

EDWARD LAWERA

Instytut Elektroenergetyki i Sterowania
Układów Politechniki Śląskiej

MACIEJ MARKIEWICZ

Instytut Górnictwa Naftowego
i Gazownictwa w KrakowieODDZIAŁYWANIE NAWIETRZNYCH LINII PRZESYŁCZYCH NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ
NA PODZIEMNE STALOWE RUROCIĄGI PRZY ZWARCIACH JEDNOFAZOWYCH

Streszczenie. Podziemne stalowe rurociągi przebiegające w zbliżeniu z elektroenergetycznymi liniami przesyłowymi są narażone na oddziaływania wynikające ze sprzężeń w układzie linia-rurociąg. W wyniku oddziaływań na rurociągach pojawiają się potencjały elektryczne, które mogą stanowić zagrożenie dla instalacji rurociągowych oraz ich obsługi. Potencjały o największych wartościach są wynikiem oddziaływań galwanicznych i indukcyjnych linii najwyższych napięć, pracujących z uziemionym punktem zerowym, podczas zwarcia z udziałem ziemi.

W artykule omówiono oddziaływania galwaniczne i indukcyjne linii przesyłowych przy zwarciach jednofazowych z ziemią. Przedstawiono dokładne i uproszczone modele matematyczne obydwóch rodzajów oddziaływań. Podano i skomentowano wyniki obliczeń potencjałów rurociągu przebiegającego w zbliżeniu z linią 400 kV, otrzymane przy użyciu metod obliczeniowych opartych na przedstawionych modelach.

1. Wstęp

Rozbudowa systemu elektroenergetycznego i rozwój transportu rurociągowego z jednej strony oraz konieczność oszczędnej gospodarki terenami z drugiej strony powodują, że coraz częściej występują bliskie, równoległe przebiegi oraz skrzyżowania linii elektroenergetycznych i podziemnych rurociągów. W wielu krajach wyznacza się specjalne korytarze, o długości sięgającej niejednokrotnie kilkudziesięciu kilometrów, w których grupuje się linie przesyłowe oraz rurociągi paliwowe i wodne. W miejscach zbliżeń i skrzyżowań, nawiętrzne linie elektroenergetyczne oddziałują na podziemne stalowe rurociągi, czego efektem jest pojawienie się na rurociągach potencjałów oraz przepływ w nich prądu elektrycznego. Potencjały elektryczne powstające na rurociągach mogą stanowić zagrożenie dla obsługi oraz urządzeń i instalacji.

Oddziaływania są skutkiem sprzężeń pojemnościowych, magnetycznych i galwanicznych występujących w układzie linia - rurociąg zarówno w stanie normalnej pracy jak i w stanach zakłóceń liniowych.

Oddziaływania wynikające ze sprzężeń pojemnościowych bez względu na stan pracy linii, nie są znaczące dla podziemnych rurociągów, których susceptancja pojemnościowa jest pomijalna w porównaniu z konduktancją względem ziemi. Oddziaływania indukcyjne i galwaniczne mają charakter prądowy, ich efekty są więc najbardziej znaczące podczas jednofazowych zwarć z ziemią w liniach pracujących z uziemionym punktem zerowym, czyli w warunkach krajowych w liniach 110, 220 i 400 kV. Galwanicznie oddziałuje prąd zwarcio-owy płynący w ziemi w miejscu ułożenia rurociągu, indukcyjnie natomiast prąd zwarcio-owy w przewodzie fazowym oraz prądy w przewodach odgromowych linii przebiegającej równolegle do rurociągu.

