz wytrzymałość na zabrudzenia powierzchniowe. Minimalna wartość największych napięć roboczych ograniczników iskiernikowych zainstalowanych w sieciach 15kV nie powinna być mniejsza od 17,5kV.

3. Wyniki obliczeń prądów w transformatorze

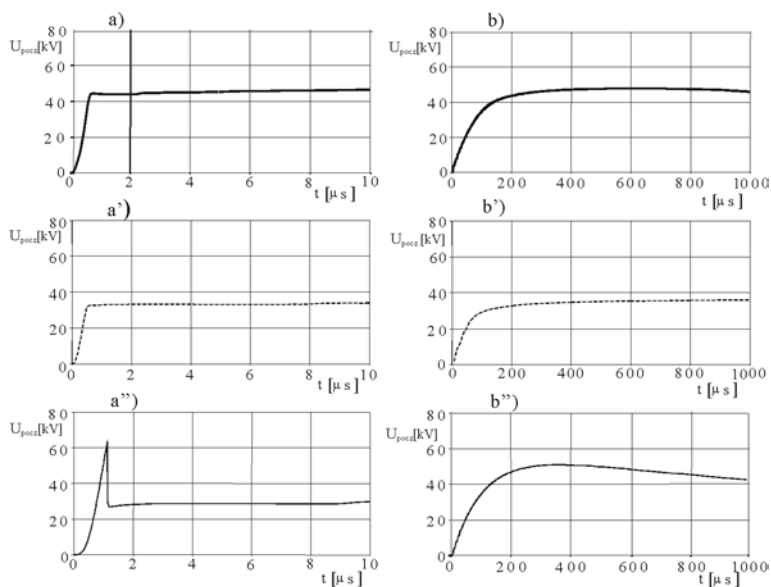
Wykonano obliczenia wybranych prądów w transformatorze 20kVA/15/0,4kV(Yzn5) [6] chronionym ogranicznikami beziskiernikowymi. Uzwojenia średniego napięcia transformatora są wykonane jako cewkowe, a niskiego napięcia jako warstwowe. Uzwojenia średniego napięcia zawierają osiem cewek i pracują z izolowanym punktem neutralnym.

Wykonano obliczenia prądów w transformatorze chronionym ogranicznikami beziskiernikowymi z tlenków metali typu GXD, których napięcia obniżone zamieszczono w tabeli 1. Wyznaczono prądy po zastosowaniu ograniczników typu GXD 22, o parametrach zalecanych do sieci o nieograniczonym czasie wyłączania zwarć doziemnych oraz ograniczników typu GXD 16-stosowanych w sieciach z automatyczną eliminacją zwarć. Obliczone prądy porównano z prądami powstającymi, gdy transformator jest chroniony ogranicznikami iskiernikowymi z warystorami z węgla krzemu typu GZSb 18 [7] o napięciu znamionowym 18kV.

Wyznaczono prądy doziemne na zacisku liniowym oraz w środku uzwojenia, a także prądy między cewkami położonymi bezpośrednio przy tym zacisku i w środku uzwojenia. Obliczenia wykonano przy oddziaływaniu znormalizowanego udaru piorunowego 95kV [8] oraz łączeniowego o wartości maksymalnej równej wymaganemu napięciu wytrzymałowemu o łagodnym czole równym 51kV [9]. Obliczenia prowadzono przy wykorzystaniu programu EMTP/ATP [10] oraz programu opracowanego przy wykorzystaniu schematu zastępczego o stałych skupionych uzwojeń przedstawionego w publikacjach [11,12]. Beziskiernikowe ograniczniki prądów zastępowano modelem opisanym w artykule [13].

Przebiegi prądów doziemnych na zaciskach transformatora, uzyskane z programu EMTP-ATP przedstawiono na rysunku 1. Prądy te, łącznie z prądami doziemnymi w środku uzwojenia górnego napięcia oraz prądami między cewkami położonymi bezpośrednio przy zacisku liniowym i w środku uzwojenia zamieszczono na rysunku 2 oraz na rysunku 3. Wyznaczono je przy wykorzystaniu modelu uzwojeń o stałych skupionych

[11,12]. Do obliczeń przyjęto, że ograniczniki są połączone z zaciskami liniowymi transformatora. Przepięcia doziemne na zaciskach wynikają więc tylko z napięć na działających ogranicznikach zależnych od charakterystyk napięciowo-prądowych warystorów z tlenków metali oraz prądów wyładowczych związanych z oddziaływującymi przepięciami. Przebiegi tych napięć są odmienne od przebiegów napięć na ogranicznikach iskiernikowych.

