

Barbara Florkowska¹, Marek Florkowski², Mieczysław Timler¹

BADANIA WYŁADOWAŃ POWIERZCHNIOWYCH NA POWŁOKACH KABLI ADSS DLA ELEKTROENERGETYCZNYCH LINII NAPOWIETRZNYCH

Streszczenie: Przedstawiono badania laboratoryjne mechanizmów wyładowań na powierzchni powłoki kabla ADSS, inicjujących na niej procesy erozyjne. W warunkach narażeń elektrycznych i zawilgoceń powierzchni kabla rejestrowano obrazy fazowo-rozdzielcze impulsowych form wyładowań. Prezentowana metoda umożliwia rozróżnienie form wyładowań w poszczególnych etapach ich rozwoju.

Słowa kluczowe: kabel ADSS, wyładowania powierzchniowe, obrazy fazowe, diagnostyka

1. WSTĘP

W warunkach eksploatacyjnych na polimerowej powłoce kabli ADSS mogą występować wyładowania powierzchniowe w naturalnej warstwie zabrudzeń i wilgoci, których efektem są procesy fizyczne, zmieniające strukturę oraz właściwości materiału powłoki i powodujące ubytki masy w wyniku erozji powierzchniowej. Ta z kolei zmniejszając hydrofobowość powierzchni powłoki kabla sprzyja rozwojowi tych zjawisk. Intensywność procesów erozyjnych wywołanych przez wyładowania powierzchniowe zależy od natężenia pola elektrycznego, właściwości hydrofobowych materiału powłoki, wpływających na jej konduktywność w danych warunkach. Stosowane są różne metody oceny stopnia hydrofobowości powierzchni materiałów polimerowych zawarte w normach międzynarodowych i krajowych, jak również opracowywane są metody specjalne dla określonych konstrukcji i warunków eksploatacyjnych, z uwzględnieniem narażeń wieloczynnikowych. Test badania odporności na erozję powłok kabli ADSS w polu elektrycznym [1] według metody opartej na standardach IEEE [2] zawiera zalecenia co do modelowania narażeń eksploatacyjnych w określonym czasie, po którym powinna być zachowana integralność powłoki kabla. W pracach badawczych prowadzonych dla określenia czasu życia kabli ADSS w polu elektrycznym linii elektroenergetycznej stosowane są przeważnie procedury własne, ale wnioski z nich są na ogół zbieżne [np. 3, 4]. Lokalny wzrost natężenia pola elektrycznego w miejscach wyprowadzenia

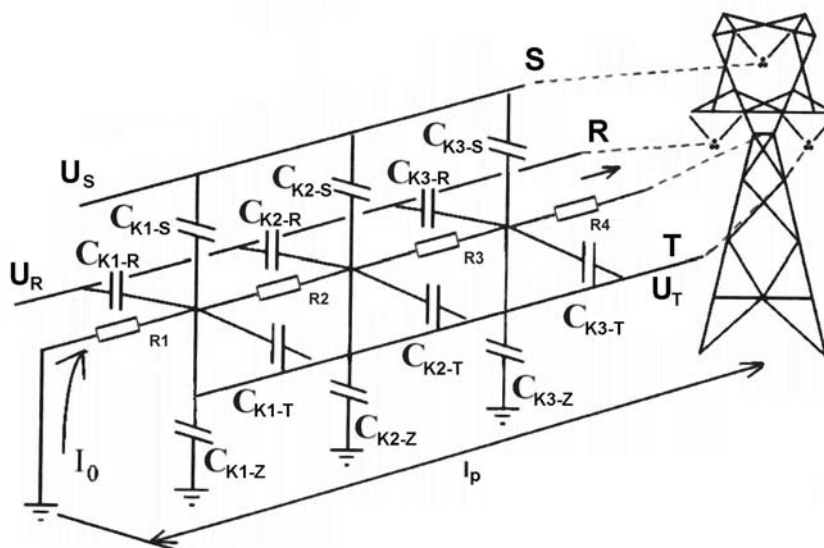
¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² ABB Corporate Research, ul. Starowiślna 13A, 31-038 Kraków

kabla z uchwytu przelotowego lub końcowego może być wystarczający dla inicjowania wyładowań świetlanych, a następnie lokalnych wyładowań pełznych. W artykule przedstawiono badania laboratoryjne wstępnych etapów mechanizmów wyładowań na powierzchni powłoki kabla ADSS. Zastosowano rejestrację przebiegów impulsowych wyładowań oraz ich wizualizację w postaci obrazów fazowo-rozdzielczych [5].