Zagadnienia oddziaływania linii elektroenergetycznych na podziemne rurociągi stają się coraz bardziej aktualne z uwagi na: ciągłe podnoszenie napięć znamionowych linii przesyłowych, wzrost wartości prądów zwarcio-owych, wyposażenie rurociągów w antykorozyjne pokrycia ochronne, wprowadzenie specjalnych urządzeń i instalacji ochronnych. Na zagadnienia te zwrócono uwagę stosunkowo niedawno. Pierwsze prace pomiarowe i obliczeniowe dotyczące oddziaływania linii przesyłowych na rurociągi zostały podjęte w Europie w latach 1955-60 (RFN, Francja), a w Polsce w pierwszej połowie lat siedemdziesiątych. Od roku 1977 prace dotyczące oddziaływania linii przesyłowych na gazociągi są prowadzone w Instytucie Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, a częściowa prezentacja tych prac jest celem niniejszej publikacji. Istotne dla podejmowanych badań teoretycznych i pomiarowych dotyczących rurociągów są osiągnięcia w znacznie wcześniej rozpoczętych i prowadzonych pracach związanych z oddziaływaniami elektroenergetycznych linii przesyłowych na obwody telekomunikacyjne.

2. Prąd i potencjał rurociągu w warunkach oddziaływania linii elektroenergetycznej podczas zwarcia jednofazowego

Podziemne rurociągi służące najczęściej do transportu gazu lub wody buduje się w warunkach krajowych wyłącznie z rur stalowych o średnicach od 200 do 1200 mm i grubości ścianek od kilku do kilkunastu milimetrów. Rurociągi posiadają antykorozyjne pokrycia ochronne wykonane najczęściej z mas bitumicznych, aczkolwiek w wielu rozwiniętych krajach na coraz większą skalę stosowane są powłoki z tworzyw sztucznych. Głębokość ułożenia rurociągów wynosi 1,0 - 1,5 m.

Jako przewod elektryczny rurociąg charakteryzuje się impedancją własną Z oraz admitancją upływnościową Y , zwaną często admitancją przejścia rurociąg-ziemia. Z uwagi na małą wartość pojemności względem ziemi przyjmuje się, że admitancja upływnościowa rurociągu jest równa konduktancji G - dla rurociągów z powłokami bitumicznymi $\omega C < 10^{-2} G$. Konduktancja upływnościowa rurociągów waha się w szerokich granicach, dla rurociągów z powłokami bitumicznymi można przyjąć przedział wartości od 10^{-4} S/km do $5 \cdot 10^{-3}$ S/km.

Podziemny rurociąg przebiegający w zbliżeniu z napowietrzną linią przesyłową można traktować jako przewód stykający się z ziemią na całej długości i znajdujący się w polu elektromagnetycznym.

Pole elektromagnetyczne w ziemi towarzyszące stanowi zwarcia jednofazowego linii przesyłowej wysokiego napięcia można scharakteryzować [1] za pomocą dwóch funkcji: skalarnej V - zwanej potencjałem skalarnym i wektorowej \vec{A} - zwanej potencjałem wektorowym. Zależność między potencjałami V i \vec{A} a natężeniem pola elektrycznego posiada postać:

$$\vec{E} = j\omega\vec{A} - \text{grad } V, \quad (1)$$

przy czym:

$$- j\omega\vec{A} = \vec{E}_1 \quad (2)$$

$$- \text{grad } V = \vec{E}_g, \quad (3)$$

gdzie:

\vec{E}_1 - składowa indukowana natężenia pola elektrycznego,

\vec{E}_g - składowa potencjalna (galwaniczna) natężenia pola elektrycznego.

Jeżeli rurociąg przebiega równoległe do przewodów linii przesyłowej prostoliniowo w kierunku Ox , to jest on zasilany galwanicznie i indukcyjnie prądem zwarciovym linii. Zasilanie galwaniczne następuje przez prądy wpływające z uziomów konstrukcji wsporczych linii. Zasilanie indukcyjne następuje przez prądy płynące w przewodach roboczych i odgromowych linii. W wyniku obydwu rodzajów zasilania w rurociągu płynie prąd elektryczny. Na pole pierwotne w ziemi pochodzące od linii przesyłowej dotkniętej zwarcie, nakłada się pole wtórne pochodzące od prądu płynącego w rurociągu. W miejscu zetknięcia się ziemi z powierzchnią rurociągu natężenie pola pierwotnego posiada w osi Ox składową $E^0(x)$. Natomiast natężenie pola wtórnego posiada w osi Ox składową $E'(x)$. Składowa wypadkowa natężenia pola w rozpatrywanym miejscu ziemi w osi Ox jest określona relacją:

$$E(x) = E^0(x) + E'(x) \quad (4)$$

W przypadku istnienia powłoki ochronnej na rurociągu natężenie pola na powierzchni części metalowej $E_R(x)$ i natężenie pola w ziemi stykającej się z powłoką ochronną $E_Z(x)$ mogą mieć różne wartości:

$$E_R(x) = - \frac{dV_R(x)}{dx} - j\omega A_{rx}(x) \quad (5)$$

$$E_Z(x) = - \frac{dV_Z(x)}{dx} - j\omega A_{Zx}(x) \quad (6)$$

Z równań (5) i (6) wynika:

$$E_r(x) - E_Z(x) = - \frac{d}{dx} [V_r(x) - V_Z(x)] \quad (7)$$

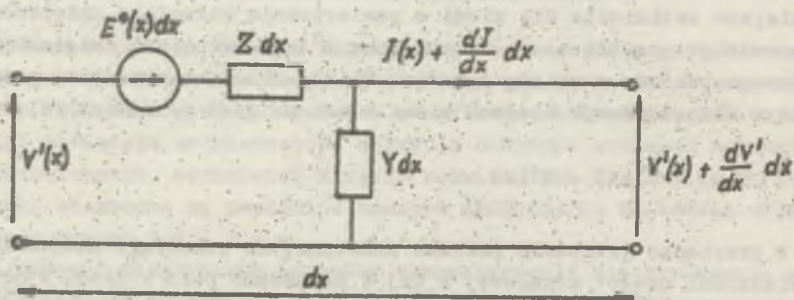
bowiem $A_{rx}(x) = A_{Zx}(x)$.

Wielkość $[V_r(x) - V_Z(x)]$ jest równa napięciu panującemu na powłoce ochronnej i nazywana jest potencjałem rurociągu względem ziemi bliskiej w odróżnieniu od potencjału względem ziemi odniesienia (odległej).

Schemat zastępczy rurociągu znajdującego się w pierwotnym polu elektromagnetycznym pozwalający uzyskać zgodność z ogólnymi rozwiązaniami dotyczącymi przepływu prądów w przewodach podziemnych odpowiada schematowi linii długiej [1,2]. W schemacie tym występują rozłożone parametry rurociągu: impedancja własna Z i admitancja upływnościowa Y i rozłożone napięcia zasilające, odpowiadające składowej natężenia pola $E^0(x)$. Schemat elementarnego odcinka rurociągu, podany na rys. 1, opisują równania różniczkowe I rzędu:

$$\frac{dV'(x)}{dx} + ZI(x) = E^0(x) \quad (8)$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = - YV'(x) \quad (9)$$



Rys. 1. Schemat zastępczy elementarnego odcinka rurociągu podlegającego oddziaływaniu linii elektroenergetycznej

Fig. 1. Equivalent network of the elementary pipeline section influenced by power line

lub II rzędu:

$$\frac{d^2 V'(x)}{dx^2} - \alpha^2 V'(x) = \frac{dE^0(x)}{dx} \quad (10)$$

$$\frac{d^2 I(x)}{dx^2} - \alpha^2 I(x) = -Y E^0(x), \quad (11)$$

w których:

- $E^0(x)$ - natężenie pierwotnego pola elektrycznego wzdłuż rurociągu,
- $V'(x)$ - wtórny potencjał rurociągu,
- $I(x)$ - prąd płynący w rurociągu,
- Z - impedancja własna rurociągu,
- $\alpha = \sqrt{ZY}$ - stała przenoszenia rurociągu,
- Y - admitancja przejścia rurociąg-ziemia.

