

Wiesław TARCZYŃSKI\*

## WPLYW OTOCZENIA NA WARUNKI LOKALIZACJI USZKODZENIA EKRANU LINII WSPÓŁOSIOWEJ

W artykule przedstawione są wyniki badań laboratoryjnych wpływu otoczenia na warunki propagacji impulsów w ekranie linii współosiowej. Poziomem odniesienia dla ekranu jest otoczenie w warunkach rzeczywistej eksploatacji (gleba, woda) lub wewnętrzny przewód roboczy. Celem tych prac jest określenie możliwości wykorzystania metod impulsowych do lokalizacji uszkodzeń izolacji ekranu elektroenergetycznej linii kablowej lub telekomunikacyjnej. Lokalizacja uszkodzenia izolacji powłoki ma istotne znaczenie w poprawie warunków pracy automatyki zabezpieczeniowej linii wykorzystującej do lokalizacji uszkodzonej linii kablowej, pomiar prądu zwarciovego oraz zapewnienie bezpieczeństwa w zakresie ochrony przeciwporażeniowej.

### 1. WSTĘP

W niektórych konstrukcjach kabli elektroenergetycznych jak i telekomunikacyjnych stosuje się ekrany przewodzące obejmujące przewody robocze. W liniach elektroenergetycznych ekran wykonany jest najczęściej formie opłotu z drutów miedzianych, aluminiowych, stosowana jest też zamiennie folia miedziana i aluminiowa. Z kolei ekran pokryty jest izolacją (powłoką), która oddziela (izoluje) go od otoczenia [1].

W kablach elektroenergetycznych ekran pełni głównie funkcję przewodu powrotnego dla prądów zwarciovych w przypadku uszkodzenia izolacji między przewodem roboczym a ekranem. Prąd zwarciovowy płynie wtedy ekranem do punktu uziemienia, którym najczęściej jest punkt zasilania czyli rozdzielnia elektroenergetyczna. Przepływ prądu zwarciovego przez ekran i przewód roboczy wykorzystywany jest do wykrywania doziemień w systemie elektroenergetycznym oraz do lokalizacji uszkodzonej linii. Natomiast ekran w kablach telekomunikacyjnych ma głównie zastosowanie jako układ chroniący przewody robocze przed negatywnym wpływem otoczenia na warunki przesyłania sygnałów oraz pełni również funkcję ochronną przed przenikaniem zakłóceń. Wykonany jest jako opłot z drutów miedzianych, folii aluminiowej i miedzianej lub z folii i opłotu łącznie. Ekran od zewnątrz pokryty jest również izolacją, która tak jak w przypadku kabli energetycznych, chroni go przed wpływem czynników zewnętrznych głównie wilgoci [4].

---

\* Politechnika Opolska.

Uszkodzenia izolacji zewnętrznej linii kablowej w rzeczywistości nie występują często. Jeżeli występują, to najczęściej są to uszkodzenia typu mechanicznego i wynikają między innymi z niewłaściwej eksploatacją linii (np. częste zginanie), przemieszczaniem się gruntu w następstwie wykonywania prac ziemnych, celowym uszkodzeniem. Uszkodzenie izolacji powłoki może wystąpić również w następstwie zwarć łukowych wewnątrz kabla. Wysoka temperatura w miejscu zwarcia może spowodować uplastycznienie izolacji i w dalszej konsekwencji jej uszkodzenie.

Odmienneą i zarazem dość nietypową przyczyną uszkodzeń powłoki izolacyjnej zewnętrznej są zwierzęta, głównie gryzonie. Powodują one z reguły uszkodzenia powłoki w kablach o niedużej średnicy (do pojedynczych centymetrów) na niedużej powierzchni, ale są to uszkodzenia występujące najczęściej w wielu miejscach. Takie uszkodzenia występują przeważnie w kablach układanych w kanałach kablowych, ciągach kablowych, w których gryzonie mogą się przemieszczać [2].

Uszkodzenie izolacji powłoki kabla ma istotne znaczenie w eksploatacji linii i powinno być traktowane prawie na równi z lokalizacją uszkodzenia izolacji między przewodem roboczym, a ekranem. W literaturze preferowane są różne sposoby lokalizacji uszkodzeń powłoki i zaliczyć do nich można takie metody jak np.: akustyczna, rozplywu prądów, punktowa [4, 6].

