

Edward LAWERA

Maciej MARKIEWICZ

WPLYW PARAMETRÓW NAWIETRZNYCH LINII PRZESYŁOWYCH NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ NA ICH ODDZIAŁYWANIA NA PODZIEMNE RUROCIĄGI STALOWE PRZY ZWARCIACH JEDNOFAZOWYCH

Streszczenie. Podczas zwarć jednofazowych z ziemią w napowietrznych liniach przesyłowych powstają w przebiegających w pobliżu podziemnych rurociągach stalowych prądy i potencjały stanowiące wielkości charakterystyczne oddziaływań. Czynniki wpływające na wielkości charakterystyczne oddziaływań można podzielić na: parametry konstrukcyjne i elektryczne linii, parametry rurociągu oraz parametry układu linia rurociąg. W artykule przedstawiono modele matematyczne oddziaływań i wyniki analizy wpływu parametrów konstrukcyjnych i elektrycznych linii na wielkości charakterystyczne oddziaływań.

Summary. Underground steel pipelines laid in close proximity to overhead HVAC power line are exposed to interference during single phase - to - earth faults. The characteristic variables of interference are pipeline currents and potentials. The factors influencing power line effects on pipelines are: electrical and structural parameters power line, parameters of pipelines and parameters of line - pipeline geometry.

Mathematical models of interference and results of the analysis of influence of transmission lines structural and electrical parameters on the characteristic variables are presented in the article.

Резюме. Во время однофазных коротких замыканий на землю в воздушных линиях электропередачи (ЛЭП), в находящихся вблизи подземных стальных трубопроводах возникают токи и потенциалы будучие характерными величинами воздействий (ХВВ). Можно отличить следующие группы факторов, влияющих на ХВВ: конструкционные и электрические параметры ЛЭП, параметры системы ЛЭП - трубопровод.

В статье приведены математические модели воздействий и результаты анализа влияний конструкционных и электрических параметров ЛЭП на ХВВ.

1. WSTĘP

Podziemne stalowe rurociągi przebiegające w pobliżu elektroenergetycznych napowietrznych linii przesyłowych są narażone na oddziaływania wynikające ze sprzężeń w układzie linia-rurociąg. W wyniku oddziaływań na rurociągach pojawiają się znaczne potencjały elektryczne, które mogą stanowić zagrożenie dla instalacji rurociągowych oraz obsługi. Potencjały o szczególnie dużych wartościach są wynikiem oddziaływań galwanicznych i indukcyjnych linii przesyłowych najwyższych napięć pracujących z uziemionym punktem zerowym, podczas często występujących zwarcí jednofazowych z ziemią.

Prace dotyczące oddziaływań były prowadzone przez licznych autorów [2,3,4] i doprowadziły do opracowania metod obliczania prądów i potencjałów w rurociągach. Stopień uproszczenia zjawisk w proponowanych metodach jest różny, stąd też wyniki obliczeń oddziaływań przeprowadzanych poszczególnymi metodami znacznie się różnią [2]. Postępujący rozwój techniki obliczeniowej preferuje stosowanie metod dokładnych zweryfikowanych pomiarowo [2,4]. Metody te wymagają obszernego zbioru danych wyjściowych związanych z parametrami linii, rurociągu i układu linia-rurociąg. Poszczególne parametry mają różny ilościowy wpływ na oddziaływania. Ustalenie tego wpływu stworzy możliwość:

- określenia pożądanej dokładności ustalania poszczególnych parametrów jako danych wyjściowych do obliczeń,
- wstępnego określenia przedsięwzięć prowadzących do zmniejszenia oddziaływań.

W artykule zostały przedstawione wyniki badań wpływu ilościowego na wielkości charakterystyczne oddziaływań parametrów konstrukcyjnych i elektrycznych linii przesyłowych o napięciach znamionowych z przedziału 110-400 kV.

2. MODELOWANIE ODDZIAŁYWAŃ LINII JEDNOPRZEWODOWEJ DWUPRZESŁOWEJ

Oddziaływania linii elektroenergetycznej na przebiegający w pobliżu podziemny rurociąg w stanie zakłócenia zwarciego z udziałem ziemi można podzielić na galwaniczne i indukcyjne [1,2,3]. Oddziaływania galwaniczne pochodzą od prądu wypływającego z uziomów linii do ziemi. Oddziaływania indukcyjne pochodzą od prądów płynących w przewodach roboczych i odgromowych

linii. W układzie linia-rurociąg oddziaływania sumaryczne mogą być wyznaczone na zasadzie superpozycji oddziaływań składowych (przy założeniu liniowości).

