ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ELEKTRYKA z. 137 Nr kol. 1244

Edward LAWERA
Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Mirosław BRANCZEWSKI
Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA
OESP - Katowice

WPŁYW PARAMETRÓW RUROCIĄGÓW ORAZ LOKALIZACJI ZWARCIA Z ZIEMIĄ W NAPOWIETRZNYCH LINIACH PRZESYŁOWYCH NA ICH ODDZIAŁYWANIE NA PODZIEMNE RUROCIĄGI STALOWE

Streszczenie. W wyniku oddziaływań galwanicznych i indukcyjnych napowietrznych linii przesyłowych najwyższych napięć, podczas występujących w nich zwarć z udziałem ziemi powstają w przebiegających w równoległym zbliżeniu podziemnych rurociągach stalowych prądy i potencjały. Powstające potencjały mogą przybierać znaczne wartości stanowiące zagrożenie dla samego rurociągu i obsługi. W artykule przedstawiono wyniki analizy dotyczącej wpływu na wartości prądów i potencjałów w rurociągach parametrów rurociągów oraz lokalizacji zwarcia z ziemią występującego w odcinku zbliżenia.

INFLUENCE OF PIPELINE PARAMETERS AND PHASE-TO-EARTH FAULT LOCATION IN OVERHEAD TRANSMISSION LINES ON INTERFERENCE EFFECTS IN UNDERGROUND STEEL PIPELINES

Summary. During phase-to-ground faults of an overhead HVAC transmission line as a result of galvanic and inductive type of effects the substantial electric potentials can be developed and big currents can be appear in neighbouring underground steel pipelines parallel to the line. The potentials can have values dangerous for the maintenance team and for the pipeline itself. The analytical results of how the pipeline parallel section influence the potential and current values are presented in the paper.

EINFLUß DER PARAMETER VON ROHRLEITUNGEN UND ERDKURZSCHLUßORTUNG IN ÜBERTRAGUNGSLEITUNGEN AUF IHRE EINWIRKUNG AUF DIE UNTERGRUNDSTAHLROHRLEITUNGEN

Zusammenfassung. Als galwanische und induktive Einwirkungen von Hochspannungsübertragungsleitungen, bei den Kurzschlüssen mit Erdberührung treten in den parallel laufenden Untergrundstahlrohrleitungen die Ströme und Potentiale auf. Die entwickelte Potentialen können bedeutende Werte erreichen, die eine Gefährdung für die Rohrleitung und Service dargestellt werden können. In dem Beitrag die Ergebnisse der Analyse des Einflußes der Parameter von Rohrleitungen und der Erdkurzschlußortung auf die Werte von Strömen und Potentialen der Untergrundstahlrohrleitungen werden vorgestellt.

1. WPROWADZENIE

Oddziaływania napowietrznych linii przesyłowych najwyższych napięć na podziemne rurociągi stalowe podczas zwarć jednofazowych z ziemią można podzielić na indukcyjne i galwaniczne. Oddziaływania indukcyjne pochodzą od prądów płynących w przewodach roboczych i odgromowych linii i nie występują przy prostopadłym skrzyżowaniu linii i rurociągu. Oddziaływania galwaniczne pochodzą od prądów wypływających z uziomów linii do ziemi.

Oddziaływania prowadzą do powstania w rurociągu potencjałów elektrycznych o wartościach mogących stanowić zagrożenia dla instalacji rurociągowych i obsługi. Istotnym zagadnieniem dla eksploatacji i projektowania korytarzy transportowych, w których występują równoległe przebiegi linii przesyłowych i rurociągów, jest opracowanie operatywnej, wystarczająco dokładnej metody analitycznej pozwalającej wyznaczać wielkości charakterystyczne oddziaływań. Koniecznym etapem opracowania takiej metody była analiza wpływu parametrów: linii przesyłowej, układu linia-rurociąg i samego rurociągu na wielkości charakterystyczne oddziaływań. Wpływ parametrów linii i układu linia-rurociąg został omówiony we wcześniejszych publikacjach autorów [3, 4]. Wyniki analizy wpływu parametrów rurociągu są przedmiotem tego artykułu. Wnioski z przeprowadzonych badań i analiz pozwolą określić zarówno możliwości uproszczenia modeli matematycznych oddziaływań, jak również wymagania w zakresie dokładności określenia podanych parametrów jako danych wyjściowych do obliczeń.

W artykule przedstawiono także wyniki badań wpływu na wielkości charakterystyczne oddziaływań lokalizacji miejsca zwarcia występującego w odcinku równoległego zbliżenia. Rozpoznanie wpływu lokalizacji zwarcia na wielkości charakterystyczne oddziaływań umożliwi określenie warunków występowania maksymalnych wartości tych wielkości.

2. MODELOWANIE ODDZIAŁYWAŃ LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH

Wielkościami charakterystycznymi oddziaływań są [3, 4]:

- prądy w rurociągu: galwaniczny I_{rg}, indukcyjny I_{ri}, sumaryczny I_{rs},
- potencjały rurociągu względem ziemi odniesienia: galwaniczny V_g, indukcyjny V_i, sumaryczny V_s,
- potencjały rurociągu względem ziemi bliskiej przylegającej do zewnętrznej powierzchni rurociągu: galwaniczny V_{rg}, indukcyjny V_{bi}, sumaryczny V_{bs}.

Wartości prądów i potencjałów stanowiących wielkości charakterystyczne oddziaływań mogą być obliczone dla układu linia - rurociąg z następujących relacji [1, 3, 4]:

$$I_{rz}(x)=\frac{Y}{4\Pi\gamma_Z}\sum_{k=0}^{N}I_{ak}\{\Psi[\alpha(x+ka),\alpha s_z]+\Psi[\alpha(x+ka),\alpha s_p]\}+$$
$$+\frac{Y}{4\Pi\gamma_Z}\sum_{k=1}^{M}I'_{ak}\{\Psi[\alpha(x-ka),\alpha s_z]+\Psi[\alpha(x-ka),\alpha s_p]\} \tag{1}$$

$$V_z(x)=\frac{\alpha}{4\Pi\gamma_Z}\sum_{k=0}^{N}I_{ak}\{\Omega[\alpha(x+ka),\alpha s_z]+\Omega[\alpha(x+ka),\alpha s_p]\}+$$
$$+\frac{Y}{4\Pi\gamma_Z}\sum_{k=1}^{M}I'_{ak}\{\Omega[\alpha(x-ka),\alpha s_z]+\Omega[\alpha(x-ka),\alpha s_p]\} \tag{2}$$

$$V_{bz}(x)=\frac{Y\alpha}{4\Pi\gamma_Z}Y_p^{-1}\sum_{k=0}^{N}I_{ak}\{\Omega[\alpha(x+ka),\alpha s_z]+\Omega[\alpha(x+ka),\alpha s_p]+$$
$$-\frac{1}{\sqrt{[\alpha(x+ka)]^2+(\alpha s_z)^2}}-\frac{1}{\sqrt{[\alpha(x+ka)]^2+(\alpha s_p)^2}}\}+$$

$$+\frac{Y\alpha}{4\Pi\gamma_Z}Y_p^{-1}\sum_{k=1}^{M}I'_{ak}\{\Omega[\alpha(x-ka),\alpha s_z]+\Omega[\alpha(x-ka),\alpha s_p]+$$
$$-\frac{1}{\sqrt{[\alpha(x-ka)]^2+(\alpha s_z)^2}}-\frac{1}{\sqrt{[\alpha(x-ka)]^2+(\alpha s_p)^2}}\} \tag{3}$$

$$I_n(x)=-\frac{Z_{12}J_Z}{2Z_1}[sgn(x)(1-e^{-\alpha|x|})-sgn(x+Na)(1-e^{-\alpha|x+Na|})]+$$
$$+\frac{Z_{1c}}{2Z_1}\sum_{k=0}^{N-1}I_{\alpha(k+1)}\{sgn(x+ka)(1-e^{-\alpha|x+ka|})-sgn[x+(k+1)a](1-e^{-\alpha|x+(k+1)a|})\}+ \tag{4}$$
$$-\frac{Z_{1c}}{2Z_1}\sum_{k=0}^{M-1}I'_{\alpha(k+1)}\{sgn(x-ka)(1-e^{-\alpha|x-ka|})-sgn[x-(k+1)a](1-e^{-\alpha|x-(k+1)a|})\}$$

$$V_i(x)=\frac{Z_{12}Z_0}{2Z_1}J_Z(e^{-\alpha|x|}-e^{-\alpha|x+Na|})+\frac{Z_{1c}Z_0}{2Z_1}\sum_{k=0}^{N-1}I_{\alpha(k+1)}(e^{-\alpha|x+ka|}-e^{-\alpha|x+(k+1)a|})+ \tag{5}$$
$$+\frac{Z_{1c}Z_0}{2Z_1}\sum_{k=0}^{M-1}I'_{\alpha(k+1)}(e^{-\alpha|x-ka|}-e^{-\alpha|x-(k+1)a|})$$

$$V_{bi}(x)=\frac{Z_{12}\alpha}{2Z_1}Y_p^{-1}J_z(e^{-\alpha|x|}-e^{-\alpha|x+Na|})+\frac{Z_{1c}\alpha}{2Z_1}Y_p^{-1}\sum_{k=0}^{N-1}I_{c(k+1)}[e^{-\alpha|x+ka|}-e^{-\alpha|x+(k+1)a|}]+ \tag{6}$$

$$+\frac{Z_{1c}\alpha}{2Z_1}Y_p^{-1}\sum_{k=0}^{M-1}I'_{c(k+1)}[e^{-\alpha|x-ka|}-e^{-\alpha|x-(k+1)a|}]$$

W równaniach (1) do (6) oznaczono:

$$s_z=\sqrt{(h_u-h_r)^2+b^2},\qquad s_p=\sqrt{(h_u+h_r)^2+b^2},$$

b - odległość uziom - rurociąg,
h_u - głębokość zakopania uziomu,
h_r - głębokość ułożenia rurociągu,
I_c, I_c^* - prądy w przewodzie odgromowym w kolejnych przęsłach linii z lewej i prawej strony punktu zwarcia,
I_{uk}, I_{uk}^* - prądy spływające do ziemi uziomami kolejnych słupów z lewej i prawej strony punktu zwarcia,
a - długość przęsła,
γ_z - konduktywność gruntu,
α - stała propagacji rurociągu,
Y - admitancja własna rurociągu,
Z_o - impedancja charakterystyczna rurociągu,
Y_p - admitancja przejścia rurociąg - ziemia,
Z_1 - impedancja obwodu rurociąg - ziemia,
Z_{12} - impedancja wzajemna przewód fazowy - rurociąg,
Z_{1c} - impedancja wzajemna przewód odgromowy - rurociąg,
Ψ, Ω - funkcje pomocnicze służące do wyznaczania całki zmiennej zespolonej w równaniach (1), (2), (3),
X - oś kierunkowa rurociągu o początku w miejscu rzutu punktu zwarcia,
k - kolejne słupy i przęsła, licząc od miejsca zwarcia,
$(N+M)\cdot a = L_z$ - długość odcinka równoległego zbliżenia linii i rurociągu.

Relacje (1) do (6) otrzymano przy założeniach:
- zasilanie linii jest jednostronne od strony lewej,
- odcinek linii równoległy do rurociągu zawiera N przęseł w lewą i M przęseł w prawą stronę od punktu zwarcia,
- długości wszystkich przęseł linii są stałe i wynoszą a,
- wartości rezystancji wszystkich uziomów linii są jednakowe i wynoszą R.

Jeżeli dwa ostatnie założenia nie są spełnione, to relacje (1) do (6) posiadają bardziej złożoną strukturę. Przy założeniu liniowości układu linia - rurociąg oddziaływania sumaryczne mogą być wyznaczone na zasadzie superpozycji oddziaływań składowych. Sumaryczne wielkości charakterystyczne oddziaływań stanowią sumy geometryczne odpowiednich wielkości oddziaływań galwanicznych i indukcyjnych.

3. ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW RUROCIĄGU NA WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNE ODDZIAŁYWAŃ

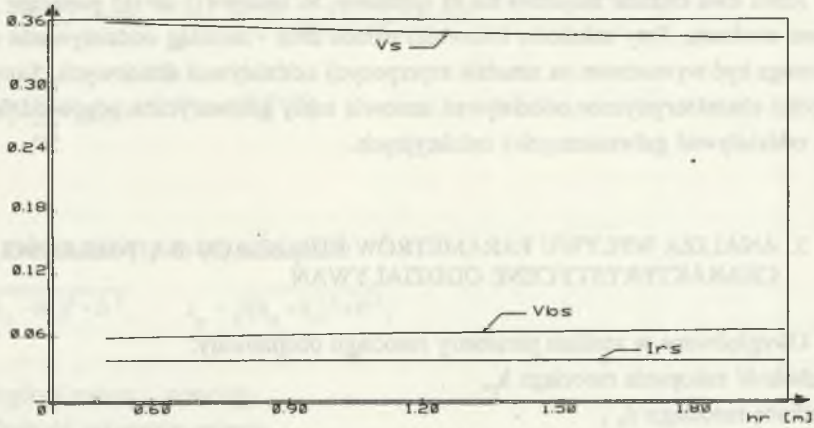
Uwzględnione w analizie parametry rurociągu obejmowały:
- głębokość zakopania rurociągu h_r,
- średnicę rurociągu d_r ,
- rezystancję przejścia izolacji rurociągu względem ziemi R_p,
- przenikalność magnetyczną względną rurociągu.

Wartości prądów i potencjałów rurociągu wyznaczono dla przyjętej jednostkowej wartości prądu zwarcia z ziemią $J_z = (1+j0)$ A. Wartości prądów i potencjałów w rurociągu wyznaczone zostały dla punktu $X=0$, przy założeniu zwarcia w środku odcinka zbliżenia. W takich warunkach wielkości te są największe.

Przy analizie wpływu podanych wyżej parametrów rurociągu przyjęto następujące wartości parametrów linii przesyłowej i układu linia - rurociąg [3, 4]:
- wysokość zawieszenia przewodu roboczego $h_f = 21$ m,
- wysokość zawieszenia przewodu roboczego $h_o = 30$ m,
- rezystancja uziemienia słupów $R = 5\ \Omega$,
- ilość przewodów odgromowych $k_o = 1$,
- długość przęsła $a = 0.3$ km,
- długość odcinka zbliżenia linii i rurociągu $L_z = 3.0$ km,
- odległość uziomu od rurociągu $b = 30$ m,
- konduktywność gruntu $\gamma_z = 0.001$ S/m.

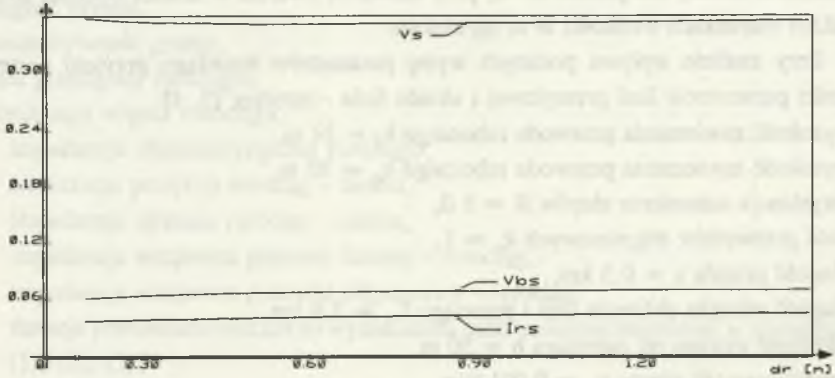
Obliczenia wpływu głębokości zakopania rurociągu na wielkości charakterystyczne oddziaływań przeprowadzono dla przedziału zmienności $0.5\ \text{m} \le h_r \le 2.0$ m przy przyjęciu stałych wartości $d_r = 0.3$ m, $R_p = 1000\ \Omega$m, $\mu_r = 200$. Wpływ wartości h_r na niektóre wielkości charakterystyczne oddziaływań przedstawiono na rys. 1.

Obliczenia wpływu średnicy rurociągu na wielkości charakterystyczne oddziaływań przeprowadzono dla przedziału zmienności $0.2\ \text{m} \le d_r \le 1.5$ m przy przyjęciu stałych wartości $h_r = 1.0$ m, $R_p = 1000\ \Omega$m, $\mu_r = 200$. Wpływ wartości d_r na wybrane wielkości charakterystyczne oddziaływań przedstawiono na rys. 2.



Rys.1. Przebiegi wielkości charakterystycznych oddziaływań I_{rs}, V_s, V_{bs} przy zmianach głębokości ułożenia rurociągu h_r

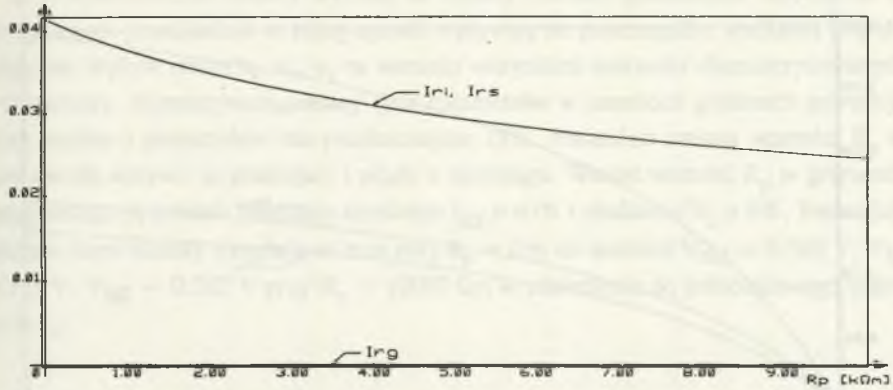
Fig.1. Characteristic variables of interference I_{rs}, V_s, V_{bs} in relation to pipeline depth h_r



Rys. 2. Przebiegi wielkości charakterystycznych oddziaływań I_{rs}, V_s, V_{bs} przy zmianach średnicy rurociągu d_r

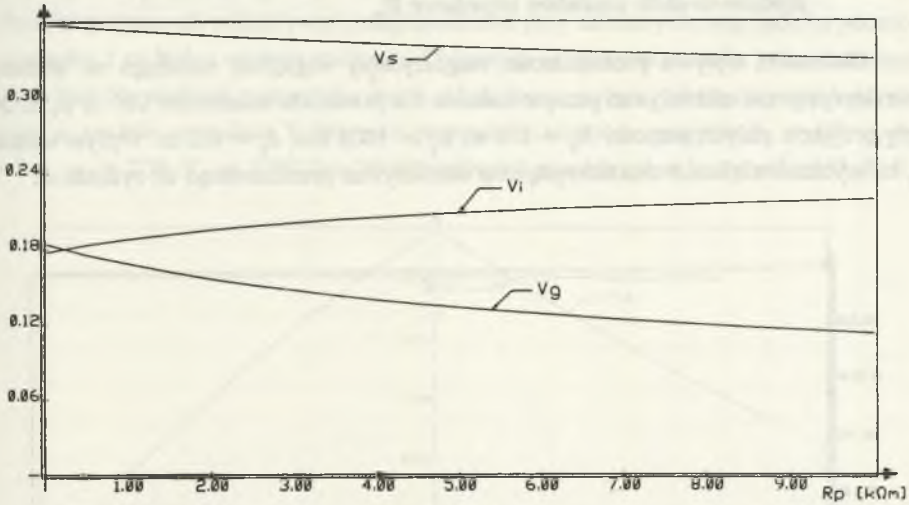
Fig. 2. Characteristic variables of interference I_{rs}, V_s, V_{bs} in relation to pipeline outside diameter d_r

Obliczenia wpływu rezystancji przejścia rurociągu względem ziemi na wielkości charakterystyczne oddziaływań przeprowadzono dla przedziału zmienności $0\ \Omega m \leq R_p \leq 10000\ \Omega m$ przy przyjęciu stałych wartości $h_r = 1.0$ m, $d_r = 0.3$ m, $\mu_r = 200$. Wpływ wartości R_p na wybrane wielkości charakterystyczne oddziaływań przedstawiono na rysunkach 3, 4, 5.



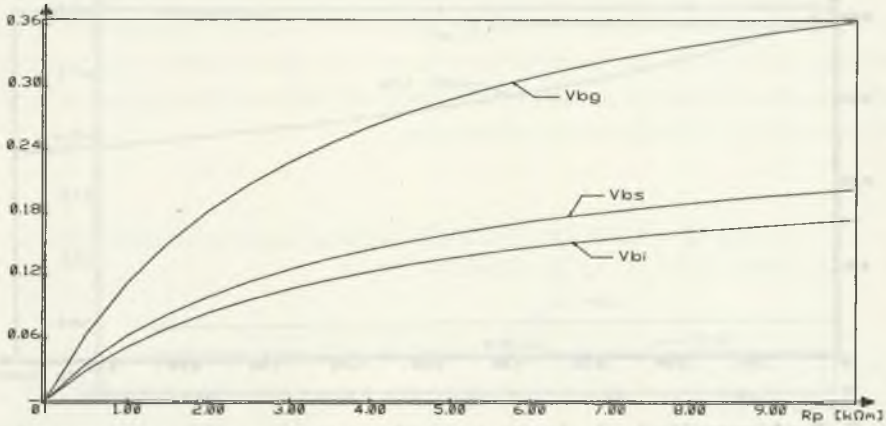
Rys. 3. Przebieg prądów I_{rg}, I_{ri}, I_{rs} przy zmianach rezystancji przejścia rurociągu względem ziemi R_p

Fig. 3. Relation between characteristic variables of interference I_{rg}, I_{ri}, I_{rs} and pipeline-to-earth insulation impedance R_p



Rys. 4. Przebieg potencjałów V_g, V_i, V_s przy zmianach rezystancji przejścia rurociągu względem ziemi R_p

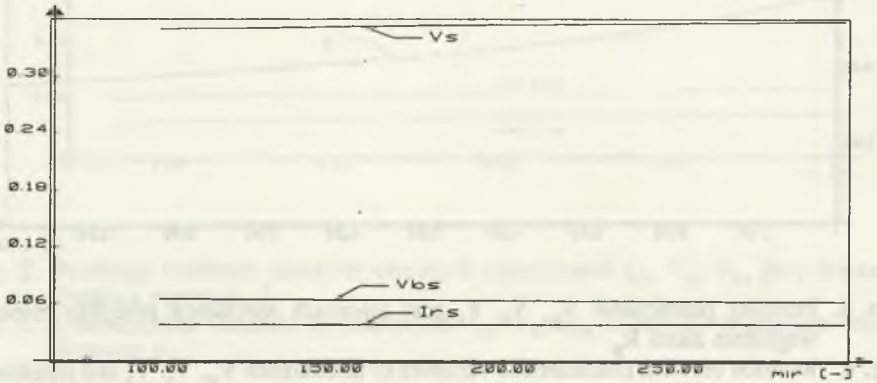
Fig. 4. Relation between characteristic variables of interference V_g, V_i, V_s and pipeline-to-earth insulation impedance R_p



Rys. 5. Przebieg potencjałów V_{bg}, V_{bi}, V_{bs} przy zmianach rezystancji przejścia rurociągu względem ziemi R_p

Fig. 5. Relation between characteristic variables of interference V_{bg}, V_{bi}, V_{bs} and pipeline-to-earth insulation impedance R_p

Obliczenia wpływu przenikalności magnetycznej względnej rurociągu na wielkości charakterystyczne oddziaływań przeprowadzono dla przedziału zmienności $100 \leq \mu_r \leq 300$ przy przyjęciu stałych wartości $h_r = 1.0$ m, $R_p = 1000$ Ωm, $d_r = 0.3$ m. Wpływ wartości μ_r na wybrane wielkości charakterystyczne oddziaływań przedstawiono na rysunku 6.



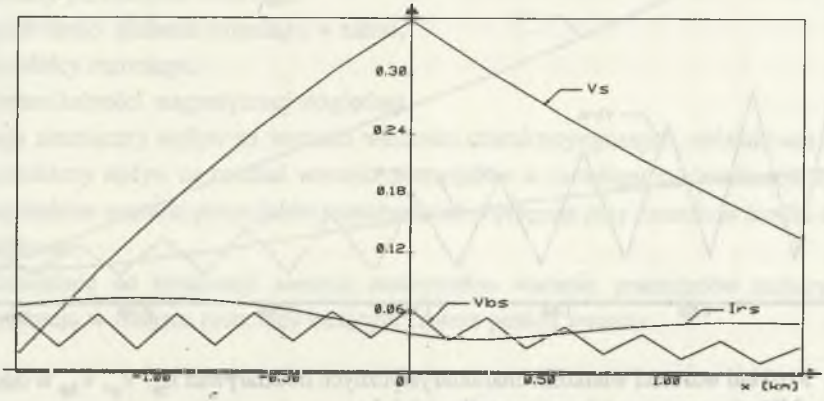
Rys. 6. Przebiegi wielkości charakterystycznych oddziaływań I_{rs}, V_s, V_{bs} przy zmianach przenikalności magnetycznej względnej rurociągu μ_r

Fig. 6. Relation between characteristic variables of interference I_{rs}, V_s, V_{bs} and pipeline relative magnetic permeability μ_r

Z przeprowadzonej analizy wynika, że zmiany wartości parametrów rurociągów w rozpatrywanych przedziałach w różny sposób wpływają na poszczególne wielkości charakterystyczne. Wpływ zmian h_r, d_r, μ_r na wartości wszystkich wielkości charakterystycznych jest nieznaczny. Rozpatrywane zmiany tych parametrów w szerokich granicach powodują zmiany prądów i potencjałów nie przekraczające 15%. Natomiast zmiana wartości R_p w istotny sposób wpływa na potencjały i prądy w rurociągu. Wzrost wartości R_p w granicach rozpatrywanego przedziału powoduje obniżenie I_{RS} o 40% i obniżenie V_S o 8%. Potencjały względem ziemi bliskiej wzrastają od zera przy $R_p = 0$ m do wartości $V_{BG} = 0.363$ V, $V_{BI} = 0.173$ V, $V_{BS} = 0.202$ V przy $R_p = 10000$ Ωm w odniesieniu do jednostkowego prądu zwarcia J_z.

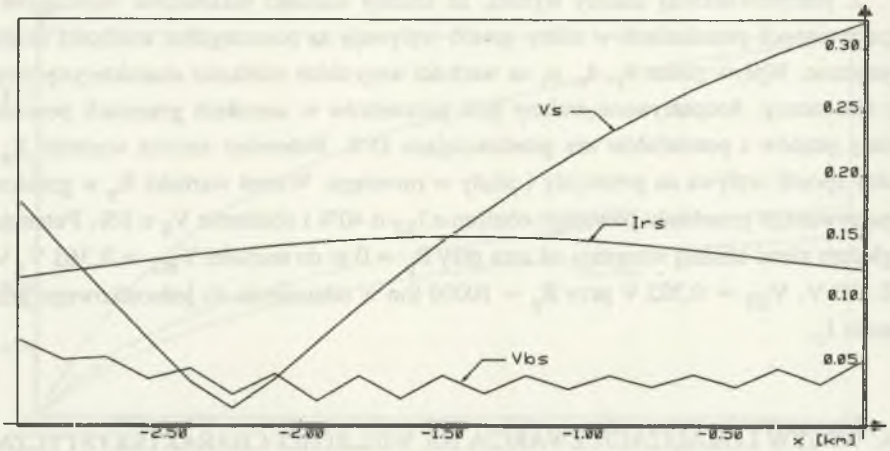
4. WPŁYW LOKALIZACJI ZWARCIA NA WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNE ODDZIAŁYWAŃ

Równania (1) do (6) umożliwiają obliczenia wartości prądów i potencjałów w rurociągu przy różnej lokalizacji zwarć jednofazowych w linii w odcinku zbliżenia. Obliczenia wielkości charakterystycznych oddziaływań przeprowadzono przy założonych zwarciach na początku, w środku i na końcu odcinka zbliżenia. Obliczenia przeprowadzono dla jednostronnego zasilania linii dla wartości parametrów linii i układu linia - rurociąg identycznych jak przyjmowane w analizie w punkcie 3. Wartości parametrów rurociągu przyjęto: $h_r = 1.0$ m, $d_r = 0.3$ m, $\mu_r = 200$, $R_p = 1000$ Ωm. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 7, 8, 9.



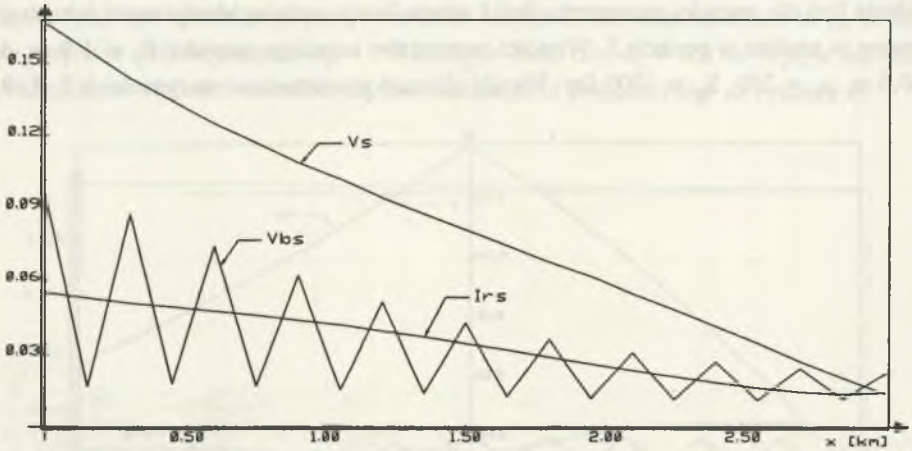
Rys. 7. Rozkład wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań I_{rs}, V_s, V_{bs} w odcinku zbliżenia przy zwarciu w środku odcinka

Fig. 7. Characteristic variables of interference I_{rs}, V_s, V_{bs} - longitudinal profiles in parallel section of transmission line-pipeline system when earth-fault occurs in the middle of that section



Rys. 8. Rozkład wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań I_{rs}, V_s, V_{bs} w odcinku zbliżenia przy zwarciu na końcu odcinka

Fig. 8. Characteristic variables of interference I_{rs}, V_s, V_{bs} - longitudinal profiles in parallel section of transmission line-pipeline system when earth-fault occurs at the end of that section



Rys. 9. Rozkład wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań I_{rs}, V_s, V_{bs} w odcinku zbliżenia przy zwarciu na początku odcinka

Fig. 9. Characteristic variables of interference I_{rs}, V_s, V_{bs} - longitudinal profiles in parallel section of transmission line-pipeline system when earth-fault occurs at the beginning of that section

Z analizy obliczonych wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań wynikają wnioski:

- Największe wartości potencjałów składowych i sumarycznych zarówno względem ziemi odniesienia, jak i ziemi bliskiej występują przy zwarciu w środku odcinka zbliżenia w miejscu rurociągu będącym rzutem punktu zwarcia (X=0).
- Przy zwarciach na początku i na końcu odcinka zbliżenia potencjały V_s są również największe w miejscach rzutów punktów zwarcia na rurociąg. Wartości V_s są jednak mniejsze w porównaniu z ich wartościami przy zwarciu w środku odcinka zbliżenia. Zmniejszenie to wynosi ~54% przy zwarciu na początku i ~10% przy zwarciu na końcu odcinka zbliżenia.
- Na wartości potencjałów galwanicznych i sumarycznych względem ziemi bliskiej V_{bg} i V_{bs} wyraźny wpływ ma rozmieszczenie konstrukcji wsporczych, a w konsekwencji punktów uziemienia. W miejscach rzutów punktów uziemienia następuje wyraźny wzrost wartości tych potencjałów. Wpływ ten powoduje "piłowy" rozkład wartości V_{bs} w odcinku zbliżenia przedstawiony na rysunkach 7, 8, 9.

5. WNIOSKI

a) Parametrem rurociągu mającym istotny wpływ na wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań jest rezystancja przejścia rurociągu względem ziemi. Szczególnie znaczny jest wpływ rezystancji przejścia rurociągu na wartości potencjałów względem ziemi bliskiej.

b) Zmiany parametrów rurociągu:
- głębokości ułożenia rurociągu w ziemi,
- średnicy rurociągu,
- przenikalności magnetycznej względnej

mają nieznaczny wpływ na wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań.

c) Zasadniczy wpływ na rozkład wartości potencjałów w rurociągu ma lokalizacja zwarcia. Największe wartości potencjałów sumarycznych występują przy zwarciu w środku odcinka zbliżenia.

d) Niezależnie od lokalizacji zwarcia maksymalne wartości potencjałów sumarycznych występują w miejscu rurociągu będącym rzutem punktu zwarcia.

LITERATURA

1. Krakowski M.: Obwody ziemnopowrotne. WNT, Warszawa 1979.
2. Haubrich H.: Das Magnetfeld im Nahbereich von Drehstrom Freileitungen. Elektrizitätswirtschaft, Heft 18/1979.

3. Lawera E., Markiewicz M.: Wpływ parametrów napowietrznych linii przesyłowych najwyższych napięć na ich oddziaływania na podziemne rurociągi stalowe przy zwarciach jednofazowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka Nr 124, 1991.
4. Lawera E., Branczewski M.: Influence of overhead power line-pipeline system parameters on the interference during single-phase-to-earth faults. Materiały Fifth International Symposium on short-circuit currents in power systems, Warszawa, wrzesień 8-9 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marian Cegielski

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 maja 1994 r.

Abstract

The inteferences of overhead HVAC transmission lines during ground faults in them on underground steel pipelines running parallel in the immediate vicinity result from the galvanic and magnetic coupling. Those interferences are described by the characteristic variables [1, 3, 4] defined in equations (1) to (6) as:

- pipeline current variables: galvanic component I_{rg}, inductive component I_{ri} and total pipeline current I_{rs},
- pipeline potentials with respect to the reference ground: galvanic component V_g, inductive component V_i and total pipeline potential V_s,
- pipeline potentials with respect to the proximate earth, i.e. layer of ground adjacent to the external surface of that pipeline: galvanic component V_{bg}, inductive component V_{bi} and total potential V_{bs}.

The potentials arising in the pipelines can have substantial values dangerous for the maintenance people and for the pipeline installations.

For the design process and the maintenance of transport ways (corridors) where HVAC transmission lines and pipelines have long parallel sections it is crucial to develop operative, adequately accurate analytical method to calculate the characteristic variables of interferences.

The indispensable stages on the way to get such a method are the analyses of influence: of the transmission line parameters [3], of the transmission line-pipeline system geometry parameters [4] and present analysis of the pipeline itself parameters on the characteristic variables of interference. The analytical results of how the pipeline parameters and phase-to-ground fault location effect those variables are presented in this paper. The results obtained allow to estimate:

- possibilities to take more simple mathematical models of interferences,
- required accuracy of parameters taken as input data for the calculation,

- conditions for the characteristic variables of interferences to have the maximum values.

The analytical results describing the importance of such pipeline parameters as:

- pipeline depth h_r,
- pipeline insulation resistance to earth R_p,
- pipeline outside diameter d_r,
- pipeline relative magnetic permeability μ_r

are described in Section 3 and presented in graphical form on Figs. 1 to 6.

The influence of ground fault location is discussed in Section 4 and results obtained are presented on Figs. 7 to 9.

From the research and analyses made it appears that:

a) The pipeline parameter having the substantial influence on the values of the characteristic variables of interference is the pipeline insulation resistance to earth R_p . Especially distinct is the influence of the pipeline insulation resistance R_p on the potential values in relation to the proximate earth.

b) The influence of such pipeline parameters as:
   - pipeline depth h_r,
   - pipeline outside diameter d_r,
   - pipeline relative magnetic permeability μ_r

   on the characteristic variables of interference is insignificant.

c) The location of the earth fault is significant factor for the longitudinal profile of pipeline potentials. The maximum possible values of the total potentials appear for the fault occured in the middle of the parallel section of the transmission line - pipeline system.

d) For every location of the earth fault the maximum values of the potential profile corresponds to the point of pipeline being the projection of the earth fault point.