W wielu publikacjach można znaleźć również uwagę, że stosowanie metod impulsowych, które są powszechnie stosowane do lokalizacji wstępnej uszkodzeń przewodów roboczych, w takich uszkodzeniach jest nie możliwe, gdyż nie można zapewnić drogi powrotu dla impulsu wysyłanego do ekranu. Otoczeniem dla kabla w większości przypadków jest gleba, a w przypadku kabli ułożonych w kanałach kablowych, otoczeniem jest wolna przestrzeń lub niewielka powierzchnia styku z kablami sąsiednimi. Gleba jest materiałem raczej o złych własnościach elektrycznych i w związku z tym nie ma możliwości wykorzystania jej jako poziomu odniesienia dla ekranu kabla. W przypadku kabli ułożonych w kanałach kablowych w większości otoczeniem dla ekranu jest powietrze co oznacza, że w takim przypadku nie ma możliwości przyjęcia otoczenia zewnętrznego względem ekranu, jako poziomu odniesienia [4].

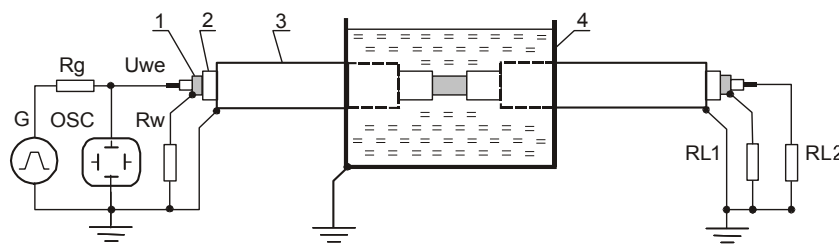
Duży wpływ na wynik w procesie lokalizacji miejsca uszkodzenia powłoki kabla ułożonego w ziemi mają własności fizyczne i chemiczne najbliższego otoczeniu miejsca uszkodzenia. Istotna jest przede wszystkim oporność między przewodem ekranu a otoczeniem. O wartości tej oporności będzie decydowało wiele czynników, a wśród nich, powierzchnia uszkodzenia, charakter uszkodzenia (ubytki izolacji, spękanie izolacji), rodzaj substancji otaczającej (woda, materiał sypki, drobno-, grubo-ziarnisty itp.), skład chemiczny. O oporności w miejscu uszkodzenia będzie też decydowała wartość napięcia, przy której będzie wykonywany pomiar. Przy wykonywaniu pomiaru wysokim napięciem, przy którym dojdzie do zwarcia łukowego, oporność w miejscu uszkodzenia będzie

najmniejsza. Oczywiście jest, że metodami impulsowymi oraz przez pomiar rozptyłu prądu powierzchniowego lokalizuje się najlepiej uszkodzenia o małej wartości rezystancji przejścia.

## 2. BUDOWA UKŁADU POMIAROWEGO

Zbudowano układ pomiarowy do zbadania przydatności metod impulsowych do lokalizacji uszkodzeń powłoki kabla jedнопrzewodowego z ekranem (kabel współosiowy) dla różnych warunków otoczenia. Jak wiadomo podstawą do obliczenia odległości do miejsca uszkodzenia w metodzie impulsowej jest pomiar czasu przemieszczania się impulsu testującego od początku linii do miejsca uszkodzenia i z powrotem. Należy podkreślić, że skuteczność tej metody jest w głównej mierze uzależniona od jakości (czytelności) oscylogramów otrzymanych w wyniku wysłania do linii impulsu testującego, a dokładniej od wpływu uszkodzenia na kształt i amplitudę impulsu odbitego [5]. W związku z tym badania ograniczono do rejestracji wpływ uszkodzenia powłoki na przebieg oscylogramów mierzonych na początku linii kablowej.

W celu zbadania wpływu różnych rodzajów uszkodzenia powłoki i substancji otaczających miejsce uszkodzenia na przebieg oscylogramów wykonano układ pomiarowy o budowie jak przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego dla przypadku, gdy sygnał testujący podawany jest do przewodu roboczego linii; G – generator impulsów napięciowych,  $R_g$  – rezystancja wewnętrzna generatora, OSC – oscyloskop,  $R_w$ , RL1, RL2 – rezystory obciążające przewody robocze kabla,  $U_{we}$  – napięcie mierzone na początku linii, 1 – ekran kabla, 2 – powłoka izolacyjna, 3 – rurka miedziana, 4 – pojemnik metalowy