Wielkościami charakterystycznymi oddziaływań są:

- prąd galwaniczny w rurociągu I_{RG} ,
- prąd indukcyjny rurociągu I_{RI} ,
- prąd sumaryczny w rurociągu I_{RS} ,
- potencjał galwaniczny rurociągu V_G ,
- potencjał indukcyjny rurociągu V_I ,
- potencjał sumaryczny rurociągu V_S ,
- potencjał galwaniczny rurociągu względem ziemi bliskiej V_{GB} ,
- potencjał indukcyjny rurociągu względem ziemi bliskiej V_{IB} ,
- potencjał sumaryczny rurociągu względem ziemi bliskiej V_{SB} .

Jako ziemię bliską przyjmuje się jej warstwę przylegającą do rurociągu. Pole elektryczne na powierzchni rurociągu jest sumą pola pierwotnego pochodzącego od oddziaływań linii i wtórnego pochodzącego od prądu w rurociągu [1,2]. Natężenie pola elektrycznego E i potencjał V pola będą więc określone relacjami:

$$E = E^{\circ} + E' \quad (1)$$

$$V_S = V_S^{\circ} + V'_S \quad (2)$$

gdzie:

E° , V_S° - natężenie i potencjał pierwotny,

E' , V'_S - natężenie i potencjał wtórny.

Przy uwzględnieniu wzajemnego usytuowania linii napowietrznej i rurociągu przedstawionego na rys. 1 oraz przyjęciu schematu zastępczego elementarnego odcinka rurociągu znajdującego się w polu elektromagnetycznym [1,2] podanego na rys. 2 można napisać równania wyjściowe modelujące oddziaływania:

$$\frac{dV'_S}{dx} + Z I_{RS}(x) = E^{\circ}(x) \quad (3)$$

$$\frac{dI_{RS}(x)}{dx} = -Y V'_S(x) \quad (4)$$

$$\frac{d^2 I_{RS}(x)}{dx^2} - \alpha^2 I_{RS}(x) = -YE^{\circ}(x) \quad (5)$$

gdzie:

$V'_S(x)$ - potencjał wtórny rurociągu,

$E^0(x)$ - natężenie pierwotnego pola elektrycznego,

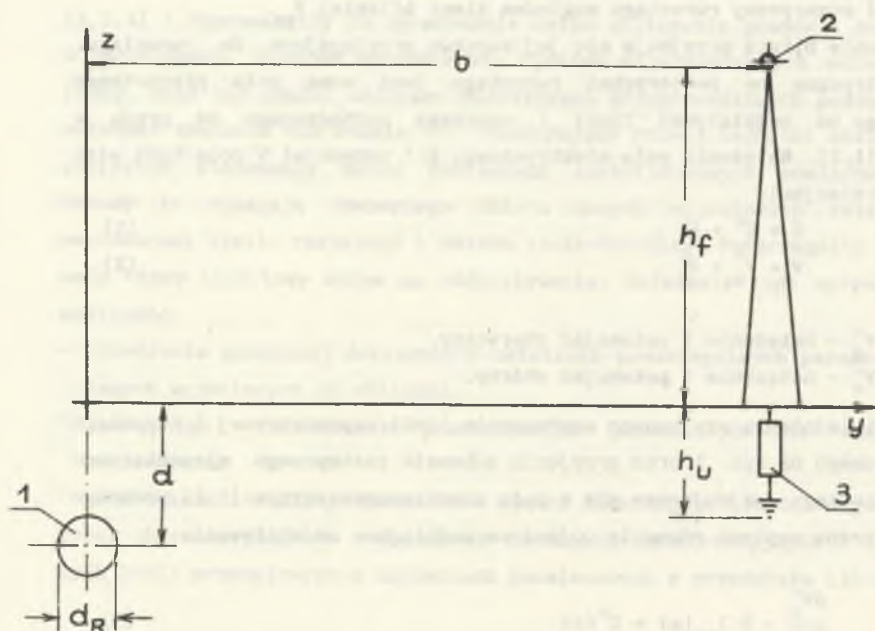
$I_{RS}(x)$ - prąd płynący w rurociągu,

Z - impedancja własna rurociągu,

Y - admitancja przejścia rurociąg-ziemia,

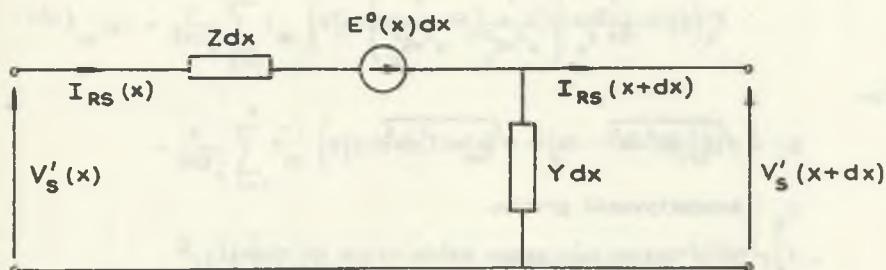
x - oś kierunkowa rurociągu o początku w miejscu rzutu punktu zwarcia,

$\alpha = \sqrt{ZY}$ - stała przenoszenia rurociągu.



