

Piotr FRĄCZAK*
Szymon BANASZAK**

OBLICZENIA SYMULACYJNE PRĄDU UPŁYWU POWIERZCHNI STARZONYCH IZOLATORÓW TRAKCYJNYCH W UJĘCIU TEORII PERKOLACJI

W pracy przedstawiono wartości natężenia prądu upływu powierzchni izolatorów trakcyjnych kompozytowych uzyskane w czasie badań starzeniowych oraz obliczeń symulacyjnych za pomocą modeli elektrycznych perkolacji ich powierzchni. Badania procesu starzenia izolatorów trakcyjnych przeprowadzono w stosownej komorze starzeniowej przy odpowiedniej wartości napięcia sieci i określonym stężeniu solanki w postaci mgły. Pomiary i rejestrację prąd upływu powierzchni starzonych izolatorów trakcyjnych dokonywano za pomocą specjalnie zbudowanego urządzenia. Natomiast obliczenia symulacyjne prądu upływu powierzchni starzonych izolatorów trakcyjnych dokonano za pomocą modeli elektrycznych perkolacji (perkolacja dla gałęzi na sieci) ich powierzchni. Modele elektryczne perkolacji stanowią obwody elektryczne, które składają się z sieci kwadratowych o charakterze impedancyjnym oraz odpowiednich źródeł napięcia o określonej częstotliwości. Modele elektryczne perkolacji zawierają losowe sposoby zwierania gałęzi na sieciach. Procedura obliczeń symulacyjnych prądu upływu starzonych izolatorów trakcyjnych polegała na stworzeniu ich schematów zastępczych powierzchni oraz zadeklarowaniu stosownych analiz prądowych w programie PSpice. Uzyskane w ten sposób wartości natężenia prądu upływu powierzchni izolatorów prętowych porównano z wartościami wyznaczonymi doświadczalnie podczas badań starzeniowych. Otrzymano podobne wartości natężenia prądu upływu powierzchni izolatorów w wyniku obliczeń symulacyjnych (teoria perkolacji) oraz pomiarów laboratoryjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: prąd perkolacji izolatora, laboratoryjna weryfikacja prąd perkolacji izolatora

1. WSTĘP

Wartość natężenia prądu upływu na powierzchni izolatorów zabrudzonych można obliczyć za pomocą modeli perkolacji elektrycznych ich powierzchni (perkolacja dla węzłów na sieci) [3]. Modele perkolacji otrzymuje się w wyniku losowego niszczenia struktury sieci będącej ze źródłem napięcia schematem

* Zachodniopomorskie Centrum Edukacji Morskiej i Politechnicznej w Szczecinie.

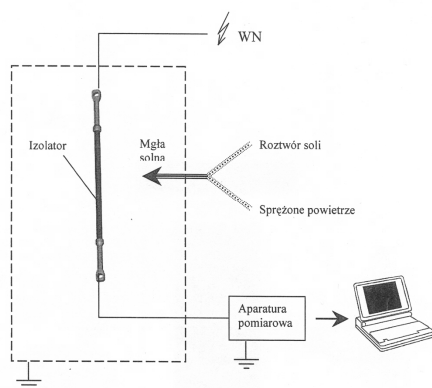
** Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

zastępczym powierzchni izolatora. Losowy sposób niszczenia struktury sieci dokonuje się za pomocą odpowiednich procedur obliczeniowych programu *PSpice* [5]. Z kolei przeskok zabrudzeniowy na powierzchni izolatora prętowego kompozytowego można porównać z progiem perkolacji rozpatrywanego modelu (nagły skok wartości natężenia prądu o kilka rzędów wielkości) [3, 4].

Celem pracy jest porównanie uzyskanych wartości natężenia prądu upływu na powierzchniach izolatorów prętowych kompozytowych starszonych laboratoryjnie z wartościami prądu uzyskanymi za pomocą teorii perkolacji.

2. BADANIA LABORATORYJNE

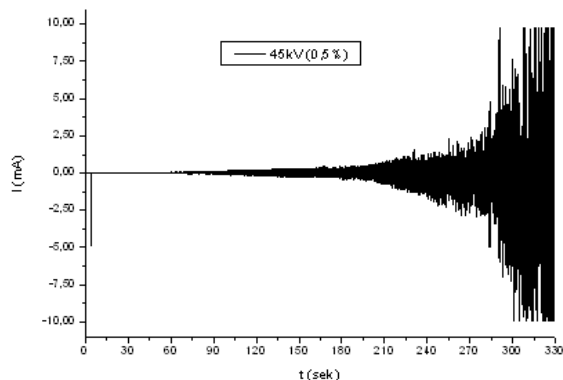
Na rys. 2.1. przedstawiono schemat budowy i działania komory mgły solnej.



