

## **Obliczanie składowej czynnej prądu upływu ograniczników przepięć**

**Abstract.** *The measurement of the surge arresters leakage current and the analysis of its components is a key diagnostic criterion currently used in the power industry. Different algorithms for determining the leakage current resistive component are used in a study of surge arresters. These algorithms are based on the recorded waveforms of leakage current and supply voltage or only leakage current (the time delay method). Two algorithms for calculating the load active power typically used in power quality recorders can be also used for calculation of the resistive component. The results obtained in the paper for different voltage levels indicate differences of the results of two discussed methods and the time delay method. These differences are significant particularly for higher levels of harmonic components of leakage current. Accurate determination of power losses dissipated in the surge arrester operating in power networks characterizing high harmonic content from power converters and numerous voltage transients (micro grids, intelligent smart grids) is one of the main criteria for their selection.*

**Keywords:** medium voltage surge arresters, varistors, diagnostics

### **Wprowadzenie**

Ograniczniki przepięć średniego napięcia (SN) spełniają istotną rolę w systemie elektroenergetycznym. Przede wszystkim, pod warunkiem prawidłowego doboru, zapewniają skuteczną ochronę elementów systemu – głównie transformatorów energetycznych, przed przepięciami pochodzenia piorunowego i łączeniowego. Ten ostatni rodzaj ochrony jest szczególnie ważny w związku z upowszechnianiem się łączników próżniowych w sieciach SN, które szczególnie w starszych rozwiązaniach mają właściwości „zrywania” prądu przed jego przejściem przez zero, co powoduje generowanie przepięć o znacznej wartości i długim czasie trwania w porównaniu do przepięć atmosferycznych.

Podstawowym elementem ogranicznika są warystory wytworzone na bazie tlenku cynku ZnO z odpowiednimi domieszkami (głównie bizmutu - przewodnika o charakterze jonowym), które dzięki wielofazowej strukturze charakteryzują się nieliniową charakterystyką napięciowo-prądową.

Charakterystyka napięciowo – prądowa warystora ma charakter w przybliżeniu odcinkowo liniowy. W początkowym zakresie przy napięciach wymuszających przepływ niewielkich prądów (do 1 mA) obserwuje się stałą wartość rezystancji warystora rzędu gigaomów. Natomiast dla niewielkiej zmiany napięcia  $U$  w obszarze tzw. przebicia, prąd  $I$  osiąga wartości rzędu kiloamperów. Przy wyższych napięciach, wskutek redukcji barier między ziarnami, charakter przewodzenia prądu w warystorze jest typowo rezystancyjny przy rezystancji rzędu pojedynczych omów. Szczególnie interesujący dla celów diagnostycznych warystorów jest jednak zakres przedprzebiciowy, gdyż występuje wówczas normalny stan pracy ogranicznika – możliwy do określenia poprzez pomiar prądu upływnościowego lub, co jest bardziej miarodajne jego składowej czynnej przy napięciu roboczym sieci.

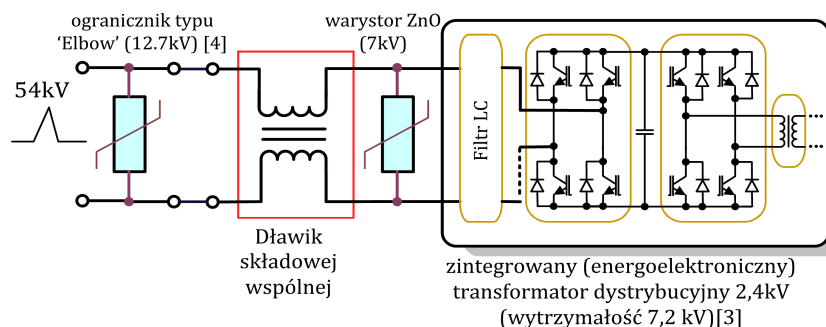
Na poziomie sieci SN energetyka zawodowa eksploatuje zazwyczaj ograniczniki aż do stanu uszkodzenia. Z punktu widzenia ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej sprawdza się okresowo (według wewnętrznej instrukcji eksploatacji [9]) ciągłość połączeń

oraz rezystancje uziemień stacji transformatorowo – rozdzielczych i słupów, na których montuje się ograniczniki. Natomiast praktycznie – poza ogranicznikami chroniącymi transformatory w głównych punktach zasilających – nie wykonuje się badań stanu ograniczników przepięć, które jak wiadomo ulegają degradacji pod wpływem czasu, temperatury i udarów prądowych [1, 2]. Zmienia się wówczas ich charakterystyka, która może nie zapewniać prawidłowej ochrony w stanach krytycznej pracy systemu elektroenergetycznego.