Rys. 1. Wzajemne usytuowanie linii napowietrznej i podziemnego rurociągu w płaszczyźnie zy prostopadłej do kierunku linii i rurociągu,
1 - rurociąg, 2 - przewód linii napowietrznej,
3 - uziom konstrukcji wsporczej linii

Fig. 1. Overhead power line and underground pipeline geometry,
1 - pipeline, 2 - power line conductor, 3 - tower ground



Rys.2. Schemat zastępczy elementarnego odcinka rurociągu podlegającego oddziaływaniu linii elektroenergetycznej

Fig.2. Equivalent circuit of pipeline elemental section affected by power line interference

Przy oddziaływaniu indukcyjnym natężenie pierwotnego pola elektrycznego $E^o(x)$ można określić relacją [1]:

$$E^o(x) = \frac{Z_{12} Z_o \alpha}{2Z} I_z(x) \quad (6)$$

gdzie:

Z_{12} - impedancja wzajemna linii i rurociągu,

$Z_o = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ - impedancja charakterystyczna rurociągu,

$I_z(x)$ - prąd płynący w przewodzie napowietrznym.

Przy założeniu $I_z(x) = I_z = \text{const}$ i $E^o(x) = E^o = \text{const}$ otrzymuje się rozwiązanie równania (5):

$$I_{RI}(x) = -\text{sign} \frac{Z_{12} I_z}{2Z} (1 - e^{-\alpha|x|}) \quad (7)$$

Potencjał rurociągu określa zależność:

$$V_z(x) = -\frac{Z_{12} Z_o I_z}{2Z} e^{-\alpha(x)} \quad (8)$$

Dla oddziaływania galwanicznego natężenie pierwotnego pola elektrycznego określone jest relacją [1]:

$$E^o(x) = -\frac{dV_G^o(x)}{dx} \quad (9)$$

Potencjał pierwotny galwaniczny wzdłuż rurociągu określony jest równaniem [1]:

$$V_G^0(x) = \frac{I_u}{4\pi \gamma_z} \left[\frac{1}{x^2 + S_z^2} + \frac{1}{x^2 + S_p^2} \right] \quad (10)$$

gdzie:

$$S_z = \sqrt{(h_u - d)^2 + b^2} \quad S_p = \sqrt{(h_u + d)^2 + b^2}$$

γ_z - konduktywność gruntu,

I_u - prąd spływający przez uziom słupa do ziemi,

b - odległość uziom-rurociąg,

h_u - głębokość zakopania uziomu,

d - głębokość ułożenia rurociągu.

Dla wyznaczenia prądu i potencjału rurociągu należy rozwiązać równania (3) i (4) dla oddziaływań galwanicznych, a więc wykorzystując zależności (9) i (10). Rozwiązania te mają postacie ogólne:

$$I_{RG}(x) = \frac{Y}{2} \left[e^{-\alpha x} \int_{-\infty}^x V_G^0(\theta) e^{\alpha\theta} d\theta - e^{\alpha x} \int_x^{\infty} V_G^c(\theta) e^{-\alpha\theta} d\theta \right] \quad (11)$$

$$V_G(x) = \frac{\alpha}{2} \left[e^{-\alpha x} \int_{-\infty}^x V_G^0(\theta) e^{\alpha\theta} d\theta - e^{\alpha x} \int_x^{\infty} V_G^c(\theta) e^{-\alpha\theta} d\theta \right] \quad (12)$$

gdzie θ - rozpatrywany obszar zamknięty w polu elektromagnetycznym.

Potencjał rurociągu względem ziemi bliskiej może być wyznaczony z relacji:

