

Paweł SOWA

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

**MODELOWANIE LINII PRZESYŁOWYCH W.N. W BADANIACH
NUMERYCZNYCH STANÓW ZAKŁÓCENIOWYCH W UKŁADZIE
ELEKTROENERGETYCZNYM**

Streszczenie. W artykule przedyskutowano wpływ sposobu modelowania linii przesyłowej wysokiego napięcia na wyniki obliczeń numerycznych przebiegów przejściowych. Wykazano konieczność uwzględnienia wpływu zależności parametrów linii od częstotliwości. Przedstawiono problem oscylacji numerycznych pojawiających się podczas analizy przebiegów przejściowych w układzie elektroenergetycznym. W artykule główną uwagę zwrócono na metodę numeryczną trapezów, jednak problem ten dotyczy również innych metod numerycznych. Przedyskutowano wpływ uwzględnienia tłumienia oscylacji pasożytniczych na przebiegi przejściowe. Rozważania uzupełniono przykładowymi przebiegami uzyskanymi za pomocą komputera dla typowej linii przesyłowej o napięciu 400 kV.

1. Wprowadzenie

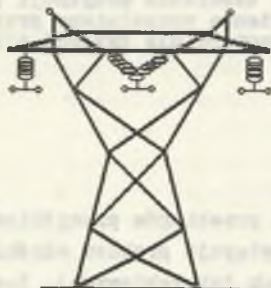
Podczas badań symulacyjnych przebiegów przejściowych w układzie elektroenergetycznym prawie zawsze występuje problem właściwego odwzorowania linii przesyłowych (napowietrznych lub kablowych). Zastosowane dla tych celów odpowiednie modele muszą, w zależności od postawionego zadania, spełniać wymagania uzyskiwania wyników o określonej dokładności. Linia, jak wiadomo, w rzeczywistości stanowi element o parametrach równomiernie rozłożonych. Badania komputerowe stanów przejściowych w liniach o parametrach rozłożonych wymagają zastosowania odpowiednich metod numerycznych. W powszechnie znanych, konkurujących ze sobą komputerowych programach użytkowych EMTP [1] oraz NETOMAC [2] wykorzystano stabilną metodę numeryczną trapezów. Występujące podczas obliczeń oscylacje numeryczne wymagają zastosowania elementów korekcyjnych. Innym źródłem błędnych oscylacji jest fakt nieuwzględniania zjawiska ulotu oraz wpływu częstotliwości na parametry linii, przede wszystkim na parametry składowej zerowej. Modelowanie linii za pomocą układu połączonych szeregowo elementów zastępczych - trójfazowych czwórników uwzględniających sprzężenia indukcyjne i pojemnościowe - traktowane jest jako odwzorowanie niedokładne, przy czym zakłada się, że wraz ze wzrostem ilości czwórników rośnie dokładność otrzymywanych wyników.

Poniżej przedstawiono analizę, popartą wynikami obliczeń komputerowych EMTP, NETOMAC oraz własnych, z których wynika, że w badaniach przebiegów przejściowych, występujących podczas zakłóceń zwarciovych, prowadzonych z punktu widzenia poprawnego działania elementów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, zastosowanie modelu linii opartego na kilku elementach - czwórnikach zastępczych, pozwala na uzyskanie wystarczająco dokładnych rezultatów.

2. Zależność parametrów linii od częstotliwości

Prawie wszystkie współczesne programy komputerowe stosowane dla celów obliczania parametrów linii wysokich napięć korzystają z reguły Carsona [4]. Szereg metod wyprowadzonych przez różnych autorów [5], [6], [7] stanowi rozwinięcie tej reguły, przy czym uzyskiwane wyniki różnią się między sobą maksymalnie o 10% (w zakresie od 100 Hz do 10 kHz).

Dla przedstawionej schematycznie na rys. 1 konstrukcji jednotorowej linii można zastosować znane macierzowe równania (1):



Rys. 1. Schemat ideowy konstrukcji szypa linii
400 kV

Fig. 1. Tower structure of 400 kV line

$$-\frac{du}{dx} = z \cdot i,$$

$$-\frac{di}{dx} = y \cdot u,$$

(1)

gdzie:

u , i , z , y , oznaczają odpowiednio macierze napięć, prądów, impedancji oraz admittancji.

Najczęściej analizę wpływu wyższych częstotliwości na parametry linii przeprowadza się z punktu widzenia składowych symetrycznych. Parametry dla składowej zgodnej i zerowej mogą być określone na podstawie relacji (2) .. (5):

$$z_1 = R + j2\omega 10^{-4} \ln \frac{2h_m d_m}{r_z D_m} \quad [\Omega/\text{km}], \quad (2)$$

$$z_0 = R + \frac{3\omega 10^{-4}}{2} + j6\omega 10^{-4} \ln \frac{659 - \sqrt{\frac{\rho}{r}}}{\sqrt{r_z d_m^2}} \quad [\Omega/\text{km}], \quad (3)$$

$$c_1 = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{d_m 2h_m}{r_z D_m}} \quad [\mu\text{F}/\text{km}], \quad (4)$$

$$c_0 = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{(2h_m)^3}{r_z d_m^2}} \quad [\mu\text{F}/\text{km}], \quad (5)$$

przy czym:

R = rezystancja przewodów wiązkowych $[\Omega/\text{km}]$,

$h_m = \sqrt[3]{h_a h_b h_c}$ średnia wysokość przewodów $[\text{m}]$,

$d_m = \sqrt[3]{d_{ab} d_{ac} d_{bc}}$ średnia odległość między przewodami $[\text{m}]$,

$D_m = \sqrt[3]{D_{ab} D_{ac} D_{bc}}$ średnia odległość między przewodami fazowymi i fikcyjnymi $[\text{m}]$,

$r_z = \sqrt[n]{n r a^{n-1}}$ promień zastępczy (n - liczba przewodów w wiązce, r - promień przewodu, a - promień wiązki),

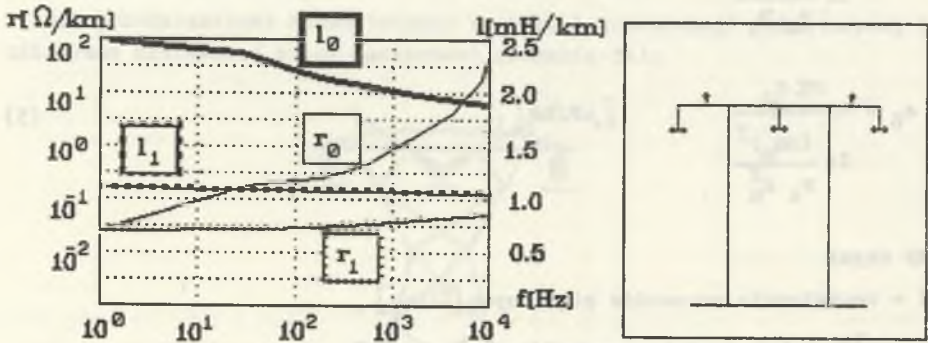
ρ = rezystywność gruntu.

W tablicy 1 przedstawiono wyniki obliczeń parametrów linii podanej na rys. 1 dla różnych częstotliwości. Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu OPL (Obliczanie Parametrów Linii) [3]. Podobne obliczenia przeprowadzono dla innych konstrukcji, zaś wyniki przedstawiono w postaci wykresów na rys. 2, 3 i 4. Jak widać, dla wszystkich rodzajów linii występuje silna zależność parametrów (przede wszystkim rezystancji) dla składowej zerowej od częstotliwości.

Tablica 1

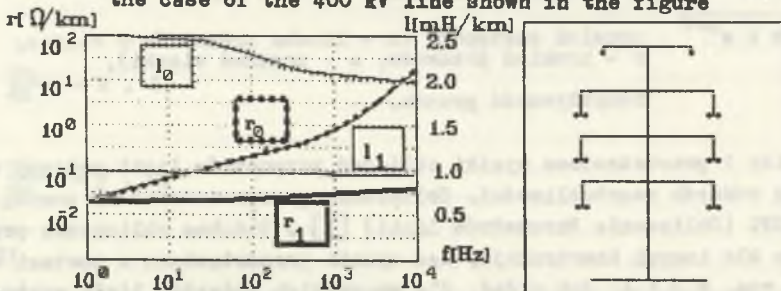
Parametry linii z rysunku 1 dla różnych częstotliwości

r_0 [Ω]	l_0 [mH]	c_0 [μ F]	r_1 [Ω]	l_1 [mH]	c_1 [μ F]	f [Hz]
0.0359	8.939	0.00772	0.0359	1.056	0.01112	10^{-6}
0.2410	2.417	0.00772	0.0374	1.051	0.01112	50
0.5929	2.097	0.00772	0.0394	1.047	0.01112	500
4.7070	1.894	0.00772	0.0785	1.046	0.01112	5000
37.317	1.684	0.00772	1.0501	1.043	0.01112	50000
189.32	1.552	0.00772	10.522	1.037	0.01112	500000



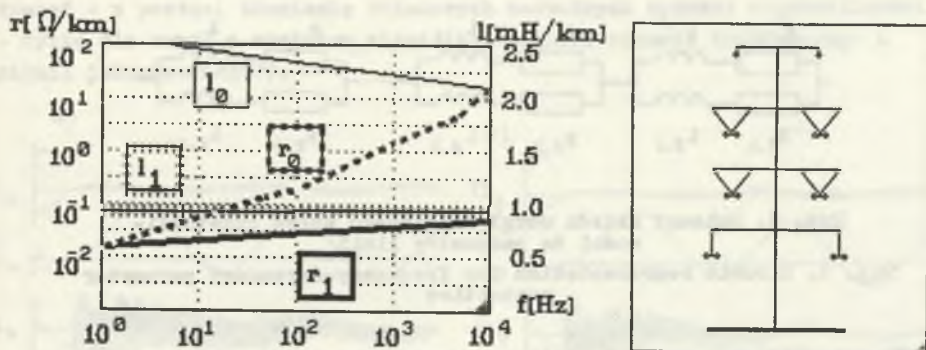
Rys. 2. Zależność parametrów składowych zerowej i zgodnej R, L od częstotliwości dla linii przesyłowej 400 kV pokazanej na rysunku