Obserwowany w ostatnich latach na świecie rozwój koncepcji tzw. sieci inteligentnych (z ang. *Smart Grids*) [3] z założenia wymusza wzrost znaczenia i udziału w systemach elektroenergetycznym układów przekształtnikowych dużej mocy. Na rys. 1 pokazano przykładowy układ ochrony przepięciowej zintegrowanego (energoelektronicznego) transformatora dystrybucyjnego realizowany za pomocą kaskadowego układu ograniczników przepięć [4]. Charakteryzujące się budową modułową układy energoelektroniczne [3] mogą pełnić w sieciach Smart Grid jednocześnie rolę sprzęgów sieciowych oraz układów poprawy jakości energii. Zaletą zintegrowanych transformatorów dystrybucyjnych jest możliwość płynnej regulacji parametrów napięcia. Stopień izolacyjny zintegrowanych transformatorów dystrybucyjnych jest realizowany za pomocą transformatorów wysokiej częstotliwości. Zastosowanie wysokiej częstotliwości pracy przyrządów energoelektronicznych rzędu kHz zapewnia małe gabaryty w porównaniu z transformatorami konwencjonalnymi.

Do wyzwań związanych z wprowadzaniem sieci Smart Grid można m. in. zaliczyć zapewnienie ochrony przeciwprzepięciowej nowych układów energoelektronicznych. Z kolei, z punktu widzenia diagnostyki ograniczników przepięć konieczne staje się zidentyfikowanie wpływu harmonicznych i stanów przejściowych generowanych przez przekształtniki na zjawiska starzeniowe w warystorach. Przykładowo oddziaływanie oscylacyjnie tłumionych udarów napięciowych o amplitudzie 2,5 - raza większej od napięcia stałego  $U_{1mA}$  powodującego przepływ prądu 1 mA w warystorze z tlenku cynku (ZnO) powoduje już po 100 udarach zmniejszenie  $U_{1mA}$ , aż o połowę [1]. Towarzyszy temu zmiana widma częstotliwościowego składowej urojonej pojemności zespolonej  $C''$  związana z zmianą koncentracji głębokich pułapek i ich wzajemnego oddziaływania, co wpływa na wzrost składowej prądu rezystancyjnego [1].

Na podstawie powyższych rozważań wynika, że analiza mechanizmów starzeniowych powodowanych modulacją szerokości impulsów napięcia (PWM) wymaga wiarygodnych metod pomiaru prądów, upływnościowych, tym bardziej, że zaproponowany w [5] sposób obliczania składowej rezystancyjnej i strat czynnych warystora w czasie stanu nieustalonego nie uwzględnia wydzielania się ciepła w czasie periodycznie powtarzającej się składowej oscylacyjnej lub udarowej.



Rys. 1. Przykład realizacji ochrony przepięciowej zintegrowanego transformatora dystrybucyjnego w układzie kaskadowym ograniczników przepięć

## VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

### **Analiza składowej czynnej prądu ogranicznika**

Zalecenia dotyczące diagnostyki ograniczników przepięć SN podała zmiana [11] do normy [10] zawierającej wytyczne ich stosowania i wyboru. Dokument [11] zasadniczo zmienia treść działu 6 normy [10] dotyczącego monitoringu ograniczników przepięć z tlenków metali, gdzie skupiono się na wykorzystaniu liczników zadziałań, iskierników wskaźnikowych oraz urządzeń do odczytu prądu ciągłego najlepiej z wydzieleniem składowej czynnej. Zmiana [11] rozszerza te możliwości o zastosowanie prostych urządzeń sygnalizujących stan częściowego lub całkowitego zniszczenia elementu warystorowego (np. odłączniki) lub specjalnych przyrządów analizujących temperaturę, harmoniczne prądu upływu czy też straty mocy czynnej.