Miejsca uszkodzenia ograniczono metalowym pojemnikiem o wymiarach 40x40x40 cm i wypełniano materiałem, który może otaczać kabel w jego rzeczywistych warunkach eksploatacji. Pomiary wykonano dla przypadku wypełnienia pojemnika: glebą mocno ubitą (o nie określonej klasie), piaskiem mokrym, piaskiem suchym, wodą czystą i wodą zasoloną (ok. 100 g soli na 1  $\text{dm}^3$ ). Uszkodzenie powłoki kabla zasymulowano przez usunięcie izolacji na całym obwodzie i na długości ok. 2 cm. Wymiary pojemnika względem wymiarów miejsca uszkodzenia przyjęto takie, aby przestrzeń otaczająca to miejsce była duża i tym samym nie wpływała na rozptył prądów dla sygnałów pomiarowych. Tak

przygotowany odcinek kabła umieszczono w pojemniku i włączono w połowie długości linii kablowej o długości całkowitej ok. 32 m.

W celu uzyskania dobrego poziomu odniesienia dla ekranu kabła, włożono go do grubościennej rurki miedzianej. Następnie rurkę miedzianą wraz z kablem zwinięto w okrąg o średnicy ok. 1 m a zwoje ułożono tak, aby ścianki zewnętrzne rurek stykały się ze sobą na całym obwodzie. W ten sposób utworzono układ odniesienia dla ekranu o zwartej budowie, co spowodowało znaczące zmniejszenie zjawiska linii długiej dla przemieszczających się impulsów. Ścianki metalowego pojemnika połączono z rurkami miedzianymi.

Pomiary przemieszczania się impulsów w linii wykonano dla każdego rodzaju wymienionych substancji oddzielnie i dla przypadków, gdy sygnał testujący podawany jest do przewodu roboczego lub do ekranu.

Pojedyncze impulsy testujące o czasie trwania ok. 60 ns i amplitudzie 11V wysyłane były z generatora G o rezystancji wewnętrznej  $R_g$  równej 50  $\Omega$ . Wolne przewody linii obciążono rezystorami  $R_w$ , RL1 oraz RL2 o wartości zbliżonej do impedancji falowej linii tj. ok. 50  $\Omega$ . Do pomiarów i rejestracji oscylogramów zastosowano oscyloskop cyfrowy OSC pracujący z rozdzielczością na osi czasu równą 80 ns/cm, a na osi napięć z rozdzielczością 600 mV/cm. Rejestrowano napięcie  $U_{we}$  na początku linii w przewodzie, do którego podawany był sygnał impulsowy z generatora. Badano wpływ uszkodzenia powłoki kabła na kształt oscylogramów dla różnych rodzajów substancji otaczających miejsce uszkodzenia.

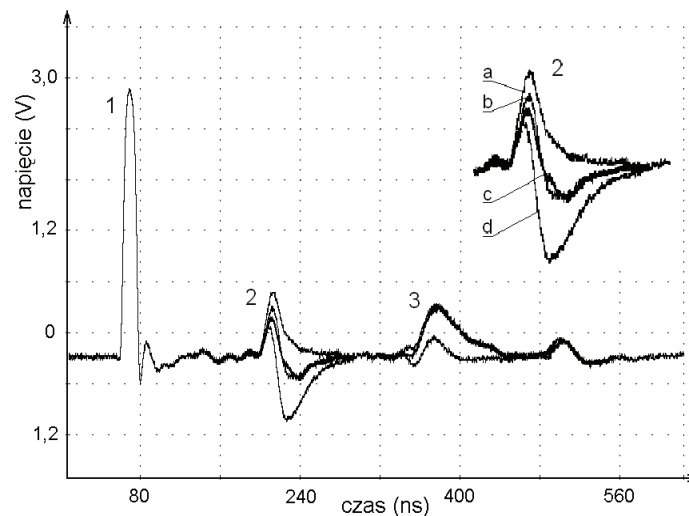
### 3. WYNIKI POMIARÓW

Wynikami pomiarów są oscylogramy napięć uzyskane w przewodzie, do którego podawane były impulsy testujące. Na rys. 2 przedstawione są przebiegi napięć zmierzone w ekranie względem poziomu odniesienia i przy przewodzie roboczym obciążonym rezystorem  $R_w$  i dla różnych substancji otaczających miejsce uszkodzenia.

