

1 9 6 5

Nr 3 (16)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

Biblioteka

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY
ŁĄCZNOŚCI

ROK 5

WARSZAWA 1965

NR 3(16)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,
prof. Stefan Jasiński, mgr inż. Stanisław Kobus,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko,
mgr Zofia Życińska

Sekretarz Redakcji: Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 680. Druk ukończono
w lutym 1966 r.

P R O B L E M Y Ł Ą C Z N O Ś C I

S P I S T R E Ś C I

H. Naimski - Oddziaływanie linii elektroenergetycznych na linie i urządzenia telekomunikacyjne

H. Naimski

621.315
621.391.8
621.316.9

ODDZIAŁYWANIE LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH
NA LINIE I URZĄDZENIA TELEKOMUNIKACYJNE

WSTĘP

Postępująca elektryfikacja kraju, związana z rozwojem całej gospodarki narodowej, stwarza coraz większe możliwości szkodliwego, to znaczy zakłócającego i niebezpiecznego oddziaływania sieci elektroenergetycznej, zwłaszcza linii najwyższych napięć, na linie i urządzenia telekomunikacyjne w przypadku zbliżeń i krzyżowań. Również elektryfikacja kolei zwiększa niebezpieczeństwo takiego oddziaływania.

Zakłócenia w działaniu urządzeń, zagrożenia dla ludzi oraz uszkodzenia urządzeń telekomunikacyjnych narażają gospodarkę narodową na duże straty związane z kosztem usuwania uszkodzeń i zakłóceń oraz na szkody wynikające z powstałych przerw w funkcjonowaniu urządzeń.

Zarówno problem bezpieczeństwa ludzi jak i problem niezawodności pracy urządzeń telekomunikacyjnych, przy wzrastających wymaganiach związanych z automatyzacją i transmisją danych, pociągają za sobą konieczność zwrócenia większej uwagi na zagadnienia ochrony linii i urządzeń telekomunikacyjnych.

Zagadnienia te są przedmiotem studiów wielu organizacji międzynarodowych, a w szczególności CCITT współ-

pracującej z CIGRE (Międzynarodowa Konferencja Wielkich Sieci Elektroenergetycznych), z UIC (Międzynarodowy Związek Kolejowy), jak również OWL (Organizacja Współpracy Łączności Krajów Socjalistycznych) i OSŻD (Organizacja Współpracy Kolei Krajów Socjalistycznych).

W Polsce pod tym względem istnieją jeszcze dość duże zaniedbania, głównie w zakresie nowoczesnych układów i urządzeń zabezpieczających. Stosowane dotychczas urządzenia zabezpieczające nie zawsze spełniają swe zadanie, powodując natomiast częstokroć niepożądane przerwy w łączności.

Również znajomość zagadnień ochrony linii i urządzeń przed oddziaływaniem linii elektroenergetycznych i wyładowań atmosferycznych wśród personelu eksploatacji pozostawia wiele do życzenia.

Szkodliwe oddziaływanie linii elektroenergetycznych na linie telekomunikacyjne można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

1. Zakłócenia w pracy urządzeń telekomunikacyjnych polegające na

- a) obniżeniu jakości transmisji telefonicznej (szumy),
- b) zaburzeniach w sygnalizacji,
- c) zniekształceniu sygnałów telegraficznych.

2. Niebezpieczeństwa, na jakie mogą być narażone osoby i urządzenia telekomunikacyjne, a mianowicie:

- a) mniej lub bardziej długotrwały przepływ prądu

o nadmiernym natężeniu przez ciało osoby pozostającej w zetknięciu galwanicznym z linią lub urządzeniem telekomunikacyjnym,

- b) udary dźwiękowe, którym mogą ulegać telefonistki i użytkownicy sieci telefonicznej,
- c) uszkodzenia izolacji oraz spalanie linii i urządzeń telekomunikacyjnych.

Zakłócenia te i niebezpieczeństwa są wynikiem obecności w torach linii telekomunikacyjnych pasożytniczych napięć i prądów, pojawiających się wskutek oddziaływania linii elektroenergetycznej.

Zakłócenia w pracy urządzeń ujawniają się na ogół w sposób ciągły, są łatwo wykrywalne zarówno przez bezpośrednich użytkowników urządzeń telekomunikacyjnych, jak i przez personel obsługi dokonujący pomiarów.

Natomiast oddziaływanie niebezpieczne najczęściej powstaje sporadycznie i ujawnia się dopiero z chwilą powstania pewnych nieprawidłowości w sieci elektroenergetycznej w sytuacjach, które można by nazwać awaryjnymi. Jest to więc zagrożenie utajone i choć zwykle stan niebezpieczny trwa bardzo krótko, to skutki jego mogą być zgubne.

Pod względem fizycznym istota oddziaływania linii elektroenergetycznych na linie i urządzenia telekomunikacyjne polega na:

- oddziaływaniu elektrycznym, tj. sprzężeniu pojemnościowym między sąsiadującymi torami elektroenergetycznym i telekomunikacyjnym,

- oddziaływaniu magnetycznym, tj. sprzężeniu indukcyjnym między wyżej wspomnianymi torami,
- oddziaływaniu galwanicznym, tj. sprzężeniu oporowym poprzez ziemię,
- bezpośrednim zetknięciu się przewodów elektroenergetycznych z telekomunikacyjnymi.

W niniejszym przeglądzie zagadnień, dotyczących ochrony linii i urządzeń telekomunikacyjnych przed szkodliwym oddziaływaniem linii elektroenergetycznych, konieczne jest oczywiście omówienie systemów pracy sieci elektroenergetycznych i elektrotrakcyjnych. Poza tym trzeba też będzie nawiązać do pokrewnych zagadnień odnoszących się do oddziaływania na linie telekomunikacyjne wyładowań elektryczności atmosferycznej, gdyż środki zaradcze i ochronne są w wielu przypadkach identyczne lub bardzo podobne.

Z uwagi na ograniczoną objętość niniejszego artykułu nie obejmie on oczywiście dziedziny projektowania ochrony i związanych z tym obliczeń, odsyłając czytelnika do obszernych prac z tej dziedziny, których wykaz zawiera bibliografia podana na końcu.

WŁAŚCIWOŚCI LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH Z PUNKTU WIDZENIA SZKODLIWOŚCI ODDZIAŁYWANIA NA LINIE TELEKOMUNIKACYJNE

Oddziaływanie, jakie wywierają linie elektroenergetyczne na linie telekomunikacyjne, zarówno pogarszające ja-

kość transmisji jak i niebezpieczne, zależy przede wszystkim od wartości napięcia roboczego, rodzaju prądu linii elektroenergetycznej i jej układu pracy.

Praktyka wykazała, że linie elektroenergetyczne o napięciu poniżej 1 kV nie oddziałują szkodliwie na linie telekomunikacyjne z wyjątkiem zakłóceń powodowanych przez linie trakcji elektrycznej oraz przypadków bezpośrednich zetknięć. Zgodnie z tym, przy rozpatrywaniu zagadnienia szkodliwego oddziaływania linii elektroenergetycznych na linie telekomunikacyjne bierze się pod uwagę głównie linie wysokich napięć, tj. o napięciu roboczym powyżej 1 kV, oraz linie trakcji elektrycznej bez względu na wysokość napięcia.

Pod względem rodzaju prądu linie elektroenergetyczne można podzielić na linie prądu zmiennego o częstotliwości przemysłowej 50 Hz lub 60 Hz (USA) i częstotliwości stosowanej niekiedy w trakcji elektrycznej $16 \frac{2}{3}$ Hz lub 25 Hz oraz na linie prądu stałego używane w trakcji elektrycznej i linie prądu stałego stosowane w niektórych rzadkich przypadkach do przesyłania energii elektrycznej kablami podmorskimi.

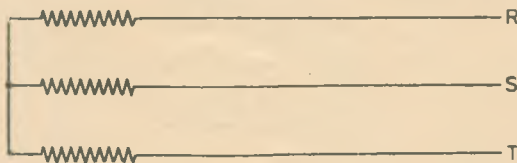
Zakłócenia transmisji wywoływane w liniach telekomunikacyjnych przez linie elektroenergetyczne, tak prądu zmiennego jak i stałego, pochodzą głównie od składowych harmonicznych prądu lub napięcia o częstotliwościach akustycznych powstających w maszynach (generatory, silniki itp.), w urządzeniach (transformatory, przetworniki jonowe itp.) i w samych liniach (zjawisko ulotu). Sporadycznie powstające iskrzenia na liniach elektroenerge-

tycznych mogą powodować zakłócenia w kanałach telefoni nośnej.

Pod względem stopnia oddziaływania można linie elektroenergetyczne podzielić na linie symetryczne i niesymetryczne.

Elektroenergetyczne linie symetryczne

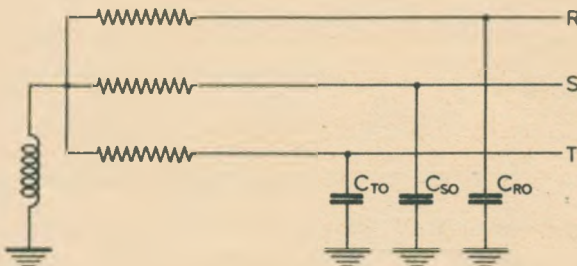
Do linii symetrycznych zalicza się spotykane w praktyce linie prądu zmiennego trójfazowe i jednofazowe.



Rys. 1. Sieć z izolowanym punktem zerowym

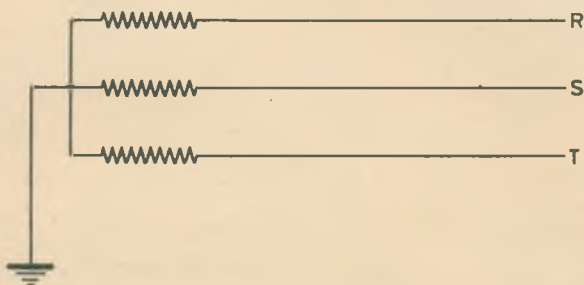
Podczas normalnej pracy linii symetrycznej jej zewnętrzne oddziaływanie elektryczne i magnetyczne praktycznie jest nieznaczne, jeśli w normalnej eksploatacji będzie zachowana symetria elektryczna napięć i prądów w poszczególnych fazach. Natomiast zachwianie tej symetrii, np. skutkiem zwarcia doziemnego, powoduje wzmożone oddziaływanie linii elektroenergetycznej na zewnątrz.

Linie trójfazowe wysokiego napięcia dzielą się na dwie



Rys. 2. Sieć kompensowana

zasadnicze grupy, a mianowicie na linie pracujące w układzie z izolowanym punktem zerowym (rys. 1) lub kompensowane (rys. 2) oraz na linie pracujące w układzie ze skutecznie uziemionym punktem zerowym (rys. 3).



Rys. 3. Sieć z uziemionym punktem zerowym

W Polsce są stosowane sieci trójfazowe prądu zmiennego następujących rodzajów:

- z izolowanym punktem zerowym lub kompensowane o napięciach 15 kV i 30 kV; rozgałęzione sieci kablowe są zwykle kompensowane;

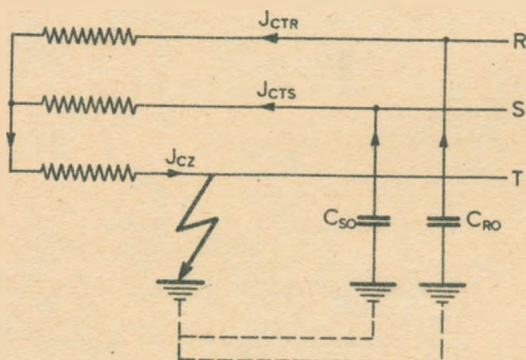
- kompensowane o napięciach 40 kV i 60 kV (głównie na terenach zachodnich i północnych);

- z uziemionym punktem zerowym o napięciach 110 kV, 220 kV i 400 kV (linie najwyższych napięć).

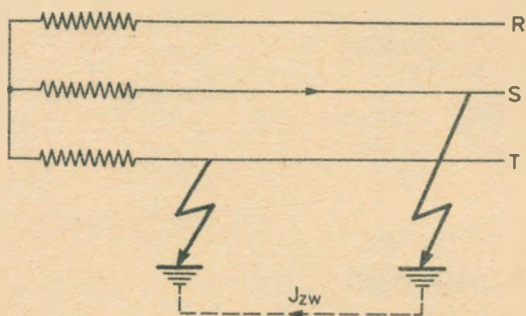
Linie wysokiego napięcia poniżej 15 kV są zawsze z izolowanym punktem zerowym. Linie niskiego napięcia, pracujące w układzie czteroprzewodowym 380/220 V, mają punkt zerowy uziemiony.

Zachwianie symetrii w liniach trójfazowych, jak już wspomniano poprzednio, wywołuje zwiększone oddziaływanie przede wszystkim magnetyczne. Tego rodzaju zjawisko jest najczęściej wywołane zwarcie doziemnym linii elektroenergetycznej.