W praktyce najczęściej wykorzystuje się metodę pomiaru prądu upływu wykonując pomiary eksploatacyjne na ogranicznikach pracujących w sieci. W celu umożliwienia pomiaru prądu upływu montuje się specjalny izolowany zacisk uziemiający między ogranicznikiem a uziemieniem, do którego dołącza się okresowo (diagnostyka okresowa) lub na stałe przyrząd pomiarowy (monitoring z zapisem wartości prądu upływu na karcie pamięci lub w systemie nadzoru). W czasie tego rodzaju pomiarów istotna jest czułość stosowanych cęgów prądowych, wprowadzane przez nie błędy oraz skutki oddziaływania zewnętrznego pola elektromagnetycznego. Producenci oferują tego typu urządzenia wyposażone wyłącznie w pole odczytu prądu, czasem z wbudowanym filtrem o przełączalnej charakterystyce częstotliwościowej. Spotyka się również cęgi z możliwością obserwacji mierzonego przebiegu na oscyloskopie, co daje możliwość rejestracji i analizy częstotliwościowej zmierzonego sygnału.

Ze względu na pojemnościowy charakter prądu upływu pogorszenie stanu ogranicznika powoduje jego niewielką zmianę. W związku z powyższym w praktyce powstała grupa metod wykorzystująca w analizie diagnostycznej również pomiar prądu upływu, ale z wydzieloną składową rezystancyjną na podstawie poniższych sposobów:

- metoda kompensacyjna polegająca na wygenerowaniu składowej pojemnościowej i odjęciu jej od sygnału prądu upływu [6],
- określenie wartości chwilowej prądu w momencie przejścia przez zero,
- metoda zmodyfikowanego przesunięcia prądu [7] – polega na zmierzeniu tylko przebiegu prądu upływu w czasie i następnie na wykonaniu szeregu obliczeń wg algorytmu, który polega na wykonaniu następujących czynności – zmierz prąd upływu, określ moment  $T_p$  przejścia prądu przez zero, określ częstotliwość, opóźnij przebieg o czas  $T_d=0,25$  okresu, dodaj opóźniony przebieg do prądu upływu, określ maksimum prądu, opóźnij przebieg o  $T_p+T_d$ , określ składową pojemnościową i odejmij ją od prądu upływu, co daje ostatecznie prąd rezystancyjny. Metoda poprzez wykonanie wymienionych czynności wirtualnie generuje odpowiednio przesunięty fazowo prąd pojemnościowy.

We wszystkich wskazanych powyżej metodach dużą trudność daje analiza odkształconych przebiegów prądowych. Ze względu na liczne składowe wysokiej częstotliwości określenie miejsca przejścia przez zero jest dość problematyczne ze względu na wielokrotne oscylacje prądu. Powoduje to dużą niepewność w wiarygodnym określeniu składowej rezystancyjnej prądu. Proponowane mogą być inne metody nawiązujące do typowych procedur obliczania mocy czynnej w miernikach do pomiaru jakości energii elektrycznej. W przyrządach tych moc czynna zazwyczaj jest wyliczana na podstawie wzoru (1):

$$(1) \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = UI \cos \phi = UI_R$$

gdzie:  $P$  – moc czynna wydzielana na ograniczniku,  $u(t)$ ,  $i(t)$  – przebiegi prądu upływu i napięcia fazowego w czasie,  $T$  – okres zmian napięcia w sieci,  $U$ ,  $I$  – wartości skuteczne napięcia i prądu ogranicznika,  $I_R$  – wartość skuteczna składowej czynnej ogranicznika lub jako suma mocy czynnych poszczególnych składowych harmonicznym prądu i napięcia:

$$(2) \quad P = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^n U_k I_k \cos \phi$$

Wzór (1) jest prosty w użyciu, ponieważ w przypadku wykonywanych w praktyce pomiarów cyfrowych wystarczy wyliczyć sumę iloczynów wartości chwilowych próbek prądu  $i_n$  i napięcia  $u_n$  wg zależności (3):

$$(3) \quad P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n i_n = UI \cos \phi = UI_R$$