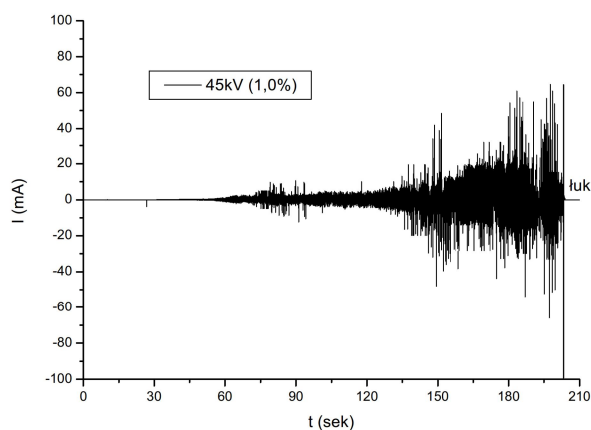
Rys. 2.1. Schemat budowy i działania komory mgły solnej

2.1. Badania wstępne laboratoryjne

Badania wstępne rozpoczęto od stężenia 0,5%. Dla tego stężenia soli we mgle pierwsze większe wartości prądów upływu pojawiają się dopiero, gdy napięcie wynosi 40 kV. Na poziomie 45 kV są zdecydowanie wyraźniejsze i szybko narastają w końcowym okresie rejestracji, aż do pojawienia się wyładowań na powierzchni izolatora uniemożliwiających rejestrację prądów. Wyładowania powierzchniowe widoczne są jako ucięte piki, przekraczające wybrany zakres pomiarowy urządzenia rejestrującego (rys. 2.2). Stężenie to jest wyraźnie zbyt niskie dla przeprowadzenia przy jego zastosowaniu badań starzeniowych, gdyż wymuszałoby stosowaniu wartości napięcia, przy których kontrola i analiza procesu starzeniowego byłaby niemożliwa. Przy stężeniu 1 % pierwsze mierzalne prądy upływu pojawiają się przy 30 kV. Przy 40 kV widoczny jest efekt ścięcia impulsów związany z przekroczeniem zakresu pomiarowego. Z której przy tej wartości 40 KV występuje łuk elektryczny w powietrzu (rys. 2. 3).



Rys. 2.2. Prądy upływu na powierzchni starzonego izolatora (45 kV, 0,5%)

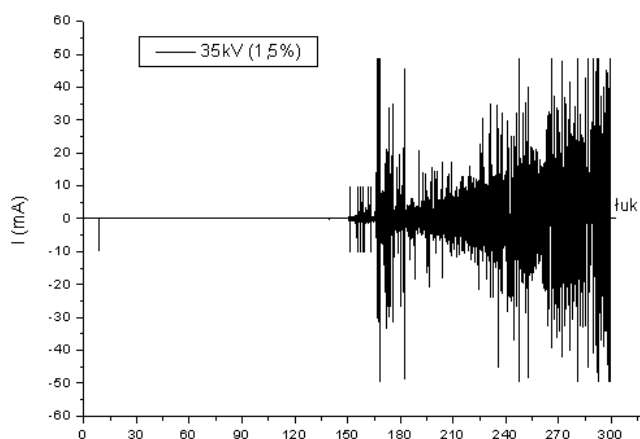


Rys. 2.3. Występowanie łuku w powietrzu (45 kV, 1%)

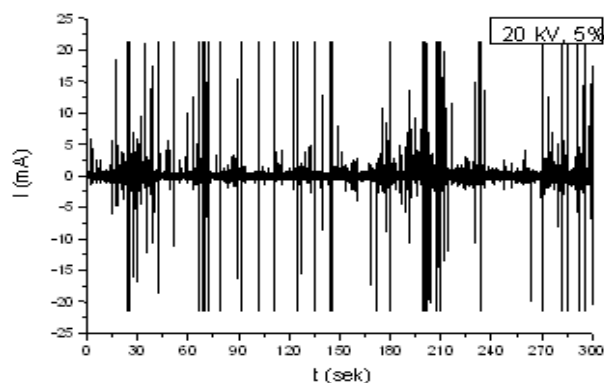
Przy stężeniu 1,5% prądy są zdecydowanie intensywniejsze, zaś maksymalne napięcie, przy którym przeprowadzono próbę było równe 35 kV. Dla napięć poniżej 25 kV, nie uzyskano wyraźnych prądów upływu na powierzchni izolatora. Z kolei dla napięcia 35 kV na powierzchni układów izolacyjnych pojawiają się łuki elektryczne (rys. 2.4).