2. Schemat zastępczy dla analizy warunków wyładowań powierzchniowych

Obecność kabla ADSS w schemacie zastępczym linii elektroenergetycznej reprezentują rezystancje rozłożone na długości kabla w przęśle, pomiędzy uziemionymi uchwytami na konstrukcjach słupów, oraz występujące wówczas pojemności rozłożone (Rys. 1).



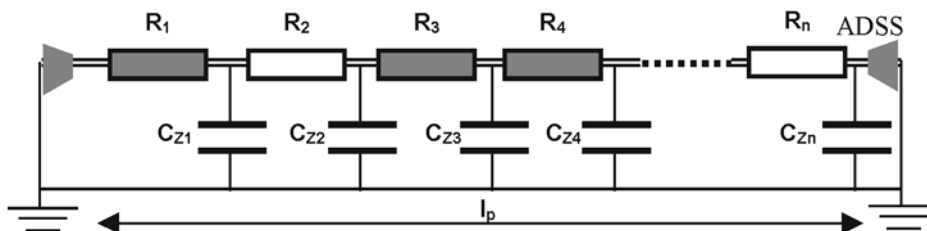
Rys. 1. Schemat zastępczy przęsła linii napowietrznej z kablem ADSS

Elementarny odcinek Δl o długości l_p/n (gdzie: l_p – długość przęsła, n – liczba odcinków) zawiera:

- pojemności między przewodami fazowymi i kablem ADSS: $C_{K1-R}, C_{K2-R}, \dots, C_{Kn-R}, C_{K1-S}, C_{K2-S}, \dots, C_{Kn-S}, C_{K1-T}, C_{K2-T}, \dots, C_{Kn-T}$,
- pojemności między kablem a ziemią: $C_{K1-Z}, C_{K2-Z}, \dots, C_{Kn-Z}$,
- rezystancje rozłożone kabla ADSS: R_1, R_2, \dots, R_n .

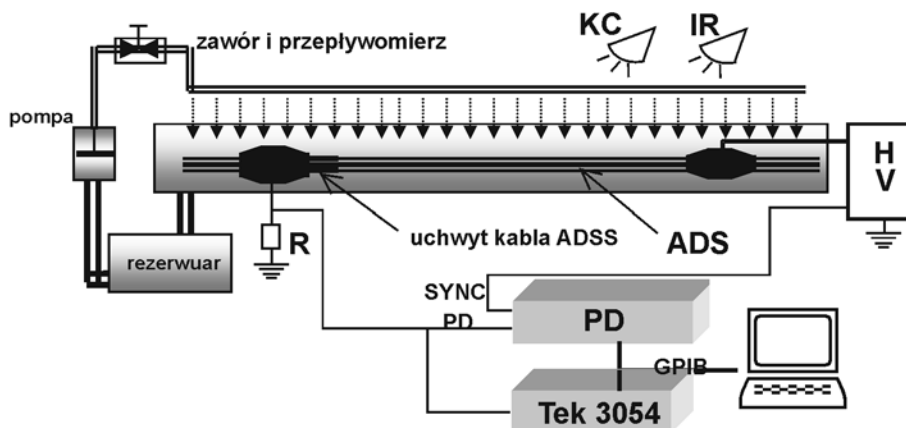
Rezystancja kabla zmienia się w bardzo szerokim zakresie od ok. $10^5 \Omega/m$ do ok. $10^{14} \Omega/m$. Wpływa na to warstwa zabrudzeń i wilgoci na powierzchni kabla, wykazująca konduktywność rzędu μS w przypadku silnych zanieczyszczeń i rzędu $10^{-15} S$ dla kabla czystego i suchego. Pojemności rozłożone kabla ADSS do przewodów fazowych zależą od konfiguracji linii i wpływają na wartości potencjałów indukowanych na kablu. Wartości te wynikają z analizy rozkładu potencjału przestrzennego w otoczeniu przewodów fazowych, konfiguracji

cji linii i lokalizacji w niej kabla [6]. Uproszczony schemat zastępczy, dla obliczeń rozkładu napięć wzdłuż kabla oraz rozplywu prądów w funkcji odległości od uziemionej konstrukcji, zawiera elementarne rezystancje, reprezentujące odcinki suche (R_2, R_n) oraz zanieczyszczone i zawilgocone (R_1, R_3, R_4).



