

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY



ŁĄCZNOŚCI

122

1974



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI.

---

BIBLIOTEKA  
Instytutu Łączności

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 14

WARSZAWA 1974

NR 122

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

---

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr inż. Adam Moniuszko,  
mgr. inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU

---

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

---

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format: B5. Nakład: 655. Wpłynęło do  
Działu Wydawniczego: 12.09.1974 r.  
Druk ukończono: w październiku 1974 r.

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Opracowanie tłumaczeń

## ZABEZPIECZENIA KABLI I URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH PRZED PRZEPIĘCIAMI

### SPIS TREŚCI

	Str.
1. Mode A., Persson P.O., Petterson G.A., Soderlund L., Wyke K.: Przebiecia powodowane wyładowaniami atmo- sferycznymi i ich oddziaływanie na urządzenia sieci telekomunikacyjnej - Opracował J. Wolniewicz	1
2. Wyciąg z dokumentu Nr 78 Komisji Studiów V Genewa, CCITT 1972 - Opracował E. Bobiński	40
3. Brumm G., Meister H.: Odgromniki przepięciowe napełniane gazem stosowane w instalacjach teleko- munikacyjnych - Opracował E. Bobiński	45
4. Hübner R.: Nowe sposoby zabezpieczania urządzeń telekomunikacyjnych od przepięć - Opracował E. Bobiński	62
5. Bendayan J.: Kable odporne na uszkodzenia powodo- wane przez wyładowania atmosferyczne - Opracował A. Moniuszko	72
6. Popp E.: Ochrona podziemnych wzmacniaków linio- wych współosiowych systemów nośnych - Opracował E. Bobiński	99

7. Sokolov S.A.: Zabezpieczanie linii kablowych i urządzeń teletransmisyjnych od przepięć pochodzenia atmosferycznego - Opracowała I. Proga 105
8. Goldštejn W.G., Cernowoj B.M.: Statystyczna metoda określania niezawodności układów zabezpieczających przed wyładowaniami atmosferycznymi - Opracowała I. Proga 108
9. Rating F.: Analiza działania ochronnego rur ferromagnetycznych od wyładowań atmosferycznych - Opracował J. Wolniewicz 111

621.39:621.316.933

ZABEZPIECZENIA KABLI I URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH  
PRZED PRZEPIĘCIAMI

PRZEPIĘCIA POWODOWANE WYŁĄDOWANIAM I ATMOSFERYCZNYMI  
I ICH ODDZIAŁYWANIE NA URZĄDZENIA SIECI  
TELEKOMUNIKACYJNEJ

Opracował J. Wolniewicz na podstawie artykułu Mode  
A., Persson P.O., Petterson G.A., Söderlund L. i  
Wyke K.: Overvoltages caused by lightning and their  
effect on telecommunication equipment. Tele 1973  
nr 2, s. 41-58.

1. WSTĘP

Urządzenia i linie telekomunikacyjne charakteryzują się stosunkowo małą wytrzymałością elektryczną izolacji. Powoduje to, w przypadku występowania przepięć wywołanych wyładowaniami atmosferycznymi, powstawanie takich naprężeń w dielektryku, które stwarzają niebezpieczeństwo trwałych uszkodzeń. Wprawdzie np. wytrzymałość elektryczna izolacji kabli z izolacją papierową wynosi 1 do 2 kV i może być zwiększona do kilkudziesięciu kilowoltów przy zastosowaniu izolacji z tworzywa sztucznego, to jednak w skład całego systemu wchodzi urządzenie o mniejszej wytrzymałości elektrycznej izolacji, przy czym na ogół nie ma możliwości jej zwiększania.

Wyładowania atmosferyczne powodują znaczne szkody w sieciach i urządzeniach telekomunikacyjnych podległych Szwedz-

kiej Administracji Łączności. Ogólne koszty są trudne do ustalenia, jednak roczne koszty napraw związanych z wymianą aparatów telefonicznych oraz reperacją kabli miejskich ocenia się na 10-15 milionów koron.

W tej sytuacji zaczęto stosować profilaktycznie środki ochronne, jak np. specjalne metalowe powłoki lub przewody odgromowe układane nad kablem, powodujące zmniejszanie przepięć w kablach, oraz ochronniki przepięciowe w urządzeniach telekomunikacyjnych i instalacjach telefonicznych. Prócz tego prowadzi się badania laboratoryjne i studia teoretyczne, a ich wyniki porównuje się z badaniami w terenie w celu zastosowania najodpowiedniejszych zabezpieczeń.

## 2. PRZYCZYNY WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH

Warunkiem koniecznym do zaistnienia wyładowania między chmurą i ziemią jest wytworzenie się pola elektrycznego o dużym natężeniu /ok. 2,5 MV/m przy normalnym ciśnieniu i temperaturze/. Przeprowadzone pomiary na krótko przed wyładowaniem wykazały wartość natężenia pola 20-30 kV/m przy ziemi, co w założeniu równomiernego jego rozkładu i przy wysokości chmury 3 km nad ziemią odpowiada 60 : 90 MV między chmurą i ziemią. Natężenie to jest prawdopodobnie wyższe bliżej chmury, co wykazały pomiary z samolotu /przykładowo 340 kV/m tuż przed wyładowaniem/.

Tak czy inaczej między chmurą a ziemią musi powstać nadmiar lub niedobór elektronów, co jak wykazały badania, jest wynikiem stałego strumienia ładunków dodatnich z jonosfery /70 do 100 km nad ziemią/ w kierunku ziemi, powodującego prąd o wartości  $1-4 \mu\text{A}/\text{km}^2$  /odpowiada to przepływowi prądu 500-2000 A



między jonosferą i ziemią/. Wynikły stąd nadmiar ładunków dodatnich na ziemi jest zmniejszony przez wyładowania, które pojawiają się między chmurą a ziemią w pewnych, sprzyjających warunkach.

Jest wiele teorii wyjaśniających przyczyny burz z piorunami. Najogólniej przyjmuje się, że w lecie lub przy istnieniu frontów ciepłych i zimnych wznoszące prądy ciepłego powietrza stwarzają warunki do powstawania przechłodzonych kropli deszczu, przenosząc je na większe wysokości. Wznoszące się krople wody zderzają się z opadającymi kryształkami lodu lub kulkami gradowymi i powłoki tych kryształków oraz jądra kropeł mające różnoimienne ładunki rozdzielają się, przez co w chmurach następuje koncentracja ładunków, zwykle ujemnych od strony ziemi, a dodatnich w górnej części chmur. Następnie ładunek ujemny przenosi się częściowo w kierunku ziemi przez serie kolejnych wyładowań w "kanałach" o długości ok. 50 metrów. Ostatnie wyładowanie jest rzeczywistym wyładowaniem świecącym i jest ono skierowane do góry utworzonymi uprzednio kanałami przez wstępne wyładowanie ujemne. Szybkość tego wyładowania ocenia się na  $0,3 \pm 0,1$  szybkości światła, a więc trwa ono ok.  $70 \mu\text{s}$  w przypadku wysokości chmury wynoszącej 3 km.

Pomiary prądu wyładowań przeprowadzone na poziomie ziemi wykazują, że prąd ten osiąga swą wartość szczytową w czasie od jednej do kilku mikrosekund, a następnie maleje do połowy tej wartości w czasie  $20 \pm 60 \mu\text{s}$ , osiągając wartość szczytową w granicach od kilku do 200 kA, przy czym brak jest korelacji między maksimum tej wartości a stromością impulsu prądu. Również na wielkość amplitudy nie ma wpływu rezystyw-

ność ziemi, której "kanałowa" rezystywność dla wyładowania stanowi tylko kilka procent rezystywności kanału w powietrzu. Zwykle przyjmuje się, że wartość szczytowa 20 kA występuje z 50% prawdopodobieństwem.

Wyładowanie świecące, które widoczne jest jako jedno, składa się na ogół z kilku wyładowań /średnio 3 do 4/ i przenosi ładunek 10 do 20 kulombów. Ładunek ten stanowi przeciętnie ilość energii równą ok. 200 kWh przy napięciu 100 MV między chmurą i ziemią.

### 3. INTENSYWNOŚĆ WYSTĘPOWANIA BURZ

Przeciętnie w ciągu roku na obszarach polarnych występuje 1 ÷ 2 dni burzowych, w Europie 15 ÷ 35 dni, a na równiku ok. 150 dni. Jeśli chodzi o rejestrację liczby wyładowań, to dawną metodę słuchową uzupełnia się obecnie metodą rejestracji skoków natężenia pola elektrycznego w sąsiedztwie wyładowania. Powszechnie stosowane liczniki wyładowań o czułości 5 V/km rejestrują wyładowania w obrębie obszaru o promieniu 12 km. Częstotliwość wyładowań mierzy się w jednostkach na 100 km<sup>2</sup> na jeden rok.

Ogólnie biorąc, częstość występowania burz jest dla Szwecji mała ze względu na jej północne usytuowanie i wynosi 5 ÷ 20 dni burzowych w roku, zależnie od części kraju. Jakkolwiek częstość ta jest mała, to ich skutki nie są do zaniedbania. Wynika to z dużej rezystywności gruntu, co w przypadku wyładowania powoduje duże spadki napięcia wywołujące uszkodzenia kabli. Na rys. 1<sup>x/</sup> pokazano zależność liczby uszkodzeń kabli od rezystywności gruntu.

<sup>x/</sup> Rysunki są umieszczone na końcu artykułu.

## 4. OBLICZANIE PRZEPIĘĆ

### 4.1. Przepięcia w kablach ziemnych o powłokach metalowych

Jeśli wyładowanie atmosferyczne trafia bezpośrednio w kabel lub blisko niego, wywołuje ono przepięcie między żyłami i powłoką kabla, mogące przekroczyć wytrzymałość elektryczną izolacji. Obliczenia napięć i prądów w kablu wywołanych wyładowaniami będą tu pominięte, ponieważ są one szczegółowo wyprowadzone w artykule J. Bendayana: "Kable odporne na uszkodzenia powodowane przez wyładowania atmosferyczne", str. 72. Należy tylko wspomnieć, że amplituda fali napięciowej wywołanej w kablu wyładowaniem atmosferycznym może być dostatecznie duża na to, żeby wywołać wtórne przebicia izolacji kabla w odległości kilometra i więcej od wyładowania pierwotnego. Szkody tym powodowane są często poważne, a zakłócenia są rozprzestrzenione na znacznym obszarze. Kable o małej średnicy mogą być zniszczone przez wyładowanie nawet, jeśli ono się pojawiło w dużej odległości od kabla, przy czym sprzyja temu duża rezystywność gruntu.

### 4.2. Skutki wyładowań w liniach napowietrznych

Prawdopodobieństwo wyładowania bezpośrednio w linię napowietrzną jest małe, ale jeżeli takie wyładowanie zaistnieje, to uszkodzenia sieci są poważne. Jednakże większość szkód wywołana jest wyładowaniem w pobliżu linii, które powoduje indukowanie się napięcia w linii oraz wzrost potencjału ziemi, a tym samym niebezpieczeństwo "wstecznego" wyładowania w linię.

Zakładając istnienie pionowego przewodnika w odległości  $r$  od "kanału" wyładowania, napięcie między pionowym i poziomym przewodnikiem wyrazi się przez:

$$U = U_{\varphi} + U_i \quad /1/$$

gdzie:

$U_{\varphi}$  - potencjał ziemi w odległości  $r$

$U_i$  - napięcie indukowane

Kiedy prąd wyładowania na swej drodze do góry osiągnie wysokość  $z$ , potencjał ziemi będzie równy:

$$U = I/t/ \frac{\varphi}{2\pi} \frac{1}{r} - \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}} /$$

Jeśli wysokość  $h$  zawieszenia poziomego przewodu /linii/ jest mała w porównaniu z chwilową wysokością  $z$  kanału wyładowania, to strumień magnetyczny wytworzony w pętli składającej się z przewodnika pionowego i poziomego oraz ziemi wyrazi się przez:

$$\oint = \frac{\mu_0 h}{2\pi} \int_0^z \frac{I/t/ dz}{\sqrt{r^2 + z^2}} \quad /3/$$

Pomijając prąd przesunięcia w powietrzu oraz zakładając, że czoło udaru ma stałą szybkość  $v$ , zaś  $z = v \cdot t$  otrzymujemy wzór na napięcie indukowane:

$$U_i = \frac{d\oint}{dt} = \frac{\mu_0 h}{2\pi} \left[ I/t/ \cdot \ln \frac{z + \sqrt{z^2 + r^2}}{r} + I/t/ \frac{r}{\sqrt{z^2 + r^2}} \right] \quad /4/$$

Indukowane napięcie ograniczone jest do małego obszaru w po-

bliżu miejsca wyładowania i nie występuje jako fala bieżąca wzdłuż linii z wyjątkiem przypadku, gdy wyładowanie uderza bezpośrednio w samą linię. Natomiast fala bieżąca napięcia wzdłuż linii może być wywołana wyzwoleniem ładunków brzegowych w pobliżu miejsca wyładowania i jest znacznie mniejsza. Jednak jeśli wystąpi przeskok iskry do ziemi, powstaje silna fala bieżąca napięcia i prądu.

Wyżej wyprowadzone wzory odnoszą się do długich linii napowietrznych i w przypadku sieci lokalnych należy stosować je ostrożnie.

Na rysunku 2 przedstawiono wykresy napięć przy następujących parametrach:

$$\rho = 1000 \Omega \cdot m$$

$$\hat{I} = 1 \text{ kA}$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$\tau_s = 7 \mu s / T_s - \text{czas narastania/}$$

$$r = 100 \text{ m}$$

$$v = 3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

natomiast poniższa tabelka obrazuje, jak olbrzymie napięcia mogą być wywołane w sieci napowietrznej przy założeniu prądu wyładowania 50 kA, tj. wartości, która jest osiągnięta przez ok. 15% wszystkich wyładowań.

r [m]	$\hat{U}$ [kV]	
	$\rho = 1000 \Omega \cdot m$	$\rho = 5000 \Omega \cdot m$
50	138	690
100	62	310
200	25	125

## 5. ŚRODKI OCHRONNE

### 5.1. Sieci dalekosiężne

#### 5.1.1. Metoda przewodów odgromowych

Ponieważ przepięcia w kablach są proporcjonalne do wielkości prądu płynącego w metalowej powłoce kabla, należy dążyć do zmniejszenia tego prądu. Najpowszechniejszą formą takiej ochrony jest stosowanie odgromowych nieizolowanych przewodów miedzianych, układanych wzdłuż kabli podziemnych. Z przyczyn praktycznych przewody te umieszcza się tuż przy kablu, najwyżej kilkadziesiąt centymetrów ponad nim, co jednak nie chroni od przeskoku iskry do metalowej powłoki kablowej w przypadku udaru bezpośrednio w przewody odgromowe. Można by temu zapobiec umieszczając przewody odgromowe w odległości kilku metrów od chronionego kabla. Zwiększa się wtedy wprowadzie napięcie między przewodami i kablem, ale zwiększa się również wytrzymałość elektryczna gruntu. Jeśli odległość między przewodem odgromowym a kablem będzie większa niż  $d_1$  /rys. 3/, wówczas nie nastąpi przeskok iskry, w kablu nie pojawi się prąd i nie wystąpi przepięcie. Jednak w przypadku dużej rezystywności gruntu, odległość między przewodem a kablem musiałaby być tak duża, że zrealizowanie tego byłoby niemożliwe.

Przeskok iskry między przewodem odgromowym a kablem zazwyczaj nie powoduje poważniejszych uszkodzeń w kablach o nieizolowanej metalowej powłoce lub w kablach opancerzonych. Natomiast w kablach, mających zewnętrzną osłonę ochronną z two-

rzywa, np. w kablach typu PBE<sup>1/</sup> i PAE<sup>2/</sup>, po wyładowaniu, występują szkody nie tylko spowodowane przepięciem, lecz również przebiciem zewnętrznej osłony ochronnej, powodującym dziury w osłonie. Zdarza się to mimo, że osłona ochronna ma wytrzymałość elektryczną rzędu 100 kV. Na niektórych obszarach o niezbyt dużej rezystywności gruntu otrzymano dobre wyniki, chroniąc kable /PBE/ miedzianymi przewodami. Przewody te zapobiegają przebiciom izolacji osłony ochronnej kabla, jednak dla uzyskania najlepszej ochrony, powinny być one ułożone jak najbliżej kabla. W odległości  $d < d_2$  /patrz rys.4/ nie będzie już przeskoaku iskry do kabla. Jeżeli w rowie kablowym znajdują się także kable PB<sup>3/</sup>, przewód miedziany nie może być ułożony zbyt blisko kabla w powłoce lub osłonie z tworzywa sztucznego. W tym przypadku jednak kabel PB może pełnić funkcję przewodu odgromowego.

Powyższe rozważania dotyczą udarów bezpośrednich w przewody odgromowe. Nie są zbadane zjawiska towarzyszące udarom występującym w większej odległości od kabla. Kable o powłoce metalowej w osłonie ochronnej z tworzywa sztucznego powinny być z reguły stosowane w gruntach o dużej rezystywności /ze względu na duże niebezpieczeństwo korozji/.

W niektórych rejonach Szwecji praktykuje się metodę uzimiania kabli PAE i PBE. Dotychczasowe wyniki są raczej kontro-

---

1/ PBE - kabel z żyłami izolowanymi papierem i o powłoce ołowianej, pokryty osłoną ochronną z polietylenu.

2/ PAE - kabel z żyłami izolowanymi papierem i powłoką aluminiową, pokrytą osłoną ochronną z polietylenu.

3/ PB - kabel z żyłami izolowanymi papierem, o powłoce ołowianej.

wersyjne, a nawet w przypadku pozytywnych doświadczeń metoda ta jest droga, ponieważ potrzeba zastosowania dobrego uziemienia występuje szczególnie w gruntach o dużej rezystywności, gdzie oczywiście jest to trudniejsze do zrealizowania.

Stosunkowo dobrą ochroną jest opancerzenie drutowe stosowane na osłonie z tworzywa, łączone w złączach z powłoką metalową. Taki typ kabla zaczęto stosować w niektórych sieciach dalekosiężnych, podraża on jednak znacznie koszt inwestycji i nie stanowi rozwiązania dla sieci istniejącej.

#### 5.1.2. Wzmocnione powłoki kablowe

Niektóre obszary Szwecji charakteryzują się dużą rezystywnością gruntu. Na tych obszarach notuje się dużo szkód powodowanych wyładowaniami.

Szczególnie narażone na uszkodzenia są kable w radiostacjach, gdyż częstotliwość wyładowań jest tam znacznie większa niż gdzie indziej z powodu "przyciągającego" działania wysokich masztów antenowych. W związku z tym, przy instalacji nowych urządzeń, stosuje się kable o wzmocnionych powłokach składających się z trzech warstw metalowych, przy czym warstwa środkowa jest taśmą stalową. Z powodu magnetycznych właściwości stali w warstwie tej występuje intensywnie zjawisko naskórkowości podczas wyładowania /w zwykłych powłokach ołowianych lub aluminiowych zjawisko to jest nieznaczne/, tak że tylko niewielka część prądu wyładowania płynie warstwą wewnętrzną. Te korzystne właściwości zanikają, jeśli warstwa stalowa osiągnie stan nasycenia. Przy stosunkowo krótkotrwałych impulsach prądu spowodowanych wyładowaniem,



stopień nasycenia określa się dopuszczalnym ładunkiem prądu wyładowania. Kable doprowadzeniowe do masztów FM/TV powinny mieć granicę nasycenia 20 : 30 kulombów. Granica może być zwiększona, jeśli rezystancja zewnętrznej warstwy metalowej jest mała.

Dla kabli dalekosiężnych, które nie są narażone na bardzo częste wyładowania, granica 5 kulombów jest dostateczna dla osiągnięcia niezawodności wyrażającej się liczbą 0,5 uszkodzenia na 100 km, na rok. Oznacza to, że powłoka może być cieńsza, a tym samym tańsza. Można to uzyskać stosując stosunkowo cienką aluminiową warstwę zewnętrzną, której rezystancja nie przekroczy wartości  $0,5 \Omega / \text{km}$ . Dodatkowe koszty związane z tym typem kabla są w pewnym stopniu skompensowane, gdyż niepotrzebne są już wtedy przewody odgromowe. Kable tego typu powinny być stosowane przede wszystkim na obszarach o rezystywności gruntu przekraczającej  $5000 \Omega \cdot \text{m}$ .

### 5.1.3. Ochrona na etapie projektowania

Projektowanie nowej trasy kablowej powinno uwzględniać również maksymalne zabezpieczenie kabli przed skutkami wyładowań atmosferycznych.

W zależności od częstotliwości występowania wyładowań powinien być wybrany rodzaj kabla, a także powinny być przeprowadzone pomiary rezystywności gruntu. Kable mające zewnętrzną osłonę z tworzywa nie powinny być stosowane w terenie, gdzie nie występuje większe niebezpieczeństwo korozji. Nieekranowane kable nie powinny być stosowane w sieciach wyposażonych w urządzenia wrażliwe na udary prądowe i napięciowe

/przykładowo kable EEL<sup>4/</sup> przyczyniają się do uszkodzeń cewek pupinizacyjnych/.

Asymetria w ułożeniu kabla powoduje również jego podatność na uszkodzenia. Typowym przykładem są lokalne odgałęzienia. Asymetria jest spowodowana zwartymi z powłoką przez ochronniki odgałęzionymi parami, a także "martwymi" parami w kablu magistralnym. Symetria może być również zakłócona odgałęzieniami kabli do central telefonicznych i stacji wzmacniacowych. Najskuteczniejszym środkiem jest prowadzenie oddzielnych miejscowych kabli zamiast stosowania lokalnych odgałęzień.

Wobec istniejącej tendencji do rozłączania żył w zewnętrznej warstwie kabla dalekosiężnego i wprowadzania ich do central telefonicznych przez kable odgałęźne powstaje problem "martwych" par. W takich przypadkach powinno się rozważyć, czy nie będzie ekonomicznie uzasadnione wprowadzenie kabli dalekosiężnych na ochronniki w centralach telefonicznych, zlokalizowanych wzdłuż trasy kablowej, przynajmniej tam, gdzie wchodzi w grę krótkie odgałęzienia kablowe.

#### 5.1.4. Odgromniki przepięciowe

Jeśli wyładowanie nastąpiło w pobliżu końca kabla, to ochronniki znajdujące się na tym końcu zabezpieczają kabel, jak również urządzenia z nim związane przed dalszym uszkodzeniem. Jeśli natomiast wyładowanie nastąpi w dużej odległości od końca kabla, to po obydwu stronach pierwotnego uszkodzenia mogą

---

<sup>4/</sup> EEL - kabel z żyłami o izolacji plastikowej, w powłoce polietylenowej oraz z drutem nośnym umieszczonym w powłoce.

się pojawia uszkodzenia wtórne, nawet w odległości kilku kilometrów. Jest to spowodowane wędrującą falą przepięcia, które początkowo ze wzrostem odległości od miejsca wyładowania, rośnie; osiąga maksimum i następnie zmniejsza się. To maksimum przepięcia może przekroczyć wytrzymałość elektryczną izolacji kabla, zanim napięcie na końcu kabla osiągnie wartość napięcia zapłonu odgromników /ok.  $1/3$  napięcia przebicia izolacji kabla/. Wyposażenie kabla w odpowiednio gęsto rozmieszczone odgromniki przepięciowe /co 1 do 2 km dla kabla ziemnego, a rzadziej dla napowietrznych/ powoduje zredukowanie przepięć i ograniczenie uszkodzenia do miejsca wyładowania. Odległość między sąsiednimi odgromnikami, zapewniająca jeszcze ich skuteczność, może być tym większa, im niższe jest napięcie zapłonu odgromników i im wolniej zmniejsza się napięcie w kablu /kable napowietrzne/.

Z praktycznego punktu widzenia najodpowiedniejszymi miejscami, w których należałoby stosować zabezpieczenia są odgałęzienia do central. Jeśli odgałęzienie jest krótkie, odgromniki mogą być umieszczone w budynku centrali. Jeśli natomiast odległość ta przekracza 10 m, odgromniki muszą być umieszczone w miejscu odgałęzienia.

Szczególnym rodzajem kabla jest kabel między stacjami radiowymi i telewizyjnymi /FM/TV/ a masztami antenowymi. Wysokie maszty stanowią zwód odgromowy dla otaczającego obszaru o powierzchni  $5 \div 15 \text{ km}^2$ , co przesądza umiejscowienie odgromników. Odgromniki umieszczone są na zakończeniu kabla w stacji oraz na kablach w odległości około 1 km od masztu, przy czym im większa jest rezystywność gruntu, tym bliżej masztu muszą być umieszczone odgromniki.

## 5.2. Sieci miejscowe

W obszarach zabudowanych odgromniki stosowano do tej pory tylko w niewielkim zakresie, głównie z powodu istnienia rozległych sieci wodociągowych, innych rurociągów oraz stosowania kilku kabli w jednym otworze kanalizacyjnym, co daje korzystny rozptył prądów pochodzących od wyładowań.

Dużą częstość uszkodzeń spowodowanych wyładowaniami notuje się na obszarach o dużej rezystywności gruntu, rzadko zaludnionych, na których są niewielkie obiekty telekomunikacyjne. Na tych obszarach istnieje wielka różnorodność typów kabli i metod ich instalacji, co w poważnym stopniu wpływa na ich podatność na uszkodzenia od wyładowań.

Przykładem może tu być włączenie nieekranowanych kabli napowietrznych /EEL/ do nieekranowanych kabli podziemnych /EE/<sup>5/</sup>. Elektryczne wyładowanie przebijające izolację z tworzywa uszkadza kabel EE, zazwyczaj w pobliżu słupa kablowego. W kablu napowietrzym prawdopodobnie powstaje przepięcie, które przenosi się do kabla EE, skutkiem czego powstaje różnica potencjałów między żyłami kabla ziemnego a ziemią. Wprawdzie żyły są wyposażone w odgromniki w centrali telefonicznej, ale jeśli odległość do niej jest duża, potencjał w punkcie połączenia obu kabli /w pobliżu słupa kablowego/ przekroczy napięcie przebicia izolacji kabla, chociaż wytrzymałość elektryczna izolacji jest duża /ok. 100 kV/.

Jakkolwiek stosowanie odgromników może zapobiec wielu uszkodzeniom, to przy obecnych metodach instalacji trzeba by

---

<sup>5/</sup>EE - kabel o powłoce polietylenowej z żyłami izolowanymi tworzywem termoplastycznym.

je stosować w dużej ilości punktów, co znacznie zwiększyłyby koszty budowy. Z tego powodu przede wszystkim należy dążyć do ujednoczenia sieci. Krótkie odcinki nieekranowanych kabli o powłokach z tworzywa w sieci kabli o powłokach ołowianych lub odwrotnie oznaczają istnienie dużego niebezpieczeństwa uszkodzeń powodowanych wyładowaniami. Dlatego przy okazji każdej naprawy /wymiany/ należy stosować ten sam typ kabla.

W sieciach, gdzie kombinacja kabli o powłokach z tworzywa i z ołowiu jest nieunikniona, złącza powinny być umieszczone w szafkach rozdzielczych. W tych miejscach kable o powłokach ołowianych muszą być wyposażone w odgromniki przepięciowe. Należy tego przestrzegać niezależnie od długości kabli o powłokach z tworzywa sztucznego.

Celem odgromników przepięciowych jest ograniczanie spadku napięcia w kablach o powłoce ołowianej między żyłami a tą powłoką. Dlatego też konieczne jest łączenie powłoki z ziemią w miejscach złącz. Dobre uziemienie może znacznie ograniczyć prąd w powłoce ołowianej i w ten sposób zapobiec dużym spadkom napięcia na jej rezystancji wzdłużnej, co bywa prawie zawsze przyczyną uszkodzeń wskutek wyładowań.

Ograniczenie przepięć może być realizowane za pomocą prostego iskiernika w postaci listwy metalowej umieszczonej na łączówce z zaciskami. Jej odległość od zacisków połączeniowych poszczególnych żył jest utrzymywana za pomocą rowka prowadzącego, na obydwu końcach listwy. Wobec wysokiej wytrzymałości elektrycznej kabli o powłoce z tworzywa napięcie przebicia takiego iskiernika może wynosić 10 kV. Podczas montażu metalowa listwa zostaje bezpośrednio połączona ze wspornikiem łączówki, który powinien być uziemiony.

Na rysunku 5 przedstawiono w sposób uproszczony typową sieć miejscową z zaznaczeniem punktów potencjalnych uszkodzeń. W punkcie /1/ istnieje niebezpieczeństwo przebicia izolacji papierowej w kablach o powłoce ołowianej, chociaż złącze jest wyposażone w odgromniki. To samo zachodzi w punkcie /2/, ale ochrona na złączu nie jest konieczna, jeśli krótki kabel doprowadzeniowy wymienić na kabel EE lub EEL.

Możliwość uszkodzenia kabli o powłoce ołowianej w punkcie /3/ jest spowodowana włączeniem kabla EEL do starej sieci kabli z powłokami ołowianymi. Ochrona jest tu wymagana, jeśli nie wymieni się kabla EEL na kabel o powłoce ołowianej PB lub odwrotnie. Żyły w izolacji z tworzywa i izolacji papierowej powinny być w szafce rozdzielczej prowadzone oddzielnie.

W punkcie /4/ krótki odcinek kabla ziemnego EE łączy kable EEL, ponieważ linia krzyżuje się z linią energetyczną, kolejową itp. Istnieje tu niebezpieczeństwo wyładowań między żyłami kabla względem ziemi. Żyły powinny być chronione przy jednym ze słupów kablowych, na przykład za pomocą iskierników. Metalowa listwa iskiernika powinna być oczywiście uziemiona.

Uszkodzenia w kablu doprowadzeniowym w punkcie /5/ mogą być spowodowane długimi, nie chronionymi parami rezerwowymi w kablu PB.

Dla oszacowania, które środki ochronne są ekonomicznie uzasadnione, należy prowadzić odpowiednie statystyki uszkodzeń.

### 5.3. Centrale telefoniczne

O ile na gęsto zaludnionych obszarach przebiecia od wyładowań zwykle nie powodują poważniejszych kłopotów, to w ob-

szarach rzadko zaludnionych zarówno linie telekomunikacyjne jak i energetyczne są bardzo narażone na działanie przepięć, a te z kolei oddziałują na związane z nimi urządzenia. Urządzenia te charakteryzują się niską wytrzymałością elektryczną izolacji i chociaż są odpowiednio chronione, to istnieje duże niebezpieczeństwo ich uszkodzeń, zwłaszcza, że są one połączone zarówno z siecią telekomunikacyjną jak i energetyczną i wtedy uszkodzenia mogą się pojawiać jako wynik przepięć w każdej z tych sieci.

Linie abonenckie i międzycentralowe linie kabli parowych /w mniejszych centralach/ są dołączone do urządzeń za pośrednictwem ochronników w przetącnicy głównej. Są to zwykle odgromniki węglowe na napięciu 1200 V, połączone z uziemioną ramą przetącnicy. Jeśli kabel doprowadzeniowy ma powłokę metalową, to powinien być także uziemiony. W ten sposób sieć kablowa /jeśli powłoki nie są pokryte osłoną ochronną z tworzywa/ pomaga zmniejszyć rezystancję uziemienia.

W obecnej konstrukcji przetącnicy głównej ochronniki przepięciowe umieszcza się po stronie centrali, co oznacza, że chronione są tylko te pary kabla, które łączą się z urządzeniami. Inne pary, jak również przewody połączone z gniazdami probierczymi nie są chronione. W tej sytuacji zaleca się ochronę przepięciową po stronie liniowej, co jest szczególnie ważne w sieci kablowej z powłokami z tworzywa.

W pewnym okresie na ramach ochronników montowano także bezpieczniki prądowe. Składały się one z wkładki topikowej 5 A i cewki topikowej 0,25 A, przy czym wkładki były włączone bezpośrednio od strony linii, przed odgromnikami, a cewki za odgromnikami od strony centrali. Miało to na celu ochronę

przed napięciami, które mogły się pojawiać w przypadku zetknięcia się linii energetycznych /niskiego napięcia/ z gołymi przewodami telefonicznymi. Praktyka wykazała, że tylko w wyjątkowych przypadkach takie zetknięcia się linii wywołują prądy, powodujące zadziałanie bezpiecznika. Z drugiej strony, impulsy prądu wywołane przepięciami od wyładowań przepalają bezpieczniki, powodując zakłócenia w ruchu telefonicznym. Podczas przepalania się bezpiecznika powstaje łuk podtrzymujący przepływ prądu aż do przeminienia szczytowej części impulsu. Bezpieczniki nie dają wówczas dostatecznej ochrony, a ponadto, po przepaleniu, odłączają ochronniki przepięciowe, zwiększając w ten sposób niebezpieczeństwo uszkodzeń od ewentualnych dalszych przepięć, powodowanych wyładowaniami atmosferycznymi.

Centrale są zasilane z lokalnych energetycznych sieci /niskiego napięcia/, które zwykle na obszarach miejskich są liniami napowietrznymi narażonymi na przepięcia od wyładowań. Stwarza to dla urządzeń centrali niebezpieczeństwo uszkodzeń wywołanych przepięciami, które mogą się przedostawać przez prostowniki ładujące baterie akumulatorów, generatory impulsów itp. Przeciwdziałać temu można w pewnym stopniu przez stosowanie odgromników gazowych lub odgromników zaworowych, montowanych na słupie linii energetycznej jak najbliżej centrali i włączonych między przewodem fazowym a przewodem zerowym. Jednak ochrona będzie dopiero wtedy skuteczna, jeśli przewód zerowy będzie połączony z ziemią, przy czym realizacja tego powinna pociągnąć za sobą także zmiany w sieci energetycznej, żeby wywołana niesymetria obciążenia w sieci energetycznej nie powodowała spadku napięcia w przewodzie zerowym, co mo-



głoby spowodować wzrost oddziaływań. Wymaga się również wtedy, aby prawdopodobieństwo przerwania przewodu zerowego było bardzo małe, gdyż w przypadku takiego przerwania uziom centrali przejmując częściowo na siebie rolę przewodu zerowego w systemie sieci energetycznej, co może sprawić wiele kłopotów, szczególnie w małych centralach. W przypadku gdy nie można zapewnić takiego bezpieczeństwa lub gdy takie połączenie mogłoby zwiększać korozję powłok ołowianych kabli telekomunikacyjnych, odgromnik przepięciowy, np. odgromnik zaworowy, włącza się między główny przewód zerowy a dodatnią szynę zbiorczą systemu zasilania centrali, która jest uziemiona.

#### 5.4. Urządzenia abonenckie

Podczas wyładowań atmosferycznych wewnątrz budynku pojawia się czasami przeskoki iskry między instalacją telefoniczną lub siecią zasilającą a metalowymi instalacjami o potencjale ziemi, jak np. siecią wodociągową lub ogrzewczą. Przeskok iskry świadczy o tym, że wystąpiło przepięcie rzędu 100 kV, które może spowodować poważne uszkodzenia w urządzeniach użytku domowego. Można by temu zapobiec za pomocą odgromnika przepięciowego włączonego np. między linię telefoniczną a sieć ogrzewczą, jednak nie usuwa to niebezpieczeństwa rozszerzania się przepięcia na inne części budynku przez system ogrzewczy. Szczególnie niekorzystny stan jest wtedy, gdy system ogrzewczy nie ma elektrycznego połączenia z innym systemem, np. instalacją elektryczną połączoną z ziemią. Ale nawet w tych przypadkach, gdy takie połączenie istnieje /np. przez ochronne uziemienie silnika pompy/, to na ogół jest ono realizowa-

ne tak cienkim przewodem, że może się on stopić w przypadku silnego wyładowania atmosferycznego.

Prawdopodobieństwo przeskoku iskry może być oczywiście zmniejszone, jeśli linie i aparaty telefoniczne są zainstalowane w większej odległości od innych urządzeń lub sieci /elektrycznej, wodociągowej/. Aby zwiększyć bezpieczeństwo ludzi, którzy mogą się podczas rozmowy telefonicznej znajdować w pobliżu uziemionych rur lub przewodów, rury te i przewody chowa się obecnie w ściany i podłogi.

Napięcie, które powoduje przebicia izolacji i uszkodzenia w urządzeniach odbiorczych jest tzw. napięciem poprzecznym. Stare typy aparatów telefonicznych są mało wytrzymałe na te napięcia. Próby ochrony przez stosowanie odgromników przepięciowych nie przyniosły pożądanych wyników. Stwierdzono, że chronione w ten sposób aparaty dalej ulegały uszkodzeniom od wyładowań i że uszkodzenia te były takie same, jak aparatów nie chronionych. Badania laboratoryjne wykazały, że urządzenia ochronne mogły się przyczyniać do powstawania przejściowych oscylacji napięcia, posiadających jeszcze tak duże amplitudy, że powodowały one uszkodzenia aparatów. W związku z tym projektuje się obecnie układy ochronne, składające się z odgromnika gazowego i z prostego filtra dolnoprzepustowego /indukcyjność szeregową 100  $\mu\text{H}$ , pojemność równoległa 5000 pF/, włączonego między odgromnik i chroniony aparat. Układ taki ogranicza napięcie poprzeczne do wartości, która już nie uszkadza aparatu. Niektóre nowoczesne aparaty telefoniczne mają wyższą wytrzymałość elektryczną oraz są tak skonstruowane, że ich podstawowe układy są ominięte w obwodzie sygnalizacyjnym. W tym przypadku można stosować proste układy ochronne.

Niektóre urządzenia telekomunikacyjne /dalekopisy, mode-my, zdalne urządzenia kontrolne itp./ są połączone z jednej strony z siecią telefoniczną, a z drugiej z linią zasilającą zwykle przez transformator o napięciu probierczym 2000 V. Ponieważ przepięcie, które może się pojawić w linii energetycznej wskutek wyładowania jest znacznie wyższe, istnieje niebezpieczeństwo przebicia izolacji transformatora, powodujące zakłócenia w sieci telefonicznej. W niekorzystnych przypadkach napięcie zasilające może być przeniesione do sieci telefonicznej co stwarza niebezpieczeństwo dla ludzi.

Doświadczenie wykazuje, że niemożliwe jest uzyskanie zadowalającej ochrony wyposażenia abonenta tylko przez zastosowanie ochronników przepięciowych /np. odgromników węglowych/ dołączonych do zewnętrznej linii telefonicznej i do oddzielnego uziemienia. Wysoka rezystancja gruntu /na dużych obszarach Szwecji/ uniemożliwia, przy rozsądnych kosztach, uzyskanie uziemienia o wystarczająco małej rezystancji. Ponadto napięcia, które już są szkodliwe dla urządzeń telefonicznych mogą pochodzić także z sieci energetycznej. W tej sytuacji należy przede wszystkim dążyć do zmniejszenia napięcia między liniami telekomunikacyjnymi a zasilającymi. Najprostszym sposobem jest tu zaopatrzenie linii telefonicznej w ochronnik przepięciowy, np. iskiernik, włączony między odgałęzieniami tej linii a uziemionym przewodem instalacji elektrycznej. Urządzenia, które mają aparaturę pomocniczą dołączoną do sieci energetycznej mają mniejszą wytrzymałość elektryczną izolacji i wymagają odgromników o niższym napięciu zapłonu. Stosuje się tu odgromniki gazowe.

Odgromnik przepięciowy powinien być dołączony do linii te-

lefonicznej raczej na zewnątrz, przed wprowadzeniem do budynku w celu uniknięcia ewentualnego zniszczenia przewodów wewnętrznych w budynku w wyniku silnych wyładowań atmosferycznych. Z tego też powodu, przewód przyłączeniowy powinien mieć izolowane żyły miedziane o przekroju co najmniej  $6 \text{ mm}^2$ .

Przy planowaniu instalacji należy zwrócić uwagę, żeby przewód przyłączeniowy od odgromnika do sieci zasilającej nie przekraczał długości 10 m. Z punktu widzenia ochrony przepięciowej jest także korzystne, jeśli przewody telefoniczne są poprowadzone do aparatów z tego samego kierunku, co przewody sieci elektrycznej. Wobec małych średnic przewodów telekomunikacyjnych /0,5-0,7 mm/ istnieje duże niebezpieczeństwo ich przepalenia wskutek wyładowania. W przypadku kabli ziemnych może być utrudniona ich reperacja, jeśli są one np. ułożone pod nawierzchnią drogową. Dlatego w takich miejscach powinny być stosowane kable o większych średnicach przewodów lub wykorzystane podwójne żyły w zwykłych kablach.

## 6. BADANIA ODGROMNIKÓW PRZEPIĘCIOWYCH

### 6.1. Informacje ogólne

Nazwa odgromnik przepięciowy jest ogólną nazwą elementów ochronnych, ograniczających napięcie, przez wyładowanie elektryczne między elektrodami umieszczonymi albo w powietrzu, albo w próżni lub rozrzedzonym gazie. W obiektach podległych szwedzkiej administracji głównie używa się odgromników gazowych o trzonkach czołowych oraz odgromników węglowych.

Odgromniki węglowe używa się jako ochrony przed przepięciami przeważnie w przetątnicach głównych, na wprowadzeniach

kablowych i odgałęzieniach /roczne zużycie ok. 230 000 sztuk/.

Odgromniki gazowe używane są w zasadzie jako ochrona przed napięciami indukowanymi przez linie energetyczne, jakkolwiek stanowią one oczywiście także ochronę przed przepięciami od wyładowań /roczne zużycie ok. 70 000 sztuk/.

## 6.2. Metody badań

### 6.2.1. Wprowadzenie

Brak jest norm szwedzkich na badania odgromników. Centralne Laboratorium szwedzkiej PTT korzysta częściowo z zaleceń VDE, a częściowo z wymagań eksploatacyjnych. W 1969 r. CCITT wydało zalecenia pt. "Wymagania stawiane ochronnikom przeciwprzebieciowym dla ochrony urządzeń telekomunikacyjnych. /Odgromniki gazowe/". Badania prowadzone przez Centralne Laboratorium są na ogół zgodne z tymi wymaganiami, jednak w niektórych punktach program badań jest bardziej surowy niż zalecenia CCITT.

Rozróżnia się trzy rodzaje badań: pełne, częściowe i odbiorcze. Badania pełne /badanie typu/ są w zasadzie prowadzone tylko na nowych typach odgromników, jakkolwiek mogą być prowadzone i na starych typach, jeśli na przykład te są modyfikowane. Badania częściowe /badania typu w ograniczonym zakresie/ prowadzi się wtedy, gdy np. producent zmienia jakiś szczegół odgromnika lub gdy dany typ odgromnika nie był przez dłuższy czas produkowany i ponownie rozpoczyna się jego produkcję. Badania odbiorcze prowadzi się na wszystkich egzemplarzach odbieranej partii odgromników, ponieważ charakterystyki poszczególnych egzemplarzy są decydujące dla

ochrony personelu i urządzeń. Ponadto z każdej partii pobiera się próbki dla przeprowadzenia na nich pełniejszych badań.

Badanie pełne obejmuje:

- oględziny,
- pomiar pojemności,
- pomiar rezystancji izolacji,
- pomiar napięcia zapłonu /statycznego i dynamicznego/,
- obciążenie udarem prądowym,
- pomiar prądem przemiennym.

#### 6.2.2. Oględziny

Jest to ogólna kontrola jakości wykonania. Sprawdza się przez oględziny czy elektrody, połączenia elektrod, przewody wejściowe, obudowy szklane itp. nie mają widocznych uszkodzeń oraz kontroluje się czy nie ma różnic między poszczególnymi egzemplarzami. Zapisuje się wartości znamionowe, sprawdza wymiary i wykonuje zdjęcia do sprawozdania.

#### 6.2.3. Pomiar pojemności

Górna granica pojemności międzyelektrodowej ustalona przez CCITT wynosi 10 pF. W badaniach pełnych mierzy się pojemność na 3 do 5 próbkach, przy użyciu elektronicznego mostka pomiarowego, przy częstotliwości pomiarowej 1000 Hz.

#### 6.2.4. Pomiar rezystancji izolacji

Ponieważ odgromniki często łączy się równolegle z urządzeniami o dużej rezystancji, konieczne jest, aby zarówno od-

gromnik jak i jego gniazdo miały na tyle wysoką rezystancję izolacji, żeby nie pogarszały charakterystyk eksploatacyjnych chronionego urządzenia.

Pomiar izolacji wykonuje się elektronicznym megaomierzem o zakresie  $1-10^6 \text{ M}\Omega$  i napięciu pomiarowym stałym  $100 \text{ V}$  /CCITT zaleca napięcie pomiarowe  $\geq 60 \text{ V}$ /, w warunkach normalnych i przy podwyższonej wilgotności.

Pomiary w warunkach normalnych /wilgotność względna  $w = 20 \pm 50\%$ ; temperatura otoczenia  $t = 20 \pm 25^\circ \text{ C}$ / wykonuje się na wszystkich badanych odgromnikach. W odgromnikach gazowych wartości rezystancji izolacji niższe od  $10^6 \text{ M}\Omega$  zdarzają się tu tylko wyjątkowo.

Pomiary przy podwyższonej wilgotności / $w = 90 \pm 95\%$ ,  $t = 20 \pm 25^\circ \text{ C}$ / wykonuje się na 3 - 5 próbkach /CCITT zaleca wykonywanie pomiarów przy 83% wilgotności względnej, ponieważ jednak odgromniki bardzo często umieszczane są na zewnątrz budynków, a Szwedzki Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny stwierdza, że są okresy, w których wilgotność względna przekracza 90%, badania odgromników wykonuje się przy wyższej wilgotności/. Próbkę umieszcza się w komorze klimatyzacyjnej na okres 7 dni i okresowo kontroluje się ich rezystancję izolacji, początkowo co 15 do 60 minut, a potem co 12 do 24 godzin. Po tym badaniu próbki umieszcza się w zwykłej atmosferze pokojowej i sprawdza, po jakim czasie rezystancja izolacji wraca do swej pierwotnej wartości. Długi czas "powrotu" wskazuje na higroskopijność izolacji.

Wyniki pomiarów podaje się w formie wykresów /rys. 6/. Rezystancja izolacji przy  $w = 90 - 95\%$  nie powinna być mniejsza niż  $10^2 \text{ M}\Omega$ , a czas powrotu rezystancji izolacji do wartości początkowej nie powinien przekraczać jednej godziny.

### 6.2.5. Pomiary napięcia zapłonu

Napięcie zapłonu odgromnika jest to najniższa wartość napięcia między jego elektrodami, która wywołuje wyładowanie.

Rozróżnia się dwa rodzaje napięcia zapłonu: statyczne i dynamiczne. Dynamiczne napięcie zapłonu jest zawsze wyższe od statycznego i zwiększa się ze stromością pomiarowego impulsu, co jest spowodowane tym, że wymagany jest pewien czas na zjonizowanie gazu między elektrodami, przed wystąpieniem wyładowania.

Dynamiczne napięcie zapłonu określa się albo przez stromość pomiarowego impulsu napięciowego, np. 1,2,5 lub 10 kV/ $\mu$ s albo przez kształt fali udarowej, np. 1/50. W pierwszym przypadku zapłon pojawia się od czoła wzrastającego napięcia o określonym nachyleniu. W drugim przypadku jest to najmniejsza wartość szczytowa dla fali udarowej, przy której występuje zapłon. W tym przypadku zapłon może wystąpić w szczycie impulsu lub poza nim /z tyłu impulsu/. Te dwa warianty ilustruje rys. 7. Wariant /a/ daje ściślejsze wyniki, jeśli chodzi o pomiar szybkości zapłonu, niż wariant /b/. W tym ostatnim przypadku zapłon może wystąpić w każdym punkcie między szczytem krzywej / $U_{D2}$ / a punktem  $U_N$  /t.j. gdy napięcie opada do wartości statycznego napięcia zapłonu/ na grzbiecie udaru, co oznacza, że odgromnik może mieć bardzo długi czas zapłonu, rzędu dziesiątek mikrosekund.

Najlepszą informację uzyskuje się przez zdjęcie kompletnych charakterystyk, co ilustruje rys. 8. Z wykresu widać zarówno zależność między napięciem i czasem zapłonu, jak też i rozkład wartości napięcia zapłonu.



Stosunek między dynamicznym napięciem zapłonu  $U_D$  a statycznym  $U_N$  określa się jako współczynnik udarowy:

$$F_{st} = \frac{U_D}{U_N}$$

Współczynnik ten waha się w granicach  $2 \div 10$  dla różnych typów odgromników gazowych. Dla nowoczesnych odgromników  $F_{st} = 2 \div 3$  przy nachyleniu  $10 \text{ kV}/\mu\text{s}$ , co odpowiada czasowi zapłonu nie przekraczającemu  $0,1 \mu\text{s}$ .

Większą szybkość zapłonu uzyskuje się przez wybór odpowiedniego materiału na elektrody, rodzaje gazu, a także przez pewną formę wstępnej jonizacji przy zastosowaniu radioaktywnych izotopów, co wpływa również na dużą stabilizację napięcia zapłonu. Stare typy odgromników były również bardzo wrażliwe na światło /napięcie zapłonu w ciemności było znacznie wyższe niż przy świetle dziennym/. Wadę tę usunięto w nowych rozwiązaniach odgromników.

Statyczne napięcie zapłonu określa się przez powoli wzrastające napięcie prądu stałego. Układ pomiarowy /z częściową automatyzacją pomiaru/ pokazany jest na rys. 9.

Generator impulsów - może dawać określoną liczbę impulsów w zakresie  $1 \div 10$  lub nieograniczony ciąg impulsów.

Transformator - jest to autotransformator obrotowy, napędzany silnikiem; impulsy startowe dla każdego nowego obrotu otrzymuje z generatora impulsów.

Prostownik - napięcie wyjściowe, nastawiane skokowo: 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800 i 2600 V; prędkość obrotu transformatora jest tak wyregulowana, że otrzymuje się nachylenia: 20, 40, 60, 80, 100, 120 i 175 V/s.

Czas przerwy między zapłonami - generator impulsów nadaje nowy cykl co 15 sekund; odstęp między zapłonami może być regulowany układem sterującym i może być kontrolowane działanie odgromnika.

Przy badaniach typu dla wszystkich próbek w liczbie 20:30 określa się statyczne napięcie zapłonu. Odgromniki przenosi się do ciemni na co najmniej 10 minut przed pomiarami. Na każdym odgromniku dokonuje się 5 pomiarów w odstępach co 15 s. W przypadku, gdy odgromniki wykazują wysokie napięcie zapłonu przy pierwszym zapłonie, a podczas następnych niższe i zależne od natężenia światła, prowadzi się więcej pomiarów w celu ustalenia wpływu naświetlenia.

Dynamiczne napięcie zapłonu określa się za pomocą generatora napięcia udarowego /rys. 10/. Wartości  $R_1/R_2$  i  $C_1/C_2$  są dobrane dla znormalizowanego kształtu fali 1/50.  $U_{\max} = 10$  kV. Czas narastania impulsu jest stały i równy 1  $\mu$ s, a nachylenie czoła określone jest przez amplitudę impulsu.

Pełne charakterystyki napięcia zapłonu w funkcji czasu uzyskuje się z pomiarów co najmniej trzech próbek. Na innych egzemplarzach przeprowadza się pomiary tylko dla dwóch punktów charakterystyki, mianowicie: najniższej wartości napięcia zapłonu przy kształcie fali 1/50 i przy nachyleniu czoła 10 kV/ $\mu$ s. Pomiary prowadzi się również w ciemni, przy czym

odstęp czasu między kolejnymi zapłonami nie może być mniejszy niż 2 minuty. Dla określenia charakterystyk napięcia zapłonu w funkcji czasu wykonuje się pewną liczbę pomiarów napięć zapłonów przy wzrastającym nachyleniu czoła impulsu. Zapłony są rejestrowane na filmie i ich amplitudy w zależności od czasu odczytuje się na powiększalniku. Następnie sporządza się wykres napięcia  $U_D$  w funkcji czasu.

#### 6.2.6. Obciążenie udarem prądowym

Badanie ma na celu określenie obciążalności odgromników dla takich impulsów prądowych, jakie są wywołane wyładowaniem atmosferycznym. Zasadę działania generatora udarowego przedstawiono na rys. 11. Prąd udarowy ma określony kształt impulsu /zgodnie z normą szwedzką SEN 2103/, jeśli chodzi o jego czas narastania oraz czas opadania do półszczytu.

Zę wzorów:

$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad ; \quad L = \frac{T_h^2}{6C}$$

otrzymuje się krytyczną wartość tłumionego impulsu prądowego o maksymalnej amplitudzie  $\hat{i} = \frac{2\hat{U}}{R \cdot e} /e = 2,178/$ , gdzie:  $T_h$  jest czasem trwania w połowie amplitudy. Generator może wytwarzać prąd udarowy o trzech różnych wartościach  $T_h$  oraz maksymalnych amplitudach prądu  $\hat{i}$  przy napięciu  $\hat{U} = 30$  kV, wynoszących:

przy kształcie udaru	8/25 $\mu$ s	20 kA
przy kształcie udaru	32/100 $\mu$ s	5 kA
przy kształcie udaru	320/1000 $\mu$ s	0,5 kA

Całkowity ładunek generatora wynosi 0,6 kulomba. Wartość opornika  $R_p$ , która jest znacznie większa niż  $R$ , decyduje o szybkości wzrostu napięcia podczas próby.

Prowadzi się badania dwójakiego rodzaju: udary powtarzane o stałej amplitudzie /np. 100-200 udarów przy  $\hat{I} = 5$  kA, 8/25  $\mu$ s oraz udary o stopniowo wzrastającej amplitudzie /np. 2,4,6... kA/. Udary powtarzane są rodzajem próby wytrzymałościowej, gdzie odgromniki są poddane szybko powtarzanym udarom o niezbyt wysokiej amplitudzie prądu. Nadawany jest tu jeden udar co trzy minuty, a między udarami sprawdza się napięcie zapłonu.

Udary o stopniowo wzrastającej amplitudzie są próbą niszczącą, mającą na celu określenie granicy prądu, przy której odgromniki ulegają zniszczeniu. W tej próbie stosuje się tylko jeden udar dziennie, tak że nawet nieznaczne pęknięcia w szkłe wywołane udarem mają czas do ujawnienia się w postaci nieszczelności /co powoduje zwiększenie napięcia zapłonu/.

Po przejściu określonej liczby udarów powtarzanych lub wytrzymaniu maksymalnego prądu w badaniu drugim, po okresie 1 do 2 tygodni od zakończenia prób, mierzy się ponownie napięcie zapłonu.

Odgromniki, które zaakceptowano do stosowania przez administrację szwedzką, przede wszystkim dla ochrony przed prądami indukowanymi na skutek oddziaływań linii energetycznych, wytrzymują bez uszkodzeń maksymalny prąd generatora /np. 20 kA, 8/25  $\mu$ s/. Niektóre inne typy odgromników gazowych o mniejszych wymiarach, mają znacznie mniejszą wytrzymałość, wynoszącą zwykle 5 : 10 kA, 8/25  $\mu$ s.

Zwykłe odgromniki węglowe /00-28822/00/ mogą niekiedy wy-

trzymać pojedyncze udary aż do 20 kA. Odgromniki te wykazują mniejszą odporność na udary powtarzane przy małej amplitudzie prądu, tworząc mostki węglowe między elektrodami, powodujące upływności lub zwarcia.

#### 6.2.7. Obciążenie prądem przemiennym

Na skutek zaistnienia zwarć doziemnych w bezpośrednio uziemionych sieciach energetycznych linie telefoniczne mogą być narażone na oddziaływanie bardzo wysokich napięć i prądów zarówno przez indukcję przy równoległym przebiegu linii, jak i przez oddziaływanie galwaniczne wskutek wzrostu potencjału ziemi. Napięcia między linią telefoniczną a ziemią mogą być rzędu  $20 \div 40$  kV, a prądy zwarciovowe  $10 \div 20$  kA. Dla ochrony przed takimi przepięciami wyposaża się linie telefoniczne w odgromniki gazowe o nominalnym /statycznym/ napięciu zapłonu 350 V. Rozmieszczenia odgromników dokonuje się zgodnie z zaleceniami CCITT. Zalecenia te podają ponadto następujące dopuszczalne napięcia dla różnych typów linii telefonicznych:

linie napowietrzne 430 V /wartość ta może być powiększona do 650 V, jeżeli linia energetyczna jest linią o zwiększonym stopniu zabezpieczenia/

kable rozdzielcze 1200 V

Uszkodzona linia energetyczna odłącza się od źródła napięcia w okresie około 500 ms, a ponowne szybkie włączenie może nastąpić po upływie dalszych około 400 ms. Z powyższego wynika, że zwarcie doziemne linii energetycznej może wystawić

Linie telefoniczne na działanie przepięcia w czasie dwóch okresów po ok. 500 ms z przerwą trwającą 400 ms. Ochronniki mogą być wtedy wystawione na działanie prądów około 25 A. Tak więc odgromnik musi chronić skutecznie nie tylko przed wyładowaniem, ale i przed przepięciem z linii energetycznych. Dlatego też badania odgromników zawierają próby obciążeniowe prądem przemiennym 25 A, 50 Hz, dwukrotnie w czasie 500 ms z przerwą 400 ms przy wartości skutecznej napięcia 430 V.

Badanie prowadzi się za pomocą automatycznych testerów /rys. 12/, które mogą obciążyć odgromnik seriami takich podwójnych impulsów. Odstęp czasu między kolejnymi podwójnymi impulsami wynosi 3 minuty. Na 30 s przed każdym impulsem mierzy się i rejestruje napięcie zapłonu. Urządzenie badawcze może automatycznie prowadzić kontrolę odgromników, przerywając badanie, jeśli odgromnik wykazuje odchylenie, np. 5, 10, 15, 20 lub 25-procentowe od nominalnego napięcia zapłonu. Urządzenie wykazuje liczbę obciążeń oraz rodzaj uszkodzenia: za niskie lub za wysokie napięcie zapłonu, zwarcie lub przerwę. Przerwa oznacza, że zapłon nie następuje przy 430 V.

Do tych badań pobiera się próbkę 3 ÷ 5 odgromników, które muszą bez uszkodzenia przyjąć 200 podwójnych impulsów, tzn. statyczne napięcie zapłonu musi po tej próbie mieścić się w granicach 300 do 400 V.

### 6.3. Wybór rodzaju odgromnika

Przy wyborze rodzaju odgromnika należy kierować się: napięciem pracy, wytrzymałością izolacji i rodzajem przepięcia.

Do napięcia pracy w urządzeniu zalicza się oprócz normalnego napięcia zasilającego także napięcia sygnalizacyjne, kon-

trolne, napięcia pomiarowe izolacji itp. Napięcie zapałonu odgromnika, a w pewnych przypadkach napięcie jarzenia, musi przewyższać napięcie pracy z marginesem bezpieczeństwa.

Przez wytrzymałość izolacji rozumie się wytrzymałość elektryczną chronionego urządzenia. Napięcia zapałonu, zarówno statyczne jak i dynamiczne, muszą być mniejsze niż wytrzymałość izolacji.

Rodzaje przepięć, które mają być ograniczone, również wpływają na typ odgromnika. Należy zwrócić uwagę nie tylko na napięcie zapałonu, ale i na własności obciążeniowe odgromników dla różnych rodzajów prądów.

Wybierając wśród odgromników gazowych i węglowych, oprócz aspektu technicznego, trzeba zwrócić także uwagę na rodzaj odgromników wymagających określonych opraw, w które jest już wyposażona sieć. Należy rozważyć również aspekt ekonomiczny - odgromnik węglowy kosztuje 1/10 tego, co odgromnik gazowy. W tej ocenie należy wziąć również pod uwagę koszty eksploatacji i utrzymania.

W systemach PCM, gdzie transmisja odbywa się w formie ciągu impulsów o niskim poziomie napięciowym i krótkim czasie trwania, krótkie impulsy zakłócenia, pochodzące od wyładowań atmosferycznych oraz z linii energetycznych, mogą zniekształcić całkowicie lub częściowo przesyłane informacje. Stąd wzrastające zapotrzebowanie na skuteczne środki ochronne.

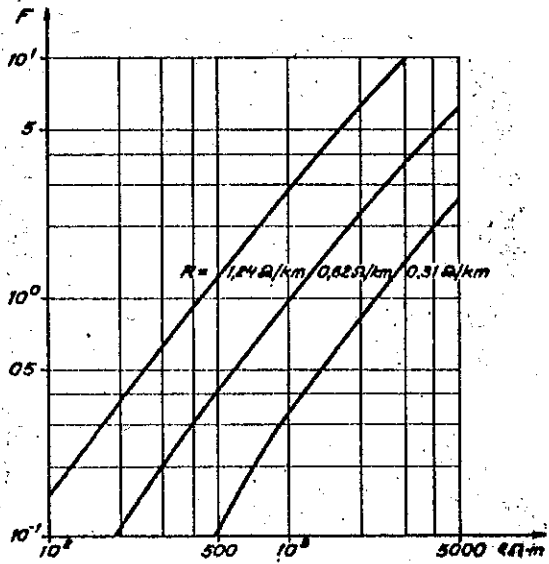
Z przyczyn fizycznych odgromniki oparte na zasadzie zapałonu nie mogą być konstruowane na napięcia niższe niż 80÷100 V. Dla niższych napięć konieczne stanie się zastosowanie elementów półprzewodnikowych - tyrystorów, diod Zenera, warystorów. Elementy te nie są w zasadzie przeznaczone do takich celów, ale mogą w pewnych przypadkach dawać ochronę przed niedużymi

prądami. W ostatnich latach wprowadza się do użytku elementy półprzewodnikowe, przeznaczone do pracy przy dużych prądach impulsowych /do 100 A/, są one jednak jeszcze drogie i na razie używane w ograniczonym zakresie.

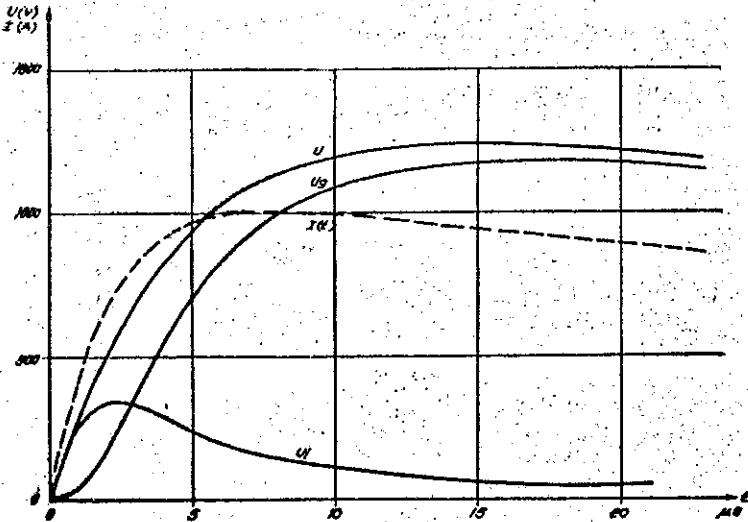
#### 6.4. Wymagania stawiane odgromnikom przez Centralne Laboratorium Szwedzkiej PTT

- pojemność /przy częstotliwości pomiarowej 1000 Hz/  $\leq 5$  pF
- rezystancja izolacji przy napięciu pomiarowym 100 V:
  - przy wilgotności względnej 20÷50%  $> 500\ 000$  M $\Omega$
  - przy wilgotności względnej 90÷ 95%  $\geq 100$  M $\Omega$
- okres badania 1 tydzień
- czas odnowy  $< 1$  godziny
- napięcie zapłonu
  - statyczne  $350$  V  $\pm 10\%$
  - dynamiczne przy 10 kV/ $\mu$ s  $\leq 1500$  V
- obciążalność udarem prądowym
  - fala udarowa  $\geq 20$  kA
  - $8/25$   $\mu$ s
- obciążalność prądem przemiennym
  - 200 obciążeń, 25 A, 50 Hz, 2 x 0,5 s, długość przerwy 0,4 s, napięcie zapłonu 300 ÷ 400 V podczas i po próbie obciążalności.

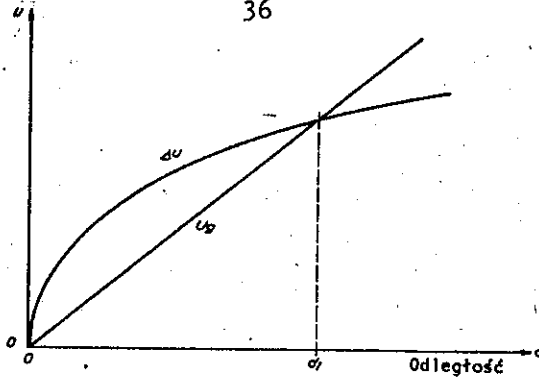




Rys. 1. Liczba uszkodzeń kabli jako funkcja rezystywności gruntu  
 Liczba uszkodzeń na 100 km i 1 rok przy 10 dniach burzowych w roku, R -  
 - rezystancja powłoki metalowej na 1 km kabla

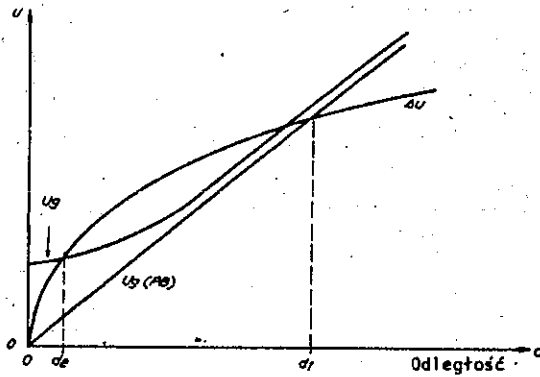


Rys. 2. Napięcie między linią napowietrzną a ziemią w pobliżu miejsca uderzenia pioruna

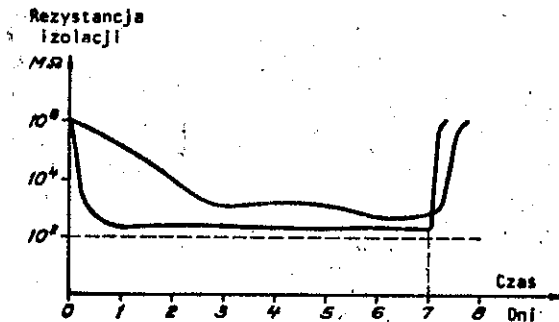


Rys. 3. Napięcie /przed wyładowaniem/ między przewodem odgromowym a gołą powłoką metalową kabla

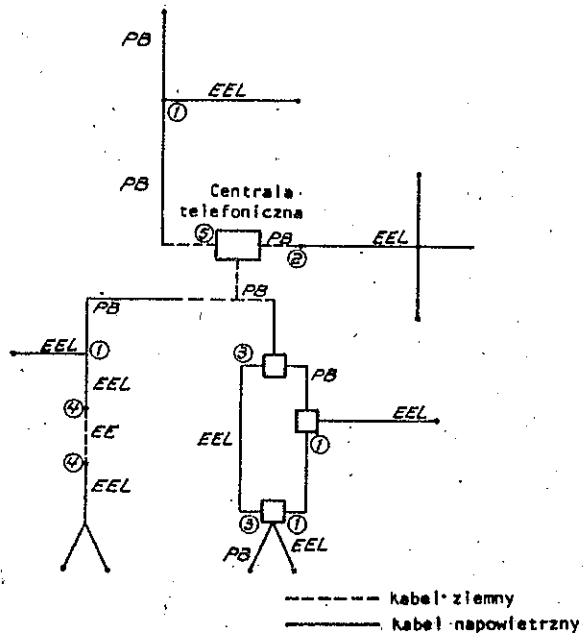
$U_g$  - napięcie przebicia gruntu;  $\Delta U$  - napięcie między przewodem i kablem



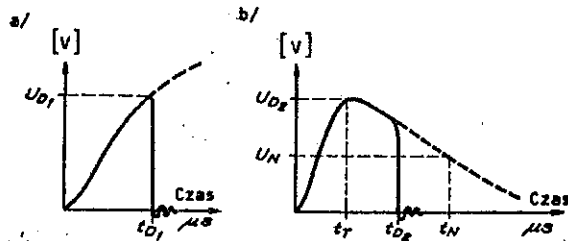
Rys. 4. Napięcie /przed wyładowaniem/ między przewodem odgromowym a kablem o zewnętrznej powłoce z tworzywa sztucznego



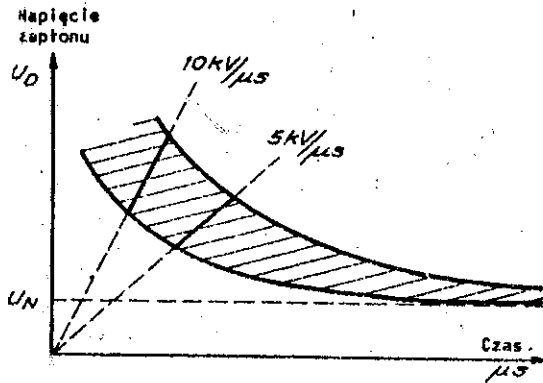
Rys. 6. Rezystancja izolacji odgromnika w badaniach przy dużej wilgotności



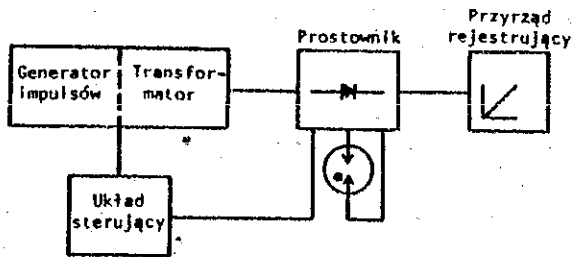
Rys. 5. Punkty potencjalnych uszkodzeń w sieci miejscowej



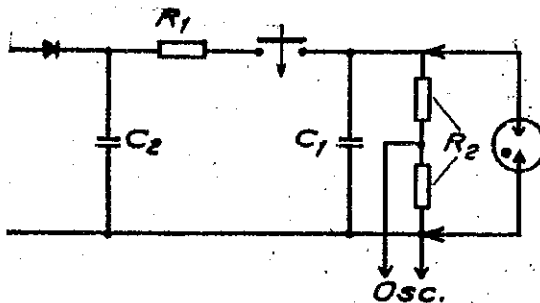
Rys. 7. Krzywe ilustrujące: a/ zapłon od czoła impulsu, b/ zapłon od tylnej strony impulsu fali 1/50



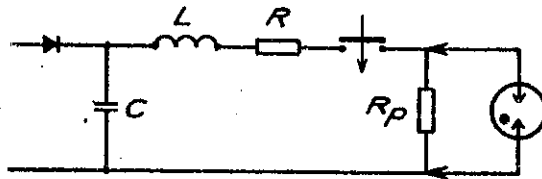
Rys. 8. Udarowe charakterystyki napięcia zapiętu



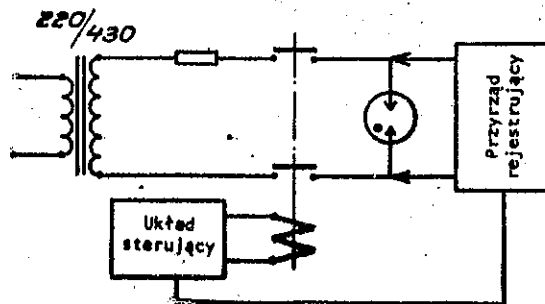
Rys. 9. Schemat blokowy urządzenia do pomiaru statycznego /zmiennego/ napięcia zapiętu



Rys. 10. Schemat ideowy generatora napięcia udarowego dla pomiarów dynamicznego napięcia zapiętu



Rys. 11. Schemat ideowy generatora udarowego do badania obciążalności udarem prądowym



Rys. 12. Schemat ideowy urządzenia pomiarowego do badania obciążalności prądem przemiennym

WYCIĄG Z DOKUMENTU NR 78 KOMISJI STUDIÓW V  
GENEWA, CCITT 1972<sup>x/</sup>

NOWE SFORMUŁOWANIA ZAGADNIENIA 1/V -  
- URZĄDZENIA ZABEZPIECZAJĄCE

Zastosowanie elementów półprzewodnikowych w urządzeniach telekomunikacyjnych, w centralach i in. czyni te urządzenia podatnymi na uszkodzenia powodowane przepięciami. Miniaturyzacja wszystkich części składowych, łącznie z tymi, które są używane jako zabezpieczenia, stwarza specjalne problemy wymagające dalszych studiów.

ZALECENIA K/A

W celu ochrony urządzeń przed przepięciami, powstającymi na liniach telekomunikacyjnych, zaleca się stosować odgromniki wypełnione gazem i pracujące przy niskim udarowym napięciu zapłonu.

Wymagania, którym powinny odpowiadać odgromniki, są zawarte w zaleceniu serii K/B.

Zaleca się, aby były przestrzegane następujące wskazówki:

- a/ Odgromniki powinny być włączone za pomocą jak najkrótszych przewodów do punktów, między którymi izolacja ma być zabezpieczona przed przebicciem. Przy przejściu z linii naporowej do kabla odgromniki powinny być włączone między każdą żyłą i metalową powłokę kabla.

---

<sup>x/</sup> Tłumaczenie: H. Naimski, opracowanie E. Bobiński.

- b/ W regionach nie narażonych szczególnie na burze zaleca się instalowanie odgromników gazowych na końcach linii napowietrznej lub kabla nadziemnego o powłocę źle przewodzącej /z tworzyw sztucznych/ względnie w miejscu przejścia tych linii do kabla ziemnego lub przy urządzeniach w budynku stacji telekomunikacyjnej. Bezpieczniki topikowe nie stanowią żadnej ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi i zmniejszają niezawodność eksploatacyjną, a w niektórych przypadkach i bezpieczeństwo /np. przy samowolnej naprawie bezpieczników dokonywanej przez abonenta/.
- c/ W regionach szczególnie narażonych na burze może być zalecane włączanie odgromników również w miejscach, gdzie urządzenia są połączone z kablem ziemnym, jeżeli istnieje znaczna różnica między wytrzymałością elektryczną izolacji urządzeń i kabla. Jest to zwłaszcza istotne w przypadku kabli, których powłoki mają dużą rezystancję przejścia do ziemi.
- d/ W przypadku linii napowietrznych o przewodach nieizolowanych, które mogą się zetknąć z linią elektroenergetyczną niskiego napięcia, może się zdarzyć, że zadziała odgromnik i popłynie przez niego duży prąd, np. o natężeniu ponad 50 A. Prąd ten, jeżeli będzie płynął przez pewien czas, spowoduje przegrzanie przewodów. W tym szczególnym przypadku może być pożądane instalowanie bezpieczników po stronie liniowej odgromnika. Bezpieczniki powinny mieć prąd przepalania ok. 20 A. Jeżeli jednak napięcie robocze sieci energetycznej nie powoduje zapłonu odgromników, najlepiej jest w punktach skrzyżowania się obu linii zastosować przewody izolowane /Zalecenie K.6. Genewa 1964/.

- e/ W liniach narażonych na oddziaływania magnetyczne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia prąd podczas zapłonu odgromników może osiągnąć znaczne wartości. Szczególnie dotyczy to linii napowietrznych, które są wysoce podatne na oddziaływania i mają przewody o stosunkowo małej rezystancji. Należy to brać pod uwagę przy projektowaniu zabezpieczeń, stosując odpowiednie uziemienia i odgromniki, wytrzymujące duże obciążenia prądem przemiennym.
- f/ Napięcie zapłonu odgromników powinno być dostosowane do wytrzymałości elektrycznej na przebicie izolacji urządzeń i kabli przyłączonych do linii napowietrznych. Urządzenia, które mają elementy bardzo wrażliwe na przepięcia /np. półprzewodniki/ powinny mieć wbudowane układy ochronne bezpośrednio w te urządzenia, związane z chronionymi elementami i powinny wchodzić w skład obwodów danej aparatury.

#### ZALECENIE K/B

#### Wymagania stawiane odgromnikom gazowym, stosowanym do ochrony urządzeń telekomunikacyjnych przed przepięciami

Administracje łączności i użytkownicy urządzeń telekomunikacyjnych muszą mieć do swej dyspozycji środki ochronne o wysokiej jakości i szczególnej niezawodności. Między innymi środkami powszechne zastosowanie znalazły odgromniki gazowe. Ze względu na szczupłość miejsca podane zostaną tu tylko niektóre dane ogólne i ważniejsze określenia. Wymagania szczegółowe i badania odgromników, zalecane przez Komisję Studiów V CCITT, znajdują Czytelnicy w oryginale.



### Dane ogólne

Odgromniki ograniczają napięcie w miejscu ich dołączenia przez utworzenie zwarcia poprzez wyładowanie łukowe w zamkniętym ośrodku gazowym. Ograniczenie napięcia osiąga się z chwilą, gdy przepięcie przekracza wartość napięcia zapłonu odgromnika, w wyniku czego powstaje wyładowanie łukowe i obniża się napięcie do napięcia resztkowego między elektrodami odgromnika. Wymagania odnoszą się do odgromników z jedną lub kilkoma przerwami łukowymi /odgromniki dwu lub wieloelektrodowe/.

### Niektóre określenia

1. Zapłon w odgromniku powstaje na skutek wyładowania elektrycznego w przerwie łukowej między elektrodami odgromnika.
2. Napięcie zapłonu odgromnika /nazywane statycznym napięciem zapłonu/ jest to napięcie, przy którym występuje zapłon podczas powoli zwiększającego się napięcia.
3. Udarowe napięcie zapłonu odgromnika /dynamiczne napięcie zapłonu/ jest najwyższym napięciem, które pojawia się na elektrodach, w okresie od chwili przyłożenia udaru o określonym kształcie fali do chwili, gdy zaczyna płynąć przez odgromnik prąd.
4. Udarowy prąd wyładowania jest to szczytowa wartość prądu udarowego przepływającego przez odgromnik po zapłonie.
5. Napięcie resztkowe jest to chwilowe napięcie pojawiające

się na końcówkach /elektrodach/ odgromnika podczas przepływu prądu wyładowania. Rozróżnia się napięcie resztkowe w przypadku wyładowania jarzącego od napięcia resztkowego podczas wyładowania łukowego.

6. Prąd jarzenia jest to prąd, który płynie po zapłonie, gdy elektrody są otoczone poświatą.
7. Prąd łukowy jest to prąd, który płynie po zapłonie, gdy przerwa między elektrodami jest zwarta łukiem elektrycznym.
8. Napięcie poprzeczne odgromnika wieloelektrodowego jest to różnica napięć resztkowych między elektrodami, które są przyporządkowane do dwóch przewodów toru telekomunikacyjnego, występujące podczas przepływu prądu wyładowania.

## ODGROMNIKI PRZEPIĘCIOWE NAPEŁNIANE GAZEM STOSOWANE W INSTALACJACH TELEKOMUNIKACYJNYCH

Opracował E. Bobiński na podstawie artykułu  
Brumm G. i Meister H.: Edelgasableiter als  
Überspannungsschutz in Fernmeldeanlagen. Bulletin  
des SEV 1965 Bd 56 nr 20, s. 885-891.

### 1. DANE OGÓLNE

Izolacja każdej instalacji elektrycznej jest dostosowana do założonego napięcia pracy. Z przyczyn technicznych i ekonomicznych izolacja instalacji telekomunikacyjnych jest na ogół znacznie słabsza niż w instalacjach energetycznych. Dopiero około 10 lat temu w Szwajcarskiej PTT wydano przepisy dotyczące bezpieczeństwa telekomunikacyjnych instalacji w centralach, stacjach wzmacniakowych i instalacjach abonenckich. Przepisy te wymagają badania instalacji i urządzeń telekomunikacyjnych napięciem udarowym o wartości 4 kV i kształcie fali 1/50  $\mu$ s. Niektóre urządzenia, takie jak np: filtry, tylko kosztem wysokiej ceny odpowiadać mogłyby tym warunkom, uwzględniając fakt, że trzeba tu używać do ich budowy kondensatorów wytrzymujących napięcie próby 8 kV.

Oczywiście wartości napięć wymienione wyżej nie mogą nigdy powstać wewnątrz instalacji telekomunikacyjnych, ale instalacje te bywają pod wpływem zewnętrznych źródeł energii elektrycznej, to jest sieci elektroenergetycznej oraz wyładowań atmosferycznych. Te wpływy zewnętrzne mogą spowodować w instalacjach telekomunikacyjnych napięcia, powodujące zaktó-

czenia w ich funkcjonowaniu lub ich uszkodzenia, oraz stwarzać niebezpieczeństwo porażenia osób mających styczność z zagrożonymi urządzeniami.

W normalnych warunkach urządzenia i linie elektroenergetyczne nie powinny powodować zakłóceń w pobliskich sieciach telekomunikacyjnych. Dopuszcza się jednak, z przyczyn ekonomicznych, pewne krótkotrwałe zakłócenia, spowodowane występującymi w liniach energetycznych wysokiego napięcia usterkami lub awariami.

Ażeby uchronić przed przedostaniem się wysokich napięć i dużych prądów na urządzenia telekomunikacyjne i ograniczyć je na wrażliwych elementach tych urządzeń do wartości dopuszczalnych; stosuje się specjalne elementy i układy zabezpieczające. Takim elementem zabezpieczającym, nie mającym żadnego wpływu na charakterystykę transmisji w czasie normalnej pracy urządzenia telekomunikacyjnego, jest odgromnik przepięciowy wypełniony gazem. Odgromnik, w przypadku zakłócenia staje się po zapłonie gazu przewodnikiem, zwiera wszystkie wrażliwe na przepięcia części urządzeń i umożliwia przepływ bardzo dużych prądów w ograniczonym czasie, bez powstawania niebezpiecznych napięć na chronionych elementach.

## 2. WYMAGANIA STAWIANE ODGROMNIKOM PRZEPIĘCIOWYM

Odgromnik jest elementem, który może całe lata pozostawać nieczynny, lecz który musi zadziałać w ułamku mikrosekundy z chwilą powstania przepięcia. Może być on również narażony w niektórych przypadkach na przepływ bardzo dużych prądów raz za razem w ciągu krótkiego czasu i to bez możliwości jakiegokolwiek kontroli bezpośredniej. Wreszcie jest on zainstalo-

wany w miejscach odległych od bezpośredniego nadzoru. Ponieważ oczekuje się od niego funkcjonowania w normalnych warunkach w czasie ok. 30 lat, staje się zrozumiałe, że wymaga się od odgromnika, poza ściśle określoną charakterystyką, dużej niezawodności działania. Główne charakterystyki odgromnika podano poniżej.

### 2.1. Napięcie zapłonu dla napięć wolno wzrastających

Napięcie zapłonu dla napięć wolno wzrastających, nazywane również statycznym napięciem zapłonu, określa szczególną przydatność odgromnika przy użyciu jego w sieciach telekomunikacyjnych, znajdujących się pod wpływem urządzeń energetycznych. Napięcie to powinno się mieścić z wystarczającym zapasem powyżej, największej amplitudy napięcia pracy chronionego urządzenia, pozostając poniżej napięcia przebicia części chronionych. Uwzględniając warunki eksploatacji sieci PTT, wartość nominalna napięcia zapłonu została ustalona na 245 V. Po dopuszczeniu odchyłek  $\pm 10\%$ , napięcie zapłonu mieści się w granicach  $220 \div 270$  V. Odgromnik zapewnia więc bezpieczeństwo przy przypadkowych zetknięciach się napowietrznych linii telekomunikacyjnych z napowietrznymi liniami energetycznymi niskiego napięcia. Przyjęto również, że po wielokrotnym zadziałaniu odgromnika gazowego i przepłynięciu przez niego znacznych prądów, napięcie statyczne zapłonu nie powinno się zmienić więcej niż w granicach  $195 \div 280$  V.

### 2.2. Udarowe napięcie zapłonu

Przebiecia pochodzące od wyładowań atmosferycznych mają niezwykle wysoki współczynnik narastania, w granicach od  $10^9$

do  $10^{10}$  V/s, a nawet więcej. Z przyczyn podanych w p. 3.1 niemożliwe jest uniknięcie podwyższenia udarowego napięcia zapiętna odgromnika dla napięć o stromym czole narastania. Jednocześnie w celu skutecznej ochrony kabli z izolacją papierowo - powietrzną udarowe napięcie zapiętna nie może być wyższe niż 800 V, przy uwzględnieniu największych szybkości narastania napięć, występujących w czasie wyładowań atmosferycznych. Odgromniki gazowe badane są na udary o kształcie fali 1/50  $\mu$ s przy wartości szczytowej udaru 2 kV /to znaczy, że napięcie narasta do 2 kV w ciągu 1  $\mu$ s i opada do wartości ok. 1 kV w ciągu 50  $\mu$ s/.

### 2.3. Dopuszczalne obciążenia przy prądzie przemiennym

Odgromniki przepięciowe przeznaczone są również do ochrony instalacji telekomunikacyjnych przed wpływami linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, jeśli te znajdują się w zbliżeniu z liniami telekomunikacyjnymi.

Nie należą do rzadkości napięcia rzędu 1000 V/km, indukowane w liniach telekomunikacyjnych w przypadku jednofazowego zwarcia do ziemi linii energetycznej, gdy prądy zwarcia tych linii przekraczają 10 kA. Ponieważ rezystancja przewodów kabli telekomunikacyjnych jest stosunkowo mała, prądy indukowane mogą osiągnąć wartość kilku amperów.

W warunkach eksploatacji nowoczesnych sieci wysokiego napięcia obciążalność odgromnika rzędu 20 A w ciągu 1 s jest zupełnie zadowalająca. Odgromniki sprawdzane są na 10 obciążeń trwających 5 s, z przerwą między obciążeniami wynoszącą 5 minut. Należy się jednak liczyć w szczególnych przypadkach z obciążeniem długotrwałym. W odgromniku gazowym łuk powstaje

już poniżej 1 A i napięcie pomiędzy elektrodami spada do ok. 15 V. Przy obciążeniu 20 A, moc wydzielająca się w odgromniku wynosi więc 300 W. Biorąc pod uwagę, że objętość bańki odgromnika wynosi zaledwie ok.  $5 \text{ cm}^3$ , odgromnik może wytrzymać takie obciążenie przez bardzo krótki czas. Dodatkowym wymaganiem stawianym odgromnikowi jest to, aby przy przeciążeniu prądem przemiennym nie ulegał on uszkodzeniu przez pęknięcie obudowy szklanej, lecz przez zwarcie elektrod. Cecha ta zapewnia pełną ochronę instalacji telekomunikacyjnej i zmusza do wymiany uszkodzonego elementu powodującego zwarcie w chronionym torze.

#### 2.4. Dopuszczalne obciążenie prądami udarowymi.

Wymagania stawiane odgromnikom dla prądów udarowych są zupełnie inne niż wymagania dla prądu przemiennego. Energia wydzielająca się w czasie wyładowania udarowego jest minimalna, tylko przepusty przechodzące przez szkło podlegają gwałtownemu ogrzewaniu z racji strat proporcjonalnych do kwadratu natężenia prądu. Jednak pewne naprężenia natury termicznej są nie do uniknięcia nawet przy przepustach zabezpieczonych termicznie, a to z tego powodu, że w czasie bardzo krótkiego czasu wyładowania /rzędu  $10^{-4}$  s/ szkło w pobliżu przejść nie zdąży się nagrzać. Mimo że odgromniki tylko niezmiernie rzadko narażone są na bezpośrednie wyładowania atmosferyczne, pożądane jest, aby miały one dużą wytrzymałość na wysokie prądy udarowe. Motywowane to jest tym, że w przeciążonym udarem odgromniku z reguły następuje pęknięcie szkła, a nie zwarcie elektrod jak przy przeciążeniach prądem przemiennym. Odgromnik z pękniętym szkłem nie jest już zdolny do zapłonu i nie chroni instalacji.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również wyniki przeprowadzonych obserwacji wielkości prądów udarowych w liniach telekomunikacyjnych podczas wyładowań atmosferycznych ustalono, że odgromnik powinien wytrzymywać 10-krotny prąd udarowy o amplitudzie 8 kA i kształcie fali 15/50  $\mu$ s. Ustalona wielkość prądu zapewni minimum uszkodzeń, o ile oczywiście wyładowanie nie nastąpi bezpośrednio w miejscu zainstalowania odgromnika.

### 3. SPOSÓB WYKONANIA ODGROMNIKA

W celu opracowania odgromnika odpowiadającego w sposób jak najkorzystniejszy wymienionym wyżej wymogom przestudowano bardzo szczegółowo poszczególne zagadnienia techniczne. Poniżej zestawiono w punktach najważniejsze warunki, jakim powinien odpowiadać odgromnik.

- a/ szybki zapłon przy udarach napięciowych o stromym czo-  
le,
- b/ wytrzymałość na obciążenia prądem przemiennym rzędu  
kilkudziesięciu amperów,
- c/ zwarcie elektrod odgromnika przy przeciążeniu prądem  
przemiennym,
- d/ wytrzymałość na obciążenie prądami udarowymi rzędu  
8...10 kA,
- e/ statyczne napięcie zapłonu w granicach 220 ± 270 V  
przy napięciu podtrzymującym nie mniejszym niż 70 V,
- f/ bardzo dobra izolacja między elektrodami,



- g/ utrzymanie charakterystyki przez ok. 30 lat,
- h/ wymiary i sposób dołączenia, pasujące do istniejących opraw.

Na rysunku 1 przedstawiono poszczególne przekroje konstrukcji odgromnika bez okładzin stykowych, stanowiących trzonek. Dwie elektrody z niklu aktywowanego są umieszczone naprzeciw siebie i sztywno zamocowane do wolframowych pręcików przepustowych. Na rysunku 2 przedstawiono odgromnik z trzonkiem. Na rurkę pompową nakłada się mały kapturek ceramiczny lub z tworzywa sztucznego, do którego są przymocowane okładziny stykowe; kapturek ten ma również za zadanie chronić przed stłuczeniem wrażliwy wierzchołek rurki pompowej. Na dole, okładziny stykowe połączone są z pręcikami przepustowymi za pomocą zgrzewania punktowego. Zgrzewanie jest możliwe, ponieważ pręciki przepustowe wykonane są z wolframu tylko w części przechodzącej przez szkło, zaś ich przedłużenie wykonano z niklu.

### 3.1. Uzyskanie szybkiej reakcji na udar napięciowy

Do wyzwolenia zapłonu w atmosferze gazu szlachetnego konieczna jest choćby najniższa jonizacja wstępna. Występuje ona w wyniku wpływu uwolnionych elektronów w ilości statycznie zmiennej na skutek dużego promieniowania zachodzącego w lampie wyładowczej. Terł mały poziom koncentracji elektronów, nazywanych również elektronami przypadkowymi, powoduje zbyt późny zapłon odgromnika. Opóźnienia dla napięć od 10 do 100 V wynoszą od kilku sekund do kilku dziesiątych sekundy. Mogą być one wyeliminowane, jeżeli liczba elektronów

jest wystarczającą. W obecnej praktyce można to osiągnąć wprowadzając do bańki szklanej odgromnika źródło radioaktywne.

Wybór padł na źródło promieniowania  $\beta$  trytu o okresie rozpadu połowicznego, wynoszącym około 12 lat. Cechy dodatnie tego izotopu wodoru polegają głównie na braku promieniowania poza bańkę szklaną, zdolność do sublimacji w przypadku rozbięcia odgromnika oraz jego obojętność dla gazów, stosowanych do wypełniania odgromników. Głównymi wadami są: przenikanie do elektrod oraz krótki okres rozpadu połowicznego. Zmusza to do dozowania izotopu z odpowiednim nadmiarem. Wprowadzenie źródła radioaktywnego pozwoliło uzyskać udarowe napięcie zapiłonu w granicach 600 : 700 V przy szybkości narastania 2 kV/ $\mu$ s, co jest równoznaczne z czasem zadziałania wynoszącym około 0,5  $\mu$ s. Należy przy tym podkreślić, że statyczne napięcie zapiłonu pozostało nadal w granicach 220 : 270 V.

### 3.2. Wytrzymałość na obciążenia prądem przemiennym

Przepływ dużych prądów przemiennym powoduje w odgromniku poważne naprężenia termiczne. Bańki z hartowanego wolframu szkła wytrzymują te naprężenia przez dość długi okres czasu. Stało się również niezbędne nadanie elektrodom odpowiedniej pojemności cieplnej.

Pośród wymogów stawianych odgromnikom jest również i ten, aby odgromniki wytrzymywały wiele kolejnych obciążeń prawie do granic zwarcia elektrod i jednocześnie zachowały zasadnicze parametry elektryczne oraz żeby się ich elektrody zwięzły w przypadku przeciążenia. Dzięki dobraniu odpowiedniej masy elektrod, ich sztywnemu zamocowaniu, zaokrągleniu wszy-

stkich krawędzi, dobraniu odpowiedniej odległości między elektrodami, odgromnik nie podlega deformacji prowadzącej do zmian parametrów elektrycznych. Przy przeciążeniu odgromnika, na elektrodach występują stopione krople niklu, a następnie łączą się ze sobą, powodując trwałe zwarcie.

### 3.3. Wytrzymałość na obciążenia prądami udarowymi

Prądy udarowe rzędu  $8 \pm 10$  kA o kształcie fali 15/50  $\mu$ s powodują naprężenia głównie w pręcikach przepustowych, przekrój ich musi więc być odpowiednio dobrany w celu zapewnienia minimalnych strat na ich rezystancji. Poza tym współczynnik rozszerzalności metalowych pręcików powinien być jak najmniejszy, aby podczas udaru prądowego naprężenia mechaniczne zredukować do minimum. Opanowanie techniki wykonywania połączeń wolfram-szkło hartowane pozwoliło również i ten problem rozwiązać w sposób zadowalający. Wybór rodzaju szkła został podyktowany koniecznością otrzymania odpowiedniej spójny szkło-metal, takiej, która nie powoduje powstawania naprężeń ściskających w czasie spoczynkowym odgromnika, zapewniając ponadto wytrzymanie udaru prądowego.

### 3.4. Statyczne napięcie zapłonu i napięcie podtrzymujące zapłon

Przez "statyczne napięcie zapłonu" rozumie się wielkość napięcia sinusoidalnego prądu przemiennego, jaka jest potrzebna do wywołania zapłonu w odgromniku. Wartość statycznego napięcia zapłonu odgromnika jest zależna od rodzaju gazu, jego ciśnienia, zdolności emisji oraz aktywności elektrod i odległości między nimi. Gaz wypełniający omawiane odgromniki skła-

da się głównie z argonu, odznaczającego się dużą stabilnością. Do uaktywnienia elektrod niklowych, w celu szybkiego przejścia do strefy wyładowania łukowego, użyto utleniony wapń. Aktywowanie elektrod sprzyja zmniejszeniu obciążeń wewnętrznych odgromnika, zwłaszcza w zastosowaniu go do prądu przemiennego, i umożliwia zwiększenie jego wytrzymałości na obciążenia.

W momencie zapłonu odgromnika, przy słabych natężeniach prądu płynącego przez odgromnik, wyładowanie ma formę jarzenia, przy natężeniach prądu przekraczających 200 mA wyładowanie przekształca się w łukowe. Jeżeli natężenie prądu jest zmniejszane do wartości około 30 mA, łuk gaśnie i wyładowanie ponownie przybiera formę jarzenia. Po zmniejszeniu napięcia do całkowitego wygaszenia odgromnik jest zdolny do ponownego zadziałania.

Odgromnikom instalowanym równolegle do źródła prądu stałego, zasilającego urządzenia telekomunikacyjne, jak ma to miejsce w ostatnio opracowanych systemach zabezpieczających, stawiany jest jeszcze jeden ważny warunek, ażeby napięcie gaśnięcia odgromnika nie było niższe niż 70 V. Jeżeli warunek ten nie będzie spełniony, to po zadziałaniu odgromnika jarzenie jego zostanie podtrzymane przez napięcie baterii sieci telefonicznej. Niebezpieczeństwo tego rodzaju nie występuje przy prądzie przemiennym, ponieważ odgromnik gaśnie samoczynnie przy przechodzeniu prądu przez wartość zerową.

### 3.5. Wartość izolacji, trwałość i wymiary

Konieczność utrzymania idealnej izolacji pomiędzy elektrodami, gdy odgromnik jest w stanie spoczynku, jest dla wszyst-

kich oczywista z uwagi na to, że odgromniki instalowane są pomiędzy żyłą linii telekomunikacyjnej i ziemią. Duża wartość rezystancji musi istnieć nawet po kilku silnych wyładowaniach. Przedłużona powłoka szklana na pręcikach przepustów wolframowych, jak to pokazano na rys. 1<sup>x/</sup>, zapewnia wystarczającą rezystancję izolacji wewnątrz bańki, nawet przy znacznym rozpyleniu elektrod pod wpływem wyładowań. Na zewnątrz bańka pokryta jest warstwą żywicy silikonowej, izolując najkrótszą drogę pomiędzy wyprowadzeniami elektrod. W ten sposób pogorszenie się izolacji lub wytrzymałości na przebicie nie są możliwe nawet w atmosferze o dużej wilgotności. Również po kilku wyładowaniach rezystancja izolacji pozostaje większa niż  $10^{10} \Omega$ .

Problem trwałości odgromników gazowych /zgodnie z wymaganiami trwałość powinna wynosić ok. 30 lat/ zależy głównie od dwóch czynników:

- a/ okresu połowicznego rozpadu trytu /ok. 12 lat/,
- b/ szczelności dla gazów.

Jak już wspomniano w poprzednich rozdziałach, krótki okres połowicznego rozpadu źródła promieniowania  $\beta$  jest kompensowany nadmiarem użytego materiału. Szczelność odgromnika uzależniona jest wyłącznie od jakości wykonania połączenia szkło-metal. Najlepsze wyniki uzyskano przez wstępne powlekanie pręcików przepustowych szkłem na odpowiedniej długości. W produkcji seryjnej konieczna jest stała kontrola barwy szkła podczas powlekania. Badania szczelności odgromników próbnych przeprowadzane są w komorze pod ciśnieniem w atmo-

---

<sup>x/</sup> Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

sferze helu. W przypadku nieszczelności hel przedostaje się do wnętrza odgromnika i jest wykrywany spektrograficznie.

### 3.6. Proces produkcyjny

W produkcji odgromników rozróżnia się pięć głównych faz:

- a/ wykonywanie gotowych elektrod,
- b/ montaż odgromników przygotowanych do odpompowania i obróbki w próżni,
- c/ montaż kapturków i okładzin stykowych stanowiących trzonki,
- d/ formowanie,
- e/ kontrola.

Na skutek braku miejsca nie będą podawane bardziej szczegółowe opisy technologii wykonania odgromnika, znajdujące się w tekście oryginału i poparte rysunkami i fotografiami, lecz tylko pokrótce zostaną opisane fazy produkcji.

Poszczególne fazy produkcji elektrod rozpoczynają się od wycięcia kształtki z blachy niklowej, z której na prasie wykonuje się elektrodę. Wolframowy pręt przepustu jest osadzany w elektrodzie i łączony w sposób trwały lutem. Następnie pręcik elektrody powleka się szkłem, a powierzchnię elektrody pokrywa warstwą węglanu wapniowego. Tak przygotowane elektrody są wtapiane w bańkę szklaną. Następnie elektrody na specjalnych urządzeniach poddaje się ogrzewaniu powierzchniowemu w celu przekształcenia węglanu wapniowego na dwutlenek wapnia. Po tej operacji następuje odpompowanie powietrza, napełnienie gazem i substancją radioaktywną oraz zalutowanie rurki pompowej. Po oczyszczeniu zewnętrznych przewodów, nato-

zeniu warstwy silikonu na bańką szklaną, następuje ostateczny montaż kapturka i okładzin stykowych. Tak wyprodukowany odgromnik poddaje się formowaniu. Formowanie polega na kilku krótkich obciążeniach prądem przemiennym o dużej wartości.

### 3.7. Kontrola

Wszystkie charakterystyki odgromnika są sprawdzane w czasie kontroli końcowej. Dotyczy to głównie udarowego napięcia zapłonu i statycznego napięcia zapłonu; ponadto sprawdzane jest napięcie utrzymujące Jarzenie i wykonywany jest pomiar rezystancji izolacji pomiędzy elektrodami. Sprawdza się także punkty zgrzania okładzin stykowych z pręcikami przepustowymi. Pewną liczbę odgromników przeznacza się do badań na obciążenia prądem przemiennym i na przeciążenia do momentu stopienia elektrod oraz do badań niszczących prądami udarowymi.

## 4. WYNIKI POMIARÓW

Pomiary odgromnika typu UA12 wykonane przez producenta, firmę "CERBERUS", dały poniżej podane wyniki.

### 4.1. Statyczne napięcie zapłonu

Statyczne napięcie zapłonu jest sprawdzane w czasie produkcji i utrzymywane w granicach 220 - 270 V. Sprawdzeniu podlega każdy wyprodukowany odgromnik.

#### 4.2. Udarowe napięcie zapłonu

Pomiar udarowego napięcia zapłonu wykonywany jest za pomocą udarowego generatora napięciowego i oscyloskopu posiadającego napięcie przyspieszenia 10 kV i szerokość pasma wzmacniacza większą niż 10 MHz. Napięcie zapłonu przy udarach o szybkości narastania 2 kV/ $\mu$ s wynosi zaledwie 625 V i utrzymuje się poniżej 700 V nawet przy udarach o szybkości narastania napięcia wynoszącej 5 kV/ $\mu$ s. Na rysunku 3 przedstawiono oscylogram z przeprowadzonych prób udarowych odgromnika typu UA 12. Do prób zastosowano udar napięciowy o kształcie fali 1/50  $\mu$ s i wartości szczytowej napięcia 3,5 kV. Na rysunku 4 przedstawiono zaś zachowanie się w tych samych warunkach odgromnika o niewystarczającej jonizacji wstępnej /bez substancji radioaktywnej/.

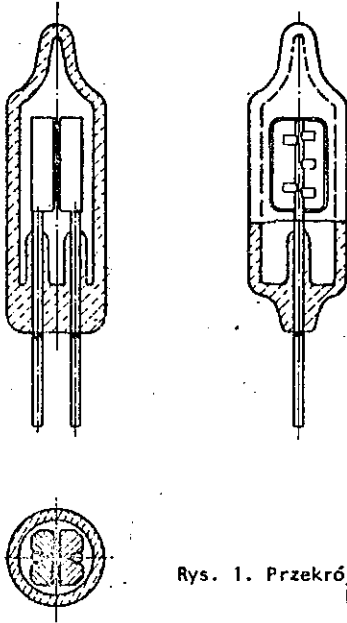
#### 4.3. Obciążenia prądem przemiennym

Odgromniki obciążone więcej niż 20-krotnie prądem o wartości 20 A w czasie 1 sekundy utrzymują statyczne napięcie zapłonu w granicach rozszerzonej tolerancji 195 : 280 V. Zwarcie elektrod występuje przy obciążeniu prądem o wartości 20 A w czasie 5 s, przy obciążeniu 3 A zwarcie następuje najwcześniej po upływie 1,5 minuty. Stwierdzono również, że odgromnik jest w stanie wytrzymać obciążenie jednorazowe rzędu 50 A w czasie 1 sekundy bez niedopuszczalnych zmian charakterystyki. Zniszczenie odgromnika jest więc możliwe tylko przy bezpośrednich zetknięciach się napowietrznych linii telekomunikacyjnych z liniami energetycznymi niskiego napięcia.

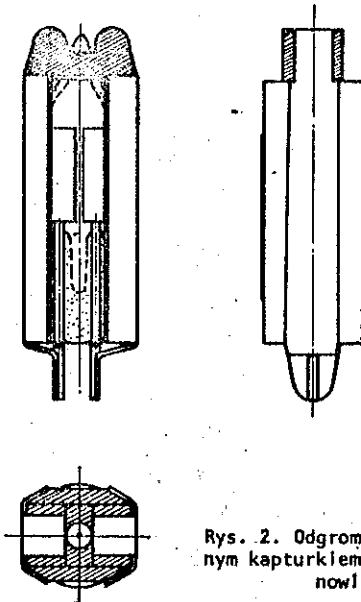


#### 4.4. Obciążenia udarowe

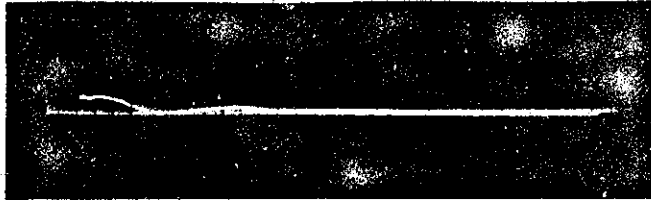
Odgromnik wytrzymuje 50 uderzeń o szczytowej amplitudzie udaru 8 kA i czasie opadania udaru do półszczytu, wynoszącym 50  $\mu$ s, przy czym nie występuje jeszcze przekroczenie napięcia zapłonu w granicach rozszerzonej tolerancji. Dla uderzeń, których czas opadania do półszczytu wynosi 20  $\mu$ s, zniszczenie odgromnika następuje dopiero przy około 17 kA. Wynika z tego, że odgromnik może być zniszczony tylko przez bliskie i gwałtowne wyładowania w linię napowietrzną.



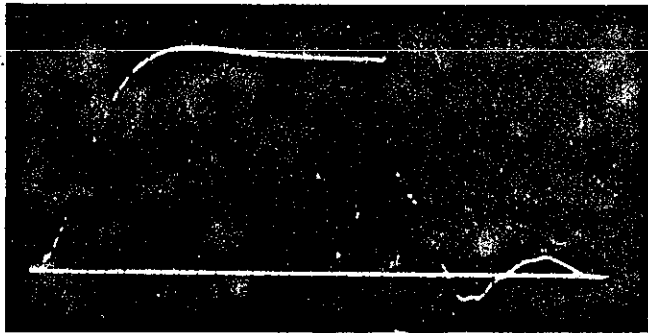
Rys. 1. Przekrój odgromnika przebiegowego bez obudowy



Rys. 2. Odgromnik przebiegowy ze zmontowanym kapturkiem i okładzinami stykowymi stanowiącymi trzonek



Rys. 3. Oscylogram przedstawiający ograniczenie przez odgromnik udaru napięciowego o kształcie fali 1/50  $\mu$ s i wartości szczytowej 3,5 kV



Rys. 4. Oscylogram zachowania się w tych samych warunkach co na rys. 3 odgromnika wypełnionego gazem z niewystarczającą jonizacją wstępną

## NOWE SPOSOBY ZABEZPIECZANIA URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH OD PRZEPIĘĆ

Opracował E. Bobiński na podstawie artyku-  
łu Hübner R.: Neue Wege zum Schutz von  
Fernmeldeanlagen Überspannungen. Fernmelde  
Praxis 1972 Bd. 49 nr 24, s. 1059-1075

### 1. NAJCZĘSTSZE ŹRÓDŁA USZKODZEŃ W URZĄDZENIACH TELEKOMUNIKACYJNYCH

Najczęstszymi źródłami uszkodzeń instalacji i urządzeń telekomunikacyjnych są przepięcia. Mogą one być pochodzenia wewnętrznego lub zewnętrznego. Przepięcia pochodzenia wewnętrznego mają na ogół małe znaczenie, gdyż są łatwo opanowywane. Znacznie trudniejsze do opanowania przepięcia zewnętrzne, wpływające zarówno na linie napowietrzne jak i kable ziemne, mogą pochodzić od wyładowań atmosferycznych, oddziaływań linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia lub zwarć napowietrznych linii telekomunikacyjnych z liniami energetycznymi niskiego napięcia. Najwięcej jednak uszkodzeń wyrządzą przepięcia pochodzenia atmosferycznego. Jak wykazują statystyki, w Szwajcarii na 100 kilometrów linii przypada średnio rocznie 5 do 10 uderzeń piorunów.

#### 1.1. Bezpośrednie uderzenia pioruna

Bezpośrednie uderzenia pioruna w linie telekomunikacyjne występują przede wszystkim na większych wzniesieniach i obszarach o topograficznie niekorzystnych warstwach gleby. W

liniach napowietrznych duże prądy udarowe mogą doprowadzić do zniszczenia przewodów, rozłupania słupów i przebicia izolatorów. Wyładowania zagrażają również nadziemnym kablom samowiszącym w izolacji z tworzyw termoplastycznych, w których dość często występują przebicia izolacji. Na liniach napowietrznych, do niedawna zabezpieczanych bezpiecznikami i odgromnikami węglowymi, uszkodzenia występowały głównie we wstawkach i zakończeniach kablowych oraz w urządzeniach abonenckich.

#### 1.2. Spadki napięcia w ziemi na skutek wyładowań atmosferycznych

Większa część szkód, wyrządzana w urządzeniach telekomunikacyjnych przez wyładowania atmosferyczne, jest skutkiem dużej różnicy potencjałów w ziemi, które mogą powstać przy uderzeniu pioruna. Wynikiem tego są duże prądy, o natężeniu wielu kA, płynące w przebiegających w pobliżu kablach. Powstające spadki napięć są przy tym o tyle większe, o ile większa jest rezystywność gruntu. Gneis i granit na przykład wykazują szczególnie dużą rezystywność, wynoszącą 10000  $\Omega$ m. Jak to można łatwo wyliczyć<sup>1/</sup>, przy dużych prądach wyładowania mogą wy-

---

<sup>1/</sup> $E = \rho \cdot J$ , gdzie:  $E$  - natężenie pola elektrycznego w pobliżu miejsca uderzenia pioruna w ziemię,  $\rho$  - rezystywność gruntu,  $J$  - gęstość prądu. Przebicie może nastąpić już przy  $E = 3 \dots 20$  kV/cm.

$V_p = \frac{I}{2\pi d}$ ,  $V_p$  - potencjał gruntu,  $d$  - odległość od miejsca uderzenia pioruna,  $I$  - prąd wyładowania.

stąpić wysokie napięcia w miejscach znacznie oddalonych od punktu wyładowania, np. w odległości 1 km napięcie może wynieść 80 kV. Niebezpieczeństwo uszkodzeń w urządzeniach telekomunikacyjnych przy takim rzędzie wielkości napięcia jest naturalnie bardzo wysokie.

### 1.3. Przepięcia indukowane za pośrednictwem sprzężeń elektromagnetycznych

Do znacznych napięć, indukujących się w liniach telekomunikacyjnych, mogą doprowadzić zwarcia doziemne w liniach elektroenergetycznych wysokiego napięcia lub gwałtowne zmiany w ich obciążeniu. Przy bezpośrednich jednofazowych zwarciach do ziemi linii energetycznej, napięcia wzdłużne indukowane w równoległe prowadzonych napowietrznych liniach telekomunikacyjnych mogą osiągnąć znaczne wartości. Na przykład w linii będącej w odległości około 300 m wartości te mogą dojść do 1 kV/km, a związane z tym prądy mogą mieć wartość 10 - 30 A. W telekomunikacyjnych kablach ziemnych prądy indukujące się za pośrednictwem sprzężeń magnetycznych lub galwanicznych przejmuje powłoka kabla, podczas gdy pary żył nie są obciążone. Powstaje przy tym różnica potencjałów między powłoką i żyłami, która po przekroczeniu wartości 2 kV, to jest wartości napięcia przebierczego izolacji między żyłami i powłoką kabla, może spowodować przebicie.

## 2. DOTYCHCZASOWE UKŁADY ZABEZPIECZEŃ NAPOWIETRZNYCH LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH

Do niedawna urządzenia zabezpieczające składały się z iskierników zgrubnych, odgromników węglowych i bezpieczników ograniczających prąd. Stosowane odgromniki miały udarowe napięcie zadziałania mieszczące się w granicach 1,2 do 1,8 kV. Po dziesiątkach lat swojej służby urządzenia te stały się jakościowo niedoskonałe i nie zapobiegają niektórym szkodom. Mają one następujące wady:

- a. Wysokie napięcie zadziałania, które nie było dostosowane do napięcia próby izolacji kabla na przebicie. Na skutek tego często występowało przebicie izolacji między żyłami i powłoką kabla oraz między samymi żyłami, szczególnie w pobliżu słupów kablowych.
- b. Przy zetknięciu się linii telefonicznej z linią energetyczną 220 V nie działały odgromniki i nie dawały w tych przypadkach żadnego zabezpieczenia.
- c. Przy wysokim potencjale względem ziemi płynie przewodem prąd powodujący prawie zawsze przepalenie bezpieczników topikowych /których prąd przepalania wynosi 3 a/, co z kolei prowadzi do niepożądanych przerw w pracy łącza. Bezpieczniki topikowe nie dają praktycznie zabezpieczenia instalacji z powodu ich złych właściwości gaszących.

## 3. NOWE KONCEPCJE ZABEZPIECZEŃ

Ze stale wzrastającą liczbą abonentów rosną również koszty utrzymania i konserwacji sieci telekomunikacyjnej. Koszty kon-

serwacji rosną również wraz z liczbą przerw w pracy urządzeń telekomunikacyjnych, spowodowanych przepięciami zewnętrznymi, na co składały się również wszystkie przepalone bezpieczniki i niewłaściwe układy zabezpieczające. Nie jest bez znaczenia dla administracji, czy w ciągu roku zostanie przepalonych 130 000 bezpieczników /dane szwajcarskie z 1966 r/ czy tylko 10 000 /rok 1969 po częściowym zastosowaniu nowych koncepcji zabezpieczeń/.

Po pierwsze kosztowne jest utrzymanie dużej liczby konserwatorów naprawiających uszkodzenia, po drugie częste przerwy w połączeniach denerwują abonentów, po trzecie powinna być wymagana duża niezawodność urządzeń telekomunikacyjnych. Jest więc zrozumiałe, że administracje PTT wszystkich wysoko rozwiniętych krajów już od lat starają się o znalezienie środków i drogi, aby eksploatację urządzeń telekomunikacyjnych uprościć, potanieć i ograniczyć uszkodzenia do minimum. Rezultatem starań szwajcarskiej administracji PTT, w których firma "CERBERUS" ma swój istotny wkład, było opracowanie gazowego odgromnika zawierającego izotop wodoru w stanie gazowym, stanowiący źródło promieniowania  $\beta$ . Odgromnik ten umożliwił rozwiązanie problemu zabezpieczeń. Dzisiaj, już po wielu latach jego stosowania, powstało ogólne dążenie stosowania nowych odgromników nie tylko w nowo budowanych liniach, lecz także do zastąpienia istniejących urządzeń zabezpieczających tak prędko, jak to będzie tylko możliwe. Opierając się na praktycznych doświadczeniach z nowym gazowym odgromnikiem, bezpieczniki topikowe, które w pojedynczych przypadkach jeszcze zatrzymano, usunięto całkowicie "jako zbędne".



### 3.1. Wymagania stawiane nowym odgromnikom

Ponieważ nie da się uniknąć przepięć w sieci telekomunikacyjnej nawet przy bardzo starannym jej planowaniu, koncepcja niezawodnego zabezpieczenia nabiera dużego znaczenia. W związku z tym uważa się, że jest pożądana ścisła współpraca użytkowników z wytwórcami odgromników. Wymagania na odgromnik, opis konstrukcji, technologii wykonania i osiągnięte wyniki przez producenta odgromników typu UA12, firmę szwajcarską "CERBERUS" SA, znajdują się w tekście oryginału lub w opracowaniu pt. "Odgromniki przepięciowe napełniane gazem. stosowane w instalacjach telekomunikacyjnych" str. 45 .

### 4. DOŚWIADCZENIA PRAKTYCZNE Z NOWYMI ODGROMNIKAMI GAZOWYMI

Przeprowadzone próby zastosowania nowego odgromnika UA12 w szwajcarskiej sieci telekomunikacyjnej udowodniły jego doskonałe właściwości i pozwoliły stwierdzić, że zostały spełnione wszystkie wymagania techniczne stawiane przez szwajcarską PTT. Osiągnięte jednocześnie dobre wyniki przy nowym sposobie zabezpieczeń były powodem do wydania przez generalną dyrekcję szwajcarskiej PTT. szybkiej decyzji powszechnego stosowania odgromnika UA12, przy czym decyzja objęła nie tylko nowe budowy, lecz również poleca stopniową przebudowę istniejących urządzeń zabezpieczających. W pierwszej kolejności rozpoczęto przebudowę najbardziej narażonych na wyładowania sieci miejscowych.

Decydujący dla tego postanowienia był następujący duży eksperyment PTT, który przeprowadzono w latach 1967/68 w najbar-

dziej narażonym na wyładowanie kantonie Szwajcarii, w Tessin. Obszar doświadczalny obejmował około 60 000 abonentów. W 1960 roku wypadały 42 uszkodzenia na skutek wyładowań na 100 abonentów, w 1967 roku po częściowym wprowadzeniu odgromnika UA12 liczba uszkodzeń została zredukowana do 1,8. W 1968 roku badania zostały rozszerzone na 5 dalszych dyrekcji okręgu, a wynik był jeszcze lepszy: tylko 0,5 uszkodzeń na 100 abonentów. Za prawidłowym działaniem odgromnika przemawia jeszcze następujący wynik. Z około 60 000 odgromników zainstalowanych na obszarze doświadczalnym musiano wymienić z powodu uszkodzeń /głównie pochodzących od wyładowań/ zaledwie 0,05% odgromników. To praktycznie sprawdzone, dobre działanie odgromników pozwoliło ograniczyć do niedawna konieczne i częste sprawdzanie urządzeń zabezpieczających do okresu co 6 do 10 lat. Ponadto rozważa się całkowite odstąpienie od dodatkowej ochrony bezpiecznikowej, a stosowanie bezpieczników topikowych ograniczyć tylko do szczególnie złożonych przypadków.

## 5. RÓŻNE MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA NOWEGO ODGROMNIKA

W sieci szwajcarskiej PTT odgromnik UA12 znajduje różne zastosowania. Najważniejsze podane są w skrócie poniżej.

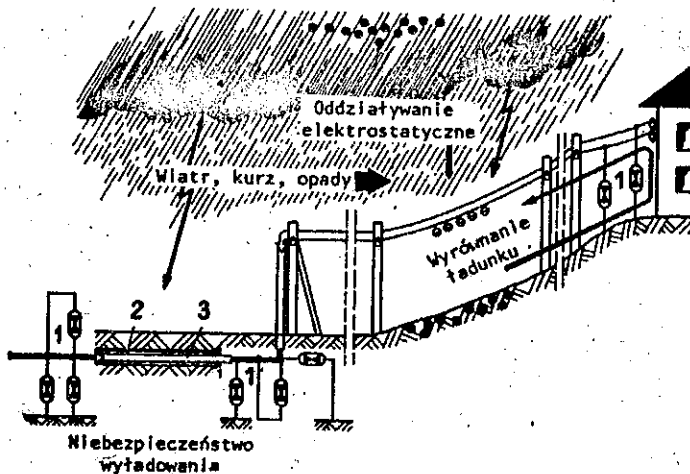
### 5.1. Ochrona instalacji abonenckiej od przepięć

Dotychczas między linią napowietrzną a instalacją abonenta w budynku instalowane były odgromniki przepięciowe, składające się z odgromników węglowych i poprzedzających je bezpieczników topikowych 3 A. Duża obciążalność na prądy udarowe i prądy przemienne zastosowanych obecnie odgromników UA12

pozwoiliła na zrezygnowanie z bezpieczników w ogóle, przez co uzyskano zwiększoną niezawodność i znaczne obniżenie kosztów eksploatacyjnych. Szczególne środki ostrożności są jeszcze niezbędne tylko tam, gdzie linie napowietrzne krzyżują się z liniami niskiego napięcia.

### 5.2. Zabezpieczenie kabli przy przejściach w linie napowietrzne

Linie napowietrzne są zabezpieczane odgromnikami na ich końcach oraz przy przejściach w kable na słupach kablowych. Rysunek 1 podaje sposób włączenia odgromników. We wstawce lub wprowadzeniu kablowym odgromniki włączane są między każdą żyłą i powłokę po obu stronach kabla. Jeśli kabel ułożony jest na terenie o dużej aktywności burzowej i o silnych wyładowaniach, odgromniki są dodatkowo włączane również między żyłami.



Linia napowietrzna ze wstawką kablową pod silnym wpływem pola elektrostatycznego i piorunów, zabezpieczona odgromnikami włączonymi między żyty i powłokę kabla oraz między żyłami

1 - odgromniki włączone między żyty a ziemię lub między żyłami, 2,3 - odgromniki włączone między żyty a powłokę kabla

kabla /rys. na str. 69/. Należy jednak pamiętać, że odgromnik ogranicza napięcie tylko w tym miejscu, w którym jest zainstalowany. Przy bardzo dużych prądach wyładowania może się zdarzyć, że kilkaset metrów dalej na skutek powstającej "wędrującej fali" wystąpi ponownie wysokie, niebezpieczne napięcie. W takich przypadkach należy wbudować w krótkich odstępach dalsze odgromniki. Tego rodzaju środki są jednak konieczne tylko w mocno narażonych na wyładowania obszarach na gruntach skalistych o bardzo złej przewodności elektrycznej.

W przypadku wyprowadzania odgałęzień od kabla głównego, w miejscu rozgałęziania się kabli, należy również zabezpieczyć kabel odgałęźny, włączając odgromniki między każdą żyłą i powłokę tego kabla.

### 5.3. Ochrona urządzeń wrażliwych na przebiecia

Tylko nieliczne urządzenia lub elementy używane w telekomunikacji mogą być wytwarzane bez zwiększonych kosztów, jako wytrzymałe na duże udary napięciowe. Do nich należą między innymi przekaźniki liniowe i transformatory. W licznych jednak przypadkach wytrzymałość na udary rzędu kilku kV może być osiągnięta z dużymi trudnościami i przy dużych kosztach. Do urządzeń wrażliwych na przebiecia należą filtry, zwrotnice, a w szczególności urządzenia zawierające półprzewodniki, jak wzmacniacze tranzystorowe itp. Ochrona ich jest szczególnie ważna, gdyż z uwagi na umieszczanie tych urządzeń głównie w studzienkach kablowych, wzdłuż trasy kabla, wymagana jest od nich duża niezawodność działania. Do ochrony przebieciowej tych urządzeń stosowane są również odgromniki

gazowe, stanowiące pierwszy stopień zabezpieczenia; w następnych stopniach zabezpieczenia, likwidujących przepięcia rzędu kilkudziesięciu woltów i napięcia resztkowe, stosuje się układy zawierające krzemowe diody przetączające lub diody Zenera. Odgromniki gazowe są włączane w układach zabezpieczających głównie między poszczególne zaciski wejściowe lub wyjściowe zabezpieczanych urządzeń i ziemię. Mogą być one również włączane równolegle do tych urządzeń pod warunkiem, że na ich zaciskach nie będą występowały napięcia zasilające wyższe niż 80 V, a prąd źródeł zasilania nie będzie większy niż 30 mA. Spełnienie tego warunku jest konieczne ze względu na możliwość podtrzymania zapłonu odgromnika przez źródło zasilania. Odgromniki UA12 są stosowane również /przez firmę Felten & Guilleaume, Köln/ do zabezpieczenia telefonicznych wzmacniaków podwodnych, pracujących na głębokościach do 4000 m.

## KABLE ODPORNE NA USZKODZENIA POWODOWANE PRZEZ WYŁADOWANIA ATMOSFERYCZNE

Opracował A. Moniuszko na podstawie artykułu  
Bendayan J.: Cables resistant aux dommages  
causes par la foudre. Cables et Transm. 1972  
nr 4. s. 361-390.

### 1. OCENA STOPNIA ZABEZPIECZENIA KABLI PRZED WYŁADOWANIAM I ATMOSFERYCZNYMI

Pierwsze studia teoretyczne i badania praktyczne w dziedzinie ochrony odgromowej kabli prowadzone były przez Sundego [1,2,3,4], a wyniki tych prac są podstawą stosowanej do dziś teorii.

W celu wykonania analizy konieczności zabezpieczania kabli przed wyładowaniami atmosferycznymi niezbędną jest znajomość specyficznych właściwości terenu i regionu, w których przebiega kabel, a mianowicie określone powinny być:

1. Warunki klimatyczne określane liczbą  $N$  dni burzowych w roku, co jest bezpośrednio związane z liczbą wyładowań w ziemię; liczba  $N$  może osiągać nawet wartość 200.
2. Charakterystyki udarów wyładowań, stanowiących serię fal udarowych [5,6,7,8], określonych przez:
  - maksymalny prąd szczytowy  $J$ ,
  - czas narastania  $t_1$  i opadania udaru  $t_2$ , czyli przez typ udaru  $t_1/t_2$ , wyrażany w mikrosekundach.

Średni prąd szczytowy udaru najczęściej spotykany jest rzędu 30 kA, a dla niektórych regionów 50 lub 60 kA. Naj-

większe występujące wartości są rzędu 100 kA, a w wyjątkowych przypadkach 200 kA.

Typ udaru prądowego najczęściej przyjmowany jest 10/65  $\mu$ s, lecz może się on zmieniać zależnie od regionu czy kontynentu.

3. Przebieg trasy kablowej. Otoczenie, w jakim znajduje się kabel ma duży wpływ na zagrożenie kabla wyładowaniami atmosferycznymi. W szczególności należy zwrócić uwagę na:
- rezystywność gruntu /od kilku omometrów do 10 000  $\Omega$  m/; im większa jest rezystywność, tym większe zagrożenie kabla,
  - istnienie drzew lub słupów metalowych w pobliżu kabla zwiększa prawdopodobieństwo wtargnięcia w kabel prądu wyładowania atmosferycznego; kabel powinien przebiegać w odległości 4 do 10 m /zależnie od rezystywności gruntu/ od korzeni drzew lub od zamocowania słupów; celowe jest też, zwłaszcza przy dużej rezystywności gruntu, układanie nad kablem przewodów odgromowych;
  - linie napowietrzne, tory kolejowe lub konstrukcje metalowe, równoległe do przebiegu kabla; konstrukcje te powodują ekranowanie kabla lub zmniejszają możliwość uszkodzenia kabla dzięki przejmowaniu w niektórych wypadkach bezpośredniego wyładowania atmosferycznego lub dzięki odprowadzeniu części prądu wyładowania, powodując zmniejszenie napięcia między powłoką kabla a ziemią albo między żyłami a powłoką kabla [10]; procent odprowadzanego prądu zależy bardziej od względnych wymiarów tych elementów i ich umiejscowienia, niż od rezystancji elektrycznej.

4. Typ kabla. Na stopień zabezpieczenia kabla od wyładowań atmosferycznych mają wpływ następujące parametry kabla:

R e z y s t a n c j a j e d n o s t k o w a p o w ł o k i k a b l a . Powinna być ona możliwie mała. Dobrze zabezpieczenie stanowią powłoki aluminiowe, miedziane względnie stalowe lub ołowiane z taśmami o dobrej przewodności, umieszczonymi pod powłoką. Pancierz stalowy na powłoce, wbrew pozorom nie zmniejsza napięcia między żyłami kabla a powłoką, gdyż przy prądach uderowych pancierz znajduje się w stanie nasycenia i nie ma korzystnego wpływu przenikalności magnetycznej. Istniejący pancierz stalowy nie powinien być odizolowany elektrycznie od powłoki, gdyż powstające przy wyładowaniach atmosferycznych napięcie między pancierzem a powłoką może powodować przebicia tej izolacji i uszkodzenia kabla, wywołane m.in. znacznym ciśnieniem par substancji, którymi przesycone są warstwy osłony włóknistej pod pancierzem, korzystne jest więc dawanie między powłokę a pancierz elementów przewodzących w postaci wplecionych w tkaninę drutów lub cienkiej taśmy ołowianej. Kable o powłoce aluminiowej lub stalowej w osłonie ochronnej wytłaczanej z tworzywa termoplastycznego powinny mieć pod osłoną warstwę odpowiedniego lepszca. Innym rozwiązaniem jest stosowanie na powłoki metalowe osłony półprzewodzącej z pośrednią warstwą półprzewodzącego lepszca /lub bez niego/, dzięki czemu zapewnione jest elektryczne połączenie powłoki z ziemią /lub pancierzem kabla/, co pozwala na uniknięcie przebić.

O b w ó j o ś r o d k a . W celu zabezpieczenia izolacji żył przed przebicciem wywołanym napięciem między żyłami a



powłoką metalową kabla stosuje się większą niż normalnie grubość warstw obwoju z taśm izolacyjnych na ośrodku kabla. Jest to sposób bardzo skuteczny, pod warunkiem zapewnienia tej samej wytrzymałości elektrycznej izolacji żył względem osłony metalowej w złączu oraz wytrzymałości wszystkich elementów włączonych na kablu /jak np. kondensatorów wyrównawczych, kompensujących asymetrie względem ziemi, głowic, skrzyń pupinizacyjnych, transformatorów i in./.

#### U z i e m i a n i e k a b l i

- a/ Jeżeli powłoka kabla styka się z ziemią, uziemianie powłoki jest zbyteczne; o ile rezystancja powłoki jest mała, a rezystywność gruntu nie przekracza kilkudziesięciu omometrów. Jeśli jednak te wartości są zbyt duże, celowe jest uziemienie powłoki kabla dla odprowadzenia prądów płynących wzdłuż powłoki.
- b/ Jeśli powłoka metalowa ma osłonę ochronną przeciwkorozyjną z tworzywa sztucznego izolującego powłokę od ziemi, napięcie zaindukowane w powłoce przez wyładowanie atmosferyczne może spowodować przebicie izolacji osłony w wielu punktach wzdłuż kabla. Napięcie między powłoką a ziemią osiąga wtedy wartość rosnącą od zera w punkcie przebicia izolacji /wystąpienia łuku/ do wartości maksymalnej w punkcie, znajdującym się między dwoma sąsiednimi łukami. Jeżeli napięcie między powłoką a ziemią znacznie przekracza wytrzymałość elektryczną izolacji osłony, wtedy prąd wpływający do kabla jest mniej więcej taki sam, jak w przypadku kabla o powłoce styka-

jącej się z ziemią, natomiast gdy napięcie to nieznacznie przekracza napięcie przebicia izolacji osłony, prąd wnikający w kabel jest mały. Na ogół, ze względów ekonomicznych, grubość osłony jest zbyt mała, aby jej wytrzymałość elektryczna była dostatecznie duża. W tym więc przypadku stosuje się następujące rozwiązania:

- osłonę ochronną półprzewodzącą, o ile nie ma prądów błądzących; kabel należy wtedy traktować jak kabel o powłoce mającej styk z ziemią,
- przewody ekranujące /jeden lub kilka/ układane wzdłuż nad kablem,
- uziemianie powłoki kabla, w określonych odstępach, przy czym napięcie między powłoką a ziemią oraz między żyłami a powłoką jest tym mniejsze, im gęściej rozmieszczone są uziemienia powłoki i im mniejsza jest rezystancja uziomów /rzędu kilku omów/.

W celu określenia tych rozwiązań technicznych, jak: określenia wymagań na powłokę, na obwód izolujący ośrodek, potrzeby zastosowania przewodów ekranujących, częstości i jakości wymaganego uziemienia, należy wykonać analizę ekonomiczną w zależności od liczby możliwych uszkodzeń kabla.

## 2. ANALIZA ZAGROŻENIA KABLA UŁOŻONEGO W ZIEMI

Źródłem najpoważniejszego zagrożenia kabla są wyładowania atmosferyczne między chmurą a ziemią, trafiające bezpośrednio w kabel albo w inne obiekty lub w ziemię w pobliżu kabla.

W celu oceny zagrożenia kabla ułożonego w ziemi konieczne jest określenie poniżej podanych wielkości.

1. Prawdopodobna liczba wyładowań w ziemię na 1 km<sup>2</sup> określona jest wzorem

$$P_0 = 0,92 \frac{N}{10} \quad /1/$$

gdzie: N - liczba dni burzowych w roku.

Wzór ten wyprowadzony przez Sundego wynika z założonej prawdopodobnej liczby wyładowań na 1 km<sup>2</sup> ziemi, równej 0,92 przy liczbie dni burzowych N = 10 w roku i przeciętnym kształcie krzywej udaru 10/65  $\mu$ s.

2. Prawdopodobna liczba wyładowań bezpośrednich w kabel zależy od obszaru jonizacji gleby wokół miejsca wyładowania. Oznaczając przez y połowę szerokości zjonizowanego pasa gleby, w metrach, wartość y określa się w zależności od rezystywności gruntu  $\rho$ , wyrażonej w omometrach:

$$y = 0,365\sqrt{\rho} \quad \text{dla } \rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m}$$

$$y = 0,29\sqrt{\rho} \quad \text{dla } 100 < \rho < 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad /2/$$

$$y = 0,22\sqrt{\rho} \quad \text{dla } \rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m}$$

Prawdopodobna liczba wyładowań w kabel o długości 1 km wyniesie

$$P_1 = P_0 \cdot 2y1 = 0,184 y1N \quad /3/$$

gdzie: y - należy wyrazić w km.

3. Natężenie prądu wyładowania przy przebiciu izolacji kabla zależy między innymi od wpływu elementów metalowych, znajdujących się w pobliżu kabla.

a/ Określenie prądu w przypadku braku elementów metalowych w pobliżu kabla.

Oznaczając przez  $I$  natężenie prądu sinusoidalnego, wpływającego do powłoki kabla na jego początku, napięcie między żyłami kabla a jego powłoką w punkcie  $x$  kabla będzie określone zależnością:

$$U/x/ = \frac{1}{2} \frac{Z_T}{\Gamma^2 - \Gamma_0^2} / \Gamma e^{-\Gamma x} - \Gamma_0 e^{-\Gamma_0 x} \quad /4/$$

gdzie:  $Z_T$  - impedancja przejścia powłoki, w  $\Omega/m$ .

$$Z_T = \frac{VR}{\sqrt{\text{ch } v - \cos v}}; \quad v = \sqrt{\frac{2\omega\mu}{\rho_1}} \cdot e;$$

$\omega$  - pulsacja prądu w Hz,

$R$  - rezystancja powłoki w  $\Omega/m$ ,

$e$  - grubość powłoki w cm,

$\rho_1$  - rezystywność metalu powłoki, w  $\Omega \cdot \text{cm}$ ,

$\mu$  - przenikalność magnetyczna metalu powłoki /dla materiałów niemagnetycznych  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-9}$ / w H/cm,

$\Gamma = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{2}}$  - tłumność obwodu powłoka-gleba w  $m^{-1}$ ,

$\Gamma_0 = \sqrt{j\omega R_0 C_0}$  - tłumność obwodu ośrodek-powłoka w  $m^{-1}$ ,

$v$  - indukcyjność gleby =  $1,257 \cdot 10^{-6}$  H/m,

$\rho$  - rezystywność gleby w  $\Omega \cdot m$

$R_0$  - rezystancja jednostkowa obwodu ośrodek-powłoka w  $\Omega/m$ ,

$C_0$  - pojemność jednostkowa obwodu ośrodek-powłoka w F/m.

Wartość maksymalna tego napięcia jest równa:

$$U/0/ = \frac{1}{2} \cdot \frac{Z_T}{\Gamma + \Gamma_0} \approx \frac{1 \cdot Z_T}{2 \cdot \Gamma} \quad /5/$$

Według Sundego, w stanie nie ustalonym, czas narastania fali napięcia wynosi około 50  $\mu$ s przy fali prądu o kształcie 10/65. Ze wzoru /5/ wynikają te same wartości amplitud w stanie ustalonym dla fali sinusoidalnej o częstotliwości 5000 Hz, jeśli czas narastania udarowej fali napięcia odpowiada ćwiartce okresu fali sinusoidalnej.

Wynika stąd zależność między maksymalnym napięciem a amplitudą prądu dla fali typu 10/65:

$$/U/0/ = 3,6 \cdot Z_T \cdot I \sqrt{\varrho} \quad /6/$$

Dla fali o czasie trwania  $\lambda$  razy większym w stosunku do 65  $\mu$ s /w połowie wysokości/ poprzednią zależność należy zastąpić przez:

$$U/0/ = 3,6 \cdot Z_T \cdot I \sqrt{\varrho \lambda} \quad /7/$$

Jeżeli napięcie  $U_c$  jest wytrzymałością elektryczną ośrodka kabla względem powłoki, wartość natężenia prądu przebicia  $I_c$  będzie:

$$I_c = \frac{U_c}{3,6 \cdot Z_T \sqrt{\varrho \lambda}} \quad /8/$$

b/ Określenie prądu wyładowania przy przebicju w przypadku istnienia sąsiednich elementów metalowych

Korzystny wpływ elementów metalowych równoległych do przebiegu kabla działa ekranująco, ograniczając prądy wnikaające do kabla.

W przypadku równoległego przebiegu torów kolejowych wzdłuż kabla zjonizowana gleba powoduje, iż kabel wraz z szynami toru jest praktycznie zwarty, a prąd rozdziela się między kable i szyny proporcjonalnie do indukcyjności obwodów szyny - gleba oraz powłoka kabla - gleba. Wyraża to współczynnik  $k$  określający redukcję napięcia indukowanego między ośrodkiem a powłoką kabla:

$$k = \frac{\ln \frac{z}{d_{22}}}{\ln \frac{z^2}{d_{11} d_{22}}} \quad /9/$$

gdzie:

$k$  - współczynnik redukcyjny,

$d_{11} = \sqrt{2a\delta}$  - równoważny promień powłoki kabla,

$d_{22} = \sqrt{b \cdot b_{12}}$  - równoważny promień toru kolejowego,

$z$  - odległość między osią toru kolejowego a powłoką kabla,

$a$  - promień powłoki kabla,

$\delta$  - głębokość ułożenia kabla,

$b$  - "równoważny promień" szyny,

$b_{12}$  - odległość między szynami.

Wzór /9/ słuszny jest tylko wtedy, gdy kabel jest w płaszczyźnie symetrii szyn kolejowych. Dla przypadku bardziej ogólnego podano wzory w aneksie oryginału artykułu.

Korzystny wpływ przewodów ekranujących, ułożonych nad kablem w przypadku dwóch przewodów o tej samej średnicy

$$k = \frac{\ln \frac{r_{12}}{r'}}{\ln \frac{r_{12}}{r_{11} r'}} \quad /10/$$

gdzie:

$r_{11} = \sqrt{2a\delta}$  - równoważny promień powłoki kabla,

$r_{12}$  - odległość między powłoką a osią średnią przewodów ekranujących,

$a$  - promień powłoki,

$\delta$  - głębokość ułożenia kabla,

$r'$  - równoważny promień układu przewodów ekranujących.

W przypadku dwóch przewodów ekranujących

$$r' = 4 \sqrt{2a'\delta' a_{12}a'_{12}}$$

gdzie:

$a'$  - promień przewodu ekranującego,

$\delta'$  - głębokość ułożenia przewodu,

$a_{12}$  - odległość między dwoma przewodami ekranującymi,

$a'_{12}$  - odległość między jednym przewodem a odbiciem drugiego względem powierzchni gleby.

Wzór /10/ słuszny jest dla przypadku, gdy kabel przebiega symetrycznie względem dwóch przewodów ekranują-

cych, lecz może być także stosowany, o ile  $r_{12}$  jest bliskie  $\frac{a_{12}}{2}$ .

W przypadku trzech przewodów ekranujących o promieniach  $r_1, r_2, r_3$  ułożonych w ziemi na głębokościach  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ , równoważne promienie dla przewodów 1, 2 i 3 oraz równoważny promień układu przewodów, będą równe:

$$\left. \begin{aligned} r'_1 &= \sqrt[6]{2 r_1 \delta_1 a_{12} a'_{12} a_{13} a'_{13}} \\ r'_2 &= \sqrt[6]{2 r_2 \delta_2 a_{12} a'_{12} a_{23} a'_{23}} \\ r'_3 &= \sqrt[6]{2 r_3 \delta_3 a_{13} a'_{13} a_{23} a'_{23}} \\ r' &= \sqrt[3]{r'_1 r'_2 r'_3} \end{aligned} \right\} /11/$$

gdzie:

$a_{mn}$  i  $a'_{mn}$  są analogiczne do wartości  $a_{12}$  i  $a'_{12}$  wymienionych poprzednio.

W rezultacie w przypadku istnienia zewnętrznych przewodów metalowych, dających współczynnik redukcyjny  $k$ , natężenie prądu przebicia równe jest:

$$I_c = \frac{U_c}{3,6 k Z_T} \approx \frac{U_c}{3,6 k R} \quad /12/$$

gdzie:  $R$  - rezystancja jednostkowa powłoki kabla.

Przy częstotliwościach występujących przy wyładowaniach atmosferycznych impedancja przejścia jest w szerokim zakresie zbliżona do wartości  $R$ , jak to widać z rys. 1<sup>x/</sup> na przykładzie kilku kabli symetrycznych.

<sup>x/</sup> Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.



4. Określenie prawdopodobnej średniej liczby uszkodzeń w ciągu roku. Aby zaistniało przebicie, wartość szczytowa prądu  $I$  musi przekroczyć wartość  $I_c$ . Według opracowań Sundego [2,3,4] prawdopodobieństwo bezpośredniego wyładowania w kabel o prądzie powodującym przebicie izolacji podane jest na wykresie /rys. 2/. Wyładowanie atmosferyczne nie musi jednak spowodować bezpośredniego przebicia, lecz może wywołać przepływ prądu w powłoce. Aby uwzględnić to, prawdopodobieństwo  $P_2$  należy pomnożyć przez współczynnik  $/1+p_2/$ , gdzie  $p_2$  - wartość określona krzywą w funkcji  $I_c$ , podaną na rys. 3.

Prawdopodobna liczba przebic  $m$ , spowodowanych prądem szczytowym większym od wartości  $I_c$  określona jest wzorem:

$$m = P_1 P_2 / 1+p_2/ \quad /13/$$

gdzie:  $P_1$  - określone jest wzorem /3/, a  $P_2$  i  $p_2$  z rys. 2 i 3. Na rysunku 4 podana jest średnia wartość  $m$  /jako liczba uszkodzeń na rok/ dla kabla o rezystancji jednostkowej  $R$  powłoki w gruncie o rezystywności dla wytrzymałości elektrycznej izolacji kabla  $U_c = 2000$  V, przy natężeniu burzowym wynoszącym średnio kilkadziesiąt dni w roku i przy fali o kształcie typu 10/65 oraz wartości natężenia prądu wyładowania równej 30 kA. Z krzywych tych można korzystać także dla innych przypadków, na przykład dla fali udarowej o czasie trwania  $\lambda$  razy dłuższym niż fali 10/65 i dla kabla o wytrzymałości elektrycznej  $t$  razy większej niż 2000 V; należy wówczas przyjąć wartość zastępczą rezystancji wynoszącą:

$$\frac{R\sqrt{\lambda}}{t}$$

/14/

Tego rodzaju ekstrapolację należy stosować ostrożnie, gdyż nie można ocenić wpływu na obliczenie wielkości takich, jak np. prawdopodobna liczba wyładowań w ziemię, średnie natężenie prądu wyładowania, rezystywność gruntu, kształt fall itp.

W przypadku odcinków linii niejednorodnych pod względem budowy kabla, rezystywności gruntu, natężenia burzowego, zewnętrznych zabezpieczeń kabla itp., należy tę linię podzielić na odcinki jednorodne, dla których oblicza się prawdopodobne średnie liczby uszkodzeń na rok:  $m_1, m_2 \dots$ . Prawdopodobna średnia liczba uszkodzeń na rok całej linii będzie określona przez sumę:

$$m = m_1 + m_2 + \dots$$

/15/

### 3. OKREŚLENIE LICZBY USZKODZEŃ PRZEKRACZAJĄCYCH USTALONĄ WARTOŚĆ

Aby określić prawdopodobieństwo uszkodzeń o liczbie przekraczającej wartości średnie, należy znać prawo zmienności niektórych parametrów, jak zmiany liczby dni burzowych na rok w różnych latach lub w różnych porach roku, zmiany rezystywności gleby w danej porze roku oraz charakterystyki udarów wyładowań /czasu narastania, szerokości udaru w połowie wysokości, wartości szczytowej natężenia prądu wyładowania/. Dla ułatwienia obliczeń przyjęto następujące założenia upraszczające:

- a. Liczba dni burzowych w ciągu roku jest stała. Rozrzut liczby dni burzowych w kolejnych latach jest więc równy zero; wynika stąd minimalizacja ryzyka uszkodzeń.
- b. Prawdopodobieństwo, że na jednorodnym odcinku linii będzie więcej niż  $x$  uszkodzeń wynika z prawa Poissona, według którego wartość średnia jest równa wartości średniej obliczonej ze wzoru /13/. To założenie przyjmuje, że uszkodzenia są nieliczne i niezależne jedno od drugiego.
- c. W przypadku odcinków niejednorodnych zakłada się, że na częściach jednorodnych tego odcinka słuszne jest prawo Poissona oraz że na całym odcinku niejednorodnym obowiązuje także prawo Poissona, dla którego wartość średnią wylicza się jak we wzorze /15/.

Na podstawie powyższych założeń można określić prawdopodobieństwo, że

- liczba uszkodzeń przekroczy w ciągu roku liczbę  $d$ ,
- liczba uszkodzeń przekroczy w przeciągu dowolnego okresu rocznego, wziętego z trzech kolejnych lat, liczbę  $d_1$ ,
- liczba uszkodzeń przekroczy w ciągu trzech lat liczbę  $D$ .

Poniżej podane są te obliczenia.

Prawdopodobieństwo, że wystąpi  $x$  uszkodzeń w ciągu roku wyniesie, zgodnie z rozkładem Poissona:

$$q_x = \frac{e^{-m} m^x}{x!}$$

gdzie:  $m$  - średnia liczba uszkodzeń na rok.

Prawdopodobieństwo wystąpienia w ciągu roku od 0 do  $d$  uszkodzeń wyniesie

$$q = \sum_{x=0}^d \frac{e^{-m} m^x}{x!}$$

Stąd prawdopodobieństwo wystąpienia więcej niż  $d$  uszkodzeń w ciągu roku wyniesie

$$Q = 1 - q = 1 - \sum_{x=0}^d \frac{e^{-m} m^x}{x!} \quad /16/$$

Prawdopodobieństwo natomiast wystąpienia więcej niż  $d_1$  uszkodzeń w ciągu okresu rocznego, wziętego z trzech kolejnych lat, wyniesie

$$Q' = 1 - q^3 \quad /17/$$

Podobnie prawdopodobieństwo wystąpienia  $X$  uszkodzeń w ciągu trzech lat będzie

$$q_1 = \frac{e^{-3m/3m/X}}{X!}$$

gdzie  $m$  - jak poprzednio, jest średnią roczną liczbą uszkodzeń. Prawdopodobieństwo wystąpienia w ciągu roku od 0 do  $D$  liczby uszkodzeń jest

$$q_1 = \sum_{X=0}^D \frac{e^{-3m/3m/X}}{X!}$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia więcej niż  $D$  uszkodzeń w ciągu trzech lat będzie więc

$$Q' = 1 - q_1 = 1 - \sum_{X=0}^D \frac{e^{-3m/3m/X}}{X!} \quad /18/$$

Uwaga: Jeśli obliczy się prawdopodobieństwo wystąpienia więcej niż  $x$  uszkodzeń na jednorodnej linii kablowej o długości  $l$ , nie można prosto wywnioskować, że prawdopodobieństwo wystąpienia więcej niż  $Kx$  uszkodzeń na kablu tego samego rodzaju i ułożonego w tych samych warunkach, lecz o długości  $Kl$  będzie takie samo. Jeżeli  $K < 1$  prawdopodobieństwo jest na ogół większe, a jeżeli  $K > 1$  prawdopodobieństwo jest na ogół mniejsze.

#### 4. PRZYKŁADY PROJEKTOWANIA KABLI ZABEZPIECZONYCH PRZED WYŁADOWANIAMI ATMOSFERYCZNYMI

##### 4.1. Linia Pointe-Noire - Dolisie z jednoparowego kabla współosiowego

Kabel ten przewidziano dla systemu nośnego różnokanałowego, 120-krotnego, typu  $n+n$ . Linia o długości 170 km przebiegała wzdłuż jednotorowej linii kolejowej w gruncie o rezystywności  $2000 \Omega \cdot m$  na 80% odcinka i  $5000 \Omega \cdot m$  na pozostałych 20%. Liczba dni burzowych  $N$  zawierała się od 100 na jednym końcu linii do 123 na drugim.

Rozważano użycie dwóch typów kabli.

**K a b e l 1:** typu 2,6/9,7 mm, o żyłce wewnętrznej miedzianej, zaś zewnętrznej aluminiowej o grubości 0,8 mm, pokrytej powłoką z polietylenu czarnego,  $p$  grubości 2,5 mm. Na izolację krążkową, wykonaną z krążków o grubości 2 mm, rozmieszczonych co 25 mm, nałożono rurkę polietylenową o grubości 0,5 mm. Izolacja ta wytrzymała próbę napięciową 6000 V. Tłumienność takiej pary jest taka sama, jak pary 2,6/9,5 mm,

to jest 0,28 Np/km przy 1 MHz, a impedancja przy nieskończonej wielkiej częstotliwości wynosi 75Ω.

K a b e l 2: typu 2,55/9,1 mm o żyłach miedzianych, przy czym żyłę zewnętrzną wykonano z taśmy miedzianej ułożonej wzdłużnie, z zakładką. Para pokryta jest powłoką z polietylenu czarnego, o grubości 2,5 mm. Izolacja pary, wykonana z pełnego polietylenu o małej gęstości, wytrzymała próbę napięciem 16000 V. Tłumiennosc pary przy 1 MHz wynosi 0,42 Np/km a impedancja przy nieskończonej wielkiej częstotliwości wynosi 50,8Ω.

Przy montażu kabli zastosowano specjalne złączka, na wzór złączy kabli podmorskich, wytrzymujące napięcie 16000 V.

Dla obu typów kabli dokonano oceny prawdopodobnej liczby uszkodzeń na rok. Na podstawie tej oceny wybrano do budowy kabel 2., dla którego liczba prawdopodobnych uszkodzeń na rok była mniejsza.

Do obliczeń przyjęto następujące dane:

- kształt fali udaru prądowego 10/65 μs,
- średnie natężenie prądu wyładowania 30 kA,
- prawdopodobieństwo wyładowań, zgodnie z wyprowadzeniem Sundego,
- liczba dni burzowych w roku, średnio:

$$N = \frac{100 + 123}{2} \approx 110$$

Postępując się wzorami /16/ i /18/ obliczono wartości d oraz D, a następnie wykreślono wartość d jako funkcję długości kabla l, z prawdopodobieństwem dostatecznie małym, możliwym do przyjęcia, a wynoszącym 0,001. Krzywe te, dla różnych

grubości  $e$  przewodu zewnętrznego pary współosiowej, gdy kabel nie przebiega wzdłuż toru kolejowego, podane są na rys.5. Na tej podstawie, dla uzyskania dopuszczalnej wartości  $d$ , przyjęto grubość przewodu zewnętrznego  $e = 0,35$  mm, przy której to grubości dokonano dalszych obliczeń.

Następnie oceniono wpływ toru kolejowego. Według wzoru /9/ obliczono mianowicie współczynnik redukcyjny  $k = 0,3$ . Określono także średnią prawdopodobną liczbę  $m$  uszkodzeń kabla w ciągu roku na 100 km linii dla obu typów kabli w zależności od rezystywności gruntu, a także dla przypadku, gdy kabel przebiega wzdłuż drogi albo wzdłuż toru kolejowego. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 1.

T a b l i c a 1

Rezystywność / $\Omega \cdot m$ /	Kabel 1		Kabel 2	
	wzdłuż drogi	wzdłuż toru kol.	wzdłuż drogi	wzdłuż toru kol.
1000	2,2	$3,5 \cdot 10^{-3}$	1,3	$6,5 \cdot 10^{-4}$
2000	6,2	$8 \cdot 10^{-2}$	4,3	$2,1 \cdot 10^{-2}$
5000	-	1,5	-	0,35
10000	-	8	-	1,5

Z tabelicy 1 widać bardzo korzystny wpływ toru kolejowego, zaś niekorzystny wpływ zwiększonej rezystywności gruntu. Duży wpływ rezystywności gruntu wskazuje na konieczność dokładnej znajomości tego parametru wzdłuż całego przebiegu kabla.

Z wyników tych, korzystając ze wzoru /14/ i posługując się tablicami, określającymi częstość kumulowaną liczby uszkodzeń

według prawa Poissona, określono prawdopodobieństwo wystąpienia w roku liczby uszkodzeń większej niż  $d$ , a następnie korzystając ze wzoru /17/ obliczono prawdopodobieństwo  $Q'$  wystąpienia liczby uszkodzeń większej niż  $d_1$  w ciągu dowolnego okresu rocznego, wziętego z kolejnych trzech lat. Obliczenia te dały w rezultacie maksymalną liczbę uszkodzeń, odpowiadającą prawdopodobieństwu 0,1% dla obu typów kabli przy rezystywnościach gruntu 2000, 5000 i 10000  $\Omega \cdot m$ . Liczby te podane są w tabelicy 2.

T a b l i c a 2

Rezystywność $\rho$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Kabel 1	Kabel 2
2000	2	1
5000	9	4
10000	27	9

W przypadku gdy na 20% odcinka rezystywność wynosi 5000  $\Omega \cdot m$ , a na 80% wynosi 2000  $\Omega \cdot m$ , odpowiednie wartości  $d_1$  oraz wartości  $D$  /liczby uszkodzeń w ciągu trzech lat/, obliczonej wg wzoru /18/, dla prawdopodobieństwa 0,1% są dla obu kabli podane w tabelicy 3.

T a b l i c a 3

Liczba uszkodzeń	Kabel 1	Kabel 2
$d_1$	4	2
$D$	7	4



Wybierając typ kabla 2 oraz układając go wzdłuż toru kolejowego w odległości 1 m od osi symetrii /bądź w odległości 0,5 m od bliższej szyny/, na głębokości 80 cm, można zagwarantować, że liczba uszkodzeń kabla nie przekroczy wartości poniższych<sup>x/</sup>:

$$d_1 \leq 5 \quad \text{oraz} \quad D \leq 10$$

W ciągu ponad 8 lat eksploatacji kabla nie stwierdzono żadnych jego uszkodzeń, spowodowanych wyładowaniami atmosferycznymi.

W celu umożliwienia dokonywania optymalnego wyboru konstrukcji kabla, przebiegu linii i środków zaradczych, opracowano program na maszynę cyfrową do obliczania parametrów  $d$ ,  $d_1$  oraz  $D$  w zależności od warunków geograficznych i klimatycznych.

Tytułem przykładu na rys. 6 i 7. podane są dla kabla 2 o wymiarach 2,55/9,1 mm wykresy wartości  $d$  w funkcji długości linii  $l$ , dla wartości  $k = 1$  i  $k = 0,3$  przy różnych liczbach dni burzowych  $N$  i wartościach rezystywności gruntu  $\rho$ . Porównanie obu rysunków pozwala na oszacowanie korzyści, jakie dają sąsiednie elementy metalowe dzięki odpowiedniemu współczynnikowi redukcyjnemu.

---

<sup>x/</sup> W oryginale, w aneksie znajdują się dokładniejsze rozwiązania, dotyczące wpływu szyn kolejowych i metalowych podkładów na stopień zabezpieczenia kabla przebiegającego równoległe /Câbles et Transmission 1972 nr 4, s. 385/.

## 4.2. Linie o kablach symetrycznych

Poprzednie obliczenia mogą być zastosowane również w odniesieniu do kabli symetrycznych, przyjmując do rachunku wartość wytrzymałości elektrycznej izolacji pomiędzy żyłami a powłoką kabla oraz impedancją przejścia kabla.

Projektując zabezpieczenie kabla symetrycznego, o długości 50 km, zawierającego 14 czwórek gwiazdowych o żyłach miedzianych 1,2 mm i pojemności skutecznej torów 38,5 nF/km, rozpatrzono pięć konstrukcji kabli o różnych powłokach i izolacjach ośrodka. Zestawiono je w tabelicy 4.

T a b l i c a 4

	Kabel 1	Kabel 2	Kabel 3	Kabel 4	Kabel 5
Izolacja na ośrodku	papier	PE 1 mm	PE 1,2 mm	PE 1 mm	PE 0,8 mm
Wytrzymałość elektryczna żyły - powłoka, kV	2	13	15	13	11
Grubość powłoki aluminiowej, mm	1,3	1,3	1,3	1,55	1,8
Cena względna	100	108	109	114	117

W celu dokonania wyboru obliczono wartości liczby uszkodzeń d w ciągu roku i wykreślono na rys. 8 krzywe w zależności od wytrzymałości elektrycznej izolacji między żyłami a powłoką

kabla dla przypadku  $N = 30$ ,  $l = 50$  km,  $k = 1$  oraz dla  $\rho = 1000 \Omega \cdot m$  i  $5000 \Omega \cdot m$ .

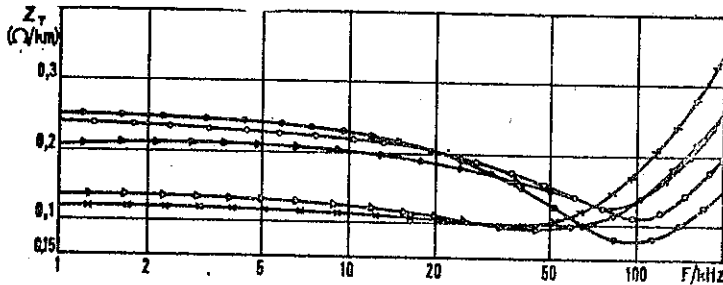
Porównując dane z tablicy I wyniki obliczeń podane na rys. 8 oraz uwzględniając koszt kabla uznano za najlepsze rozwiązanie konstrukcyjne kabla 3. Kabel ten na 14 czwórkowym ośrodku miał nałożone kolejno: dwie cienkie taśmy terphalowe, tj. z politereftalanu, powłokę wewnętrzną z polietyleno o grubości 1,2 mm, dwie taśmy papierowe, taśmę gumowaną z płótna /dla uniknięcia "ślizgania się" ośrodku kabla w powłoce, bowiem kabel układano w terenie o dużej pochyłości/, powłokę z rury aluminiowej, o grubości 1,35 mm, ściśle przylegającą do ośrodku, warstwę polewy bitumicznej, powłokę polietylenową czarną o grubości 1,7 mm, warstwę juty i pancierz z taśm stalowych o grubości 1 mm.

Kabel ten z powodzeniem spełnił swoje zadanie.

#### WYKAZ LITERATURY

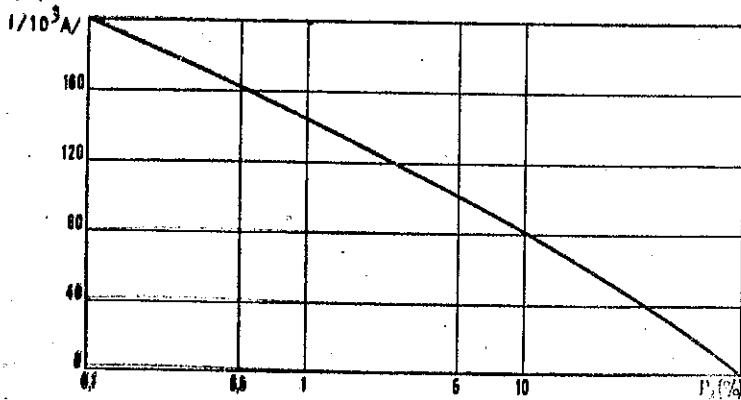
1. Sunde E.D.: Lightning protection of buried cable. Bell Lab. Record 1943 t. 21 nr 9.
2. Sunde E.D.: Lightning protection of buried toll cable. The Bell System Techn. J. 1945 nr 2, s. 253-300.
3. Trueblood H.M., Sunde E.D.: Lightning current observations in buried cable. The Bell System Techn. J. 1949 nr 2, s. 278-302.
4. Sunde E.D.: Earth conduction effects in transmission system. New York: Van Nostrand 1949.
5. Bodle D.W.: Crushing of buried cable by "cold" lightning. Bell Lab. Record 1956 vol. 34 nr 3, s. 93-96.

6. Bodle D.W., Gresh P.A.: Lightning surges in paired telephone cable facilities. The Bell System Techn. J. 1961 vol. 40 nr 2, s. 547-576.
7. Remp J.: Evaluation des surtensions provoquées par la foudre sur les câbles souterrains à circuits coaxiaux. Revue des Télécommunications 1965 nr 3, s. 398-402.
8. CCITT: Projet de textes pour le manuel sur la protection des lignes et installations de télécommunications contre la foudre, 1968, document AP.IV/25.
9. Protection du câble aérien autoporté contre les détériorations par la foudre. VDE Fach-Berichte 1938 t. 10.
10. Beraud R., Pech H.: Dérangements dus à la foudre sur le câble téléphonique Abidjan-Agboville. Câbles et Transmission 1957 nr 2, s. 167-175.
11. Berger K.: Câble à courant faible protégé contre la foudre. Bull. de l'A.S.E. 1962 nr 3, s. 101-104.
12. Meister H., Utz W.: Comportement des câbles à gaine stratifiée sous l'effet des courants de choc. Bulletin Technique des PTT Suisses 1969 nr 1, s. 30-37.

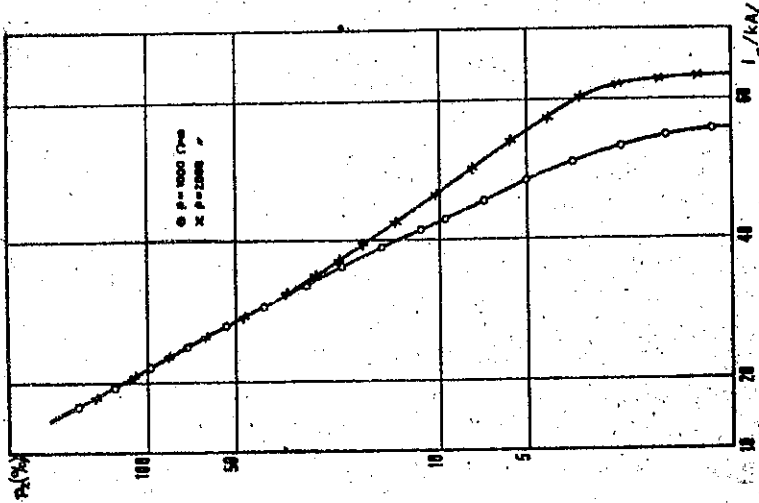


	Liczba czwórek DM w kablu	Grubość powłoki aluminiowej	Grubość pancerza
●	14 QC	1,00 mm	0,8 mm
○	19 QC	1,07 mm	0,8 mm
△	28 QC	1,15 mm	0,8 mm
▽	37 QC	1,35 mm	1,0 mm
x	48 QC	1,35 mm	1,0 mm

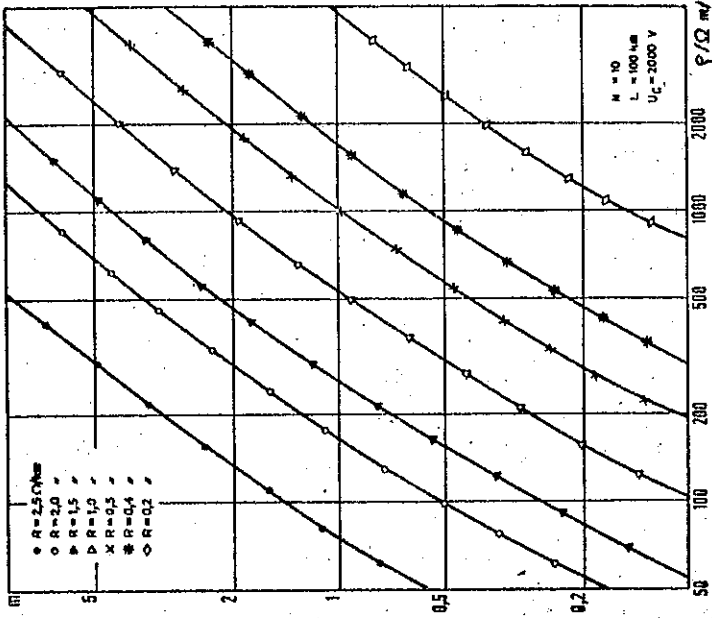
Rys. 1. Zależność Impedancji przejścia  $Z_T$  w funkcji częstotliwości dla kilku kabli symetrycznych o żyłach 0,9 mm i o powłoce aluminiowej, pancerzonych taśmami stalowymi



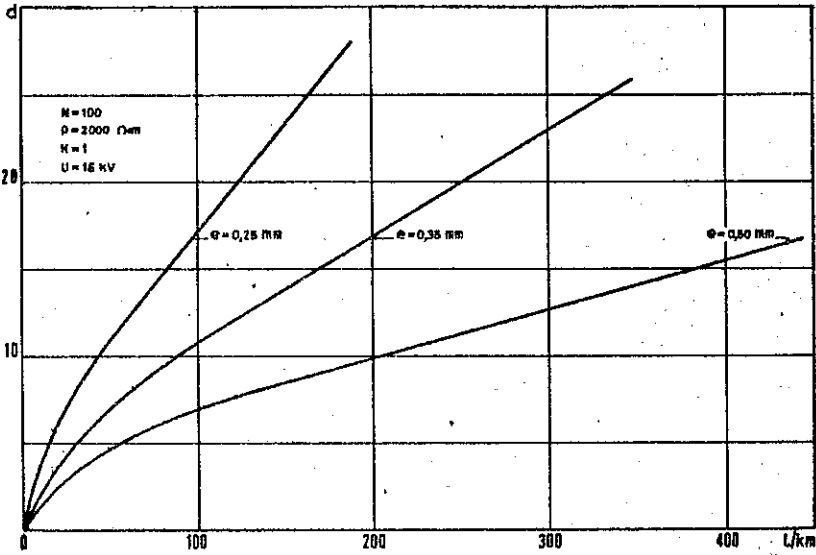
Rys. 2. Prawdopodobieństwo  $P_2$  dla kabla ziemnego, że wartość  $I$  przekroczy wartość wskazaną na osi rzędnych



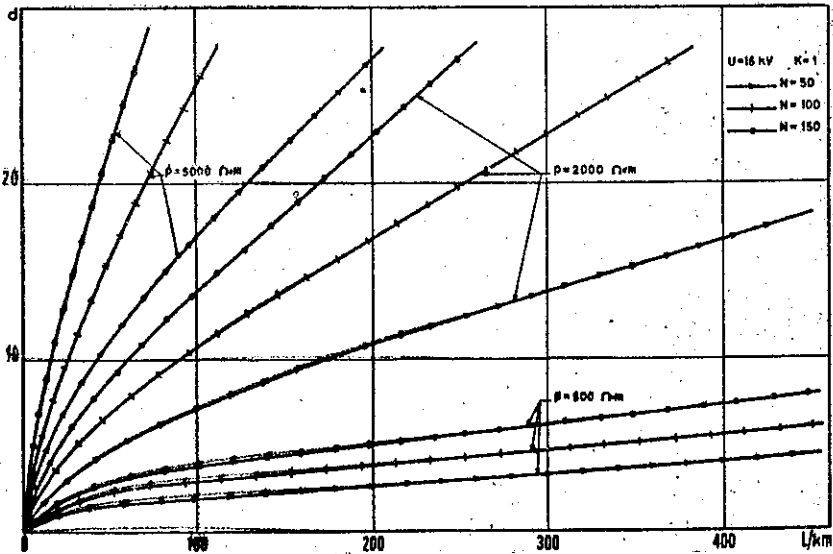
Rys. 3. Współczynnik wzrostu prawdopodobieństwa  $P_2$  dla kabla ziemnego



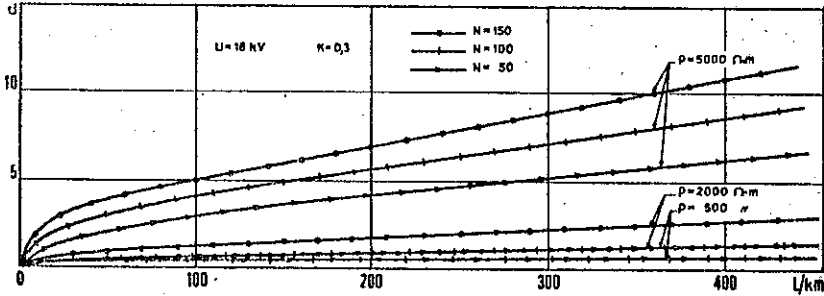
Rys. 4. Liczba m uszkodzeń na rok w funkcji wartości rezystywności gleby  $\rho$  i rezystancji jednostkowej  $R$  powłoki



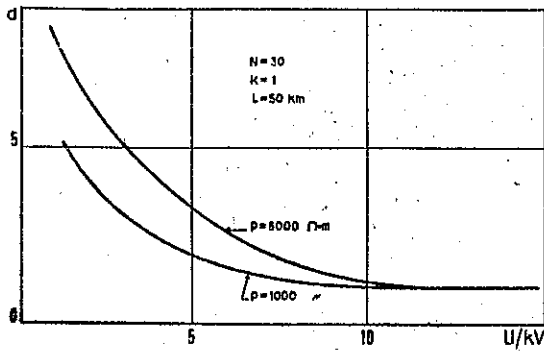
Rys. 5. Wartości  $d$  w funkcji długości  $l$  dla kabla typu 2,55/9,1 mm o różnych grubościach  $e$  miedzianego przewodu zewnętrznego



Rys. 6. Zależności flexy  $d$  od długości  $l$ , dla kabla typu 2,55/9,1 mm, przy  $k = 1$



Rys. 7. Zależności liczby  $d$  od długości  $l$ , dla kabla typu 2,55/9,1 mm, przy  $k = 0,3$



Rys. 8. Liczba uszkodzeń  $d$  w ciągu roku w funkcji wytrzymałości elektrycznej ośrodka kabla względem powłoki, dla kabla 14x4x1,2 mm



## OCHRONA PODZIEMNYCH WZMACNIAKÓW LINIOWYCH WSPÓŁOSIOWYCH SYSTEMÓW NÓSNYCH

Opracował E. Bobiński na podstawie artykułu<sup>x/</sup>  
Popp E.: Überspannungsschutz für unterirdische  
TF - Koaxialleitungsverstärker. Siemens - Zeit-  
schrift 1971 J. 45, s. 102 - 105.

### 1. URZĄDZENIA OCHRONNE STOSOWANE WE WZMACNIAKACH SYSTEMÓW WSPÓŁOSIOWYCH

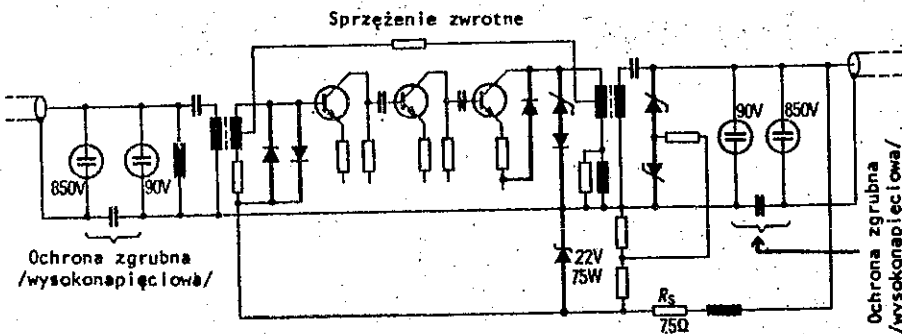
Zapobieżenie powstawaniu w linii współosiowej przepięć o wartościach rzędu wielu tysięcy woltów nie zawsze jest możliwe, możliwe jest natomiast zabezpieczenie samych wzmacniaków przyłączanych do tych linii. Skuteczna ochrona jest tylko wtedy zapewniona, gdy występujące między żytą zewnętrzną i wewnętrzną kabla współosiowego przepięcia rzędu 1000 i więcej woltów są na czułych tranzystorach i na pozostałych elementach obniżone do wartości zaledwie kilku woltów. Ważne jest, aby przed przepięciami i przetężeniami zabezpieczone były wejścia i wyjścia wszystkich wzmacniaków. Zarówno w czasie oddziaływania linii wysokiego napięcia prądu przemiennego jak i wyładowań atmosferycznych wejście obwodu zasilania zdalnie zasilanego wzmacniaka liniowego jest obciążone dużymi prądami. Wejście to więc wymaga szczególnie starannego i niezawodnego zabezpieczenia. Układy ochronne muszą też być pełnosprawne przy udarach o bardzo dużej szybkości narasta-

---

<sup>x/</sup> Tłumaczenie: J. Szczekowski.

nia napięcia. Oznacza to, że elementy użyte do ochrony, co do szybkości zadziałania nie powinny być powolniejsze niż elementy chronione.

Rozróżniamy w układach zabezpieczających ochronę zgrubną, wysokonapięciową i ochronę dokładną, niskonapięciową. Ochrona zgrubna, wysokonapięciowa, składa się z odgromników gazowych, a ochrona dokładna z diod Zenera i krzemowych diod przetaczających. Pomiędzy układami ochrony zgrubnej i dokładnej konieczne są elementy wzdlużne, np. cewki indukcyjne, re-



Zabezpieczenie wzmacniaka systemu nośnego V 2700 przed przepięciami  
/Elementy narysowane linią grubą wchodzi w skład ochrony przepięciowej dokładnej /niskonapięciowej//

zystory i filtry. Obniżają one energię resztkową, która przedostanie się jeszcze przez układy zabezpieczenia zgrubnego, aby elementy ochrony niskonapięciowej o małej obciążalności nie uległy uszkodzeniu. Na rysunku powyżej przedstawiono poglądowy schemat wzmacniaka systemu V 2700, zawierający układy zabezpieczające ochrony zgrubnej i dokładnej, niskonapięciowej.

## 2. OCHRONA ZGRUBNA /WYSOKONAPIĘCIOWA/

We wzmacniakach instalowanych w liniach współosiowych ochrona przepięciowa powinna być stosowana zarówno po stronie wejścia, jak i wyjścia wzmacniaków, rys. na str. 100. Ochrona zgrubna jest dwustopniowa. W obydwu stopniach używane są odgromniki gazowe. W systemach 300, 960 i 2700-krotnych w I stopniu ochrony zgrubnej stosowany jest miniaturowy, "guziczkowy" odgromnik gazowy o statycznym napięciu znamionowym zapłonu, wynoszącym 850 V. Udarowe napięcie zapłonu tego odgromnika przy szybkości narastania czoła  $1 \text{ kV}/\mu\text{s}$  wynosi ok. 2000 V. Do dalszego zmniejszenia napięcia w drugim stopniu ochrony zgrubnej, za kondensatorem rozdzielczym zwrotnicy włączony jest drugi odgromnik o napięciu znamionowym 90 V i udarowym napięciu zapłonu 600 V. W celu zapewnienia zgrubnej ochronie przepięciowej dużej niezawodności, równej trwałości samych wzmacniaków, stosuje się w każdym stopniu po dwa odgromniki, łączone ze sobą równolegle.

## 3. OCHRONA DOKŁADNA /NISKONAPIĘCIOWA/

Ochrona przepięciowa dokładna składa się z diod Zenera i diod przełączających. Ochronniki niskonapięciowe muszą przejąć energię, która może jeszcze przejść przez zgrubną ochronę wysokonapięciową. Stosując do układów ochronnych diody, należy wziąć pod uwagę, że niektóre z nich mają dość dużą pojemność, a ponadto powinny być traktowane jako rezystory o nieliniowej charakterystyce, zależnej od napięcia. W związku z tym należy baczyć, aby dobrać takie diody, które nie byłyby przyczyną pogorszenia transmisyjnych parametrów wzmac-

niaka. Projektowanie układu ochronnego zależy jest od wielkości napięć użytkowych, występujących we wzmacniaku. Na wejściu wzmacniaka napięcie użytkowe jest małe. Do układu ochronnego zabezpieczającego wejście wzmacniaka dopuszczono równolegle połączone, lecz przeciwsobnie skierowane, krzemowe diody przełączające. Diody włączone są w punkcie o najniższym poziomie. Krzemowe diody przełączające mają tę zaletę, że ich pojemność jest mała, a szybkość działania duża i umożliwiają ograniczenie przepięcia do wartości 0,7 V.

Na wyjściu wzmacniaka, ze względu na występujące tam wyższe napięcia, konieczna jest dioda o napięciu zadziałania 10 V i również o małej pojemności własnej. Istnieją diody Zenera o podanym wyżej napięciu zadziałania, ale ich pojemności własne w wielu przypadkach przekraczają dopuszczalne dla tego celu wartości. Wobec tego łączy się szeregowo diodę przełączającą o małej pojemności z diodą Zenera o żądanym napięciu.

Jak to widać na rys. na str. 100 układ zabezpieczający narysowany grubymi liniami/, na wejściu wzmacniaka ochrona dokładna /niskonapięciowa/ jest jednostopniowa, zaś na wyjściu dwustopniowa. Pierwszy stopień ochrony na wyjściu wzmacniaka składa się z dwóch szeregowo, lecz przeciwsobnie połączonych diod Zenera, które w celu zmniejszenia wnoszonych zniekształceń są wstępnie spolaryzowane. Drugi stopień ochrony składa się ze wstępnie spolaryzowanej diody i z szeregowo włączonych skierowanych przeciwsobnie diod: Zenera i przełączającej.

#### 4. ZABEZPIECZENIE PRZEPIĘCIOWE WEJŚCIA ZDALNEGO ZASILANIA

Wejście zdalnego zasilania wzmacniaka jest zabezpieczone przed przepięciami diodą Zenera o dopuszczalnym stałym obciążeniu 75 W. Jeżeli w systemie z uziemionym przewodem zewnętrznym pary współosiowej nastąpi przy przepięciu zapłon odgromnika, to w obwodzie zdalnego zasilania płynie prąd przemienny rzędu 80 A. Przy tak dużych prądach zakłócających, dioda Zenera będzie zabezpieczona przez znajdujący się na wyjściu odgromnik o napięciu zapłonu 90 V. Odgromnik ten już przy prądach zakłócających powyżej 7 A zadziała na skutek spadku napięcia na rezystorze ochronnym o wartości  $7,5 \Omega$ . Po zadziałaniu odgromnika nastąpi zwarcie układu; składającego się z połączonych szeregowo diody Zenera, rezystora ochronnego i cewki obwodu zdalnego zasilania.

#### 5. BADANIE SKUTECZNOŚCI ZABEZPIECZENIA WZMACNIAKÓW OD PRZEPIĘĆ

Do badań skuteczności zabezpieczenia wzmacniaków przed przepięciami stosuje się impulsy napięciowe imitujące wyładowania atmosferyczne. Wytwarzane impulsy badaniowe mogą mieć regulowaną stromość czoła fali udaru, wartość szczytową napięcia udaru i czas opadania napięcia do połowy wartości szczytowej, aby z dużym prawdopodobieństwem uwzględnić krytyczne dla wzmacniaka kształty fali napięciowej. Napięcia i prądy płynące w elementach zabezpieczających i częściach składowych wzmacniaka mierzone są za pomocą oscyloskopu. W celu

sprawdzenia skuteczności zabezpieczenia wzmacniaków przed oddziaływaniem zakłócającym prądu przemiennego wejścia wzmacniaków są obciążane napięciem przemiennym o wartości 3 kV.

Niemiecka Poczta Federalna przy pełnych badaniach /"próbach typu"/ wzmacniaków systemów współosiowych zaleca stosowanie impulsów udarowych o wartości szczytowej 5 kV i o czasie narastania napięcia 5  $\mu$ s. Do prób "odbiorczych" produkcji seryjnej przyjmowany jest impuls o wartości szczytowej 1,8 kV i czasie narastania 70  $\mu$ s. Czas opadania napięcia do połowy wartości szczytowej amplitudy ustalony został na 500  $\mu$ s. Wzmacniaki powinny być poddawane próbom przy obu kierunkach polaryzacji.

#### WYKAZ LITERATURY

1. CCITT: Directives concernant la protection des lignes de telecommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques industrielles. Genève: UIT 1963. II Assemblée Plénière de Comité Consultatif. International Télégraphique et Téléphonique, New Delhi 1960.
2. VDE 0226/2.62. Leitsätze für Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Wechselstrombahnen. Berlin: VDE 1962.
3. VDE 0227/1.59. Leitsätze für Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Wechselstrombahnen. Berlin: VDE 1959.
4. VDE 0228/4.65. Bestimmungen für Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Drehstromanlagen. Berlin: VDE 1965.

## ZABEZPIECZANIE LINII KABLOWYCH I URZĄDZEN TELETRANSMISYJNYCH OD PRZEPIĘĆ POCHODZENIA ATMOSFERYCZNEGO

Opracowała I. Proga na podstawie artykułu Sokolov S.A.: Zaščita kabel'nych linij i apparatury svjazi ot gorozovych perenaprjaženij: W: Zaščita linij svjazi i avtomatiki ot vlijanija vnešnich elektromagnitnych polej. Materialy vsesoznogo naučno-techničeskogo soveščanija. Omsk: VINITI 1972, s. 79-81.

Fala napięcia powstająca w kablu podczas burzy zależy w znacznym stopniu od stanu samego kabla. Jeżeli nie jest on uszkodzony, to we wszystkich żyłach powstają zbliżone do siebie wielkością potencjały w stosunku do ziemi. Wobec tego pojawiające się na włączonych w kabel urządzeniach napięcie wynosi od kilku do kilkudziesięciu woltów i nie może wywołać uszkodzeń urządzeń teletransmisyjnych. W asymetrycznym układzie, na przykład przy uszkodzeniu jednej z żył, napięcie to gwałtownie rośnie - do kilku tysięcy woltów.

Uszkodzona żyła może więc w konsekwencji stać się źródłem zagrożenia dla aparatury, a ponowne wyładowanie w przebitej izolacji następuje już przy niższym napięciu.

Stąd wiadomo, jaką olbrzymią rolę odgrywa zabezpieczenie kabla i obwodów wejściowych układów wzmacniających w zabezpieczeniu aparatury. Znane tradycyjne środki zabezpieczeń od wyładowań atmosferycznych - to linki odgromowe. Położona nad kablem linka odgromowa zmniejsza w nim amplitudę napięcia o 40-50%. W większości przypadków bywa to wystarczające, żeby nie dopuścić do uszkodzenia izolacji żył lub izolacji ośrodka i powłoki kabla.

Jeżeli linia kablowa nie jest zabezpieczona od przepięć, to dla zabezpieczenia urządzeń zachodzi potrzeba zwiększenia wymagań: powinny być one ustalone dla pełnego niesymetrycznego napięcia powstającego między żyłami a powłoką kabla. Zwykle stosuje się zasadę kaskadowych /wielostopniowych/ układów zabezpieczenia urządzeń.

Pierwszy stopień zabezpieczenia to zgrubne zabezpieczenie o dużej obciążalności, obniżające przepięcie z kilku kilowoltów do kilku lub kilkadziesiąt woltów. Obecnie przemysł radziecki produkuje odgromniki gazowe dużej mocy, na następujące napięcia: 110, 250, 350, 110 oraz 1300 ± 1800 woltów. Mają one jednak dużą bezwładność /opóźnione zadziaływanie/ dlatego też powinny być stosowane odgromniki o napięciu przebicia 2-3 razy mniejszym od wytrzymałości elektrycznej urządzeń teletransmisyjnych.

Drugą wadą występującą w większości odgromników, jest ich niskie napięcie gaśnięcia. Po zapłonie odgromnika od fali napięcia o dużej amplitudzie, zapłon jest nadal podtrzymywany przy bardzo małym napięciu /nie większym niż kilkadziesiąt woltów/, np. przez napięcie zdalnego zasilania.

Zaletami odgromników jest ich duża zdolność przepustowa prądu /tj. duża obciążalność/ wynosząca do kilku tysięcy amperów w uderze oraz mała pojemność własna /kilka pF/, co pozwala stosować je w systemach dużej krotności.

Drugi stopień zabezpieczenia zawiera elementy tłumiące: filtry, dławiki, układy korekcyjne, a także odgromniki o małym napięciu zapłonu. Zabezpieczenie od przepięć nie jest podstawową funkcją elementów tłumiących, jednak z dobrym wynikiem pełnią one i tę rolę.



Trzeci stopień to zabezpieczenie wewnętrzne, zawierające stabilitrony lub diody w.cz., umieszczane na wejściach wzmacniaczy albo bezpośrednio przy poszczególnych tranzystorach. Elementy te mają nieduże napięcie przebicia /od kilku do kilkudziesięciu woltów/ i praktycznie są bezinercyjne.

Stabilitrony /lub diody zaporowe/ charakteryzują się dużą zdolnością przepustową prądu, ale ich pojemność wewnętrzna jest dość duża /setki, a nawet tysiące pF/, co uniemożliwia ich stosowanie w systemach łączności dużej krotności.

Diody w.cz. mają małą pojemność wewnętrzną, ale same są nadzwyczaj czułe na przebicie i szybko ulegają uszkodzeniu przy nadmiernych prądach.

Zwiększenie zastosowania stabilitronów i diod w.cz. można uzyskać łącząc je: szeregowo, równolegle, w układach mostkowych itd, dzięki czemu uzyskuje się zwiększenie napięcia stabilizowanego, zmniejszenie pojemności itd.

W celu zmniejszenia pojemności stabilitronów stosuje się połączenia mieszane, tak aby ich pojemność zależała od przyłożonego napięcia.

STATYSTYCZNA METODA OKREŚLANIA NIEZAWODNOŚCI  
UKŁADÓW ZABEZPIECZAJĄCYCH PRZED WYŁADOWANIAM  
ATMOSFERYCZNYMI

Opracowała I. Proga na podstawie artykułu Goldštejn W.G., Černovoj B.M.: Statističeskij metod ocenki nadežnosti schem grozozščity. W: Zaščita linij svjazi i avtomatiki ot vlijanija vnešnich elektromagnitnych polej. Materialy vsesojuznogo naučno-tečničeskogo soveščanija. Omsk: VINITI 1972, s. 81-83.

Niezawodność układów zabezpieczających od udarów przepięciowych pochodzenia atmosferycznego, powstających w liniach, można określić za pośrednictwem niezawodności pewnego systemu, narażonego na przypadkowe zakłócenia.

Problem ten można rozwiązać za pomocą wyspecjalizowanego analogowego urządzenia, które pozwala z dostatecznie dużą dokładnością i dużą szybkością przeprowadzić analizę niezawodności układu zabezpieczającego, praktycznie o dowolnym stopniu złożoności.

W celu rozwiązania zadań stochastycznych /metodą Monte-Carlo/ stosuje się metodę badań statystycznych.

Schemat blokowy probabilistycznego modelu, realizującego metodę Monte-Carlo, przystosowanego do rozwiązania omawianego problemu, pokazano na rys. 1<sup>x/</sup>.

Realizacja G.L.L. o wymaganym rozkładzie może być osiągnięta drogą przekształcania liczb losowych o równomiernym rozkładzie na wymagany rozkład prawdopodobieństwa.

<sup>x/</sup> Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

W celu otrzymania przypadkowych liczb z równomiernym rozkładem wykorzystuje się właściwości procesu Poissona. Względna gęstość rozkładu strumienia  $n$  punktów w określonym przedziale  $\tau$ , pod warunkiem, że w tym przedziale znalazło się dokładnie  $n$  punktów, określa się wyrażeniem

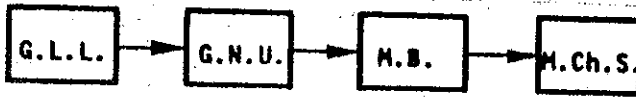
$$f_n / \tau = \frac{n!}{\tau^n}$$

Nakładając na ten strumień dowolną kolejność nie przecinających się przedziałów i wybierając z nich te, w których znalazł się tylko jeden punkt rozkładu, można otrzymać liczby losowe o rozkładzie równomiernym. Przekształcenie zbioru liczb losowych o równomiernym rozkładzie w zbiór liczb losowych o wymaganym rozkładzie prawdopodobieństwa może być realizowane drogą wytwarzania okresowego ciągu liczb, ze względym czasem trwania uformowanego ciągu, zgodnie z ich prawem rozkładu.

Układ wytwarzania udaru napięciowego może być zbudowany w oparciu o obwód RC, którego stała czasu ładowania i rozładowania oraz napięcie ładowania kondensatora zmieniają się w sposób przypadkowy.

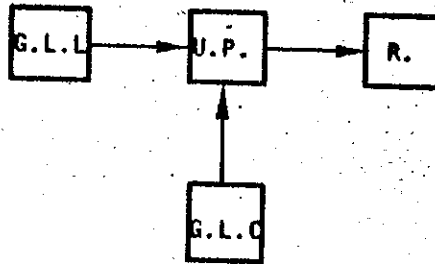
Schemat blokowy układu wytwarzania udaru napięciowego /G.N.U./ pokazano na rys. 3.

Blok M.Ch.S. wykorzystując zebrane dane, dokonuje pomiaru charakterystyk statystycznych niezawodności /prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń, średniego czasu między kolejnymi uszkodzeniami, estymatora oszacowania, przedziału ufności itd/. Tempo reprodukcji przebiegów wynosi 1000 na sekundę.



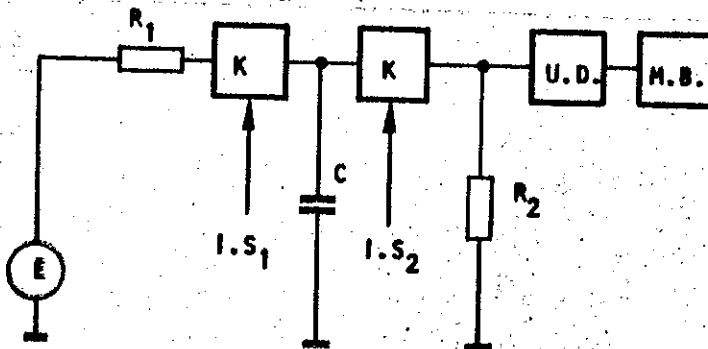
Rys. 1. Schemat blokowy probabilistycznego modelu, realizującego metodę Monte-Carlo

G.L.L. - komplet generatorów liczb losowych o wymaganym rozkładzie prawdopodobieństwa, G.N.U. - generator napięcia udarowego, M.B. - model badany, M.Ch.S. - miernik charakterystyk statystycznych



Rys. 2. Schemat blokowy układu przekształcającego zbiór liczb losowych

G.L.L. - generator liczb losowych z równomiernym rozkładem w przedziale, równym okresowi G.L.K.; G.L.C. - generator określonego okresowego ciągu liczb; U.P. - urządzenie pamięciowe; R - rejestrator



Rys. 3. Schemat blokowy generatora udarów napięciowych

$R_1$  - rezystancja obwodu ładowania kondensatora C /ustala kształt czoła krzywej, moment powstania i polaryzacji udaru napięciowego/;  $R_2$  - rezystancja obwodu rozładowania kondensatora C /ustala kształt opadania udaru/; E - SEM źródła /określa amplitudę udaru/; U.D. - urządzenie dopasowujące; I.S. - impulsy synchronizujące z urządzeniami sterującymi

## ANALIZA DZIAŁANIA OCHRONNEGO RUR FERROMAGNETYCZNYCH OD WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH

Opracował J. Wolniewicz na podstawie artykułu Rating F.: Praktische und theoretische Untersuchungen der Schutzwirkung von ferromagnetischen Rohr gegenüber Blitzstrom, Fernmelde Praxis 1973 t. 50 nr 7, s.276-298.

### 1. WSTĘP

Kable ułożone na obszarach szczególnie narażonych na oddziaływanie wyładowań atmosferycznych powinny być specjalnie przed nimi chronione. Osiąga się to, stosując specjalne konstrukcje powłok [1], [5] lub wciągając kable do stalowych rur albo też przez równoległe ułożenie nad kablem przewodów odgromowych [2].

Do oceny działania ochronnego rury lub powłoki kablowej wykorzystuje się tzw. rezystancję sprzężeniową  $R_k$ , którą zgodnie z rys. 1<sup>x/</sup> definiuje się jako iloraz spadku napięcia  $U_2$  na wewnętrznej stronie powłoki oraz prądu zakłócającego  $I_{st}$ , płynącego wzdłuż powłoki i długości  $l$  badanej próbki kabla. Dla udarowej postaci prądu, wywołanego wyładowaniem atmosferycznym, udarowa rezystancja sprzężeniowa  $R_{sk}$  jest ilorazem wartości szczytowych napięcia i prądu. Ogólnie, w związku z efektem naskórkowości, jest to parametr zależny od częstotliwości.

W założeniu liniowych własności materiałów obliczenie  $R_k$

---

<sup>x/</sup> Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

oraz  $R_{sk}$  jest łatwe [3], [4], jednak kiedy w konstrukcji kabla znajdzie się stal, obliczenia są bardzo utrudnione z powodu występującego w stali nasycenia pod wpływem dużych prądów. W takiej sytuacji niezwykle pomocne jest posiadanie stanowiska probierczego, które pozwala pomierzyć  $R_{sk}$  w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistych.

## 2. URZĄDZENIE POMIAROWE

Pomysł urządzenia pomiarowego został zapoczątkowany i zrealizowany przez Bergera [1]. Opisane tu urządzenie opiera się na tej samej zasadzie, stosowane jednak mogą być krótsze odcinki kabla i większe prądy udarowe. W urządzeniu uwzględniono następujące zalecenia:

- możliwość łatwego wytwarzania /ręcznie/ próbek linii /ok. 1,2 m długości/; dla celów eksperymentalnych można wykonywać próbki o konstrukcjach powłok jeszcze nie produkowanych w skali technicznej,
- aperiodyczność udarów prądowych o wartości szczytowej do 100 kA; zapewnia to możliwość badań przy największych, występujących w praktyce udarach, a ponadto stosowanie udarów jednobiegunowych zaostża jeszcze próby, gdyż stal jest magnesowana stale w jednym kierunku,
- niezmienność kształtu krzywej i ustalona wartość szczytowa impulsu; umożliwia to otrzymywanie porównywalnych wyników dla różnych próbek.

Schemat działania urządzenia pokazano na rys. 2: Zasadniczo składa się ono z obwodu udarowego, utworzonego z konden-

satora wyładowczego  $C_s$ , indukcyjności własnej  $L$  urządzenia, iskiernika  $F$ , rezystora szeregowego  $R$  i próbki  $P$ . Oscylograf dwustrumieniowy rejestruje jednocześnie prąd /jako spadek napięcia na boczniku pomiarowym  $R_m$ / oraz napięcie /na wewnętrznej stronie próbki/. Impuls wyzwalaający do iskiernika służy jednocześnie do wyzwolenia podstawy czasu oscylografu. Dla uniknięcia błędów, spowodowanych rezystancjami przejścia i nierównomiernym rozptywem prądu, całkowita długość próbki wynosi 1,25 m, natomiast końcówki stykowe sondy, wsuwanej do próbki w celu pomiaru napięcia, mają rozstęp 1 m. Wejście /1/ oscylografu musi być wejściem wzmacniacza różnicowego.

Zalecane w VDE 0433 znormalizowane prądy udarowe 8/20 i 4/10 nie mogły być tu jednak wytworzone przy jednoczesnym spełnieniu warunku aperiodyczności przebiegu. Wybrano więc łatwiejszy do zrealizowania udar 7,2/27, jako najlepsze przybliżenie udaru 8/20.

Przy pomiarach rezystancji sprzężeniowej należy liczyć się z błędami, wskutek tego, że w mierzonym obiekcie płyną duże prądy, a powstają stosunkowo małe napięcia /rzędu kilku woltów/, co może być spowodowane zewnętrznymi zakłóceniami lub niedostatecznym ekranowaniem. Dlatego celowe jest zrealizowanie wzorcowej próbki z nieferromagnetycznego materiału, której własności można obliczyć. Próbką tą można sprawdzić urządzenie pomiarowe przed rozpoczęciem właściwych pomiarów.

W oryginale artykułu przedstawiono teoretyczne obliczenia własności rury, które pozwoliły na określenie stosunku udarowej rezystancji sprzężeniowej  $R_{sk}$  do rezystancji dla prądu stałego  $R_0$ , w zależności od tamowności rury  $\xi$ , określonej równaniem:

$$\xi = \Delta r \sqrt{\mu \alpha'}$$

gdzie:

$\Delta r$  - grubość ścianki rury, w m,

$\mu$  - przenikalność magnetyczna, w H/m,

$\alpha'$  - przenikalność właściwa, w S/m.

Na rysunku 3 podano wykres  $R_{sk}/R_0$  w funkcji tamowności rury  $\xi$ .

### 3. POMIARY RURY STALOWEJ

Jednym z obiektów, dla którego nie można wykonać dokładnych obliczeń jest rura stalowa. Do pomiarów wzięto dwie próbki  $P_1$  i  $P_2$  rur ze stali pospolitej o parametrach podanych niżej:

	Ozn.	Jedn.	$P_1$	$P_2$
Średnica wewnętrzna	$D_i$	mm	49,8	62,4
Średnica zewnętrzna	$D_a$	mm	55,2	65
Średnia średnica	$D_m$	mm	52,5	63,7
Grubość ścianki	$\Delta r$	mm	2,7	1,3
Powierzchnia przekroju	$F$	mm <sup>2</sup>	445	260
Przewodność elektryczna	$\alpha'$	$\frac{S}{m}$	$6,21 \cdot 10^6$	$6,96 \cdot 10^6$
Indukcja nasycenia	$B_s$	T	1,55	1,32
Indukcja szczątkowa	$B_r$	T	0,89	0,77
Powierzchnia pętli histerezy	$A$	$\frac{Ws}{m^3}$	$6,6 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$
Łączenie pola nasycenia	$H_s$	$\frac{A}{m}$	1060	550



Ponieważ przy pomiarach rur stalowych należy liczyć się z nielinearnością, a także z zależnością od stanu pierwotnego próbki, należy z jednej strony określić przed każdą serią badań stan magnetyczny próbki, a z drugiej strony uchwycić magnetyczne zmiany po badaniu. Schemat stosowanego do tego celu układu pomiarowego pokazany jest na rys. 4. Przez rurę stalową przechodzą dwa uzwojenia, z których jedno  $w_1$  ustala napięcie magnetyczne /amperozwoje/, a drugie  $w_2$  służy do pomiaru przebiegu napięcia wywołanego zmianą strumienia. Uzwojenie  $w_1$  składa się z 3 zwojów, które są zasilane prądem stałym z transformatora przez prostownik dwupółkowy i przez dławik wygładzający. Można tu osiągnąć napięcie magnetyczne regulowane od 0 do 1200 A. Powstające na uzwojeniu  $w_2$  /przetączalnym od 1 do 10 zwojów/ napięcie przykładane jest na wzmacniacz i dalej na układ całkujący, z którego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do indukcyjności próbki z dokładnością do stałej całkowania. Wychodząc z wartości początkowej, którą należy określić, można wyznaczyć własności próbki w postaci pętli histerezy, aby przed każdą serią pomiarów ustalić żądany stan magnetyczny próbki.

Wykonane pomiary pozwoliły na określenie udarowej odpowiedzi próbek  $P_1$  i  $P_2$  w postaci spadku napięcia na próbkach o długości 1 m w zależności od liczby  $n$  udarów i wartości szczytowej udaru o kształcie  $7,2/27$ ; wyniki przedstawiono na rys. 5.

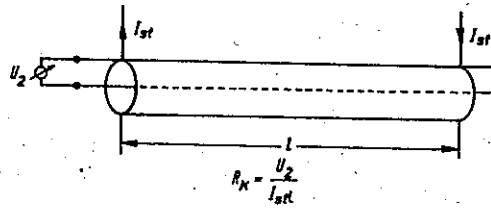
Opisanym układem pomiarowym można także określić zmiany maksymalnego całkowitego strumienia magnetycznego  $\phi_m$  po kolejnych udarach. Wychodząc z maksymalnego strumienia szczytowego  $\phi_r$  próbka zostaje przemagnesowana kolejnymi udarami.

Wyniki przy różnych wartościach szczytowych udarów podano na rys. 6.

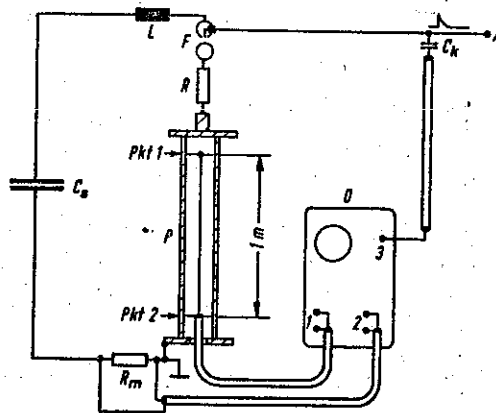
Przedstawiona w oryginale artykułu teoretyczna dyskusja wyników pomiarów wykazuje, że wyjaśnione tu zjawiska nasycenia, widoczne z rys. 5 i 6, pozwalają określić najniekorzystniejszy przypadek ochrony kabli umieszczonych w rurze stalowej. Wykonane natomiast pomiary zastosowanej do ochrony rury stalowej pozwolą na właściwe określenie wymiarów potrzebnej rury.

#### WYKAZ LITERATURY

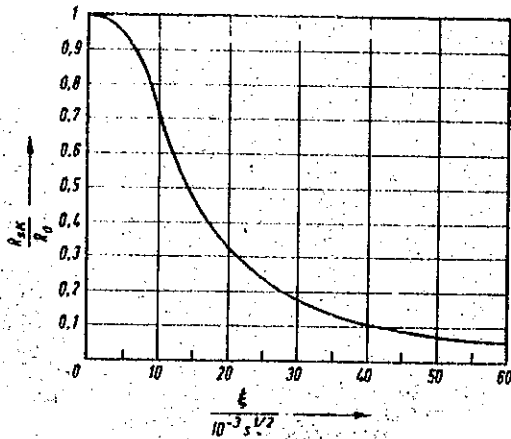
1. Berger K., Meister H.: Telefon und Signalkabel mit erhöhter Blitzsicherheit. Bull ASE 1965 nr 13.
2. Griesinger W., Riedel R.: Schutz von Fernmeldekabeln gegen Blitzschäden. Fernmelde-Praxis 1961 t. 38 nr 1 s.7-17.
3. Schneider K.H.: Überspannungen in erdverlegten Kabeln durch Blitzeinschlag in den Kabelmantel. ETZ-A 1966 Bd 87 nr 26, s. 933-939.
4. Sunde E.D.: Lightning Protection of Buried Toll Cable. Bell System Tech. J. 1945 t. 24 s. 253-300.
5. Berger K.: Blitzsichere Schwachstromkabel. Bull ASE 1962 nr 3.
6. Kaden H.: Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik. Berlin: Springer 1959, ss. 293.
7. Lee E.W.: Eddy-current effects in rectangular ferromagnetic rods. Proc. IEE Monograph nr 371 M. 1960, ss. 8.



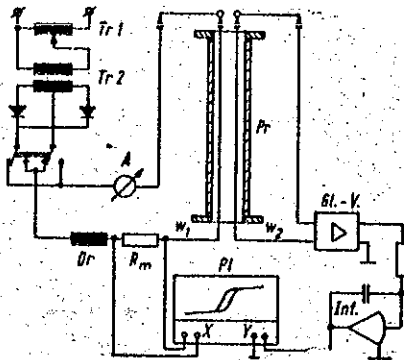
Rys. 1. Schemat elektryczny do określenia udarowej rezystancji sprzężeniowej



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do określenia udarowej rezystancji sprzężeniowej

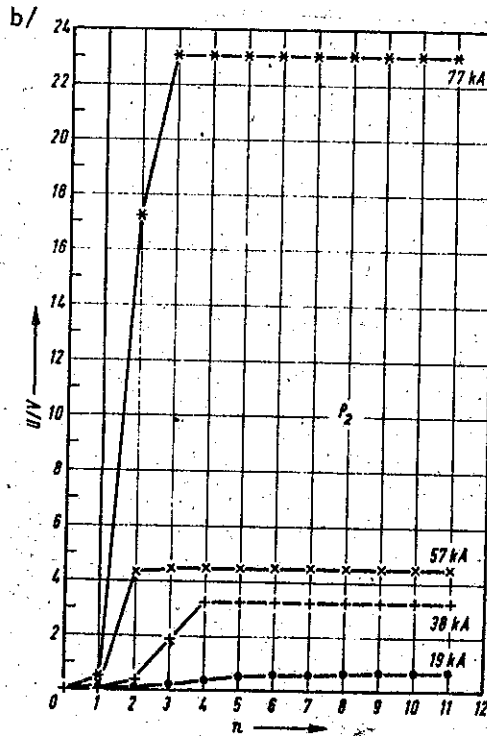
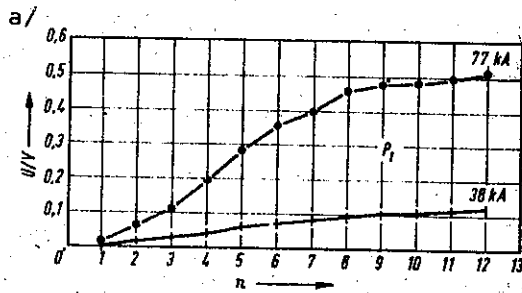


Rys. 3. Zależność stosunku udarowej rezystancji sprzężeniowej  $R_{sk}$  do rezystancji dla prądu stałego  $R_0$  od tamowności jednostkowej

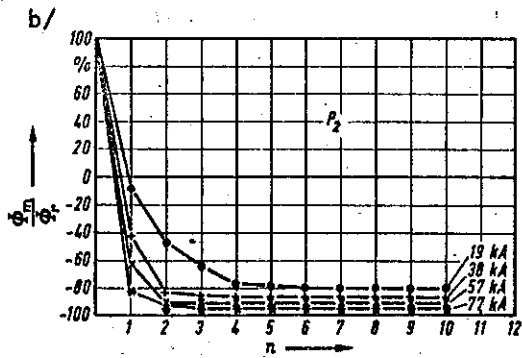
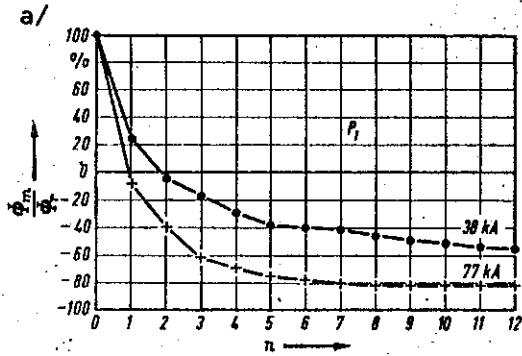


Rys. 4. Schemat układu pomiarowego do określenia własności magnetycznych rury stalowej

Tr 1 - autotransformator, Tr 2 - transformator 220:4, Dr - dławik wygładzający/filtrujący,  $R_m$  - rezystor pomiarowy, Pt - pisak X-Y, G1-V - wzmacniacz prądu stałego, Int. - układ całkujący, Pr - próbka mierzona./rura stalowa/



Rys. 5. Szczytowe wartości spadków napięć  $U$  /w voltach/ na wewnętrznej ścian-  
ce rury stalowej w zależności od liczby  $n$  uderzeń i od wielkości prądu udero-  
wego: a/ - dla próbki  $P_1$ , b/ - dla próbki  $P_2$



Rys. 6. Zmiany maksymalnego całkowitego strumienia  $\phi_m^{\max}$  w stosunku do strumienia szczytkowego  $\phi_r^0$  w funkcji liczby  $n$  uderzeń: a/ - dla próbki  $P_1$ , b/ - dla próbki  $P_2$



