



Analiza wpływu harmonicznego napięcia zasilającego na wynik diagnostyki ograniczników przepięć

Streszczenie. Metody diagnostyki ograniczników wysokonapięciowych najczęściej wykorzystują analizę harmonicznego całkowitego prądu upływu. Źródłem błędów może być zawartość harmonicznego w napięciu zasilającym, co rzadko brane jest pod uwagę podczas rutynowych pomiarów diagnostycznych. W pracy przedstawiono analizę wpływu harmonicznego w sygnale napięciowym na wynik pomiaru diagnostycznego. Analizy tej dokonano na podstawie wykonanych symulacji komputerowych w środowisku Matlab.

Abstract. (Applied voltage harmonics effect on HV arrester diagnostic results). Diagnostics of HV gapless surge arresters are often realized by leakage current analysis especially the 3rd harmonic content of the leakage current. This method has some technical disadvantages because of voltage harmonics influence on current measurement. In this paper applied voltage harmonics effect on HV arrester diagnostic results are presented.

Słowa kluczowe: warystor ZnO, diagnostyka, trzecia harmoniczna, transformata Fouriera.

Keywords: ZnO arrester, diagnostics, third harmonic, Fourier transform.

Wstęp

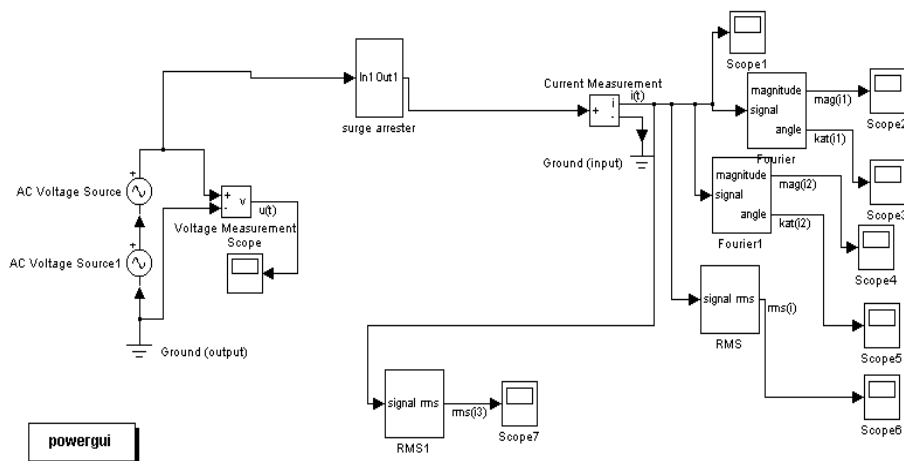
Beziskiernikowe ograniczniki przepięć są nowoczesnymi urządzeniami ochrony przeciwprzepięciowej. Ogranicznik przepięć stanowi stos ceramicznych warystorów tlenkowych, zamkniętych w szczelnej obudowie porcelanowej lub kompozytowej. Konstrukcja taka wymusza przepływ prądu przewodzenia przez ogranicznik w trakcie jego pracy przy napięciu roboczym sieci. Wartość tego prądu wzrasta wraz z inicjacją procesów starzeniowych ceramiki tlenkowej. Sytuacja taka może doprowadzić do niekontrolowanego wzrostu prądu i zniszczenia ogranicznika. Prąd przewodzenia składa się z około 90% ze składowej pojemnościowej, a pozostałą część stanowi składowa rezystancyjna. Składowa rezystancyjna prądu jest zależna nie tylko od wartości napięcia, lecz także od zmian starzeniowych. Jednymi z częściej stosowanych w praktyce metod diagnostycznych ograniczników przepięć - szczególnie ograniczników w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym - są metody pomiarów ich prądu przewodzenia pod napięciem sieciowym. Ich zaletą jest to, że nie wymagają one wyłączenia badanego ogranicznika z pracy. Metody diagnostyki ograniczników wysokonapięciowych najczęściej wykorzystują analizę harmonicznego całkowitego prądu przewodzenia. Wynika to

