

Método de Estimação de Parâmetros de Linhas de Transmissão baseado em Dados de Faltas

J. T. Rivera Pineda, A. R. J. de Araújo, S. Kurokawa, E. C. M. Costa, and J. Pissolato

Abstract-- Este trabalho apresenta uma nova metodologia para estimar parâmetros de linhas de transmissão trifásicas a partir das medições de correntes e tensões em estado transitório nos terminais da linha. Uma linha de transmissão idealmente transposta é desacoplada em seus modos de propagação exatos utilizando a matriz de Clarke como matriz de transformação. Os parâmetros de linha de transmissão são estimados em cada modo empregando o método dos mínimos quadrados e logo convertidos ao domínio das fases.

Index Terms-- Circuito π , Estado Transitório, Matriz de Clarke, Método dos Mínimos Quadrados, Parâmetros de Linhas de Transmissão.

I. INTRODUÇÃO

Os parâmetros elétricos, que representam uma linha de transmissão, são calculados por meio de representações matemáticas complexas encontradas na literatura especializada [1]-[4]. Para observar as implicações que as linhas de transmissão têm sobre o sistema de energia elétrica, deve-se conhecer os valores dos parâmetros, podendo ser calculados ou estimados. Os parâmetros de linhas de transmissão são descritos pela teoria eletromagnética em termos da permeabilidade magnética, permitividade do dielétrico, as propriedades intrínsecas dos condutores e a frequência.

O cálculo convencional usa modelos matemáticos para representar os fenômenos eletromagnéticos presentes nos condutores de uma linha de transmissão, partindo de hipóteses e considerações que podem não sempre ser realísticas. Como exemplo, tem-se que o solo é considerado plano e homogêneo com condutividade e resistividade constante, despreza-se o efeito atmosférico de cada dia (temperatura, umidade, sol, chuva ou neve), o efeito dos diferentes relevos e tipos de solo que as linhas de transmissão atravessam (montanhas, desertos, lagos, rios etc.) e o efeito corona. Essas considerações

umentam o grau de incerteza no cálculo da impedância e admitância da linha. Embora os métodos convencionais de cálculo dos parâmetros das linhas de transmissão são aceitos e empregados, a necessidade de uma aproximação mais precisa e metodologias inovadoras têm sido desenvolvidas por diversos pesquisadores.

A estimação dos parâmetros oferece muitas vantagens para as concessionárias e os consumidores tais como: o cálculo adequado do fluxo de potência, rapidez e precisão na localização de faltas, melhora a parametrização do sistema de proteção e parâmetros mais precisos para simulações em sistema de energia elétrica. Essas metodologias baseiam-se na estimação dos parâmetros de linhas de transmissão das medições (sincronizadas ou não sincronizadas) nos terminais da linha obtidas por dispositivos de medição instalados nesses terminais diretamente no domínio do tempo. Os artigos [5]-[13] descrevem várias dessas metodologias, onde a linha de transmissão é representada como um único circuito π . As medições são realizadas em regime transitório ou permanente, porém, usando para estimação dos parâmetros métodos numéricos para resolução de sistemas não lineares, métodos heurísticos ou meta heurísticos.

Neste artigo é apresentada uma nova metodologia para estimar os parâmetros em tempo real quando ocorre uma falta fase-terra na linha de transmissão. A metodologia estima os parâmetros de uma linha de transmissão trifásica usando a teoria de decomposição modal. Nessa teoria, a linha trifásica idealmente transposta é desacoplada em seus modos de propagação equivalentes, usando a matriz de Clarke, e as medições de correntes e tensões nos terminais da linha são realizadas em cada modo. Para estimar os parâmetros no domínio modal, se aplica em cada modo o método de estimação para uma linha monofásica proposto em [10]-[11]. Os parâmetros estimados no domínio dos modos são transformados ao domínio das fases, usando matrizes de transformação inversa.

II. ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Os parâmetros longitudinais, resistência (R) e indutância (L), podem ser calculados a partir da solução das equações de Maxwell, considerando as condições de fronteira entre os condutores vizinhos, solo e o meio onde estão inseridos - no caso de linhas aéreas é o ar [1]. Os parâmetros transversais, capacitância (C) e condutância (G), representam a diferença de potencial entre os condutores e o solo e a fuga de corrente entre os condutores e o solo, respectivamente. Os parâmetros de linha de transmissão podem ser representados por elementos em série (impedância longitudinal, Z) ou em derivação (admitância transversal, Y), porém eles estão distribuídos ao longo de todo o comprimento da linha. A

Os autores agradecem a CAPES e FAPESP pelo fomento da pesquisa.

J.T. Rivera Pineda, A. R. J. de Araújo e S. Kurokawa estão vinculados a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Elétrica, Ilha Solteira, São Paulo, Brazil. (Emails: jtrp27@gmail.com, anderjusto@yahoo.com.br, kurokawa@dee.feis.unesp.br.)

E. C. M. Costa está vinculado ao Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - PEA/EPUSP, São Paulo, SP, Brazil (educosta@pea.usp.br).

J. Pissolato está vinculado ao Departamento de Sistemas e Controle de Energia da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil. (pisso@dsce.fee.unicamp.br).

impedância longitudinal e a admitância transversal são dadas por (1) e (2) respectivamente:

$$Z(\omega) = R(\omega) + j\omega L(\omega) \quad (1)$$

$$Y(\omega) = G + j\omega C \quad (2)$$

A resistência e a indutância dependem da frequência angular ω . Esse comportamento deve-se aos efeitos solo e pelicular, onde a resistência aumenta e a indutância diminui com o aumento da frequência. O efeito pelicular é calculado das funções de Bessel e efeito o solo é calculado por meio das séries trigonométricas de Carson [2]. A admitância transversal linha aéreas independe da frequência e é comum para linhas áreas que a capacitância seja considerada constante e a condutância seja desprezada [3].

A. Estimação de Parâmetros: Linha Monofásica

Considera-se uma linha de transmissão monofásica de comprimento d , onde as correntes e tensões nos terminais emissor (E) e receptor (R) da linha são conhecidas conforme Fig. 1.

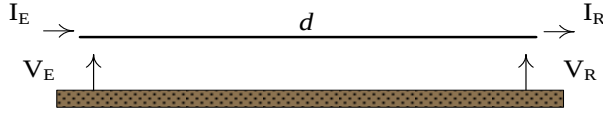


Fig. 1. Linha de transmissão monofásica de comprimento d com as correntes e tensões conhecidas no domínio do tempo.

Na Fig.1, V_E e V_R representam as medições de tensão no domínio do tempo no terminal emissor e receptor respectivamente. As variáveis I_E e I_R , representam as medições de corrente no domínio do tempo no terminal emissor e receptor, respectivamente. A linha da Fig. 1 pode ser representada por um único circuito π , conforme mostra a Fig. 2.

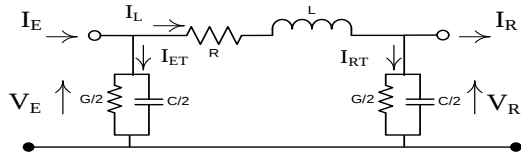


Fig. 2. Representação da linha como um único circuito π

Na Fig. 2, I_L é a corrente longitudinal no domínio do tempo, I_{ET} e I_{RT} , são as correntes transversais no domínio do tempo em cada terminal da linha e os parâmetros da linha estão representados pelos elementos de circuito definidos como (3):

$$R = R' d; L = L' d; C = C' d; G = G' d \quad (3)$$

Onde R' , L' , C' e G' são os valores por unidade de comprimento e R , L , C e G são valores totais da linha mostrados na Fig. 2. Os parâmetros longitudinais e transversais podem ser obtidos a partir da análise do circuito π , na Fig. 2, em função das correntes e tensões no domínio do tempo nos terminais da linha, como definido nas eqs. (4) e (5).