Fig. 2. Frequency dependence of zero and positive-sequence R, L for the case of the 400 kV line shown in the figure



Rys. 3. Zależność parametrów składowej zerowej i zgodnej R, L od częstotliwości dla linii 400 kV pokazanej na rysunku

Fig. 3. Frequency dependence of zero and positive-sequence R, L for the case of the 400 kV line shown in the figure



Rys. 4. Zależność parametrów składowej zerowej i zgodnej R,L od częstotliwości dla linii 400 kV pokazanej na rysunku

Fig. 4. Frequency dependence of zero and positive-sequence R,L for the case of the 400 kV line shown in the figure

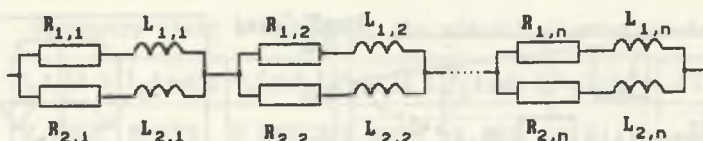
3. Modelowanie linii z uwzględnieniem wpływu wyższych częstotliwości

W zależności od tego, czy linia modelowana jest za pomocą parametrów skupionych, czy rozłożonych stosowane są dodatkowe obwody uwzględniające wpływ wyższych częstotliwości na parametry linii. W przypadku modelowania linii za pomocą łańcucha czwórników zastępczych najbardziej korzystnym rozwiązaniem z punktu widzenia minimalnej ilości dodatkowych równań jest układ pokazany na rys. 5 [8]. Impedancja dla tego układu określona jest wzorami (6) i (7), przy czym parametry $R_{1,k}$, $L_{1,k}$, ... stanowią poszukiwane parametry zastępcze dla aproksymacji zależności nieliniowej:

$$R(\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{R_{1,k} R_{2,k} (R_{1,k} + R_{2,k}) + \omega_1^2 (L_{1,k}^2 R_{2,k} + L_{2,k}^2 R_{1,k})}{(R_{1,k} + R_{2,k})^2 + \omega_1^2 (L_{1,k} + L_{2,k})^2} \quad (6)$$

$$\omega L(\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{\omega_1^2 L_{2,k} R_{1,k}^2 + L_{1,k} R_{2,k}^2 + \omega_1^2 L_{1,k} (L_{1,k} + L_{2,k})}{(R_{1,k} + R_{2,k})^2 + \omega_1^2 (L_{1,k} + L_{2,k})^2} \quad (7)$$

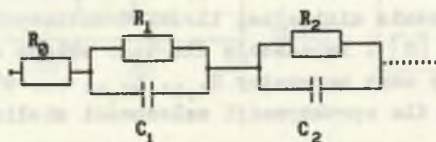
Na podstawie danej charakterystyki zależności parametrów linii od częstotliwości oraz wykorzystując metodę numeryczną Newtona-Raphsona uzyskuje się zastępczy układ szeregowo połączonych układów równoległych R,L (rys.5), przy czym liczba połączonych układów zależna jest od wymaganego zakresu aproksymacji.



Rys. 5. Schemat układu uwzględniającego wpływ częstotliwości na parametry linii

Fig. 5. Circuit representation for frequency-dependent parameter connection

W przypadku odwzorowania linii za pomocą parametrów rozłożonych najbardziej optymalnym rozwiązaniem z punktu widzenia dokładności oraz szybkości obliczeń jest "model Martiego" [9], stosowany w najnowszych wersjach programu EMTP (rys. 6). Innym zastępczym rozwiązaniem, stosowanym między innymi w programie NETOMAC, jest wprowadzanie w zbiorze danych wejściowych, zazwyczaj pomijanych wartości konduktancji poprzecznych G ; przy założeniu że $R \cdot G = 10^{-8}$. Jak widać na rys. 7, rozwiązanie takie nie przynosi zadowalających efektów. Rys. 7a przedstawia przebiegi przejściowe prądów i napięć na początku linii o napięciu 400 kV, zasilanej dwustronnie, odwzorowanej za pomocą parametrów rozłożonych. Rys. 7b przedstawia ten sam przypadek po wprowadzeniu konduktancji poprzecznych.