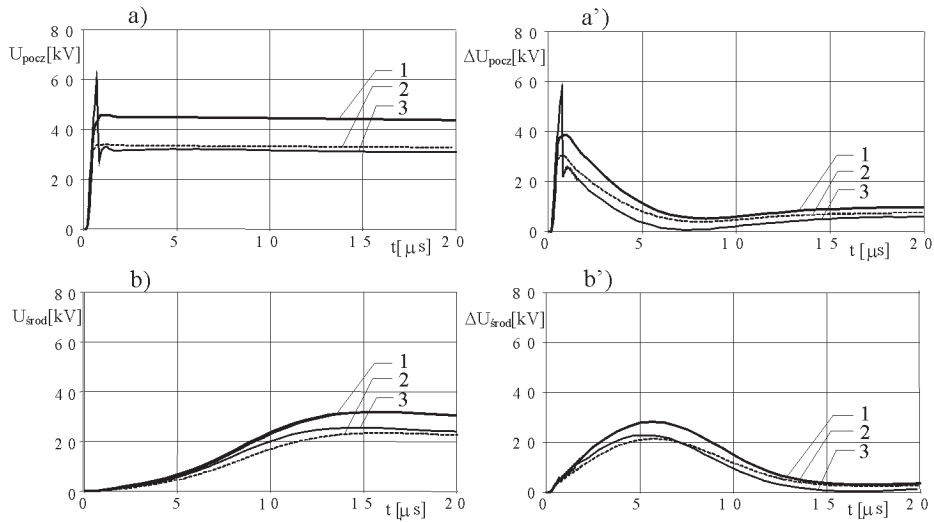


Rys. 1. Przepięcia doziemne na zacisku liniowym transformatora chronionego od przepięć ogranicznikami beziskiernikowymi w sieci, gdzie czas wyłączenia zwarć nie jest ograniczony (a,b), w sieci z automatyczną eliminacją zwarć (a',b') oraz chronionego ogranicznikami iskiernikowym (a'',b'')
a,a',a'' - przepięcia piorunowe; b,b',b'' - przepięcia łączeniowe

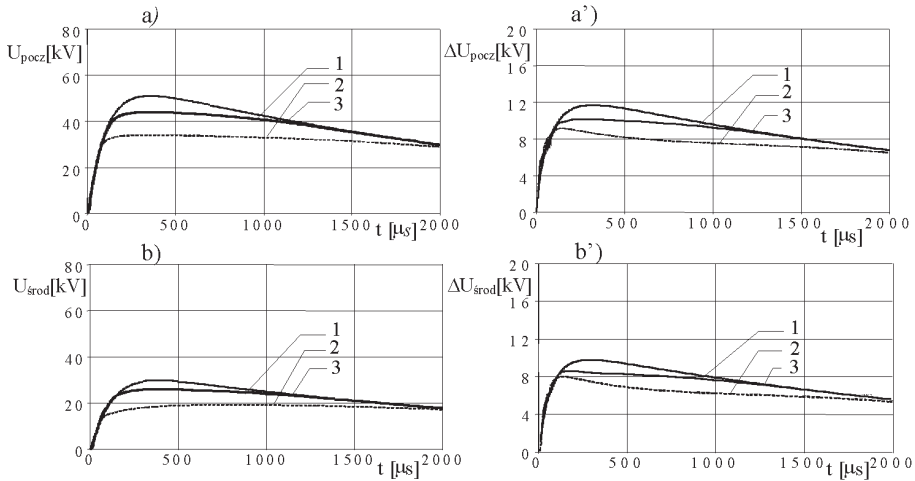
Z obliczeń przepięć piorunowych, przedstawionych na rys. 2 widać, że po zastosowaniu ograniczników beziskiernikowych uległy znacznemu zmniejszeniu przepięcia doziemne szczególnie na zacisku liniowym transformatora. W podobnym zakresie zmniejszeniu uległy przepięcia między cewkami położonymi bezpośrednio przy tym zacisku. W środku uzwojenia różnice między przepięciami są mniejsze. Zmiany przebiegów tych przepięć zależą bowiem nie tylko od zmian napięć na zaciskach. Istotny wpływ na nie mają również zjawiska wynikające ze sprzężeń elektromagnetycznych pomiędzy cewkami uzwojeń.

Reakcja ograniczników beziskiernikowych na przepięcia łączeniowe jest zależna od ich charakterystyk napięciowo-prądowych. Przy oddziaływaniu przepięć łączeniowych, ze względu na liniowy rozkład przepięć w uzwojeniu, różnice między przepięciami doziemnymi i międzycewkowymi, wynikające ze zmiany parametrów ograniczników, są praktycznie stałe w całym uzwojeniu.

Parametry ograniczników, dobierane zależnie od czasu wyłączenia zwarć doziemnych w sieciach, mają istotny wpływ na przepięcia w transformatorze. Najmniejsze przepięcia, zarówno piorunowe jak i łączeniowe, narażają izolację transformatora chronionego ogranicznikami beziskiernikowymi pracującego w sieci z automatyczną eliminacją zwarć doziemnych.