$$I_E - I_R = \frac{G}{2}(V_E + V_R) + \frac{C}{2}\left(\frac{dV_E}{dt} + \frac{dV_R}{dt}\right) \quad (4)$$

$$V_E - V_R = R I_L + L \frac{dI_L}{dt} \quad (5)$$

Nas eqs. (4) e (5) estão relacionadas os parâmetros elétricos com as correntes e tensões nos terminais da linha, para um dado instante de tempo t . Para n medições sincronizadas um conjunto de equações podem ser escritas na seguinte forma matricial:

$$[\Delta I] = [\Sigma V][Y] \quad (6)$$

$$[\Delta V] = [I][Z] \quad (7)$$

Em (6) cada matriz é definida por:

$$[\Delta I] = \begin{bmatrix} I_{Ei} - I_{Ri} \\ \vdots \\ I_{En} - I_{Rn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[\Sigma V] = \begin{bmatrix} V_{Ei} + V_{Ri} & \frac{dV_{Ei}}{dt} + \frac{dV_{Ri}}{dt} \\ \vdots & \vdots \\ V_{En} + V_{Rn} & \frac{dV_{En}}{dt} + \frac{dV_{Rn}}{dt} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} \frac{G}{2} \\ \frac{C}{2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Em (7) cada matriz é definida por:

$$[\Delta V] = \begin{bmatrix} V_{Ei} - V_{Ri} \\ \vdots \\ V_{En} - V_{Rn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[I] = \begin{bmatrix} I_{Li} & \frac{dI_{Li}}{dt} \\ \vdots & \vdots \\ I_{Ln} & \frac{dI_{Ln}}{dt} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} R \\ L \end{bmatrix} \quad (13)$$

As eqs. (6) e (7) se classificam como sistema de equações inconsistente ou sem solução, pois o número de equações excede o número de variáveis. O método dos mínimos quadrados é usado para aproximar uma solução para cada sistema de equações. Aplicando o método dos mínimos quadrados em (6) e (7) obtêm-se as equações dos parâmetros transversais (14) e longitudinais (15) respectivamente.

$$[Y] = ([\Sigma V]^T [\Sigma V])^{-1} [\Sigma V]^T [\Delta I] \quad (14)$$

$$[Z] = ([I]^T [I])^{-1} [I]^T [\Delta V] \quad (15)$$

Em (15) a matriz $[I]$ contém as medições da corrente longitudinal, I_L , que não pode ser medida portanto é necessário relacionar a corrente longitudinal com os valores de tensão e corrente medidos nos terminais, como descrita em [10]-[11].

B. Estimação de Parâmetros: Linha Trifásica

A teoria de decomposição modal permite desacoplar uma linha polifásica em seus modos de propagação. Uma linha de transmissão polifásica de m fases é desacoplada em m sistemas monofásicos equivalentes, através de uma transformação de similaridade que diagonaliza as matrizes $[Z]$ e $[Y]$. A matriz que diagonaliza essas matrizes ($[Z]$ e $[Y]$) é chamada *matriz de transformação* e está formada pelos autovetores correspondentes ao produto $[Z][Y]$ ou $[Y][Z]$, uma vez que os valores dos parâmetros são conhecidos [14].

Existem matrizes de transformação que independem da frequência e dos parâmetros da linha, por exemplo, a matriz de *transformação de Clarke*. A matriz de Clarke, $[T_{Clarke}]$ é uma matriz real e ortogonal, oferecendo uma excelente aproximação para decompor as linhas de transmissão trifásicas no domínio das fases a seus modos equivalentes.

$$[T_{Clarke}] = \begin{bmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

A matriz de transformação (16) é invariável com a frequência, portanto podem-se transformar os vetores das medições nos terminais da linha no domínio do tempo em suas medições equivalentes nos domínios dos modos [14]. A transformação das grandezas nos terminais da linha é definida pelas seguintes equações:

$$[V_Q] = [T_{Clarke}]^T [V_{ph}] \quad (17)$$

$$[I_Q] = [T_{Clarke}]^{-1} [I_{ph}] \quad (18)$$

Em (17) e (18) os vetores $[V_{ph}]$ e $[I_{ph}]$ são os vetores que contêm as n medições para cada fase em cada terminal no domínio das fases de uma linha de transmissão trifásica. Os vetores $[V_Q]$ e $[I_Q]$ são os novos vetores com as n medições transformados usando a $[T_{Clarke}]$ no domínio dos modos. Embora com as correntes e tensões nos terminais da linha desacopladas nos modos, sistemas monofásicos equivalentes, pode-se aplicar o método de estimação de parâmetros para uma linha monofásica a cada modo independente. Estimam-se os parâmetros da linha de transmissão no domínio modal e logo a matriz de impedância e admitância de fase é obtida pelas equações (19) e (20):