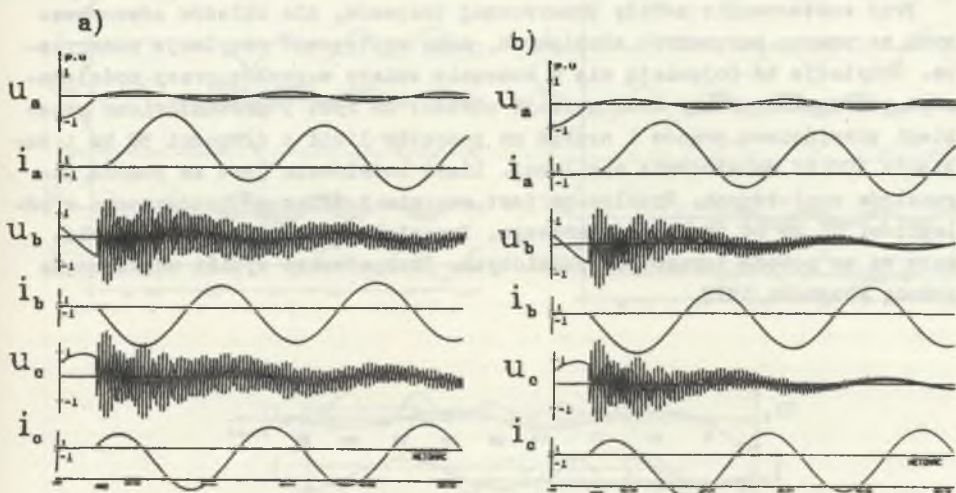


Rys. 6. Model Marti'ego

Fig. 6. Marti's model

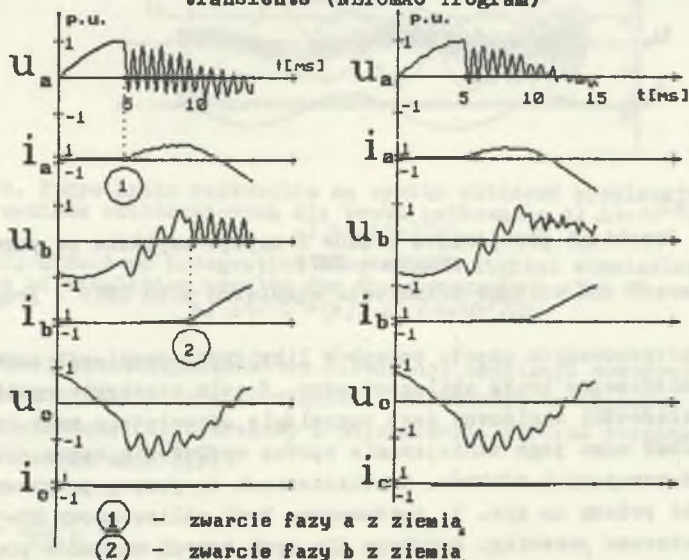
Zupełnie błędne jest, stosowane przez niektórych autorów, wprowadzanie wartości parametrów składowej zerowej dla określonej wyższej częstotliwości. Takie rozwiązanie przynosi wprawdzie "efekt" w postaci tłumienia składowych swobodnych wyższych częstotliwości, jednocześnie jednak powoduje dodatkowe tłumienie składowej nieokresowej prądu. Jest to widoczne na rys. 8. Rysunek ten przedstawia przebiegi przejściowe prądów i napięć na początku linii dwustronnie zasilanej, podczas niejednoczesnego zwarcia dwufazowego z ziemią, przy czym przebiegi na rys. 8a otrzymano na modelu z parametrami składowej zerowej dla $f=50$ Hz, natomiast przebiegi na rys. 8b odpowiadają parametrom dla $f=5000$ Hz. Ponadto rozwiązanie takie jest "efek-

tywne" - w postaci tłumienia składowych swobodnych wyższej częstotliwości - tylko dla zwarć z udziałem ziemi (ale nie dla zwarcia trójfazowego z ziemią jednoczesnego!).



Rys. 7. Wpływ uwzględnienia w programie NETOMAC, konduktancji poprzecznej linii na przebiegi przejściowe prądów i napięć

Fig. 7. Effect of shunt conductances on voltage and current transients (NETOMAC Program)

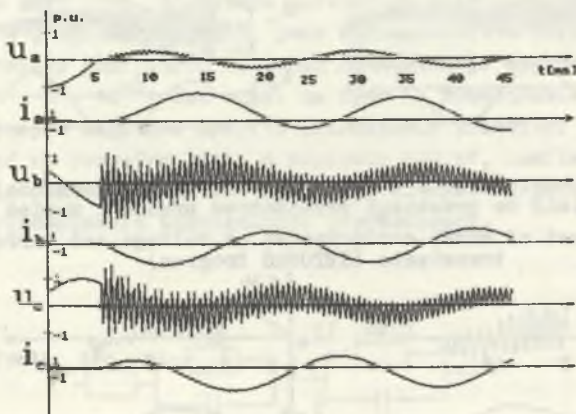


Rys. 8. Przebiegi przejściowe prądów i napięć dla parametrów składowej zerowej obliczonych dla a) $f=50$ Hz, b) $f=2000$ Hz

Fig. 8. Voltage and current transients for zero-sequence parameters a) for $f=50$ Hz, b) for $f=2000$ Hz