Schemat przedstawiony na rys. 1, jak również opisujące go równania obejmują zarówno oddziaływanie indukcyjne jak i galwaniczne na rurociąg nieskończenie długi. Założenie to jest spełnione, w przypadku gdy długość rurociągu jest dostatecznie duża. Można przyjąć [2], że długość l rurociągu jest dostatecznie duża, jeżeli spełniony jest warunek:

$$1 > \frac{2}{\operatorname{Re}(\alpha l)} \quad (12)$$

Przy spełnieniu warunku (12) można przyjąć, że:

$$|e^{-\alpha l}| \ll 1 \quad (13)$$

3. Oddziaływanie indukcyjne

W przypadku oddziaływania indukcyjnego pola elektromagnetycznego prądu zwarciovego linii na rurociąg przebiegający równoległe do przewodów linii równanie (6) przybiera postać:

$$\frac{dV_1'(x)}{dx} = -Z I(x) + j\omega M J(x), \quad (14)$$

gdzie:

- M - reaktancja indukcyjna wzajemna linia-rurociąg [Ω/m],
- $J(x)$ - prąd indukujący [A],
- $I(x)$ - prąd wyindukowany w rurociągu [A].

Rozwiązaniem układu równań różniczkowych I rzędu (9) i (14) są zależności przedstawiające rozkład potencjału rurociągu $V(x)$ oraz rozkład prądu w rurociągu $I(x)$:

$$V_1(x) = A e^{\alpha x} + B e^{-\alpha x} \quad (15)$$

$$I(x) = -\frac{jM\omega J(x)}{Z} - \frac{1}{Z_c} (A e^{\alpha x} - B e^{-\alpha x}), \quad (16)$$

gdzie:

A, B - stałe, które wyznacza się z warunków brzegowych, istniejących na krańcach odcinka równoległości rurociągu i linii, tj. w miejscach $x = 0$ i $x = L$,

$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ - impedancja charakterystyczna rurociągu.

Jeżeli rurociąg rozciąga się poza odcinek równoległego przebiegu z linią, to impedancje własne rurociągu na krańcach odcinka OL wzajemnej równoległości Z_0 i Z_L są równe impedancji charakterystycznej rurociągu Z_c . Wówczas:

$$A = -j \frac{M\omega J}{2} e^{-\alpha L} \quad (17)$$

$$B = \frac{j\omega M J}{2\alpha} \quad (18)$$

i ostatecznie:

$$V_1(x) = -j \frac{M\omega J}{2\alpha} (e^{-\alpha(L-x)} - e^{-\alpha x}) \quad (19)$$

$$I(x) = -j \frac{M\omega J}{2Z} (2 - e^{-\alpha(L-x)} - e^{-\alpha x}). \quad (20)$$

Możliwe jest również [2] określenie oddziaływania indukcyjnego na drodze rozwiązywania równań różniczkowych II rzędu (10) i (11). Można wówczas otrzymać następujące wyrażenie na potencjał rurociągu $V_1(x)$, w przypadku gdy długość rurociągu $L > \frac{2}{\operatorname{Re}(\alpha)}$:

$$V_1(x) = \frac{E_0(x)}{\alpha} \left[-\frac{Z_1}{Z_1 + Z_c} e^{-\alpha x} + \frac{Z_2}{Z_2 + Z_c} e^{\alpha(x-L)} \right], \quad (21)$$

gdzie:

Z_1, Z_2 - impedancje rurociągu względem ziemi odległej na krańcach odcinka równoległości linii i rurociągu.

4. Oddziaływania galwaniczne

Przy założeniach, że na rurociąg oddziałuje jedynie prąd zwarciovy spływający przez uziom najbliższego słupa oraz że rurociąg przyjmuje potencjał ziemi w miejscu swojego ułożenia, oddziaływanie galwaniczne można wyznaczyć z zależności:

$$V_{GY} = V_G \frac{a}{y}, \quad (22)$$

gdzie:

- V_{GY} - potencjał ziemi w odległości y od osi podstawy słupa,
- a - odległość pomiędzy osią podstawy słupa a uziomem otokowym słupa,
- V_G - potencjał słupa względem ziemi odległej.