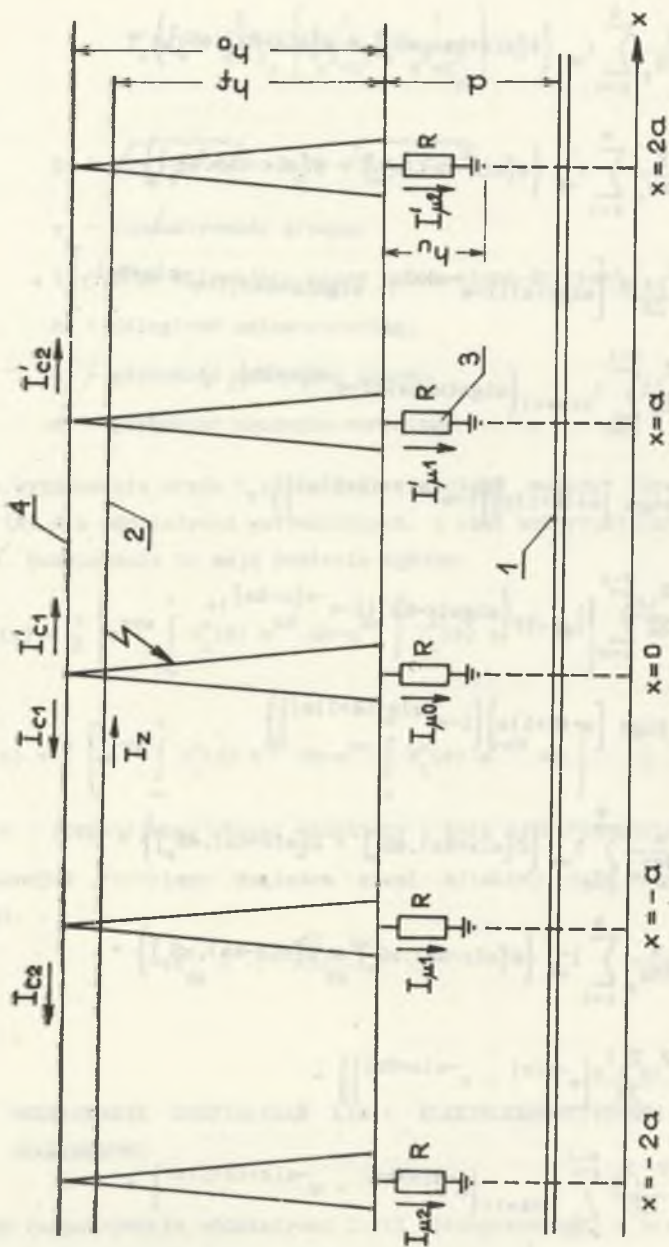
$$V_{SB} = -Y^{-1} \frac{dI_{RS}(x)}{dx} \quad (13)$$

3. MODELOWANIE ODDZIAŁYWAŃ LINII ELEKTROENERGETYCZNEJ Z PRZEWODAMI ODGROMOWYMI

Przy rozpatrywaniu oddziaływań linii wieloprzewodowej z przewodami odgromowymi obowiązuje schemat przedstawiony na rys. 3. Przyjmując oznaczenia prądów podane na schemacie można wyprowadzić podobnie jak dla linii jednoprzewodowej dwuprzewodowej zależności na prądy i potencjały rurociągu:

$$\begin{aligned}
 I_{RS}(x) = & \frac{Y}{4\pi\gamma_z} \sum_{k=0}^N I_{uk} \left\{ \Psi[\alpha(x+ka), \alpha S_z] + \psi[\alpha(x+ka), \alpha S_p] \right\} + \\
 & + \frac{Y}{4\pi\gamma_z} \sum_{k=1}^M I'_{uk} \left\{ \Psi[\alpha(x-ka), \alpha S_z] + \psi[\alpha(x-ka), \alpha S_p] \right\} + \\
 & - \frac{Z_{12} I_z}{2Z} \left[\text{sign}(x)(1-e^{-\alpha|x|}) - \text{sign}(x+Na)(1-e^{-\alpha|x+Na|}) \right] + \\
 & + \frac{Z_{1c}}{2Z} \sum_{k=0}^{N-1} I_{c(k+1)} \left\{ \text{sign}(x+ka)(1-e^{-\alpha|x+ka|}) + \right. \\
 & \left. - \text{sign}[x+(k+1)a] \left(1 - e^{-\alpha|x+(k+1)a|} \right) \right\} + \\
 & - \frac{Z_{1c}}{2Z} \sum_{k=0}^{N-1} I'_{c(k+1)} \left\{ \text{sign}(x-ka)(1-e^{-\alpha|x-ka|}) + \right. \\
 & \left. - \text{sign}[x-(k+1)a] \left(1 - e^{-\alpha|x-(k+1)a|} \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 V_S(x) = & \frac{\alpha}{4\pi\gamma_z} \sum_{k=0}^N I_{uk} \left\{ \Omega[\alpha(x+ka), \alpha S_z] + \Omega[\alpha(x+ka), \alpha S_p] \right\} + \\
 & + \frac{\alpha}{4\pi\gamma_z} \sum_{k=1}^M I'_{uk} \left\{ \Omega[\alpha(x-ka), \alpha S_z] + \Omega[\alpha(x-ka), \alpha S_p] \right\} + \\
 & + \frac{Z_{12} Z_0 I_z}{2Z} \left(e^{-\alpha|x|} - e^{-\alpha|x+Na|} \right) + \\
 & - \frac{Z_{1c} Z_0}{2Z} \sum_{k=0}^{N-1} I_{c(k+1)} \left(e^{-\alpha|x+ka|} - e^{-\alpha|x+(k+1)a|} \right) + \\
 & + \frac{Z_{1c} Z_0}{2Z} \sum_{k=0}^{N-1} I'_{c(k+1)} \left(e^{-\alpha|x-ka|} - e^{-\alpha|x-(k+1)a|} \right)
 \end{aligned} \tag{15}$$