4. Metody likwidacji oscylacji numerycznych

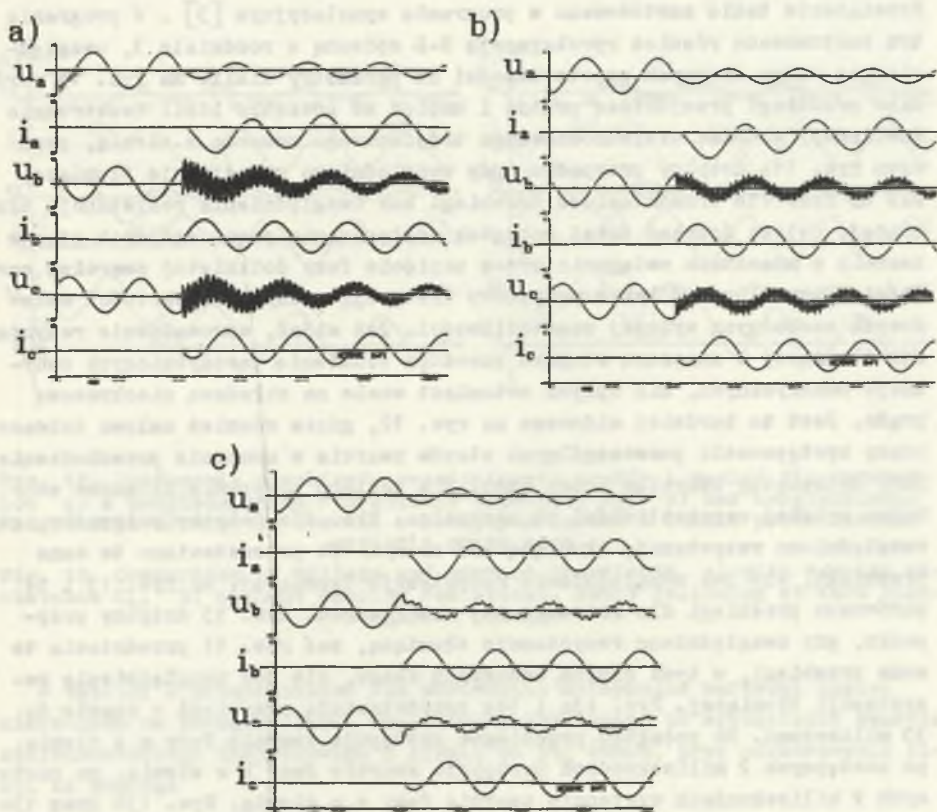
Przy zastosowaniu metody numerycznej trapezów, dla układów odwzorowanych za pomocą parametrów skupionych, mogą występować oscylacje numeryczne. Oscylacje te pojawiają się w momencie zmiany warunków pracy modelowanego układu lub zmiany konfiguracji układu. Na rys. 9 przedstawiono przebiegi przejściowe prądów i napięć na początku linii o długości 90 km i napięciu 400 kV dwustronnie zasilanej. Linia modelowana jest za pomocą parametrów rozłożonych, Symulowane jest zwarcie trójfazowe jednocześnie w odległości 45 km od punktu pomiarowego. Pozostałe elementy układu modelowane są za pomocą parametrów skupionych. Prezentowane wyniki uzyskano za pomocą programu EMTP.



Rys. 9. Przebiegi przejściowe prądów i napięć uzyskane za pomocą programu EMTP

Fig. 9. Current and voltage transients simulated with EMTP - Program

Jednym z proponowanych często sposobów likwidacji oscylacji numerycznych jest zmniejszanie kroku obliczeniowego. W celu uzyskania wyników o wymaganej dokładności konieczny jest oczywiście odpowiednio mały krok obliczeniowy, jednak samo jego zmniejszanie oprócz wydłużania czasu obliczeń nie daje wystarczających efektów. W obliczeniach za pomocą programu EMTP, których wyniki podano na rys. 9, zastosowano krok obliczeniowy $\Delta t = 10^{-5}$ [s]. Na rys. 10 pokazano przebiegi uzyskane dla tych samych warunków pracy układu, dla trzech różnych kroków obliczeniowych: 10^{-5} [s] (rys. 10a), 10^{-4} [s] (rys. 10b), 10^{-3} [s] (rys. 10c). Obliczenia wykonano za pomocą programu NETOMAC. Rysunki przedstawiają napięcia i prądy na początku linii dwustronnie zasilanej modelowanej za pomocą 6 czwórników zastępczych kształtu π .



Rys. 10. Wpływ kroku całkowania na wyniki obliczeń symulacyjnych. Porównanie wyników obliczeniowych dla kroku całkowania a) $\Delta t=10^{-5}$ [s], b) $\Delta t=10^{-4}$ [s] c) $\Delta t=10^{-3}$ [s]

Fig. 10. Effect of integration step on the digital simulation results. Comparison of simulation results for the integration step of a) $\Delta t=10^{-5}$ [s] b) $\Delta t=10^{-4}$ [s], c) $\Delta t=10^{-3}$ [s]