Korzystanie z zależności (22) jest dopuszczalne w przypadku skrzyżowań prostopadłych linii z rurociągami posiadającymi niskiej jakości pokrycia antykorozyjne.

W innych przypadkach wyznaczenie potencjału rurociągu wymaga rozwiązania równań (8) i (9). Ogólna postać tego rozwiązania przedstawia się stępująco [1] :

$$V_G(x) = V_G^0(x) + V_G'(x) = \frac{\alpha}{2} \left[e^{-\alpha x} \int_0^x V_G^0(\psi) e^{\alpha \psi} d\psi + e^{\alpha x} \int_{-x}^{+\infty} V_G^0(\psi) e^{-\alpha \psi} d\psi \right], \quad (23)$$

gdzie:

- $V_G^0(x)$ - potencjał pola pierwotnego w ziemi wzdłuż rurociągu,
- $V_G'(x)$ - potencjał wtórny rurociągu,
- ψ - rozpatrywany obszar zamknięty w polu elektromagnetycznym.

Wyznaczanie potencjałów rurociągu przy oddziaływaniach galwanicznych odbywa się w sposób przybliżony w oparciu o zależność (23). W rozwiązaniach przybliżonych zależnych od rodzaju i rozmieszczenia uziomów oraz danych geometrycznych układu linia-rurociąg korzysta się z pomocniczych funkcji Ω i Ψ , których wartości zostały tabelaryzowane i podane w literaturze [1,5] .

5. Wyznaczanie potencjałów rurociągu

W badaniach oddziaływań linii przesyłowych na podziemne rurociągi, prowadzonych dla potrzeb projektowych lub eksploatacyjnych najczęściej wystarczające jest określenie maksymalnych wartości potencjałów rurociągu występujących w miejscach krytycznych. Miejscami krytycznymi są miejsca zakłócenia geometrycznej lub elektrycznej ciągłości przebiegu linii i rurociągu, a więc np. nagle zmiana odległości linia-rurociąg, wyraźna zmiana parametrów elektrycznych linii lub rurociągu, a zwłaszcza krańce odcinka równoległego przebiegu linii i rurociągu. Na krańcach tych w wyniku oddziaływania indukcyjnego linii maksymalne wartości $V_i(x)$ dla $x = 0$ i $x = L$ wg zależności (19) wynoszą:

$$V_{i0} = \frac{M\omega J}{2\alpha} (1 - e^{-\alpha L}) \quad (24)$$

oraz

$$V_{iL} = - \frac{M\omega J}{2\alpha} (1 - e^{-\alpha L}) \quad (25)$$

Wartości potencjałów V_{i0} i V_{iL} można również wyznaczyć z zależności (21):

$$V_{i0} = \frac{-E_0}{\alpha} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_0} \quad (26)$$

$$V_{iL} = \frac{E_0}{\alpha} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \quad (27)$$

Zależności (26) i (27) otrzymano przy pominięciu członów równania (21) zmnożonych przez $e^{-\alpha L}$, co uzasadnia warunek (13).

Szczególnym przypadkiem miejsca krytycznego z uwagi na oddziaływanie galwaniczne jest skrzyżowanie rurociągu z linią w pobliżu słupa. W miejscu tym nie wystąpi oddziaływanie indukcyjne.

Metodyka wyznaczania wielkości charakterystycznych oddziaływań jest zależną przede wszystkim od przyjętego modelu matematycznego oddziaływania.

Wyznaczanie wielkości charakterystycznych oddziaływań przy wykorzystaniu relacji (22), (24) i (25) odbywa się na drodze nieskomplikowanych, bezpośrednich obliczeń [3,4]. Ponadto niektórzy autorzy [3,4] podają zależności graficzne ułatwiające obliczenia.

Dokładna analiza rozkładu potencjału wzdłuż rurociągu bazująca na równaniach (16) i (18) prowadzi do zależności na tyle złożonych, że korzystanie z nich nie jest praktycznie możliwe bez użycia ETO [2,5].