Przy stężeniu 5 % zauważyć można intensywne prądy upływu już przy 15 kV, a szczególnie przy napięciu 20 kV. Z kolei przy 25 kV zaobserwować można przerwę w przepływie prądów, spowodowaną osuszaniem powierzchni izolatora wskutek zwiększającej się temperatury. Po ponownym nawilżeniu występują intensywne wyładowania (rys. 2.5).

Podobne rezultaty otrzymano dla kolejnych stężeń 7%, 8 %, 9 % i 10 %.



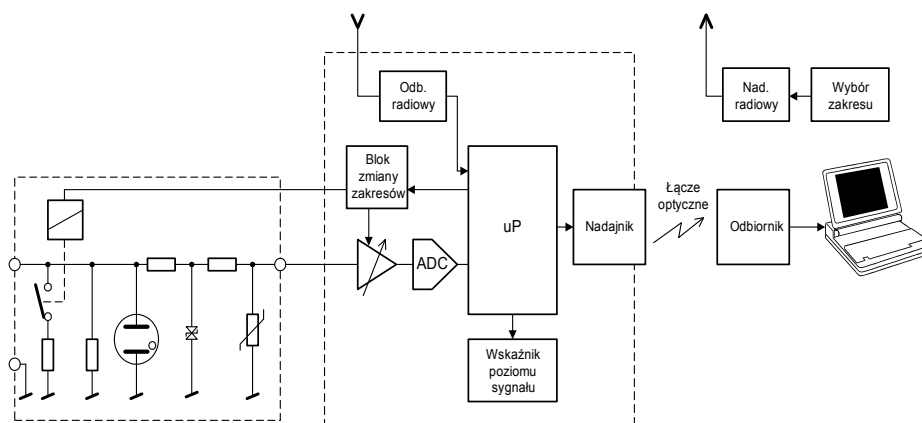
Rys. 2.4. Występowanie łuku elektrycznego na powierzchniach izolatorów(35 kV, 1,5%)



Rys. 2.5. Intensywny prąd upływu (20 kV, 5%)

3.2. Pomiar sygnałów prądu upływu

Na komputerze zainstalowano oprogramowanie odbierające sygnały od modułu odbiornika i zapisujące go na dysku. Spadek napięcia uzyskany na rezystorach pomiarowych przekazywany jest do stopni dopasowujących (zakres napięciowy wartości międzyszczytowej i dalej do wejścia przetwornika ADC. Sygnał ten jest próbkowany 32 razy w ciągu jednego okresu napięcia sieciowego. Strumień informacji wynosi $32 \times 50 \text{ Hz} = 1600$ pomiarów/ sek. Na rys. 2.6. przedstawiono system pomiaru prądu upływu starzonych laboratoryjnie izolatorów trakcyjnych.



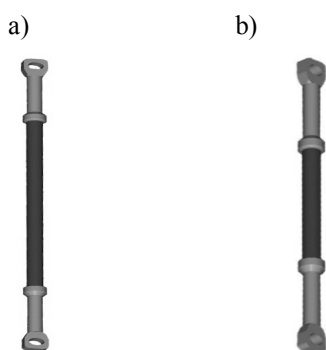
Rys. 2.6. System pomiaru prądu upływu starzonych laboratoryjnie izolatorów trakcyjnych

3.3. Badania laboratoryjne starzeniowe długotrwałe

Badania laboratoryjne długotrwałe wykonano dla trzech izolatorów o długości osłony równej 0,5 m i o dwóch długości osłony 0,24 m.