Rys. 3. Schemat ideowy linii elektroenergetycznej wieloprzęsłowej z przewodami odgromowymi, oddziaływającej na rurociąg w stanie zwarcia jednofazowego z ziemią

Fig. 3. Schematic diagram of multi-span power line having lightning shield wires and affecting the pipeline during single line-to-ground faults

Potencjał rurociągu względem ziemi bliskiej wyznaczyć można z relacji (13) i (14):

$$\begin{aligned}
 V_{SB}(x) = & \frac{\alpha}{4\pi\gamma_z} \sum_{k=0}^N I_{uk} \left\{ \Omega[\alpha(x+ka), \alpha S_z] + \Omega[\alpha(x+ka), \alpha S_p] + \right. \\
 & \left. - \frac{1}{\sqrt{[\alpha(x+ka)]^2 + (\alpha S_z)^2}} - \frac{1}{\sqrt{[\alpha(x+ka)]^2 + (\alpha S_p)^2}} \right\} + \\
 & + \frac{\alpha}{4\pi\gamma_z} \sum_{k=1}^N I'_{uk} \left\{ \Omega[\alpha(x-ka), \alpha S_z] + \Omega[\alpha(x-ka), \alpha S_p] + \right. \\
 & \left. - \frac{1}{\sqrt{[\alpha(x-ka)]^2 + (\alpha S_z)^2}} - \frac{1}{\sqrt{[\alpha(x-ka)]^2 + (\alpha S_p)^2}} \right\} + \\
 & + \frac{Z_{12} \alpha I}{2ZY} \left(e^{-\alpha|x|} - e^{-\alpha|x+Na|} \right) \Bigg] + \\
 & - \frac{Z_{1c} \alpha}{2ZY} \sum_{k=0}^{N-1} I_{c(k+1)} \left\{ e^{-\alpha|x+ka|} - e^{-\alpha|x+(k+1)a|} \right\} + \\
 & + \frac{Z_{1c} \alpha}{2ZY} \sum_{k=0}^{N-1} I'_{c(k+1)} \left\{ e^{-\alpha|x-ka|} - e^{-\alpha|x-(k+1)a|} \right\}. \quad (16)
 \end{aligned}$$

W relacjach (14), (15) i (16) oznaczono:

Z_{1c} - impedancja wzajemna przewodów odgromowy-rurociąg,

ψ, Ω - funkcje pomocnicze [1] służące do wyznaczania wartości całki funkcji zmiennej zespolonej z równań (11), (12),

I_{ck}, I'_{ck} - prądy w przewodzie odgromowym w kolejnych przesłach linii z lewej i prawej strony punktu zwarcia,

I_{uo} - prąd spływający do ziemi uziomem słupa, na którym nastąpiło zwarcie,

I_{uk}, I'_{uk} - prądy spływające do ziemi uziomami kolejnych słupów z lewej i prawej strony punktu zwarcia.

Zależności (14), (15), (16) wyprowadzono przy założeniach:

- długości wszystkich prześel linii wynoszą a ,
- rezystancje wszystkich uziomów linii wynoszą R ,
- początek układu ($x=0$) przyjmowany jest w miejscu rzutu punktu zwarcia na rurociągu,
- linia jest zasilana jednostronnie od strony lewej,
- odcinek linii równoległy do rurociągu zawiera N prześel w lewą i M prześel w prawą stronę,
- k oznacza kolejne słupy i prześela licząc od punktu $x=0$.

Zależności (14), (15), (16) przy niespełnieniu dwu pierwszych założeń posiadają bardziej złożoną strukturę.

4. ANALIZA WPLYWU PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH I ELEKTRYCZNYCH LINII NA WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNE ODDZIAŁYWAŃ

Czynniki wpływające na wielkości charakterystyczne oddziaływań linii przesyłowych na podziemne rurociągi można podzielić na: parametry linii, parametry rurociągu i parametry układu linia-rurociąg. Uwzględnione w analizie parametry linii obejmowały zbiór:

$$\begin{array}{ccccc} R & & G_o & K_o & S_o \\ a & c & g & h_f & h_o \end{array} \quad (17)$$