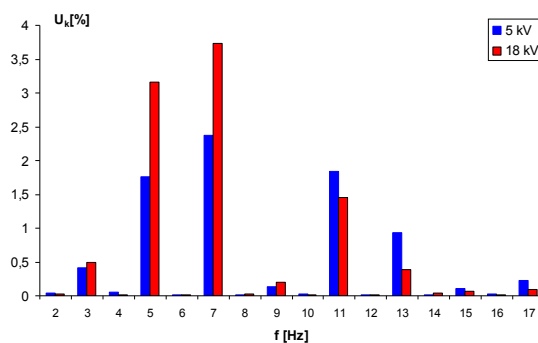
Natomiast wyliczenie mocy czynnej z zależności 2 wymaga rozłożenia sygnałów prądu i napięcia na składowe harmoniczne z wyliczeniem przesunięć fazowych pomiędzy nimi. W praktyce uwzględnia się dominujące składowe harmoniczne – zazwyczaj w analizie przebiegów w energetyce zawodowej są to harmoniczne nieparzyste.

#### Metodyka badań

Analizę zasadności użycia zależności (2) oraz (3) przedstawiono na podstawie wykonanych pomiarów prądu upływu w kompletnym, nowym ograniczniku SN w wykonaniu napowietrznym o napięciu trwałej pracy  $U_c = 18$  kV i znamionowym prądzie wyładowczym 10 kA. Ogranicznik na stanowisku pomiarowym w polu WN pokazano na rys. 2a. W badaniu celowo wykorzystywano źródło średniego napięcia o znacznej zawartości wyższych harmonicznym – głównie składowej 5, 7, 11–ej (rys. 2b), aby określić ich wpływ na wyniki pomiarów i dokładność przeprowadzanym obliczeń metodami sumy iloczynów wartości chwilowych napięcia oraz analizy harmonicznym.



a)



b)

Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do badania prądów upływu ograniczników SN, a) badany ogranicznik, b) zawartość wyższych harmonicznym źródła napięcia stosowanego w pomiarach laboratoryjnym

## VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

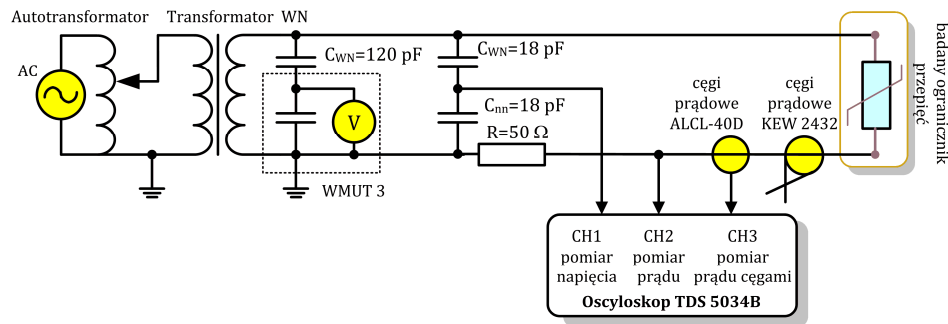
Przebieg napięcia zasilającego w układzie z rys. 3 mierzono za pomocą pojemnościowego dzielnika napięcia włączonego do wejścia CH1 oscyloskopu cyfrowego TDS 5034B, w którym ustawiono uśredniany tryb pomiaru z 16 przebiegów. Do kontroli wartości skutecznej napięcia dodatkowo stosowano kilowoltomierz WMUT 3 przyłączony do kondensatora wysokiego napięcia.

Do pomiaru prądu upływu wg rys. 3 zastosowano 3 metody:

- z bezpośrednim pomiarem napięcia na włączonym szeregowo z warystorem oporniku o rezystancji  $50 \Omega$  (sygnał napięciowy wprowadzony bezpośrednio na kanał CH2 oscyloskopu),
- z pomiarem prądu za pomocą czułych cęgów prądowych typu ALCL-40D o czułości  $1 \mu\text{A}$  z dodatkowym wyjściem na oscyloskop cyfrowy (kanał CH3 oscyloskopu),
- z pomiarem prądu za pomocą czułych cęgów prądowych typu KEW SNAP 2432 z wyświetlaczem tylko mierzonej wartości, ustawionych na szerokopasmowy tryb pomiaru do  $1 \text{ kHz}$ .