Dla porównania metod opartych o modele matematyczne oddziaływań dokładne i uproszczone przeprowadzono obliczenia potencjałów rurociągu przebiegającego w zbliżeniu z linią 400 kV. W metodzie uproszczonej wyznaczania potencjałów rurociągu przy oddziaływaniach indukcyjnych [3,4] uwzględniono tylko część prądu zwarciovego płynącego w linii. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 1.

Na ich podstawie można sformułować następujące wnioski:

- wyniki uzyskane metodą dokładną różnią się znacznie od wyników uzyskanych metodą uproszczoną w całym zakresie obliczeń.
W krańcowych przypadkach różnice sięgają 500%;
- wartości V_g obliczone metodą uproszczoną dla przypadków skrzyżowań rurociągu z linią są w istocie wartościami potencjału ziemi w miejscu ułożenia rurociągu. Przewyższają one znacznie wartości wyznaczone metodą dokładną, która uwzględnia fakt, że rurociąg posiadający izolujące pokrycie antykorozyjne nie może przyjąć wartości potencjału ziemi;
- wartości V_g obliczone metodą dokładną są znacznie wyższe w przypadkach równoległych przebiegów niż w przypadkach skrzyżowań. Wynika to z faktu, że metoda dokładna uwzględnia wtórny potencjał rurociągu wywołany prądami, które wpłynęły do rurociągu poprzez uziomy sąsiednich słupów. Faktu tego nie uwzględnia metoda uproszczona;
- mniejsze wartości V_1 obliczone metodą uproszczoną od wartości obliczonych metodą dokładną w przypadku długiego odcinka równoległego przebiegu rurociągu i linii (~ 4 km) są spowodowane nieuwzględnieniem w metodzie uproszczonej wtórnego potencjału rurociągu wywołanego prądem w nim wyindukowanym;
- arytmetyczne dodawanie V_g i V_1 w metodzie uproszczonej oparte na założeniu, że prądy oddziałujące galwanicznie i indukcyjnie są przesunięte w fazie o 90° , prowadzi do wyznaczenia nadmiernie wysokich wartości wypadkowych V_{g+1} ;
- wzajemna kompensacja V_g i V_1 wynikająca z ich rzeczywistych kierunków - uwzględnianych w obliczeniach metodą dokładną - powoduje, że przy zwarciu na jednym krańcu odcinka równoległego zbliżenia największa wartość wypadkowego potencjału rurociągu występuje na drugim krańcu tego odcinka, gdzie oddziaływanie indukcyjne nie jest kompensowane oddziaływaniem galwanicznym.

Tablice 4
 zestawienia wyników obliczeń potencjałów rurociągu dwieszere metodami w krytycznych punktach skrajowych i szlaku o linii 400 kV

Nr szpca na który szobano wystąpienie awarii	Rodszej szlaku odległość rurociąg-usion szpca oraz rurociąg-przewód fazowy linii	Nr szpca w pobliżu którego obliczono potencjały	Rezystancja prądu i siły ciągu szpca	Wynik obliczeń metodą dokładną		Wynik obliczeń metodą uproszczoną		Prąd zwarcia 1-fazowego		
				V _z	V _{z+1}	V _z	V _{z+1}			
93	Skrzyżowanie odległość rurociąg-usion 20 m	99	2500	200	563	-	-	12642		
				1000	397	0	397		0	1976
102	Skrzyżowanie odległość rurociąg-usion 30 m	102	2500	200	391	0	391	12614		
				1000	517	0	517		-	-
152	Przebieg równoległy na odległości 076 m (3 przewody)	152	1000	1019	391	934	2731	575	3306	13369 (8211)
		155		0	391	391	0	575	575	
155	odległość rurociąg-usion szpca 152-10 m	152	1000	0	393	393	0	357	575	13485 (5096)
				155	913 ^m	393	842	1776	357	
127	Przebieg równoległy na odległości 4017 m (1 przewód)	127	200	2177	2433	811	1586	938	2524	12670 (6825)
				1000	2095	2529	881	0	938	
138	odległość rurociąg-usion - 20 m	138	2500	0	2433	2433	0	760	760	12880 (5530)
				1000	0	2529	2474	0	760	
127	odległość rurociąg-przewód fazowy - 30 m	127	1000	2213	2474	824	2257	760	3017	12880 (5530)
				2130	2571	899	0	760	760	

2) Wartości prądów umieszczone w nawiasach przyjeły w obliczeniach oddziaływania indukcyjnego metodą uproszczoną. Są to prądy szeregowe.