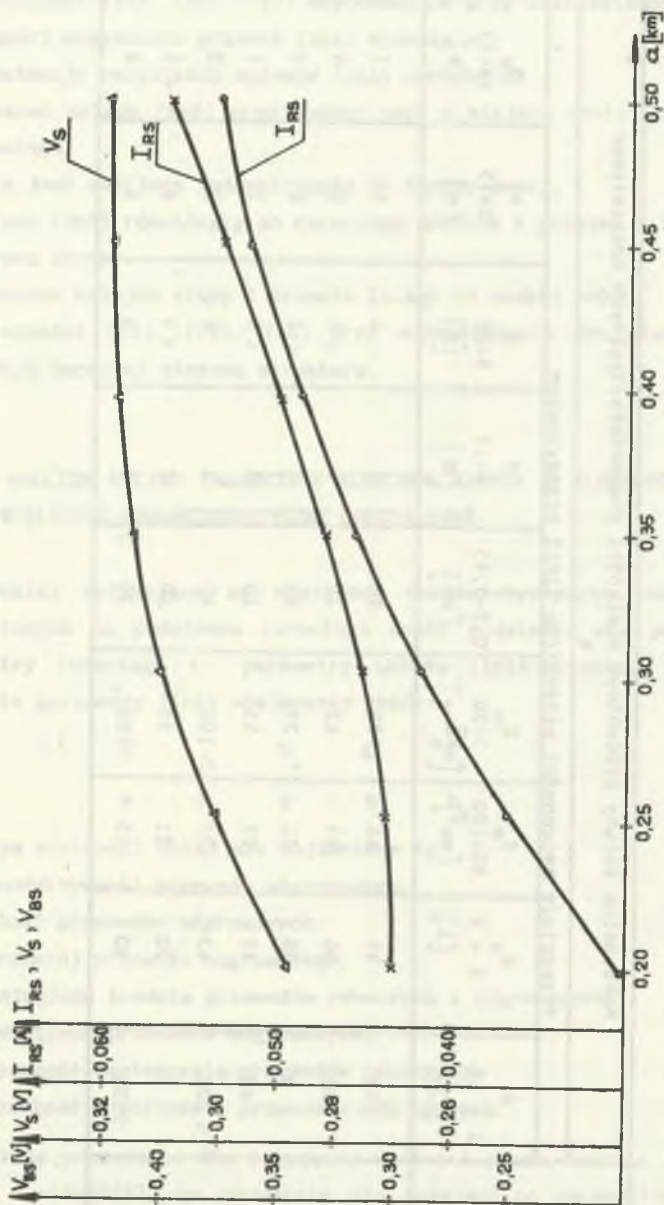
w którym wielkości dotąd nie objaśnione to:

- G_o - konduktywność przewodu odgromowego,
- K_o - ilość przewodów odgromowych,
- S_o - przekrój przewodu odgromowego,
- c - odległość średnia przewodów roboczych i odgromowych,
- g - odległość przewodów odgromowych,
- h_f - wysokość zawieszenia przewodów roboczych,
- h_o - wysokość zawieszenia przewodów odgromowych.

Analizę prowadzono dla przyjętej wartości prądu zwarcia jednofazowego z ziemią $I_z = (1+j0)[A]$, co pozwalało nie uwzględniać parametrów związanych z przewodami roboczymi linii oraz jej napięcia znamionowego, które wpływają przede wszystkim na I_z . Obliczenia przeprowadzono dla typowych konstrukcji linii przesyłowych w przedziale napięć znamionowych od 110 kV do 400 kV, dla których określono zakresy zmienności parametrów konstrukcyjnych: c, g, h, h_o .

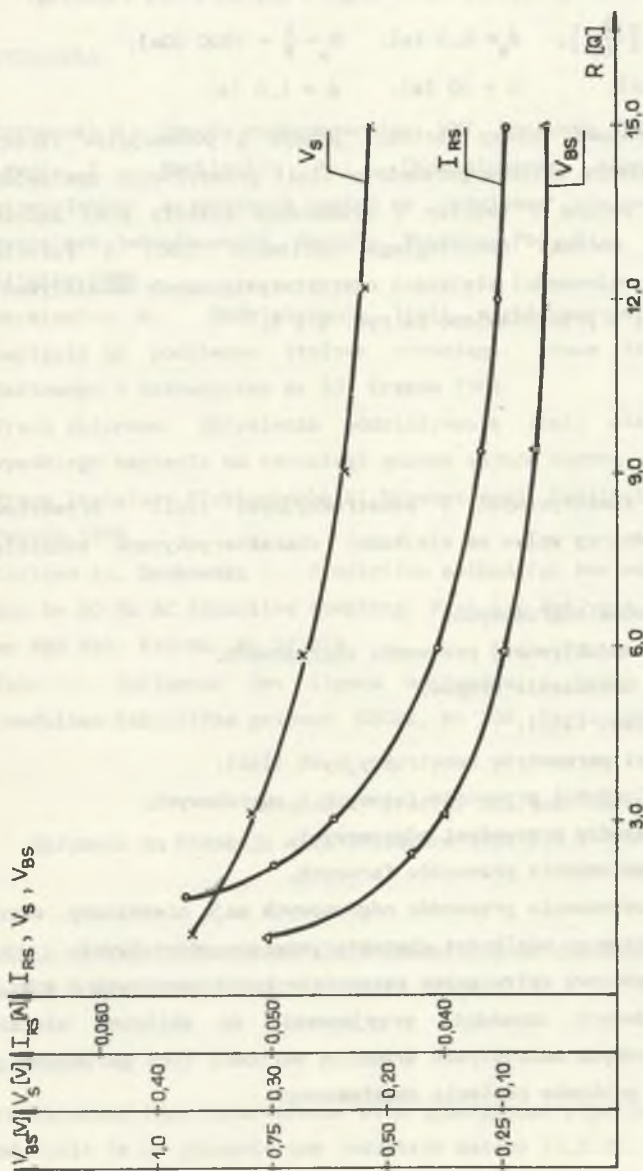
Tablica 1
Zmiany wielkości charakterystycznych oddziaływań przy zmianach parametrów linii przesyłowych