z faktu, że do składowej rezystancyjnej prądu przewodzenia proporcjonalna jest trzecia harmoniczna tego prądu. Aby otrzymać wartość składowej rezystancyjnej prądu, będącej parametrem diagnostycznym, należy przeskalować wyniki pomiarów, co bywa źródłem błędów. Dodatkowym źródłem błędów, może być również, zawartość harmonicznego w napięciu zasilającym, co rzadko brane jest pod uwagę podczas rutynowych pomiarów diagnostycznych. W pracy przedstawiono analizę wpływu harmonicznego w sygnale napięciowym na wynik pomiaru diagnostycznego. Analizy tej dokonano na podstawie wyników symulacji komputerowych wykonanych w środowisku Matlab.

Układ badawczy i wyniki symulacji

Metody komputerowe, bazujące na modelach matematycznych, pozwalają w sposób szybki i łatwy ocenić zachowanie się warystorów tlenkowych w warunkach eksploatacji. W literaturze, zarówno krajowej jak i zagranicznej, znaleźć można wiele schematów zastępczych warystorów ZnO [1-5]. Różnią się one od siebie stopniem skomplikowania, zastosowaniem dla danego rodzaju napięcia, czy ograniczeniem opisu do określonego zakresu charakterystyki napięciowo-prądowej. W modelach tych dla napięć przemiennych, w zakresie napięcia trwałej pracy U_C ,

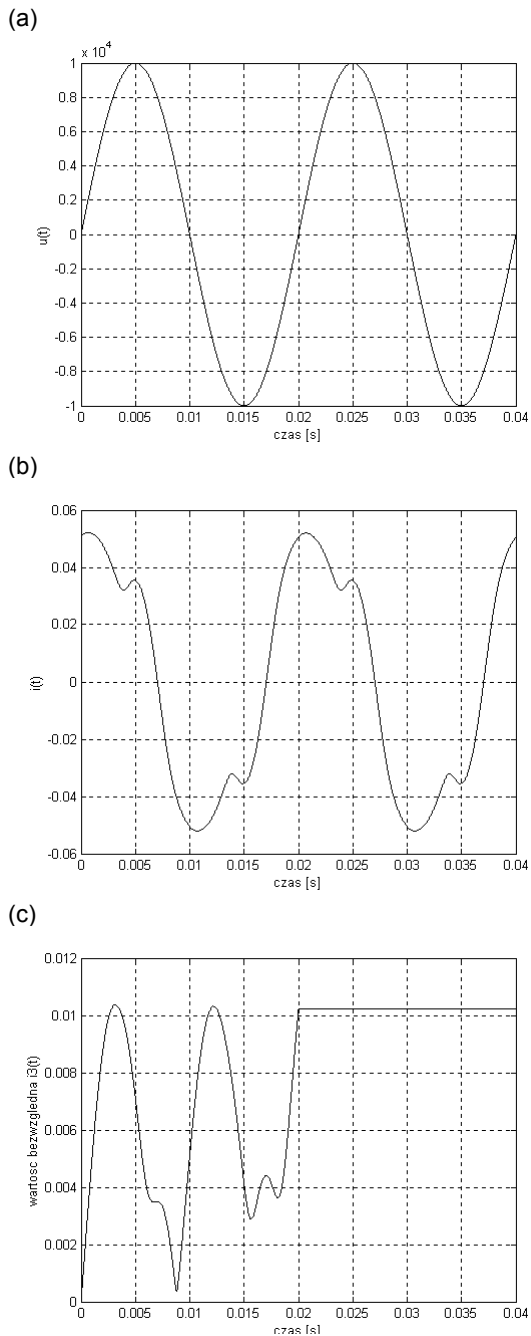
przyjmuje się najczęściej schematy zastępcze w postaci połączeń elementów R i C . Mają one charakter zarówno liniowy jak i nieliniowy. W referacie przedstawiono wyniki badań symulacji komputerowych wykonanych na modelu analitycznym warystora przedstawionym szerzej przez autorów w [6]. Model ten złożony jest z pojemności i nieliniowej rezystancji odpowiadających granicy międzyziarnowej z barierą potencjału oraz z rezystancji i pojemności odpowiadających fazie międzyziarnowej. Model ten opisany został matematycznie przy użyciu metody superpozycji. Jak



Rys. 1. Schemat układu badawczego w programie Matlab (Simulink)

przedstawiono w cytowanej publikacji, model ten daje dużą zgodność kształtu przebiegu prądu otrzymaną z symulacji z przebiegiem rzeczywistym z badań przeprowadzonych na warystorze stosowanym w ograniczniku wysokonapięciowym produkcji krajowej.

