

1966
Nr 12 (63)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ
ŁĄCZNOŚCI





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ
ŁĄCZNOŚCI

ROK 6

WARSZAWA 1966

NR 12(63)

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

Branżowy Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 710. Druk ukończono
w czerwcu 1967 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

Zabezpieczenie linii i urządzeń telekomunikacyjnych
od oddziaływania linii elektroenergetycznych

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Pomiar oddziaływań trakcji elektrycznej podczas zwarć doziemnych na małowymiarowy kabel współosiowy ze wzmacniakami tranzystorowymi - Opracował W. Gajda	1
2. Obliczanie oddziaływania linii silnoprądowych na kabel telekomunikacyjny zawierający pary współosiowe z izolowanymi przewodami zewnętrznymi - Opracował W. Gajda	14
3. Zabezpieczenie telefonicznych urządzeń tranzystorowych od niebezpiecznych napięć - Opracował W. Gajda	38
4. Obliczanie wywołanych uderzeniem pioruna przepięć w doziemnych kablach współosiowych - Opracował W. Sikora	46
5. Wielkości napięć pojawiających się podczas wyładowań atmosferycznych na wprowadzeniach symetrycznych kabli do stacji wzmacniakowych - Opracował J. Niżnik	57
6. Zabezpieczenie linii telekomunikacyjnych przed szkodliwym oddziaływaniem trakcji elektrycznej prądu zmiennego - Opracował A. Moniuszko	74

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial data and for providing a clear audit trail.

2. The second part of the document outlines the various methods used to collect and analyze data. These methods include direct observation, interviews, and the use of specialized software tools.

3. The third part of the document describes the results of the data collection and analysis. It shows that there is a significant correlation between the variables being studied, which supports the hypothesis.

4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It suggests that the results could be used to inform policy decisions and to guide future research in this area.

5. The fifth part of the document provides a conclusion and summarizes the key points of the study. It emphasizes the need for further research to explore the underlying mechanisms of the observed relationships.

6. The final part of the document includes a list of references and a bibliography. These references provide the reader with the sources of the information used in the study and allow them to explore the topic further.

POMIARY ODDZIAŁYWAŃ TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ
PODCZAS ZWARĆ DOZIEMNYCH NA MAŁOWYMIAROWY
KABEL WSPÓŁOSIOWY ZE WZMACNIAKAMI TRANZYSTOROWYMI

Opracował W. Gajda na podstawie artykułu: E. Braun, W. Leitenberger, A. Ziegler: Messungen der Beeinflussung einer Kabelstrecke mit Kleinkoaxialpaaren und Transistor - Zwischenverstärkern bei Fahrleitungs-Kurzschlüssen, Signal und Draht 12/64, s. 196-198.

Wzmacniaki nowoczesnych systemów nośnych są budowane na tranzystorach. Tranzystory w porównaniu z lampami elektronowymi są elementami miniaturowymi, pracującymi przy niskim napięciu zasilania. Zastosowanie tranzystora w urządzeniach telekomunikacyjnych pociągnęło za sobą duże zmiany w porównaniu ze stanem poprzednim. Większość stacji wzmacniakowych przelotowych nieobsługiwanych, ze względu na ich małe wymiary, buduje się obecnie jako stacje podziemne; stacje wzmacniakowe naziemne obsługiwane są budowane w większych odległościach od siebie, zasilają one zdalnie stacje podziemne nieobsługiwane. Wzmacniak tranzystorowy jest zasilany prądem stałym. Ten system zasilania jest prosty, pewny i ekonomiczny, szczególnie, jeśli chodzi o wzmacniaki podziemne. Wzmacniaki są zasilane szeregowo, wobec czego we wszystkich wzmacniakach zdalnie zasilanych płynie jednakowy prąd.

Z chwilą zastosowania tranzystora na miejsce lampy elektronowej powstało szereg nowych problemów do rozwiązania. Jeden z nich jest szczególnie trudny. Tranzystor w porównaniu z lampą elektronową jest bardzo wrażliwy na przeciążenia napięciowe i prądowe. Aby więc nie narazić na uszkodzenie element półprzewodnikowy, napięcie doprowadzone do tranzystora nie może przekroczyć dopuszczalnych wartości. Podczas wyładowań atmosferycznych lub wskutek oddziaływań linii wysokich napięć lub trakcji elektrycznej mogą pojawić się w kablu napięcia niebezpieczne. Tranzystory i inne współpracujące z nimi miniaturowe elementy wrażliwe na przeciążenia powinny być tak zabezpieczone, aby nie zostały uszkodzone przez krótkotrwałe napięcie wywołane przez linie elektroenergetyczne lub przez wielokrotnie powtarzane napięcie udarowe powstałe od uderzeń pioruna.

Rozważając sprawę zabezpieczenia tranzystorów należy mieć na uwadze nie tylko zjawiska, jakie mogą powstać na zaciskach wejściowych wzmacniaka, lecz także i to, co może się dziać w całym zestroju nośnym, a szczególnie w obwodach zdalnego zasilania.

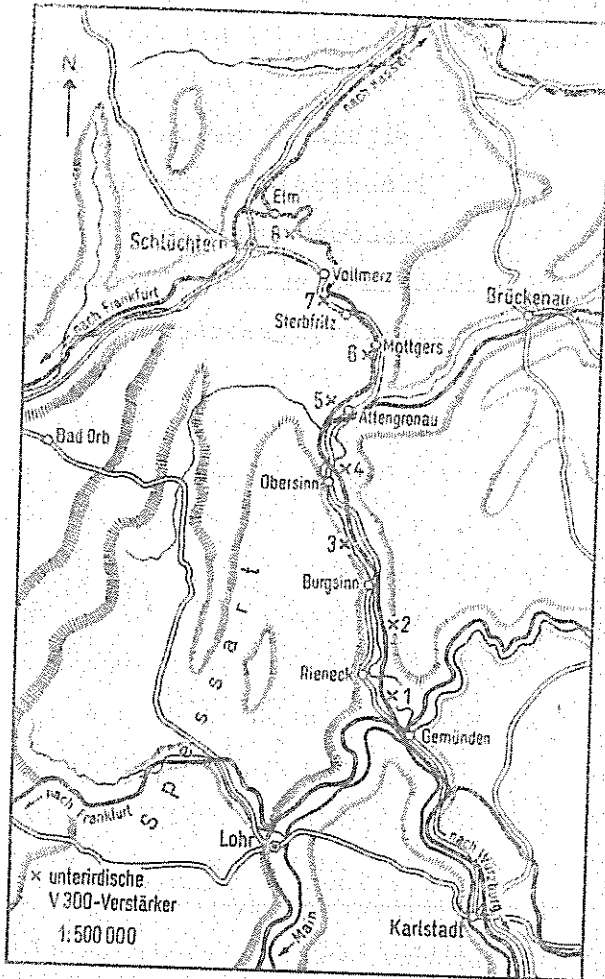
Jeśli na kablu współosiowym pracują urządzenia systemu nośnego ze wzmacniakami lampowymi, zasilanymi równolegle prądem zmiennym, wtedy przewód zewnętrzny pary współosiowej oraz środki transformatorów zdalnego zasilania są uziemione na każdej stacji wzmacniakowej. Przewód zewnętrzny łączy się na każdej stacji wzmacniakowej z przewodem wewnętrznym poprzez indukcyjności transfor-

matora i filtru zdalnego zasilania; tor współosiowy jest więc zwarty dla prądów oddziaływujących niskich częstotliwości w granicach każdego odcinka wzmacniakowego. Jeżeli nawet cały odcinek zasileniowy podlega oddziaływaniu, to oddziaływania występujące na poszczególnych odcinkach wzmacniakowych, nie dodają się do siebie.

Gdyby w tych samych warunkach co poprzednie zastosować zdalne zasilanie prądem stałym systemu szeregowego, wtedy wielkość oddziaływań wzrosłaby proporcjonalnie do ilości odcinków wzmacniakowych zdalnie zasilanych, ponieważ tor zdalnego zasilania, a więc przewód wewnętrzny pary współosiowej, na całym odcinku zdalnego zasilania jest izolowany od przewodu zewnętrznego. Oddziaływania powstałe w poszczególnych odcinkach wzmacniakowych sumują się. Aby zmniejszyć te oddziaływania, stosuje się system izolowania przewodu zewnętrznego pary współosiowej od ziemi; system ten nazywany jest również systemem potencjału pływającego. Jeśli jakiś przewód lub masa metalowa nie posiada określonego potencjału w stosunku do ziemi lub w stosunku do innych przewodów lub mas metalowych, mówimy, że na przewodzie tym lub masie metalowej panuje potencjał pływający.

W przewodzie zewnętrznym może pojawić się prąd poprzez oporność sprzężenia pojemnościowego (pojemność: przewód zewnętrzny - ziemia). Prąd ten wywoła napięcie wzdłużne w przewodzie wewnętrznym, a więc i w urządzeniach nośnych. Ponieważ oporność sprzężenia pojemnościowego pomiędzy przewodem zewnętrznym i ziemią dla

częstotliwości poniżej 100 Hz jest bardzo duża, poplynie w nim niewielki prąd i pojawiające się w przewodzie wewnętrznym napięcie będzie nieznaczne. Izolowanie przewodu zewnętrznego od ziemi jest więc środkiem ochrony przed oddziaływaniem linii elektroenergetycznych. Zale-ty tego sposobu zabezpieczenia wykorzystano do ochrony

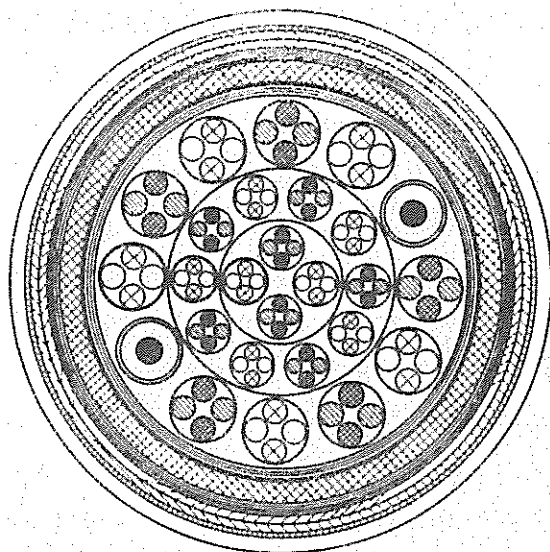


Rys. 1. Plan sytuacyjny linii kablowej, na której mierzono oddziaływania tracji elektrycznej

urządzeń nośnych systemu V 300. Aby przekonać się, jak dalece słuszne są te teoretyczne rozważania, przeprowadzono badania oddziaływania trakcji elektrycznej na kabel współosiowy, na którym pracują urządzenia telefonii nośnej systemu V 300. Pomiary oddziaływań wykonano w przypadku długotrwałych i krótkotrwałych (zwarciovych) prądów oddziaływujących. Pomiary zostały wykonane przez Kolej i firmę Siemens na terenie NRF. Pomiary wykonano na kablu współosiowym kolejowym długości 50 km, ułożonym wzdłuż zelektryfikowanego toru kolejowego, łączącego miejscowości Gemünde nad Menem i Elm (rys. 1).

Kabel posiada powłokę aluminiową, jest opancerzony taśmą stalową, posiada 48 symetrycznych par kablowych dla telefonii naturalnej i sygnalizacji oraz 2 pary współosiowe małowymiarowe dla telefonii nośnej systemu V 300. Przekrój kabla pokazano na rys. 2. Na trasie kablowej w odstępach co 6 km rozmieszczono 8 wzmacniaków przelotowych doziemnych. Stacja wzmacniakowa w Gemünde zasila je zdalnie i dozoruje. Stacja końcowa w Elm jest zasilana z miejscowej baterii.

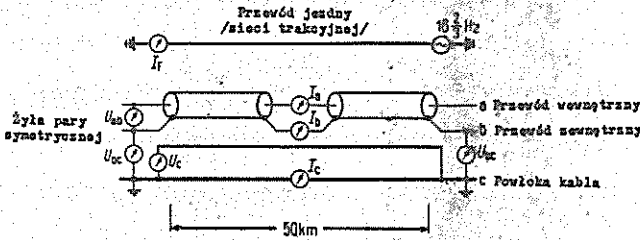
Oba tory nośne, jak również obwody zasilające zostały w Elm połączone i w ten sposób uzyskano doświadczalny tor o długości 100 km z Gemünde do Elm i z powrotem do Gemünde. Opisany odcinek linii zawiera 8 par wzmacniaków doziemnych, których korektory są sterowane bezpośrednio temperaturą otoczenia. Ten system spełnia wymagania CCITT i pracuje bez zarzutu (w celach doświadczalnych) jako próbny od lipca 1963 roku.



Rys. 2. Przekrój kabla o dwóch parach współosiowych małowymiarowych i o 24 czwórkach symetrycznych

Jeżeli jakiś odcinek kabla podlega równomiernemu oddziaływaniu przez linie wysokiego napięcia, wtedy maksymalne wartości napięć indukowanych występują na obu końcach odcinka kabla, maksymalne zaś wartości prądów pośrodku kabla. Dlatego też pomiary napięć wykonano w Gemünde i częściowo w Elm, zaś prądów w punkcie wzmacniakowym 4 w pobliżu Obersinn. Punkty pomiarowe pokazano schematycznie na rys. 3.

W celu dokonania pomiarów oddziaływań długotrwałych przewód jezdy sieci trakcyjnej uziemiono na jednym końcu, zaś na drugim końcu włączono niewielkie napięcie zasilające trakcję o częstotliwości $f = 16 \frac{2}{3}$ Hz. Pomiary oczywiście prowadzono w tym czasie, gdy na szlaku kolejowym nie było przejeżdżających pociągów. W przewodzie



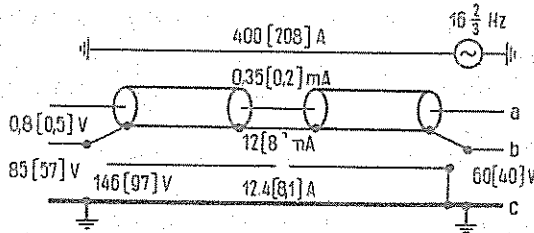
Rys. 3. Punkty pomiarowe oddziaływania linii kablowej

I_F - prąd w przewodzie jezdny, I_a - prąd w przewodzie wewnętrznym, I_b - prąd w przewodzie zewnętrznym, I_c - prąd w powłoce kabla, U_c - napięcie wzdłużne w kablu, $U_{a/b}$ - napięcie między przewodem wewnętrznym i zewnętrznym, $U_{b/c}$ - napięcie między przewodem zewnętrznym i powłoką kabla.

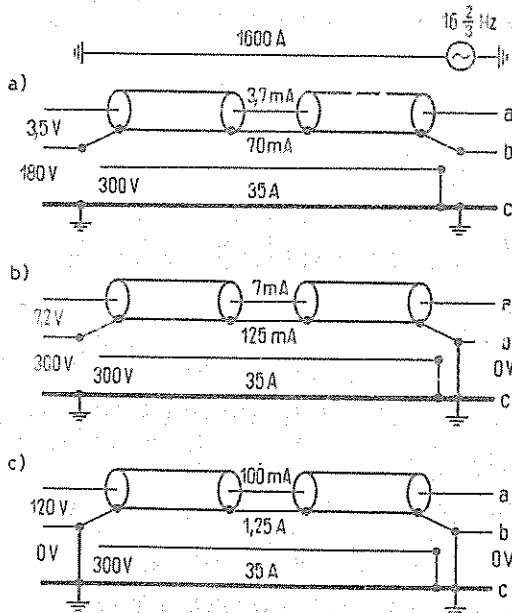
jezdny płynęły prądy 208 A lub 400 A; te na ogół wartości prądów występują w czasie normalnego ruchu pociągów. Jeśli chodzi o zwarcia doziemne, wykonywano je podczas normalnego ruchu pociągów. W celu uzyskania równomiernego oddziaływania całego odcinka kabla przed każdym zwarcie doziemnym odłączano jeden koniec przewodu jezdny od stacji zasilającej i w tym miejscu wykonywano krótkie zwarcie do ziemi. W przewodzie jezdny płynęły prądy o wartości 1600 A w czasie 70 milisekund. Należy tu dodać, że odcinki przewodów jezdnych są zasilane dwustronnie. Podczas zwarcia doziemnego przewód jezdny był więc zasilany z jednej strony, z jednej stacji zasilającej.

Wykonano 10 oddzielnych pomiarów wielkości oddziaływań, których wyniki podano na rys. 4 i 5. Pomiary miały na celu określenie prądów płynących w przewodach pary współosiowej oraz w powłoce kabla, napięć występujących pomiędzy przewodami pary współosiowej oraz napięć występujących pomiędzy przewodem zewnętrznym pary współ-

osiowej i ziemią. W zależności od tego, czy przewód zewnętrzny pary współosiowej był izolowany, jednostronnie uziemiony lub dwustronnie uziemiony stosunek zmierzonych napięć i prądów w parach współosiowych przedstawia się jak: 1:2:30. Niezależnie od tego, czy przewód zewnętrzny



Rys. 4. Wyniki pomiarów oddziaływań długotrwałych

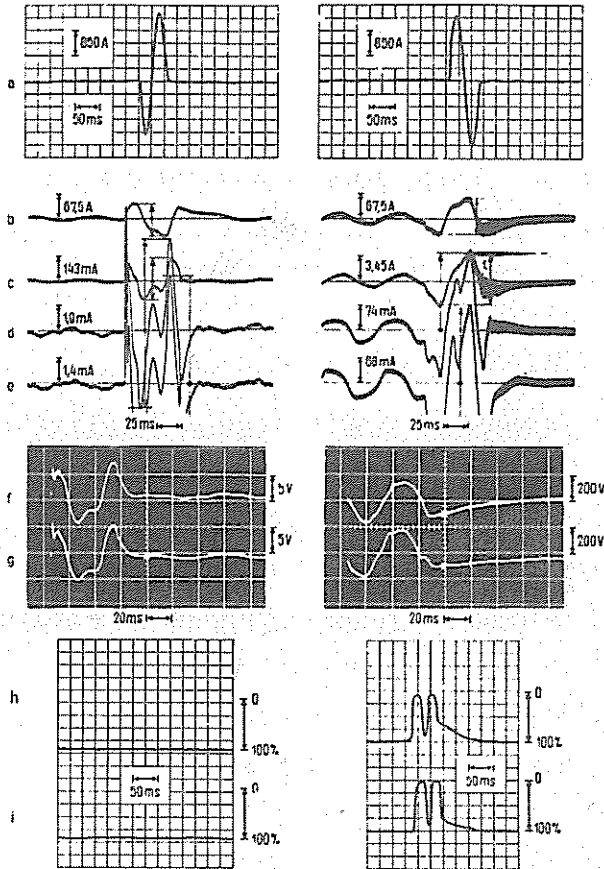


Rys. 5. Wyniki pomiarów oddziaływań podczas zwarcć doziemnych w przewodzie jedynym: a/ potencjał pływający, b/ przewód zewnętrzny, c/ przewód zewnętrzny dwustronnie uziemiony

był uziemiany na każdej stacji wzmacniakowej, czy tylko na obu końcach całej linii kablowej wyniki pomiarów były jednakowe. Ponadto mierzono także napięcie wzdłużne. Napięcie to można mierzyć na dowolnej żyłce kabla ponieważ wartość jego jest jednakowa na każdej żyłce. Dlatego też napięcie wzdłużne zmierzono na jednej z żył par symetrycznych, uziemionej na drugim końcu.

Rysunek 6a do g przedstawia zarejestrowane na oscylografie krzywe napięć i prądów w kablu w przypadkach izolowania przewodu zewnętrznego i dwustronnego uziemienia tego przewodu podczas pomiarów. Napięcie zdalnego zasilania wyłączono podczas pomiarów. Prąd płynący w przewodzie wewnętrznym I_a , zmierzony przy izolowanym przewodzie zewnętrznym, jest wyraźnie zniekształcony. Przyczyną tego jest zniekształcenie prądu płynącego w powłoce kabla, co znów spowodowane jest silnym magnesowaniem opancerzenia stalowego kabla podczas zwarć doziemnych przewodu jezdnego. W tym przypadku sprzężenie pomiędzy powłoką kabla i przewodami zewnętrznym i wewnętrznym jest wyłącznie pojemnościowe, wobec czego w przewodach tych indukują się przede wszystkim wyższe harmoniczne spośród składowych zmiennych prądu płynącego w powłoce i opancerzeniu kabla, niższe harmoniczne natomiast mają amplitudy bardziej stłumione.

Przy obliczaniu napięć i prądów występujących w kablu podczas zwarć w przewodzie jezdnym, gdy zastosowano system izolowania przewodu zewnętrznego, powinno się znać pasmo częstotliwości prądu płynącego w powłoce ka-



Rys. 6. Oscylogram wyników pomiarów: a/ prąd przewodu jezdno I_f , b/ prąd powłoki kabla I_0 , c/ prąd w obu przewodach zewnętrznych $2 \cdot I_b$, d/ prąd w przewodzie wewnętrznym $1 \cdot I_{a1}$, e/ prąd w przewodzie wewnętrznym $2 \cdot I_{a2}$, f/ napięcie pomiędzy przewodem wewnętrznym 1 i zewnętrznym $U_{a1/b}$, g/ napięcie pomiędzy przewodem wewnętrznym 2 i zewnętrznym $U_{a2/b}$, h/ sygnał pomiarowy 200 kHz wyprostowany, i/ sygnał pilotujący 1364 kHz, wyprostowany. Z lewej strony: w przypadku potencjału pływającego, z prawej strony: w przypadku dwustronnego uziemienia przewodu zewnętrznego

bla. Uwzględnianie przy obliczeniach tylko podstawowych częstotliwości daje w wyniku zbyt małe wartości.

Dla właściwej oceny zmierzonych prądów płynących w przewodzie wewnętrznym należy mieć na uwadze fakt, że

obwód zdalnego zasilania w kablu nie był zupełnie symetryczny. Każdy wzmacniak danego kierunku transmisji posiada przekaźnik służący do ponownego włączenia obwodu zdalnego zasilania po przerwie na linii [4]. Bliższe szczegóły dotyczące obliczania oddziaływań w systemie potencjału pływającego zawiera artykuł W. Salzmanna i W. Vogla, opublikowany w czasopiśmie: "Signal und Draht" 1965, zeszyt 12, którego opracowanie znajduje się w niniejszym numerze "Przeglądu Zagadnień Łączności".

W celu określenia, w jakim stopniu podlegają oddziaływaniu trakeji elektrycznej częstotliwości nośne, zbadano jakość przenoszenia sygnału pomiarowego i pilotującego (rys. 6h, i) oraz impulsu kontrolnego wysokiej częstotliwości. Za pomocą tego impulsu można kontrolować stan poszczególnych wzmacniaków podczas badań. Badania wykazały, że przy izolowanym lub uziemionym tylko na jednym końcu przewodzie zewnętrznym nie było zakłóceń w przenoszeniu sygnałów podczas zwarć w trakeji elektrycznej. Natomiast przy uziemionym na obu końcach przewodzie zewnętrznym stwierdzono dwie przerwy w przenoszeniu sygnałów, czas trwania przerw wynosił 2×25 milisekund. Należy tu dodać, że półokres prądu o częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ Hz trwa 30 milisekund. Indukujący się w przewodach par współosiowych prąd nakłada się na prąd zdalnego zasilania i zależnie od swego kierunku zmniejsza napięcie zasilania wzmacniaków jednego lub drugiego kierunku. Zmniejszone napięcie może być niewystarczające do właściwej pracy wzmacniaków. Mogą być rów-

nież i takie przypadki, że napięcie indukujące się dodaje się do napięcia zdalnego zasilania i podwyższa go do takich wartości, przy których następuje zapłon odgromników oraz narastanie drgań. Odgromniki o napięciu zapłonu 350 V stanowią wyposażenie wzmacniaków jako środki ochrony przed wysokim napięciem. Zdziałanie odgromników powoduje krótkotrwałą przerwę w transmisji.

Wnioski, jakie można wyciągnąć z przeprowadzonych badań w przypadku izolowania przewodu zewnętrznego kabla współosiowego oddziaływania w torze współosiowym są znacznie mniejsze niż w przypadku, gdy przewód zewnętrzny jest uziemiony. Odnosi się to zarówno do oddziaływań krótkotrwałych, powstających podczas zwarć doziemnych, jak również do oddziaływań podczas normalnej pracy trakcji elektrycznej. Podczas zwarć doziemnych nie ma przerw w transmisji. Natomiast gdy przewód zewnętrzny jest uziemiony, istnieje możliwość zapłonu odgromników podczas zwarć doziemnych oraz możliwość przerw w transmisji. W tym przypadku należy się również liczyć z możliwością oddziaływań zakłócających w wyniku modulacji prądu stałego zdalnego zasilania przez prąd zmienny trakcji elektrycznej o częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ Hz (przydźwięk). System uziemiania przewodu zewnętrznego wymaga stosowania w każdym wzmacniaku bardzo kosztownych filtrów w celu zlikwidowania przydźwięku o częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ Hz.

WYKAZ LITERATURY

1. Ganzer E., Hering W.: Die Fernspeise. Einrichtungen des 12 - MHz - Trägerfrequenzsystems V 2700. Siemens - Z. 1962, t. 36, nr 9, s. 657-663.
2. Leitenberger W., Salzmann W.: Kabel mit Zwergtuben im Fernmeldenetz der Deutschen Bundesbahn. Signal und Draht 1961, nr 53, s. 6-13.
3. Braun E., Witt K.: Streckenausrüstung des Trägerfrequenz-Fernsprechsystems V 300. Siemens - Z. 1963, t. 37, nr 11, s. 793-799.
4. DBP 1012686: Schaltungsanordnung zur Ermittlung des Fehlerortes in elektrischen Leitungen - bzw. Kabelstrecken mit in Reihe liegenden stromdurchflossenen Widerständen.

OBLICZANIE ODDZIAŁYWANIA LINII SILNOPRĄDOWYCH
NA KABEL TELEKOMUNIKACYJNY ZAWIERAJĄCY PARY
WSPÓŁOSIOWE Z IZOLOWANYMI PRZEWODAMI ZEWNĘTRZNYMI

Opracował W. Gajda na podstawie artykułu: Salzmann W. und Vogl W.: Berechnung der Starkstrombeeinflussung von Nachrichtenkabeln mit Koaxialpaaren und isolierten Aussenleitern. Signal und Dracht 12/65, s. 205-211.

1. WSTĘP

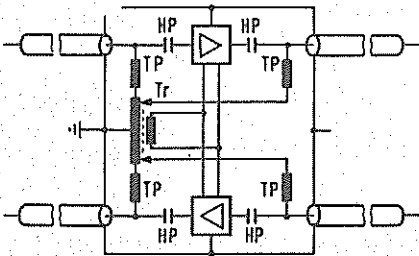
Tranzystor w coraz bardziej wyraźny sposób zaczyna wypierać lampę elektronową w telekomunikacyjnych wzmacniakach liniowych przelotowych. Tranzystor wymaga do pracy niskich napięć i niewielkich prądów zasilających. Szeregowe zasilanie całych grup wzmacniaków jest bardzo ekonomiczne, przy czym w obwodach zdalnego zasilania stosuje się prąd stały. Nowa technika stosowania wzmacniaków tranzystorowych zdalnie zasilanych jest bardzo prosta i niezawodna.

Mimo tych niewątpliwych zalet są również i strony ujemne. Przy budowie stacji wzmacniakowych szczególnego rozpatrzenia wymagają dwie sprawy:

1. Tranzystor w porównaniu z lampą elektronową jest bardziej wrażliwy na przepięcia. Dlatego też wzmacniak tranzystorowy tak na wejściu jak i na wyjściu, a również i na zaciskach zasilacza musi być wyposażony w o-

graniczniki napięć, uniemożliwiające przekroczenie z jakichkolwiek przyczyn dopuszczalnych napięć.

2. Ponieważ zdalne zasilanie jest realizowane prądem stałym, przesyłanym po przewodach wewnętrznych par współosiowych, przewody te na całym odcinku zdalnego zasilania są ze sobą galwanicznie połączone (dla prądu stałego) i odizolowane od ziemi. Taki ter zdalnego zasilania może podlegać oddziaływaniu zakłócającemu w przypadku, gdy kabel współosiowy znajduje się w zbliżeniu z linią elektroenergetyczną, a szczególnie z trakcją kolejową prądu zmiennego. Należy wtedy zwrócić szczególną uwagę na zabezpieczenie kabla współosiowego przed tym oddziaływaniem.

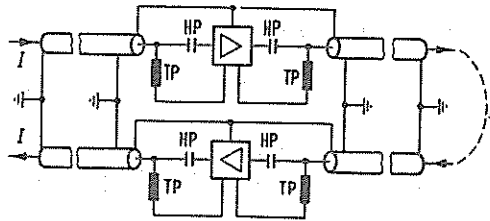


Rys. 1. Schemat blokowy wzmacniacza lampowego z uzziemionym przewodem zewnętrznym pary współosiowej i zdalnym zasilaniem prądem zmiennym

TP - filtr dolnoprzepustowy, HP - filtr górnoprzepustowy, Tr - transformator zdalnego zasilania

Rysunek 1 przedstawia blokowy schemat stacji wzmacniakowej lampowej, zdalnie zasilanej prądem zmiennym. Przewód wewnętrzny pary współosiowej w każdym wzmacniaku jest połączony z uzziemionym przewodem zewnętrznym poprzez uzwojenie transformatora zdalnego zasilania. Dlatego w przypadku oddziaływania linii silnoprądowych indukowane napięcia wzdlużne w żyłach kabla mogą się dodawać tylko w granicach odcinka wzmacniakowego. Pomiędzy przewodem wewnętrznym i zewnętrznym przy równomier-

nym oddziaływaniu praktycznie nie występuje żadne napięcie, jeśli pominąć spadek napięcia na indukcyjności rozproszenia i oporności transformatora. Tor zdalnego zasilania nie będzie podlegał więc oddziaływaniu zakłócającemu, ponieważ chwilowe wartości prądów zaindukowanych są przeciwnie skierowane w transformatorze i napięcie zdalnego zasilania na zaciskach wzmacniaka nie ulegnie zmianie.



Rys. 2a. Schemat blokowy wzmacniaka tranzystorowego z uzziemionym przewodem zewnętrznym pary współosiowej i zdalnym zasilaniem prądem stałym

Rysunek 2a przedstawia blokowy schemat punktu wzmacniakowego tranzystorowego, zasilanego zdalnie prądem stałym.

Przewody zewnętrzne pary współosiowej są uzziemione. Przewody zaś wewnętrzne danej pary współosiowej są na całym odcinku zasileniowym galwanicznie ze sobą połączone poprzez filtry dolnoprzepustowe i odizolowane od ziemi. W tym przypadku indukowane napięcia wzdłużne będą się dodawać na całym odcinku zasileniowym i będą wzmacniane przez wszystkie wzmacniaki zdalnie zasilane z danej baterii. Tor zdalnego zasilania będzie w tym przypadku podlegać oddziaływaniu linii elektroenergetycznych, ponieważ zaindukowany prąd zakłócający bezpo-

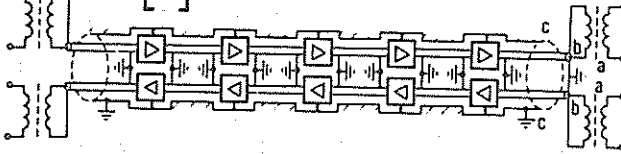
Średnio nakłada się na prąd zdalnego zasilania; prąd zakłócający moduluje swą częstotliwością prąd stały zdalnego zasilania. Zaindukowane w powłoce kabla napięcie wzdłużne jest równe praktycznie zaindukowanemu napięciu wzdłużnemu na przewodzie zewnętrznym. Natomiast pomiędzy przewodem wewnętrznym i zewnętrznym wystąpi pewne napięcie.

Jeśli przewód zewnętrzny odizoluje się od ziemi, wystąpi obecnie na nim znacznie mniejsze napięcie wzdłużne, ponieważ będzie ono uwarunkowane dużą opornością sprzężenia pojemnościowego, jakie panuje pomiędzy przewodem zewnętrznym i powłoką kabla. W tym przypadku napięcia i prądy pojawiające się w parze współosiowej są znacznie mniejsze, niż przy uziemionym przewodzie zewnętrznym. Tak więc izolowanie przewodu zewnętrznego pary współosiowej od ziemi jest bardzo korzystne w systemie zdalnego zasilania wzmacniaków prądem stałym. Pomiarzy wykonane na kablu ułożonym wzdłuż zelektryfikowanego (napięciem zmiennym o $f = 16 \frac{2}{3}$ Hz) toru kolejowego potwierdziły to całkowicie [1].

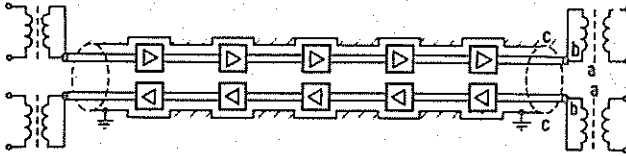
Rysunek 2b przedstawia schemat systemu transmisyjnego realizowanego za pomocą dwóch par współosiowych z uziemionym przewodem zewnętrznym, a rys. 2c z izolowanym przewodem zewnętrznym.

W przypadku wzmacniaków lampowych i przy uziemionych przewodach zewnętrznych pary współosiowej interesuje nas praktycznie tylko napięcie niebezpieczne wzdłużne, jakie może wystąpić na żyłach kabla podczas oddziaływań

linii silnoprądowych. Napięcie to nie może przekroczyć dopuszczalnych przepisami granic [2]. Metody obliczeniowe wartości oddziaływań niebezpiecznych podane są w wielu opracowaniach [3].



Rys. 2b. Schemat linii kablowej z uziemionymi przewodami zewnętrznymi par współosiowych



Rys. 2c. Schemat linii kablowej z izolowanymi przewodami zewnętrznymi par współosiowych

W przypadku wzmacniaków tranzystorowych, zasilanych zdalnie prądem stałym, interesują nas oddziaływania linii silnoprądowych nie tylko z punktu widzenia niebezpiecznego zagrożenia urządzeń, lecz także z punktu widzenia eksploatacji. Jeśli odgromniki służące do ochrony wzmacniaków zadziałają od zaindukowanego napięcia, spowodują one zwarcie dla sygnału użytecznego, a więc krótkotrwałą przerwę w transmisji. Prócz tego interesuje nas wartość zaindukowanych prądów w przewodzie wewnętrznym, ponieważ prąd ten nakłada się na prąd zasilania i może powodować zakłócenia w transmisji (przydźwięk). Jeśli przewód zewnętrzny jest odizolowany od ziemi, wtedy w przewodzie wewnętrznym mogą indukować

się bardzo małe prądy i zakłócenia będą praktycznie niewyczuwalne.

Przebiegi oddziaływań w systemie, gdy przewód zewnętrzny pary współosiowej jest odizolowany od ziemi, są bardziej skomplikowane, niż w systemie, gdy przewód zewnętrzny jest uziemiony. Można jednak z wystarczającą dokładnością określić wielkości oddziaływań występujących w kablu współosiowym z nieuziemionym przewodem zewnętrznym ze wzmacniakami tranzystorowymi, zasilanymi zdalnie prądem stałym.

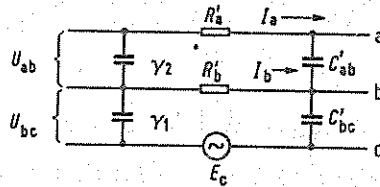
2. DOKŁADNE WZORY OBLICZENIOWE

Para współosiowa w najprostszym przypadku tworzy z powłoką kablową dwa tory współosiowe o wspólnej osi.

Jeden z nich składa się z powłoki kablowej i przewodu zewnętrznego pary współosiowej. Jest to tor współosiowy pośredni; drugi z nich to właściwa para współosiowa. Wspólnym przewodem obu torów jest przewód zewnętrzny pary współosiowej.

Rysunek 3 pokazuje schemat kabla współosiowego, podlegającego oddziaływaniu.

W powłoce kabla na skutek oddziaływania linii wysokich napięć powstanie SEM wzdluzna E_c . Pomiędzy powłoką kabla c i przewodem zewnętrznym pary współosiowej b istnieje sprzężenie pojemnościowe C_{bc} , w wyniku którego w przewodzie zewnętrznym popłynie prąd I_b . Tak więc,



Rys. 3. Schemat, wyjaśniający oddziaływanie na kabel współosiowy z izolowanym przewodem zewnętrznym

E_c - SEM wzdłużna w powłoce kabla, U_{bc} - napięcie w torze współosiowym pośrednim, U_{ab} - napięcie w parze współosiowej, c - powłoka kabla, b - przewód zewnętrzny pary współosiowej, a - przewód wewnętrzny pary współosiowej, I_b - prąd w przewodzie zewnętrznym, I_a - prąd w przewodzie wewnętrznym, C_{bc} - pojemność w torze współosiowym pośrednim, C_{ab} - pojemność w parze współosiowej, R_b - oporność przewodu zewnętrznego, R_a - oporność przewodu wewnętrznego, γ_1 - tamowność jednostkowa toru współosiowego pośredniego, γ_2 - tamowność pary współosiowej

w pierwszej kolejności oddziaływaniu podlega tor współosiowy pośredni. Spadek napięcia na oporze przewodu zewnętrznego pary współosiowej R_b spowoduje zaindukowanie się prądu I_a w przewodzie wewnętrznym na skutek sprzężenia pojemnościowego C_{ab} . W ten sposób dalszemu oddziaływaniu podlega para współosiowa. Zakłada się, że SEM wzdłużna zaindukowana w powłoce kabla jest stała i równomiernie rozłożona na długości l rozpatrywanego kabla.

Z równania różniczkowego dla toru współosiowego pośredniego można określić napięcie $U_{bc}(x)$ pomiędzy przewodem zewnętrznym i powłoką kabla oraz prąd $I_b(x)$ w przewodzie zewnętrznym w punkcie x linii kablowej o długości l . Następnie układa się równanie różniczkowe dla pary współosiowej, na podstawie którego określa się prąd I_a w przewodzie wewnętrznym i napięcie U_{ab} pomiędzy prze-

wodem wewnętrznym i zewnętrznym pary. W tabelicy 1 podano wzory do obliczania prądów i napięć, panujących w punkcie x kabla współosiowego.

Jak widać z tablic, we wzorach tych występują tamowności toru współosiowego pośredniego i pary współosiowej. Tamowność oblicza się z wartości parametrów jedno-

T a b l i c a 1

Wzory obliczeniowe oddziaływań przy izolowanym przewodzie zewnętrznym pary współosiowej /Upływność $G = 0$ /

$I_b(x) = 2 E_c \cdot \omega C'_{bc} \frac{\sinh[\frac{x}{2} \gamma l] \sinh[\frac{1}{2} \gamma l (l-x)]}{\gamma^2 \cosh[\frac{1}{2} \gamma l]}$	$U_{bc}(x) = E_c \frac{\sinh[\frac{x}{2} \gamma l (l-2x)]}{\gamma \cosh[\frac{1}{2} \gamma l]}$
$I_a(x) = \frac{2 E_c \omega^2 C'_{as} C'_{bc} R'_b}{\gamma^2 \gamma^2 (\gamma^2 - \gamma'^2)} \left[\gamma^2 \frac{\sinh[\frac{x}{2} \gamma l] \sinh[\frac{1}{2} \gamma l (l-x)]}{\cosh[\frac{1}{2} \gamma l]} - \gamma'^2 \frac{\sinh[\frac{x}{2} \gamma' l] \sinh[\frac{1}{2} \gamma' l (l-x)]}{\cosh[\frac{1}{2} \gamma' l]} \right]$	
$U_{ab}(x) = \frac{E_c \omega C'_{bc} R'_b}{\gamma \gamma^2 (\gamma^2 - \gamma'^2)} \left[\gamma \frac{\sinh[\frac{x}{2} \gamma l (l-2x)]}{\cosh[\frac{1}{2} \gamma l]} - \gamma' \frac{\sinh[\frac{x}{2} \gamma' l (l-2x)]}{\cosh[\frac{1}{2} \gamma' l]} \right]$	
$I_b(\frac{l}{2}) = E_c \omega C'_{bc} \frac{\cosh[\frac{1}{2} \gamma l] - 1}{\gamma^2 \cosh[\frac{1}{2} \gamma l]}$	$U_{bc}(0) = -U_{bc}(l) = \frac{E_c}{\gamma} \tanh[\frac{1}{2} \gamma l]$
$I_a(\frac{l}{2}) = \frac{E_c \omega^2 C'_{as} C'_{bc} R'_b}{\gamma^2 \gamma^2 (\gamma^2 - \gamma'^2)} \left[\gamma \frac{\cosh[\frac{1}{2} \gamma l] - 1}{\cosh[\frac{1}{2} \gamma l]} - \gamma' \frac{\cosh[\frac{1}{2} \gamma' l] - 1}{\cosh[\frac{1}{2} \gamma' l]} \right]$	
$U_{ab}(0) = -U_{ab}(l) = \frac{E_c \omega C'_{bc} R'_b}{\gamma \gamma^2 (\gamma^2 - \gamma'^2)} \left[\gamma \tanh[\frac{1}{2} \gamma l] - \gamma' \tanh[\frac{1}{2} \gamma' l] \right]$	
$dla e^{\gamma l} \rightarrow \infty$	
$I_b(\frac{l}{2}) = \frac{E_c}{R'_b + j\omega L'_b}$	$U_{bc}(0) = -U_{bc}(l) = \frac{E_c}{\gamma}$
$I_a(\frac{l}{2}) = \frac{E_c R'_b}{(R'_b + j\omega L'_b)(R'_a + j\omega L'_a)}$	$U_{ab}(0) = -U_{ab}(l) = \frac{E_c R'_b}{R'_b + j\omega L'_b} \cdot \frac{\gamma}{\gamma'(\gamma + \gamma')}$
$dla \sinh \gamma l \approx \gamma l + \frac{(\gamma l)^3}{3!} + \frac{(\gamma l)^5}{5!}$	
$I_a(\frac{l}{2}) = \frac{5}{396} E_c \omega^2 C'_{as} C'_{bc} R'_b l^6 \cdot \frac{\gamma l \cdot \gamma' l}{\sinh \gamma l \cdot \sinh \gamma' l} \left[1 + \frac{(\gamma l)^2 (\gamma' l)^2}{200} \right]$	

stkowych toru L , R , C , G na podstawie wzoru:

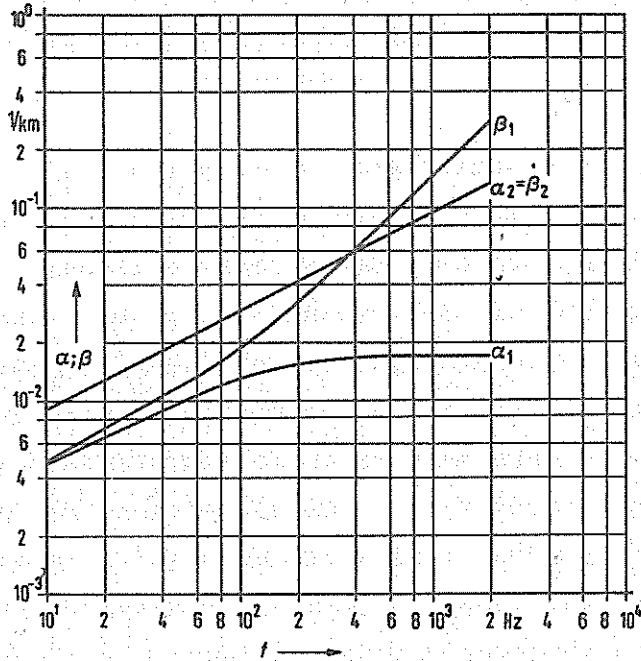
$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

Dla niskich częstotliwości można upływność G przyjąć za równą zero w porównaniu z ωC . W parze współosiowej można pominąć również oporność indukcyjną ωL w porównaniu z opornością rzeczywistą R . W torze współosiowym pośrednim natomiast nie zawsze można pominąć ωL , a mianowicie wtedy, gdy przewód zewnętrzny pary współosiowej jest owinięty taśmą stalową. W rzeczywistości tor współosiowy pośredni jest bardzo skomplikowany i jego tamowność jest najczęściej nie znana.

Na podstawie znajomości parametrów kabla kolejowego Kx/20/28, podanych pod rys. 4, obliczono tamowność kabla.

Jeśli chodzi o pojemność C_{ab} pary współosiowej, to uwzględnia ona również pojemność $0,4 \mu F$, która jest włączona na końcu każdego odcinka wzmacniakowego pomiędzy przewodem wewnętrznym i zewnętrznym w zwrotnicy zdalnego zasilania. Tłumienność oraz przesuwność jednostkową przedstawiono na wykresie na rys. 4. Tak więc, za pomocą dokładnych wzorów, można bez większego wysiłku obliczyć wielkości oddziaływań dla dowolnych częstotliwości.

Pomimo tego, że dysponuje się dokładnymi wzorami, w praktyce nie zawsze jest możliwe dokładne obliczenie wielkości oddziaływań. Niedokładność ta wynika stąd, że jak już wyżej było powiedziane, tamowność toru współo-



Tor współosiowy pośredni: $\gamma_1 = \alpha_1 + j\beta_1 \approx \sqrt{(R'_b + j\omega L_b) j\omega C_{bc}}$
 $R'_b = 6 \Omega/\text{km}; L_b = 4 \text{ mH}/\text{km}; C_{bc} = 0,13 \mu\text{F}/\text{km}$

Para współosiowa: $\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2 \approx \sqrt{j(R'_a + R'_b) \omega C'_{ab}}$
 $R'_a = 15 \Omega/\text{km}; R'_b = 6 \Omega/\text{km}; C'_{ab} = 0,121 \mu\text{F}/\text{km}$

*W C'_{ab} są uwzględnione pojemności 0,4 μF
 które znajdują się w zwrotnicy na końcu
 każdego odcinka wzmacniakowego o długo-
 ści 6 km/*

Rys. 4. Tłumienność i przesuwność kolejowej linii kablowej 2 Kx/20/28 z dwiema parami współosiowymi

siowego pośredniego jest najczęściej nie znana. Drugim powodem, prowadzącym do niedokładnych obliczeń jest to, że SEM wzdluzna w powloce kabla jest zniekształcona. Zniekształceń tych również nie da się dokładnie określić.

3. WPLYW ZNIEKSZTALCENIA SEM WZDŁUŻNEJ W POWŁOCE KABLA

Obliczanie oddziaływań nabiera znaczenia, zwłaszcza przy dużych prądach zwarciovych płynących w ziemi, które np. mogą powstać podczas zwarcia doziemnych przewodu jezdnego trakcji elektrycznej. W powłoce kabla, ułożonego równoległe do szyn kolejowych, płyną wtedy bardzo duże prądy, które silnie magnesują opancerzenie kabla. Zaindukowane napięcie wzdluzne w opancerzonej powłoce kabla jest wskutek tego zniekształcone, zawiera wyższe harmoniczne. Przy izolowaniu od ziemi przewodu zewnętrznego pary współosiowej istnieje pomiędzy przewodami kabla tylko sprzężenie pojemnościowe, wobec czego w indukowanych w przewodach kabla napięciach będą powiększone składowe wyższych harmonicznych. Wartość obliczonego prądu w torze zdalnego zasilania może być fałszywa, jeżeli w obliczeniach uwzględni się tylko podstawową częstotliwość prądu przemysłowego, płynącego w powłoce kabla. Jeżeli chodzi o napięcia, jakie mogą powstać w wyniku oddziaływania w torze zasilania, wyższe częstotliwości mają o wiele mniejsze znaczenie.

W odniesieniu do prądu w przewodzie wewnętrznym, we wszystkich przypadkach należy uwzględniać pasmo wyższych harmonicznych. Do tego celu dokładne wzory obliczeniowe będą zbyt skomplikowane. Ponieważ ściśle wzory nie zawsze dają dokładne wyniki ze względu na niedokładną znajomość różnych danych wchodzących do wzorów, do przybli-

zonych obliczeń wystarczające są wzory uproszczone i zastępczy schemat.

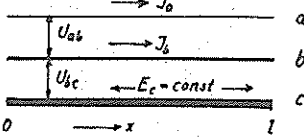
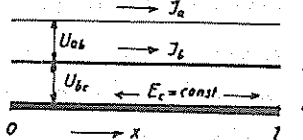
4. WZORY UPROSZCZONE

Dla niskich częstotliwości, np. dla podstawowej częstotliwości prądu zmiennego przemysłowego, praktyczne znaczenie mają tylko pojemności w obwodach prądowych, gdy przewód zewnętrzny pary współosiowej jest izolowany od ziemi. Wzory obliczeniowe prądów i napięć w dowolnym punkcie x linii kablowej są wtedy bardzo proste. W tablicy 2 zestawiono wzory obliczeniowe uproszczone, dla przypadków, gdy przewód zewnętrzny pary współosiowej jest izolowany od ziemi lub jednostronnie uziemiony. Przy równomiernym wzdłuż kabla oddziaływaniu linii silnopiętrowych i przy izolowanym przewodzie zewnętrznym pary współosiowej, największe prądy płyną pośrodku trasy kabla, natomiast maksymalne wartości napięcia występują na początku i na końcu linii kablowej.

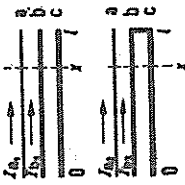
W przypadku jednostronnego uziemienia przewodu zewnętrznego pary współosiowej zostaje naruszona symetria. W przewodzie zewnętrznym prąd posiada maksymalną wartość w miejscu uziemienia. W przewodzie wewnętrznym punkt przepływu maksymalnego prądu przesunął się nieco w kierunku miejsca uziemienia. Napięcie między przewodami pary współosiowej jest większe na końcu linii po stronie uziemienia przewodu zewnętrznego, a mniejsze na końcu linii, gdzie nie ma uziemienia. Przebiegi napięć i prądów przedstawiono na rys. 5 i 6.

T a b l i c a 2

Wzory uproszczone do obliczania równomiernego oddziaływania

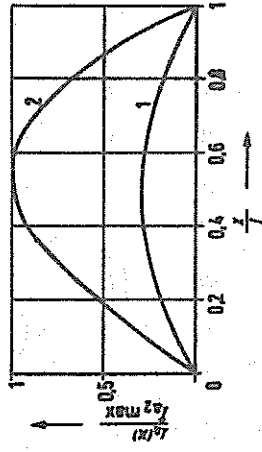
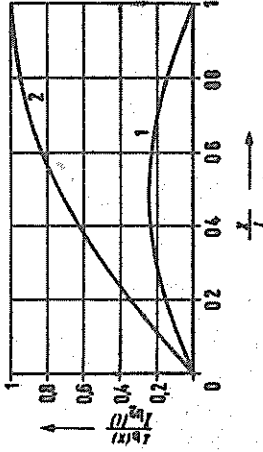
Przewód zewnętrzny odizolowany od ziemi	Jednostronnie uziemiony przewód zewnętrzny
	
$J_b(x) = E_c \omega C'_{bc} l^2 \left[\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l}\right)^2 \right]$ $J_{bmax} = J_b\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{1}{8} E_c \omega C'_{bc} l^2$	$J_b(x) = \frac{1}{2} E_c \omega C'_{bc} l^2 \left[2\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l}\right)^2 \right]$ $J_{bmax} = J_b(l) = \frac{1}{2} E_c \omega C'_{bc} l^2$
$J_a(x) = \frac{1}{12} E_c \omega^2 C'_{ab} C'_{bc} R'_b l^4 \left[\frac{2}{3}\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right]$ $J_{amax} = J_a\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{5}{384} E_c \omega^2 C'_{ab} C'_{bc} R'_b l^4$	$J_a(x) = \frac{1}{2} E_c \omega^2 C'_{ab} C'_{bc} R'_b l^4 \left[\frac{1}{6}\frac{x}{l} - \frac{1}{3}\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{1}{12}\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right]$ $J_{amax} = J_a(0.554l) = 0.04488 E_c \omega^2 C'_{ab} C'_{bc} R'_b l^4$
$U_{bc}(x) = \frac{1}{2} E_c l \left[1 - 2\frac{x}{l} \right]$ $U_{bcmax} = U_{bc}(0) = -U_{bc}(l) = \frac{E_c l}{2}$	$U_{bc}(x) = E_c l \left[1 - \frac{x}{l} \right]$ $U_{bcmax} = U_{bc}(0) = E_c l$
$U_{ab}(x) = \frac{1}{24} E_c \omega C'_{bc} R'_b l^3 \left[1 - 6\left(\frac{x}{l}\right)^2 + 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right]$ $U_{abmax} = U_{ab}(0) = U_{ab}(l) = \frac{1}{24} E_c \omega C'_{bc} R'_b l^3$	$U_{ab}(x) = \frac{1}{8} E_c \omega C'_{bc} R'_b l^3 \left[1 - 4\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{4}{3}\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right]$ $U_{abmax} = U_{ab}(l) = \frac{5}{24} E_c \omega^2 C'_{bc} R'_b l^3$

Za pomocą wzorów uproszczonych można ustalić zastępczy uproszczony schemat elektryczny pary współosiowej i toru pośredniego.

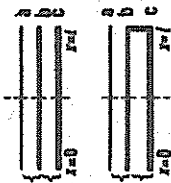


1. Praca przy izolowaniu od ziemi przewódzie zewnętrznym

2. Praca przy jednostronnym uziemionym przewodzie zewnętrznym

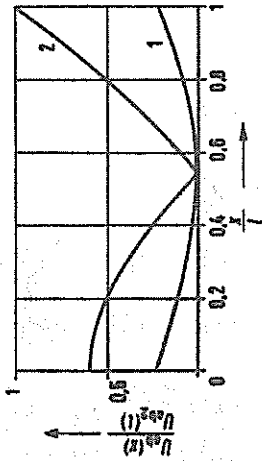
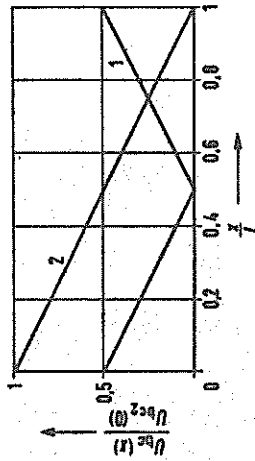


Rys. 6. Przebieg prądów indukowanych w kablu przy równomiernym oddziaływaniu w przypadku izolowania od ziemi przewodu zewnętrznego pary współosiowej i w przypadku uziemienia tego przewodu na jednym końcu linii kablowej



1. Praca przy izolowaniu od ziemi przewódzie zewnętrznym

2. Praca przy jednostronnym uziemionym przewodzie zewnętrznym



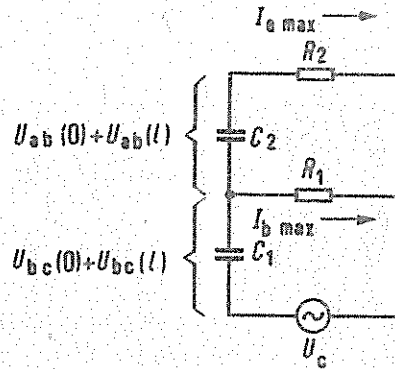
Rys. 5. Przebieg napięć indukowanych w kablu przy równomiernym oddziaływaniu w przypadku izolowania od ziemi przewodu zewnętrznego pary współosiowej i w przypadku uziemienia tego przewodu na jednym końcu linii kablowej

5. SCHEMAT ZASTĘPCZY

Za pomocą uproszczonych wzorów można obliczyć skupioną zastępczą pojemność toru współosiowego pośredniego, przy której popłynie największy prąd w przewodzie zewnętrznym pary współosiowej przy danym napięciu wzdłużnym zaindukowanym w powłoce kabla.

Następnie określa się zastępczy skupiony opór, na którym maksymalny prąd wywoła taki sam spadek napięcia, jaki powstałby na przewodzie zewnętrznym pary współosiowej. W podobny sposób określa się skupioną pojemność i skupiony opór zastępczy dla pary współosiowej. Rys. 7 przedstawia zastępczy schemat kabla. Na rys. 7 podano

Praca przy izolowaniu od ziemi przewodzie zewnętrznym	Praca przy jednostronnie uzienionym przewodzie zewnętrznym
$U_{ab}(0) = U_{ab}(l)$	$U_{ab}(0) = \frac{1}{2} U_{ab}(l)$
$U_c = E_c \cdot l$	$U_c = E_c \cdot l$
$C_1 = \frac{1}{2} C'_{bc} \cdot l$	$C_1 = \frac{1}{2} C'_{bc} \cdot l$
$C_2 = \frac{1}{2} C'_{ab} \cdot l$	$C_2 = 0,1344 C'_{ab} \cdot l$
$R_1 = \frac{1}{2} R'_b \cdot l$	$R_1 = \frac{1}{2} R'_b \cdot l$
$R_2 = \frac{1}{2} R'_a \cdot l$	$R_2 = 0,65 R'_a \cdot l$



Rys. 7. Schemat zastępczy do obliczania maksymalnych napięć i prądów w kablu przy równomiernym oddziaływaniu

również wartości zastępczych pojemności i oporów w stosunku do wartości podanych na rys. 4. Za pomocą schematu zastępczego z rys. 7 można określić tylko maksymalne wartości prądów i napięć indukowanych. Za pomocą tak-

go schematu można o wiele łatwiej obliczyć wpływ całego widma częstotliwości. Obliczając wpływ częstotliwości 200 Hz w kablu o długości 50 km i o parametrach podanych na rys. 4. otrzymuje się wartość prądu w przewodzie wewnętrznym pary współosiowej o około 10% mniejszą w stosunku do obliczeń za pomocą ścisłych wzorów. Przy częstotliwości 500 Hz błąd wynosi 50%. Ponieważ w kablu o długości 50 km wyższe harmoniczne w stosunku do podstawowej częstotliwości pojawiają się w stopniu nieznacznym, wobec tego błąd w obliczeniach uproszczonych dla wyższych częstotliwości nie będzie miał większego wpływu na ogólny wynik. Natomiast w krótkich liniach kablowych wyższe harmoniczne mają większe znaczenie w stosunku do podstawowej częstotliwości i należy się liczyć z ich wpływem na wyniki obliczeniowe. Ponieważ jednak ze zmniejszaniem długości kabla schemat zastępczy kabla z rys. 7 staje się dokładniejszy, można powiedzieć, że obliczenia przybliżone za pomocą schematu z rys. 7 są praktycznie wystarczające.

6. NAPIĘCIA I PRĄDY W PRZEWODACH KABLA WSPÓŁOSIOWEGO W PRZYPADKU, GDY NAPIĘCIE WZDŁUŻNE ZAINDUKOWANE W POWŁOCE KABLA ZAWIERA WYŻSZE HARMONICZNE

Wyższe harmoniczne napięcia wzdłużnego w powłoce kabla powstają na skutek magnesowania pancerza stalowego. Współczynnik redukcyjny powłoki i opancerzenia kabla dla tych częstotliwości nie ma znaczenia, ponieważ nie pochodzą one z linii wysokiego napięcia, lecz powstają

W powłoce kabla na skutek magnesowania. Źródłem harmonicznych jest więc sam kabel. Analiza krzywych prądu zaindukowanego w powłoce kabla wykazuje, że amplitudy wyższych harmonicznych w stosunku do amplitudy podstawowej częstotliwości maleją do kwadratu swej liczby porządkowej. Za pomocą schematu zastępczego z rys. 7 można obliczyć współczynnik korekcyjny, który uwzględnia działanie wszystkich wyższych harmonicznych. Za pomocą tego współczynnika koryguje się wyniki obliczeniowe, jakie otrzymano stosując wzory uproszczone z tabl. 2, jeśli do wzorów tych podstawia się wartość skuteczną napięcia wzdłużnego o częstotliwości podstawowej oraz częstotliwość podstawową prądu przemysłowego. W wyniku tego otrzymuje się skuteczną wartość prądów zaindukowanych w przewodach pary współosiowej. Przy ustalaniu rozkładu napięć według schematu uproszczonego z rys. 7, można nie uwzględniać gałęzi równoległej:

$$R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}$$

w stosunku do R_1 .

W tabelicy 3 są zestawione wzory obliczeniowe współczynników korekcyjnych dla poszczególnych składowych harmonicznych i dla odpowiednich prądów i napięć indukujących się w przewodach pary współosiowej.

Współczynnik korekcyjny zależy od liczby porządkowej składowej harmonicznej, od długości linii kablowej i od częstotliwości podstawowej prądu przemysłowego. Najwięk-

Współczynnik korekcyjny wpływu wyższych harmonicznych napięcia wzdłużnego w powłoce kabla

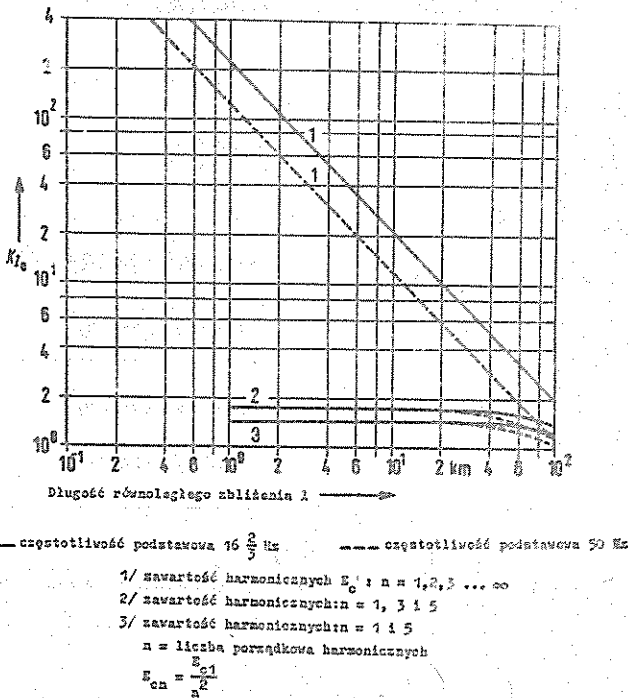
Wielkość	Współczynnik korekcyjny
I_b	$K_{I_b} = \sqrt{\frac{\sum \frac{1}{n^2 + an^4}}{\sum \frac{1}{n^2}}} ; \quad a = [\omega_0 C_1 R_1]^2$
U_{bc}	$K_{U_{bc}} = \sqrt{\frac{\sum \frac{1}{n^2 + an^4}}{\sum \frac{1}{n^2}}} ; \quad a = [\omega_0 C_1 R_1]^2$
I_a	$K_{I_a} = \sqrt{\frac{\sum \frac{1}{1 + an^2 + bn^4}}{\sum \frac{1}{n^2}}} ; \quad a = [\omega_0 C_1 R_1]^2 + [\omega_0 C_2 R_2]^2$ $b = [\omega_0 C_1 R_1]^2 \cdot [\omega_0 C_2 R_2]^2$
U_{ab}	$K_{U_{ab}} = \sqrt{\frac{\sum \frac{1}{n^2 + an^4 + bn^6}}{\sum \frac{1}{n^2}}} ; \quad a = [\omega_0 C_1 R_1]^2 + [\omega_0 C_2 R_2]^2$ $b = [\omega_0 C_1 R_1]^2 \cdot [\omega_0 C_2 R_2]^2$
<p>n = Liczba porządkowa wyższej harmonicznej</p> <p>$E_{C_n} = \frac{E_{C_0}}{n^2} ; \quad \omega_0 = 2 \pi f_0$, gdzie f_0 częstotliwość podstawowa</p>	

szą wartość posiada współczynnik korekcyjny w odniesieniu do prądu zaindukowanego w przewodzie wewnętrznym pary współosiowej.

Jeśli chodzi o kabel kolejowy 2Kx/20/28, obliczono współczynniki korekcyjne dla różnych zawartości harmonicznych napięcia wzdłużnego w funkcji długości linii kablowej.

Rysunek 8 pokazuje wartość współczynnika korekcyjnego prądu płynącego w przewodzie wewnętrznym. Z wykresu widać, że przy krótkiej linii kablowej harmoniczne wyż-

szego rzędu mają również duży wpływ na wielkość oddziaływań. W długich liniach kablowych wpływ ich maleje. W linii o długości 50 km wartość współczynników korekcyjnych zawiera się między 1,6 i 4 w zależności od zawar-



Rys. 8. Współczynnik korekcyjny K_{Ia} dla prądu w przewodzie wewnętrznym w zależności od długości linii kablowej w wyniku równomiernego oddziaływania

tości harmonicznym. Natomiast zawartość harmonicznym zależy od czasu trwania zwarcia doziemnego w linii wysokonapięciowej, a więc od czasu magnesowania opancerzenia stalowego kabla przez zaindukowany prąd w powłoce i opancerzeniu.

Jeśli chodzi o prąd płynący w zewnętrznym przewodzie

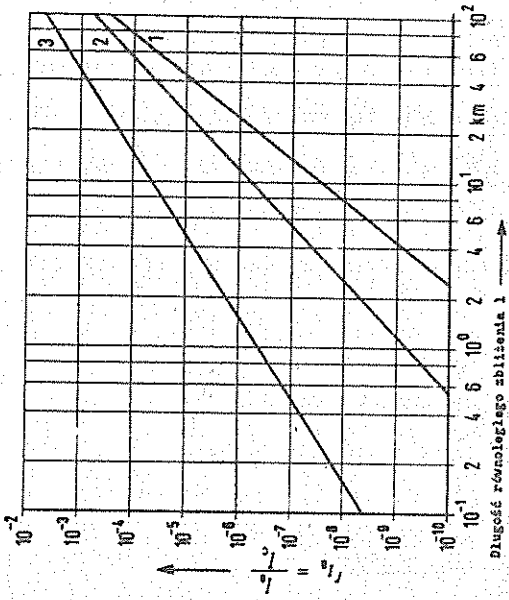
pary współosiowej, wyższe harmoniczne mają mniejszy wpływ na jego wartość. W najbardziej niekorzystnych przypadkach korekcja wynosi około 20%.

Podobnie niewielka korekcja występuje w stosunku do napięć w parze współosiowej. Dla napięć w torze współosiowym pośrednim praktycznie nie są konieczne korekcje od wpływów wyższych harmonicznych. Współczynnik korekcyjny równa się w przybliżeniu 1.

Rysunek 9 i 10 przedstawiają współczynnik redukcyjny dla prądu w wewnętrznym przewodzie w stosunku do prądu płynącego w powłoce kabla. Współczynnik redukcyjny odnosi się do prądu o częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ i 50 Hz. Dla porównania podano na rysunkach wykresy współczynników również i dla przypadku obustronnego uziemienia przewodu zewnętrznego pary współosiowej. W kablu o długości 50 km zaindukowany w przewodzie wewnętrznym prąd o częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ Hz przy dwustronnym uziemieniu przewodu zewnętrznego jest 16 do 60 razy większy od prądu, jaki by się zaindukował przy izolowanym przewodzie zewnętrznym, w zależności od zawartości i rozkładu harmonicznych. Na podstawie pomiarów ustalono, że współczynnik redukcyjny wynosi 20 do 30 [1.]

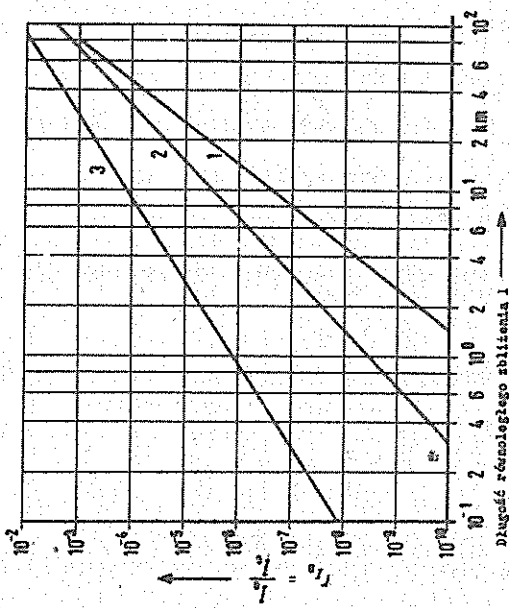
Na rysunku 11 podano wykres współczynnika redukcyjnego napięcia pary współosiowej w stosunku do napięcia wzdłużnego zaindukowanego w powłoce kabla:

$$r_{U_{ab}} = \frac{U_{ab}}{E_c \cdot l}$$



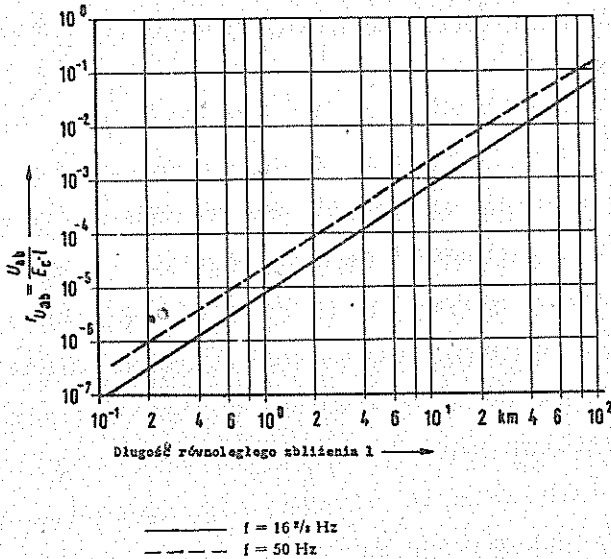
Długość równoległego zbliznienia 1 →
 1/ przewód zewnętrzny izolowany, zawartość harmonicznych f_c ; tylko czę-
 stościwość podstawowa
 2/ przewód zewnętrzny izolowany, zawartość harmonicznych f_c ; $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$
 3/ przewód zewnętrzny usiłowany

Rys. 9. Współczynnik redukcji r_{ia} dla prądu indukowanego w przewodzie wewnętrznym w odniesieniu do prądu płynącego w powłoce kabla dla częstotliwości $f_0 = 16 \frac{2}{3}$ Hz i przy równomiernym oddziaływaniu



Długość równoległego zbliznienia 1 →
 1/ przewód zewnętrzny izolowany, zawartość harmonicznych f_c ; i tylko czę-
 stościwość podstawowa
 2/ przewód zewnętrzny izolowany, zawartość harmonicznych f_c ; $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$
 3/ przewód zewnętrzny usiłowany

Rys. 10. Współczynnik redukcji r_{ia} dla prądu indukowanego w przewodzie wewnętrznym w odniesieniu do prądu płynącego w powłoce kabla dla częstotliwości $f_0 = 50$ Hz i przy równomiernym oddziaływaniu



Rys. 11. Współczynnik redukcyjny r_{Uab} dla napięcia występującego między przewodami pary współosiowej przy izolowanym przewodzie zewnętrznym w odniesieniu do napięcia wzdłużnego występującego w powłoce kabla $U_c = E_c \cdot l$

Współczynnik ten dla kabla o długości 50 km i dla częstotliwości prądu oddziaływującego $16 \frac{2}{3}$ Hz, obliczony na podstawie parametrów kabla podanych na rys. 4, wynosi 0,02, co jest zgodne z wynikami pomiarowymi.

Na oscylogramie prądu, zaindukowanego w przewodzie wewnętrznym [1] podczas zwarcia doziemnego w przewodzie jezdnym, widać na początku oraz na końcu zarejestrowanego przebiegu krótkotrwałe impulsy, których amplitudy nie mieszczą się na lampie oscyloskopowej. Sprawa ta wymaga wyjaśnień.

7. WPLYW FAZY ZWARCIA W SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Jeśli czas rozpoczęcia lub zakończenia zwarcia w linii elektroenergetycznej nie odpowiada czasowi, w którym chwilowe wartości napięć lub prądów są równe zero, wtedy powstają narastające lub gasnące drgania. Składowe stałe, które również pojawiają się w czasie tego zjawiska, można pominąć. Najbardziej niekorzystne przypadki występują wtedy, gdy zwarcie rozpoczyna się w momencie, gdy chwilowa wartość napięcia osiąga maksimum lub gdy zakończenie zwarcia pokrywa się z czasem, w którym prąd posiada maksymalną wartość.

Istnieje jednak więcej możliwości włączenia i wyłączenia zwarcia w momentach pośrednich. Te narastające lub gasnące drgania indukują się w kablu i zniekształcają podstawową częstotliwość.

Z szerokości impulsu zarejestrowanego na lampie oscylograficznej podczas pomiarów w Gemünde [1] wynika, że częstotliwość impulsu była równa około 200 Hz. Przy częstotliwości drgań narastających lub gasnących 200 Hz w linii elektroenergetycznej prąd zaindukowany w przewodzie zewnętrznym pary współosiowej przy izolowanym przewodzie zewnętrznym jest 2 razy mniejszy od prądu, który zaindukuje się w przewodzie wewnętrznym w przypadku, gdy przewód zewnętrzny pary współosiowej jest uziemiony (dwustronnie). To zjawisko nie jest jednak groźne, ponieważ współczynnik redukcyjny powłoki i opancerzenia kabla dla prądu oddziaływującego o częstotliwości 200 Hz jest bar-

zo mały. Można obliczyć na podstawie pomiarów wykonanych w Gemünde, że amplituda impulsów prądów o częstotliwości 200 Hz zaindukowanych w przewodzie wewnętrznym jest 3 do 4 razy większa od wartości skutecznej prądu o podstawowej częstotliwości, zaindukowanego w tym przewodzie. W praktyce jest to również bez znaczenia, ponieważ wejście toru zdalnego zasilania posiada dużą pojemność, która zwiera te zaindukowane krótkotrwałe impulsy o stosunkowo dużej amplitudzie. Nie są więc one groźne dla wzmacniaków tranzystorowych.

Impulsy te powstają również w tym przypadku, gdy, jak już było wspomniane wyżej, przewód zewnętrzny pary współosiowej zostanie dwustronnie uziemiony. W tym przypadku impulsy zaindukowane są o wiele większe.

Jako wniosek z tych teoretycznych rozważań, jak również z analizy pomiarów kabla współosiowego, przeprowadzonych w Gemünde, można przyjąć: przy zdalnym zasilaniu prądem stałym wzmacniaków tranzystorowych w kablu współosiowym izolowanie od ziemi przewodu zewnętrznego pary współosiowej jest skutecznym i korzystnym środkiem ochrony przed oddziaływaniem linii elektroenergetycznych.

WYKAZ LITERATURY

1. Braun E., Leiterberger W., Ziegler A.: Messung der Beeinflussung einer Kabelstrecke mit Kleinkoaxialpaaren und Transistorzwischenverstärkern bei Fahrleitungskurzschlüssen. Signal und Draht, 1964, t.56, nr 12, s. 196-198.

2. VDE - Vorschriften 0227/1.59. Leitsätze für Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Wechselstrombahnen, § 8.
3. VDE - Vorschriften 0227/1.59, § 20, § 21.

ZABEZPIECZENIE TELEFONICZNYCH URZĄDZEŃ TRANZYSTOROWYCH OD NIEBEZPIECZNYCH NAPIĘĆ

Opracował W. Gajda na podstawie artykułu:
Newosielow A.S.: Zaszczita ot opasnych napriazhenij apparatury swiazi na poluprowodnikowych priborach. Wiestnik swiazi 1963, nr 7, s. 15-17.

W nowoczesnych urządzeniach telekomunikacyjnych szerokie zastosowanie znajdują tranzystory, które w porównaniu z lampami elektronowymi, są o wiele bardziej ekonomiczne i dogodniejsze w eksploatacji.

Z drugiej strony wytrzymałość elektryczna na przebicie izolacji tranzystora oraz innych elementów pracujących w układzie z tranzystorami (kondensatory, opory) jest znacznie mniejsza od wytrzymałości izolacji podzespołów współpracujących z lampami elektronowymi.

Dlatego stosując tranzystory w urządzeniach telekomunikacyjnych, należy równocześnie przewidywać stosowanie specjalnych środków zabezpieczających od napięć niebezpiecznych, jakie mogą pojawić się w liniach napowietrznych i kablowych.

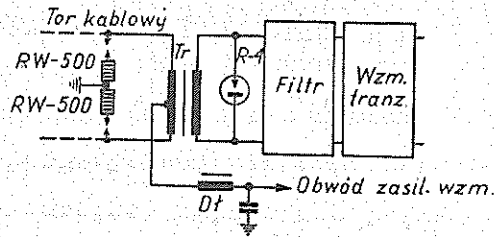
Jeśli chodzi o urządzenia lampowe, to dopuszczalna wartość napięć niebezpiecznych waha się w granicach od 250 do 500 V, w zależności od rodzaju układów oraz od rodzaju zastosowanych środków zabezpieczających. Transformatory wejściowe i filtry mają udarową wytrzymałość elektryczną na przebicie izolacji od 1500 do 2000 V. Udarowa wytrzymałość elektryczna na przebicie izolacji dla tranzystorów typu P13, P14, P15 zawiera się w granicach od 30 do 100 V, a dla tranzystorów na wysokie częstotliwości P410 i P402 nie przekracza 2 do 10 V, w zależności od kształtu napięcia udarowego.

Środkami zabezpieczającymi tranzystory przed napięciem niebezpiecznym są odgromniki gazowane o stosunkowo niskim napięciu zapłonu (nie większym od 75 do 80 V) lub diody krzemowe Zenera i ostrzowe.

Obecnie produkuje się miniaturowe odgromniki gazowane typu R-4 o napięciu zapłonu 75 do 80 V i o wymiarach 16 x 6 mm.

Można również wykorzystywać odgromnik gazowany typu 4378-D, którego napięcie zapłonu wynosi również 75 do 80 V; jest to odgromnik o większej obciążalności prądowej, posiada stosunkowo duże wymiary (80 x 18 mm). Dla obniżenia napięcia niebezpiecznego odgromniki łączy się równolegle do wtórnego uzwojenia transformatora liniowego, co pokazano na rys. 1.

Do momentu zadziałania odgromnika R-4 (lub 4378-D) napięcie o amplitudzie 75 - 80 V, jakie wystąpi na zaciskach wtórnego uzwojenia transformatora liniowego, po-

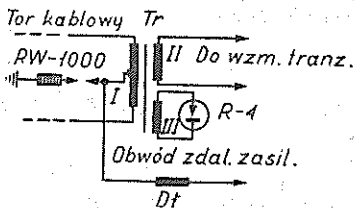


Rys. 1. Sposób łączenia odgromnika R-4 do wtórnego uzwojenia transformatora liniowego

jawi się również na wejściu wzmacniaka. Odgromnik R-4, jak również odgromnik 4378-D nie działa natychmiast po pojawieniu się napięcia na jego elektrodach, lecz po upływie 1 - 10 μ sek (czas opóźnienia) w zależności od amplitudy przyłożonego napięcia. Dlatego przy pewnym kształcie fali napięcia niebezpiecznego może ono występować we wtórnym uzwojeniu transformatora liniowego przez 1 - 10 μ sek.

Po zadziałaniu odgromnika napięcie na jego elektrodach ustabilizuje się i utrzyma się w granicach 25-40 V, w zależności od wielkości prądu płynącego przez odgromnik.

Odgromnik R-4 (lub 4378-D) można łączyć do oddzielnego uzwojenia wtórnego transformatora liniowego o przekładni 1:5. Oporność tego uzwojenia powinna być mała. W tym przypadku odgromnik R-4 zadziała wtedy, gdy w pic-



Rys. 2. Sposób łączenia odgromnika R-4 /4378-D/ do trzeciego uzwojenia transformatora liniowego /przekładnia uzwojeń I i III wynosi 1:5/

wotnym uzwojeniu pojawi się napięcie 16 - 20 V. Ilustruje to rys. 2.

W celu zmniejszenia amplitudy napięcia niebezpiecznego można wykorzystywać także diody krzemowe Zenera typu D808, D811, D813 (stabilitrony), które działają bez opóźnienia (natychmiast). Jednakże ze względu na niewielką moc (280 mW) tych diod zastosowanie ich do zabezpieczenia aparatury tranzystorowej jest ograniczone.

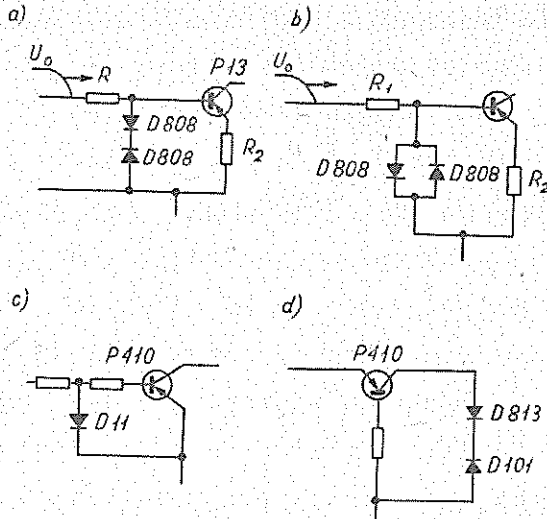
Parametry elektryczne diod i odgromników podano w tabelicy na stronie 41.

W celu zabezpieczenia wzmacniaków tranzystorowych łączy się diody Zenera szeregowo lub równolegle, co pokazano na rys. 3a i b. Przy połączeniu szeregowym diod można obniżyć napięcie niebezpieczne do wartości wstępnego napięcia przebicia. Równoległe łączenie diod pozwala obniżyć napięcie niebezpieczne do jednego wolta.

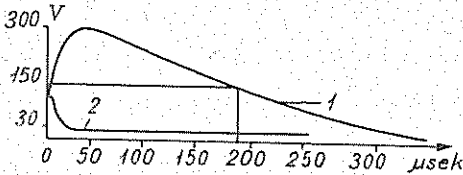
Stosowanie diod Zenera typu D808 dla ochrony tranzystorów na wysokie częstotliwości (P402, P410) może okazać się niedopuszczalne, ponieważ diody te posiadają dużą pojemność między elektrodami i mogą zmienić warunki pracy wzmacniaka (rys. 3a i b). O wiele korzystniejsze jest zastosowanie diod ostrzowych typu D11, D101, które łączy się równolegle do chronionych złącz tranzystora (rys. 3c i d).

Ze względu na niewielki prąd diod w kierunku przewodzenia (patrz tabl. na str. 42) mogą one być stosowane tam, gdzie amplituda impulsu prądu nie przekracza 5 - 10 A. W przypadku większego prądu konieczne jest do-

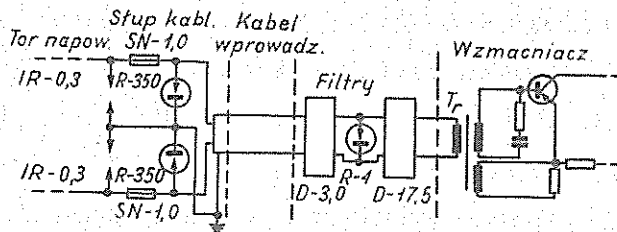
Typ od- gromnika lub diody	Napięcie zapięcia prądu stałego	Wsteczne napięcie przebiecia		Prąd w kierunku prze- wodzenia		Pojemność między elektro- dami	Oporność dynamicz- na pracy (w przy- bliżeniu)
		V	V	prąd stały	prąd uda- rowy o fa- li 20/40		
	V	mA	μsek	mA	A	pF	Ω
R-4	74-80	0,3 A w 3 sek	250	0,3 A w 3 sek	250	1-2	0,5-1,2
4378-D	76-82	2 A w 3 sek	1400	2 A w 3 sek	1400	5-7	0,2-0,7
D808	-	33	10-16	33	10-16	300-500	0,8-20
D809	-	29	10-16	29	10-16	300-500	0,8-20
D810	-	26	10-16	26	10-16	300-500	0,8-20
D811	-	23	10-16	23	10-16	300-500	0,8-20
D812	-	20	10-16	20	10-16	300-500	0,8-20
D11	-	20	8-10	20	8-10	poniżej 1	-
D101	-	30	10-12	30	10-12	poniżej 1	-



Rys. 3. Sposoby łączenia diod dla ochrony tranzystorów: a/ szeregowe łączenie diod zaporowych; D808; b/ równoległe łączenie diod zaporowych; P410 D11; c/ łączenie diody ostrzowej dla ochrony przejścia emiter - baza; P410, D813, D101; d/ łączenie diod D813 i D101 dla ochrony przejścia kolektor - baza



Rys. 4. Kształt impulsu napięcia na stacyjnym uzwojeniu transformatora



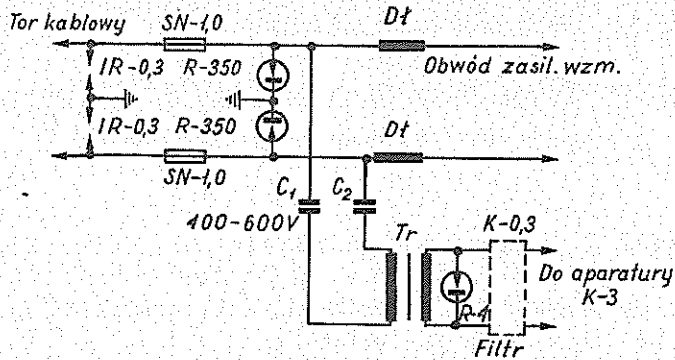
Rys. 5. Schemat zabezpieczenia aparatury W-3-3

datkowe zabezpieczenie w postaci odgromnika niskonapięciowego R-4. Zazwyczaj odgromnik R-4 łączy się równolegle do stacyjnych uzwojeń transformatora liniowego (rys. 1, 2). Gdy konieczne jest dalsze obniżenie napięcia, stosuje się diody. Na rys. 4 pokazana jest deformacja impulsu napięcia niebezpiecznego 300 V, gdy zadziała odgromnik R-4. Krzywa 1 na rys. 4 obrazuje przebieg impulsu napięcia niebezpiecznego, gdy nie ma żadnych środków ochrony. Gdy napięcie na elektrodach odgromnika R-4 wzrośnie do wartości 100 - 120 V, zadziała odgromnik R-4 i napięcie na stacyjnym uzwojeniu transformatora spadnie do wartości 28 - 35 V po upływie 1 - 5 μ sek, co pokazuje krzywa 2 na rys. 4.

W takich przypadkach, gdy między transformatorem a wzmacniakiem tranzystorowym znajdują się filtry lub korektory, które w znacznym stopniu tłumią napięcie wejściowe, nie jest konieczne stosowanie diod.

Na rysunkach 5 i 6 pokazano schematy zabezpieczenia telefonii nośnej trzykrotnej W-3-3 na tranzystorach typu P13 (dla torów napowietrznych) i K-3 (dla torów kablowych).

Pierwszy stopień zabezpieczenia aparatury telefonii nośnej 3-krotnej typu W-3-3 (rys. 5) stanowi odgromnik metalowy IR-0,3, odgromnik gazowany R-350 i bezpiecznik SN-1,0. Wymienione elementy zabezpieczeniowe są montowane na słupie kablowym zgodnie z normą GOST 5238-58. Między filtrami aparatury włącza się dodatkowy stopień zabezpieczenia, tj. odgromnik R-4. Takie zabezpieczenie obniża napięcie niebezpieczne do wartości dopuszczalnych.



Rys. 6. Schemat zabezpieczenia aparatury K-3

Odgromnik R-4 zastosowany w aparaturze telefonii nośnej K-3 (rys. 6) spełnia to samo zadanie, co i w aparaturze telefonii nośnej W-3-3, a więc chroni tranzystory we wzmacniakach. Do zmniejszenia oddziaływań zakłócających w poszczególnych kanałach, powodowanych przez linie elektroenergetyczne wysokich napięć lub linie trakcji kolei żelaznych, służy filtr K-0,3.

W innych systemach telefonii nośnej (K-60, K-300), w których zastosowano tranzystory P402, P416 i P410, dla których dopuszczalne napięcie niebezpieczne jest bardzo małe, konieczne jest dalsze obniżenie tego napięcia. Uzyskuje się to przez zastosowanie diod we wzmacniaku. Napięcie niebezpieczne zostaje stłumione również przez filtr i kolor liniowy, jak również przez inne zespoły, znajdujące się na wejściu wzmacniaka tranzystorowego.

OBLICZANIE WYWOŁANYCH UDERZENIEM PIORUNA PRZEPIĘĆ W DOZIEMNYCH KABLACH WSPÓŁOSIOWYCH

Opracował W. Sikora na podstawie artykułu: Kemp J. Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning. Electrical Communication. ITT, 1965, t. 40, nr 3, s. 381-384.

1. WSTĘP

Wprowadzenie do eksploatacji kabli współosiowych powoduje konieczność rozpracowania szeregu zagadnień techniczno-eksploatacyjnych związanych z zabezpieczeniem sieci kablowej przed uszkodzeniami.

Tematem niniejszego opracowania jest analiza jakościowego i ilościowego określania przepięć, wywołanych uderzeniem pioruna w kablach mieszanych zawierających 4, 6 lub 8 par typu 1,2/4,4 mm i kilka symetrycznych par służbowych. Możliwość dokładnego określenia przepięć w kablu jest częścią szerszego problemu, a mianowicie zabezpieczenia sieci kablowej przed skutkami wyładowań atmosferycznych.

Wzmacniacze tranzystorowe systemów współosiowych są zwykle wyposażone w specjalne urządzenia, zabezpieczające przed rozchodzącą się wzdłuż kabla falą przepięcia wywołaną uderzeniem pioruna.

Urządzenia te, aczkolwiek skutecznie zabezpieczają wzmacniaki i urządzenia pomocnicze, to jednak nie zabez-

pieczają samych kabli. W celu zmniejszenia ryzyka powstania łuku elektrycznego w kablu na skutek wyładowań atmosferycznych, w wyniku czego może nastąpić spalenie izolacji lub stopienie żył, konieczne jest stosowanie środków zabezpieczających, wchodzących w skład elementów konstrukcyjnych samego kabla. Potrzeba zabezpieczenia kabla przed zagrożeniem, jakie dla niego stanowią wyładowania atmosferyczne, jest tym większa, im mniejsza jest średnica kabla. Elementem konstrukcyjnym, który ma znaczny wpływ na stopień zabezpieczenia kabla przed przepięciami, jest izolacja między ośrodkiem kabla a jego powłoką, co również zostało bliżej omówione w dalszej części niniejszego opracowania.

2. ANALITYCZNE ROZPATRZENIE ZAGADNIENIA

Symetria konstrukcji kabla sprawia, że wszystkie pary współosiowe jego ośrodka są w jednakowym stopniu narażone w przypadku uderzenia pioruna w kabel. Dlatego też rozważania ograniczono tylko do jednej pary współosiowej. W oparciu o to założenie zostały wyprowadzone równania tą samą metodą, którą E.D. Sunde zastosował przy rozpatrywaniu rozchodzenia się fali przepięcia wzdłuż kabli o parametrach równomiernie rozłożonych [1]. W systemach współosiowych jednorodność torów kablowych zakłócona jest przez obecność wzmacniaków. Pojemności istniejące pomiędzy wzmacniakami a ich obudowami, powiększone w niektórych przypadkach przez inne pojemności, wprowadzane są do obwodu utworzonego z powłoki kabla i zewnętrznej żyły pary współosi-

wej. Podobnie filtry, odgałęziające napięcie zasilania i urządzenia zasilające, wprowadzone są do obwodu niskiej częstotliwości utworzonego z żył zewnętrznej i wewnętrznej pary współosiowej. Pojemność wzmacniaka względem jego obudowy i impedancja falowa (udarowa) urządzenia zasilającego są zwykle tak małe, że ich wpływ na parametry obwodów jest nieznaczny. Może się jednak okazać konieczne stosowanie specjalnych konstrukcji wzmacniaków, w których wpływy filtrów zasilających i innych elementów wzmacniaka nie będą mogły być pomijane.

Wydaje się, że istnieją trzy sposoby uwzględnienia tych dodatkowych elementów: (A) traktować je jako nieregularności, występujące w jednorodnej, poza tym, linii transmisyjnej; (B) uważać je za równomiernie rozłożone wzdłuż odcinków wzmacniakowych i (C) całkowicie je pomijać, przynajmniej wtedy, gdy ich wpływ jest względnie mały.

Przyjęcie pierwszej alternatywy prowadzi do znacznych komplikacji analitycznych, tak że praktyczne wykorzystanie otrzymanego tą metodą dokładnego rozwiązania jest nader wątpliwe, nawet gdyby to rozwiązanie można było jasno udowodnić. Co więcej, ponieważ potrzebne jest tylko szacunkowe określenie rzędu wielkości omawianych przepięć, metoda ta nie była szczegółowiej rozpracowana. Pozostałe, druga i trzecia, alternatywy umożliwiają stosowanie równań właściwych dla linii transmisyjnych jednorodnych. Przy obliczaniu parametrów układów zastępczych linii jednorodnych nie brano pod uwagę indukcyjności. Dlatego udary napięciowe wewnątrz par współosiowych zo-

stały oszacowane za nisko. Błąd ten jednak uważa się za nieznaczny.

Istnieją trzy rodzaje interesujących nas przepięć:

a) między metaliczną powłoką kabla a zewnętrzną żyłą pary współosiowej lub między powłoką kabla a żyłą pary symetrycznej;

2) między żyłami zewnętrznymi i żyłami wewnętrznymi par współosiowych, dopóki izolacja między powłoką a żyłą zewnętrzną w miejscu uderzenia pioruna pozostaje nie-naruszona;

3) w przypadku przebicia tej izolacji - przepięcie między żyłami zewnętrzną a wewnętrzną par współosiowych.

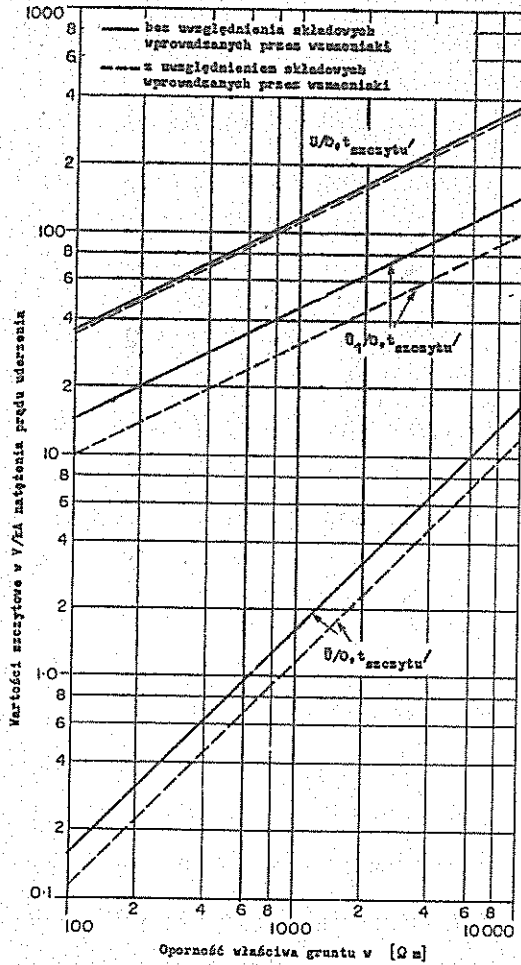
Te trzy rodzaje przepięć oznaczono w dalszej części opracowania symbolami U , \bar{U} i \bar{U}_1 . Celem niniejszych rozważań jest określenie tych przepięć w zależności od właściwości systemu kablowego, od oporności właściwej gruntu i od charakterystyk prądu pioruna. Wyniki rozważań podane są w załączniku.

3. ANALIZA WYNIKÓW

Równania ogólne (1), (2) i (3) określają wartości odpowiednich przepięć w dowolnym punkcie wzdłuż kabla i w dowolnej chwili czasu. Można wykazać, że przepięcie we wszystkich trzech rozważanych przypadkach jest najwyższe w miejscu uderzenia pioruna. Rozważania ograniczono więc do przepięć powstających w tych właśnie miejscach. Postać równań (1A), (2A) i (3A) umożliwia poczynienie w nich

znacznych uproszczeń. Każde z tych równań może być wyrażone jako iloczyn trzech funkcji. Pierwsza z tych funkcji zależy tylko od parametrów kabla i jest stała dla kabla danego typu. Druga funkcja zależy tylko od oporności właściwej gruntu. Trzecia funkcja zależy tylko od czasu i charakterystyk danego uderzenia pioruna. Ta trzecia funkcja jest taka sama dla wszystkich trzech rodzajów przepięć.

Stąd wynika, że wszystkie trzy rodzaje przepięć mają ten sam kształt przebiegów i osiągają wartości szczytowe występujące w tych samych momentach czasu. Czas związany z pojawieniem się wartości szczytowej jest szczególnie ważny. Po bliższym rozpatrzeniu chwili pojawiania się wartości szczytowej przepięcia okazało się, że funkcja uderzenia pioruna także sprowadza się do wartości stałej; wynika stąd, że wartości szczytowe wszystkich trzech rodzajów przepięć zależą tylko od oporności właściwej gruntu. Zależność ta, dla przypadku typowego, pokazana jest na rys. 1. Charakterystyki zaznaczone linią ciągłą odnoszą się do wartości szczytowych obliczonych z pominięciem wpływu wzmacniaków. Charakterystyki zaznaczone linią przerywaną odnoszą się do wartości szczytowych obliczonych przy założeniu, że składowe te są rozłożone równomiernie wzdłuż odcinka wzmacniakowego kabla. Jak się okazuje, każda z tych dwu metod daje wyniki tego samego rzędu wielkości. W przypadku przepięć między powłoką kabla a żyłą zewnętrzną linie ciągła i przerywana praktycznie pokrywają się.



Rys. 1. Wartości szczytowe przepięć w miejscu uderzenia. Opór powłoki kabla = 1 [Ω/km], wartość szczytowa prądu pioruna = 1 [kA], czas narastania udaru 7,5 [usek], czas zaniku udaru 65 [usek]

$U/O, t_{\text{szczytu}}$ - przepięcie powstające między powłoką a zewnętrzną żyłą pary współosiowej; $\bar{U}/O, t_{\text{szczytu}}$ - przepięcie powstające między żyłą zewnętrzną a wewnętrzną pary współosiowej /przy nienaruszonej izolacji między powłoką a zewnętrzną żyłą pary współosiowej/; $U_1/O, t_{\text{szczytu}}$ - przepięcie między żyłami zewnętrzną i wewnętrzną pary współosiowej /po przebiciu izolacji między powłoką a zewnętrzną żyłą pary współosiowej/

Stałe parametry kabla do wykresów na rys. 1 przyjęte zostały na podstawie pomiarów kabla, zawierającego cztery małowymiarowe pary współosiowe i z pomiarów wzmacniaków dla małowymiarowego współosiowego systemu 300-krotnego, odpowiadających zaleceniom CCITT. Dla wszystkich trzech równań (1A), (2A) i (3A) przyjęto jedną wartość oporności R'_g powłoki kabla. Na rys. 1 przyjęto więc, że oporność ta wynosi $1 \Omega / \text{km}$, która to wartość mieści się w zakresie spotykanym w praktyce. Znajomość oporności powłoki kabla daje więc przynajmniej w pewnej mierze możliwości określenia wartości szczytowych wszystkich trzech rodzajów przepięć.

Trzecia funkcja $g(0,t)$ w równaniach (1A), (2A) i (3A) wyraża prąd pioruna niezależnie od wartości szczytowej, czasu narastania i czasu zaniku udaru. Na rys. 1 przyjęto, że wartość szczytowa wynosi 1 kA , czas narastania $7,5 \mu\text{s}$, a czas zaniku $65 \mu\text{s}$. Tego rzędu wartości narastania i zaniku uważane są powszechnie jako odpowiadające przeciętnemu kształtowi udaru.

Dla wspomnianych wyżej wartości funkcja $g(0,t)$ przyjmuje wartość maksymalną w miejscu uderzenia, wynoszącą ok. 6. Dla innych udarów prądowych wartości otrzymane z krzywych muszą być proporcjonalnie zmienione. Np. dla udaru o wartości 100 kA w obszarze gruntu o oporności właściwej wynoszącej $3000 \Omega \cdot \text{m}$ z charakterystyk wykreślonych linią ciągłą, mnożąc przez 100 otrzymuje się wartości $U = 20000 \text{ V}$, $\bar{U} = 480 \text{ V}$ i $\bar{U}_1 = 8000 \text{ V}$. Wartości te odpowiadają w przybliżeniu przepięciom, których należy się spodziewać, gdy oporność powłoki kabla wyno-

si $1 \Omega / \text{km}$. Wartości otrzymywane są wprost proporcjonalne do oporności powłoki. Wartość występującego wewnątrz pary współosiowej przepięcia (480 V lub 8000 V), która zależy od tego, czy między powłoką kabla a jego ośrodkiem znajduje się odpowiednia izolacja, wskazuje na wielkie znaczenie wytrzymałości elektrycznej tej izolacji.

4. ZAŁĄCZNIK

4.1. Równania przepięć

4.1.1. Oznaczenia

- x - odległość w [m] mierzona wzdłuż kabla od miejsca uderzenia pioruna;
- t, τ - czas w sekundach;
- ρ - oporność właściwa gruntu w $[\Omega \cdot \text{m}]$;
- μ - przenikalność magnetyczna gruntu w $[\text{H}/\text{m}]$;
- R_s - oporność powłoki kabla w $[\Omega / \text{m}]$;
- R, C - oporność w $[\Omega / \text{m}]$ i pojemność w $[\text{F}/\text{m}]$ toru transmisyjnego lub układu zastępczego jednorodnego toru transmisyjnego, utworzonego z powłoki i żyły zewnętrznej pary współosiowej;
- \bar{R}, \bar{C} - oporność w $[\Omega / \text{m}]$ i pojemność w $[\text{F}/\text{m}]$ toru transmisyjnego lub układu zastępczego jednorodnego toru transmisyjnego, utworzonego z zewnętrznej i wewnętrznej żyły pary współosiowej;

$I(t)$ - prąd pioruna w [A] w kanale wyładowania w miejscu uderzenia;

$$\alpha = \frac{\mu}{2\varphi} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\varphi} ;$$

$$\beta = RC;$$

$$\beta = \bar{R}\bar{C};$$

$$g(\sigma, t) = \int_0^t I(t-\tau) \frac{e^{-\sigma t/4\tau}}{(\pi \cdot \tau)^{1/2}} d\tau$$

σ - zmienna, określająca miejsce na kablu, wyrażona odpowiednio przez $\alpha^{1/2} x$, $\beta^{1/2} x$ lub $\beta^{-1/2} x$, zależnie od wymagań;

$U(x, t)$ - przepięcie w [V] występujące wzdłuż toru utworzonego z powłoki kabla i żyły zewnętrznej pary współosiowej;

$\bar{U}(x, t)$ - przepięcie w [V] występujące wzdłuż toru utworzonego z żyły zewnętrznej i wewnętrznej pary współosiowej przy założeniu, że żyły zewnętrzna i wewnętrzna oddzielone są od powłoki kabla warstwą izolacji.

$\bar{U}_1(x, t)$ - przepięcie w [V] występujące wzdłuż toru utworzonego z żyły zewnętrznej i wewnętrznej pary współosiowej przy założeniu, że żyła zewnętrzna zwarta jest z powłoką kabla w miejscu uderzenia, a żyła wewnętrzna jest oddzielona od zewnętrznej i od powłoki warstwą izolacji.

4.1.2. Równania ogólne, obowiązujące w każdym miejscu wzdłuż kabla

$$U(x, t) = \frac{R_s}{2(\alpha - \beta)} \cdot \left[\beta^{\frac{1}{2}} g(\beta^{\frac{1}{2}} x, t) - \alpha^{\frac{1}{2}} g(\alpha^{\frac{1}{2}} x, t) \right] \quad /1/$$

$$\begin{aligned} \bar{U}(x, t) = \frac{R_s(R - R_s)C}{2(\alpha - \beta)} \cdot \left[\frac{\bar{\beta}^{\frac{1}{2}}}{\bar{\beta} - \alpha} g(\bar{\beta}^{\frac{1}{2}} x, t) - \frac{\alpha^{\frac{1}{2}}}{\bar{\beta} - \alpha} g(\alpha^{\frac{1}{2}} x, t) + \right. \\ \left. - \frac{\beta^{\frac{1}{2}}}{\bar{\beta} - \beta} g(\bar{\beta}^{\frac{1}{2}} x, t) + \frac{\beta^{\frac{1}{2}}}{\bar{\beta} - \beta} g(\beta^{\frac{1}{2}} x, t) \right] \quad /2/ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 = \frac{R_s(R - R_s)C}{2(\alpha - \beta)} \cdot \left[\frac{\beta^{\frac{1}{2}}}{\bar{\beta} - \alpha} g(\bar{\beta}^{\frac{1}{2}} x, t) - \frac{\alpha^{\frac{1}{2}}}{\bar{\beta} - \alpha} g(\alpha^{\frac{1}{2}} x, t) - \right. \\ \left. - \frac{(\alpha \bar{\beta})^{\frac{1}{2}}}{\beta^{\frac{1}{2}}(\bar{\beta} - \beta)} g(\bar{\beta}^{\frac{1}{2}} x, t) + \frac{(\alpha \beta)^{\frac{1}{2}}}{\beta^{\frac{1}{2}}(\bar{\beta} - \beta)} g(\beta^{\frac{1}{2}} x, t) \right] \quad /3/ \end{aligned}$$

4.1.3. Równania obowiązujące w miejscu uderzenia pioruna

Przyjmując w powyższych równaniach, że $x = 0$ i, że pomija się okoliczności, które są w praktyce nieistotne i podstawiając za α , β i $\bar{\beta}$ odpowiednie konkretne wartości otrzymuje się następujące wzory:

$$U(0, t) = \frac{R_s}{(8\pi \cdot 10^{-7})^{\frac{1}{2}}} \varphi^{\frac{1}{2}} \cdot g(0, t) \quad (1)$$

$$\bar{U}(0,t) = \frac{R_s (R - R_s) C}{4\pi 10^{-7} [(RC)^{\frac{1}{2}} + (\bar{R}\bar{C})^{\frac{1}{2}}]} \cdot \varphi \cdot g(0,t) \quad (2A)$$

$$\bar{U}_1(0,t) = \frac{R_s (R - R_s) C^{\frac{1}{2}}}{(8\pi 10^{-7})^{\frac{1}{2}} R^{\frac{1}{2}} [(RC)^{\frac{1}{2}} + (\bar{R}\bar{C})^{\frac{1}{2}}]} \cdot \varphi^{\frac{1}{2}} \cdot g(0,t) \quad (3A)$$

Pomimo że równania te są przybliżone, wyniki otrzymane przy ich pomocy różnią się tylko nieznacznie ilościowo od wyników otrzymanych za pomocą równań dokładnych (1), (2) i (3).

Równania (1A), (2A) i (3A) są przeto dogodnymi równaniami roboczymi.

WYKAZ LITERATURY

Sunde E.D.: Lightning Protection of Buried Toll Cable.
Bell System Technical Journal. 1945, t. 24, nr 4,
s. 253-300.

WIELKOŚCI NAPIĘĆ POJAWIAJĄCYCH SIĘ PODCZAS WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH NA WPROWADZENIACH SYMERYCZNYCH KABLI DO STACJI WZMACNIAKOWYCH¹⁾

Opracował J. Niżnik na podstawie artykułu: Nowosiół A.S., Sokołow S.A: Wieliczina napiężeń, woznikajuszczich pri grozowych razriadach w sim-mietrycznych kabieliach na wwodach w usilitielnyje punkty. Elektroswiaż 1965, nr 7, s. 63-70.

1. WSTĘP

Rozwój międzymiastowej łączności telefoniczno-telegraficznej charakteryzuje się wielokrotnieniem międzymiastowych linii kablowych drogą wprowadzenia urządzeń łączności ze wzmacniakami na tranzystorach. Aparatura na tranzystorach zaprojektowana jest na okres wielu lat pracy i w licznych przypadkach umieszczana w nieobsługiwanych stacjach wzmacniakowych. W związku z tym powinny być podjęte środki gwarantujące bezprzerwową pracę aparatury.

W znacznym stopniu zależy to między innymi od zabezpieczenia aparatury od niebezpiecznych napięć, pojawiających się w liniach kablowych w czasie wyładowań atmosferycznych.

Amplituda i czas trwania impulsów napięcia na liniach kablowych zależą od odległości miejsca uderzenia pioruna, amplitudy i kształtu prądu wyładowania, oporności właściwej ziemi i konstrukcji kabla.

NAPIĘCIE MIĘDZY ŻYLANI I POWŁOKĄ KABLA
W MIEJSCU WPROWADZENIA LINII KABLOWEJ
DO STACJI WZMACNIAKOWEJ

Oczekiwana wielkość napięcia na żyłach kabla w stosunku do powłoki ($U_{z,p}$) w miejscu wprowadzenia linii kablowej do stacji wzmacniakowej może być wyznaczona z zależności [1,3]:

$$U_{z,p} = \frac{R_2}{\alpha_1^2 - \alpha_2^2} \left[\alpha_1 g(\alpha_1 x, t) - \alpha_2 g(\alpha_2 x, t) \right] \quad (1)$$

gdzie

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\mu}{2\varphi}}; \quad \alpha_2 = \sqrt{C_{12}(R_1 + R_2)};$$

$$g(\alpha x, t) = \int_0^t i(t-\tau) \frac{1}{\sqrt{\pi\tau}} e^{-\left(\frac{\alpha x}{2}\right)^2 \frac{1}{\tau}} d\tau;$$

- x - odległość wzdłuż kabla w metrach;
 $i(t)$ - impuls prądu przepływający w powłoce kabla w kA;

$$\mu = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ w H/m};$$

- φ - oporność właściwa ziemi w $\Omega \cdot m$;
 t - współrzędna bieżąca w sek.;
 τ - zmienna całkowania w sek.;
 C_{12} - pojemność jednostkowa żył kabla w stosunku do powłoki w F/km;

- R_1 - oporność jednostkowa żyły kabla w Ω / km ;
 R_2 - oporność jednostkowa powłoki kabla w Ω / km ;

Dla $x = 0$ oraz uwzględniając, że $\alpha_1 \gg \alpha_2$ otrzymamy:

$$U_{z, \varphi} = R \sqrt{\frac{2\varphi}{\mu}} \int_0^t i(t-\tau) \frac{1}{\sqrt{\pi\tau}} d\tau \quad |2|$$

Impulsy prądu wyładowania zazwyczaj przedstawiają sobą aperiodyczną falę, która w ciągu krótkiego czasu narasta do wartości szczytowej (czas narastania $t_1 = 5 + 15 \mu\text{sek}$), a następnie łagodnie opada do zera (w czasie $50 + 300 \mu\text{sek}$).

Zazwyczaj impuls prądu wyładowania charakteryzujemy ułamkiem, w liczniku którego podajemy czas narastania czoła, a w mianowniku - czas między początkiem udaru a chwilą, gdy napięcie na grzbiecie udaru zmniejszy się do połowy wartości szczytowej (czas do półszczytu). Na przykład fala prądu 3/50 oznacza, że czoło impulsu prądu osiąga wartość szczytową w ciągu 3 μsek , natomiast czas od początku udaru do półszczytu wynosi 50 μsek ¹⁾.

Podstawiając w wyrażeniu (2) kształt impulsu prądu

¹⁾ Dokładne definicje można znaleźć w polskiej normie PN-54/E-04050 oraz w książce S. Szporą "Ochrona odgromowa" t. 1, s. 107-110.

3/50 i określając całkę znajdziemy, że dla tej fali prądu amplituda napięcia będzie określona wzorem:

$$U_{z,p,t} = 2,2 I_t \cdot R \sqrt{\rho} \quad (V)$$

gdzie I_t - amplituda prądu w kA;

R - oporność jednostkowa powłoki w Ω/km ;

ρ - oporność właściwa ziemi w $\Omega \cdot \text{m}$

Amplituda napięcia między żyłą i powłoką kabla jest proporcjonalna do amplitudy prądu w powłoce, oporności jednostkowej powłoki i kwadratowego pierwiastka z oporności właściwej ziemi. Można również wykazać, że jest ona proporcjonalna do kwadratowego pierwiastka z długości fali, jednak obliczenie jest bardzo uciążliwe.

Z całkowitego charakteru zależności wynika, że kształt napięcia, chociaż przedstawia sobą aperiodyczny impuls, to jednak różni się od kształtu impulsu prądu swoją długością. Czoło napięcia $U_{z,p}$ zazwyczaj ma długość $50 + 150$ psek przy całkowitej długości impulsu od 300 do 1000 psek.

Czas narastania czoła τ_1 impulsu prądu z reguły jest znacznie mniejszy od czasu opadania do połowy wartości szczytowej: $\tau_1 \ll \tau_2$. Dlatego wielkość ładunku przy wyładowaniu pioruna, określa się amplitudą i ogólną długością impulsu prądu. Z analizy wzoru (2) widzimy, że napięcie zależy od całki prądu, tj. od ładunku, który przepłynął w powłoce kabla. Stąd wynika, że kształt i ampli-

tuda napięcia między żyłami i powłoką kabla w praktyce w pełni określona jest amplitudą i długością impulsu prądu i nie zależy od długości czoła impulsu prądu.

Rozprzestrzeniając się po kablu fala napięcia $U_{z,p}$ podlega następującym zmianom: jej amplituda jest tłumiona, a czoło fali zniekształcone. Ze wzoru (1) widać, że napięcie $U_{z,p}$ można przedstawić w formie różnicy dwóch impulsów napięcia, z których jeden rozchodzi się w obwodzie powłoka-ziemia i określony jest parametrami tego obwodu (ρ i μ), a drugi rozprzestrzenia się w obwodzie żyła-ziemia i zależy od parametrów kabla (C_{12} , R_1 i R_2). Różnica tych impulsów przedstawia napięcie pomiędzy żyłą i powłoką.

W czasie przebiegu wzdłuż kabla czoło każdego impulsu wydłuża się, a amplituda maleje, lecz nie w jednakowym stopniu. Impuls napięcia w obwodzie powłoka-ziemia podlega tym większemu tłumieniu, im mniejsza jest oporność właściwa ziemi ρ . Impuls napięcia w obwodzie żyła-ziemia tłumiony jest mało.

Różne wydłużenie i tłumienie impulsów, z których składa się napięcie między żyłami i powłoką, prowadzi do tego, że w określonych momentach czasu napięcie $U_{z,p}$ ma ujemny znak.

Wielkość różnicy określona jest przede wszystkim impulsem w obwodzie powłoka-ziemia, ponieważ jego amplituda (szczególnie przy $x = 0$) jest znacznie większa od amplitudy impulsu w obwodzie żyła-powłoka. Wraz ze wzrostem x pierwszy impuls podlega coraz większemu wydłużeniu i tłumieniu, a poważniejszą rolę zaczyna odgrywać impuls drugi.

Ujemna część w odniesieniu do dodatniej jest tym większa, im większa jest odległość od danego punktu (pomiarowego) do punktu uderzenia pioruna w kabel.

Ogólną ilość przypadków pojawienia się napięć w kablu w okresie burzowym można ocenić w przybliżeniu za pomocą eksperymentalnej zależności Bodle'a [4].

$$n = c e^{-aU_t}$$

gdzie n - ilość wyładowań w okresie burzowym;

U_t - amplituda fali (między żyłą i powłoką kabla) w woltach.

Współczynniki a i c zależą od typu kabla i warunków miejscowych; średnio dla kabla ziemnego mogą być przyjęte wartości:

$$c = 300 + 500;$$

$$a = 0,01 \text{ 1/V.}$$

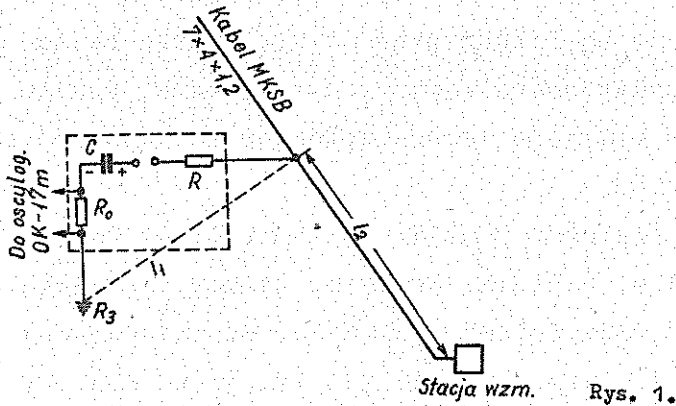
BADANIA EKSPERYMENTALNE

Wyładowania pioruna w kablówą linię imitowano wysyłając impulsy prądu w powłokę kabla. Źródłem impulsów był generator impulsów prądu, znajdujący się na samochodzie z przyczepą. Za pomocą tego generatora, przy napięciu ładującym 50 kV, można było otrzymać impulsy prądu o amplitudzie do 20 kA. Oporność właściwa ziemi na trasie linii kablównej wynosiła 22 + 25 Ω m.

Aperiodyczne impulsy podawano z generatora impulsów w powłokę kabla w odległości 100, 750 i 1400 m (l_2) od wpro-

wadzenia kabla do stacji wzmacniakowej, jak to pokazano na rys. 1.

Za pomocą bezindukcyjnego równoległego opornika R_0 i oscylografu OK-17M określano kształt impulsu wysyłanego w powłokę kabla. Na wejściu kabla do stacji wzmacniako-



wej, za pomocą oscylografu OK-17M z fotoprzystawką określano napięcie, pojawiające się między żyłą i powłoką kabla i między żyłami kablowej linii. Uziemienie generatora impulsów R_3 wykonano w odległości l_1 , prostopadle do linii kablowej.

Generatorem impulsów prądu była bateria kondensatorów, której jeden biegun przyłączono do kabla, a drugi uziemiono w odpowiedniej odległości. Im większa była odległość uziemienia od kabla, tym bardziej warunki doświadczenia były bliższe warunkom rzeczywistym.

Przy niewielkiej odległości uziemienia R_3 od kabla, większa część prądu natychmiast sływa z powłoki, nie rozchodząc się wzdłuż kabla. Wskutek tego napięcie między żyłami i powłoką ma wartość znacznie mniejszą od tej,

która pojawia się przy uderzeniu pioruna z taką samą amplitudą. Przy zwiększeniu odległości między uziemieniem R_3 i kablem napięcie na żyłach kabla rośnie, zbliżając się asymptotycznie do wielkości, zależnej od parametrów ziemi i kabla (wzór /1/). Jednakże zbyt duże oddalenie uziemienia od kabla powoduje szereg niedogodności: duże zmniejszenie amplitudy prądu i wydłużenie czoła, wynikające z indukcyjności łączących przewodów, konieczność posiadania długiego wysokonapięciowego kabla, trudności montażowe itd.

Przy odległości pomiędzy uziemieniem i kablem wynoszącym 100 m, napięcie pomiędzy żyłami i powłoką kabla osiąga 93% maksymalnej wielkości, odpowiadającej danemu prądowi, tj. napięcie praktycznie równe temu, które byłoby przy nieskończeniu dużej odległości uziemienia od kabla.

Wszystkie pomiary przeprowadzono przy $l_1 = 100$ m, ponieważ dalsze zwiększanie odległości l_1 , związane z technicznymi trudnościami, jest mało efektywne.

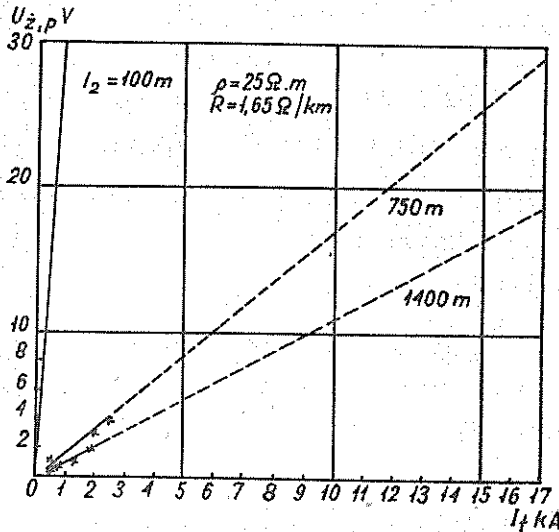
Poza tym zwiększenie odległości między kablem i uziemieniem R_3 zwiększa indukcyjność pętli prądu, a więc wydłuża czoło prądu. Przy wybranej odległości $l_1 = 100$ m czoło prądu miało długość 50 μ sek.

Wyniki zmierzonych napięć $U_{z,p}$ podano w tabeli 1.

Ponieważ w rowie były ułożone dwa jednakowe kable, których powłoki były połączone ze sobą, to wzdłuż powłoki jednego kabla przepływał prąd z amplitudą cztery razy mniejszą od amplitudy prądu generatora.

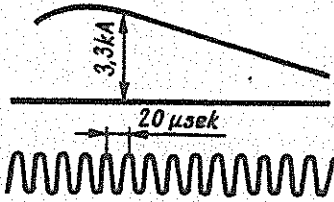
Tabela 1

Amplituda impulsu prądu wysyłanego w powłokę kabla kA	Amplituda prądu przepływającego w powłoce kabla kA	Odległość od stacji wzmacniakowej w m		
		100	750	1400
Wielkość napięcia żyła-powłoka kabla na stacji wzmacniakowej przy wysyłaniu impulsów powłokę kabla (w voltach) [V]				
1,5	0,375	13,5	0,65	0,42
2,1	0,525	24	1,2	0,60
3,3	0,825	32	1,4	0,87
5,3	1,325	55	2,2	1,35
7,8	1,95	70	3,3	2,10
10,0	2,5	95	4,2	2,65

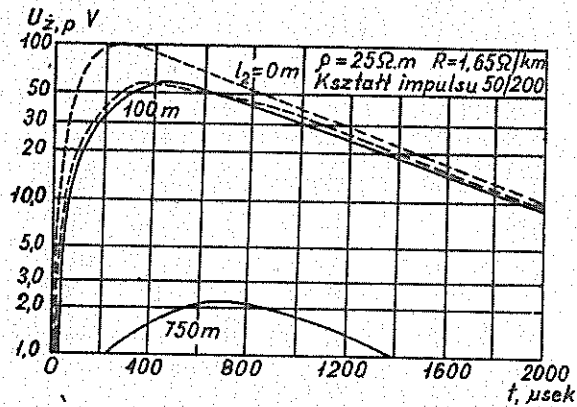


Rys. 2.

Na rysunku 2 podano według danych tabeli 1 wykres zależności napięcia $U_{z,p}$ od wielkości prądu płynącego w powłoce kabla. (Ciągłymi liniami pokazano krzywe otrzymane z pomiarów, przerywanymi - obliczone). Do powłoki kabla przesłano z generatora impulsy prądu z długością czola $t_1 = 50 \mu\text{sek}$ i długością fali $t_2 = 200 \mu\text{sek}$ (rys.3).



Rys. 3.



Rys. 4.

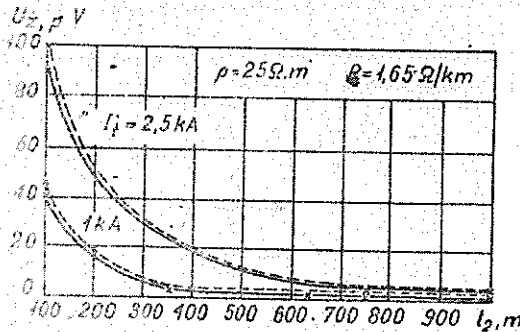
Napięcie pomiędzy żyłą i powłoką kabla (przy stałej odległości l_2), jest proporcjonalne do amplitudy prądu, płynącego w powłoce kabla. Napięcie $U_{z,p}$, pojawiające się na żyłach kabla, ma kształt fali znacznie dłuższej (2 + 4 razy), od długości impulsu prądu. Na rys. 4 pokazano kształt napięcia $U_{z,p}$ (przerywaną linią - obliczone i ciągłą - zmierzone) przy $\rho = 25 \Omega \cdot \text{m}$ i kształcie impulsów prądu 50/200 μsek .

W danym przypadku napięcie $U_{z,p}$ przy $l_2 = 100 \text{ m}$ trwa w ciągu $t_1 = 450 + 480 \mu\text{sek}$ i $t_2 = 1100 + 1200 \mu\text{sek}$.

Wraz ze wzrostem odległości l_2 długość czola i fali jeszcze bardziej wzrasta. Przy dużej oporności właściwej

ziemi zniekształcenie impulsu $U_{z,p}$ jest jeszcze większe.

Zmiany amplitudy napięcia między żyłą i powłoką kabla w zależności od wielkości l_2 przedstawiono na rys.5.



Rys. 5.

Podane charakterystyki napięć (amplitudy prądu 1,0 i 2,5 kA) są wykreślone na podstawie danych pomiarowych (linie ciągłe) oraz na podstawie obliczeń (linie przerywane) według wzoru (2). Napięcie między żyłą i powłoką kabla gwałtownie maleje przy wzroście odległości l_2 do wartości 400 + 500 m.

Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że tylko przy uderzeniach piorunów w kablową linię w pobliżu stacji wzmacniakowej w odległości 100 + 200 m między żyłą i powłoką kabla pojawia się napięcie ze znaczną amplitudą. Tak więc przy impulsie prądu o amplitudzie 10 kA i długości 100 psek (oporność właściwa ziemi $25 \Omega \cdot \text{m}$), $R = 1,65 \Omega/\text{km}$ i $l_2 = 100 \text{ m}$ - napięcie $U_{z,p}$ będzie wynosiło 300 V.

W innych rodzajach ziemi posiadających większą oporność właściwą, oczekiwane wielkości napięcia $U_{z,p}$ (na podstawie obliczeń) będą miały wartości podane w tabeli 2.

Dla innych wartości amplitudy prądu przepływającego w powłoce kabla, napięcie będzie odpowiednio większe lub

T a b e l a 2

Oporność właściwa ziemi $\Omega \cdot m$	Odległość od miejsca uderzenia pioruna (m)		
	100	750	1400
	Amplituda napięcia $U_{z,p}$ przy impulsie prądu 10 kA (V)		
25	300	12,7	7,5
100	600	25,4	15,0
400	1200	50,8	30,0
1000	2000	85,0	50,0
10000	6000	250	150,0

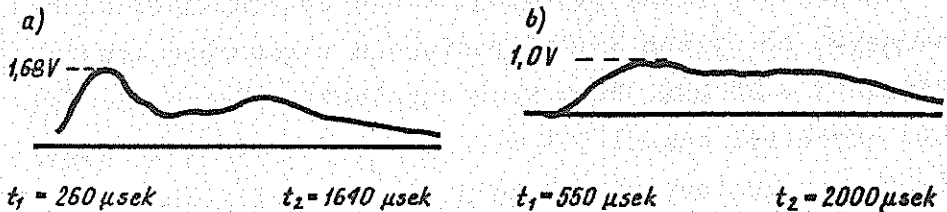
mniejsze, ponieważ $U_{z,p}$ jest proporcjonalne do wielkości prądu (rys. 2).

Zgodnie z obserwacjami, amplituda prądu płynącego w powłokach doziemnych międzymiastowych kabli przy wyładowaniach atmosferycznych średnio nie przekracza 30 kA. Dlatego napięcie na wejściu do stacji wzmacniakowej może osiągać znaczne wartości tylko przy wyładowaniach bliskich stacji dla $l_2 \leq 100$ m.

Jednakże wyładowanie pioruna w pobliżu stacji wzmacniakowej, zwykle położonej w zaludnionych miejscach i ekranowanej przez budynki i urządzenia, są zjawiskiem wyjątkowym.

W czasie eksperymentalnych badań z liniami kablowymi prowadzone były obserwacje impulsów, pojawiających się na żyłach kabla w czasie trwania rzeczywistych wyładowań atmosferycznych.

Na rysunku 6 pokazano dwa charakterystyczne przebiegi oscylograficzne impulsów napięcia $U_{z,p}$, pojawiające się w linii kablowej w czasie wyładowań burzowych w rejonie stacji wzmacniakowej. Amplituda napięcia impulsów osiągnęła 1,68 V - na oscylogramie rys. 6a i 1,0 V na oscylogramie rys. 6b. Można przypuszczać, że impulsy te poja-



Rys. 6.

wiły się w żyłach kabla podczas wyładowań w odległościach nie większych od 500 + 1000 m od stacji wzmacniakowej, przy nieznacznej amplitudzie prądu w powłoce kabla.

NAPIĘCIE POMIĘDZY ŻYŁAMI NA WPROWADZENIU KABLOWEJ LINII DO STACJI WZMACNIAKOWEJ

Przy istnieniu na każdej żyłce kabla napięć impulsowych (w stosunku do powłoki kabla) powstają pomiędzy żyłkami toru kablowego zamkniętego na oporności falowe wyrównawcze impulsy napięcia $U_{z,z}$, wynikające z asymetrii elektrycznych parametrów żył i połówek uzwojeń transformatora liniowego.

Przybliżone napięcie $U_{z,z}$ można określić według następującego wzoru:

$$U_{\dot{z},\dot{z}} = U_{\dot{z},p} e^{-a} \quad (3)$$

gdzie a - średnia tłumienność asymetrii toru kablowego i połówek uzwojeń transformatora liniowego.

Impulsy napięcia, pojawiające się przy wyladowaniach burzowych na żyłach kabla, posiadają równoważną częstotliwość $3 + 20$ kHz. Przy tych częstotliwościach tłumienność asymetrii wynosi $5 + 6,5$ Np. Stąd wynika, że napięcie $U_{\dot{z},\dot{z}}$ w kablowym torze będzie bardzo niewielkie.

Tak na przykład, przy $U_{\dot{z},p} = 2000$ V (uderzenie pioruna w kabel w odległości 100 m od stacji wzmacniakowej i oporności właściwej ziemi $1000 \Omega \cdot m$), napięcie $U_{\dot{z},\dot{z}}$ przy $a = 6$ Np będzie: $U_{\dot{z},\dot{z}} = 4,96$ V. Takie napięcie na linii kablowej, będącej w należyтым stanie, nie przedstawia niebezpieczeństwa dla aparatury włączonej w doziemną linię kablową.

Bardziej dokładnie można obliczyć napięcie $U_{\dot{z},\dot{z}}$ ze wzoru

$$U_{\dot{z},\dot{z}}(t) = U_0 + \sum_{k=1}^n U_{ckt} \cos k \Omega t + \sum_{k=1}^n U_{skt} \sin k \Omega t$$

gdzie:

U_{ckt} - amplituda składowej kosinusoidalnej częstotliwości $k \cdot \Omega$ funkcji $U_{\dot{z},p}(t)$,

U_{skt} - amplituda składowej sinusoidalnej częstotliwości $k \cdot \Omega$ funkcji $U_{\dot{z},p}(t)$.

Każdą z tych składowych mnoży się przez e^{-a_k} , gdzie $a_k = f(k \Omega) N_p$, określone jest częstotliwością charakterystyką kabla.

Asymetrię żył kabla w pierwszym przybliżeniu można uważać jako czysto pojemnościową, zaś fazowe przesunięcie można przyjąć jako jednakowe dla wszystkich harmonicznych i równe $\frac{\pi}{2}$.

Sumując wyniki, otrzymamy napięcie $U_{z,z}^{\circ}$.

Jak wykazały pomiary na kablowej linii, napięcie $U_{z,z}$ miało wartości bliskie obliczonym wg wzoru (3); odchylenie wynosiło $10 \pm 15\%$.

W przypadku uszkodzenia kablowej linii (przerwa lub uziemienie jednej żyły) pojawia się pełna asymetria i napięcie $U_{z,z}$ na wejściu kabla do stacji wzmacniakowej (tj. na liniowym uzwojeniu transformatora) może osiągnąć taką samą wartość, jak napięcie $U_{z,p}^{\circ}$.

Po stronie stacyjnej uzwojenia transformatora liniowego, w zależności od rodzaju uszkodzenia kablowego toru (przerwa lub uziemienie żyły), napięcie może być nawet większe od napięcia na żyłach dobrej w stosunku do powłoki. Oczywiście w takim przypadku jest konieczne zabezpieczenie urządzeń włączonych w trakt, a zwłaszcza tranzystorowych wzmacniaczy.

Zabezpieczenie liniowego transformatora jest niepotrzebne, jeśli wytrzymałość na przebicie izolacji uzwojeń (liniowego i stacyjnego) w stosunku do obudowy i izolacji między uzwojeniami jest nie mniejsza od wytrzymałości izolacji żył kabla.

Zabezpieczenie wzmacniaków w trakcie, w przypadku u-

szkodzenia (uziemienia) jednej żyły, w wielu przypadkach zapewnia odgromnik typu R-4, włączony po stronie stacyjnej transformatora.

Włączony małowymiarowy odgromnik typu R-4 (posiadający napięcie zapłonu 74 ± 76 V prądu stałego), działając obniża gwałtownie, pojawiające się, szkodliwe napięcie na uzwojeniach transformatora do 5 ± 20 V; wartość ta nie jest niebezpieczna dla aparatury łączności. Jeśli czasem, na przykład, przy zastosowaniu we wzmacniaczach tranzystorów dla wysokich częstotliwości (P-401, P-410 itp.), konieczne jest dodatkowe obniżenie szkodliwego napięcia, to osiąga się to przez włączenie we wzmacniaczach diod zabezpieczających.

Często jednak za liniowym transformatorem są włączone w trakt różne filtry, linie wydłużające itd., posiadające znaczną tłumienność (tłumiące 20 ± 50 razy). Nie jest wymagane wtedy dodatkowe włączanie diod zabezpieczających.

WNIOSKI

1. Na podstawie teoretycznych i eksperymentalnych badań wykazano, że w czasie wyładowań atmosferycznych w rejonie linii kablowej na wejściu kabla do stacji wzmacniakowej pojawia się impulsowe napięcie.

Amplituda impulsu w dwuprzewodowym torze ($U_{z,z}$):

a) dla linii w należytych stanie nie osiąga wartości niebezpiecznych dla włączonej aparatury;

b) może osiągnąć wielkość niebezpieczną dla aparatury, gdy uszkodzona jest jedna z żył pary; w większości wypadków ochrona jest zapewniona odgromnikiem typu R-4, włączonym równolegle do uzwojenia transformatora stacyjnego.

2. Badania eksperymentalne, przeprowadzone na kablowej linii, potwierdzają teoretyczne obliczenia, określające napięcia $U_{z,p}$ i $U_{z,z}$ i skuteczność środków zabezpieczających aparaturę łączności na tranzystorach.

WYKAZ LITERATURY

1. Nichajłow M.I.: Zaszczita podziemnych kabielej swiazi ot udarow mołnii. Sbornik naucznych trudow CNIIS. Swiazizdat, Moskwa 1956.
2. Riabkowa E.J., Bazielian E.M., Sokołow S.A.: Dieformacja podziemnych kabielej swiazi pri grozowych razriadach. Izwiestija wysszich ucziebnych zawiedienij - Energietika. 1959, nr 9, s. 38-42.
3. Sunde E.D.: Lightning Protection of Buried Toll Cable. BSTJ, kwiecień 1945, t. 24, s. 253-300.
4. Bodle D.W., Gresh P.A.: Lightning Surges in Paired Telephone Cable Facilities. BSTJ, 1961, t. 40, nr 2, s. 547-576.
5. Meister H.: Blitzschutz an Telephonanlagen. Technische Mitteilungen. PTT. 1958, nr 1, s. 13-32.
6. Stiekolnikow I.S.: Fizika mołnii i grozozaszczita, Izd-wo Akad. Nauk SSSR. Moskwa, 1943.

ZABEZPIECZENIE LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH
PRZED SZKODLIWYM ODDZIAŁYWANIEM
TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ PRĄDU ZMIENNEGO

Opracował A. Moniuszko na podstawie artykułu Totsuka M., Tanaka K.: Protection of telecommunication lines from electromagnetic induced disturbance by alternating current traction line with rail return, Japan Telecommunications Review, 1964, Nr 2, s.66-78.

1. WSTĘP

Wprawdzie w Polsce na razie nie przewiduje się wprowadzenia trakcji elektrycznej prądu zmiennego, jednakże warto zdawać sobie sprawę z trudności, jakie następczą by mogło wprowadzenie do eksploatacji takiej trakcji. Wydaje się celowe zapoznanie się ze sposobami zabezpieczeń linii telekomunikacyjnych przed szkodliwym oddziaływaniem trakcji elektrycznej, które musiałyby być stosowane na wszystkich odcinkach linii narażonych na to oddziaływanie.

Badaniem trakcji prądu zmiennego zajęto się w Europie w wielu krajach jeszcze przed drugą wojną światową. W rezultacie tych badań, po wojnie, wprowadzono we Francji trakcję prądu zmiennego 50 Hz. W Japonii rozpoczęto doświadczenia na odcinku 28,7 km linii w 1954 r., mające na celu adaptację systemu francuskiego. W wyniku tych ba-

dań Koleje Państwowe rozpoczęły eksploatację linii Senzan w 1957 r.

System ten okazał się bardziej ekonomiczny w porównaniu z systemem prądu stałego¹⁾. Wprowadzenie tego systemu wymaga opracowania metod oszacowania napięć indukowanych w liniach telekomunikacyjnych. System trakcji prądu zmiennego zastosowany został na kilku liniach takich jak Hokuriku, Tohoku, Joban i Kagoshima.

Dzięki doświadczeniu uzyskanemu z budowy tych linii, system ten zastosowano również na nowej linii To-kaido (Tokyo - Osaka, 515 km). Budowę linii rozpoczęto przed 1961 r., a zakończono przed Olimpiadą w Tokyo w październiku 1964 r.

Przewidywane napięcia indukowane w liniach telekomunikacyjnych, przebiegających w pobliżu trakcji elektrycznej prądu zmiennego byłyby bardzo duże w porównaniu z francuskim systemem, ponieważ rozważana linia trakcyjna przebiega przez wiele dużych miast Japonii i obciążenie sieci elektrotrakcyjnej jest duże. Dlatego wykonano obliczenia indukowanego napięcia i podjęto skuteczne środki zaradcze.

¹⁾ Wg obliczeń porównawczych przeprowadzonych w Polsce dla warunków krajowych, koszt elektryfikacji linii kolejowych systemem prądu zmiennego 25 kV 50 Hz jest zbliżony do kosztu elektryfikacji linii kolejowych systemem prądu stałego 3 kV, jeżeli przy obliczeniach uwzględni się koszty dodatkowe wynikające z konieczności zastosowania środków zaradczych dla ograniczenia szkodliwych oddziaływań linii elektrotrakcyjnych prądu zmiennego na sieć telekomunikacyjną resortu łączności.

Wstępne obliczenia wykazały, że na szkodliwe oddziaływanie sieci trakcyjnej są narażone następujące linie: linie miejscowe o długości ok. 600 km (kable, wiejska sieć rozdzielcza, linia napowietrzna itd.), linie podziemskie (okręgowe) o długości ok. 180 km (kable, linie napowietrzne itd.) łączy radiofoniczne akustyczne oraz łączy akustyczne międzymiastowe ze wzmacniakami - około 200 łączy. Konieczne więc było zabezpieczenie tych linii przed szkodliwym oddziaływaniem trakcji elektrycznej.

2. POWSTAWANIE ODDZIAŁYWAŃ

2.1. Napięcia indukowane w liniach telekomunikacyjnych

Napięcia indukowane w liniach telekomunikacyjnych mogą być: wywołane polem elektrycznym lub polem magnetycznym. Oddziaływanie pierwszego rodzaju nazywane jest indukcją elektrostatyczną, a drugiego - indukcją elektromagnetyczną¹⁾.

Indukowane napięcia w liniach telekomunikacyjnych stają się coraz groźniejsze, ponieważ coraz częściej linie

¹⁾ W polskim słownictwie technicznym z omawianej dziedziny odpowiednikiem określenia "indukcja elektrostatyczna" są określenia "oddziaływanie elektryczne" lub "oddziaływanie za pośrednictwem sprzężeń elektrycznych" natomiast określenia "indukcja magnetyczna" odpowiadają określeniu "oddziaływanie magnetyczne" lub "oddziaływanie za pośrednictwem sprzężeń magnetycznych".

te narażone są na oddziaływanie linii elektroenergetycznych o coraz węższym napięciu lub trakcji elektrycznej prądu zmiennego, w których prąd powrotny płynie poprzez ziemię podczas awarii (zwarć doziemnych) lub w czasie normalnej pracy. Napięcia indukowane w liniach telekomunikacyjnych podczas zwarć doziemnych w liniach elektroenergetycznych lub elektrotrakcyjnych są krótkotrwałymi napięciami przypadkowymi i mogą spowodować uszkodzenie urządzeń telekomunikacyjnych lub stwarzać niebezpieczeństwo dla ludzi, jak np. dla kolumn roboczych eksploatacyjnych lub monterów, pracujących na liniach. Napięcia indukowane w liniach telekomunikacyjnych w czasie normalnej pracy linii elektroenergetycznych i linii elektrotrakcyjnych powodują obniżenie jakości transmisji.

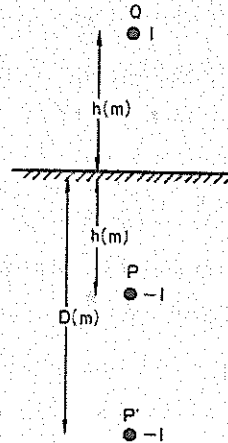
2.2. Oddziaływanie magnetyczne wywołane prądem powrotnym płynącym w ziemi

Strumienie magnetyczne wywołane prądami płynącymi w metalicznym torze przewodowym tam i z powrotem, znoszą się wzajemnie tak, że pole elektromagnetyczne nie rozprzestrzenia się na zewnątrz toru. Inaczej jest jednak w wypadku rozkładu strumieni magnetycznych przy prądzie powrotnym, płynącym w ziemi (tj. w torze współziemnym). Na rys. 1, elektrycznym obrazem w ziemi przewodu Q nie jest punkt P , lecz punkt P' , znajdujący się w ziemi na głębokości od 500 m do 2000 m. Położenie punktu P' nie zależy od położenia punktu Q . Dlatego strumienie magnetyczne, wywołane prądem płynącym w przewodzie Q i prądem

powrotnym w punkcie P^2 , nie znoszą się wzajemnie w torze współziemnym, a więc pole elektromagnetyczne rozciąga się szeroko.

Położenie elektrycznego obrazu przewodu zależy od przewodności gleby i częstotliwości prądu, a więc wielkość oddziaływania magnetycznego zmienia się w zależności od właściwości gruntu. Z powyższego

wyjaśnienia można wywnioskować, że oddziaływanie magnetyczne wywołane jest prawie całkowicie przez prąd powrotny płynący w ziemi.

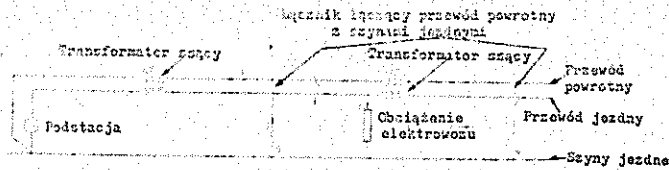


Rys. 1. Obraz przewodu powrotnego w ziemi

2.3. Oddziaływanie trakcji prądu zmiennego

Trakcja prądu zmiennego wykorzystuje szyny jezdne jako przewody powrotne. Jak wiadomo, izolacja szyn jezdnych względem ziemi nie jest dobra i w związku z tym część prądu powrotnego odgałęzia się z szyn do ziemi. Wskutek tego linie telekomunikacyjne narażone są na oddziaływanie wywołane prądem powrotnym płynącym w ziemi, który jest częścią całkowitego prądu powrotnego. Dlatego w Japonii w liniach trakcyjnych prądu zmiennego stosuje się dodatkowy specjalny przewód powrotny, transformatory ssące oraz łączniki (mostki), łączące przewód powrotny z szynami w celu zmniejszenia prądu powrotnego płynącego w

ziemi. Rys. 2. pokazuje obwód zasilania elektrowozu. Przewód powrotny biegnie równoległe do przewodu jezdne-
go, a transformatory ssące i łączniki, łączące przewód
powrotny z szynami, rozmieszczone są w regularnych od-
stępach co 1,5 km lub co 0,75 km na linii Tokaido i w
odstępach od 1,5 do 2,5 km na innych liniach.



Rys. 2. Obwód zasilania linii trakcyjnej prądu zmiennego z szynami jezd-
nymi jako przewodem powrotnym

Jeżeli elektrowóz znajduje się między łącznikiem S_1 i transformatorem ssącym BT_2 (rys. 2), we wtórnym uzwoje-
niu transformatora ssącego BT_1 powstaje siła elektromo-
toryczna, wywołana prądem obciążenia, a prąd obciążenia
wpływający do szyn jest przejmowany przez przewód po-
wrotny za pośrednictwem łącznika S_1 i wraca do podstacji.
Wskutek tego, pole magnetyczne, wywołane prądem powrot-
nym płynącym przez ziemię, powstaje tylko w sekcji mię-
dzy łącznikiem S_1 i transformatorem ssącym BT_2 . Jeśli e-
lektrowóz znajduje się między transformatorem BT_2 i łącz-
nikiem S_2 , prąd obciążenia odprowadzany jest za pośred-
nictwem łącznika S_2 do przewodu powrotnego wskutek dzia-
łania BT_2 , a wtedy tylko ta sekcja jest źródłem oddzia-
ływania. Tak więc oddziaływanie magnetyczne należy roz-
patrywać niezależnie w każdej sekcji: pomiędzy podstacją
a transformatorem BT_1 , BT_1 a S_1 , S_1 a BT_2 , BT_2 a S_2 itd.
Każda taka sekcja nazywana jest sekcją oddziaływań.

3. DOPUSZCZALNE WARTOŚCI INDUKOWANYCH NAPIĘĆ WYWOŁANYCH ODDZIAŁYWANIEM ELEKTROMAGNETYCZNYM

Oddziaływanie elektryczne może być pominięte wobec oddziaływania magnetycznego, jeżeli oddziaływanie magnetyczne nie przekracza wartości dopuszczalnej.

Dopuszczalne wartości napięć wywołanych oddziaływaniem magnetycznym są następujące:

I. Niebezpieczne napięcie powstające w przypadku zwarć doziemnych w sieci elektrotrakcyjnej - 300 V

II. Napięcie indukowane w warunkach normalnej pracy sieci elektrotrakcyjnej

a) niebezpieczne napięcie w linii telekomunikacyjnej - 60 V,

b) napięcie zakłócające w obwodach translacji telefonicznych - 15 V
(wartość ta jest obecnie sprawdzana)

c) napięcie psfometryczne (ważone) szumów w łączu telefonicznym sieci publicznej (łącze akustyczne wraz ze wzmacniakami), w przypadku gdy łącze to zamknięte jest na końcu opornikiem 600Ω , wynosi

1) w torze kablowym 1,0 mV (-58 dBm)

2) w torze napowietrznym 2,5 mV (-50 dBm)

d) napięcie szumów w akustycznym łączu radiofonicznym - nieważona całkowita moc szumów w skutecznie

przesyłanym pasmie musi odpowiadać następującym wartościom:

1) łącza dzierżawione

- jeżeli długość łącza nie przekracza 400 km
- > 50 dB (S/N)¹⁾
- jeżeli długość łącza jest od 400 do 1000 km
- > 51 dB (S/N)
- jeżeli długość łącza jest od 400 do 1000 km i łącze ma ponad trzy odgałęzienia do urzędów terenowych - > 50 dB (S/N)
- jeżeli łącze ma ponad 1000 km długości
- > 50 dB (S/N)

2) łącze nie dzierżawione, gdy poziom nadawczy wynosi $+ 5$ dBm - > 50 dBm na końcu łącza

3) jeżeli łącze ma tę samą jakość co łącze telefoniczne w sieci publicznej > 45 dB (S/N).

4. METODY OBLICZANIA NAPIĘĆ WYWOŁANYCH ODDZIAŁYWANIEM MAGNETYCZNYM

4.1. Wzory obliczeniowe

I. Siła elektromotoryczna wzdłużna indukowana w normalnych warunkach pracy sieci trakcyjnej (przy często-

¹⁾S/N - oznacza tu różnicę poziomu sygnału do poziomu szumów (przyp. tłum.)

liwości podstawowej 50 Hz lub 60 Hz) określa się wzorem:

$$U_m = (1 - n) F \omega M I K \quad [V] \quad (1)$$

gdzie:

- U_m - indukowane napięcie wzdłużne,
- ω - pulsacja,
- $(1-n)$ - współczynnik redukcyjny szyn jezdnych,
- M - impedancja wzajemna,
- F - efekt bocznikowania prądu w szynach jezdnych,
- l - odcinek zbliżenia równoległego,
- I - prąd obciążenia,
- K - współczynnik redukcyjny innych przewodów metalowych i innych szyn jezdnych.

II. Indukowane napięcie szumów w telefonicznym łączu sieci publicznej (psfometryczne napięcie szumów przy 800 Hz) oblicza się ze wzoru:

$$U_n = (1-n) F \frac{I}{100} \omega M I K \lambda \sqrt{\sum_{nf}^{1000} (U_{nf} S_{nf} I_{nf})^2} \times 10^3 \quad [mV] \quad (2)$$

$\omega = 50 \text{ Hz}$ lub 60 Hz , $n = 1, 3, 5 \dots$

gdzie:

U_n - indukowane napięcie szumów,

λ - asymetria łącza (współczynnik czułości na zakłócenia),

M_{nf} - współczynnik częstotliwościowy sprzężeń,

S_{nf} - współczynnik ważkości psfometrycznej mocy szumów,

I_{nf} - zawartość składowej harmonicznej prądu o częstotliwości nf,

n - rząd harmonicznej

III. Indukowane napięcie szumów w łączu akustycznym ze wzmacniaczami (napięcie psfometryczne szumów przy 300 Hz)

$$U_n = (1-n)F \frac{I}{100} \omega k \lambda \sqrt{\sum_{nf}^{3000} (M_{nf} H_{nf} S_{nf} I_{nf} G_{nf})^2} \times 10^3 \text{ [mV] } /3/$$

gdzie:

M_{nf} - impedancja wzajemna przy n-tej harmonicznej,

G_{nf} - mocność wzmacniacza przy n-tej harmonicznej.

IV. Napięcie szumów w akustycznym łączu radiofonicznym (nieważone napięcie szumów)

$$U_n = (1-n)F \frac{I}{100} \omega k \lambda \sqrt{\sum_{nf}^{10} (M_{nf} I_{nf} G_{nf})^2} \times 10^3 \text{ [mV] } (4)$$

gdzie:

f_u - jest górną granicą częstotliwości pasma określonego warunkami na łącze;
górne granice częstotliwości są trzy:
10 kHz, 7,5 kHz, 5 kHz.

4.2. Współczynniki

I. Współczynnik redukcyjny szyn jezdnych (1-n)

Współczynnik redukcyjny szyn jezdnych wyrażony jest jako $(1 - Z_{TR}/Z_R)$, gdzie Z_R - jest impedancją własną szyny, a Z_{TR} - jest impedancją wzajemną między przewodem jezdny a tokami szyn jezdnych. Wzór słuszny jest dla linii kolejowych jednotorowych. Dla linii dwutorowych współczynnik redukcyjny szyn wyrażony jest wzorem:

$$1-n = 1 - \frac{Z_{TR1} + Z_{TR2}}{Z_{R1} + Z_{R1R2}} \quad (5)$$

gdzie:

Z_{TR1} - jest impedancją wzajemną między przewodem jezdny linii "tam" i tokiem szyn jezdnych linii "tam",

Z_{TR2} - jest impedancją wzajemną między przewodem jezdny linii "tam" i tokami szyn jezdnych linii powrotnej,

Z_{R1R2} - jest impedancją wzajemną między tokami szyn linii "tam" i tokami szyn jezdnych linii powrotnej,

Z_{R1} - jest impedancją własną toków szyn jezdnych linii "tam" lub linii powrotnej.

Wartości (1-n) zestawione są w tabeli 1.

T a b e l a 1

Współczynnik redukcyjny szyn: (1-n)

Odcinek	Trakcja prądu zmiennego poza linią Tokaido		Linia Tokaido	
	Linia jednotorowa	Linia dwutorowa	Linia dwutorowa 60 Hz	
Linia i częstotliwość	50 Hz lub 60 Hz	50 Hz 60 Hz	Nasypy i wykopy	Wiadukty
Przewodność gleby (CGSM)				
10^{-14}	0,4	0,28 0,28	0,266	0,080
10^{-13}	0,45	0,33 0,32	0,308	0,102
10^{-12}	0,5	0,39 0,37	0,365	0,136

II. Efekt bocznikowania prądu w tokach szyn jezdnych

Rozkład prądu w szynach jezdnych pokazany jest na rys. 3 i wyrażony wzorami (6), (7) i (8)

$$I_x = nI + \frac{1}{2} (1-n) I \left[e^{-rx} + e^{-r(1-x)} \right] \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (6)$$

$$I_y = \frac{(1-n)}{2} I \left[e^{-ry} + e^{-r(1+y)} \right] \quad y \geq 0 \quad (7)$$

$$I_z = \frac{(1-n)}{2} I \left[e^{-rz} + e^{-r(1+z)} \right] \quad z \geq 0 \quad (8)$$

gdzie:

$r = \sqrt{Z_R G}$ (Z_R jest impedancją własną szyn jezdnych, G jest upływnością do ziemi, której wartość wynosi od 0,2 do 2 S/km),

I_x - prąd tłumiony w szynach jezdnych między łącznikiem a elektrowozem,

I_y, I_z - prąd tłumiony w szynach jezdnych poza odcinkiem oddziaływania,

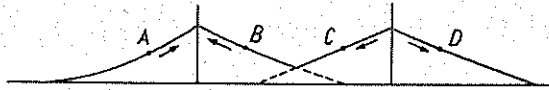
I - prąd obciążenia.

Znaczenie powyższych wzorów jest następujące: prąd I płynie od elektrowozu do szyn jezdnych, część prądu nI płynie w szynach jako prąd oddziaływujący (indukujący), a druga jego część, $(1-n)I$, płynie w szynach jako prąd tłumiony, którego rozkład jest symetryczny w punkcie, gdzie znajduje się elektrowóz lub gdzie istnieje łącznik.

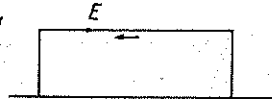
Kierunki strzałek na rys. 3 pokazują kierunki przepływu prądu.

Napięcie indukowane w liniach telekomunikacyjnych składa się z dwóch napięć indukowanych przez prąd płynący w

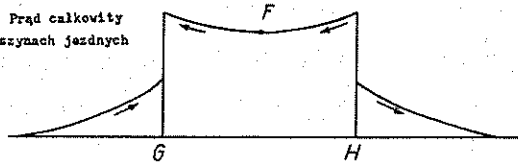
1. Prąd tłumiony



2. Prąd indukowany



3. Prąd całkowity w szynach jezdnych



Rys. 3. Rozkład prądu w szynie

$$\text{Prąd w punkcie A: } I'_y = \frac{\sqrt{1-n}}{2} I e^{-ry}$$

$$\text{Prąd w punkcie B: } I'_x = \frac{\sqrt{1-n}}{2} I e^{-rx}$$

$$\text{Prąd w punkcie C: } I''_x = \frac{\sqrt{1-n}}{2} I e^{-r/l-x/}$$

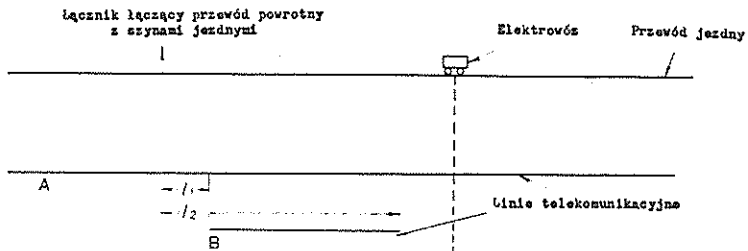
$$\text{Prąd w punkcie D: } I'_z = \frac{\sqrt{1-n}}{2} I e^{-rz}$$

$$\text{Prąd w punkcie E: } I' = nI$$

$$\text{Prąd w punkcie F: } I_x = nI + \frac{1}{2} \sqrt{1-n}/l [e^{-rx} + e^{-r/l-x/}]$$

Punkt G - punkt, w którym łącznik łączy przewód powrotny z szynami jezdnyymi,

Punkt H - elektrowóz



Rys. 4. Wzajemne położenie toru kolejowego i linii telekomunikacyjnych

przewodzie jezdnym oraz przez prąd przepływający w szynach jezdnych. Biorąc pod uwagę telekomunikacyjne linie dalekosiężne, na przykład linię A na rys. 4, prąd w szynach jezdnych będzie nI , ponieważ napięcia, wywołane prądami tłumionymi z obu stron, znoszą się nawzajem (patrz rys. 3). Z drugiej strony prąd w przewodzie jezdnym I oraz prąd w szynach jezdnych nI płyną w kierunkach przeciwnych, stąd prąd wzbudzający napięcie w linii A będzie $(1-n)I$.

Prąd wzbudzający napięcie w krótkich liniach telekomunikacyjnych (linia B na rys. 4) może być obliczony za pomocą następującego wzoru, w którym zawarty jest prąd tłumiony. Prąd ten równa się różnicy prądu w przewodzie jezdnym i średniej wartości prądu w szynach:

$$I_o = I - \int_{l_1}^{l_2} I \times dx = I \left\{ 1 - \frac{1}{2} \frac{1}{r(l_2 - l_1)} \left[e^{-rl_1} - e^{-rl_2} + e^{-r(l-l_2)} - e^{-r(l-l_1)} \right] \right\} (1-n) \equiv IF(1-n) \quad /9/$$

gdzie:

I_o - jest prądem oddziaływującym,

F - jest współczynnikiem efektu bocznikowania.

Ogólnie biorąc, w krótkich liniach telekomunikacyjnych, znajdujących się między łącznikiem, łączącym przewód powrotny z szynami jezdnyymi, a transformatorem ssącym, prąd wzbudzający napięcie można wyrazić jako ilo-

czyn prądu płynącego w przewodzie jezdnym, współczynnik redukcyjny szyn jezdnych i współczynnik efektu bocznikowania.

Prąd w dalekosiężnych liniach telekomunikacyjnych wyraża się jako iloczyn prądu w przewodzie jezdym przez współczynnik redukcyjny szyn jezdnych. W tym przypadku efekt bocznikowania wynosi 1. Wartość współczynnika efektu bocznikowania między łącznikiem a transformatorem ssącym (S - BT) wynosi:

ok. 0,7	przy odcinku S - BT	o długości	2 km,
ok. 0,6	"	"	1,5 km,
ok. 0,35	"	"	0,75 km.

III. Prąd w przewodzie jezdym I:

Wartość prądu w przewodzie jezdym określona jest przez krzywą prądu roboczego i w przypadku linii Tokaido wynosi 400 A lub 500 A. Różnica faz między napięciem zasilającym linię "tam" a napięciem zasilającym linię powrotną jest 90° , dlatego całkowity prąd oddziaływań jest średnią kwadratową prądów obu linii. Wartości prądów w innych liniach zestawione są w tabeli 2.

T a b e l a 2

Prąd oddziaływujący

Stromość toru kolejowego	Płaski	Nachylenie 10 ‰	Nachylenie 25 ‰
Prąd oddziaływujący	240 A (120 A x 2)	170 A	300 A (150 A x 2)

IV. Indukcyjność wzajemna M

Przy obliczaniu indukcyjności wzajemnej stosowana jest teoria Carsona-Pollaczka:

$$1) \text{ przy } k\sqrt{b^2 + (h_1 - h_2)^2} \leq \frac{1}{2}$$

$$M = \left\{ 4,61 \lg_{10} \frac{2}{k\sqrt{b^2 + (h_1 - h_2)^2}} + \frac{4}{3\sqrt{2}} k(h_1 + h_2) - \right. \\ \left. - 0,1544 - j \left[\frac{\pi}{2} - \frac{4}{3\sqrt{2}} k(h_1 + h_2) \right] \right\} \times 10^{-4} \text{ [H/km]} \quad (10)$$

$$2) \text{ przy } k\sqrt{b^2 + (h_1 - h_2)^2} \geq \frac{1}{2}$$

$$M = \left\{ 4 \frac{\text{kei}'kb}{kb} - j^{\frac{1}{4}} \left[\frac{\text{ker}'kb}{kb} + \frac{1}{(kb)^2} \right] \right\} \times 10^{-4} \text{ [H/km]} \quad (11)$$

gdzie:

$$k = 2\pi\sqrt{2f\sigma}$$

f - częstotliwość, Hz

σ - przewodność gruntu, j.CGSM

b - pozioma odległość pomiędzy linią zakłócaną i zakłócającą, cm

h_1 - wysokość od ziemi linii zakłócanej (linii telekomunikacyjnych), cm

h_2 - wysokość od ziemi linii zakłócającej, cm

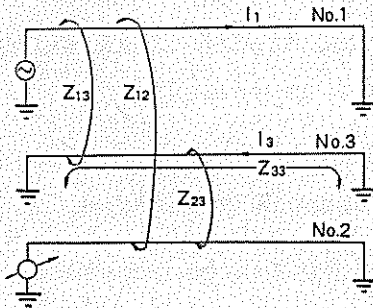
Indukcyjność wzajemna, określona powyższymi wzorami, jest funkcją częstotliwości, a więc wartość M musi być obliczana dla każdej częstotliwości. Przy obliczaniu napięć indukowanych w torach telekomunikacyjnych najbardziej kłopotliwe jest wyliczenie M , toteż używa się "skali $M1$ " wyjaśnionej w następnych punktach artykułu; l (km) jest projektowaną długością linii telekomunikacyjnej wzdłuż linii kolejowej.

V. Współczynnik redukcyjny K

Jeżeli w pobliżu linii oddziaływującej lub podległej oddziaływaniom istnieje trzeci przewód, na przykład inny tor kolejowy lub powłoka metalowa kabla, indukowany jest również prąd w tym przewodzie.

Pole magnetyczne wywołane tym prądem znosi pole magnetyczne wywołane prądem oddziaływującym, tak iż napięcia indukowane w linii telekomunikacyjnej są zmniejszone.

Przyjmując, że napięcie indukowane w linii telekomunikacyjnej bez trzeciego przewodu jest U , zaś trzecim



Rys. 5. Zasada ekranowania

przewodem jest U' , to współczynnik redukcyjny określony będzie wzorem:

$$K = \frac{U'}{U} \quad (12)$$

Na rysunku 5, No1 oznacza przewód oddziaływujący, No2 - linię telekomunikacyjną, a No3 - przewód trzeci. Współczynnik obliczony jest następująco:

$$\begin{aligned} V' &= Z_{12}I_1 - Z_{23}I_3 = Z_{12}I_1 - Z_{23} \frac{Z_{13}}{Z_{33}} I_1 = \\ &= Z_{12}I_1 \left(1 - \frac{Z_{23}Z_{13}}{Z_{33}Z_{12}} \right) \end{aligned}$$

gdzie:

- I_1 - prąd oddziaływujący,
- I_3 - prąd w trzecim przewodzie (prąd ekranujący),
- Z_{12} - impedancja wzajemna między przewodem oddziaływującym a linią telekomunikacyjną,
- Z_{23} - impedancja wzajemna między linią telekomunikacyjną a przewodem trzecim,
- Z_{13} - impedancja wzajemna między przewodem oddziaływującym a trzecim przewodem,
- Z_{33} - impedancja własna trzeciego przewodu.

Z drugiej strony napięcie bez trzeciego przewodu jest $U = Z_{12}I_1$. Stąd:

$$K = \frac{U'}{U} = 1 - \frac{Z_{23}Z_{13}}{Z_{33}Z_{12}} \quad (13)$$

Jeżeli przewód No3 nie jest blisko położony względem przewodu No2, tak jak na przykład powłoka metalowa kabla, Z_{13} równa się w przybliżeniu Z_{12} . Wtedy:

$$K = 1 - \frac{Z_{23}}{Z_{33}} \quad (14)$$

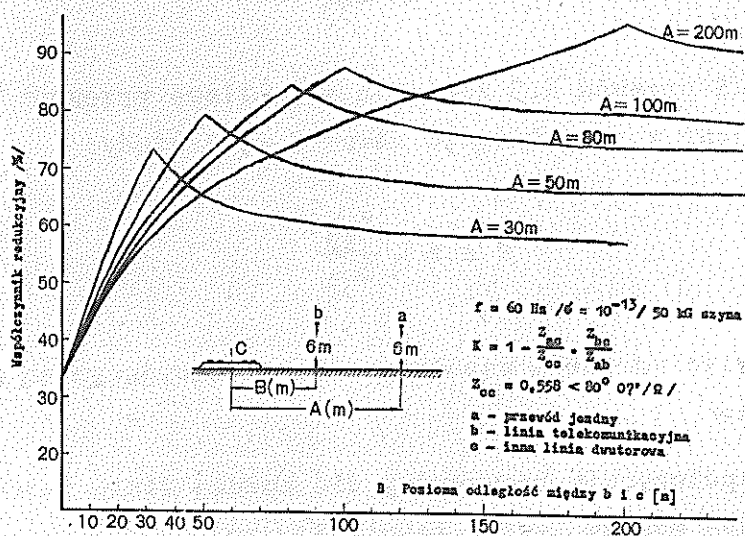
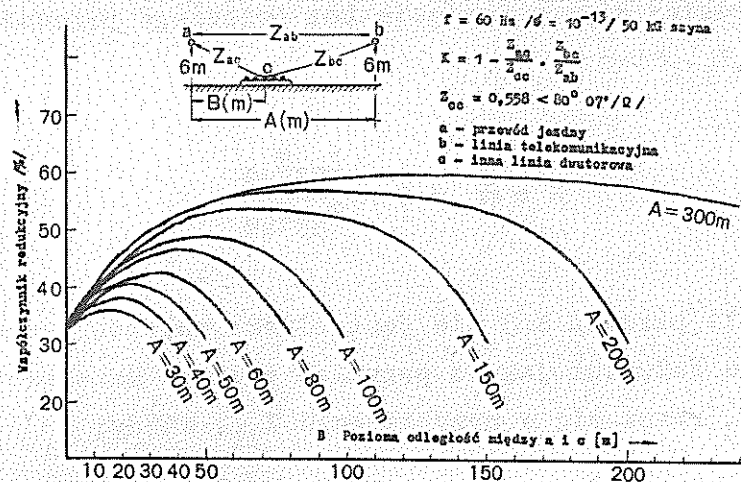
Jeżeli przewód No3 znajduje się blisko przewodu No1, to Z_{12} jest w przybliżeniu równe Z_{23} , a wtedy:

$$K = 1 - \frac{Z_{13}}{Z_{33}} \quad (15)$$

Tak więc wartości współczynnika redukcyjnego są następujące:

1) współczynnik redukcyjny dla każdej linii telekomunikacyjnej podany jest w tabeli 3,

2) współczynnik redukcyjny, w przypadku trójprzewodowej linii biegnącej w tunelu, uzyskany z doświadczenia wynosi około 55%. Konstrukcje stałowe tunelu wywołują bardzo duży efekt ekranowania,



Rys. 6. Współczynnik redukcji w przypadku istnienia innych dwutorowych linii kolejowych

3) współczynnik redukcji, w przypadku istnienia innych linii kolejowych biegnących równolegle do linii telekomunikacyjnych lub trakcji oddziaływującej, przy

długości tej linii kolejowej większej niż 1 km, może być znaczny. Efekt redukcyjny, powodowany przez inną parę toków szynowych biegnących wzdłuż linii dwutorowej i równoległe do linii telekomunikacyjnej na długości więcej niż 3 km, pokazany jest na rys. 6. Krzywe na rys.6 obliczone są według wzoru (13), Jeśli zbliżenie równoległe linii jest krótsze niż 3 km, obliczenia dokonuje się według wzoru:

$$K = K_0 + (1-K_0)e^{-r1/2} \quad (16)$$

gdzie:

K_0 - jest współczynnikiem redukcyjnym odczytanym z rys. 6,

l - długość odcinka równoległego zbliżenia linii,

$$r = \sqrt{ZG}$$

Jeżeli $l = 1$ km, to $K = 0,7 + 0,9$.

4) współczynnik redukcyjny dla napięcia szumów.

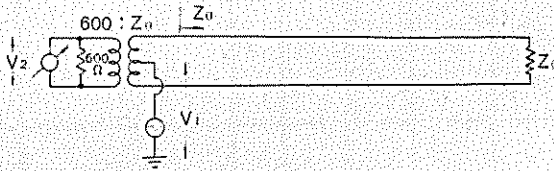
Biorąc pod uwagę indukowane napięcie szumów, wartość współczynnika redukcyjnego telekomunikacyjnej linii musi być obliczona przy 800 Hz. Można ją obliczyć przez pomnożenie przez $f/800$ współczynnika redukcyjnego K przy f , Hz (gdzie f jest 50 lub 60), z wyjątkiem $K=1$. Przy innych współczynnikach wykorzystuje się wartości przy 50 Hz lub 60 Hz. Jeżeli do obliczeń stosowane są te współczynniki redukcyjne, całkowity współczynnik jest iloczynem wszystkich współczynników.

Współczynnik redukcyjny linii telekomunikacyjnych

Rodzaj linii	Współczynnik redukcyjny K	
	Przy częstotliwości 50 lub 60 Hz	Przy częstotliwości 800 Hz
Linia napowietrzna. Linie rozdzielcze wiejskie, kable miejscowe polietylenowe	1,0	1,0
Kable ołowiane. Kable daleko-siężne (okręgowe) o izolacji polietylenowej, typu Alpeth	0,95	0,95 x 50/300 lub 0,95 x 60/300
Kable opancerzone taśmą stalową	0,6	0,6 x 50/300 lub 0,6 x 60/300
Kable w rurociągach	0,6	0,6 x 50/300 lub 0,6 x 60/300
		0,2 x 50/300 lub 0,2 x 60/300
Kable współośiowe normalno-wymiarowe	0,2	0,2 x 50/300 lub 0,2 x 60/300

VI. Asymetria łącza λ ¹⁾

Jeżeli napięcie U_1 przyłożone jest do środka transformatora liniowego toru, jak na rys. 7, a napięcie U_2 pojawia się na końcu tego łącza, asymetria łącza określona jest jako U_2/U_1 . Zwykle wyraża się ją w postaci $20 \lg_{10} (U_1/U_2)$ [dB].



Rys. 7. Układ pomiarowy do pomiaru asymetrii względem ziemi

Na asymetrię łącza wpływa bardziej asymetria urządzeń stacyjnych centrali telefonicznej dołączonych do linii niż asymetria samej linii. Asymetria każdego rodzaju łącza podana jest w tabeli 4.

VII. Równoważny prąd zakłócający

$$\sqrt{\sum_{nf}^{3000} (\Pi_{nf} I_{nf} S_{nf})^2}$$

$$f = 50 \text{ Hz lub } 60 \text{ Hz, } n = 1, 3, 5 \dots$$

¹⁾ W słownictwie polskim zamiast tego określenia używa się określenia „współczynnik czułości” dwuprzewodowego toru telekomunikacyjnego na zakłócenia

Tłumiennosc asymetrii

Rodzaj łącza	Tłumiennosc asymetrii łącza [dB]
Kable	60
Linie napowietrzne	46
	Tor macierzysty
	Tor pochodny
Tory dołączone do centrali przekąźni- kowej	30
	Kablowe
	Napowietrzne
Tory dołączone do centrali automatycz- nej	60
	46
	34
Tory dołączone do centrali CB	34
System wybierania DXD	40

Indukowane napięcie szumów spowodowane jest prądami wyższych harmonicznych, wywołanymi prostownikiem elektrowozu, i prąd zmienia się zależnie od współczynnika zawartości harmonicznych, I_{nf} [%].

Wartość ta jest zwykle obliczana przy 800 Hz i jest odnoszona do wartości na 100 A prądu częstotliwości podstawowej; ta wartość określona jest właśnie jako równoważny prąd zakłócający.

S_{nf} jest współczynnikiem ważkości psfometrycznej, którego wartości są zalecane przez CCITT.

H_{nf} jest współczynnikiem, określonym przez rodzaj linii telekomunikacyjnej; wartość H_{nf} wynosi $nf/800$ dla linii napowietrznych i dla linii rozdzielczych sieci wiejskiej, zaś 1 dla kabli. Ponieważ I_{nf} elektrowozu, stosowanego na linii Tokaido, jest równe $100/n^2$ [%], równoważny prąd zakłócający wynosi 1,68 A/100 A dla linii napowietrznych oraz 2,3 A/100 A dla kabli.

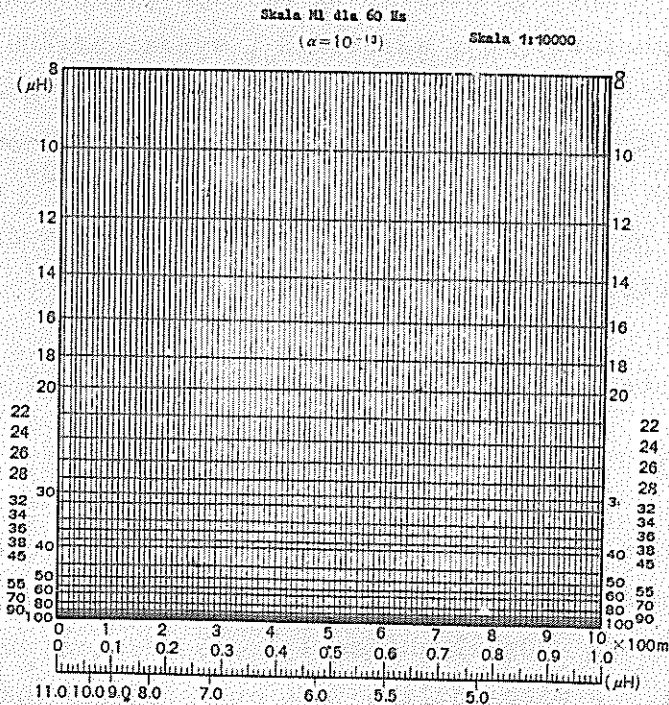
4.3. Metoda uproszczona obliczania oddziaływania

I. Skala M1

Obliczanie M jest najbardziej skomplikowaną operacją przy obliczaniu oddziaływania. M jest funkcją odległości między linią oddziaływującą i linią narażoną na oddziaływanie, a więc możliwe jest uproszczenie sposobu obliczeń.

Stosuje się w tym celu przezroczystą celuloidową skalę z podziałką dla M na projektowane każde 100 m długo-

ści, dla 50 Hz, 60 Hz lub 800 Hz, a ponadto dla odpowiedniej przewodności gleby. Jeżeli podziałka wykonana jest w skali 1 : 10000, musi być użyta na mapie o tej samej skali. Ze średniej odległości na 100 m między linią kolejową a telekomunikacyjną linią na mapie odczytuje się ze skali M1 wartość M na 100 m. Całkowitą wartość M1 otrzymać można przez zsumowanie wszystkich wartości M na 100 m. Przykładowa skala M1 z podziałką pokazana jest na rys. 8.



Rys. 8. Skala M1

II. Równoważny odcinek równoległego zbliżenia

Chociaż praca przy obliczeniach była uproszczona przez zastosowanie skali M1, całkowita liczba pracowników, zajętych obliczeniami dla linii Tokaido, była większa niż 4000. Dlatego też pracowano nad jeszcze prostszą metodą obliczeń. Metodę tę nazwano metodą równoważnego odcinka równoległego zbliżenia.

Metoda ta stosowana była przy projektowaniu urządzeń jako środków zaradczych na linii Tokaido. Zasadą tej metody jest podział na strefy obszaru po obu stronach linii kolejowej. Każda strefa zawiera się w granicach odległości od szyn do 50 m, od 50 do 100 m, od 100 do 200m, od 200 do 300 m itd., przy czym zakłada się, iż w każdym punkcie każdej strefy M jest stałe. Średnia wartość indukcyjności wzajemnej w danej strefie jest szukaną wartością M, którą przyjmuje się jako M_0 . Indukowane napięcie wszystkich rodzajów linii jest wstępnie obliczone za pomocą M_0 dla projektowanej długości 100 m i zostaje następnie sporządzona tabelka. Przykłady tych tabelek pokazane są w tabl. 5a i 5b. Na przykład, przy założeniu przewodności gleby 10^{-12} , przy odległości od 50 do 100 m i przy projektowanej długości kabla w rurach żeliwnych 260 m, indukowane napięcie psfometryczne może być obliczone z tabl. 5b jako

$$0,0994 \text{ mV} \times \frac{260}{100} = 0,259 \text{ mV}$$

Indukowane napięcie na 100 m (równoległego zbliżenia) w każdej strzynie (mV)
 Warunki: 1) Linia kolejowa na wiadukcie, 2) Asymetria łącza 24 dB, 3) Prąd oddziaływujący 400 A $\sqrt{2}$ A

Strzyna	Rodzaj linii	Prędkość pociągów [km/h]											
		2x10-19	4x10-14	6x10-14	8x10-14	10-13	2x10-13	3x10-13	5x10-13	6x10-13	10-12	2x10-12	4x10-12
0	Napowietrzne kable obrotowe Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,544	0,462	0,447	0,542	0,465	0,418	0,383	0,356	0,456	0,374	0,304	0,253
50 m	Kable w rurach żeliwnych	0,344	0,292	0,282	0,342	0,306	0,284	0,242	0,225	0,288	0,236	0,192	0,160
50 m	Napowietrzne kable obrotowe	0,153	0,128	0,126	0,152	0,136	0,118	0,108	0,100	0,129	0,105	0,0854	0,0712
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,320	0,272	0,266	0,325	0,286	0,263	0,226	0,210	0,282	0,232	0,186	0,158
100 m	Kable w rurach żeliwnych	0,203	0,172	0,165	0,203	0,176	0,160	0,143	0,136	0,170	0,146	0,1236	0,1095
100	Napowietrzne kable obrotowe	0,0990	0,0764	0,0691	0,0935	0,0806	0,0659	0,0559	0,0459	0,0579	0,0420	0,0311	0,0262
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,238	0,194	0,188	0,246	0,215	0,202	0,187	0,178	0,229	0,196	0,151	0,128
200 m	Kable w rurach żeliwnych	0,151	0,122	0,121	0,151	0,136	0,122	0,108	0,103	0,136	0,116	0,0880	0,0726
200	Napowietrzne kable obrotowe	0,0670	0,0544	0,0485	0,0652	0,0552	0,0432	0,0352	0,0232	0,0374	0,0230	0,0150	0,0123
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,164	0,123	0,121	0,164	0,146	0,134	0,124	0,114	0,152	0,128	0,0966	0,0823
300 m	Kable w rurach żeliwnych	0,104	0,0776	0,0690	0,104	0,090	0,078	0,070	0,059	0,0960	0,076	0,0544	0,0466
300	Napowietrzne kable obrotowe	0,0461	0,0346	0,0285	0,0461	0,040	0,036	0,032	0,028	0,042	0,036	0,028	0,024
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,121	0,0842	0,0693	0,121	0,109	0,101	0,097	0,088	0,117	0,097	0,074	0,0618
400 m	Kable w rurach żeliwnych	0,0340	0,0237	0,0188	0,034	0,030	0,028	0,026	0,024	0,032	0,028	0,024	0,021
400	Napowietrzne kable obrotowe	0,0931	0,0604	0,0455	0,093	0,081	0,076	0,071	0,066	0,091	0,076	0,061	0,051
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,0508	0,0381	0,0287	0,050	0,045	0,041	0,038	0,034	0,046	0,041	0,036	0,032
300 m	Kable w rurach żeliwnych	0,0262	0,0170	0,0128	0,026	0,024	0,022	0,020	0,018	0,024	0,022	0,020	0,018
400	Napowietrzne kable obrotowe	0,0678	0,0402	0,0276	0,067	0,061	0,058	0,054	0,050	0,065	0,058	0,054	0,050
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,0428	0,0254	0,0174	0,042	0,038	0,036	0,034	0,032	0,041	0,038	0,036	0,034
700 m	Kable w rurach żeliwnych	0,0191	0,0113	0,00775	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,016	0,015	0,014	0,013
700	Napowietrzne kable obrotowe	0,0402	0,0205	0,0130	0,040	0,036	0,034	0,032	0,030	0,038	0,036	0,034	0,032
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,0254	0,0129	0,00924	0,025	0,024	0,023	0,022	0,021	0,023	0,022	0,021	0,020
300 m	Kable w rurach żeliwnych	0,0113	0,00576	0,00266	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,009	0,008	0,007	0,006
1500	Napowietrzne kable obrotowe	0,0179	0,00857	0,00447	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,015	0,014	0,013	0,012
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,0113	0,00541	0,00266	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,009	0,008	0,007	0,006
1500 m	Kable w rurach żeliwnych	0,00593	0,00241	0,00117	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,000
1500	Napowietrzne kable obrotowe	0,00872	0,00417	0,00214	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003
40	Kable opancerzone taśmami stalowymi (lub w rurach stalowych)	0,00571	0,00264	0,00135	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,000
2000 m	Kable w rurach żeliwnych	0,00245	0,00117	0,00056	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000

5. ŚRODKI ZARADCZE DLA OGRANICZENIA ODDZIAŁYWAŃ

Środki zaradcze przeciw oddziaływaniu trakcji elektrycznej na linie telekomunikacyjne powinny przewidywać nie tylko zmniejszenie indukowanych napięć, lecz również być odpowiednimi w przyszłości, przy uwzględnieniu rozbudowy sieci telefonicznej, a także powinny być opłacalne i wprowadzać najnowszą technikę, jak np. kable ekranowane lub transformatory neutralizujące. Środki zaradcze wymienione w tym punkcie były głównie zastosowane na linii Tokaido, lecz zasada ich działania jest ta sama dla innych linii.

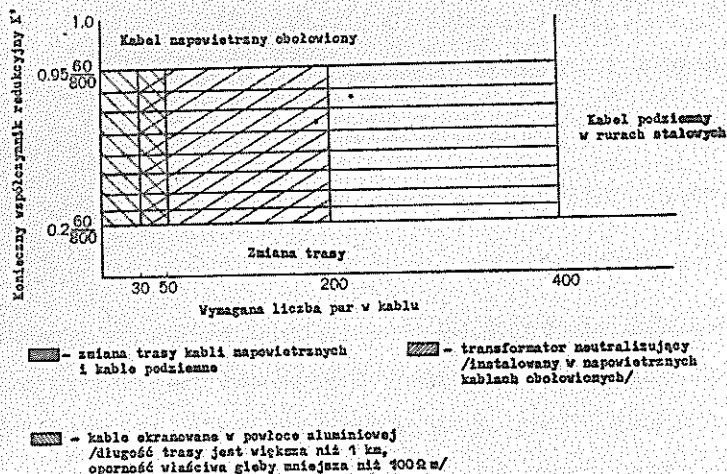
5.1. Projektowanie środków zaradczych (urządzeń obcych) w liniach telekomunikacyjnych wzdłuż linii Tokaido

Obszar 1 km od linii Tokaido uzyskany został jako strefa oddziaływań, i dla tej strefy powinny być przyjęte następujące zalecenia:

- 1) przy wyborze trasy linii telekomunikacyjnej należy brać pod uwagę indukowane napięcia,
- 2) w przypadku prowadzenia linii w kanalizacji powinna być użyta kanalizacja z rur żeliwnych,
- 3) nie należy budować nowych linii napowietrznych,
- 4) powinny być stosowane kable w metalowych powłokach, lecz powinny być chronione przeciw korozji elektrolitycznej.

I. Linie miejscowe

Metoda zabezpieczenia linii telekomunikacyjnych, jaka powinna być zastosowana, zależy od koniecznego współczynnika redukcyjnego i liczby par w kablu. Wyboru metody można dokonać wg rys. 9.



Rys. 9. Wybór metody ochrony linii miejscowych

1. Jeżeli projektowany kabel ma więcej niż 400 par a w przyszłości rozkopywanie drogi będzie utrudnione, to kabel musi być układany pod ziemią w kanalizacji z rur żeliwnych.

2. Linie rozdzielcze wiejskie oraz przewody w izolacji gumowej mogą być użyte na ograniczonej długości równoległego zbliżenia.

3. W przypadku kabla napowietrznego o liczbie par mniejszej niż 50, przy wymaganym współczynnikiem redukcyjnym zawartym między $0,2 \times 60/800$ a $0,95 \times 60/800$, należy

wziąć pod uwagę zastosowanie transformatorów neutralizujących.

4. Stosowanie kabli ekranowanych w powłokach aluminiowych należy przewidzieć w następujących warunkach:

konieczny współczynnik ekranowania 0,2 x 60/800 do 0,95 x 60/800,

wymagana liczba par 30 do 200 par,

długość linii większa niż 1 km,

oporność właściwa gruntu mniejsza niż 100 Ω m

II. Kable podmiejskie (okręgowe)

W kablach okręgowych jest wiele rodzajów torów, takich jak tory akustyczne nie wzmacniane, tory akustyczne wzmacniane, tory radiofoniczne i in. Dlatego środkami zaradczymi mogą tu być inne metody, bardziej ekonomiczne, niż stosowanie urządzeń obcych. W tym punkcie omawiane są jednak tylko te urządzenia jako środki zaradcze.

Zastosowana metoda zależy od koniecznego współczynnika redukcyjnego i liczby par w kablu. Wybór metody podany jest w tabeli 6.

T a b e l a 6

Rodzaj metody ochrony linii podmiejskiej

Konieczny współczynnik redukcyjny K	1,0	Kable napowietrzne	Kable ziemne lub podziemne linie w kanalizacji
	$0,95 \times \frac{60}{800}$	Zmiana trasy Kable ziemne (lub podziemne linie w kanalizacji)	
	$0,6 \times \frac{60}{800}$	Kable ekranowane	
	$0,2 \times \frac{60}{800}$	Zmiana trasy Środki szczególne Kable ekranowane	Zmiana trasy Środki szczególne
		Zmiana trasy	

Wymagana liczba par - 200 par

5.2. Środki zaradcze w centralach

Jeżeli środki zaradcze w postaci dodatkowych innych urządzeń są niewystarczające, konieczne jest stosowanie środków zaradczych w centralach.

1. Jeżeli indukowane napięcie zakłóceń lub napięcie wzdlużne są za duże w stanie normalnej pracy, należy stosować system sygnalizacji wybierczej DX lub CX¹⁾.

Uwaga: Systemy te mają dużą symetrię torów; tłumienność asymetrii w systemie CX wynosi 40 dB, a w

1) CX - composite dialing system
DX - duplex dialing system

systemie DX 50 dB. W tych systemach różnice potencjałów względem ziemi są kompensowane i indukowane napięcia znoszą się.

2. Jeżeli wymagana jest większa symetria łącza ruchu ręcznego lub w systemie sygnalizacji CX, celowa jest kompensacja upływności metodą analogiczną do kompensacji przesłuchu.

3. Jeżeli liczba łączy jest bardzo mała, należy rozważyć celowość zastosowania transformatorów neutralizujących.

5.3. Środki zaradcze w urządzeniach teletransmisyjnych

W przypadku łączy radiofonicznych akustycznych lub telefonicznych łączy dalekosiężnych akustycznych stosowanie środków zaradczych przeciw oddziaływaniu trakcji jest czasem bardziej ekonomiczne w porównaniu z kosztami poniesionymi na urządzenia dodatkowe (obce).

1. Zamiana łączy radiofonicznych i telefonicznych dalekosiężnych akustycznych na łącza nośne

Współczynnik zawartości harmonicznych prądu obciążenia elektrowozu jest w przybliżeniu równy $1/n^2$, gdzie n jest numerem harmonicznej, dlatego efekt zakłócający w łączach nośnych jest bardzo niewielki. W razie potrzeby łącza akustyczne należy zastępować łączami nośnymi.

2. Eliminowanie 60 Hz za pomocą filtrów pasmowych

W radiofonicznych łączach akustycznych napięcie szumów może być zredukowane poniżej 60%, jeżeli częstotliwość podstawowa (50 lub 60 Hz) jest wyeliminowana przez filtr pasmowy, lecz ta metoda wymaga dobierania charakterystyki równoważnika.

3. Inna metoda

a. Jeżeli poziom sygnału na nadawczym końcu łącza podwyższy się, wtedy może być poprawiony stosunek sygnału do szumów w radiofonicznym dalekosiężnym łączu akustycznym.

b. Jeżeli jest konieczne, łącza telegrafii prądu stałego powinny być zamienione na łącza dwuprzewodowe lub łącza telegrafii nośnej.

5.4. Kable ekranowane lub transformatory neutralizujące

1. Kable ekranowane (kable w powłoce aluminiowej)

Współczynnik redukcyjny kabli określony jest następującym wzorem

$$K = \frac{Z_{33} - Z_{23}}{Z_{33}} = \frac{R_o + R_e}{Z_{33}} \quad (17)$$

gdzie:

Z_{23} - impedancja wzajemna między ośrodkiem kabla a jego powłoką,

Z_{33} - impedancja własna powłoki,

R_0 - oporność powłoki,

R_e - oporność uziemienia.

Jeżeli R_0 zostanie zmniejszone, a impedancja powłoki zwiększona, wartość współczynnika k zmaleje.

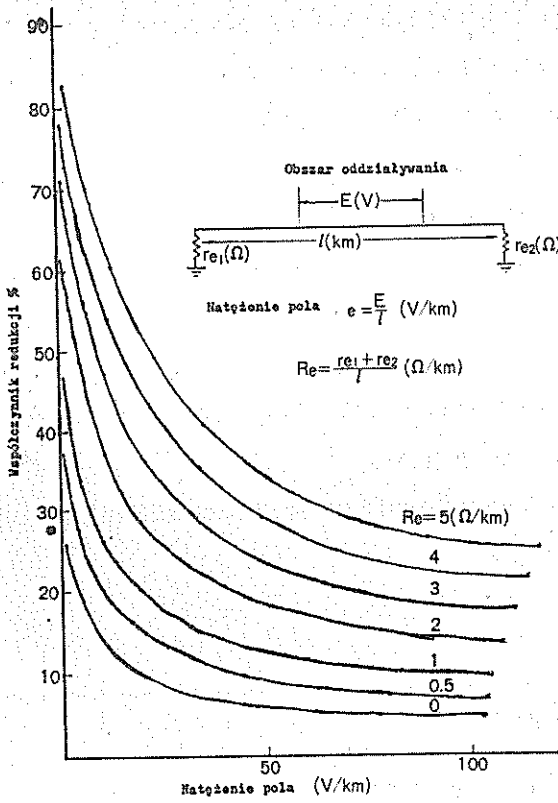
Ta zasada wykorzystana jest w kablach ekranowanych, przy czym ich konstrukcja jest następująca: zamiast ołowiu na powłokę użyte jest aluminium o małej oporności właściwej, osłona ochronna z polietylenu chroni aluminium przed korozją, dwie warstwy wyżarzonej taśmy żelaznej nawinięte są na kabel, aby zwiększyć składową urojoną impedancji powłoki oraz ponownie nałożona jest warstwa polietylenu, ochraniająca pancerz.

Na rysunku 10 pokazane są charakterystyki współczynnika redukcji, którego wartość zmienia się w funkcji natężenia pola zależnie od przenikalności magnetycznej wyżarzonych taśm żelaznych. Stosowanie takich kabli wymaga, aby oporność uziemienia była możliwie mała.

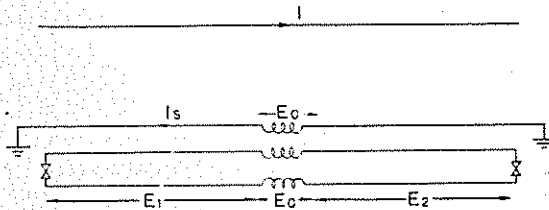
2. Transformatory neutralizujące

Napięcie indukowane można zmniejszyć, jeżeli zastosuje się przewód ekranujący (połączony z ziemią), zainstalowany w pobliżu toru telekomunikacyjnego, który z kolei sprzężony jest z przewodem ekranującym za pomocą transformatora o przekładni 1:1. Układ taki pokazany jest na rys. 11.

Transformator ten nazywany jest transformatorem neutralizującym. Napięcie E_c , wzbudzone jest w uzwojeniu



Rys. 10. Współczynnik redukcji kabla ekranowanego w powłoce aluminiowej 30x2x0,4



Rys. 11. Łącze z transformatorami neutralizującymi

pierwotnym i wtórnym transformatora przez prąd I_s , płynący w przewodzie ekranującym. Wtedy napięcie wzdlużne w torze telekomunikacyjnym, wynoszące $E_1 + E_2$ zredukowane jest do wartości $E_1 + E_2 - E_c$. Ponieważ napięcie szumów w łączu oblicza się jako iloczyn napięcia wzdlużnego i asymetrii łącza, toteż napięcie szumów jest zredukowane proporcjonalnie do zmniejszenia napięcia wzdlużnego. W kablu jako przewód ekranujący używany jest wolny przewód. Transformator dołączony jest do toru za pomocą odgałęzienia kablowego.

Rodzaje transformatorów neutralizujących zestawione są w tabeli 7.

T a b e l a 7

Rodzaj transformatora	Liczba rdzeni	Liczba torów	Liczba przewodów ekran.
10-parowy	1	9	1
20-parowy	2	18	2
30-parowy	3	27	3
50-parowy	5	45	5