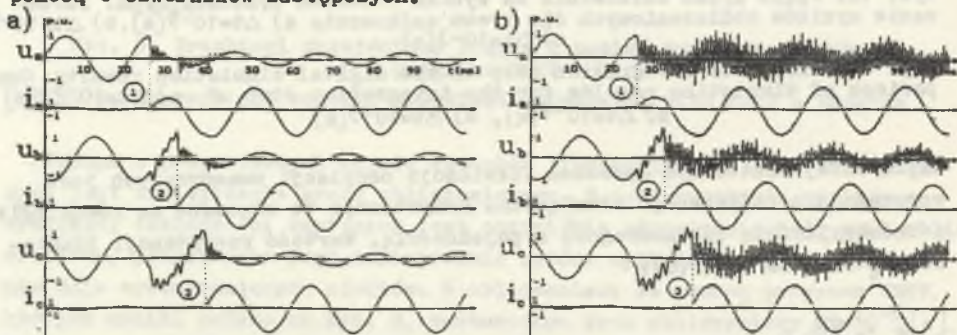
Najbardziej skutecznym sposobem likwidacji oscylacji numerycznych jest wprowadzanie rezystancji tłumiących. Rezystancje te włączane są równolegle z indukcyjnością lub szeregowo z pojemnością. Wartość rezystancji tłumiącej R_t określa wzór (8):

$$R_t > \frac{6\pi}{\Delta t} L \quad (8)$$

gdzie:

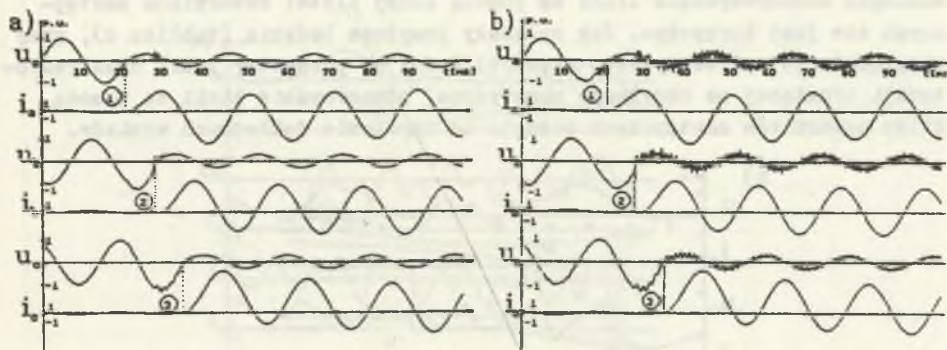
L - indukcyjność,
 Δt - krok obliczeniowy.

Rozwiązanie takie zastosowano w programie symulacyjnym [3]. W programie tym zastosowano również aproksymację R-L opisaną w rozdziale 3, uwzględniającą wpływ wyższych częstotliwości na parametry linii. Na rys. 11 porównano przebiegi przejściowe prądów i napięć na początku linii dwustronnie zasilanej, podczas niejednoczesnego trójfazowego zwarcia z ziemią, przy czym rys. 11a dotyczy przypadku, gdy uwzględniono rezystancję tłumiącą, zaś na rys. 11b przedstawiono przebiegi bez uwzględnienia rezystancji tłumiącej. Celowo dobrano tutaj początek występowania poszczególnych etapów zwarcia w momentach osiągania przez napięcie fazy dotkniętej zwarcie wartości maksymalnej. W takim przypadku występują maksymalne wartości składowych swobodnych wyższej częstotliwości. Jak widać, wprowadzenie rezystancji tłumiącej w znacznym stopniu powoduje tłumienie pasożytniczych oscylacji numerycznych, nie wpływa natomiast wcale na składową nieokresową prądu. Jest to bardziej widoczne na rys. 12, gdzie również celowo dobrano czasy występowania poszczególnych etapów zwarcia w momencie przechodzenia fazy dotkniętej zwarcie przez zero. Dla takiego przypadku składowe swobodne wyższej częstotliwości są minimalne. Rys. 12a dotyczy przypadku, gdy uwzględniono rezystancję tłumiącą zaś na rys. 12b przedstawiono te same przebiegi, ale bez uwzględnienia rezystancji tłumiącej. Na rys. 13 i 14 porównano przebiegi dla rozszerzonej skali czasu. Rys. 13 dotyczy przypadku, gdy uwzględniono rezystancję tłumiącą, zaś rys. 14 przedstawia te same przebiegi, w tych samych odcinkach czasu, ale bez uwzględnienia rezystancji tłumiącej. Rys. 13a i 14a przedstawiają przebiegi w czasie do 10 milisekund. Na początku przebiegów występuje zwarcie fazy c z ziemią, po następnych 2 milisekundach następuje zwarcie fazy b z ziemią, po następnych 2 milisekundach występuje zwarcie fazy a z ziemią. Rys. 13b oraz 13c przedstawiają przebiegi w okresie od 30 do 40 milisekund, zaś rys. 13c i 13 pokazują przebiegi od 60 do 70 milisekund. Linia odwzorowana jest za pomocą 6 czwórników zastępczych.