Zastosowane cęgi ALCL-40D oraz KEW SNAP 2432 zostały przed pomiarem wykalibrowane na stanowisku pomiarowym z generatorem napięcia przemiennego do  $1000 \text{ Hz}$  umożliwiającym pomiar prądu mikroamperomierzem klasy 0,5. Procedura ta jest konieczna ze względu na konieczność określenia błędów amplitudowych i fazowych wprowadzanych w cęgowym pomiarze prądu upływu o wartościach już od pojedynczych  $\mu\text{A}$ .

Kanały wejściowe oscyloskopu przyłączone do dzielnika pojemnościowego, sondy prądowej oraz rezystora  $50 \Omega$  rejestrowały 10000 próbek w czasie  $40 \text{ ms}$ , na podstawie, których obliczano wyższe harmoniczne prądu i napięcia za pomocą szybkiej transformaty Fouriera FFT do częstotliwości  $1050 \text{ Hz}$  włącznie. Przyjęty zakres częstotliwości do analizy wynikał z niewielkiej zawartości harmonicznych napięciowych i prądowych powyżej rzędu 21 – ego.



Rys. 3. Schemat pomiarowy stosowany w pomiarach prądu upływu ograniczników przepięć SN

### Wyniki badań i ich analiza

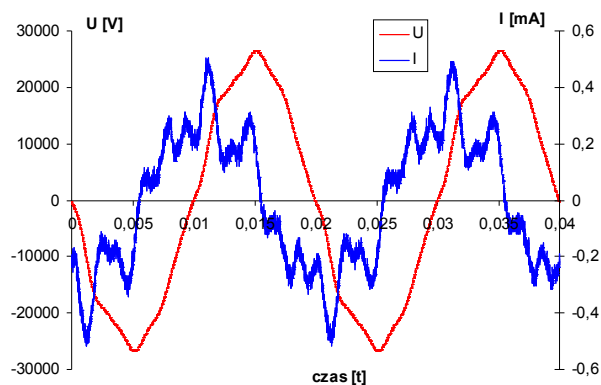
W przypadku pomiarów ograniczników przepięć przebiegi prądowe są znacznie odkształcone, co pokazano na rys. 4. Poziom prądu upływu zmierzony przy napięciu przemiennym o wartości skutecznej  $18 \text{ kV}$  wynosi  $238 \mu\text{A}$  i zawiera głównie składową pojemnościową z dominującymi harmonicznymi prądowymi nieparzystymi od 3 do 15 rzędu.

Zastosowanie obu podanych wyżej metod do detekcji prądu czynnego daje podobne wyniki zestawione w tabeli 1 i dotyczące analizy spadku napięcia na rezystorze 50 Ω. Ze względu na znaczne odkształcenia przebiegów prądowych stwierdzono za pomocą dodatkowych obliczeń poprawność wyników w oknie pomiarowym oscyloskopu. Natomiast wskazania innych przyrządów wykorzystujących algorytm True RMS przy bardzo dużej zawartości harmonicznych wyraźnie zawodzą i generują zbyt duże błędy pomiarowe, co będzie tematem odrębnego opracowania.

Tabela 1. Wyniki obliczeń na podstawie mocy czynnej pobieranej przez ograniczniki składowych: czynnej  $I_{R(obl)}$  i pojemnościowej  $I_{C(obl)}$  prądu upływu  $I_{U(pomiar)}$  zestawione z wartością prądu  $I_{R(opóź)}$  według metody opóźnienia czasowego [7]

U [kV]	THD <sub>U</sub> [%]	I <sub>U(pomiar)</sub> [μA]	THD <sub>I</sub> [%]	Metoda obliczeń	I <sub>R(obl)</sub> [μA]	I <sub>C(obl)</sub> [μA]	I <sub>C</sub> /I <sub>R</sub> [-]	I <sub>R(opóź)</sub> [μA]
5	3,8	58	52,7	Suma ui	13,9	56,3	4,1	37,3
				FFT	13,9	56,3	4,1	
10	4,0	128	34,4	Suma ui	27,5	125,0	4,5	60,7
				FFT	27,5	125,0	4,1	
15	2,7	189	52,7	Suma ui	45,9	183,3	4,0	95,4
				FFT	45,7	56,4	4,1	
18	5,2	235,8	37,1	Suma ui	72,1	224,7	3,1	314,0
				FFT	72,2	226,7	3,1	
20	3,5	270	52,7	Suma ui	102,4	249,8	4,1	359,8
				FFT	102,5	56,4	2,4	
22,5	3,9	1278	52,7	Suma ui	970,6	831,5	0,9	972,0
				FFT	970,0	56,4	4,1	