Występowanie wyraźnego impulsu odbitego od miejsca uszkodzenia w przypadku, gdy otoczeniem jest powietrze (wolna przestrzeń) wynika ze zmiany impedancji falowej w miejscu połączenia odcinka z uszkodzoną powłoką i linii. W związku z tym wpływ rodzaju substancji na kształt impulsu odbitego, rozpatrywano jako zmiany względem impulsu otrzymanego dla przypadku, gdy otoczeniem jest wolna przestrzeń.

Z oscylogramów przedstawionych na rys. 2 wynika, że największe zmiany w oscylogramie powoduje woda zasolona, czyli przypadek, gdy przewodność otoczenia posiada wartość największą. Jest to przypadek w jakim mogą się znaleźć kable jedynie morskie. Natomiast wpływ otoczenia z ziemi oraz piasku wilgotnego czyli dla warunków, w których najczęściej znajdują się kable, jest stosunkowo mało zauważalny, gdyż powoduje niewielkie zmiany w kształcie impulsu odbitego.

Na rys. 3 przedstawione są wyniki rejestracji napięcia uzyskane w układzie, w którym impulsy testujące wysyłane są do przewodu środkowego linii. Celem pomiaru wykonanego w tym układzie było sprawdzenie, czy uszkodzenie w izolacji powłoki można wykryć przy pomocy impulsu wysyłanego do przewodu środkowego (roboczego).



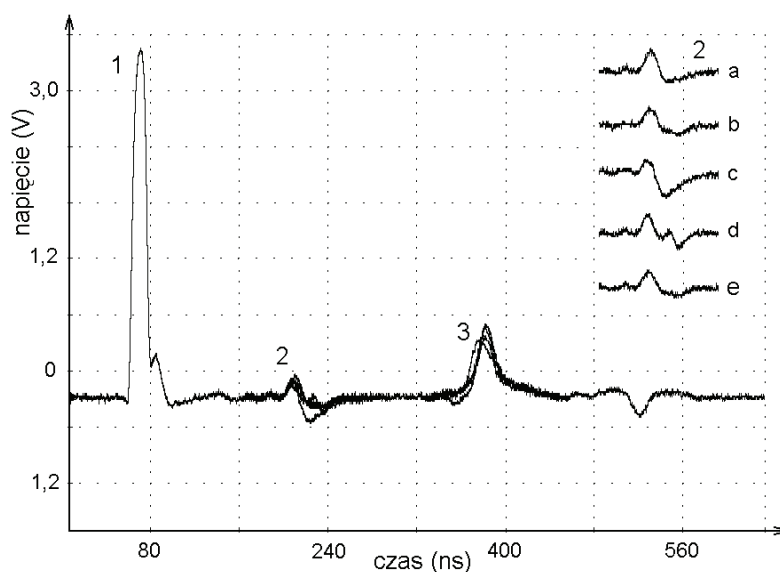
Rys. 2. Wynik pomiaru przemieszczania się impulsów w ekranie linii kablowej względem poziomu odniesienia wykonany w układzie analogicznym jak na rys. 1 dla różnych substancji otaczających miejsce uszkodzenia ekranu; 1 – impuls wysłany, 2 - impulsy odbite od miejsca uszkodzenia dla otoczenia: a – powietrze, b – woda, c – piasek wilgotny, ziemia wilgotna, d – woda zasolona, 3 – impulsy odbite od końca linii

Wykonywanie pomiarów w takim układzie jest uzasadnione praktycznie, gdyż w wielu przypadkach budowy linii kablowych odłączenie przewodu ekranu od instalacji uziomowej rozdzielni na czas wykonywania pomiarów, może być trudne do wykonania.

W miejscu uszkodzenia powłoki wartość impedancji falowej jest inna w stosunku do pozostałej części linii, co przyczynia się do odbicia impulsu przemieszczającego się w przewodzie środkowym. Analizując oscylogramy przedstawione na rys. 3 wynika, że wpływ ten jest jednak niewielki. Ponadto amplituda impulsu powracającego po odbiciu się od miejsca uszkodzenia jest dużo mniejsza od impulsu wysłanego. Jest to bardzo niekorzystne dla procesu lokalizacji i należy się ponadto liczyć z tym, że w rzeczywistych liniach, które są o znacznie większej długości, impuls odbity od takiego miejsca będzie w jeszcze większym stopniu słabiej niż ma to miejsce niż w wykonanym układzie pomiarowych.

Kolejnym uszkodzeniem jakiemu może ulec ekran kabla, to jest powstanie przerwy galwanicznej (brak ciągłości). Tego typu uszkodzenia występują w

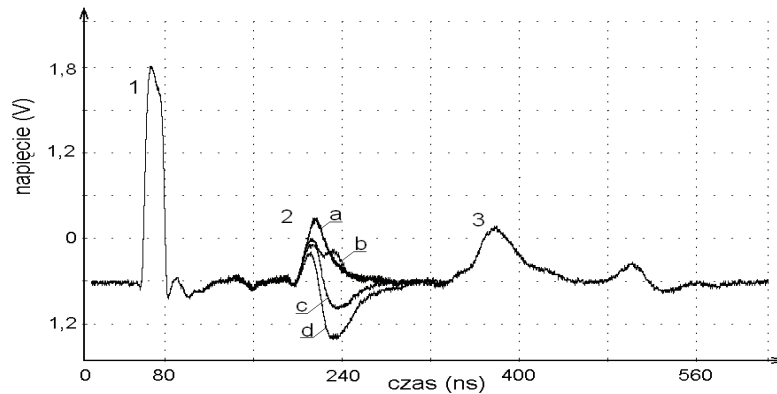
wyniku działania czynników mechanicznych, ale mogą być również spowodowane nieprawidłowo przeprowadzoną naprawą miejsca uszkodzenia (np. nie wykonanie połączenia ekranów w obrębie mufy przy wymianie odcinka z uszkodzeniem). Dla tego rodzaju uszkodzenia wykonano pomiary w warunkach laboratoryjnych w układzie analogicznym jak przedstawiony na rys. 1.



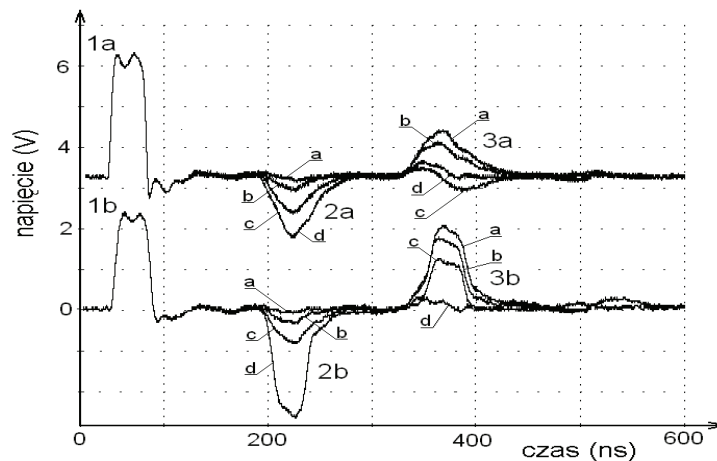
Rys. 3. Wynik pomiaru przemieszczania się impulsów w przewodzie roboczym linii kablowej wykonany w układzie jak na rys. 1 dla różnych rodzajów substancji otaczającej miejsce uszkodzenia ekranu; 1 – impuls wysłany, 2 - impulsy odbite od miejsca uszkodzenia dla otoczenia: a – powietrze, b – woda, c – woda zasolona, d – piasek wilgotny, e - ziemia wilgotna, 3 – impulsy odbite od końca linii

Przerwę w ekranie wykonano przez usunięcie powłoki zewnętrznej kabla na całym obwodzie na długości 2 cm, a przerwę w ekranie wykonano przez jego usunięcie również na całym obwodzie na długości ok. 0,5 cm. Jako otoczenie miejsca uszkodzenia zastosowano te same substancje jak w poprzednich pomiarach. Wyniki pomiarów przedstawione są na rys. 4.

Wykonano również pomiary sprawdzające, jak wartość rezystancji między ekranem, a otoczeniem wpływa na przebieg oscylogramów sygnału przemieszczającego się w ekranie oraz w przewodzie roboczym. Pomiary wykonano w układzie analogicznym jak pokazany na rys. 1 z tym, że uszkodzenie zasymulowano rezystorem  $R_u$  włączonym między ekran a poziom odniesienia. Sygnał impulsowy podawany był do ekranu i obserwowano przemieszczanie się impulsów w ekranie oraz przewodzie roboczym jako przewodzie sąsiednim.



Rys. 4. Wynik pomiaru przemieszczania się impulsów w ekranie linii kablowej z przerwą w ekranie wykonany w układzie analogicznym jak na rys. 1 i dla różnych substancji otaczających miejsce uszkodzenia; 1 – impuls wysłany, 2 - impulsy odbite od miejsca uszkodzenia dla otoczenia: a – powietrze, b – woda, c – piasek wilgotny, ziemia wilgotna, d – woda zasolona, 3 – impulsy odbite od końca linii



Rys. 5. Wynik pomiaru przemieszczania się impulsów w linii współosiowej dla przypadku, gdy sygnał podawany jest do ekranu względem poziomu odniesienia i dla różnych wartości rezystancji miejsca uszkodzenia  $R_u$ ; 1a, 2a, 3a - impulsy przemieszczające się w ekranie, odpowiednio wysłany, odbity od uszkodzenia, odbity od końca linii, 1b, 2b, 3b - impulsy przemieszczające się w przewodzie roboczym, odpowiednio wyindukowany na początku linii, odbity od uszkodzenia, odbity od końca linii dla: a –  $R_u = \infty$ , b –  $R_u = 11 \Omega$ , c –  $R_u = 67 \Omega$ , d –  $R_u = 0$  (zwarcie metaliczne)

Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 5. W przewodzie roboczym w skutek sprzężenia obu przewodów indukował się impuls, który przemieszczał się od początku linii w kierunku końca. Sprzężenie przewodów powoduje, że impulsy przemieszczające się w linii są wynikiem zjawisk falowych w samym przewodzie,



ale są również wynikiem oddziaływania impulsów z drugiego przewodu szczególnie w miejscach, w których na stępuje zmiana impedancji falowej [5].

Analizując przebieg oscylogramów w przewodzie roboczym i ekranie można zaobserwować duży wpływ rezystancji między ekranem a poziomem odniesienia, na przebieg oscylogramu w przewodzie roboczym jako przewodzie sąsiednim.

Takie oddziaływanie przewodów pozwala na wyciągnięcie wniosku, że uszkodzenie między ekranem, a otoczeniem można lokalizować przez obserwację sygnału napięciowego w przewodzie roboczym. W praktycznym punkcie jest to bardzo istotne, gdyż nie wymaga specjalnych zabiegów technicznych związanych z podłączeniem układu pomiarowego na początku linii.

#### 4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych pomiarów wykonanych w warunkach laboratoryjnych wpływu otoczenia na możliwości lokalizacji uszkodzenia powłoki kabla metodami impulsowymi wynika, że skuteczność tej metody zależy od przewodności materiału otaczającego miejsce uszkodzenia i jest tym lepsza im większa jest większa przewodność. Z pomiarów, wynika również, że dobre wyniki daje zmiana poziomu odniesienia z ekranu na przewód roboczy. Kolejnym etapem prac w tym zakresie będzie wykonanie pomiarów w warunkach rzeczywistej eksploatacji sieci kablowej.

#### LITERATURA

- [1] GARBACZ T., A. TOR: Wpływ zawartości środka porującego na własności użytkowe zewnętrznych powłok kabli wytwarzanych metodą wytłaczania porującego. *Polimery*, 4/2007, ss. 286-293.
- [2] KUWABARA T., H. KOGA, T. KITAMURA: Animal-resistant telecommunication cable sheath covered by a thin hard metal layer. *Electron. Comm. Jpn. Pt. II*, 70, 1987.
- [3] MASHIKIAN M. S, A. SZATKOWSKI: Medium Voltage Cable Defects Revealed by Off-Line Partial Discharge Testing at Power Frequency. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. July/August 2006, Vol. 22, No. 4, pp. 24-32.
- [4] SZCZERSKI R.: Lokalizacja uszkodzeń kabli i wybrane zagadnienia eksploatacyjne linii kablowych. WNT Warszawa 1999.
- [5] TARCZYŃSKI W. Pulse method measurements for determination of fault location. *Archives of Electrical Engineering*. Vol. LV, No 3-4, 2006, pp. 301-312.
- [6] Sheath fault location on power cables. Materiały firmy SEBAKMT. 13-07-2010.

#### THE INFLUENCE OF ENVIRONMENT ON CONDITION OF LOCATION DAMAGE IN SCREEN OF THE COAXIAL LINE

This paper will present the results of laboratory tests the impact of the environment on pulse propagation conditions in the screen of the coaxial line. The reference level for the screen is actual ambient operating conditions (soil, water) or the internal conductor. The aim of this work is to determine the possibility of using pulse methods for insulation fault location screen power lines or telecommunication cable. Shield insulation fault location is important in improving the working conditions of the line protection relay using in the location of the damaged cable line, the short-circuit current measurement and to ensure the safety in against electric shock.