Rys. 11. Porównanie przebiegów przejściowych prądów i napięć dla przypadków a) z uwzględnieniem rezystancji tłumiącej R_d , b) bez uwzględnienia rezystancji tłumiącej. Zwarcia w kolejnych fazach w chwili gdy napięcie ma wartość maksymalną

Fig. 11. Comparison of voltage and current transients a) with damping resistance R_d , b) without damping resistance. Fault following at maximum line-to-ground voltage



Rys. 12. Porównanie przebiegów przejściowych prądów i napięć dla przypadków a) z uwzględnieniem rezystancji tłumiącej R_d , b) bez uwzględnienia rezystancji tłumiącej. Zwarcia w kolejnych fazach w chwili przechodzenia napięcia przez zero

Fig. 12. Comparison of voltage and current transients a) with damping resistance R_d , b) without damping resistance. Fault following at zero line-to-ground voltage

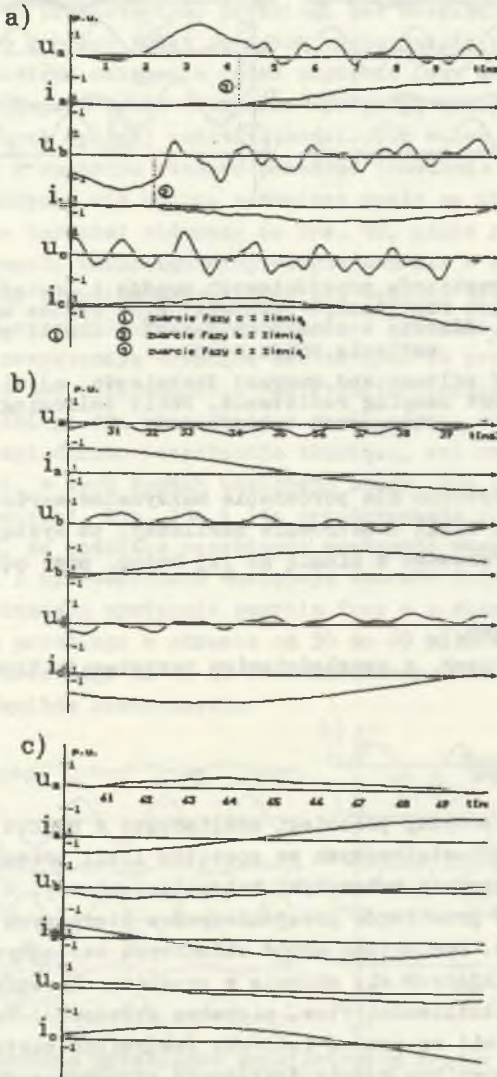
W tabelicy 2 przedstawiono dla porównania maksymalne wartości napięć mierzonych na początku linii dwustronnie zasilanej, po wystąpieniu zwarcia niejednoczesnego trójfazowego z ziemią na jej końcu, przy odwzorowaniu linii za pomocą:

- parametrów rozłożonych,
- 6 czwórników zastępczych, z uwzględnieniem rezystancji tłumiącej.

5. Uwagi końcowe

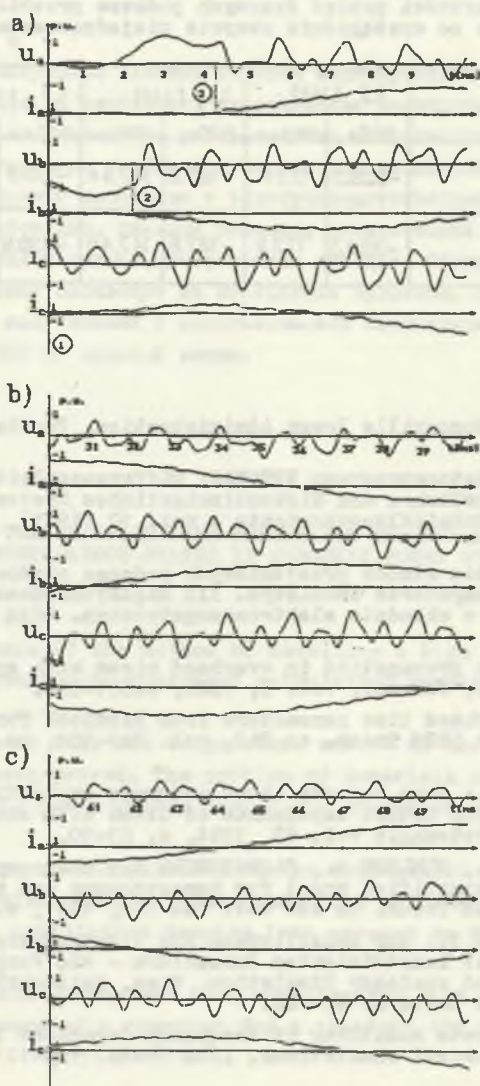
Wszystkie omawiane powyżej przebiegi analizowano z punktu widzenia urządzeń pomiarowych zainstalowanych na początku linii przesyłowej, dla potrzeb elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej. W tym celu konieczna jest znajomość przebiegów przejściowych w pierwszych chwilach po wystąpieniu zakłócenia. Dominującą wśród składowych swobodnych wyższej częstotliwości, pojawiających się głównie w przebiegach napięć, jest składowa o najniższej częstotliwości (tzw. pierwsza składowa). Teoretycznie, podczas modelowania linii za pomocą łańcucha czwórników zastępczych, wraz ze wzrostem liczby czwórników rośnie dokładność otrzymywanych przebiegów przejściowych. Składowe o najniższej częstotliwości mogą być jednak uzyskane dość dokładnie na modelach o małej ilości czwórników. Ponadto wraz ze wzrostem ilości czwórników rośnie w tym samym stopniu częstotliwość składowej o "najwyższym numerze". Najwyższa częstotliwość, którą chcemy

dokładnie zmierzyć, określa maksymalny krok obliczeniowy. Z tego punktu widzenia odwzorowywanie linii za pomocą dużej ilości czwórników zastępczych nie jest korzystne. Jak wykazały powyższe badania (tablica 2), przy uwzględnieniu wpływu wyższej częstotliwości na parametry linii oraz rezystancji tłumiącej na oscylacje numeryczne, odwzorowanie linii za pomocą kilku czwórników zastępczych pozwala na uzyskanie dokładnych wyników.



Rys. 13. Przebiegi przejściowe prądów i napięć podczas zwarcia trójfazowego z ziemią niejednoczesnego przy uwzględnieniu rezystancji tłumiącej

Fig. 13. Voltage and current transients for non-simultaneous three phase-to-ground fault with damping resistance



Rys. 14. Przebiegi przejściowe takie jak na rys. 13, ale bez uwzględnienia rezystancji tłumiącej

Fig. 14. Transients for the same case as in fig. 13, but without damping resistance

Tablica 2

Maksymalne wartości napięć fazowych podczas przebiegu przejściowego po wystąpieniu zwarcia niejednoczesnego

Odwzorowanie	U_a [kV]		U_b [kV]		U_c [kV]	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
parametry rozłożone	-328.3	173.7	-187.0	147.44	-139.6	329.95
$6 * \pi$	-328.3	172.9	-187.6	147.46	-139.8	330.19

LITERATURA

- [1] EMTP Rule Book, Bonneville Power Administration, Portland, Oregon 1985
- [2] KULICKE B.: Simulationsprogramm NETOMAG; Differenzenleitwertverfahren bei kontinuierlichen und diskontinuierlichen Systemen, Siemens Forschung - und Entwicklungsberichte - vol. 10 (1981), no. 5, s.299-302.
- [3] SOWA P.: Obliczanie stanów przejściowych podczas złożonych zakłóceń zwarciovych na komputerze osobistym. III Międzynarodowe Sympozjum "Prądy zwarciovowe w układzie elektroenergetycznym. Łódź - Sulejów 1988, s. 78-89.
- [4] CARSON J.R.: Wave propagation in overhead wires with ground return. Bell System Techn. Journal, vol. 5, 1926, s.539-554.
- [5] DOMMEL H.W.: Overhead line parameters from handbook formulas and computer programs IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-104, no.2, 1985, s. 366-372.
- [6] TEVAN G., DERI A.: Some remarks about accurate evaluation of the Carson integral for Mutual impedances of lines with earth return. Archiv für Elektrotechnik vol. 67, 1984, s. 83-90.
- [7] DERI A., TEVAN G., SEMLYEN A., CASTANHEIRA A.: The complex ground return plane, a simplified model for homogeneous and multi-layer earth return. IEEE Trans. on PAS vol. PAS-100, 1981, s. 3686-3693.
- [8] SIEGMUND D., SOWA P.: Zur Modellierung von Elektroenergie-Übertragungsleitungen mit konzentrierten Parametern - ein Vergleich zwischen digitaler und analoger Simulation, Wiss, Zeitschrift der TU Dresden 36 (1987) Heft4 s. 97-102.
- [9] MARTI J.R.: Accurate modelling of frequency-dependent lines in electromagnetic transient simulations. IEEE Trans. PAS-101 1982, s.147-157.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Zbigniew Ciok

Wpłynęło do redakcji dnia 15 września 1989 r.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЧИСЛЕННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ АВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Р е з ю м е

В статье обсуждено влияние способа моделирования высоковольтной линии электропередачи на результаты численных расчётов переходных процессов. Доказывается необходимость учёта влияния зависимости параметров линии от частоты. Рассмотрены проблемы численных осцилляций, появляющихся во время анализа переходных процессов в электроэнергетической системе.

В статье обсуждён, главным образом, численный метод трапеций, который однако касается и других численных методов. Обсуждено влияние демпфирования паразитных осцилляций на переходные процессы. Рассуждения иллюстрируются графиками полученными с использованием компьютера для электропередачи напряжением 400 кВ типовой линии.

HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINE MODELS FOR NUMERICAL
STUDIES ON INTERFERENCE STATES IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

S u m m a r y

The influence of the method of modelling a high - voltage transmission line on the transients numerical calculation results has been discussed in the paper.

The necessity to take the temperature effect on the line parameters into account has been proved. The problem of numerical oscillation which occurs in the electric power system during the transient analysis has been presented.

Although the paper concentrates on the trapezoidal rule of integration, the problem refers also to other numerical methods. The effect of taking the parasitic oscillation damping into account on the transients has been considered.

The above consideration has been supplemented with exemplary transients obtained by means of a computer for a standard 400 kV transmission line.