6. Wnioski

- a) Zagadnienie oddziaływań elektroenergetycznych napowietrznych linii przesyłowych na podziemne rurociągi stalowe staje się coraz bardziej aktualne przy projektowaniu i eksploatacji zarówno linii jak i rurociągów.
- b) Z uwagi na znaczne rozbieżności wartości wielkości charakterystycznych oddziaływań - przede wszystkim potencjałów - wyznaczanych metodami bazującymi na modelach oddziaływań o różnym stopniu uproszczenia, celowa staje się weryfikacja tych metod.
- c) Prace nad metodami wyznaczania wielkości charakterystycznych oddziaływań powinny zmierzać do opracowania metod z jednej strony zapewniających pożądaną dokładność, z drugiej strony możliwie najmniej skomplikowanych, przydatnych przy pracach eksploatacyjnych.
- d) Celowe byłoby również podjęcie prac, których przedmiotem byłaby analiza wpływu parametrów, sposobu wykonania i warunków pracy linii przesyłowych i rurociągów na wielkości charakterystyczne oddziaływań.

LITERATURA

- [1] Krakowski M.: Obwody ziemnopowrotne. WNT, Warszawa 1979.
- [2] 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.
- [3] Favez B., Bougenil I.C.: Contribution à l'étude des probemes poses par la proximité de lignes électriques aériennes et de conduites métalliques enterrées. CIGRE, nr 336, Paris 1966.
- [4] Pohl J.: Influence des lignes aériennes a haute tension sur les conduites tubulaires gaimées. CIGRE, nr 336, Paris 1966.
- [5] Praca zbiorowa: Określenie oddziaływania linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na rurociągi gazowe mające czynną ochronę katodową. Praca Instytutu Elektrotechniki przemysłowej Politechniki Poznańskiej, nr 42-030/77/B, Poznań 1977, 1978.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Marian Cegieski

Wpłynęło do redakcji dn. 21 marca 1985 r.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ СТАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Резюме

Подземные стальные трубопроводы проходящие в близости линий электропередачи находятся под угрозой воздействий от электромагнитной связи в схеме ЛЭП - трубопровод. В результате этих воздействий на трубопроводах появляются электрические потенциалы, которые могут быть опасны для сооружений и обслуживающего персонала. Максимальные значения потенциалов получаются как результат гальванических и индукционных воздействий ЛЭП сверхвысокого напряжения, работающих с заземленной нейтралью, во время короткого замыкания на землю.

В статье обсуждены гальванические и индуктивные воздействия ЛЭП при однофазных коротких замыканиях на землю. Показаны точные и упрощенные математические модели этих двух видов воздействий. Проведены и обсуждены результаты расчетов потенциалов трубопровода проходящего в близости ЛЭП 400 кВ, полученные с применением показанных моделей.

THE EFFECTS OF OVERHEAD HVAC TRANSMISSION LINES ON BURIED STEEL PIPELINES DURING SINGLE-PHASE-TO-GROUND FAULTS

S u m m a r y

Due to the mutual couplings, buried steel pipelines can be influenced by overhead HVAC transmission lines. The interference results in pipeline voltages which can be hazardous both to pipeline equipment and service staff. The maximum pipeline potentials are caused by galvanic and inductive effects of HVAC lines with grounded neutral during the earth faults.

In the paper the theory of the galvanic and inductive effects of HVAC line on buried steel pipeline during single-phase-to-ground faults has been discussed. The simplified and accurate mathematical models of both galvanic and inductive couplings have been presented. The results of the potential calculation along the buried pipeline in close proximity with 400 kV line using prediction approaches based on the models developed, have been reported and commented.