Wielkości charak- terystyczne oddziaływań	Maksymalne zmiany procentowe wielkości charakterystycznych oddziaływań									
	Przedział zmienności parametrów linii przesyłowych									
	R 1 - 15 [Ω]	K ₀ 1 - 2 [1]	S ₀ 50-120 [mm ²]	G ₀ 7-30 [$\frac{\mu S}{m}$]	a 0,2-0,45 [km]	c 4-15 [m]	θ 8-18 [m]	h _f 10-45 [m]	h ₀ 18-53 [m]	
I _{RS}	70	55	48	78	80	3	6	4	3	
V _G	90	50	27	63	15	2	< 1	0	0	
V _I	0	30	21	35	60	5	< 1	6	3	
V _S	60	42	25	53	10	3	< 1	3	< 1	
V _{BG}	> 100	63	39	> 100	40	2	2	0	0	
V _{BI}	0	30	21	35	60	2	< 1	6	< 1	
V _{BS}	> 100	80	45	100	30	5	4	4	0	



Rys. 4. Przebiegi zależności wielkości charakterystycznych oddziaływań linii 220 kV na podziemny rurociąg od długości przęsa linii przesyłowej a

Fig. 4. Relationship between interference magnitudes and span length - a for 220 kV power line



Rys. 5. Przebiegi zależności wielkości charakterystycznych oddziaływań linii 220 kV na podziemny rurociąg od wartości rezystancji uzziemienia konstrukcji wsporczych - R

Fig. 5. Relationship between interference magnitudes and tower ground resistance - R - for 220 kV power line

Przy analizie wpływu parametrów linii na oddziaływania przyjęto podane niżej wartości w zbiorze parametrów rurociągu i układu linii rurociąg:

$$Z = (0,13 + j0,6) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right], \quad d_R = 0,3 \text{ [m]}, \quad R_p = \frac{1}{Y} = 1000 \text{ [\Omega m]},$$

$$L = M + N = 3,6 \text{ [km]}, \quad b = 30 \text{ [m]}, \quad d = 1,0 \text{ [m]}.$$

Wyznaczone procentowe zmiany wartości prądów i potencjałów rurociągu odpowiadające określonym zmianom parametrów linii przesyłowych zestawiono w tablicy 1. Zmiany podane w tablicy 1 wyznaczone zostały przy założeniu zwarcia w środku odcinka równoległego zbliżenia linii i rurociągu. Przykładowe wykresy zależności wielkości charakterystycznych oddziaływań dla linii 220 kV od a i R przedstawiono na rys. 4 i 5.

5. WNIOSKI

- a) Parametrami elektrycznymi i konstrukcyjnymi linii przesyłowych mającymi zasadniczy wpływ na wielkości charakterystyczne oddziaływań są:
 - ilość przewodów odgromowych,
 - przekrój i konduktywność przewodów odgromowych,
 - rezystancja uzziemienia słupów,
 - długość przęseł linii.
- b) Zmiany wartości parametrów konstrukcyjnych linii:
 - średniej odległości przewodów fazowych i odgromowych,
 - odległości między przewodami odgromowymi,
 - wysokości zawieszenia przewodów fazowych,
 - wysokości zawieszenia przewodów odgromowych mają nieznaczny, wręcz pomijalny wpływ na wielkości charakterystyczne oddziaływań.
- c) Nieznaczny ilościowy wpływ zmian parametrów konstrukcyjnych c, g, h_f, h_o linii przesyłowych uzasadnia przyjmowanie do obliczeń wielkości charakterystycznych oddziaływań średnich wartości tych parametrów dla linii o danym poziomie napięcia znamionowego.