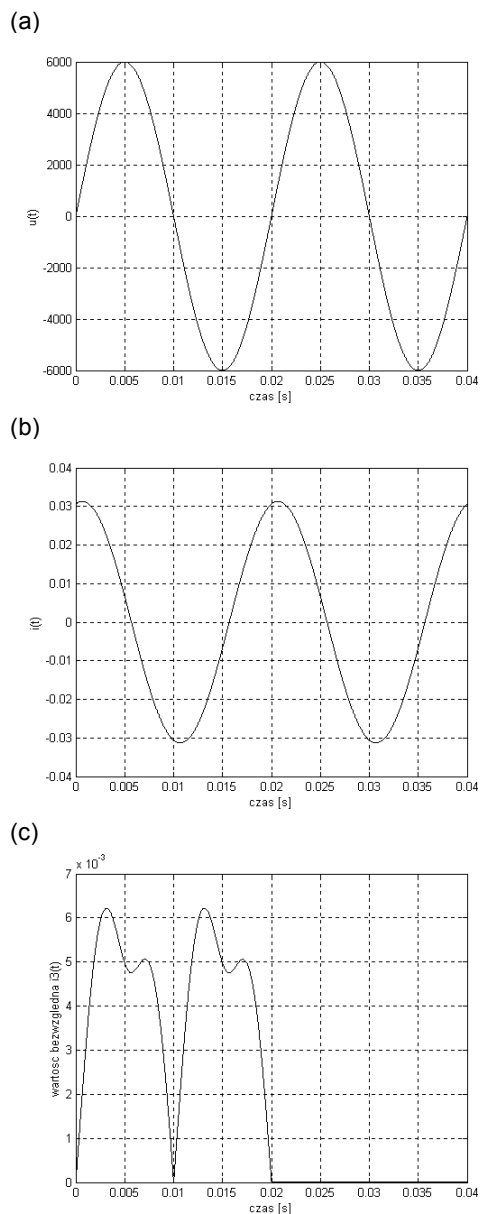
Obliczenia wykonano przy pomocy opracowanego programu aplikacyjnego pracującego w środowisku Matlab. Implementację powyższego programu przedstawiono na rysunku 1.



Rys.2. Przebiegi napięcia wymuszającego (a), odpowiedzi prądowej warystora (b), wartości trzeciej harmonicznej (c); dla napięcia $U > U_z$

Zadaniem programu aplikacyjnego była analiza widmowa sygnału prądowego. W praktyce, bowiem, mamy najczęściej do czynienia z sygnałami mierzonymi w pewnych punktach czasu, które można traktować jako ciąg liczbowy. Coraz powszechniejsze stosowanie komputerów, pozwalających na rozwiązywanie skomplikowanych algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów, takich jak na przykład szybka transformata Fouriera, spowodowało w

ciągu kilkudziesięciu ostatnich lat odejście od transformat całkowych na rzecz dyskretnych, przy czym transformata dyskretna może być traktowana jako analogia do transformaty całkowej, ale nie jako prosta jej aproksymacja. Dodatkowo bardzo często dziedziną cyfrowego przetwarzania sygnałów zajmuje się sygnałami niestacjonarnymi, tj. takimi, których cechy charakterystyczne ulegają zmianie z czasem. To spowodowało konieczność wprowadzenia pojęcia częstotliwości chwilowej i wprowadzenia transformat przekształcających funkcję oryginału jednej zmiennej (najczęściej czasu) na dwuwymiarową reprezentację (najczęściej czasowo – częstotliwościową).