Rys. 2. Przebiegi wybranych napięć piorunowych w uzwojeniu górnego napięcia transformatora: a, b – napięcia doziemne na zacisku liniowym (U_{pocz}) i w środku uzwojenia ($U_{środk}$), a', b' – napięcia między cewkami przy zacisku liniowym (ΔU_{pocz}) i w środku uzwojenia ($\Delta U_{środk}$). Transformator chroniony od przepięć ogranicznikami beziskiernikowymi w sieci, gdzie czas wyłączenia zwarć nie jest ograniczony (1), w sieci z automatyczną eliminacją zwarć (2) oraz chroniony ogranicznikami iskierkowymi (3)



Rys. 3. Przebiegi wybranych napięć łączeniowych w uzwojeniu górnego napięcia transformatora: a, b – napięcia doziemne na zacisku liniowym (U_{pocz}) i w środku uzwojenia ($U_{środk}$), a', b' – napięcia między cewkami przy zacisku liniowym (ΔU_{pocz}) i w środku uzwojenia ($\Delta U_{środk}$). Transformator chroniony od przepięć ogranicznikami beziskiernikowymi w sieci, gdzie czas wyłączenia zwarć nie jest ograniczony (1), w sieci z automatyczną eliminacją zwarć (2) oraz chroniony ogranicznikami iskierkowymi (3)

Podsumowanie

Zastosowanie beziskiernikowych ograniczników przepięć z tlenków metali do ochrony transformatora zamiast ograniczników iskiernikowych wiąże się ze zmniejszeniem przepięć narażających układ izolacyjny. Przepięcia są zależne od napięć obniżonych ograniczników. Napięcia te wynikają z napięć pracy ciągłej ograniczników, dobieranych z uwzględnieniem czasu niezbędnego do wyłączenia jednofazowych zwarć doziemnych w sieci.

Literatura

- [1] **Kosztaluk R., Flisowski Z.:** *Dobór odgromników do pracy w sieciach elektrycznych*. Przegląd Elektrotechniczny. R. LXXIV, Nr 5, 1998, str. 118 – 122
- [2] PN/EN 60099-5 *Ograniczniki przepięć. Zalecenia wyboru i stosowania*
- [3] PN/IEC: 99-4 *Ograniczniki przepięć. Beziskiernikowe zaworowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego*
- [4] *Ograniczniki przepięć typu GXD 10-45*. Karta katalogowa GXD/06/01. ZWAR S. A.
- [5] PN/IEC 99-1 *Ograniczniki przepięć. Iskiernikowe zaworowe ograniczniki przepięć do sieci prądu przemiennego*
- [6] *Transformator typu T3ZoNe20/20 - karta prób*. Mikołowska Fabryka Transformatorów "Mefta" w Mikołowie
- [7] *Odgromniki zaworowe typu GZSb 6-126*. Katalog ZWAR - Warszawa, 1982
- [8] EN 60071-1 *Insulation Co-ordination. Part 1: Definitions, Principles and Rules* CENELEC 1995
- [9] **Kosztaluk R., Malewski R.:** *Koordinacja izolacji sieci rozdzielczej*. V Ogólnop. Symp.: Inżynieria Wysokich Napięć IW-2000, Poznań-Kiekrz, 22-24 maja 2000, str. 169-176
- [10] *Electromagnetic Transients Program-Alternative Transients Program*. Rule Book. 1987
- [11] **Małecki R.:** *Modele cyfrowe do badania przebiegów udarowych w transformatorach*. Zesz. Nauk. Polit. Łódzkiej. Rozprawy Naukowe, Z. 80, 1986
- [12] **Furgal J.:** *Teoretyczne wyznaczanie przepięć w uzwojeniach transformatora*. V Ogólnop. Symp.: Inżynieria Wysokich Napięć IW-2000, Poznań-Kiekrz, 22-24 maja 2000, str. 111 - 116
- [13] **IEEE Working Group 3.4.11.:** *Modelling of Metal Oxide Surge Arresters*. IEEE Trans. on Pow. Delivery, Vol. 7, No. 1, January 1992, pp. 302 – 309

ANALYSIS OF SELECTED OVERVOLTAGES IN THE MEDIUM VOLTAGE TRANSFORMER PROTECTED BY MO-SURGE ARRESTERS

Application of MO-surge arresters for overvoltage protection of transformers instead of lightning arresters involves change overvoltages in transformers. They depend on the parameters of MO-surge arresters where are selected on the basis work conditions of the electrical network. Selected overvoltages in the medium voltage transformer protected by MO-surge arresters and lightning ones are compared in the paper.

Artykuł opracowano w ramach umowy nr 11.11.120.10
finansowanej przez Komitet Badań Naukowych