W przypadku metod opartych na zależnościach (2) i (3) wyliczono poziom mocy czynnej na poziomie 70 mW przy napięciu 5 kV, oraz 1300 mW przy napięciu 18 kV, co odpowiada składowej czynnej o wartości 14 i 72 μA.



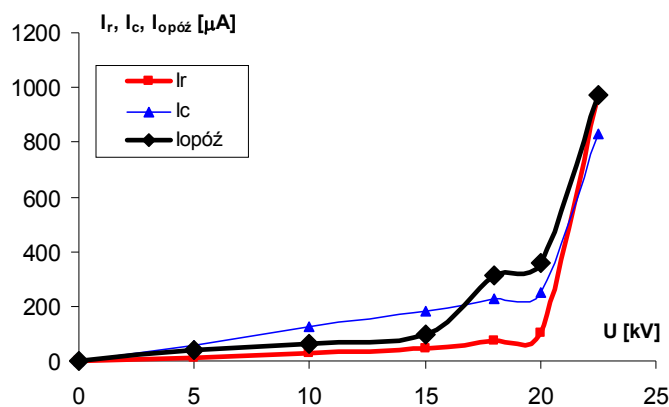
Rys. 4. Prąd upływu ogranicznika mierzony przy napięciu odkształconym 18 kV

Obie zastosowane metody dają zbliżone wyniki przy dużej zawartości wyższych harmonicznych w prądzie upływu. Według opisanej w [7] metody opóźnienia czasowego uzyskano zupełnie inne poziomy składowej rezystancyjnej, gdyż w metodzie tej uwzględnia się tylko pierwszą harmoniczną prądu pojemnościowego, co zasadniczo

## VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

podwyższa – nawet kilkukrotnie – wynik rzeczywisty analizowanej składowej prądu (rys. 5).

Wyniki obliczeń wskazują, że do określania składowej czynnej prądu upływu ograniczników można wykorzystać rejestratory jakości energii elektrycznej lub przenośne oscyloskopy, jeżeli tylko można uzyskać poprawny metrologicznie sygnał napięciowy i prądowy z obiektu badanego. Metoda ta może być również stosowana w eksploatacji pod warunkiem zastosowania odpowiednich przyrządów i technologii pracy pod napięciem.



Rys. 5. Poziom składowej rezystancyjnej obliczony na podstawie mocy czynnej wydzielanej w ograniczniku i metody opóźnienia czasowego

Precyzyjne zmierzenie wartości prądu w funkcji napięcia ma również istotne znaczenie diagnostyczne, gdyż pozwala na podstawie aproksymacji zależnością wykładniczą (4) wynikającą z modelu Schottky'ego uwzględniającego oddziaływanie pola elektrycznego na wysokość bariery potencjału wytworzonej na obszarze międzyziarnowym interpretować parametry fizykochemiczne układu warystorów w ograniczniku [8].

$$(4) \quad J_s = AT^2 \exp(-\Phi_B - \beta E^{1/2} / kT)$$

gdzie:

$J_s$  – gęstość prądu [ $A/cm^2$ ]

$A$  – stała Richardsona 120 [ $A/cm^2 K^2$ ]

$T$  – temperatura [K]

$\Phi_B$  – wysokość bariery potencjału na granicach między ziarnami ZnO [eV]

$\beta$  – stała [ $eVcm^{1/2}V^{1/2}$ ]

$E$  – natężenie pola elektrycznego [V/cm]

$K$  – stała Boltzmanna  $8,62 \cdot 10^{-5}$  [eV/K]

Na podstawie równania (4) aproksymowano punkty o współrzędnych ( $E^{1/2}$ ,  $J_s$ ) przeliczone z charakterystyki  $I_R(U)$  według rys. 5 do napięcia trwałej pracy włącznie otrzymując wartości  $\Phi_B = 0,8$  eV oraz  $\beta = 0,00337$  eVcm<sup>1/2</sup>V<sup>1/2</sup>. Otrzymane dane mogą

być podstawą porównania ograniczników, których struktura zależy od czasu eksploatacji w którym ma miejsce oddziaływanie pola elektrycznego i temperatury.