Rys.3. Przebiegi napięcia wymuszającego (a), odpowiedzi prądowej warystora (b), wartości trzeciej harmonicznej (c); dla napięcia $U > U_z$

W tym celu została wprowadzona krótkoczasowa transformata Fouriera, zwana czasem okienkową transformatą Fouriera, a nieco później, w połowie lat osiemdziesiątych transformata falkowa. W algorytmie krótkoczasowej transformaty Fouriera mamy do czynienia z oknem w postaci odpowiedniej funkcji. Okno przesuwa się wzdłuż osi czasu wycinając segmenty sygnału równocześnie poddając go przekształceniu, dzięki czemu

możliwy jest do uzyskania wykres częstotliwości w funkcji czasu lub wykres amplitudy od częstotliwości i czasu.

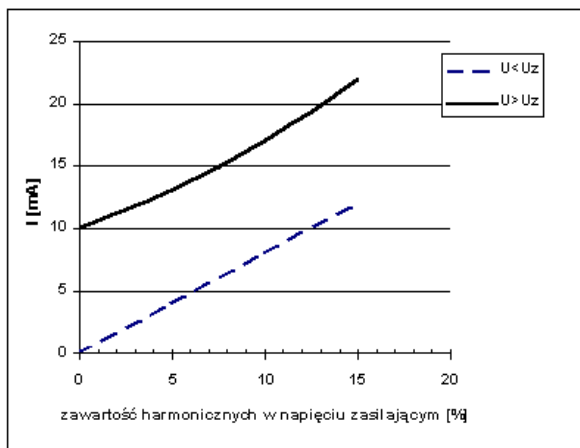
Badania zostały przeprowadzone dla różnych napięć zasilających układ. W obliczeniach brano pod uwagę różny stopień zawartości harmonicznym nieparzystych w sygnale napięciowym. Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono na rysunkach 2 - 4.

Rysunki 2a - 2c przedstawiają kolejno: wymuszenie napięciowe, odpowiedź prądową warystora oraz zawartość trzeciej harmonicznej w badanych sygnale prądowym w sytuacji, kiedy napięcie zasilające jest większe od napięcia zadziałania warystora U_z .

Rysunki 3a-3c przedstawiają kolejno te same sygnały, ale w sytuacji, kiedy napięcie zasilające jest mniejsze od U_z .

Szczególina uwagę należy zwrócić na rysunki 2c oraz 3c. Przedstawiają one wyniki analizy fourierowskiej dla zawartości trzeciej harmonicznej w odpowiedzi prądowej warystora na napięcie wymuszające. Porównując te rysunki, należy wziąć równocześnie pod uwagę fakt, że prawidłowe wyniki analizy fourierowskiej uzyskano po 20 ms od rozpoczęcia symulacji komputerowej. Jest to jednocześnie minimalny czas wymagany do przeprowadzenia analizy Fouriera badanego sygnału. Po porównaniu ich ze sobą, w przypadku zadziałania ogranicznika (rys 2c), można zauważyć wyraźną obecność trzeciej harmonicznej w sygnale prądowym warystora. Jej wartość wynosi ok. 10 mA dla czasu symulacji w przedziale 20-40 ms. W sytuacji nie zadziałania ogranicznika (rys 3c), w tym samym przedziale czasowym symulacji, nie zarejestrowano zawartości trzeciej harmonicznej w sygnale prądowym warystora.

Na rysunku 4 można zauważyć znaczący wzrost wartości prądu trzeciej harmonicznej przy wzroście zawartości harmonicznym w napięciu zasilającym zarówno dla $U < U_z$ jak i $U > U_z$. Obserwowana tu duża początkowa wartość prądu dla napięcia $U > U_z$ jest związana ze zwiększeniem wartości składowej rezystancyjnej prądu przewodzenia warystora w zakresie napięcia zadziałania.