Przy wystąpieniu jednofazowego zwarcia doziemnego w linii elektroenergetycznej, pracującej w układzie z punktem zerowym izolowanym (rys. 4), napięcie faz nieuszkodzonych wzrasta do napięcia międzyfazowego, przy czym w



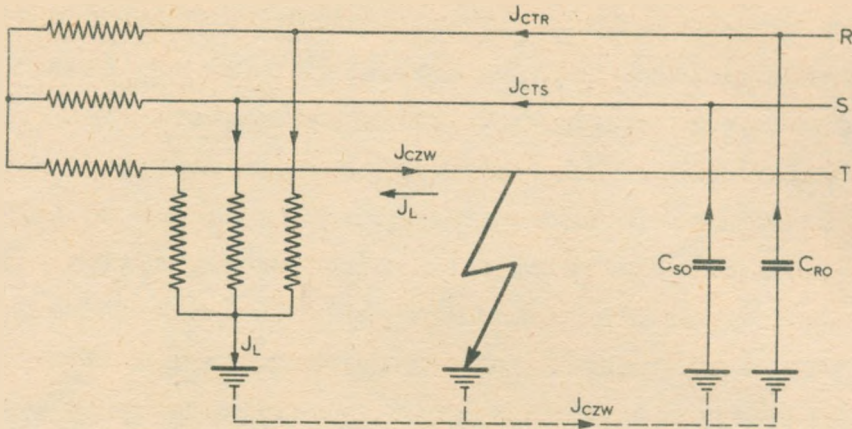
Rys. 4. Zwarcie doziemne linii z izolowanym punktem zerowym



Rys. 5. Zwarcie dwu faz w linii z izolowanym punktem zerowym

obwodzie zwarcia płynie prąd zwarciový o stosunkowo niedużej wartości. W sieciach napowietrznych prądy zwarciové mogą mieć natężenie do kilkudziesięciu amperów, natomiast w rozległych sieciach kablowych prądy zwarciové mogą być rzędu kilkuset amperów.

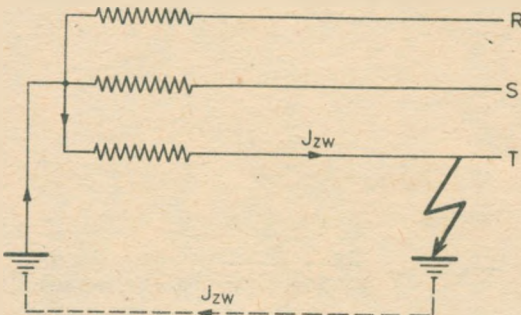
Przy dużych natężeniach prądów zwarciovych w tego rodzaju liniach, jednofazowe zwarcie doziemne (rys. 4) na skutek występujących przepięć, powodowanych przez przerywane zwarcia łukowe, może przejść w zwarcie dwu



Rys. 7. Kompensacja za pomocą transformatora Baucha

niu energii elektrycznej odbiorcom, jeśli nie są połączone z podwójnymi zwarciami doziemnymi i dlatego mogą trwać kilka czy nawet kilkanaście godzin. Stąd też oddziaływanie linii elektroenergetycznych na linie telekomunikacyjne w takich przypadkach może trwać stosunkowo długo.

W sieciach z uziemionym punktem zerowym w przypadku zwarcia doziemnego jednej fazy (rys. 8) prąd zwarciovowy może osiągnąć bardzo dużą wartość (do kilkudziesięciu kiloamperów), a zatem może oddziaływać szczególnie niebezpiecznie na sąsiadujące z linią elektroenergetyczną



Rys. 8. Zwarcie doziemne linii z izolowanym punktem zerowym

tory telekomunikacyjne drogą sprzężenia indukcyjnego (oddziaływanie magnetyczne).

Czas wyłączenia zwarć doziemnych w liniach z bezpośrednio uziemionym punktem zerowym jest bardzo krótki (0,2 - 0,5 sek), co - aczkolwiek skraca czas trwania zagrożenia - nie usuwa jednak jego ujemnych skutków dla ludzi i urządzeń.

Uziemienie punktu zerowego w sieciach przesyłowych najwyższych napięć ma głównie na celu uniknięcie przepięć bardzo niebezpiecznych dla urządzeń z chwilą powstania łuku przerywanego w miejscu zwarcia doziemnego, co ma miejsce w przypadku linii z izolowanym punktem zerowym.

Elektroenergetyczne linie niesymetryczne

Do linii niesymetrycznych należą przede wszystkim linie trakcji elektrycznej, gdzie jednym przewodem jest przewód trakcyjny (napowietrzny), a rolę drugiego przewodu spełniają szyny kolejowe i w znacznym stopniu również ziemia.

Linie trakcji elektrycznej prądu stałego stosowane w Polsce mają napięcie robocze 3 kV. W wielu krajach istnieje trakcja elektryczna prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz lub 60 Hz i napięciach od kilkunastu do kilkudziesięciu kV. Linie trakcji elektrycznej prądu zmiennego o częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ Hz lub 25 Hz pracują przy napięciach rzędu kilku kV.

W normalnym stanie pracy linie trakcyjne, jako niesymetryczne, wywierają silne oddziaływanie na sąsiednie przewody telekomunikacyjne. Stosunkowo najsłabsze oddziaływanie zewnętrzne powodują linie prądu stałego. Oddziaływanie to ma charakter głównie zakłóceń transmisji, powodowanych przez składowe zmienne (harmoniczne) prądu stałego, otrzymywanego zwykle drogą prostowania prądu zmiennego o częstotliwości przemysłowej. Stosowane ze strony trakcji elektrycznej środki do zmniejszenia zakłóceń polegają na włączaniu układów wygładzających (filtrów) w prostownikach zasilających trakcję.

Oddziaływanie niebezpieczne linii trakcyjnych prądu stałego na sąsiadujące z nimi linie telekomunikacyjne może wystąpić podczas zwarć w linii trakcyjnej lub przy rozruchu i wyłączaniu silników. Oddziaływanie takie jednak najczęściej sprowadza się do uderzeń akustycznych.

Bardzo silne oddziaływanie na linie telekomunikacyjne wywierają linie trakcji elektrycznej prądu zmiennego, zwłaszcza o częstotliwości przemysłowej, gdzie stosowane są napięcia 25 kV i wyższe¹⁾. Oddziaływanie linii trakcji elektrycznej prądu zmiennego może, w pewnych warunkach, mieć zasięg do 6 km.

Fakt występowania bardzo silnego i o dalekim zasięgu oddziaływania trakcji elektrycznej prądu zmiennego na

¹⁾ w tym systemie trakcji prąd zmienny doprowadzany jest do lokomotywy, w której ulega on - po obniżeniu napięcia - wyprostowaniu w prostownikach (rtęciowych lub krzemowych) i jako prąd stały służy do napędu.

linie telekomunikacyjne musi być brany pod uwagę przy rozważaniu celowości z punktu widzenia ekonomicznego stosowania tego systemu trakcji. Nieuniknione bowiem wysokie koszty, związane z ochroną linii telekomunikacyjnych przed oddziaływaniem linii trakcyjnych prądu zmiennego, mogą w pewnych okolicznościach przekreślić korzyści wynikające z jej zastosowania.

Środki zaradcze po stronie trakcji prądu zmiennego, zmierzające do zmniejszenia szkodliwego jej oddziaływania, mogą polegać na zastosowaniu transformatorów ssących instalowanych na linii, co jednak dość znacznie komplikuje sieć trakcyjną.

Wreszcie należy wspomnieć o liniach prądu stałego stosowanych do przesyłania energii elektrycznej za pomocą kabli podmorskich. W liniach takich, w przypadku wykorzystania ziemi (a właściwie wody morskiej) jako drugiego przewodu, należy się liczyć poważnie z oddziaływaniem na linie telekomunikacyjne. Dotychczas istnieje tylko jedna tego rodzaju linia łącząca Szwecję z Danią. W innej, podobnej linii przesyłowej między Anglią i Francją zastosowano układ dwukablowy, tj. w zasadzie symetryczny.

ODDZIAŁYWANIE POWODUJĄCE ZAKŁÓCENIA TRANSMISJI TELEFONICZNEJ, SYGNALIZACJI I KOMUTACJI ORAZ EKSPLOATACJI TELEGRAFICZNEJ

Zakłócenia obniżające jakość transmisji telefonicznej są powodowane przez oddziaływanie elektryczne i ma-

gnetyczne. Rozróżnia się przy tym oddziaływanie bezpośrednie oraz oddziaływanie będące wynikiem asymetrii toru telekomunikacyjnego w stosunku do linii elektroenergetycznej i do ziemi.

Warunek zachowania symetrii toru telefonicznego względem ziemi i sąsiadującej linii elektroenergetycznej wyklucza oczywiście stosowanie jedнопrzewodowych torów telefonicznych współzbieżnych, jeśli istnieje lub przewiduje się takie sąsiedztwo. Dwuprzewodowe tory powinny mieć przewody wykonane z jednakowego materiału o tym samym przekroju. Połączenia i układy zabezpieczające włączone do obydwu przewodów powinny mieć oporności stałe i jednakowe. Dotyczy to również symetrii pojemnościowej i indukcyjnej obydwu przewodów. Tory pupinizowane powinny mieć zatem równomiernie rozłożone indukcyjności dodatkowe, a jeśli w specjalnych przypadkach uziemia się środek liniowego uzwojenia transformatora, przyłączonego do toru pupinizowanego, to należy włączyć między ziemią i środkiem uzwojenia liniowego oporność w celu ograniczenia natężenia prądu, który może przepływać w przewodach, do wartości nie powodującej zmiany elektrycznych właściwości cewek pupinowskich.

Spełnienie warunku symetrii odnosi się także do upływności, skąd wynika konieczność właściwego utrzymania linii pod względem oporności izolacji. Jeśli istnieje urządzenie telefoniczne, posiadające znaczną asymetrię w stosunku do ziemi, zwłaszcza w stanie rozmowy, to powinno być ono przyłączone do toru napowietrznego lub kablowego za pośrednictwem transformatora.

Ogólnie biorąc, podatność torów telekomunikacyjnych na zakłócenia, powodowane przez sąsiednie linie elektroenergetyczne, zależy od warunków budowy i utrzymania oraz od sposobu wyposażenia i eksploatacji linii telekomunikacyjnych.

Zakłócające działanie wywierane na rozmowę telefoniczną przez siły elektromotoryczne pochodzenia zewnętrznego, występujące w łączu telefonicznym, może być scharakteryzowane ilościowo przez wartość siły elektromotorycznej o częstotliwości 800 Hz, powodującej u osoby o przeciętnych właściwościach słuchu taki sam efekt zakłócający, jaki wywołują siły elektromotoryczne pochodzenia zewnętrznego. Doświadczenie wykazało, jak wiadomo, że składowe sinusoidalne o różnych częstotliwościach i o tej samej amplitudzie nie wywierają identycznego działania zakłócającego i dlatego przy badaniach zakłóceń przyjmuje się napięcie psofometryczne, uwzględniające różne "ważkości" dla różnych częstotliwości.

Napięcie psofometryczne między dowolnymi punktami układu telefonicznego, narażonego na oddziaływanie linii elektroenergetycznej, określa się wzorem:

$$U_p = \frac{1}{P_{800}} \sqrt{\sum (P_f \cdot U_f)^2}$$

gdzie:

U_p - napięcie psofometryczne,

U_f - składowa napięcia zakłócającego o częstotliwości f , spowodowana oddziaływaniem linii elektroenergetycznej,

P_f - współczynnik psfometrycznej ważkości czę-
stotliwości f .

Przy obliczaniu psfometrycznej SEM zakłóceń na od-
cinkach zbliżeń i skrzyżowań linii telekomunikacyjnych
z linią elektroenergetyczną bierze się pod uwagę: napię-
cie znamionowe linii elektroenergetycznej, odległość jej
od linii telekomunikacyjnej, wysokość zawieszenia prze-
wodów linii telekomunikacyjnej nad ziemią, odległość
między przewodami linii elektroenergetycznej oraz dłu-
gość nieskompensowanego odcinka toru telekomunikacyjnego.

Tą ostatnią wielkością jest maksymalny odcinek napo-
wietrznego toru nie zawierający skrzyżowań (transpozy-
cji) przewodów, co wynika z przyjętego układu krzyżowań.

Poza tym uwzględnia się szereg współczynników, a mian-
owicie:

- Telefoniczny współczynnik kształtu krzywej napięcia
linii elektroenergetycznej, którym jest stosunek napię-
cia zakłócającego równoważnego (tj. odpowiadającego na-
pięciu o częstotliwości 800 Hz) do napięcia znamionowe-
go linii elektroenergetycznej. Wartość tego współczynni-
ka zależy głównie od rodzaju odbiorników, którymi jest
obciążona linia. Niekorzystny przypadek zachodzi wów-
czas, gdy linia jest obciążona prostownikami.

- Współczynnik podatności toru na zakłócenia zależny
od stopnia asymetrii toru w stosunku do ziemi. Wartości
tego współczynnika mogą się wahać w szerokich granicach
w zależności od stanu elektrycznego torów telekomunika-
cyjnych.

- Współczynnik ekranowania elektrycznego, którym jest stosunek napięcia wzbudzonego w przewodzie linii telekomunikacyjnej, za pośrednictwem sprzężeń elektrycznych przy istnieniu czynników ekranujących do napięcia, które mogłoby powstać w tym samym przewodzie przy braku czynników ekranujących.

Obliczenia oddziaływania zakłócającego są na ogół dość skomplikowane zwłaszcza, że prócz oddziaływania bezpośredniego trzeba brać pod uwagę zakłócenia wynikające z asymetrii.

Orientacyjnie można określić zasięg oddziaływania linii energetycznej, w warunkach jej normalnej pracy, ze wzoru:

$$a = \frac{2}{3} \sqrt{U_n \delta}$$

gdzie:

a - odległość linii telekomunikacyjnej od linii elektroenergetycznej w metrach; w przypadku odcinka ukośnego zbliżenie a jest odległością równoważną,

U_n - napięcie znamionowe linii elektroenergetycznej w woltach,

δ - średnia geometryczna odległość między przewodami fazowymi linii elektroenergetycznej w metrach.

Podstawowym środkiem zaradczym przed zakłóceniami transmisji telefonicznej jest zachowanie symetrii prze-

wodów toru względem ziemi i innych przewodów. Konieczne jest jednakże sprawdzenie drogą pomiarów i obliczeń czy w projektowanych warunkach zbliżenia linii telekomunikacyjnej z linią elektroenergetyczną nie wystąpią zakłócenia przekraczające dopuszczalną wartość. Według zaleceń CCITT przyjęto, że wypadkowa psofometryczna siła elektromotoryczna zakłóceń spowodowanych oddziaływaniem magnetycznym i elektrycznym (bądź tylko jednym z nich) zespołu linii elektroenergetycznych na jedną lub kilka części łańcucha torów telekomunikacyjnych, łączących aparat abonencki z centralą międzynarodową, nie powinna przekraczać 1 mV. Wartość ta odnosi się do zacisków liniowych aparatu abonenckiego (w stanie rozmowy) przy założeniu, że urządzenia telekomunikacyjne, wchodzące w skład samego łącza, są doskonale symetryczne w stosunku do ziemi. W każdej krajowej sieci można ustalić te centrale, w których pewna liczba torów doprowadzonych jest w praktyce pozbawiona zakłóceń powodowanych przez linie elektroenergetyczne. W przypadku toru zawierającego wzmacniaki sprawdza się poszczególne odcinki wzmacniakowe.

ZAKŁÓCENIA W NAWIETRZNYCH LINIACH TELEFONICZNYCH

Przy projektowanych zbliżeniach nawiętrznych linii telekomunikacyjnych z nawiętrznymi liniami elektroenergetycznymi przesyłowymi i trakcyjnymi powinna być obliczana wypadkowa wartość psofometrycznej SEM powodowanej oddziaływaniem elektrycznym i magnetycznym w nor-

malnych warunkach pracy linii elektroenergetycznej przesyłowej lub trakcyjnej.

Wypadkową SEM oblicza się jako pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów SEM składowych.

W przypadku linii elektroenergetycznej z punktem zerowym uziemionym oblicza się wartość psfometrycznej SEM zakłóceń wywołanych oddziaływaniem elektrycznym w normalnych warunkach pracy linii elektroenergetycznej. Jeżeli idzie o oddziaływanie magnetyczne, to bierze się pod uwagę zakłócenia wywołane przez prądy resztkowe przepływające w normalnych warunkach pracy linii elektroenergetycznej na odcinku zbliżenia.

W przypadku linii z izolowanym punktem zerowym lub kompensowanej obliczenia dokonuje się podobnie dla normalnych warunków pracy, jeśli linia elektroenergetyczna jest wyposażona w urządzenia powodujące wyłączenie jednofazowego zwarcia doziemnego w czasie krótszym niż 10 sek. Natomiast przy braku takich urządzeń powinno się uwzględniać również zakłócenia powstające podczas jednofazowego zwarcia doziemnego.

Jeżeli w pewnych okolicznościach byłoby zbyt trudne lub zbyt kosztowne zachowanie wystarczająco dużej odległości między linią elektroenergetyczną i linią telekomunikacyjną w celu nieprzekroczenia wartości granicznej 1 mV SEM psfometrycznej (wartość ta powinna być przestrzegana, jeżeli tor, wykorzystywany w zakresie częstotliwości akustycznych, może wchodzić w skład łącza dalekosiężnego), to może zajść konieczność zastosowania w drodze wyjątku innych środków zaradczych, polegających

np. na zastosowaniu pewnych specjalnych urządzeń na napowietrznych liniach telekomunikacyjnych lub na zastosowaniu innego typu konstrukcji linii albo zmianie sposobu jej eksploatacji (np. zastosowanie telefonii nośnej).

ZAKŁÓCENIA W KABLOWYCH LINIACH TELEFONICZNYCH

Oddziaływanie elektryczne na wszelkiego rodzaju podziemne linie kablowe oraz kable napowietrzne o uziemionej powłoce metalowej lub posiadające uziemiony ekran jest uważane za znikome. Natomiast oddziaływanie magnetyczne powinno być brane pod uwagę we wszystkich rodzajach kabli. Jeśli jednak tor w kablu jest dwuprzewodowy, macierzysty lub pochodny (utworzony z dwu skręconych wzajemnie par), to można pominąć oddziaływanie wynikające z asymetrii tych torów w stosunku do linii elektroenergetycznej.

ZABURZENIA W SYGNALIZACJI I KOMUTACJI

Systemy sygnalizacji (wybierania zdalnego) prądem zmiennym o częstotliwości przemysłowej, realizowane na torach izolowanych od ziemi i o dobrej symetrii w stosunku do torów sąsiednich, są w ogóle mało podatne na oddziaływanie elektryczne i magnetyczne linii elektroenergetycznych. Natomiast w systemach sygnalizacji (wybierania zdalnego) prądami o częstotliwościach akustycznych mogą wystąpić zaburzenia w działaniu odbiorników sygnałów na skutek wspomnianego oddziaływania.

W odniesieniu do systemów sygnalizacji prądem stałym, wobec dużej ich różnorodności, trudno jest ustalić środki zaradcze. Jednakże można stwierdzić, że podatność tych systemów na oddziaływanie linii elektroenergetycznych jest szczególnie duża wówczas, gdy tory, po których przesyłane są sygnały, wykorzystują do tego celu ziemię (lub powłokę kabla). W tego rodzaju przypadkach można było stwierdzić, że już mała wartość SEM wzdłużnej, o częstotliwości przemysłowej (np. ok. 5 V), wystarczała do spowodowania zaburzeń w sygnalizacji. Zaburzenia te mogą występować zarówno w przypadku zbliżeń z liniami elektroenergetycznymi linii telekomunikacyjnych napowietrznych, jak i kablowych.

ZAKŁÓCENIA W EKSPLOATACJI TELEGRAFICZNEJ

W przypadku telegrafii prądem zmiennym o częstotliwości pasma telefonii naturalnej, jeżeli łączy są analogiczne pod względem wyposażenia i sposobu eksploatacji do łączy telefonicznych, to stosuje się te same środki zaradcze, jak w łączach telefonicznych.

Niezależnie od stosowanego systemu urządzeń telegraficznych będą zabezpieczone przed zakłóceniami, pochodzącymi z linii elektroenergetycznych, dwuprzewodowe łączy telegraficzne całkowicie symetryczne, jeżeli tor telegraficzny jest w kablu albo - w przypadku linii napowietrznej - posiada transpozycje przewodów.

Niekiedy zmniejszenie szkodliwych zakłóceń można uzyskać przez podwyższenie napięcia telegraficznego w takim

stopniu, na jaki pozwala bezpieczeństwo personelu i urządzeń.

Jeżeli aparaty telegraficzne pracują na jedнопrowodowym torze, to zniekształcenia transmisji telegraficznej występują wówczas, gdy skuteczna wartość prądu pochodzenia zewnętrznego, wywołanego oddziaływaniem magnetycznym lub elektrycznym i przepływającego przez jeden z aparatów telegraficznych, przekracza 0,1 wartości natężenia prądu telegraficznego płynącego w normalnych warunkach pracy.

ODDZIAŁYWANIE NIEBEZPIECZNE NA LINIE I URZĄDZENIA TELEKOMUNIKACYJNE

Oddziaływanie niebezpieczne linii elektroenergetycznych na linie i urządzenia telekomunikacyjne może być powodowane zarówno przez sprzężenie pojemnościowe (elektryczne), jak i indukcyjne (magnetyczne).

Niebezpieczne oddziaływanie elektryczne w praktyce występować może w sposób ciągły przy długich zbliżeniach i niewielkich odległościach między linią elektroenergetyczną a linią telekomunikacyjną, zwłaszcza w przypadku linii elektroenergetycznych niesymetrycznych (np. trakcyjnych) lub linii bardzo wysokiego napięcia. Powoduje ono obecność potencjałów elektrycznych na przewodach, a zatem - napięcie dotykowe niebezpieczne dla osób zatrudnionych przy budowie i konserwacji linii lub urządzeń telekomunikacyjnych.

Rysunek 9 podaje przykładowo wykres potencjału prze-

wodu telekomunikacyjnego w stosunku do ziemi w zależności od odległości między linią telekomunikacyjną a linią trakcji prądu zmiennego 50 Hz o napięciu 22,5 kV, obliczoną na podstawie wzoru:

$$U_2 = 0,4 U_1 \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} \cdot \frac{l_z}{l}$$

gdzie:

U_1 - napięcie linii oddziaływującej,

U_2 - potencjał przewodu telekomunikacyjnego w stosunku do ziemi,

a - odległość między linią trakcyjną i linią telekomunikacyjną w metrach,

b - wysokość zawieszenia przewodu telekomunikacyjnego w metrach,

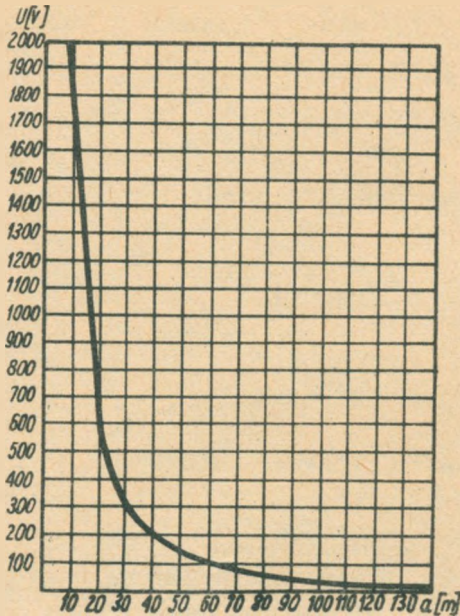
l_z - długość odcinka zbliżenia,

l - całkowita długość przewodu telekomunikacyjnego.

W przykładzie przyjęto, że $l_z = l$.

Jak widać z wykresu, przy odległościach między liniami rzędu 10-20 m potencjał przewodu telekomunikacyjnego w stosunku do ziemi waha się w granicach 650-1750 V. Wraz ze wzrostem odległości między liniami potencjał ten szybko maleje, np. przy odległościach rzędu 75-80 m wyniesie on 50-20 V.

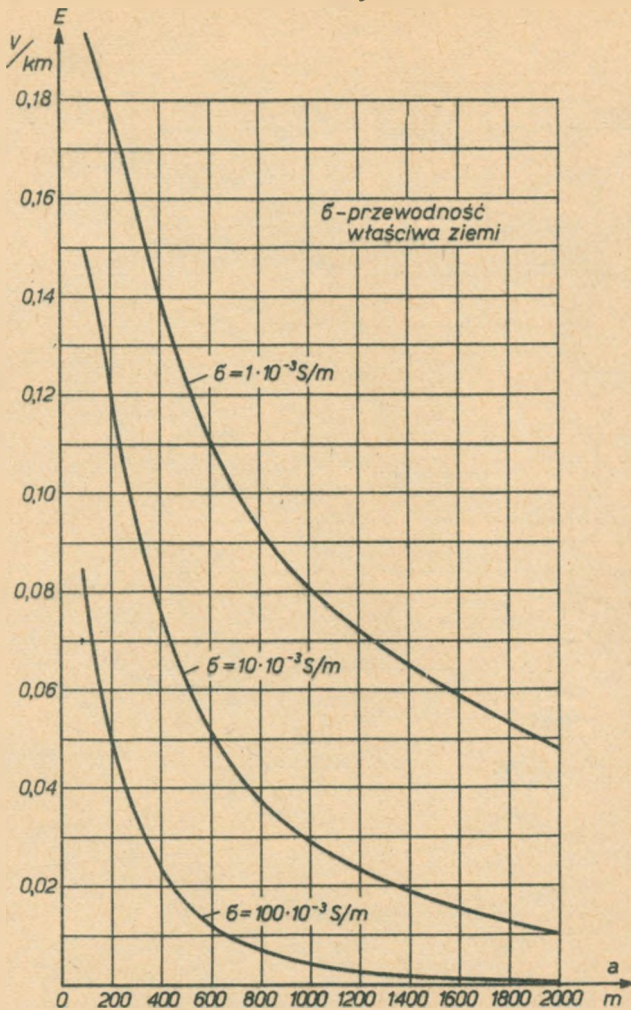
Niebezpieczne oddziaływanie magnetyczne w praktyce występuje podczas zwarć doziemnych, głównie na liniach



Rys. 9. Wykres potencjału przewodu w stosunku do ziemi w zależności od odległości między liniami

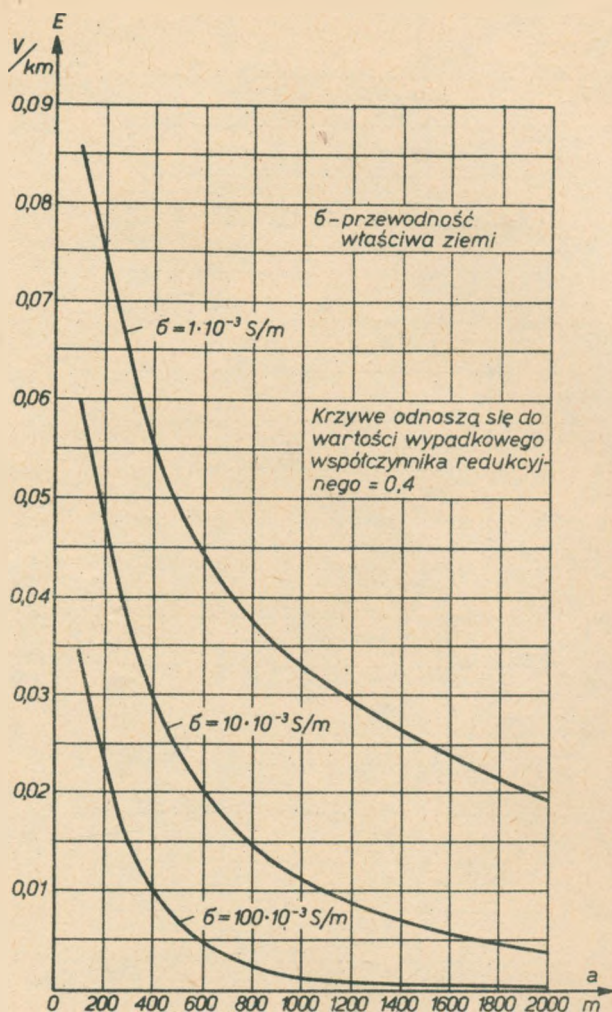
elektroenergetycznych z uziomionym punktem zerowym, a więc w przypadku zbliżeń z liniami najwyższych napięć. Niebezpieczeństwo to jest tym większe, im większy jest prąd zwarcia doziemnego. Poza tym zależy ono od długości zbliżenia i od jednostkowej indukcyjności wzajemnej obydwu linii, która określa sprzężenie między obwodami: przewód elektroenergetyczny - ziemia i przewód telekomunikacyjny - ziemia. Jednostkowa indukcyjność wzajemna zależy z kolei od odległości między liniami, od częstotliwości prądu oraz przewodności właściwej ziemi.

Zależność indukcyjności wzajemnej od przewodności ziemi wynika stąd, że prąd zwarciaowy płynąc przez ziemię zajmuje pewien obszar znajdujący się pod linią elektroenergetyczną, przy czym im dalej jest położony rozpatrywany punkt od tej linii (w głąb lub "wszerz), tym mniej-



Rys. 10. Zależność wzdłużnej SEM, indukowanej na linii napowietrznej, od odległości między liniami i przewodności właściwej ziemi

sza gęstość prądu wystąpi w tym punkcie. Im mniejsza jest przewodność ziemi, tym większy obszar w ziemi zajmują rozprzyskujące się w niej prądy. Natomiast przy większej przewodności ziemi prąd skupia się bliżej powierzchni ziemi wzdłuż linii elektroenergetycznej, zajmując przy tym znacznie mniejszy obszar. W zależności od rozmiarów



Rys. 11. Zależność wzdłużnej SEM, indukowanej na linii kablowej, od odległości między liniami i przewodności właściwej ziemi

tego obszaru kształtuje się odpowiednio rozkład pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd zwarciovowy. Zasięg tego pola zależy więc od przewodności właściwej ziemi w rozpatrywanym terenie. Wypływa stąd wniosek, że im mniejsza jest przewodność ziemi, tym więcej sił pola magnetycznego przenikać będzie przez obwód przewód telkomu-

nikacyjny - ziemia, a więc tym większa będzie indukowana w nim SEM wzdłużna.

Krzywe zamieszczone na rys. 10 i 11 wyrażają zależność wzdłużnej SEM, indukowanej na napowietrznych i kablowych liniach telekomunikacyjnych wskutek magnetycznego oddziaływania linii elektroenergetycznej (50 Hz), od odległości między liniami, przewodności właściwej ziemi oraz współczynnika redukcyjnego.

Krzywe te zostały obliczone na podstawie wzoru, który w uproszczonej postaci przedstawia się następująco:

$$E = 2 \pi f M I l_z k$$

gdzie:

- E - siła elektromotoryczna wzdłużna,
- f - częstotliwość podstawowa (dla linii elektroenergetycznych przesyłowych $f = 50$ Hz),
- M - indukcyjność wzajemna jednostkowa w H/km,
- I - natężenie oddziaływującego prądu w A,
- l_z - długość zbliżenia w km,
- k - wypadkowy współczynnik redukcyjny (patrz str. 35).

W przypadku napowietrznej linii telekomunikacyjnej $k = 1$.

Podane krzywe odnoszą się do prądu oddziaływującego (I) o natężeniu 1 A i długości zbliżenia (l_z) 1 km. Mogą być one wykorzystane do orientacyjnego określenia wartości SEM wzdłużnej drogą pomnożenia wziętych z krzywych

wartości SEM przez odpowiednie wartości prądu i długość zbliżenia.

W przypadku np. równoległego zbliżenia linii telekomunikacyjnej do linii elektroenergetycznej na długość $l_z = 10$ km, przy odległości między liniami $a = 200$ m i prądzie oddziaływującym $I = 3000$ A, wartość SEM wzdłużnej wyniesie przy przewodności właściwej ziemi $\delta = 10 \cdot 10^{-3}$ S/m;

$$E = 10 \cdot 3000 \cdot 0,12 = 3600 \text{ V}$$

Przy analogicznym zbliżeniu linii kablowej o współczynniku redukcji powłoki i opancerzenia $= 0,4$.

$$E = 10 \cdot 3000 \cdot 0,047 = 1410 \text{ V.}$$

ODDZIAŁYWANIE NIEBEZPIECZNE NA NAWIETRZNE LINIE TELEKOMUNIKACYJNE

Stopień zagrożenia personelu i urządzeń zależy od rodzaju linii telekomunikacyjnej i jej wyposażenia, jak również od wartości napięcia, natężenia prądu lub też ładunku elektrycznego pojawiającego się po stronie telekomunikacyjnej wskutek sąsiedztwa z linią elektroenergetyczną.

Graniczne wartości napięć, jakich należy przestrzegać, można ustalić, biorąc za podstawę wartości sił elektromotorycznych wzdłużnych indukowanych w przewodach linii telekomunikacyjnej.

Niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego występuje

wówczas, gdy przez ciało człowieka będącego w zetknięciu galwanicznym z linią lub urządzeniem telekomunikacyjnym przepływa prąd o wartości skutecznej, przekraczającej pewną granicę zależną głównie od drogi przepływu prądu w ciele i od stanu fizjologicznego danego osobnika.

W przypadku oddziaływania elektrycznego przyjmuje się jako graniczną dopuszczalną wartość 15 mA w warunkach długotrwałego przepływu prądu zmiennego przez ciało człowieka stykającego się jednocześnie z ziemią i przewodami linii telekomunikacyjnej¹⁾. Przyjmuje się poza tym, że istnieje niebezpieczeństwo porażenia człowieka pozostającego w jednoczesnym zetknięciu z ziemią i przewodami linii telekomunikacyjnej, w których występuje indukowana siła elektromotoryczna wzdłużna o wartości skutecznej, przekraczającej 60 V w normalnych warunkach pracy linii oddziaływującej. Jednak w pewnych szczególnych okolicznościach, jeżeli na to pozwala eksploatacja urządzeń telekomunikacyjnych, jest możliwe podwyższenie wartości dopuszczalnej do 150 V pod warunkiem zastosowania specjalnych środków ostrożności, polegających na wydaniu specjalnych instrukcji personelowi oraz oznaczeniu w urządzeniach, włączonych do torów, tych dostępnych części, na których mogą wystąpić niebezpieczne potencjały.

Powyższe wskazania, oparte na wytycznych CCITT, od-

¹⁾ Patrz również załącznik.

noszą się do oddziaływania linii elektroenergetycznych będących w normalnych warunkach pracy. Natomiast w odniesieniu do niebezpieczeństwa, występującego na liniach telekomunikacyjnych, w momencie powstania zwarcia w linii elektroenergetycznej, przyjęto jako graniczną skuteczną wartość SEM wzdłużnej 430 V, a w przypadku linii elektroenergetycznej o dużej pewności pracy¹⁾ - 650 V.

W odniesieniu do linii elektroenergetycznych prądu stałego, np. trakcyjnych, uznaje się jako graniczną wartość szczytową SEM wzdłużnej 1000 V.

Na liniach o słupach metalowych lub żelbetowych oraz na słupach z odciągami lub uziemionymi przewodami piorunochronowymi konieczne jest zachowanie szczególnych środków ochronnych podczas wykonywania robót, nawet jeżeli nie jest przewidywane przekroczenie wspomnianych wyżej wartości granicznych.

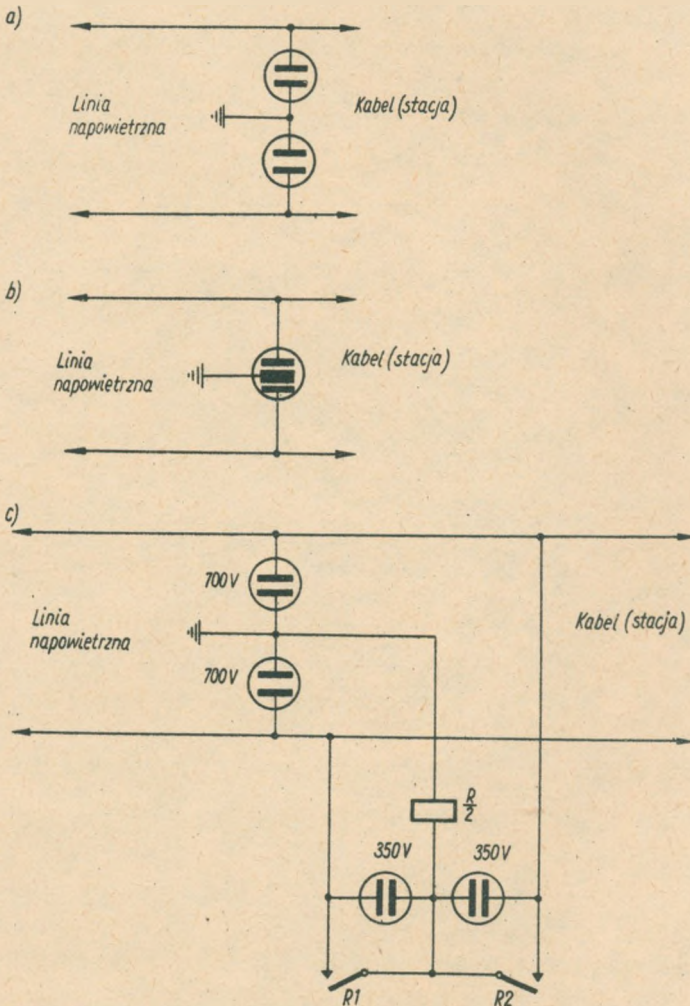
Jako środki zaradcze przed niebezpiecznym oddziaływaniem linii elektroenergetycznych należy wymienić:

- wybór korzystniejszej trasy linii telekomunikacyjnej lub elektroenergetycznej,
- zastosowanie konstrukcji mechanicznej linii elek-

¹⁾ Liniami elektroenergetycznymi o dużej pewności pracy określa się linie, które są częścią sieci z uziemionym punktem zerowym (poprzez znikomo małą oporność) oraz o takiej konstrukcji, która pozwala przypuszczać, że liczba zwarć doziemnych będzie nieznaczna i czas ich trwania krótki (0,2-0,5 sek).

troenergetycznej wpływającej na zmniejszenie prawdopodobieństwa zwarć doziemnych,

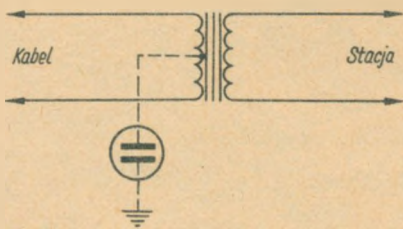
- zwiększenie szybkości działania urządzeń zabezpieczających przed zwarciami,



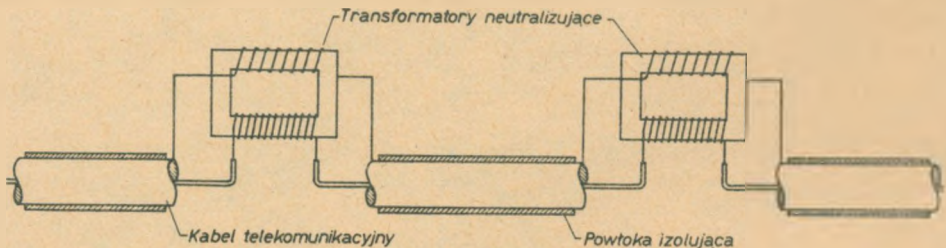
Rys. 12. Obniżanie napięć zjawiających się między przewodami a ziemią: a/ zabezpieczenie odgromnikami dwuelektrodowymi, b/ zabezpieczenie odgromnikiem trójelektrodowym, c/ zabezpieczenie odgromnikami z przekaźnikiem

- zmiany w wyposażeniu i sposobie eksploatacji linii telekomunikacyjnej.

W przypadku linii elektroenergetycznych z uziemionym punktem zerowym bierze się pod uwagę możliwość oddziaływania magnetycznego. Natomiast w odniesieniu do linii z izolowanym punktem zerowym lub kompensowanej uwzględnia



Rys. 13. Transformator oddzielający



Rys. 14. Transformatory neutralizujące

się oddziaływanie elektryczne i magnetyczne, przy czym to ostatnie jest poważne w przypadku podwójnego zwarcia doziemnego.

Środki ochrony w urządzeniach telekomunikacyjnych polegają na zastosowaniu odgromników, odpowiednio rozmieszczonych wzdłuż linii, które mają za zadanie obniżenie napięć zjawiających się między przewodami a ziemią. Odgromniki mogą być poza tym wyposażone w przekaźniki uziemiacze (rys. 12). Celowe też jest stosowanie trans-

formatorów oddzielających (rys. 13) i neutralizujących (rys. 14). Wreszcie jako środek ochronny może służyć skablowanie linii telekomunikacyjnej, co zresztą nie zawsze jest skuteczne, jak wynika z dalszych rozważań.

Przy obliczeniach sprawdzających nie bierze się pod uwagę oddziaływania kablowych linii elektroenergetycznych z izolowanym punktem zerowym, posiadających kable w powłoce metalowej, gdyż prawdopodobieństwo podwójnych zwarcć doziemnych jest na ogół bardzo małe.

ODDZIAŁYWANIE NIEBEZPIECZNE NA KABLOWE LINIE TELEKOMUNIKACYJNE

Oddziaływanie elektryczne na kable telekomunikacyjne z uziemioną powłoką metalową lub ekranem metalowym może być pominięte. To samo odnosi się do wszelkich kabli podziemnych nawet nie posiadających powłoki lub ekranu metalowego. Jednakże oddziaływanie elektryczne powinno być zawsze brane pod uwagę w przypadku kabli napowietrznych bez powłoki lub ekranu metalowego.

Jeśli idzie o oddziaływanie magnetyczne, to zarówno obecność powłoki metalowej lub ekranu metalowego oraz faktu ułożenia kabla w ziemi nie stanowi samo przez się dostatecznego zabezpieczenia przed niebezpieczeństwem spowodowanym zwarcciem doziemnym na linii elektroenergetycznej. Niebezpieczeństwo takie istnieje, jeżeli obliczenia wykażą, że graniczna skuteczna wartość SEM wzdłużnej przekroczyć może 430 V, gdy nie stosuje się środków zaradczych, lub wartość może przekroczyć 60% napię-

cia próby przebicia izolacji żył w stosunku do powłoki kabla - jeżeli są zastosowane środki ochrony (transformatory, odgromniki o dużej obciążalności).

Szczególne zagrożenie wykazują zbliżenia linii telekomunikacyjnych z liniami elektroenergetycznymi pracującymi w układzie z uziemionym punktem zerowym. Są to, jak już wyżej wspomniano, linie 110 kV, 220 kV i 400 kV. Na liniach takich prądy zwarciowe doziemne mogą osiągnąć wartości do 20 kA. Jasne jest więc, że pole magnetyczne wzbudzone przez tak duży prąd może indukować w przewodach telekomunikacyjnych SEM wzdłużną o wartości kilku tysięcy woltów, podczas gdy wytrzymałość elektryczna izolacji między żyłą kabla a jego powłoką wynosi w kablach dalekosiężnych 1800 - 2000 V, a między żyłami 600 - 1000 V.

Bardzo poważne zagrożenie dla linii telekomunikacyjnych kablowych stwarzają zbliżenia z liniami trakcji elektrycznej prądu zmiennego. Natomiast trakcja elektryczna prądu stałego powoduje zagrożenia jedynie kabli bez powłoki lub ekranu metalowego, albo pokrycia z rur metalowych. Graniczną wartością jest w tym przypadku szczytowa wartość SEM wzdłużnej 1000 V.

Jednym ze skutecznych środków zaradczych przed oddziaływaniem magnetycznym na linie kablowe jest wyposażenie kabla opancerzonego w dobrze przewodzącą powłokę metalową (o małej oporności). Powłoka i pancerz są uziemione w pewnych odstępach (np. co 200 m), tworząc z ziemią zamknięty obwód. Indukowane w powłoce napięcie powoduje przepływ w powłoce prądu, który wzbudza w ży-

łach kabla SEM wzdłużną skierowaną przeciwnie do napięcia pochodzenia zewnętrznego i tym samym powoduje częściową kompensację napięcia występującego między żyłami a powłoką kabla. To ekranujące działanie powłoki i opancerzenia kabla określa się ilościowo współczynnikiem redukcyjnym. Współczynnik redukcyjny (ekranowania magnetycznego) jest to stosunek SEM, zjawiającej się w danych warunkach, do SEM, która zjawiałaby się, gdyby nie istniało działanie kompensujące¹⁾.

Wartość współczynnika redukcyjnego zależy od rodzaju powłoki i opancerzenia oraz od grubości kabla, a poza tym od wartości wzbudzonego napięcia wzdłużnego w powłoce i opancerzeniu kabla na jednostkę jego długości oraz od częstotliwości.

W celu uzyskania korzystnego współczynnika redukcyjnego stosuje się powłoki np. z aluminium oraz opancerzenie o zwiększonej przenikalności magnetycznej. Wartość współczynnika redukcji zwykłych kabli wynosi 0,97-0,3, a w kablach specjalnej konstrukcji 0,1-0,05.

Innym środkiem zaradczym może być również zastosowanie izolacji żył o zwiększonej wytrzymałości elektrycznej. Wreszcie niekiedy celowe może być zastosowanie odgromników, transformatorów oddzielających i neutralizu-

1) Działanie redukcyjne (ekranujące) wywierają również przewody odgromowe linii elektroenergetycznych, szyny kolejowe oraz inne uziemione przedmioty metalowe, znajdujące się w pobliżu linii elektroenergetycznych lub telekomunikacyjnych. Dlatego przy obliczeniach uwzględnia się wypadkowy współczynnik redukcyjny.

jących, jeśli warunki teletransmisyjne na to pozwalają.

**ZAGROŻENIE LINII I URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH
PRZEZ ODDZIAŁYWANIE GALWANICZNE
LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH**

Na niebezpieczne oddziaływanie ze strony urządzeń elektroenergetycznych są narażone w dużym stopniu linie telekomunikacyjne, wchodzące na teren stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć, oraz związane z tymi liniami urządzenia telekomunikacyjne (aparaty, centrale). Należy bowiem liczyć się z możliwością powstania zwarcí doziemnych w urządzeniach elektroenergetycznych i wskutek tego ze wzrostem potencjału uziemienia stacji oraz ziemi na pewnym obszarze otaczającym stację elektroenergetyczną w stosunku do odległego uziemienia o potencjale zerowym. Potencjał uziemienia stacji jest tym większy, im większe jest natężenie prądu zwarciovego i im większa jest oporność uziemienia.

Powstanie różnicy między potencjałem ziemi w pobliżu stacji elektroenergetycznej i potencjałem ziemi w odległym od niej punkcie jest powodem wystąpienia niebezpiecznego napięcia między powłoką kabla a jego żyłami, połączonymi na odległym końcu (np. w centrali) z uziemieniem o potencjale zerowym. Podobne napięcie może wystąpić między uziemioną obudową urządzeń telekomunikacyjnych a częściami tego urządzenia połączonymi galwanicznie z linią, co stwarza zagrożenie dla ludzi korzystających z tego urządzenia.

Analogiczne zjawisko podwyższonego potencjału ziemi występuje w pobliżu słupa (masztu) linii elektroenergetycznej w przypadku powstania zwańca między przewodem fazowym a konstrukcją metalową tego słupa. Jeśli w pobliżu uziemionego masztu linii elektroenergetycznej jest ułożony kabel telekomunikacyjny, to zagraża mu również niebezpieczeństwo uszkodzenia izolacji. Względ ten nakazuje też unikania skrzyżowań z liniami elektroenergetycznymi wysokiego napięcia napowietrznych linii telekomunikacyjnych przy użyciu podziemnych wstawek kablowych. Okazuje się, że bezpieczniejsze jest krzyżowanie za pomocą linii napowietrznej, jeśli istnieje obawa powstania wysokiego potencjału ziemi w miejscu skrzyżowania. Dotyczy to przede wszystkim skrzyżowania z linią wysokiego napięcia, pracującą w sieci z uziemionym punktem zerowym (110 kV, 220 kV, 400 kV).

Trzeba dodać, że maszty i przewody linii elektroenergetycznych są szczególnie narażone na wylądowania atmosferyczne, które pośrednio są powodem zwańc doziemnych na tych masztach.

Środki zaradcze przed niebezpieczeństwem powodowanym podwyższonym potencjałem ziemi polegają na zastosowaniu:

- kabli o korzystnym współczynniku redukcji lub układaniu kabli w rurach metalowych na obszarze zagrożonym,
- kabli w powłoce metalowej pokrytej masą termoplastyczną izolującą lub kabli wyłącznie w powłoce termoplastycznej,

- kabli o zwiększonej wytrzymałości elektrycznej izolacji na przebicie,
- odgromników o dużej obciążalności,
- transformatorów oddzielających o zwiększonej wytrzymałości izolacji (rys. 13),
- transformatorów neutralizujących (rys. 14).

Powłoka kabla telekomunikacyjnego powinna być połączona z uziemieniem stacji elektroenergetycznej w celu zwiększenia działania redukcyjnego powłoki oraz zabezpieczenia przed przeskokiem łuku z uziemienia energetycznego na powłokę kabla.

Niektóre z wyżej podanych środków komplikują pracę urządzeń telekomunikacyjnych, np. odgromniki podczas zadziałania powodują zakłócenia sygnałów, transformatory oddzielające wymagają stosowania układów obejściowych do przesyłania impulsów wybierczych itp.

Po stronie elektroenergetycznej środki zaradcze, zmierzające do ograniczenia wartości spadku napięcia na uziemieniu stacji, sprowadzają się do zmniejszenia oporności uziemienia i zmniejszenia natężenia prądu zwarciowego, co jednak nie jest łatwe do zrealizowania.

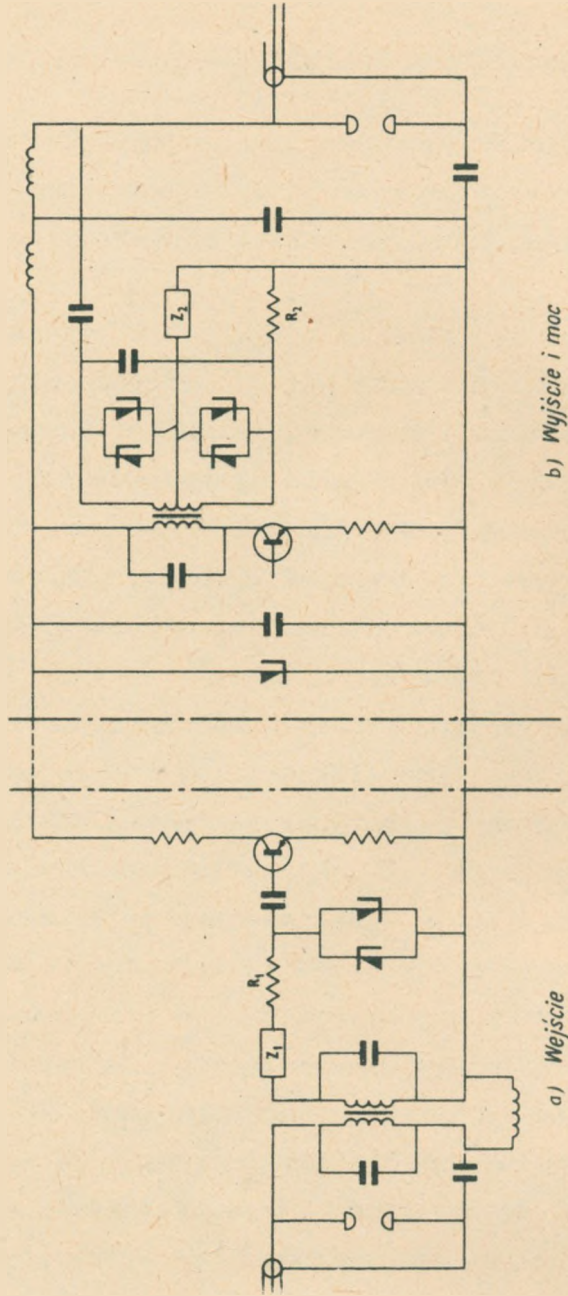
Strefy wysokiego potencjału ziemi dookoła masztów linii elektroenergetycznych mają zasięg kilkudziesięciu metrów przy średnich opornościach właściwych gruntu 50-1000 omometrów i prądach zwarciowych 3-10 kA, a w pobliżu uziemień stacji elektroenergetycznych zasięg ten może osiągnąć kilkaset metrów.

ZAGROŻENIA UKŁADÓW ZDALNEGO ZASILANIA

Szczególnym przypadkiem jest zagrożenie ze strony linii elektroenergetycznych (i wylądowań atmosferycznych) układów zdalnego zasilania wzmacniaków teletransmisyjnych.

Oddziaływanie takie, o charakterze magnetycznym, może spowodować nakładanie się na napięcie zdalnego zasilania napięcia indukowanego, co zmieni warunki zdalnego zasilania wzmacniaków i może spowodować ich uszkodzenie. Niebezpieczeństwo takie zagraża zwłaszcza bardzo poważnie wzmacniakom tranzystorowym ze względu na ograniczoną wytrzymałość elektryczną tranzystorów. Jeżeli zważy się, że liczba wzmacniaków tranzystorowych na danym odcinku zasilania jest większa niż wzmacniaków lampowych (krótsze odcinki wzmacniakowe) lub weźmie się pod uwagę kabel współosiowy o krótkich odcinkach wzmacniakowych, to staje się jasne, jak wielką i długotrwałą szkodę może wyrządzić w kablu zjawienie się przepięcia wywołanego oddziaływaniem zewnętrznym. Sytuację pogarsza jeszcze to, że układy tranzystorowe są - w przypadku zdalnego zasilania prądem stałym - połączone galwanicznie z żyłami kabla. Stwierdzono, że niebezpieczne dla wzmacniaków tranzystorowych mogą być nawet przepięcia spowodowane czynnościami łączeniowymi na sąsiadujących liniach elektroenergetycznych przesyłowych lub trakcyjnych.

W odniesieniu do zdalnego zasilania wzmacniaków tranzystorowych nie mogą obowiązywać, uważane jako dopusz-



Rys. 15. Zabezpieczenie zdalnego zasilania wzmacniaków tranzystorowych

czalne, podane wyżej graniczne wartości SEM wzdłużnych - 430 V względnie 650 V, czy też 1000 V (trakcja prądu stałego), lecz znacznie niższe.

Środkami ochronnymi stosowanymi do zabezpieczenia wzmacniaków tranzystorowych są odgromniki zaworowe (nie podtrzymującego łuku przy obecności napięcia zdalnego zasilania) oraz czułe układy z diodami Zenera (rys.15).

Z uwagi na ujemny wpływ sąsiedztwa linii elektroenergetycznych na zdalne zasilanie, CCITT nie zaleca stosowania współziemnych, a w ogólności niesymetrycznych układów zdalnego zasilania zarówno w systemach tranzystorowych, jak i lampowych.

Zagadnienie ochrony układów zdalnego zasilania przed oddziaływaniem linii elektroenergetycznych i wyładowań atmosferycznych nie zostało jeszcze zadowalająco rozwiązane, zwłaszcza w odniesieniu do kabli współosiowych. Wchodzi tu m.in. w grę problem uziemiania lub nie uziemiania przewodów zewnętrznych par współosiowych, co wiąże się z bezpieczeństwem pracy przy robotach na kablu.

SKRZYŻOWANIA LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH Z LINIAMI ELEKTROENERGETYCZNYMI

Przy skrzyżowaniach napowietrznych linii elektroenergetycznych z liniami telekomunikacyjnymi zachodzi możliwość galwanicznego zetknięcia się tych linii, co oczywiście grozi poważnymi konsekwencjami. Z reguły więc przewody linii telekomunikacyjnych, jako mniej wytrzymałe, powinny być umieszczone pod przewodami linii elektroenergetycznej.

Ostatnio uchwalone zalecenia CCITT w tej sprawie różnią następujące dwa przypadki skrzyżowań:

a. Skablowanie napowietrznej linii telekomunikacyjnej w miejscu skrzyżowania jej z linią elektroenergetyczną. Sposób ten nie jest na ogół polecany, gdyż istnieje niebezpieczeństwo zwiększenia potencjału powłoki kabla w przypadku przerwania przewodu elektroenergetycznego i zetknięcia się go z ziemią, w obszarze gdzie jest zakopany kabel. Takie samo niebezpieczeństwo może powstać w razie zwarcia przewodu elektroenergetycznego z metalowym słupem (masztem) linii elektroenergetycznej znajdującej się w pobliżu kabla. Im krótsza jest wstawka kablowa, wyższe napięcie i większa oporność gruntu, tym większe jest zagrożenie.

W razie konieczności wykonania wstawki kablowej w miejscu krzyżowania powinien być zastosowany kabel z dodatkową powłoką izolacyjną nałożoną na jego powłokę metalową lub kabel całkowicie w powłoce izolacyjnej (plastycznej).

b. Pozostawienie linii telekomunikacyjnej jako napowietrznej. Stosowanie siatek lub przewodów ochronnych między liniami elektroenergetyczną i telekomunikacyjną jest na ogół nieskuteczne. Istotne jest natomiast zachowanie odpowiedniego odstępu między przewodami obu linii, przy czym można zastosować:

- w przypadku skrzyżowania z linią elektroenergetyczną o napięciu do 0,6 kV - wspólne podpory w punkcie

skrzyżowania, przy równoczesnym wzmocnieniu izolatorów, albo zastosować izolowane przewody telekomunikacyjne w prześle skrzyżowania,

- w przypadku skrzyżowania z linią o napięciu powyżej 60 kV - wzmocnioną konstrukcję słupów i dodatkowe umocowanie przewodów linii elektroenergetycznej, tzw. obustrzenia.

W sprawie skrzyżowań z liniami elektroenergetycznymi o napięciach pośrednich między 0,6 kV a 60 kV zalecenia CCITT nie ustalają konkretnych wytycznych. Stwierdzają tylko, że w tych przypadkach może być wskazane zastosowanie niektórych z zabezpieczeń podanych wyżej.

OCHRONA URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH ORAZ PERSONELU ICH OBSŁUGI I UŻYTKOWNIKÓW

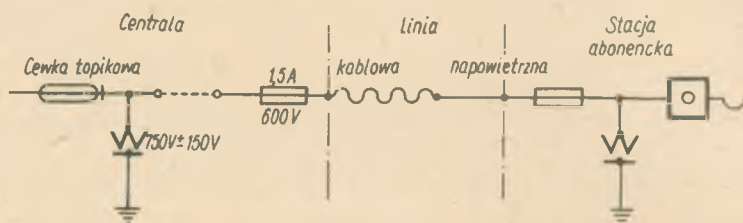
Rozpatrywane wyżej środki zapobiegawcze przed niebezpiecznym oddziaływaniem linii elektroenergetycznych mają na celu uniknięcie tych oddziaływań lub zmniejszenie ich do minimum. Konieczne jest przy tym sprawdzenie drogą obliczeń i pomiarów, czy niebezpieczeństwo takie zagraża.

Żaden jednak ze środków zastosowanych na liniach nie może całkowicie zapobiec powstawaniu napięć niebezpiecznych dla urządzeń i ludzi lub prądów mogących spowodować uszkodzenie urządzeń, a nawet ich pożar.

Niemal od zarania telekomunikacji stosowane są do zabezpieczenia urządzeń stacyjnych, aparatów telefonicznych i telegraficznych odgromniki i bezpieczniki ter-

miczne (topikowe). Środki te mają zarazem spełniać rolę zabezpieczeń od wyładowań atmosferycznych.

Klasyczny układ takich zabezpieczeń, stosowany jeszcze i dziś w niektórych krajach, przedstawia rys. 16.



Rys. 16. System zabezpieczeń stosowany dawniej /1930 r. w Wielkiej Brytanii/

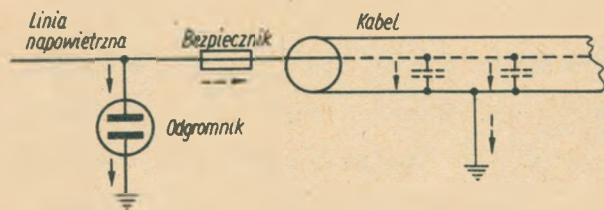
Składa się on, oprócz odgromników i bezpieczników topikowych umieszczonych zarówno w centrali telefonicznej jak i przy aparacie abonenckim, również z cewki termicznej powodującej przy przepływie prądu o **pewnym natężeniu** (kilkaset mA) stopienie złącza wykonanego z łatwo topliwego stopu (Wooda) i w konsekwencji odcięcie urządzeń stacyjnych od części liniowej. Niezależnie od zadziałania tego zabezpieczenia przerwanie obwodu może nastąpić przez przepalenie mniej czułych bezpieczników topikowych, obliczonych na prąd rzędu kilku amperów. Bezpieczniki te mają działać równocześnie z odgromnikami podczas przepięć wywołanych wyładowaniem atmosferycznym lub oddziaływaniem linii elektroenergetycznych albo przy zetknięciu z taką linią, jeśli to jest połączone z przepływem dużego prądu przez odgromnik.

Jednakże celowość tak złożonego systemu zabezpieczeń zaczęto kwestionować już w latach trzydziestych. Przede

wszystkim więc stosowanie cewek termicznych okazało się bardzo kłopotliwe, gdyż są one źródłem błędów (złe styki) oraz wprowadzają dodatkową tłumienność w torach. Stąd też np. w Wielkiej Brytanii skasowano je.

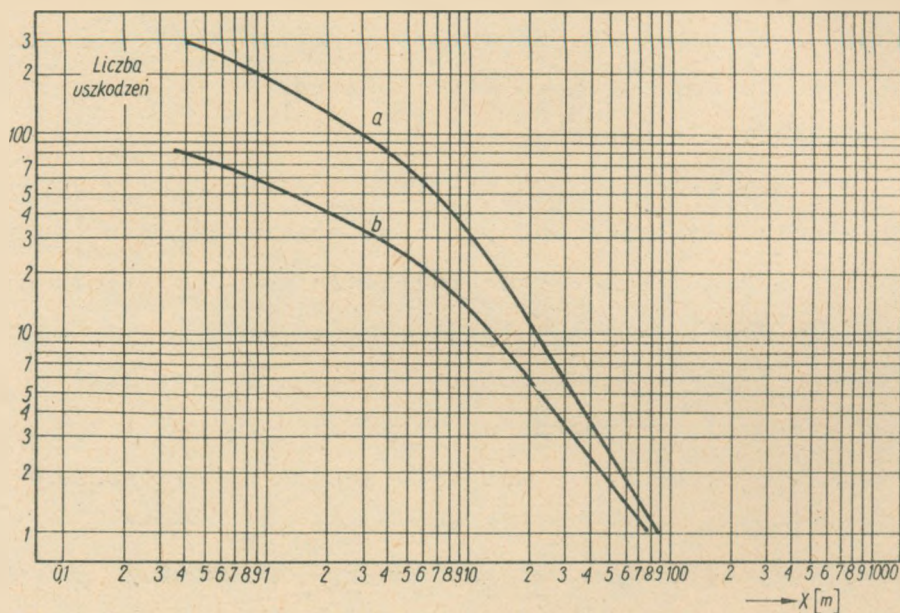
Następnie w związku z postępującym kablowaniem telefonicznych sieci miejscowych zakwestionowano potrzebę stosowania odgromników, a także związanych z nimi bezpieczników topikowych.

W wielu więc krajach istnieje tendencja zupełnego zaniechania wszelkich zabezpieczeń przepięciowych (odgromników) i przetężeniowych (bezpieczników) na sieciach całkowicie skablowanych. Licząc się jednakże z tym, że niektóre z torów kablowych mogą być przedłużone liniami napowietrznymi, zwłaszcza na peryferiach miast lub w sieciach wiejskich itp., przyjęto zasadę umieszczania w punktach połączenia linii napowietrznej z kablową (na tzw. słupach kablowych) odgromników. Stosowanie przy tych odgromnikach bezpieczników nawet o opóźnionym działaniu okazało się niewskazane, gdyż przy wyładowaniach atmosferycznych - mimo zadziałania odgromnika - również następuje przepalenie bezpiecznika. Tłumaczy się to tym, że w chwili wyładowania, oprócz prądu przepływającego przez odgromnik, przepływa również prąd pojemnościowy w kablu (rys. 17). Przepalenie bezpiecznika powoduje nie-



Rys. 17. Przepalenie się bezpiecznika pod wpływem prądu pojemnościowego w kablu

potrzebną przerwę w działaniu toru, podczas, gdy zadziałanie odgromnika, znacznie wcześniejsze - bo trwające kilka milisekund - może samo przez się spełnić zadanie ochrony izolacji kabla przed przebicciem. Jak wy-



Rys. 18. Częstość uszkodzeń w kablach będących przedłużeniem linii napowietrznych w funkcji odległości od punktu połączenia kabla

a - kabel będący przedłużeniem linii napowietrznej bez odgromników próżniowych lub gazowanych, b - kabel będący przedłużeniem linii napowietrznej z odgromnikami próżniowymi lub gazowanymi

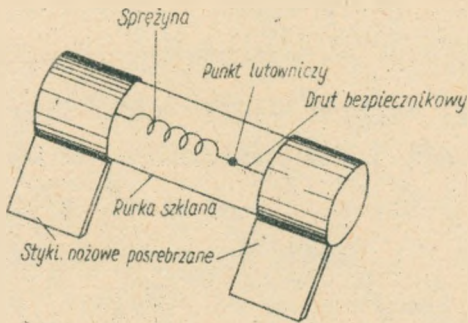
kazały badania statystyczne przeprowadzone w NRF, skutki wyładowań atmosferycznych w przewody linii napowietrznej najczęściej powodują uszkodzenia izolacji kabli, z tymi liniami połączonymi, w odległości przeciętnie 10 m od punktu połączenia. Dalej fala udarowa jest tak silnie tłumiona, że wyładowanie zwykle tam nie jest już niebezpieczne. Wyniki tych badań statystycznych ilustruje rys. 18.

Obawa uszkodzeń w kablach, połączonych z liniami napowietrznymi, skutkiem przepływu nadmiernych prądów, które mogłyby spowodować stopienie żył kabla nie znajduje potwierdzenia w praktyce. Spalenie żył mogłoby wyniknąć w przypadku bezpośredniego zetknięcia przewodu telekomunikacyjnego z napowietrzną linią elektroenergetyczną o napięciu powyżej 1 kV. Należy tu jednak wykluczyć zetknięcia z liniami elektroenergetycznymi o napięciu powyżej 1 kV, gdyż linie takie w miejscach skrzyżowania z liniami telekomunikacyjnymi są specjalnie zabezpieczone tzw. obostrzeniami. Natomiast linie niskiego napięcia (220 V w stosunku do ziemi) nie mogą spowodować w torze telefonicznym, zakończonym w centrali opornością rzędu kilkuset omów, prądu o natężeniu mogącym przepalić żyły kabla. Prąd potrzebny do spalenia żyły kabla wynosi bowiem ok. 40 A, podczas gdy przy napięciu 220 V i oporności np. przekaźnika w centrali rzędu 200 Ω maksymalny prąd wyniesie mniej niż 1 A, a w przypadku napięcia 600 V (tramwaje, trolejbusy) – ok. 3 A.

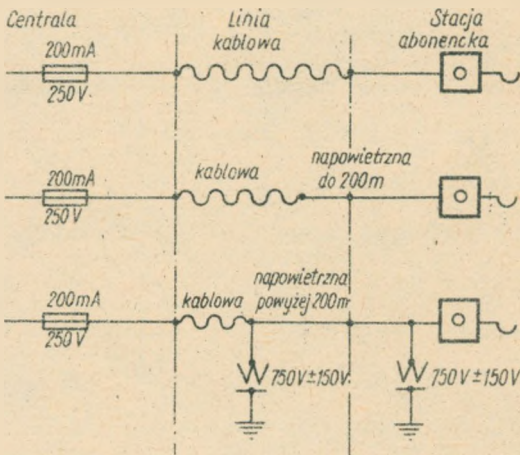
Ostatecznie więc celowość bezpieczników instalowanych w punktach połączenia torów napowietrznych z kablowymi jest nader wątpliwa. Natomiast wydaje się celowe umieszczenie bezpieczników czułych (np. 0,2–0,25 A¹⁾ na końcu toru, tj. w centrali telefonicznej w celu uniknięcia u-

¹⁾ Przyjęto w odniesieniu do bezpieczników stosowanych w telekomunikacji jako prąd znamionowy, uważać prąd, przy którym następuje przepalenie bezpiecznika.

szkodzenia urządzeń stacyjnych. Zabezpieczenie takie może być pożądané nawet w przypadku torów całkowicie skablowanych, gdyż należy się liczyć z przypadkowymi przeciętami napięcia z sieci elektroenergetycznej na instalacje telefoniczne w budynkach mieszkalnych, biurowych czy przemysłowych.



Rys. 19. Bezpiecznik topikowy 200 mA 250 V



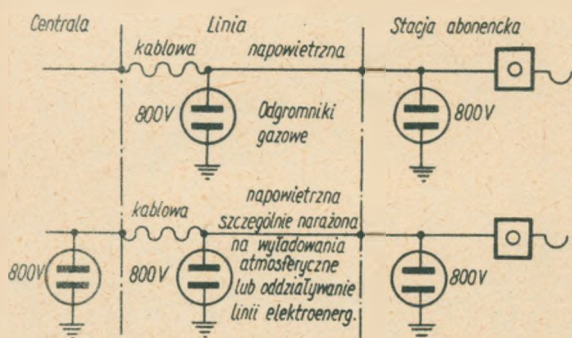
Rys. 20. Nowy system zabezpieczeń stosowany w Wielkiej Brytanii

W związku z tym niektóre z zarządów telekomunikacji (np. w Wielkiej Brytanii) stosują nadal bezpieczniki w centralach telefonicznych. Bezpiecznik tego rodzaju, przedstawiony na rys. 19, spełnia podwójne zadanie: przy

prądzie rzędu kilku amperów przepala się w bardzo krótkim czasie drut bezpiecznikowy, a w przypadku prądu o natężeniu kilkuset miliamperów następuje z pewnym opóźnieniem stopienie złącza w punkcie lutowniczym.

Zasady nowego systemu zabezpieczeń, stosowanego w Wielkiej Brytanii, przedstawia rys. 20.

W innych jednak krajach, jak np. w Szwajcarii, Szwecji, Danii, Unii Południowo-Afrykańskiej, zaniechano zupełnie stosowania bezpieczników, kładąc natomiast duży nacisk na odgromniki. Zasady nowego systemu zabezpieczeń, stosowanego w Szwajcarii, ilustruje rys. 21.



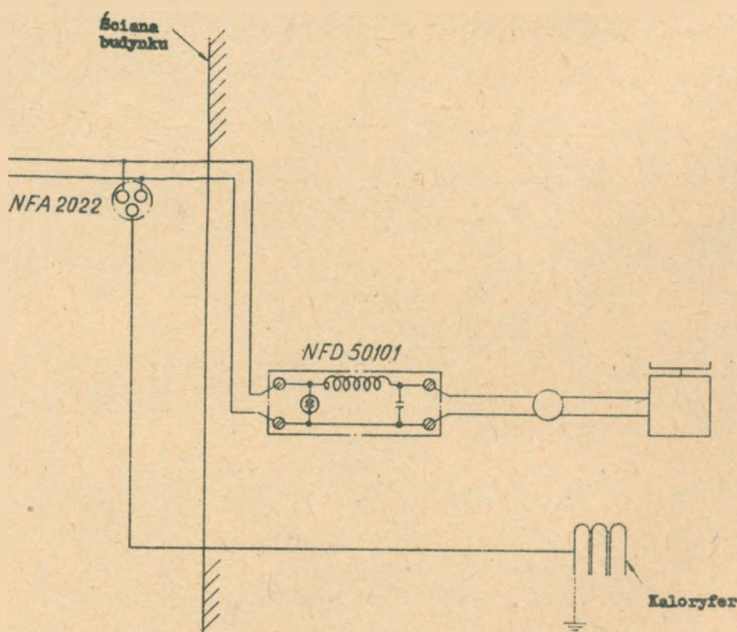
Rys. 21. Nowy system zabezpieczeń, stosowany w Szwajcarii

Podobne zasady stosuje się obecnie w Szwecji, przy czym przyjęto, że uziemienie odgromnika powinno być bezpośrednio połączone z metalową powłoką kabla. Ma to na celu obniżenie napięcia między powłoką i żyłą kabla do takiej wartości, jaka występuje między elektrodami odgromnika w chwili jego zadziałania.

Poza tym w Szwecji wprowadza się nowy system zabezpieczenia aparatów telefonicznych przyłączonych do linii napowietrznej. System ten polega na zastosowaniu (rys. 22):

- odgromnika gazowanego włączonego równoległe do obu przewodów toru (bez uziemienia); odgromnik ten instaluje się wewnątrz pomieszczenia,

- filtru dolnoprzepustowego włączonego między odgromnikiem a aparatem telefonicznym; filtr składa się z szeregowo włączonej indukcyjności (ok. $100 \mu\text{H}$) i równoległe włączonej po stronie aparatu telefonicznego pojemności (ok. 5000 pF).



Rys. 22. Nowy system zabezpieczenia aparatu abonenckiego, stosowany w Szwecji

Zadaniem odgromnika jest ograniczenie napięcia poprzecznego między przewodami toru, które mogłyby uszkodzić izolację poszczególnych części aparatu, a zadaniem filtru jest tłumienie oscylacji o dużej częstotliwości, powstających podczas działania odgromnika. Oscylacje ta-

kie są powodem trzasków (udarów akustycznych) w słuchawce telefonicznej.

Niezależnie od wyżej opisanego ochronnika instaluje się na zewnątrz 3-elektrodowy odgromnik uziemiony do instalacji centralnego ogrzewania, wodociągu itp., znajdującej się w pobliżu danego aparatu telefonicznego. Zadaniem tego odgromnika jest zabezpieczenie przed powstaniem wyładowania (przeskoku iskrowego) między instalacją telefoniczną a uziemionymi przedmiotami znajdującymi się w budynku, a tym samym ochrona przed porażeniem osoby korzystającej z telefonu.

Jak wynika z powyższego, podstawą zabezpieczeń przed oddziaływaniem niebezpiecznym linii elektroenergetycznych i wyładowań atmosferycznych są urządzenia obniżające napięcie bądź w stosunku do ziemi, bądź między przewodami toru. W tym celu największy wysiłek jest położony na konstrukcję odgromników, niezawodnych w działaniu, o dużej obciążalności i trwałości.

Przykładowo można przytoczyć następujące parametry jednego z typów odgromników produkowanych przez firmę Siemens:

Napięcie zadziałania przy prądzie stałym	230 V \pm 10%
Napięcie zadziałania udarowe ¹⁾	0,7 kV
Czas opóźnienia zapłonu	< 0,15 sek
Obciążalność przy prądzie udarowym ¹⁾	20 kA

¹⁾ Dotyczy fali udarowej 1/50 o wartości szczytowej 5 kV, którą to wartość powinny wytrzymywać odgromniki wielokrotnie.

Obciążalność przy prądzie zmiennym	20 A
Oporność izolacji	$>10^{10}$ megaomów
Pojemność międzyelektrodowa	6,8 pF.

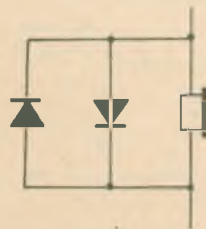
Te dwa ostatnie parametry mają duże znaczenie z punktu widzenia nie wprowadzania dodatkowych upływności i pojemności, zwłaszcza w torach wykorzystywanych do telefonii nośnej.

Jednakże przytoczone wyżej środki zabezpieczające mogą się okazać niewystarczające w przypadku urządzeń telekomunikacyjnych zawierających elementy półprzewodnikowe, jak np. centrale telefoniczne elektroniczne lub wzmacniaki tranzystorowe. Wspomniano już o tym poprzednio przy omawianiu ochrony systemów zdalnego zasilania.

ZABEZPIECZENIE PRZED UDARAMI AKUSTYCZNYMI W APARATACH TELEFONICZNYCH

Skutkiem oddziaływania linii elektroenergetycznych i wyładowań elektryczności atmosferycznej powstają w słuchawkach aparatów telefonicznych, połączonych z liniami napowietrznymi, krótkotrwałe przepięcia powodujące silne ciśnienie akustyczne, niebezpieczne dla ucha ludzkiego i systemu nerwowego. Przepięcia te powstają najczęściej wtedy, gdy do obydwu przewodów toru telefonicznego są włączone odgromniki, które nie działają równocześnie, skutkiem czego przez aparat telefoniczny płynie prąd wyrównawczy. Jest więc bardzo pożądane, a nawet zalecane przez CCITT, stosowanie, zwłaszcza w przypadku linii wyposażonych w odgromniki gazowane, środków zabez-

pieczających przed udarami akustycznymi. Środkiem takim, skutecznym i eliminującym raptowne przepięcia w słuchawce telefonicznej jest urządzenie składające się z dwóch prostowników selenowych połączonych równoległe w przeciwnych kierunkach przewodzenia (rys. 23) i bezpośrednio włączonych na zaciskach słuchawki. Jest



pożądane, aby urządzenie zabezpieczające przed udarami akustycznymi zajmowało mało miejsca w celu umieszczenia go we wnętrzu oprawy słuchawki. W wielu krajach wszystkie aparaty telefoniczne abonenckie i telefonistek mają wyposażenie w takie urządzenia. Według zaleceń CCITT urządzenia przeciwudarowe powinny być dostosowane do charakterystyki słuchawki telefonicznej i powinny być tak wykonane, aby ich właściwości elektryczne nie wykazywały znaczniejszych odchyłeń pod wpływem zmian temperatury i wilgotności. Podczas pracy urządzenia, tj. np. przy zapłonie i zadziałaniu odgromników, amplituda ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez membranę słuchawki nie powinna przekraczać ok. 120 dB powyżej $2 \cdot 10^{-4}$ mikrobarów przy 1000 Hz. Odnosi się to do przepięć impulsowych, lecz nie do przepięć o charakterze ciągłym.

Poza tym urządzenie powinno wykazywać określone graniczne wartości tłumienności przy pewnych poziomach napięcia przyłożonego na zaciskach aparatu.

Wartości te zawiera tablica na str. 54. Graniczne wartości tłumienności przedstawione w tablicy odnoszą się do sygnału sinusoidalnego 800 Hz i przy impedancji toru 600Ω .

Rys. 23. Układ przeciwtrząskowy

Poziom napięcia na zaciskach (Poziom odniesienia 0,775 V)		Tłumienność	
decybele	nepery	decybele	napery
- 17,4	- 2,0	<0,43	<0,05
- 8,7	- 1,0	<0,43	<0,05
0	0	≤1,7	≤0,2
+ 8,7	+ 1,0	>5,2	>0,6
+ 17,4	+ 2,0	>10,4	>1,2
+ 26,1	+ 3,0	>15,6	>1,8

**ŚRODKI ZABEZPIEZAJĄCE
PRZY WYKORZYSTANIU WSPÓLNYCH PODPÓR
PRZEZ LINIE TELEKOMUNIKACYJNE I ELEKTROENERGETYCZNE**

W wielu krajach (USA, Wielka Brytania, Chile, Japonia, Szwecja, Szwajcaria i innych) od dłuższego czasu wykorzystuje się wspólne słupy do zawieszania linii elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych. Są to głównie linie telefoniczne o charakterze lokalnym, zawieszane na słupach linii elektroenergetycznych niskiego napięcia. Stwierdzono przy tym, że zakłócenia powodowane w torach telefonii akustycznej, prowadzonych na wspólnych słupach z liniami elektroenergetycznymi niskiego napięcia, są pomijane w przypadkach wspólnego przebiegu rzędu kilku kilometrów, przy zachowaniu oczywiście właściwej symetrii toru telefonicznego. Wspólne wykorzystanie linii wysokiego napięcia jest też stosowane,

jednak najczęściej tylko nie dla torów telefonicznych sieci publicznej, lecz w sieciach wewnątrzzakładowych energetyki lub w przypadku użycia napowietrznych kabli telefonicznych w powłoce metalowej lub z ekranem uzziemionym.

Środki zapobiegawcze stosowane przy wspólnym wykorzystaniu słupów polegają przede wszystkim na utrzymaniu odpowiedniego odstępu między przewodami linii elektroenergetycznej i umieszczonej pod nią linii telekomunikacyjnej. Następnie przyjęto, że przewody telekomunikacyjne bądź elektroenergetyczne powinny być na całej długości izolowane. Stosuje się w tym celu izolację z odpowiednio wytrzymałego na zmiany temperatury polichlorku winylu. W niektórych jednak krajach stosuje się przewody gołe.

Jak wykazała statystyka, wypadki porażenia personelu monterskiego, konserwującego linie telekomunikacyjne zawieszane na wspólnych słupach z liniami elektroenergetycznymi są nader rzadkie przy zachowaniu odpowiednich środków ostrożności.

Jest pożądane, aby tory telefoniczne w centrali posiadały bezpieczniki, a w punkcie połączenia linii napowietrznej z kablem wprowadzającym - odgromniki.

W Polsce, jak wiadomo, słupy linii elektroenergetycznej są szeroko wykorzystywane do zawieszania torów radiofonii przewodowej, przy czym przewody obu linii są zazwyczaj nieizolowane.

NIEBEZPIECZNE ODDZIAŁYWANIE PRĄDU ELEKTRYCZNEGO NA CZŁOWIEKA

Oddziaływanie prądu elektrycznego na człowieka i jego organizm zależy od natężenia prądu przepływającego przez ciało, od drogi jego przebiegu w ciele i od indywidualnych właściwości danego osobnika.

Wpływ udaru elektrycznego objawia się w różny sposób.

Poniższy wykaz podaje objawy te uszeregowane w porządku wzrastającym w zależności od natężenia prądu:

a) uczucie "szczypania" (ciągłego przy niskiej częstotliwości prądu zmiennego, a przy prądzie stałym odczuwalne tylko przy włączaniu lub przerywaniu prądu) jest zauważalne przy bardzo małych natężeniach prądu;

b) przy cokolwiek większym natężeniu prądu zanika możliwość świadomego panowania nad odruchami mięśni;

c) przy dalszym zwiększaniu natężenia prądu powstaje czasowy paraliż ośrodków nerwowych;

d) gdy dostatecznie duży prąd przepływa przez serce może powstać migotanie komór sercowych;

e) bardzo duże prądy powodują wewnętrzne nagrzewanie i zniszczenie tkanek ciała.

Należy zauważyć, że istnieje bardzo duża zależność natężenia prądu, wywołującego powyższe objawy, od częstotliwości.

Prądy wysokiej częstotliwości powodują tylko nagrzewanie. Natężenie przepływającego prądu zależy od oporności ciała, która zależy również od przyłożonego napięcia i charakteru styku. Poniższa tabela zawiera wartości oporności ciała od ręki do ręki przy pełnym zetknięciu w zależności od stopnia wilgotności i od wartości przyłożonego napięcia o częstotliwości 50 Hz.

Przyłożone napięcie w woltach	W i l g o t n o ś ć		
	Bardzo duża	Średnia	Bardzo mała
0	2000	3800	5700
100	1600	2800	4000
200	1300	1900	2800
300	1000	1600	2300
500	800	1200	1900
700	700	1000	1600

Oporność między ręką i nogą jest tego samego rzędu.

Oporność dla prądu stałego jest większa o ok. 20 - 40%.

Próg odczuwalności

Próg odczuwalności, tj. najmniejszy prąd potrzebny do spowodowania uczucia "szczypania", waha się w zależności od właściwości indywidualnych danego osobnika i zawiera się w granicach:

0,4 - 4 mA - przy prądzie zmiennym o częstotliwości
60 Hz,

2,2 - 12,6 mA - przy prądzie stałym.

Próg opanowania

Próg opanowania, tj. największy prąd, przy którym człowiek może puścić trzymany mocno przewód, jest też różny w zależności od indywidualnych właściwości danego osobnika i zawiera się w zakresie:

9,7 - 21,6 mA przy 60 Hz,

61 - 83 mA przy prądzie stałym.

Podczas prób, mających na celu ustalenie tych wartości, stwierdzono, że próg opanowania nie był zależny od stopnia wilgotności, rodzaju styku i napięcia źródła przy jego otwartym obwodzie.

Poza tym w przypadku prądu stałego stwierdzono, że wstrząs elektryczny był odczuwalny tylko przy zamykaniu i otwieraniu obwodu. Ciągły prąd powoduje jedynie uczucie ogrzewania wewnętrznego przy lekkim tylko skurczu mięśni.

Prąd, przy którym można puścić przewód, ma praktycznie stałą wartość w zakresie częstotliwości 10-300 Hz, lecz zwiększa się przy zmniejszaniu i zwiększaniu częstotliwości poza tym zakresem.

Trzeba też zauważyć, że przy dotyku przewodu wysokiego napięcia skurcz mięśni jest tak gwałtowny, iż ofiara jest często odrzucana.

Próg niebezpieczeństwa

Próg niebezpieczeństwa nie jest jednak dobrze ustalony: jedne źródła podają 25 mA przy 50 Hz, inne zaś twierdzą, że prądy do 100 mA przy 60 Hz są wystarczające do spowodowania czasowego paraliżu ośrodków nerwowych. Jeżeli są to ośrodki rządzące oddychaniem następuje zatrzymanie oddechu ofiary. Na ogół jednak człowiek w takim przypadku może być uratowany przez sztuczne oddychanie.

Próg migotania komór sercowych

Przy wartościach prądu nieco większych od tych, które powodują czasowy paraliż ośrodków nerwowych, powstaje tzw. migotanie komór sercowych. Jest to stan, w którym mięśnie serca kurczą się i rozluźniają nierytmicznie (asynchronicznie), stwarzając pozory, że serce bije w przybliżeniu z częstotliwością dziesięciokrotnie większą niż normalna. Objawu tego z chwilą jego rozpoczęcia nie można zahamować aż do zgonu.

Próby dokonane na owcach i innych zwierzętach wykazują, że przy częstotliwości 50 Hz próg migotania komór sercowych dla człowieka może wynosić:

100 - 440 mA, zależnie od osobnika, w ciągu 3 sekund lub dłużej.

Przy prądzie stałym próg ten jest w przybliżeniu 5 razy większy.

Jeżeli przy 60 Hz czas trwania wstrząsu jest krótszy od jednego okresu bicia serca, to próg jest w przybliżeniu dziesięciokrotnie większy niż dla 3-sekundowego czasu trwania.

Krytyczną granicą czasu trwania wstrząsu jest $1/3$ okresu bicia serca. Wydaje się też, że w przypadku krótkotrwałych wstrząsów, oddziaływanie prądu stałego i prądu zmiennego o częstotliwości 60 Hz jest jednakowe.

Uduszenie

Pomiędzy "progiem odczuwalności" a "progiem opanowania" są takie wartości prądu, które mogą wywołać tak silny wstrząs, że człowiek może być odrzucony na plecy i jeżeli pozostanie w tej pozycji, to jego język może łatwo wpaść do krtani, co spowoduje śmierć przez uduszenie.

WYKAZ LITERATURY

1. CCITT: Wytyczne odnoszące się do ochrony linii telekomunikacyjnych przed szkodliwym oddziaływaniem linii elektroenergetycznych. New Delhi - 1960 (opublikowane w 1963 r.).
2. M.I. Michajłow: Wlijanje wniesznych elektromagnetych polej na cepi prowadnoj swiazi i zaszcitnyje mieroprijatije. Swiazizdat 1959.
3. R.W.Blackmore and B.A. Pickering: Lightning Protection for Transistor Repeaters. ATE Journal, October 1960.

4. A. Henckel: New Overvoltage Protectors for Subscribers Installations. Ericsson Review, 1963 r., nr 4.
 5. T. Puchalski i H. Naimski: Metody ochrony kabli i urządzeń telekomunikacyjnych przed uszkodzeniami spowodowanymi przez wysoki potencjał ziemi (MŁ Dep. Techniki, 1964 r.).
 6. T. Puchalski: Zakłócenia w liniach telekomunikacyjnych pochodzące od trakcji elektrycznej prądu zmiennego. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 1958 r., nr 7.
 7. CCITT: Dokumenty V Komisji Studiów za okres 1961 - - 1964 r.
 8. Min. Łączności: Wytyczne zabezpieczenia linii i urządzeń telekomunikacyjnych przed szkodliwym oddziaływaniem linii i urządzeń elektroenergetycznych.
 9. Min. Łączności: Tymczasowe przepisy ochrony linii telekomunikacyjnych przed oddziaływaniem linii trakcyjnych prądu stałego.
 10. H. Naimski: Wyniki studiów CCITT w zakresie zabezpieczenia urządzeń telekomunikacji przewodowej. Biuletyn Techniczny Min. Łączności 1962 r., nr 6 (33).
-