#### **Wnioski**

1. Zastosowanie do obliczeń poziomu składowej czynnej prądu upływu dwóch typowych metod stosowanych w rejestratorach jakości energii elektrycznej daje zbliżone wyniki w zakresie charakterystyki przedprzebieciowej do napięcia trwałej pracy włącznie.
2. Prosty algorytm obliczeń preferuje metodę iloczynów do zastosowania w określaniu składowej czynnej prądu upływu.
3. Znana w literaturze metoda opóźniania czasowego [7] bazująca tylko na przebiegu prądu upływu nie uwzględnia wyższych harmonicznych prądu pojemnościowego ogranicznika i dlatego uzyskane wyniki są znacznie wyższe w porównaniu do algorytmów wyliczających prąd rezystancyjny z mocy czynnej.
4. Charakterystyka  $I_R(U)$  pozwala na wyliczenie wielkości fizykochemicznych: wysokość bariery potencjału na granicach między zieranami ZnO oraz stałej  $\beta$  wskazującej na zmniejszanie bariery potencjału w czasie oddziaływania napięcia roboczego.

#### **Literatura**

1. J. Pospieszna, M. Jaroszewski, Wpływ oscylacyjnie tłumionych udarów napięciowych na zjawiska starzeniowe w ceramice warystorowej, Materiały Konferencji Napowietrzna Izolacja Wysokonapięciowa w Energetyce NIWE 2007 Energetyka, 2007, ss. 100-102, [www.e-energetyka.pl](http://www.e-energetyka.pl).
2. Martins H., Barbosa F.B., Cruz W. Evaluation and diagnosis technique for surge arresters, Proc. IEEE Conf. High Voltage Engineering and Application, 2010.
3. G. Benysek, R. Strzelecki: Nowoczesne układy energoelektroniczne w systemach dystrybucji energii elektrycznej, Przegląd Elektrotechniczny, R 85, nr 11, 2009.
4. J.-S. Lai: Renewable Energy and Power Electronics for Future Electric Grid, The 32nd Symposium of Electric Power Engineering, Taiwan, Dec. 2011.
5. A. Rocks, V. Hinrichsen: Overvoltage Protection of inverter-fed drives with the help of energy varistors – dimensioning and lifetime considerations, Proc. IEEE Conf. APEC 2008, 860 - 865.
6. Ch. Heinrich, V. Hinrichsen, Diagnostics and Monitoring of Metal – Oxide Surge Arresters in High-Voltage Networks – Comparison of Existing and Newly Developed Procedures, IEEE trans. On Power Delivery, vol. 16, no.1 2001, pp. 138 – 143.
7. Bok-Hee Lee, Sung Man Kang, A New on – line leakage current monitoring system of ZnO surge arresters, Materiale Science and Engineering B 119 (2005), pp. 13 – 18.
8. M. Žunić i inni. Electrical Properties of ZnO Varistors Prepared by Direct Mixing of Constituent Phases, Science of Sintering, 38, 2006, pp 161 – 167.
9. Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, Koncern Energetyczny Energa, Gdańsk 2007.
10. PN-EN 60099-5:1999. Ograniczniki przepięć - Zalecenia wyboru i stosowania.
11. PN-EN 60099-5:1999/A1:2004, Ograniczniki przepięć - Zalecenia wyboru i stosowania.

**Autorzy:** dr inż. Marek Olesz, dr inż. Marek Adamowicz; Katedra Mechatroniki i Inżynierii Wysokich Napięć, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska, 80-233 Gdańsk, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, e-mail: [m.olesz@ely.pg.gda.pl](mailto:m.olesz@ely.pg.gda.pl), [madamowi@ely.pg.gda.pl](mailto:madamowi@ely.pg.gda.pl)