$$[Z_{ph}] = ([T_{Clarke}]^T)^{-1} [Z_Q] [T_{Clarke}] \quad (19)$$

$$[Y_{ph}] = [T_{Clarke}] [Y_Q] [T_{Clarke}]^T \quad (20)$$

Onde $[Z_Q]$ e $[Y_Q]$ são matrizes diagonais compostas pelos parâmetros e transversais no domínio dos modos, respectivamente, obtidos pelo método de estimação de parâmetros aplicado a cada modo. Os termos $[Z_{ph}]$ e $[Y_{ph}]$ são as matrizes estimadas de impedância longitudinal e admitância transversal no domínio das fases, mostradas em (21) e (22).

$$[Z_{ph}] = \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} & Z_{AB} \\ Z_{BA} & Z_{BB} & Z_{BC} \\ Z_{CA} & Z_{CB} & Z_{CC} \end{bmatrix} (\Omega km^{-1}) \quad (21)$$

$$[Y_{ph}] = \begin{bmatrix} Y_{AA} & Y_{AB} & Y_{AB} \\ Y_{BA} & Y_{BB} & Y_{BC} \\ Y_{CA} & Y_{CB} & Y_{CC} \end{bmatrix} (S km^{-1}) \quad (22)$$

Essas matrizes contêm os elementos de impedância e admitância próprios e mútuos que caracterizam a linha de transmissão trifásica no instante que as medições nos terminais da linha foram registradas.

III. RESULTADOS

O método proposto é aplicado a uma linha de transmissão trifásica equilibrada V_E de 440kV e com uma carga Z_L de $1299.6+629.43 i \Omega$ por fase, como mostrado na Fig. 3.

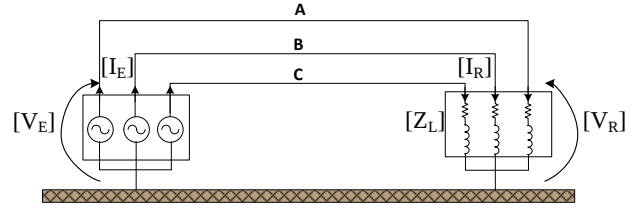


Fig. 3. Sistema de transmissão trifásico balanceado

Na Fig. 3 as matrizes $[V_E]$ e $[V_R]$ são matrizes de ordem $3 \times n$, cada linha na matriz é uma fase do sistema e cada coluna contém o valor de uma medição da tensão no terminal emissor e receptor, respectivamente. Da mesma forma, as matrizes $[I_E]$ e $[I_R]$ contêm as n medições das correntes por fase no terminal emissor e receptor, respectivamente. A torre da linha de transmissão possui simetria vertical e os cabos condutores podem estar idealmente transpostos ou não conforme a Fig. 4.

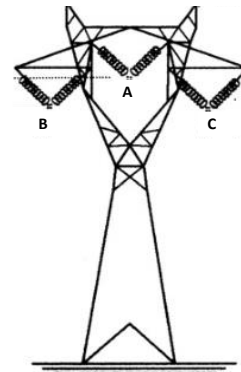


Fig. 4. Torre de linha de transmissão com simetria vertical.

As medições das correntes e tensões nos terminais da linha foram obtidas por simulações no domínio do tempo usando MATLAB® para um curto fase-terra durante um período de 0,05s, e cada medição foi registrada com uma taxa de amostragem de 10kHz. A estimação dos parâmetros foi feita seguindo a metodologia proposta, descrita no diagrama da Fig. 5, para diferentes comprimentos de linha entre 5 km-600 km.

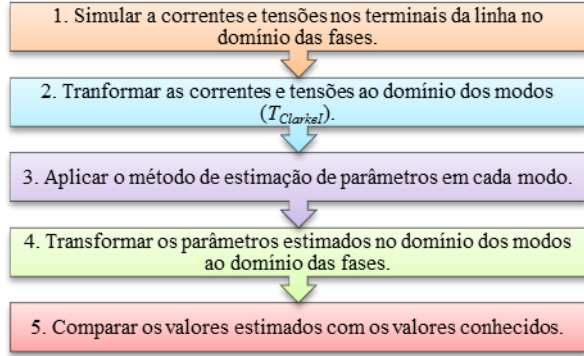


Fig. 5. Metodologia Proposta.

Os parâmetros estimados foram validados com os valores teóricos da linha através da seguinte relação (21):

$$\%Erro = \left(\frac{|p' - p|}{p} \right) 100\%. \quad (21)$$

Onde, %Erro refere-se à porcentagem de erro relativo, p' é o valor do parâmetro fornecido pelo método de estimação proposto e p é o valor teórico do parâmetro que foi usado para simular o sistema de transmissão inicialmente e obter as medições das grandezas no terminal da linha. O comportamento da estimação dos elementos próprios e mútuos para cada parâmetro, no caso de linha idealmente transposta, é apresentado nas Figs. 6-11.

Nas Figs. 6 e 7, o erro relativo dos valores estimados pelo método proposto para cada falta atinge o 0% de erro para determinado comprimento, elementos próprios próximo ao 400 km e elementos mútuos próximos aos 350 km. Este comportamento é idêntico ao comportamento da estimação do parâmetro da resistência para uma linha monofásica [11]. O método de estimação empregado oferece uma boa aproximação para comprimentos menores aos 600 km.

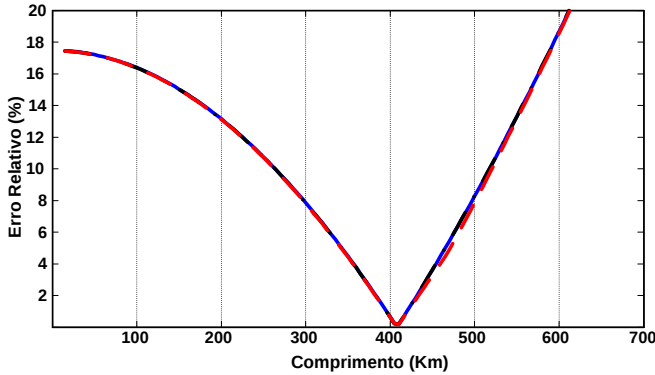


Fig. 6. Erro relativo da estimação da resistência própria para uma falta fase-terra na fase A (azul), fase B (preto), fase C (vermelho).

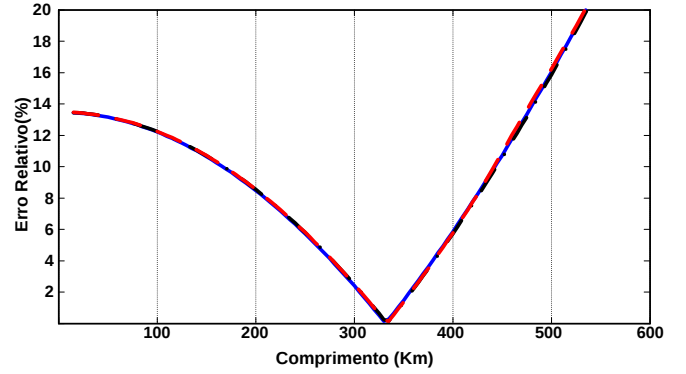


Fig. 7. Erro relativo da estimação da resistência mútua para uma falta fase-terra na fase A (azul), fase B (preto), fase C (vermelho).

As Figs. 8 e 9 mostram o erro relativo devido à estimação dos elementos da matriz de indutância. Verifica-se que o método proposto fornece o mesmo valor estimado independentemente da fase que coloca o sistema em estado transitório. O comportamento da indutância própria e mútua cresce exponencialmente com o comprimento da linha. O método proposto fornece valores estimados com um erro relativo menor a 20% para linhas com transposição menores a 700km nos elementos próprios Fig. 8 e 600 km nos elementos mútuos Fig. 9

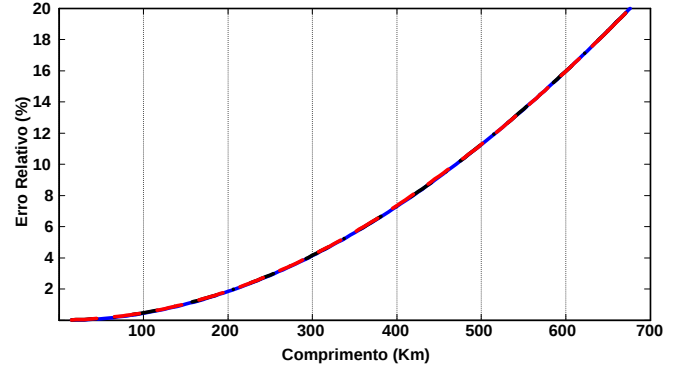


Fig. 8. Erro relativo da estimação da indutância própria para uma falta fase-terra na fase A (azul), fase B (preto), fase C (vermelho).

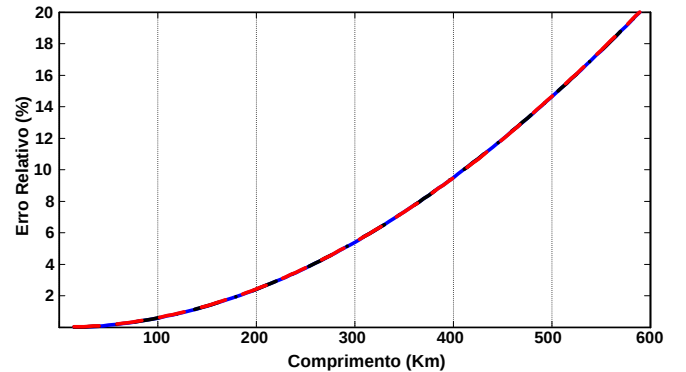


Fig. 9. Erro relativo da estimação da indutância mútua para uma falta fase-terra na fase A (azul), fase B (preto), fase C (vermelho).

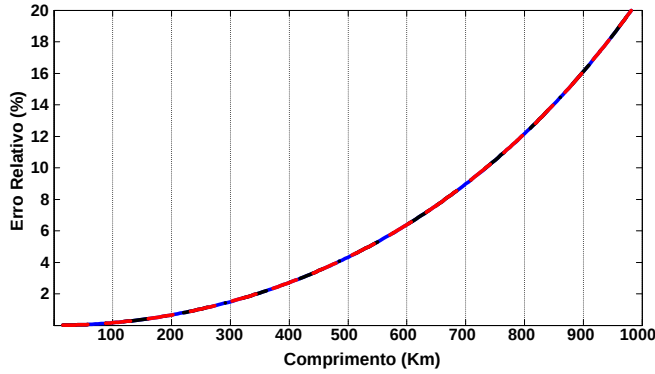


Fig. 10. Erro relativo da estimativa da capacitância própria para uma falta fase-terra na fase A (azul), fase B (preto), fase C (vermelho).

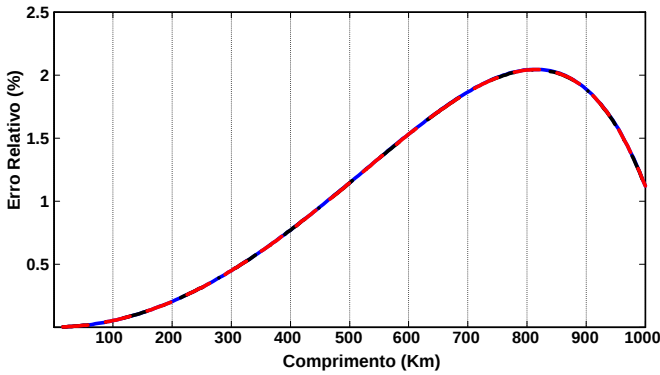


Fig. 11. Erro relativo da estimativa da capacitância mútua para uma falta fase-terra na fase A (azul), fase B (preto), fase C (vermelho).

Nas Figs. 10 e 11, os erros relativos da estimativa da capacitância própria e mútua respectivamente são apresentados. O método proposto oferece uma excelente aproximação deste parâmetro para linhas de comprimento até 1000 km. Note-se que o erro relativo dos elementos mútuos é muito menor que aquele dos elementos próprios e independe da fase em curto.

Para linhas de transmissão sem transposição, a matriz para cada parâmetro é simétrica, ou seja, os elementos próprios e mútuos entre as fases B e C são diferentes daqueles elementos em relação com a fase A. As Figs. 12-17 mostram o método de estimativa aplicado para essa configuração para linhas de 5 até 350 km:

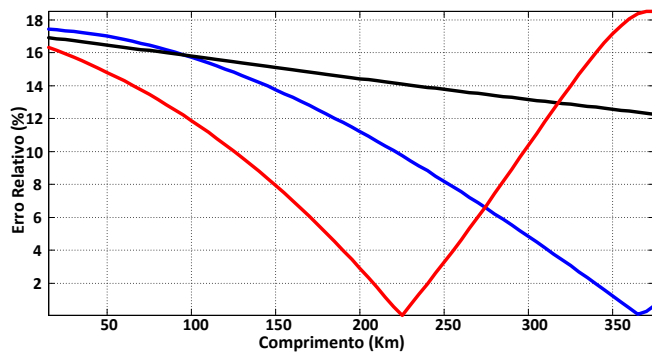


Fig. 12. Erro relativo da resistência própria da fase A quando existe uma falta fase-terra na fase A (azul), B (preto) e C (vermelho).

Observa-se na Fig. 12 que a resistência própria apresentada um erro relativo pequeno para comprimentos de entre 150 até

350 km, dependendo da fase onde a falta ocorre. Note-se que neste caso existem curvas diferentes para cada falta havendo uma diferença em relação das linhas com transposição, onde a matriz de Clarke decompõe a linha em seus modos exatos. Na Fig. 13 se apresenta a estimativa da resistência mútua entre a fase A e B, devido à simetria da linha esse comportamento se repete para todos os elementos da matriz de resistência relacionados com a fase A.

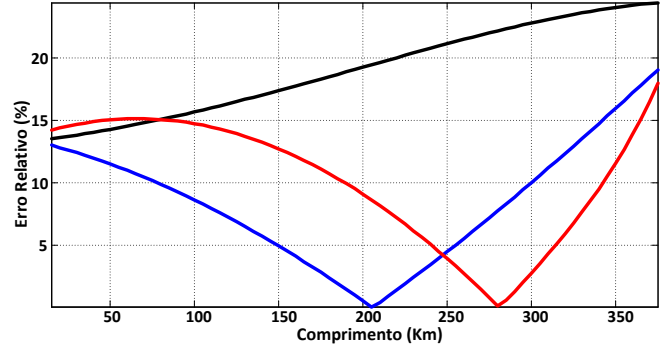


Fig. 13. Erro relativo da resistência mútua entre a fase A e as fase B quando existe uma falta fase-terra na fase A (azul), B (preto) e C (vermelho).

Nas Figs. 14 e 15 se mostra o comportamento da estimativa da indutância própria e mútua, respectivamente, para cada fase em falta. O erro relativo da indutância própria e mútua é menor a 10% e a curva de crescimento é menos pronunciada.

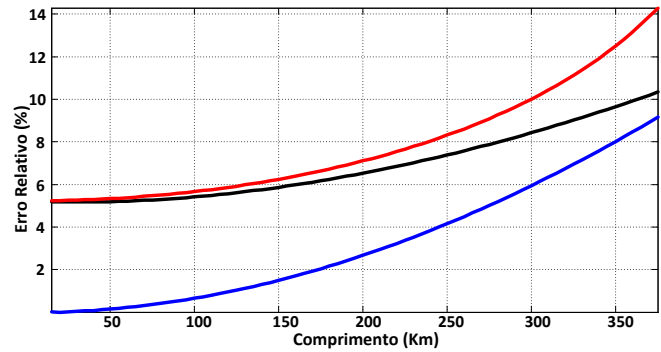


Fig. 14. Erro relativos da indutância própria da fase A quando existe uma falta fase-terra na fase A (azul), B (preto) e C (vermelho).