Rys. 2. Uproszczony schemat zastępczy (2D) kabla ADSS

Gdy zewnętrzna warstwa na powierzchni kabla ma dużą konduktywność następuje przepływ prądu przez uchwyty przelotowe do ziemi. Do momentu równomiernej gęstości prądu w całym przekroju warstwy zewnętrznej, nie ma szczególnego kanału, w którym gęstość prądu byłaby znaczna przez dłuższy czas. Nierównomierność warstwy wilgoci na hydrofobowej powierzchni kabla sprzyja lokalnym efektom termicznym prądu, co powoduje odparowanie wilgoci i powstanie stref suchych. Dalsze etapy rozwoju wyładowań po powierzchni kabla, powodujące zmiany stanu ich powierzchni, są możliwe w obszarach o dużej wartości natężenia pola elektrycznego. Są nimi powierzchnie powłoki w otoczeniu uchwytów kablowych.

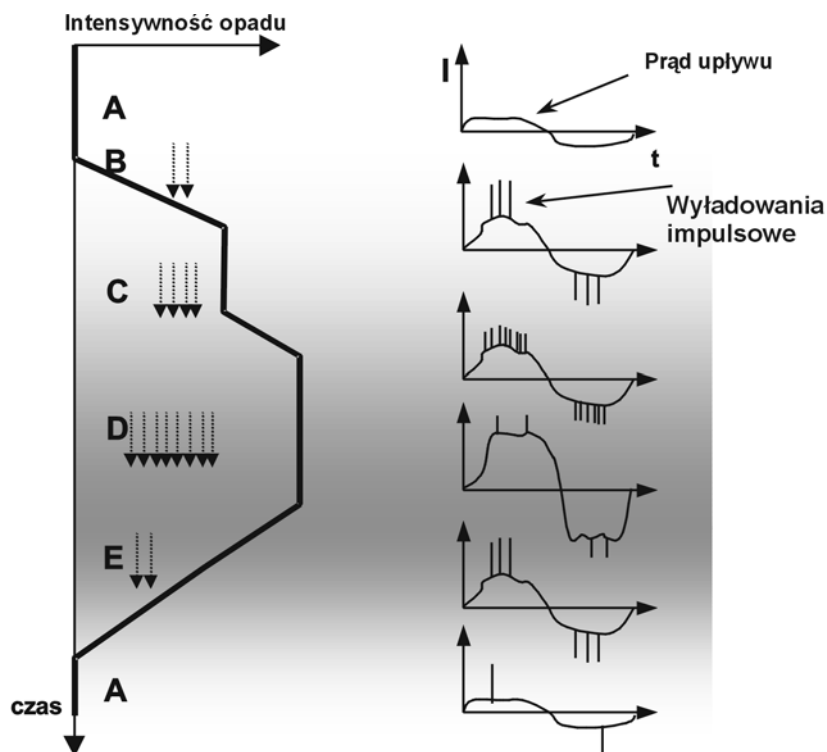


Rys. 3. Schemat układu pomiarowego

3. Opis i wyniki badań

W badaniach laboratoryjnych modelowano warunki występowania wyładowań na powierzchni kabla ADSS w miejscu jego wyprowadzenia z uchwytu przelotowego. Zastosowano typowy uchwyt przelotowy oraz kabel rozciągnięty na długości 3m poza uchwyt. Uchwyt

przelotowy zamocowany był do uziemionej konstrukcji wsporczej, natomiast elektrodę wysokonapięciową umieszczono współosiowo z kablem w odległości zmiennej, wynoszącej od kilkudziesięciu cm do 1m. Modelowano narażenia elektryczne kabla ADSS oraz narażenia środowiskowe (Rys. 3).



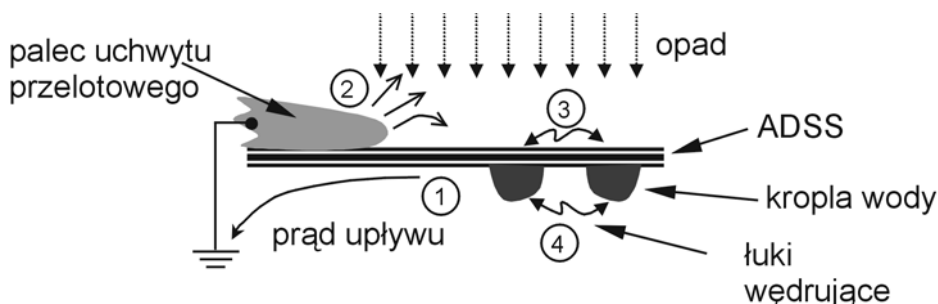
Rys. 4. Uproszczony schemat rejestracji prądu upływu i wyładowań niepełnych

W stanowisku pomiarowym został wytworzony nad kablem ADSS opad wody z dysz rozpylających, kontrolowany za pomocą zaworu i przepływomierza. W układzie pomiarowym zastosowano bezpośrednią polaryzację kabla ADSS, oraz uziemienie uchwytu przelotowego poprzez rezystor pomiarowy. Do pomiarów wyładowań powierzchniowych zastosowano analizator wyładowań niepełnych ADA (*Advanced Discharge Analyzer*) [7], który umożliwił wizualizację przebiegów impulsowych w postaci obrazów fazowo-rozdzielczych. Sygnały pomiarowe pobierano z rezystora R , natomiast sygnał synchronizacji z dzielnika układu zasilającego. Równocześnie mierzono prąd upływu oraz intensywność wyładowań za pomocą oscyloskopu Tektronix TDA3054. Dane pomiarowe z analizatora ADA oraz oscyloskopu przesyłane były do komputera za pomocą interfejsu GPIB. Kolejne cykle rejestracji przy danym napięciu probierczym obejmowały etapy ze stałą lub zmienną intensywnością opadu, a następnie po jego wyłączeniu (Rys. 4).

Efekty powierzchniowe w otoczeniu uchwytu przelotowego obejmowały (Rys. 5):

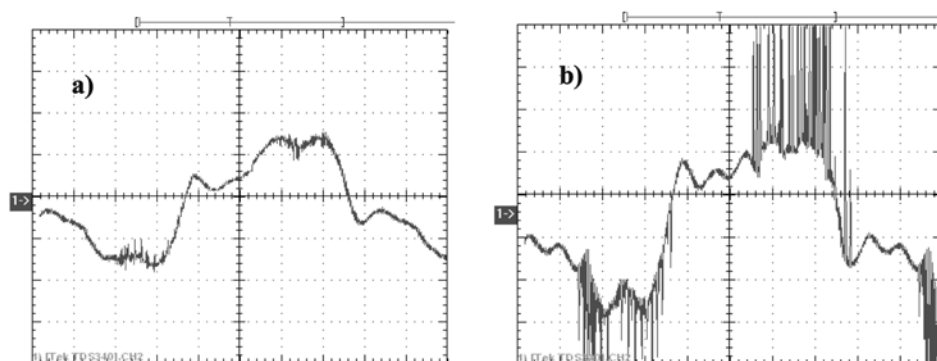
- prąd upływu powierzchniowego (1),
- światlenie w otoczeniu „palca” uchwytu przelotowego (2),

- łuki wędrujące na górnej i bocznej powierzchni powłoki kabla (3),
- łuki wędrujące między kroplami wody na dolnej powierzchni kabla (4).



Rys. 5. Efekty powierzchniowe występujące pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego

Przy braku opadu prąd upływu ma wartość bardzo małą i możliwe jest występowanie wyładowań świetlanych, których mechanizm jest związany przede wszystkim ze zjawiskami jonizacyjnymi w powietrzu w polu elektrycznym, zależnym od ukształtowania zakończenia uchwyty kabla. Po załączeniu opadu pojawiają się impulsy o znacznej amplitudzie, powodowane przez łuki wędrujące na górnej i dolnej powierzchni kabla (Rys.6). Krople wody powodują lokalne, kilkukrotne wzmocnienie pola elektrycznego [8], a ich niestabilność i koalescencja [9] zwiększają udział warunków losowych w tym mechanizmie. W miarę poszerzania się powierzchni zwilżonej, amplituda impulsów maleje, lecz wzrasta ich liczba w połowie okresu napięcia. Intensywny opad zwiększa prąd upływu, który ma równocześnie charakter bezimpulsowy. Od momentu wyłączenia opadu powierzchnia kabla ulega wysuszeniu przy obecności łuków wędrujących, aż do ich zaniku dla kabla suchego.

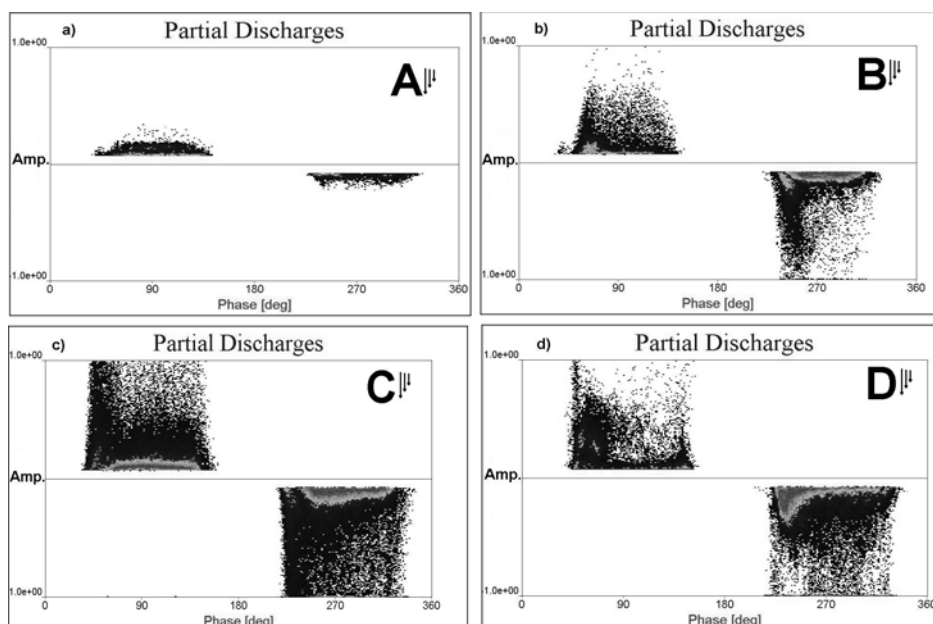


Rys. 6. Przebiegi prądu upływu i impulsów łuków wędrujących dla powierzchni kabla: a) suchej i b) mokrej

W warunkach eksperymentu wykonano zapis rozwoju łuków wędrujących za pomocą kamery cyfrowej (KC na rys. 3), rejestrującej obraz w paśmie widzialnym oraz kamery termowizyjnej (IR), rejestrującej obraz w podczerwieni.

Obrazy fazowo-rozdzielcze (Rys.7) zawierają wartości parametrów zbiorów impulsów wyładowań powierzchniowych w różnych etapach ich badań (A, B, C, D, E), w szczególności dane o ich amplitudzie, liczbie w okresie z uwzględnieniem biegunowości oraz zakresie fazowym w każdej połowie okresu napięcia [5, 10].

Badania wstępnych etapów wyładowań na powierzchni powłoki kabla ADSS nie obejmowały wpływu naturalnej warstwy zabrudzeniowej. Mechanizm wyładowań powierzchniowych na powłokach kabli ADSS wykazuje podobieństwo do mechanizmu przeskoку zabrudzeniowego [11, 12, 13] na izolatorach napowietrznych, posiadając jednak cechy charakterystyczne związane z obszarem ich występowania, rozkładem pola elektrycznego, rozkładem powierzchni.



Rys. 7. Obrazy wyładowań dla intensywności opadu z rysunku 4 (odpowiednio A, B, C, D)

Pewne elementy rozwijanych i udoskonalanych modeli przeskoку zabrudzeniowego, wprowadzając np. nierównomierność warstwy zabrudzeniowej [14], mogą znaleźć zastosowanie do opisu zjawisk na powierzchni kabla ADSS.

4. Zakończenie

- Loalizacja uchwytów kablowych na słupach, a więc usytuowanie kabla ADSS w polu elektrycznym linii ma decydujące znaczenie dla warunków inicjowania i rozwoju wyładowań powierzchniowych na powłokach kablowych.

- Efektem tych zjawisk jest erozja powierzchniowa polietylenu kablowego, ubytek masy materiału i zmniejszenie hydrofobowości powierzchni, zachodzące w etapach o różnej intensywności w zmiennych warunkach atmosferycznych.
- O rozwoju procesów degradacji powłoki kabla ADSS decyduje warstwa zanieczyszczeń, częstość opadów zwiększających jej konduktywność, wpływających na wartość prądu powierzchniowego i warunki dla powstawania łuków wędrujących.
- Stwierdzono, na podstawie pomiaru prądu upływu i wyładowań niepełnych w badaniach zjawisk powierzchniowych na powłokach kabli ADSS, że pomiar wyładowań niepełnych jest czułą metodą oceny przejścia od wyładowań świetlających do łuków wędrujących.
- Obrazy fazowe zawierają informacje o formach wyładowań i ich przemianach w polu elektrycznym w warunkach narażeń, co ma znaczenie w ocenie np. odporności materiału na wyładowania pełne.
- Prawdopodobieństwo wystąpienia opisanych zjawisk na kablach ADSS rośnie ze wzrostem napięcia znamionowego linii napowietrznej i w przypadku napięć powyżej 150kV mogą one stanowić istotne zagrożenie.

LITERATURA

- [1] Warunki techniczne PSE S.A. dla kabli światłowodowych ADSS i OPAC, Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., Instytut Energetyki, Warszawa 1999
- [2] IEEE Standard for ADSS for use on overhead utility lines, pr P1222, Anex A
- [3] **Karady G.G., Besztercey G., Tuominen M.W.:** *Corona caused deterioration of ADSS fiber optic cables on high voltage lines*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No 4, 1999, pp. 1438-1445
- [4] **Dissado L.A., Parry M.J.:** *A new sheathevaluation technique for self-supporting optical cables on overhead lines*, Proc. 39th IWCS, Reno, 1990, pp.743-751
- [5] **Florkowska B., Florkowski M., Włodek R., Zydrón P.:** **Mechanizmy pomiaru i analiza wyładowań niepełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia**, ISBN83-910387-5-0, Wyd.PAN, Warszawa, 2001
- [6] **Jackowicz-Korczyński A., Florkowska B., Nowak W., Timler M.:** *Analiza rozkładu natężenia pola elektrycznego w linii napowietrznej wysokiego napięcia z kablem światłowodowym ADSS*, VIII Symp EUI 2001, Zakopane, październik, 2001
- [7] **Florkowski M.:** *Monographies No 45*, ISSN 0867-6631, Kraków, 1996
- [8] **Lopes I.J.S., Jayaram S.H., Cherney E.A.:** *A study of partial discharges from water droplets on a silicone rubber insulating surface*, IEEE Trans. On Dielect. El. Insul., Vol. 8, No 2, 2001, pp.262-268
- [9] **Fleszyński J., Tymań A.:** *Badania wyładowań elektrycznych inicjowanych przez krople wody na hydrofobowej powierzchni izolacyjnej*, Symp. JW-96, Poznan 1996, s. 113-117
- [10] **Florkowska B., Florkowski M., Zydrón P.:** *Localization and identification of corona forms based on phase-resolved images*, *Measurement, Science and Technology*, No 12, 2001, pp.1304-1310

- [11] **Juchniewicz J.:** *Przeskok zabrudzeniowy*, PWN, Warszawa 1966
- [12] **Flisowski Z.:** *Technika wysokich napięć*, WNT Warszawa, 1992
- [13] **Gacek Z., Kucharski K.:** *Dobór izolatorów liniowych i stacyjnych ze względu na uwarunkowania zabrudzeniowe*, IV Ogólnopolska Konf. Nauk.-Techniczna, IWE'94, Izolacja wysokonapięciowa w elektroenergetyce, Wrocław 1994, s.41-46
- [14] **Wańkiewicz J.:** *Przeskok zabrudzeniowy. Wybrane zagadnienia eksploatacyjne i materiałowo-konstrukcyjne izolatorów elektroenergetycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1995

INVESTIGATIONS OF SURFACE DISCHARGES ON COATING OF ADSS CABLES IN ELECTRIC POWER LINES

Abstract

Paper presents results of laboratory investigations of discharge mechanism on coating of ADSS cables, causing erosion processes on a surface under stress of electric field and moisture. Special experimental setup with controlled water-fall has been arranged and leakage current along with phase-resolved images of discharges were registered. Presented method allows for discrimination of discharge forms in following stages of their development.