3.4 Modele izolatorów trakcyjnych

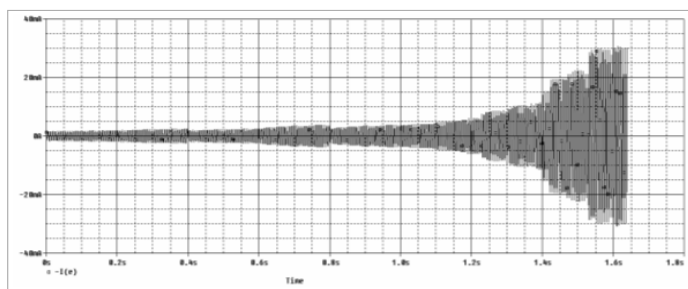
Na rys. 2.7 przedstawiono modele izolatorów trakcyjnych o długości osłony 0,5 m i 0,24 m.



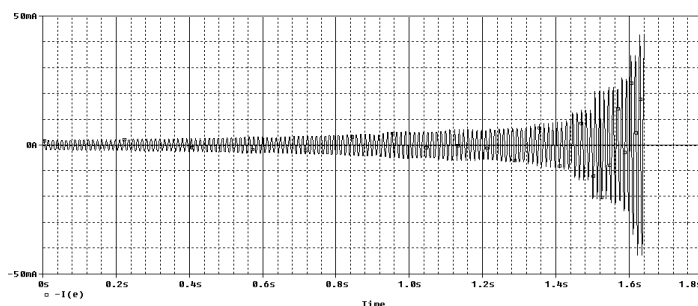
Rys. 2.7. Modele izolatorów trakcyjnych kompozytowych a) 0,5 m długi b) 0,24 m krótki

4. OBLICZENIA SYMULACYJNE PRĄDU UPŁYWU NA POWIERZCHNIACH IZOLATORÓW PRĘTOWYCH ZA POMOCĄ MODELI PERKOLACJI ELEKTRYCZNYCH ICH POWIERZCHNI

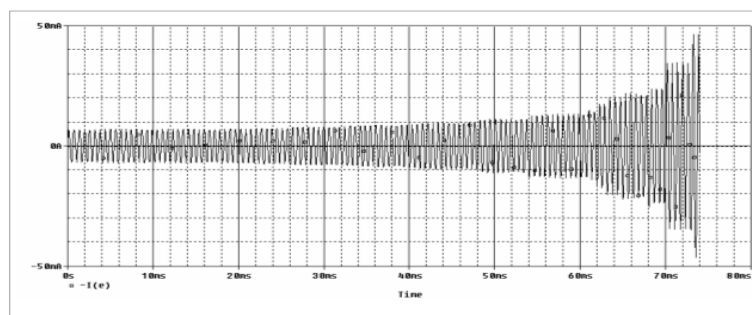
W celu przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych prądu upływu na powierzchni izolatora prętowego kompozytowego za pomocą teorii perkolacji utworzono jego model powierzchni w postaci obwodu elektrycznego. Obwód elektryczny składa się ze źródła napięcia oraz z sieci o strukturze kwadratowej jednakowych gałęzi o charakterze rezystancyjnym. Niszcząc w sposób losowy strukturę sieci modelu powierzchni izolatora prętowego otrzymuje się jego model perkolacji (perkolacja dla węzłów na sieci) [3]. Do budowy modeli perkolacji przyjęto sieci, która odpowiadają wymiarom geometrycznym izolatorów prętowych kompozytowych. Rozwijając powierzchnię zewnętrzną prętowych izolatorów kompozytowych odpowiednio o długości 0,5 m i 0,24 m a następnie je dyskretyzując. Otrzymano modele perkolacji elektryczne powierzchni izolatorów odpowiednio $3,284 \times 10^3$ komórek (oczek) i $1,568 \times 10^3$. Szczegółowy opis tej kwestii zamieszczony jest w publikacji [6]



Rys. 4.1. Obliczenia symulacyjne prądu upływu na powierzchni izolatora prętowego za pomocą modelu perkolacji w programie *PSpice* – 45kV 1% łuk



Rys. 4.2. Obliczenia symulacyjne prądu upływu na powierzchni izolatora prętowego za pomocą modelu perkolacji w programie *PSpice* – 35kV 1,5% łuk



Rys. 4.3. Obliczenia symulacyjne prądu upływu na powierzchni izolatora prętowego za pomocą modelu perkolacji w programie *PSpice* – 35kV 1,5% łuk (izolator 0.24)

5. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych wartości natężenia prądu upływu na powierzchni izolatora prętowego kompozytowego za pomocą modelu perkolacji (perkolacja dla węzłów na sieci), badań laboratoryjnych (wzory empiryczne) stwierdzono:

- Utworzony model perkolacji (perkolacja dla węzłów na sieci) zweryfikowano na podstawie wartości progu ($p'_c = 0,5998$) [7].
- Teorię perkolacji (perkolacja dla węzłów na sieci) można zastosować do wyznaczenia wartości natężenia prądu upływu na powierzchni izolatorów prętowych kompozytowych.
- Na otrzymanych charakterystykach symulacyjnych prądu upływu w funkcji liczby zajętych węzłów widać stopniowe narastanie wartości natężenia prądu i nagły wzrost o kilka rzędów wielkości (próg perkolacji – rys. 3.4).
- Próg p'_c [7]. (perkolacja dla węzłów na sieci) w rozpatrywanym modelu perkolacji izolatora odpowiada jego napięciu przeskoku zabrudzeniowego.
- Obliczone za pomocą teorii perkolacji za pomocą teorii perkolacji analitycznej (2.4) wartości krytyczne natężenia prądu upływu na powierzchni izolatora odpowiadają badaniom laboratoryjnym wartości obliczonym za pomocą teorii perkolacji (rys. 4.1, 4.2, 4.3).

LITERATURA

- [1] Banaszak Sz.: Research on ageing of traction tension insulators, Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering – ISH 2005, Beijing, China, August 25–29, 2005, s.222.
- [2] Chrzan K.L.: Prąd upływu na naturalnie zabrudzonych izolatorach porcelanowych i silikonowych, Przegląd Elektrotechniczny 2008, vol. 84, nr 10, s.117–120.

- [3] Flisowski Z.: Technika wysokich napięć, wyd. 5, Warszawa, WNT 2005, ISBN 83-204-3077-1.
- [4] Frączak P.: Creation and application of electrical percolation models, Poznań University of Technology Academic Journals, Computer Applications in Electrical Engineering, Volume 12, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań 2014, ISSN 1508-4248, s. 92- 105.
- [5] Frączak P.: Prąd upływnościowy powierzchniowy izolatora ceramicznego podczas eksploatacji w ujęciu teorii perkolacji, Poznań University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering Issue 78 Computer Applications in Electrical Engineering 2014, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań, ISSN 1897-0737, s. 149- 156.
- [6] Frączak P.: Weryfikacja wartości natężenia prąd upływu na powierzchni izolatora izolatora prętowego obliczonego za pomocą teorii perkolacji, Poznań University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering Issue 86 Computer Applications in Electrical Engineering 2016, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań, ISSN 1897-0737, s. 323- 332.
- [7] Król A., Moczko J.: PSpice Symulacja i optymalizacja układów elektronicznych, Wydawnictwo Nakom, Poznań 1999, ISBN 83 - 86969-28-8.
- [8] Pilling J., Berndt L., Katib M., Seeling T., Der Fremdschichtueberschlag von Isolatoren mit gleichmaessinger Verschmutzung bei Wechselfpannung. Wissenschaftliche Berichte, Sonderheft der Sektion Elektroenergieversorgung und Automatisierung. Technische Hochschule Zittau, Heft 23, Juli 1990, S. 38-41

SIMULATION CALCULATION OF SURFACE'S AGED ELECTRICAL TRACTION LEAKAGE CURRENT IN PERCOLATION THEORY

The paper presents the value of traction composite insulator surface's leakage current obtained during the study of aging and the simulation calculations using electrical models of their surface's percolation. The research of traction insulators going process have been conducted in the appropriate chamber at a suitable voltage value with a certain concentration of the brine in the form of mist. The measurement and registration of surface leakage current of aged traction insulators have been made using specially developed equipment. The simulation calculations of aged traction insulators surfaces' leakage have been made using the models of their surface's electrical percolation (percolation for the branch network). Electrical percolation models represent electric circuits, which consist of impedance square networks and the corresponding voltage sources of a specific frequency. The electric percolation models include the random ways of closing the branches on the network. The procedure of simulation calculations of aged traction insulators surfaces' leakage current was to create their surfaces' substitute diagrams and to declare the relevant current analyzes in PSpice software. The obtained values of rod insulators surfaces' leakage current have been compared with the values designated experimentally during the aging researches. The values of insulators surfaces' leakage current obtained as a result simulation calculations (percolation theory) were similar to the laboratory measurements.

(Received: 09. 02. 2017, revised: 27. 02. 2017)