LITERATURA

- [1] Krakowski M.: Obwody ziemnopowrotne. WNT, Warszawa 1979
- [2] Lawera E., Markiewicz M.: Oddziaływanie napowietrznych linii przesyłowych najwyższych napięć na podziemne stalowe rurociągi przy zwarciach jednofazowych. Zeszyty Naukowe Pol Śl., Elektryka, z 99. Gliwice 1988.
- [3] Markiewicz M.: Oddziaływanie linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na podziemne stalowe rurociągi. Prace Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa nr 53. Kraków 1984.
- [4] Praca zbiorowa: Określenie oddziaływania linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na rurociągi gazowe mające czynną ochronę katodową. Praca Instytutu Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Poznań 1978.
- [5] Taflove A., Dąbkowski J.: Prediction method for buried pipeline voltages due to 60 Hz AC inductive coupling. Part I - Analysis. IEEE Transactions on PAS Vol. PAS-98, Nr 3/1979.
- [6] Pohl J.: Influence des lignes aeriennes a haute tension sur les conduites tubulaires galmees. CIGRE, nr 336, Paris 1966

Recenzent: prof.dr hab.inż. Marian Cegielski

Wpłynęło do Redakcji dnia 1 czerwca 1991 r.

INFLUENCE OF EHV TRANSMISSION LINES PARAMETERS ON UNDERGROUND STEEL PIPELINES DURING SINGLE PHASE-TO EARTH FAULTS

Abstract

Transmission line interference with underground pipeline during phase-to-ground fault is of galvanic and inductive nature [1,2,3]. Galvanic effects are caused by the current flowing through the earth, after leaving power line tower ground. Inductive effects come from the current flowing down the phase and lightning shield wires.

The works by numerous authors [2,3,4] resulted in desulted in developing analytic methods for the calculation of pipeline currents and potentials. The results of calculation are very much different, due to the different simplification rates employed [2]. Rigorous analytic methods, which can be verified through field measurements, would be preferred (2,4). These methods would call for the extensive set of input data like power line and pipeline parameters and geometry of power line-pipeline lay-out. The question is to recognize the effect of every single parameter on the interference problems. With this done, one can:

- stipulate the accuracy of determining the values of parameters to be taken as input data for the calculation,
- preliminarily determine the measures of mitigation of interference.

Characteristic variables of interference are:

- pipeline galvanic current I_{RG} ,
- pipeline inductive current I_{RI} ,
- pipeline total current I_{RS} ,
- pipeline galvanic potential V_G ,
- pipeline inductive potential V_I ,
- pipeline total potential V_S ,
- pipeline galvanic potential against proximate earth V_{GB} ,
- pipeline inductive potential against proximate earth V_{IB} ,
- pipeline total potential against proximate earth V_{SB} .

Proximate earth is that layer of ground, which directly surrounds pipeline.

In the paper there are presented:

- a model of the effects of single conductor two-span power line,
- a model of the effects of power line with lighting shield wires,
- the results of analysis of influence of 110-400 kV transmission lines structural and electrical parameters on the effects.

The following set of power line parameters has been considered:

R	G_o	K_o	S_o
a	c	g	h_o
		h_f	

R - resistance of tower grounds,

a - span length,

G_o - lightning shield wire conductivity,

K_o - number of lightning shield wires,

- S_o - lightning shield wire cross-section,
 c - average distance between line conductors and lightning shield wires,
 g - distance between lightning shield wires,
 h_f - distance between ground level and lightning shield wires,
 h_o - distance between ground level and line conductors.

Since the analysis has been done for a given fault current $I_z = (1+j0)[A]$, the parameters of line conductors as well as line rated voltage, which exceptionally affect the fault current I_z , are not considered. The calculation is done for a typical design of transmission line of voltage range from 110 to 400 kV. The range of variation of power line structural parameters: c, g, h_f, h_o is determined.

For the parameters of pipeline and power line - pipeline geometry the following values have been taken:

$$Z = (0,13 + j0,6) [\Omega/\text{km}], \quad d_R = 0,3 [\text{m}], \quad R_p = \frac{1}{\gamma} = 1000 [\Omega\text{m}],$$

$$L = 3,6 [\text{km}], \quad b = 30 [\text{m}], \quad d = 1,0 [\text{m}], \quad \gamma_z = 10^{-3} [\text{s/m}].$$

- Z - pipeline impedance,
 d_R - pipeline diameter,
 R_p - pipeline impedance to earth,
 L - section of power line parallel to pipeline,
 b - distance between tower and pipeline,
 d - distance down to pipeline
 γ_z - soil conductivity.

Respective percentage changes of pipeline currents and potentials, following the changes of pipeline parameters are given in Table 1. As they have been determined assuming the fault is in the centre of the power line and pipeline parallel section, they are maximum ones for a given parallel section. They are also maximum ones for power lines geometries considered.