Rys.4. Prąd trzeciej harmonicznej odpowiedzi prądowej warystora

Podsumowanie

Pojawienie się nieparzystych harmonicznym w sygnale prądowym (w sytuacji, kiedy napięcie wymuszające jest pozbawione wyższych harmonicznym) ma związek z zadziałaniem ogranicznika. Należy również zauważyć, że prawidłowe (stabilne) wyniki analizy fourierowskiej uzyskano dopiero po 20 ms od rozpoczęcia symulacji komputerowej. Jest to minimalny czas wymagany dla analizy Fouriera badanego sygnału. Czas ten można ograniczyć stosując inne techniki diagnostyczne, między

innymi: sztuczne sieci neuronowe [7-10] lub transformaty falkowe [11-12].

Wzrost wartości prądu trzeciej harmonicznej prądu przewodzenia warystorów nie zawsze może być wiązany z procesami starzeniowymi, ale również z warunkami pomiaru.

W przypadku przeprowadzania badań diagnostycznych, których wyniki wskazują na istnienie zmian starzeniowych warystorów należy sprawdzić kształt krzywej napięciowej. Pozwoli to uniknąć podjęcia błędnych interpretacji wyników badań diagnostycznych.

Wykonano w ramach projektu badawczego KBN nr 8T10B03722

LITERATURA

- [1] Petit A., Do X.D., St-Jean G., An experimental method to determine the electro-thermal model parameters of metal oxide surge arresters, *IEEE Trans. on PD*, Vol.6, No.2, April 1991, pp.715-721
- [2] Bak-Jensen B., Bak-Jensen J., Mikkelsen S.D., Tolstrup Sorensen J., Modelling of medium voltage ZnO arresters in the leakage region, *8th International Symposium on High Voltage Engineering*, Yokohama, Japan, August 1993, pp.405-408
- [3] Bak-Jensen B., Bak-Jensen J., Mikkelsen S.D., Tolstrup Sorensen J., General equivalent circuit model of a ZnO arrester, *8th Int. Symp. on High Voltage Engineering*, Yokohama, Japan, August 1993, pp.409-411
- [4] Furgał J., The modelling of electrothermal phenomena determined by overvoltages in without gaps surge arresters, *Scientific Papers of the Institute of Electrical Engineering Fundamentals Wrocław University of Technology*, No.32, Series Conference No.9, 1997, pp.155-160, in Polish
- [5] Korycki P., Dzierżyński A., Method of standardization of diagnostic measurements of surge arresters and program to its performing, *Scientific Papers of the Institute of Electrical Engineering Fundamentals Wrocław University of Technology*, No.36, Series Conference No.11, 2000, pp.277-285, in Polish
- [6] Jaroszewski M., Kostyla P., Modelling of ZnO varistors in the leakage region, *XVIII Symposium Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits*, Leuven, Belgium, July 2002, pp. 207-210
- [7] Cichocki A., Unbehauen R., Neural Network for Optimization and Signal Processing, Stuttgart, Teubner -Wiley, 1993.
- [8] Cichocki A., Kostyla P., Łobos T., Waclawek Z., Neural Networks for Real-Time Estimation of Signals Encountered in Power Systems, *IMACS Int. Symp. on Signal Processing, Robotics and Neural Networks*, Lille, France, 1994, pp. 317-320
- [9] Cichocki A., Kostyla P., Łobos T., Waclawek Z., Neural networks for real time estimation of parameters of signals in power systems, *Int. Conf. on Intelligent System Application to Power Systems*, Montpellier, France, 1992, vol.2, pp. 749-756
- [10] Cichocki A., Unbehauen R., Simplified Neural Network for Solving Linear Least Squares and Total Least Squares Problems in Real Time, *IEEE Trans. On Neural Networks*, 1994, vol. 5, pp. 910-923
- [11] Rezmer J., Sikorski T., Estymacja parametrów linii przesyłowych w czasie rzeczywistym z zastosowaniem funkcji falkowych, *Konferencja Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZkwE*, Poznań/Kiekrz, kwiecień 2002, t. I, pp.23-26
- [12] Holschneider M., Wavelets- An Analysis Tool, *Oxford Science Public.*, New York, 1995

Autorzy: dr inż. Maciej Jaroszewski, dr inż. Paweł Kostyla E-mail: maciej.jaroszewski@pwr.wroc.pl kostyla@ipee.pwr.wroc.pl
 Politechnika Wroclawska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław