

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

**REFERATY
PROBLEMOWE**

Zeszyt 73

Janina Pałczyńska

OCENA SZCZELNOŚCI ORAZ LOKALIZACJA USZKODZEŃ
TERMOPLASTYCZNYCH OSŁON KABLI DOZIEMNYCH,
W WARUNKACH BUDOWY I EKSPLOATACJI LINII KABLOWYCH



Warszawa 1986

621.317:621.315.221

I N S T Y T U T L ą c z n o ś c i

K O Ł O Z A K Ł A D O W E S T O W A R Z Y S Z E N I A E L E K T R Y K Ó W P O L S K I C H

Na prawach rękopisu

R E F E R A T Y P R O B L E M O W E

Z e s z y t 7 3

J a n i n a P a ł o c z y Ń s k a

**O C E N A S Z C Z E L N O Ś C I O R A Z L O K A L I Z A C J A U S Z K O D Z E Ń
T E R M O P L A S T Y C Z N Y C H O S Ł O N K A B L I D O Z I E M N Y C H ,
W W A R U N K A C H B U D O W Y I E K S P L O A T A C J I
L I N I I K A R B O W Y C H**

W a r s z a w a 1 9 8 6

S-9666

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności
Nr 5-9666

Zespół Redakcyjny:

dr inż. Stanisław Sońta, mgr inż. Andrzej Stagowski

mgr inż. Krystyna Frączek

Opracowała:

mgr inż. Janina Pałczyńska

Zakład Konstrukcji Technologii i Podzespołów /Z-14/

Instytut Łączności

04-894 Warszawa, ul. Szachowa 1, tel. 128-743

Praca C.2.1.6

Opiniował: mgr inż. Hieronim Stefański

Maszynopis dostarczono dnia 1986.08.22

W referacie uzasadniono wybór wartości rezystancji pancerza /powłoki/ kabla względem ziemi jako kryterium oceny szczelności termoplastycznych kablowych osłon ochronnych. Przeprowadzono analizę metod pomiaru rezystancji i wyników badań własnych w tym zakresie, określając metodę najbardziej korzystną w warunkach praktycznych. Zanalizowano metody i aparaturę do lokalizacji uszkodzeń osłon termoplastycznych, kabli doziemnych w warunkach budowy i eksploatacji linii kablowych. Na podstawie tej analizy i wyników badań własnych zaproponowano metodę i aparaturę dla warunków krajowych.

Redaktor: mgr K. Juszkiewicz

Montaż tekstu: E. Czerwińska

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności
w Warszawie, ul. Szachowa 1 dnia 1986.09.15.

Nakład 70 egz.

Janina Patożyńska

OCENA SZCZELNOŚCI ORAZ LOKALIZACJA USZKODZEŃ
TERMOPLASTYCZNYCH OSŁON KABLI DOZIEMNYCH,
W WARUNKACH BUDOWY I EKSPLOATACJI
LINII KABLOWYCH

S P I S T R E Ś C I

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Metody pomiaru rezystancji osłon ochronnych konstrukcji podziemnej	4
2.1. Uzasadnienie wyboru kryterium oceny szczelności termoplastycznych osłon kablowych	4
2.2. Analiza metod pomiaru	5
2.3. Wybór metody do stosowania w warunkach praktycznych	11
3. Metody lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych linii kablowych	15
3.1. Informacje ogólne	15
3.2. Metody z wykorzystaniem źródła prądu stałego	16
3.3. Metody z wykorzystaniem źródła prądu przemiennego	17
3.4. Badania własne i wnioski	19
Wykaz literatury	26

Janina Pałczyńska

OCENA SZCZELNOŚCI ORAZ LOKALIZACJA USZKODZEŃ
TERMOPLASTYCZNYCH OSŁON KABLI DOZIEMNYCH,
W WARUNKACH BUDOWY I EKSPLOATACJI
LINII KABLOWYCH

1. WPROWADZENIE

W 1985 r. w Instytucie Łączności zakończono kilkuletnie badania nad wyborem metody oceny szczelności termoplastycznych osłon ochronnych kabli ziemnych oraz metody i aparatury do lokalizacji uszkodzeń tych osłon [13, 15 ÷ 17, 22].

Badaniami objęto kable w powłokach aluminiowych, w których na powłocę i na pancerzu są wytłoczone polietylenowe osłony ochronne. W przypadku kabli bez opancerzenia, celem badań była osłona na powłocę kabla, a w przypadku kabli opancerzonych - osłona na pancerzu i na powłocę. We wstępnej analizie ustalono, że badanie osłon na powłocę kabli opancerzonych jest możliwe tylko wówczas, gdy nie ma galwanicznych połączeń elektrycznych między pancerzem a powłoką. W przypadku eksploatowanych w kraju linii kablowych [3], przepisy dopuszczają takie połączenie; w takim przypadku możliwe jest tylko badanie szczelności osłony na pancerzu.

Odcinki instalacyjnych kabli opancerzonych w warunkach budowy linii kablowych nie mają takich połączeń i można skontrolować szczelność osłony na powłocę. W praktyce jednak badanie takie mija się z celem, ponieważ osłona pod pancerzem jest niedostępna i nie można naprawić ewentualnych jej uszkodzeń. To samo dotyczy kabli w kanalizacji, przy czym szczelność osłon /powłok/ kabli w kanalizacji wykonanej z rur PCW nie można skontrolować metodami opisanymi w niniejszym artykule. W takich przypadkach kontroluje się tylko osłony kablowe zewnętrzne, dostępne do ewentualnej naprawy.

Jako kryterium oceny szczelności termoplastycznych osłon kablowych przyjęto wartość rezystancji izolacji pancerza /powłoki/ kabla względem ziemi. Zgodnie z wymaganiami normy PN-75/E-90163 [19] rezystancja izolacji powłoki lub pancerza w stosunku do wody, w przypadku odcinków instalacyjnych kabli nieopancerzonych ochronionych polietylenową osłoną, powinna wynosić co najmniej 1 M Ω ·km. Według wstępnych wymagań [3] dotyczących instalacji kabli w osłonach polietylenowych, wartość rezystancji izolacji powłoki i pancerza względem ziemi, na odcinku wzmacniakowym linii, powinna wynosić co najmniej 1 M Ω ·km.

W wyniku badań rezystancji pancerza kabla względem ziemi instalacyjnych odcinków kabli i odcinków linii kablowej podczas jej montażu, stwierdzono że w przeszło 70% przypadków wartość rezystancji jest rzędu $10^2 \dots 10^3 \Omega \cdot km$, co świadczy o złej szczelności osłony [15, 16, 22].

Gorsza od wymaganej jakości osłon ochronnych kabli ułożonych w ziemi może być spowodowana następującymi czynnikami:

- wadami produkcyjnymi,
- uszkodzeniami osłon w czasie składowania i transportu kabli,
- uszkodzeniami w czasie eksploatacji.

Wady produkcyjne osłon powinny być usunięte w wyniku kontroli fabrycznej. Uszkodzenia osłon powstałe w czasie transportu i układania kabli w ziemi mogą być wykryte, a następnie usunięte, praktycznie tylko po zakopaniu kabli - najwcześniej na etapie budowy linii kablowej i na tym etapie uszkodzenia te powinny być likwidowane.

Osobny problem stanowi kontrola szczelności osłon ochronnych kabli i warstw izolujących złącza w przypadku linii kablowej już eksploatowanej. O stanie izolacji linii kablowej względem ziemi decyduje tu nie tylko szczelność osłon kablowych, ale także szczelność warstw izolujących złącza. CCITT zaleca, aby wartość rezystancji izolacji złącza w stosunku do ziemi była co najmniej równa wartości rezystancji izola-

oży względem ziemi powłoki aluminiowej kabla [4]. Kontrola szczelności osłon ochronnych linii kablowej^{x/} powinna być przeprowadzana okresowo z uwagi na możliwość mechanicznego uszkodzenia osłon /np. podczas robót budowlanych/, wadliwe zaizolowanie otwieranego złącza, a także z uwagi na naturalne procesy starzenia się tworzywa osłony.

W dokumentach CCITT proponuje się sprawdzanie jakości osłony ochronnej kabla na bębnie i powtórnie, po ułożeniu odcinka instalacyjnego w gruncie. Wskazuje się również na potrzebę okresowej kontroli rezystancji izolacji aluminiowej powłoki eksploatowanego kabla, względem ziemi lub względem opancerzenia i potrzebę przeprowadzenia szybkiej naprawy osłon ochronnych linii kablowej w przypadkach, gdy rezystancja izolacji linii jest niższa od wymaganej.

W kraju nie opracowano dotychczas wytycznych badania szczelności termoplastycznych osłon ochronnych kabli, jak również wytycznych lokalizacji uszkodzeń takich osłon, w warunkach budowy i eksploatacji linii kablowych. Nie było też aparatury do lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych kabli ułożonych w ziemi.

Z powyższych powodów w Instytucie Łączności podjęto wspomniane wyżej badania, których wynikiem są opracowane wytyczne [18], jak też wymagania techniczne na aparaturę do lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych kabli telekomunikacyjnych [17].

Zaprojektowanie i wykonanie odpowiedniej aparatury pomiarowej zrealizował Zakład Doświadczalny Budownictwa Łączności, natomiast aparaturę typu LUK-01 wykonało Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie.

x/ Pojęciem "osłony ochronne linii kablowej" określa się osłony kabli i warstwy izolujące złącza.

2. METODY POMIARU REZYSTANCJI OSŁON OCHRONNYCH KONSTRUKCJI PODZIEMNEJ

2.1. Uzasadnienie wyboru kryterium oceny szczelności termoplastycznych osłon kablowych

Jak wiadomo [1], rezystancja podziemnej metalowej konstrukcji w osłonie z tworzywa termoplastycznego, mierzona względem ziemi R_p jest praktycznie równa sumie równolegle połączonych rezystancji defektów osłony R' i rezystancji osłony nieuszkodzonej R_p^o , zgodnie ze wzorem:

$$R_p = \frac{R_p^o \cdot R'}{R_p^o + R'} = \frac{R'}{1 + \frac{R'}{R_p^o}} \quad (\Omega) \quad /1/$$

W praktyce rezystancja osłon polietylenowych R_p^o , rzędu $10^8 \Omega$, jest dużo większa od rezystancji defektów R' /rzędu $10^2 - 10^4 \Omega$ /, zatem ta ostatnia decydować będzie o rezystancji konstrukcji względem ziemi (R_p). Z kolei rezystancja defektów jest zależna liniowo od średnicy i liczby defektów, zgodnie ze wzorem:

$$R' = \frac{\rho}{2nD} \left(1 + \frac{8d}{\pi D} \right) \quad (\Omega) \quad /2/$$

gdzie: ρ - rezystywność gruntu,

n - liczba defektów,

D - średnica defektu,

d - grubość osłony.

Na podstawie powyższych rozważań przyjęto jako kryterium szczelności termoplastycznych osłon ochronnych kabli - wartość rezystancji pancerza lub powłoki kabla względem ziemi (R_p), odniesioną do jednostki długości linii, najczęściej wyrażaną w $\Omega \cdot \text{km}$.

2.2. Analiza metod pomiaru

W praktyce spotyka się następujące przypadki stanu osłon ochronnych:

- a/ osłony ochronne nie są uszkodzone - kabel lub linia kablowa są całkowicie odizolowane od gruntu; mierzona wartość rezystancji powłoki /pancerza/ kabla względem ziemi będzie tu równa rezystancji osłony badanego odcinka kabla lub linii kablowej;
- b/ osłony ochronne są uszkodzone - wówczas, zgodnie z rozważaniem w pkt. 2.1, rezystancja powłoki /pancerza/ kabla względem ziemi zależy będzie od wielkości powierzchni i liczby uszkodzeń, poprzez które powłoka /pancerz/ kabla są uziemiane.

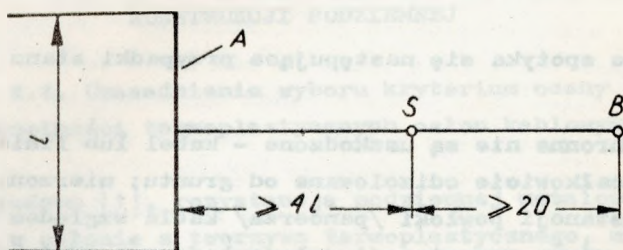
Ponieważ przedmiotem badań są odcinki kabli lub linii kablowej z uszkodzoną osłoną, druga możliwość będzie tematem dalszych rozważań. Linia kablowa, długa konstrukcja metalowa, umieszczona poziomo w ziemi, w przypadku złej jakości osłon, stanowi długi uziom poziomy. Rezystancja uziemienia takiego uziomu odpowiada rezystancji R_p kabla lub linii kablowej /patrz pkt. 2.1/.

Nieznaną wielkość powierzchni metalu kontaktującego się, poprzez uszkodzenia w osłonie, bezpośrednio z gruntem uniemożliwia obliczenie wartości rezystancji uziemienia odcinka kabla lub linii kablowej, a pomiar następuje trudności.

Metoda trójelektrodowa zalecana dla długich uziomów poziomych wymaga usytuowania elektrody prądowej w znacznej odległości /rzędu kilometrów/ [2, 5, 21].

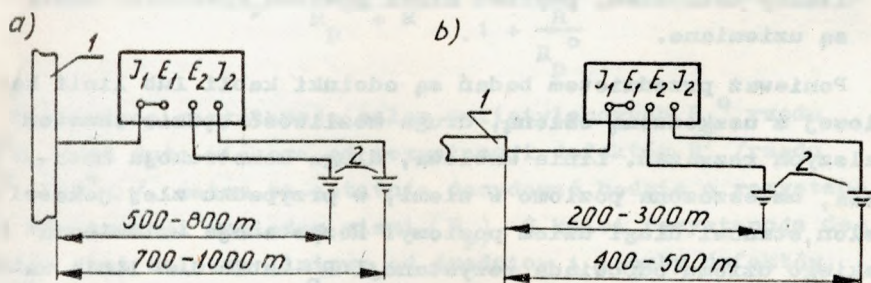
Norma polska [2] przewiduje układ pomiarowy zgodnie z rys. 1, gdzie odległość ta powinna być nie mniejsza niż 4-krotna długość badanego odcinka kabla.

Natomiast np. w ZSRR tamtejsze Ministerstwo Łączności proponuje pomiar wg rys. 2 [21]. Pomiar wykonuje się tu dwukrotnie, zmieniając każdorazowo połączenia uziomów z zaci-



Rys. 1. Schemat połączeń wg metody trójelektrodowej zalecany do pomiaru rezystancji uziemienia uziomów poziomych w telekomunikacji [2]

A - uziom poziomy o długości l , S - elektroda prądowa, B - elektroda pomocnicza



Rys. 2. Schemat połączeń wg trójelektrodowej metody Nikolskiego i Cikiermana [21]

a/ punkt pomiarowy oddalony od końców kabla; b/ punkt pomiarowy na końcu kabla
1 - kabel, 2 - elektrody: prądowa i pomocnicza, 3 - zaciski pomiarowe miernika

skami miernika. Jeżeli wartości zmierzone różnią się od siebie więcej niż 20%, to elektrody pomiarowe należy przesunąć na większą odległość od kabla; jeżeli natomiast wyniki pomiarów będą różnić się mniej niż 20%, to przyjmuje się jako wynik ostateczny ich średnią arytmetyczną. W układzie wg rys. 2a punkt pomiarowy powinien być oddalony nie mniej niż o 3 km od końców kabla.

Wartość rezystancji powłoki /pancerza/ względem ziemi (R_p) oblicza się wg wzoru:

dla połączenia jak na rys. 2a:

$$R_p = \frac{4 R_z^2}{r} (\Omega \cdot km) \quad /3/$$

gdzie: R_z - wartość rezystancji odczytana na mierniku,
 r - rezystancja wzdluzna powloki /pancerza/ kabla;

dla połączenia jak na rys. 2b:

$$R_p = \frac{R_z^2}{r} (\Omega \cdot km) \quad /4/$$

Traktując kabel jako przewodnik prądu i polaryzując prądem stałym powłokę /pancerz/ można określić rezystancję R_p mierząc zmianę wartości potencjału oraz wartość prądu, który tę zmianę powoduje.

Stowarzyszenie inżynierów korozjonistów w USA /NACE/ [14] zaleca dla długiej konstrukcji podziemnej stosunkowo prostą metodę, według której przesunięcie potencjału uzyskuje się z różnicy potencjałów mierzonych, przy włączonym i wyłączonym źródle prądu, w kilku punktach pomiarowych w tym na końcach badanego odcinka. Konieczne jest odizolowanie badanego odcinka od całości konstrukcji za pomocą złączy izolujących /rys. 3/.

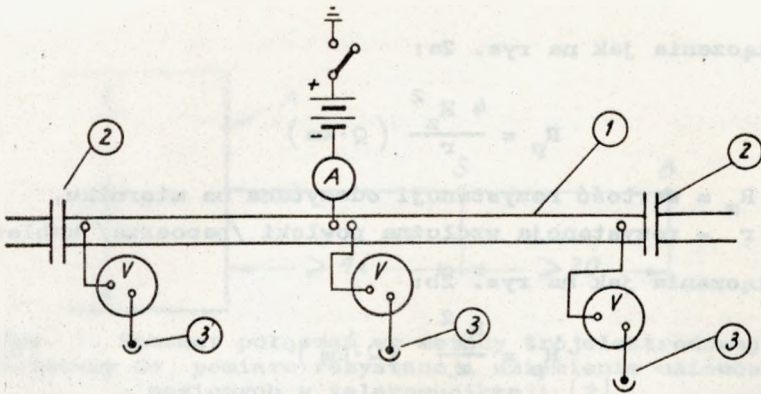
Firma SEBA - DYNATRONIC /RFN/ [11] proponuje do pomiaru rezystancji R_p linii kablowej układ pomiarowy typu MPG-2. Biegun ujemny generatora prądu stałego o napięciu probierczym do 2 kV przyłącza się do kabla, biegun dodatni do uziemienia roboczego. Wartości rezystancji, zmieniające się w czasie zwiększania napięcia odczytuje się na mierniku.

Instytut CNITS /ZSRR/ zaleca metodę pomiaru rezystancji R_p , z wykorzystaniem źródła prądu stałego, wg Nikolskiego i Cikiernana [21]. Schemat połączeń przedstawiono na rys. 4. Uziomy pomocnicze ustawia się w odległości nie mniejszej niż 20-50 m od końców kabla. Wartość R_p oblicza się wg wzoru:

$$R_p = /R_u + \frac{L}{2} R_k / L \cdot \rho (\Omega \cdot km) \quad /5/$$

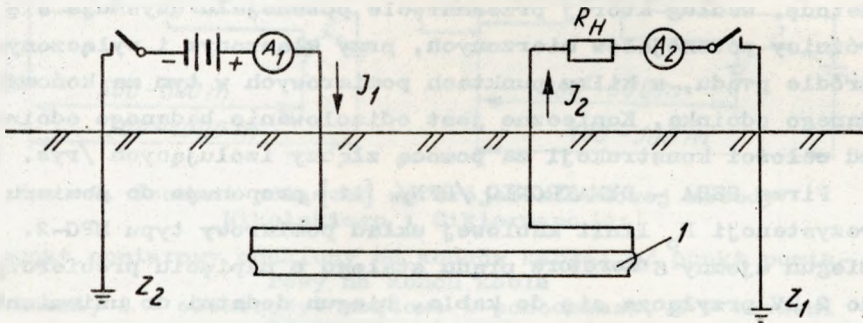
gdzie: L - długość odcinka badanego,

R_k - rezystancja wzdluzna 1 m metalowej powloki /pancerza/,



Rys. 3. Schemat pomiaru rezystancji przejścia [14] na podzielonej konstrukcji metalowej ograniczonej złączami izolującymi

1 - metalowa konstrukcja podziemna, 2 - złącza izolujące, 3 - elektroda odniesienia



Rys. 4. Schemat pomiaru rezystancji przejścia na odcinku fabrykacyjnym kabla; metoda Nikolskiego i Cikiermana [21]

Z_1, Z_2 - uziomy pomocnicze, 1 - odcinek instalacyjny kabla lub fragment nie zakończonej linii kablowej

R_u - rezystancja uziemienia Z_1 oraz rezystancja miernika prądu i elementów pomocniczych, zainstalowanych w obwodzie prądowym,

$$\varphi = \frac{I_1}{I_2 - I_1} - \text{współczynnik upływu prądu,}$$

I_1, I_2 - wartość prądu na początku i na końcu badanego odcinka.

Dla eksploatowanej linii telekomunikacyjnej szczególnie jest zalecany wariant powyższej metody wg rys. 5. Wartość R_p oblicza się tu ze wzoru:

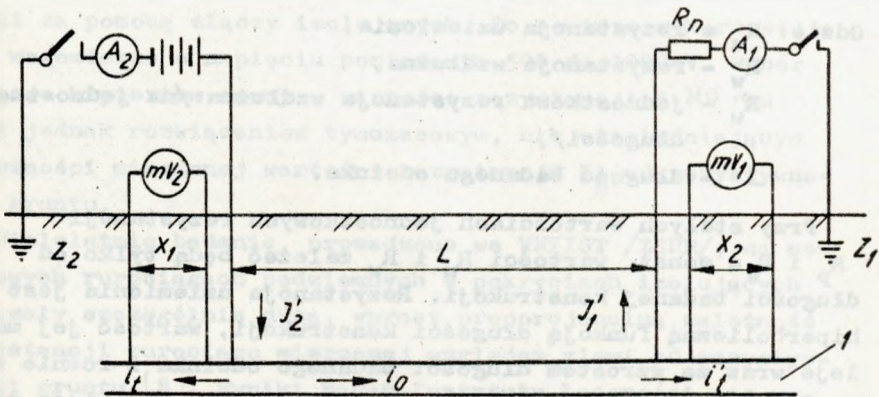
$$R_p = \sqrt{R_u + \frac{L}{2} R_{lc}} / L \cdot \varphi' \quad /6/$$

gdzie:

$$\varphi' = \frac{I_1'}{I_2' - I_1' - i_t' + i_t'}$$

$$i_t' = \frac{\Delta U_2}{R_2} \quad i_t' = \frac{\Delta U_1}{R_1}$$

R_1 i R_2 - odpowiednio rezystancja odcinka x_1 i x_2 .



Rys. 5. Schemat połączeń przy pomiarze rezystancji przejścia na gotowej linii kablowej [21]

1 - fragment linii kablowej

Z przytoczonych wyżej danych wynika, że w przypadku pomiaru rezystancji powłoki /pancerza/ odcinka instalacyjnego kabla lub linii kablowej metoda trójelektrodowa może dać błędne wyniki z uwagi na zakłócenia, spowodowane przez uzbromienie terenu znajdujące się między odległą od kabla

elektrodę prądową, a kablem. Ponadto w przypadku kabli opancerzonych wartość rezystancji wzdłużnej w równaniach /3/ i /4/ może być obciążona dużym błędem z powodu przerw w obwodzie elektrycznym spowodowanych usterkami mechanicznymi i brakiem styku galwanicznego taśm pancerza. Uwaga ta dotyczy również równań /5/ i /6/.

W przypadku metody trójelektrodowej należy liczyć się także z błędem wynikającym z wzrastającego udziału wartości rezystancji wzdłużnej, w mierzonej wartości R_p , wraz ze wzrostem długości badanego odcinka kabla lub linii. Metodą tą mierzy się bowiem wartość wypadkową: rezystancji uziemienia i rezystancji wzdłużnej, a jak wiadomo [5]:

$$R_u = \frac{R_p}{I} (\Omega) \quad /7/$$

$$R_w = R'_w \cdot l (\Omega) \quad /8/$$

Gdzie: R_u = rezystancja uziemienia,

R_w - rezystancja wzdłużna,

R'_w - jednostkowa rezystancja wzdłużna /na jednostkę długości/,

l - długość badanego odcinka.

Przy stałych wartościach jednostkowych rezystancji

R_p i $R'_w = \text{const}$ wartości R_u i R_w zależą tylko od długości badanej konstrukcji. Rezystancja uziemienia jest hiperboliczną funkcją długości konstrukcji, wartość jej maleje wraz ze wzrostem długości badanego odcinka i rośnie w miarę zmniejszania się długości tego odcinka. Tak więc: gdy $l \rightarrow \infty$, to $R_u \rightarrow 0$ lub gdy $l \rightarrow 0$, to $R_u \rightarrow \infty$. Wynika stąd, że im dłuższy jest odcinek linii kablowej, tym większy udział rezystancji wzdłużnej w mierzonej wartości wypadkowej, a uzyskana wartość R_p będzie obciążona coraz większym błędem szczególnie w przypadku osłon gorszej jakości.

W ramach prowadzonych badań porównano wyniki pomiaru rezystancji R_p odcinków instalacyjnych kabli, za pomocą megomierza i metodą proponowaną przez NACE [16]. Obie metody da-

ły zbliżone wyniki /tablica 1/, przy czym metoda z wykorzystaniem megomierzy jest prostsza.

2.3. Wybór metody do stosowania w warunkach praktycznych

Na podstawie powyższych rozważań przyjęto do praktyki metodę pomiaru za pomocą megomierza zakładając, że wszystkie odcinki kabli lub odcinki linii kablowej o rezystancji R_p mniejszej niż $1 \text{ M}\Omega\text{-km}$, posiadają uszkodzenia kwalifikujące się do lokalizacji [18]. Przyjęte postępowanie pozwoliło uniknąć pomiaru wartości rezystancji uziemienia kabli linii kablowej w osłonach bardzo uszkodzonych, w praktyce trudnego do realizacji. Pomiar rezystancji instalacyjnych odcinków kabli lub odcinków wzmacniakowych linii kablowych wymaga odizolowania tych odcinków odpowiednio: od ziemi lub od całości linii za pomocą zespoły izolujących. Do pomiaru wykorzystuje się megomierze o napięciu pomiarowym 500 do 1000 V. Wybór jednego kryterium oceny - wartości rezystancji $1 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ jest jednak rozwiązaniem tymczasowym, nie uwzględniającym zależności mierzonej wartości rezystancji R_p od rezystywności gruntu.

Wieloletnie badania, prowadzone we WNIIST /ZSRR/, na metalowych rurociągach podziemnych w pokryciach izolujących wykazały szczególnie dużą, wprost proporcjonalną, zależność rezystancji rurociągu mierzonej względem ziemi od rezystywności gruntu [8]. Wyniki badań Instytutu Łączności nie wykazały takiej zależności /tablica 2/, ale badania były zbyt krótkotrwałe. Ustalenie zależności między wartością rezystancji, liczbą i powierzchnią uszkodzeń a rezystywnością gruntu pozwoliłoby na bardziej precyzyjną ocenę szczelności osłon kablowych, wymagałoby to jednak dalszych, dłuższych badań.

Tablica 1

Porównanie wyników pomiaru rezystancji izolacji osłony ochronnej na panczerzu kabla AlTKDXpxFtx.

Pomiar wykonany metodą wg NACE [14] oraz bezpośrednią - za pomocą megomierza

Nr badanego odcinka	Wartość rezystancji izolacji, Ω		Źródło zasilania w metodzie pośredniej
	pomiar megomierzem	pomiar metodą wg NACE	
1	2	3	4
1	4×10^4	-	Stacja katodowa zasilana z agregatu prądotwórczego.
2	2×10^3	$3,4 \times 10^3$ $4,0 \times 10^3$ $5,0 \times 10^2$	Zasilanie jw. Kolejne wyniki odnoszą się do różnych napięć zasilających od 10 do 40 V.
3	8×10^4	$8,0 \times 10^4$ $7,4 \times 10^4$ $8,0 \times 10^4$ $7,0 \times 10^4$ $7,4 \times 10^4$ $7,8 \times 10^4$ $7,8 \times 10^4$ $7,8 \times 10^4$ $7,9 \times 10^4$ $8,1 \times 10^4$	Zasilanie bateryjne /12 baterii typu 3 R 12 połączonych szeregowo/. Kolejne wyniki odnoszą się do różnych napięć zasilających od 5 do 46 V.
4	$1,2 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$ $1,2 \times 10^5$ $1,1 \times 10^5$ $1,1 \times 10^5$ $9,5 \times 10^4$ $1,1 \times 10^5$ $1,0 \times 10^5$	Zasilanie bateryjne, jw. Kolejne wyniki odnoszą się do różnych napięć zasilających, od 1,8 do 46 V.

od. tablicy 1

1	2	2	3	4
			$1,1 \times 10^5$ $1,1 \times 10^5$ $1,1 \times 10^5$ $1,1 \times 10^5$	
5	2×10^5		$1,2 \times 10^5$ $1,2 \times 10^5$ $1,1 \times 10^5$ $2,3 \times 10^5$ $2,2 \times 10^5$ $2,3 \times 10^5$ $2,2 \times 10^5$ $2,3 \times 10^5$ $2,3 \times 10^5$ $2,3 \times 10^5$ $2,3 \times 10^5$ $2,2 \times 10^5$	Jw. Kolejne wyniki odnoszą się do napięć zasilających od 1,5 do 49 V.
6	2×10^4		średnio $1,2 \times 10^4$	Jw.

Parametry techniczne aparatury PLH-03

Lp.	Urządzenie	Parametry	
		określenie	wartości
1.	Generator	Częstotliwość pracy	2,5 Hz
		Napięcie wyjściowe	80, 160, 240 V
		Prąd wyjściowy	1-200 mA
		Regulacja prądu wyjściowego	trzydekadowa /trzy cyfry znaczące/
		Dokładność nastawienia prądu	$< 1\%$
		Dokładność stabilizacji prądu	$< 0,5\%$
		Sygnalizacja stabilizacji prądu	optyczna /żarówka/
		Zakres temperatur pracy	$-15^{\circ}\text{C} \div +45^{\circ}\text{C}$
		Zasilanie wewnętrzne	3 szt. baterii 56F 30-V /80 V/
		Zasilanie układu elektronicznego	4 szt. baterii 3R12
		Wymiary	276 x 176 x 210 mm
		Masa	7 kg /wraz z futerałem/
2.	Milivoltomierz	Zakres mierzonych napięć	0.1; 0.3; 1.0; 3.0; 10; 30; 100; 300; 1000; 3000; 10000 mV
		Błąd pomiaru	$< 2\%$
		Rezystancja wejściowa	$\geq 3 \text{ M } \Omega$
		Częstotliwość pracy	2,5 Hz
		Tłumienie przebiegu o częstotliwości 50 Hz	$\geq 60 \text{ dB}$
		Tłumienie zakłóceń przemysłowych	$\geq 30 \text{ dB}$
		Pasmo przepustowe wzmacniacza	/-3 dB/ $\sim 1,5 \text{ Hz}$
		Pasmo przepustowe milivoltomierza	1.5; 0.9; 0.3 Hz
		Zasilanie	8 szt. baterii 3R12
		Zakres temperatur pracy	$-15^{\circ}\text{C} - +45^{\circ}\text{C}$
		Wymiary	276 x 176 x 210 mm

3. METODY LOKALIZACJI USZKODZEŃ OSŁON OCHRONNYCH LINII KABLOWYCH

3.1. Informacje ogólne

Znane metody określania miejsc uszkodzeń żył kabli, mostkowe czy odbiciowe, są mało przydatne do lokalizacji uszkodzeń osłon kablowych.

Warunkiem uzyskania dobrych rezultatów przy metodach mostkowych jest mała rezystancja miejsca uszkodzenia względem ziemi, co nie zawsze będzie możliwe w przypadku osłon kablowych. Ponadto wystąpienie więcej niż jednego uszkodzenia daje fałszywe wyniki.

Przy metodach odbiciowych warunkiem miarodajnych wyników jest jednorodność i dostatecznie mała tłumionność ośrodka, w jakim rozchodzi się impuls prądowy. Własności układu kabel-ziemia są niekorzystne do uzyskania jednocześnie: wystarczająco dużego zasięgu sondowania i dostatecznej rozdzielczości obrazu impulsów odbitych. Ponadto wykrywanie metodą odbiciową małych uszkodzeń jest trudne lub niemożliwe, ze względu na wywoływane przez nie małe zakłócenia jednorodności form impulsu pomiarowego. Z tych powodów metody odbiciowe mogą być ewentualnie przydatne do wstępnego, orientacyjnego lokalizowania dużych uszkodzeń.

Za granicą, a praktyce lokalizacji uszkodzeń pokryć izolujących konstrukcji podziemnych, stosuje się powszechnie metodę Pearson'a [7, 10, 11, 12]. Metoda ta polega na spowodowaniu przepływu prądu ze źródła zewnętrznego, wzdłuż odizolowanej do ziemi konstrukcji metalowej i pomiarze: zmian wartości napięcia lub zmian pola elektromagnetycznego /sygnałów/, występujących na powierzchni ziemi w sąsiedztwie miejsca uszkodzenia. Znane są 3 warianty tej metody:

1/ z wykorzystaniem sond stykowych i źródła prądu stałego, najczęściej wyposażonego w układ wyzwalaający regularne impulsy prądowe;

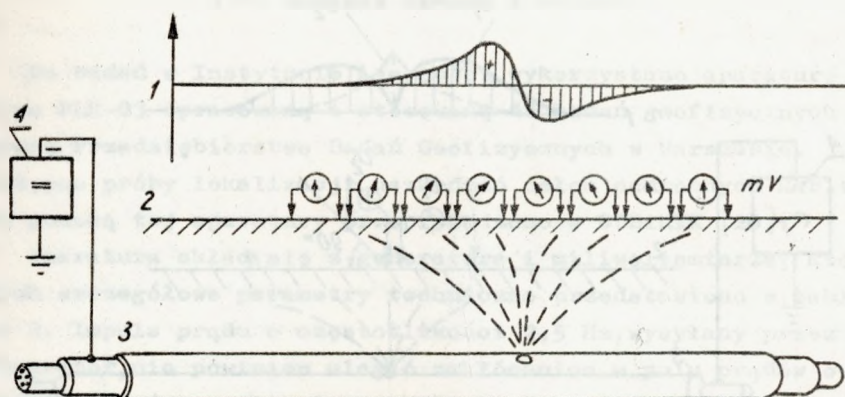
- 2/ z wykorzystaniem sond stykowych i źródła prądu zmiennego, o częstotliwości kilku-kilkunastu Hz;
- 3/ z wykorzystaniem sond stykowych indukcyjnych lub pojemnościowych i źródła prądu o częstotliwości akustycznej /od setek Hz do 10 kHz/.

Varianty 1 i 2 zapewniają: mniejszą wrażliwość sygnału na zakłócenia w polach oddziaływań prądów ze źródeł zewnętrznych oraz stosunkowo duży zasięg sygnału.

Variant 3 pozwala na lokalizację uszkodzeń pokryć konstrukcji ułożonych pod twardą nawierzchnią, przy użyciu sond indukcyjnych lub pojemnościowych. Jednak w tym przypadku sygnał może być tu zakłócony, szczególnie przez prądy o częstotliwości przemysłowej, dlatego konieczne jest wyposażenie odbiornika w skuteczne układy filtrujące - przeciwzakłóceńowe.

3.2. Metody z wykorzystaniem źródła prądu stałego

Jako źródło prądu stosuje się generator prądu stałego, o regulowanym napięciu wyposażony w ogranicznik prądu. Zaciski wyjściowe generatora łączy się z pancerzem kabla i z uziemieniem roboczym. Pod wpływem prądu powstaje na powierzchni ziemi, nad miejscem uszkodzenia osłony kabla, tzw. "lejek napięcia". Jego położenie wyznacza się za pomocą wbijanych w ziemię, w ustalonych odstępach, sond pomiarowych. Sondy te przemieszcza się wzdłuż trasy kabla i mierzy napięcie między nimi. W miarę zbliżania się do miejsca uszkodzenia napięcie między sondami wzrasta. Jeżeli sondy znajdują się w jednakowej odległości od miejsca uszkodzenia, ale po przeciwnych jego stronach, napięcie maleje do zera /rys. 6/. Po przeniesieniu sond poza miejsce uszkodzenia, wartość mierzonego napięcia ponownie wzrasta, lecz z odwrotną polaryzacją i w miarę oddalania sond powoli się zmniejsza. Do pomiaru napięcia między sondami używa się miliwoltomierza o dużej impedancji wejściowej i zakresach pomiarowych 1 - 100 mV. Dla dokładnej lokalizacji miejsca uszkodzenia



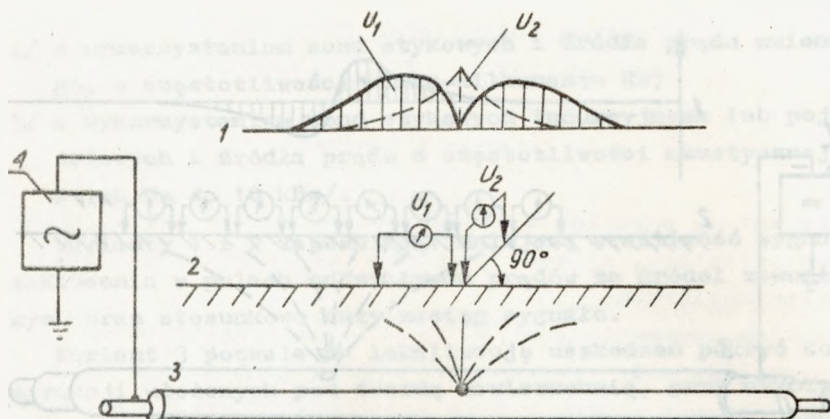
Rys. 6. Zasada lokalizacji uszkodzenia osłony ochronnej kabla metodą prądu stałego

1 - przebieg zmian sygnału, 2 - usytuowanie sond, wraz z odbiornikiem-miernikiem sygnału i wychylenia wskazówki miernika, w zależności od odległości od miejsca uszkodzenia osłony ochronnej kabla, 3 - odcinek kabla z uszkodzoną osłoną ochronną, 4 - generator prądu zmiennego

odstęp między sondami powinien wynosić 1-1,5 m. Można też używać jako sond specjalnych butów z kołkami metalowymi, zapewniających kontakt elektryczny odbiornika z ziemią. Lokalizację ułatwia, stosowany często, układ wyzwalający impulsy prądu stałego /np. 1-sekundowy impuls co 3 s/. Tego rodzaju urządzenia stosowane są za granicą [11, 20, 21].

3.3. Metody z wykorzystaniem źródła prądu przemiennego

Zasadę metody pokazano na rys. 7. Jako źródło prądu stosuje się generator prądu przemiennego o częstotliwościach akustycznych /0,5 - 10 kHz/, który włącza się między powłokę /pancerz/kabla, a ziemię. Generator prądu przemiennego jest obciążony znaczną pojemnością elektryczną pancierza /powłoki/kabla względem ziemi. Aby uzyskać wyraźne wartości napięć w miejscu uszkodzenia, stosowana częstotliwość nie może być zbyt duża. Napięcie o częstotliwości akustycznej może być



Rys. 7. Zasada lokalizacji uszkodzenia osłony ochronnej kabla metodą prądu przemiennego

1 - przebieg zmian sygnału, 2 - sposób ustawienia sond wraz z odbiornikiem-miernikiem sygnału, 3 - odcinek kabla z uszkodzeniem w osłonie ochronnej, 4 - generator prądu zmiennego, U_1 - różnica potencjałów na sondach umieszczonych równoległe do kabla, U_2 - różnica potencjałów na sondach umieszczonych prostopadle do kabla

selektywnie wzmacniane. Pozwala to na eliminację w znacznym stopniu oddziaływań zewnętrznych prądów zakłócających.

Do wyznaczenia miejsca uszkodzenia stosuje się odpowiedni odbiornik połączony z sondami. Ponieważ odbierane napięcie jest wzmacniane, odległość między sondami może być mała. Przy odpowiedniej konstrukcji sond napięcie mierzy się metodą pojemnościową lub indukcyjną. W ten sposób można wykryć uszkodzenie, w miejscach gdzie nie ma możliwości wbijania sond [9, 23].

Lokalizacja miejsca uszkodzenia polega, podobnie jak przy metodzie z generatorem prądu stałego, na przemieszczeniu sond wzdłuż trasy kabla i wyznaczanie miejsc tzw. "lejka napięcia". Przy dokładniejszym wyznaczeniu miejsca uszkodzenia sondy umieszcza się prostopadle do trasy kabla.

Metody lokalizacji, w których stosuje się źródło prądu przemiennego, wykorzystano w rozwiązaniach aparatury specjalistycznej [7, 10, 11, 12].

3.4. Badania własne i wnioski

Do badań w Instytucie Łączności wykorzystano aparaturę typu PLII-03 opracowaną i stosowaną do badań geofizycznych przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie. Wstępne próby lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych kabli za pomocą tej aparatury przeprowadzono w COBIRTK [20].

Aparatura składa się z generatora i miliwoltomierza, których szeregowe parametry techniczne przedstawiono w tabeli 2. Impuls prądu o częstotliwości 2,5 Hz, wysyłany przez generator, nie powinien ulegać zakłóceniom w polu prądów o częstotliwości przemysłowej. Dobra stabilizacja wartości prądu $<0,5\%$ i dokładność nastawienia prądu $<1\%$ zapewniają stabilność impulsu, co jest istotne dla precyzji lokalizacji. Zasilanie bateryjne generatora pozwala na swobodne poruszanie się podczas pomiarów polowych.

Wysoka czułość odbiornika i stosunkowo mały błąd pomiaru $/2\%$, a także możliwość trójstopniowego zawężania pasma odbieranych sygnałów, przy stosunkowo dużej rezystancji wejścia $/\geq 3 \text{ M}\Omega/$ zapewniają dokładną lokalizację nawet niewielkich uszkodzeń. Wybrany model był jednak w warunkach terenowych niewygodny ze względu na duże wymiary i znaczny ciężar.

Parametry aparatury, zgodne z wariantem 2 /pkt. 3.1/, narzuciły konieczność stosowania sond stykowych i metodę postępowania wg pkt. 3.3. Jak wspomniano we wstępie była badana tylko osłona zewnętrzna, wytłoczona na pancerzu dalekosiężnych kabli o powłoce aluminiowej.

Prowadzono pomiary na odcinkach instalacyjnych kabla znajdujących się na budowanej linii kablowej oraz na linii kablowej eksploatowanej.

Selekcję odcinków do lokalizacji prowadzono uwzględniając zmierzoną wartość rezystancji pancerza względem ziemi. Do pomiaru rezystancji wykorzystano megomierz typu IMI 411; stalowy uziom szpilkowy umieszczano w odległości 20 m, prostopadle do kabla. Rezystywność gruntu mierzono metodą

ofteroelektrodową Wennera, wykorzystując miernik typu IMU /produkcji polskiej/. W przypadku linii kablowej już eksploatowanej, nie wyposażonej w złącza izolujące, nie można było przeprowadzić wstępnej selekcji z powodów wyjaśnionych w pkt. 4.2 wykorzystano więc tu wyniki wcześniejszych badań z okresu budowy linii.

W wyniku lokalizacji odcinków kabli i linii kablowych wykryto między innymi uszkodzenia punktowe, odsłaniające pancerz na powierzchni 1 mm^2 . Dokładność lokalizacji była $\pm 10 \text{ cm}$. Sygnał mierzony nad osłoną nie uszkodzoną był w granicach $0,01 - 0,03 \text{ mV}$ i wzrastał w miejscach uszkodzonych do wartości kilku do kilkuset mV . W większości przypadków był on proporcjonalny do wielkości uszkodzenia /tablica 3/.

Zmiany sygnału obserwowano w odległości od 10 m do 20 m od uszkodzenia, zależnie od jego wielkości, tak więc można prowadzić lokalizację wstępną przy rozstawie sond nawet 6 m . Zasięg sygnału przy określonych parametrach pracy generatora sprawdzono do 2 km .

Wyniki badań eksploatowanej linii kablowej wykazały, że w przypadkach źle izolowanych złączy nie można zlokalizować uszkodzeń osłon kabla, przy stosowanych parametrach pracy generatora. Na badanej linii wykrywano tylko źle izolowane złącza kablowe - na 11 badanych złączy tylko jedno miało dobrą izolację. Nie zaobserwowano zakłóceń sygnału przez prądy błądzące, pochodzące z trakcji kolejowej.

Na podstawie powyższych badań uznano, że do lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych kabli telekomunikacyjnych, w warunkach budowy i eksploatacji linii kablowej - należy opracować aparaturę o parametrach technicznych zbliżonych do aparatury typu PLH-03, eliminując wspomniane wady tej aparatury.

Wybrano aparaturę z generatorem prądu zmiennego o m.oz.mi- mo, że aparatura dysponująca generatorem prądu o częstotliwości akustycznej mogłaby umożliwić lokalizację w przypadku twardej nawierzchni, ponieważ sygnał o częstotliwości akustycznej może być zakłócony przez prądy pochodzące z linii elektro-

Tablica 3

Zestawienie wartości sygnału i wielkości uszkodzeń, wykrytych w osłonie ochronnej na panczeru w trakcie badania odcinków instalacyjnych kabla i eksploatowanej linii kablowej. Badania prowadzono przy roboczym, liniowym napięciu generatora: 80 V.

Lp.	Rezystywność gruntu (Ω/m)	Rezystancja panczerza względem ziemi (Ω/m)		Maksymalna wartość sygnału (mV)	Wartość prądu generatora (mA)	Opis uszkodzeń stwierdzonych podczas oględzin badanych odcinków
		przed	po naprawie uszkodzeń			
1	2	3	4	5	6	7
1	81	$2,5 \times 10^5$	-	1,5	1	Niedostępnie z powodu wysokiego poziomu wód gruntowych.
2	1125	10^5	-	4,8	1	3 nacięcia osłony długości ok. 3 cm oraz odsłonięcie panczerza na powierzchni ok. 1 cm ² .
3	"	10^5	3×10^8	4,5	1	Wgniecenie panczerza wraz z osłoną na poz. wierzchni ok. 30 cm ² i szczelina w osłonie długości ok. 3 cm.
4	112,5	5×10^3	-	3	1	Odsłonięcie panczerza na powierzchni ok. 5 cm ²

1	2	3	4	5	6	7
5	112,5	5×10^3	-	1,5	1	Niedostępnę z powodu wysokiego poziomu wód gruntowych.
6	65	5×10^3	10^6	30	1	Pancerz odsłonięty na 2 powierzchni ok. 45 cm ² .
7	475 i 750 /na końcach badanego odcinka/	5×10^3	-	18	1	Pancerz odsłonięty na powierzchni ok. 4 cm ² .
8	"	"	$2 \cdot 10^6$	20	"	Pancerz odsłonięty na 2 powierzchni ok. 2,3 cm ² .
9	321 i 1250 /na obu końcach badanego odcinka/	5×10^3	-	3	1	Punktowe odłonięcie powierzchni pancerza.
10	"	"	5×10^5	440	1	Pancerz odsłonięty na 2 powierzchni ok. 100 cm ² .
11	-	poniżej 10^3	-	60	20	2 przecięcia osłony długości 1 cm i pancerz odsłonięty na powierzchni ok. 1 cm ² , liczne nacięcia osłony.
12	-	"	-	30	20	Licmo rysy i nacięcia osłony.

1	2	3	4	5	6	7
13	-	poniżej 10 ³	-	25	20	Pancerz odsłonięty na powierzchni ok. 1 cm ² w 2 miejscach, liczne na- cięcia osłon.
14	69	-	-	31	50	Złącze pokryte cienką warstwą masy bitumicz- nej, brak rękawa termo- kurczliwego.
15	1187	-	-	8	50	Złącze pokryte cienką warstwą masy bitumicz- nej, brak rękawa termo- kurczliwego
16	"	-	-	25	50	Złącze jw.
17	40	-	-	100	50	Złącze bez zabezpiecze- nia
18	67,5	-	-	10	50	Złącze pokryte masą bi- tumiczną, na 1/3 po- wierzchni założony ręk- aw termokurczliwy.
19	"	-	-	4	50	2 nacięcia pancerza długości ok. 3 cm, pan- cerz odsłonięty na po- wierzchni ok. 0,5 cm ² .
20	"	-	-	9	50	Złącze pokryte masą bi- tumiczną, brak rękawa termokurczliwego.

Tablica 4

Parametry techniczne lokalizatora uszkodzeń osłon
ochronnych kabli telekomunikacyjnych LUK-01

Lp.	Urządzenie	Parametry	
		określenie	wartość
1	2	3	4
1.	Nadajnik	Zakresy pomiarowe rezystancji izolacji I	0,1 - 1 M Ω
		II	1 - 10 M Ω
		III	10 - 100 M Ω
		Napięcie probierowe stabilizowane	100 V
		Sygnalizacja przekroczenia zakresu pomiarowego	optyczna
		Częstotliwość pracy generatora	12,5 Hz
		Podzakresy prądu wyjściowego I	10 - 100 μ A
		II	0,1 - 1 mA
		III	1 - 10 mA
		IV	10 - 100 mA
		Regulacja prądu wyjściowego	ciągła
		Pomiar prądu wyjściowego	miernik wychyłowy
		Błąd pomiaru prądu wyjściowego	2%
		Błąd stabilizacji prądu wyjściowego	1%
		Sygnalizacja braku stabilizacji	optyczna
		Maksymalne napięcie wyjściowe	120 V
		Maksymalna moc wyjściowa	12 W
		Zasilanie	12 V, akumulator o pojemności \geq 12 Ah

1	2	3	4
2.	Odbiornik	Częstotliwość pracy	12,5 Hz
		Rezystancja wejściowa	3 M Ω
		Podzakresy pomiarowe	
		I	0-100 V V 0-10 mV
		II	0- 10 V VI 0- 1 mV
		III	0- 1 V VII 0-100 μ V
		IV	0-100 mV
		Błąd pomiaru napięcia	2%
		Zasilanie	27 V /3 szt. baterii 6F22/
		Pobór prądu	<10 mA
		Zakres temperatur pracy	0 \div +40°C

energetycznych trakcji elektrycznej lub źródeł przemysłowych. Konieczne do tego pomiaru: oszuły odbiornik o odpowiedniej selektywności i sondy pojemnościowe lub indukcyjne - są trudne do wykonania w warunkach krajowych. Ponadto przebiegi linii kablowej pod twardą nawierzchnią są stosunkowo krótkie i stanowią niewielki procent całej trasy linii.

Aparaturę typu LUK-01 do lokalizacji uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli telekomunikacyjnych, wykonaną specjalnie dla potrzeb resortu łączności, charakteryzują parametry wg tablicy 4. Pomiaru prowadzone za pomocą tej aparatury potwierdziły jej przydatność w terenie [6].

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności
Nr 5-9666

WYKAZ LITERATURY

1. Baeckmann W.V., Schwenk W.: Katodowa ochrona metali. WNT, Warszawa 1976.
2. BN-76/9371-03/00. Uziemienia urządzeń telekomunikacji przewodowej i bezprzewodowej. Ogólne wymagania i badania.
3. Bralewski J.: Wstępne zasady instalowania kabli w nowoczesnych osłonach ochronnych. Instytut Łączności. Praca nr 111.02.D.05/734/68, Warszawa 1979.
4. CCITT: Doc. Com. VI, No 29 1981-84. Preliminary reply to question 1/VI and proposals for the amendments to recommendation L.4.
5. Ciekierman L.J.: Protivkorrozjonnaja izolacja podziemnych metalicznych truboprowodow. Gosstrajzdat, Moskwa 1960.
6. Duowski E., Pałczyńska J.: Lokalizacja uszkodzeń osłon ochronnych kabli telekomunikacyjnych. Materiały konferencyjne. Konferencja "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej". Rzeszów 1986 /w druku/.
7. Głazow N.P., Striżewskij J.W., Kałasznikowa A.M.: Metody kontrolia i izmierenij pri zaszcitlie podziemnych sooruzenij ot korrozii. Niedra. Moskwa 1978.
8. Jefimowa A.M.: Prognozowanie zaszcitnyh swojstw izolacionnyh pokrytij i parametrów kompleksnoj zaszcity. Materiały konferencyjne. Konferencja naukowo-koordynacyjna RWPG. Temat IV. Sopot 1985.

9. Jones J.W.: Corrosion prevention and control 1980, No 6, s. 9-11.
10. Katalog: Aktivni ochrana potrubí.2. Vydání. Praha 1981.
11. Katalog: Cable fault location with compact unites on the module system. SEBA - DYNATRONIC GMBH. West Germany.
12. Katalog: MP54-1976. Messeinrichtungen, Siemens.
13. Kulawiak A., Pałczyńska J.: Opracowanie metody badań rezystancji oraz lokalizacji uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli w warunkach eksploatacyjnych. Analiza metod pomiaru rezystancji i lokalizacji uszkodzeń oraz dobór wariantu odpowiedniego do pomiarów terenowych na kablach. Instytut Łączności. Praca nr C.2.1.61, Warszawa 1983.
14. NACE. Basic corrosion course. Houston, Texas 1974.
15. Pałczyńska J.: Ocena jakości osłon ochronnych kabli o powłokach aluminiowych na aktualnie badanych i eksploatowanych liniach telekomunikacyjnych. Instytut Łączności. Praca nr C.2.1.5.1, Warszawa 1982.
16. Pałczyńska J.: Opracowanie metody badań rezystancji oraz lokalizacji uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli w warunkach eksploatacji. Sprawdzające pomiary terowe, na wybranych odcinkach kabli, przy wykorzystaniu dostępnych w kraju urządzeń pomiarowych. Instytut Łączności. Praca nr C.2.1.6.2, Warszawa 1984.
17. Pałczyńska J.: Opracowanie metody badań rezystancji oraz lokalizacji uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli w warunkach eksploatacji. Wybór metody optymalnej i opracowanie aparatury pomiarowej. Instytut Łączności. Praca nr C.2.1.6.3, Warszawa 1984.
18. Pałczyńska J.: Wytyczne badania rezystancji oraz lokalizacji uszkodzeń osłon termoplastycznych kabli w warunkach eksploatacyjnych. Instytut Łączności. Praca nr C.2.1.6.4, Warszawa 1985.
19. PN-75/E-90163. Osłony ochronne i pancerze kabli elektrycznych.
20. Puchalski T.: Opracowanie wytycznych uziemienia metalowych powłok kabli telekomunikacyjnych na podstawie badań eksploatacyjnych. COBIRTK. Praca nr 3184/20, 1982.

21. Rukowodstvo po projektirovaniju i zasozitie ot korrozii podziemnych metallozeskich sooruzenij swiazi. Ministerstwo Swiazi SSSR. Swiaz, Moskwa 1978.
22. Skiba-Rogalska O., Pałozyńska J.: Badania w warunkach eksploatacyjnych środków ochrony dla kabli o powłokach aluminiowych i stalowych. Instytut Łączności. Praca nr 111.02.A.03, Warszawa 1981.
23. Wróblewska Z.: Metody lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych i stosowany sprzęt. W materiałach z konferencji: Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej. Słupsk, 24 ÷ 25 maja 1980.

Biblioteca

IL

S-9666