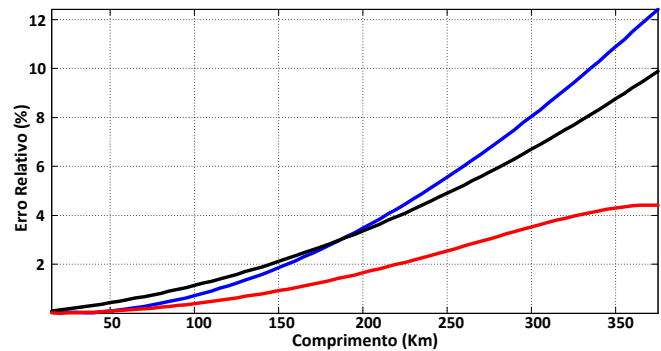


Fig. 15. Erro relativo da indutância mútua entre a fase A e as fase B quando existe uma falta fase-terra na fase A (azul), B (preto) e C (vermelho).

Na Fig. 16 a capacitância própria apresenta um erro relativo para linhas de até 350 km no maior que 6% quando a falta existe na fase B ou C, porém o erro relativo quando a falta ocorre na fase A é maior, mas não atinge o 15% para linhas de 350 km.

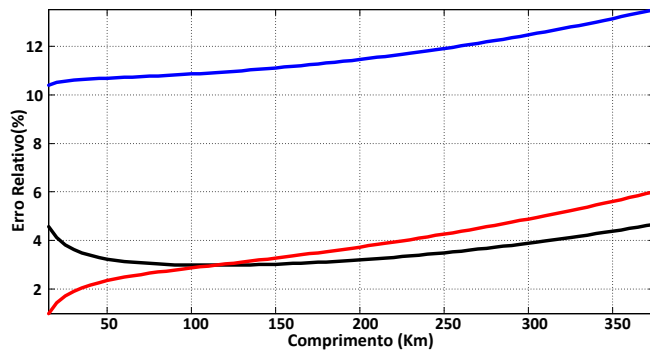


Fig. 16. Erro relativo da capacitância própria da fase A quando existe uma falta fase-terra na fase A (azul), B (preto) e C (vermelho).

Na Fig. 17 se apresenta a estimativa da capacitância mútua entre a fase A e B, devido à simetria da linha esse comportamento se repete para todos os elementos da matriz de resistência relacionados com a fase A. Os resultados mostram que o erro relativo da capacitância mútua entre as A e B quando a falta ocorre na fase B ou C é menor de quando ocorre na fase A.

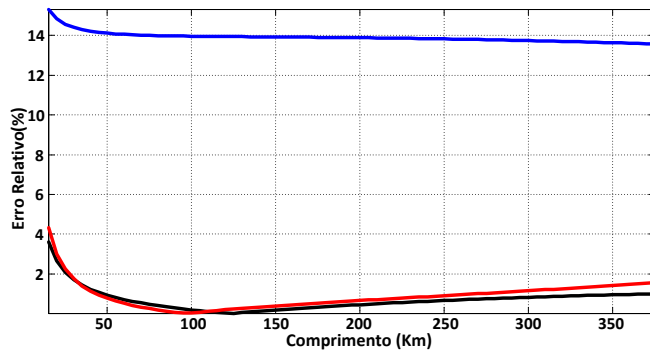


Fig. 17. Erro relativo da capacitância mútua entre a fase A e as fase B quando existe uma falta fase-terra na fase A (azul), B (preto) e C (vermelho).

Os resultados mostram que para linhas com idealmente transpostas o método alcança erros relativos de igual magnitude (menores ao 20%) para quase o dobro do comprimento que em linhas sem transposição.

IV. CONCLUSÕES

A estimativa dos parâmetros foi feita para registros sincronizados das correntes e tensões nos terminais de uma linha trifásica quando existe em uma fase uma falta fase-terra. Essa metodologia oferece conhecer os parâmetros com uma melhor precisão, ajudando a localizar a falta e melhorar o fluxo de potência do sistema em tempo real.

Observa-se que os valores estimados para uma linha com simetria vertical idealmente transposta independem da fase em falta e que o erro relativo cresce exponencialmente com o comprimento da linha.

Verifica-se que a matriz de Clarke permite desacoplar uma linha de transmissão idealmente transposta com simetria vertical em seus modos exatos. Devido que os parâmetros da linha de transmissão são desconhecidos é possível usar essa matriz conhecida e invariante com a frequência para linhas trifásicas e assim empregar o método de estimativa de

parâmetros para uma linha monofásica a cada modo satisfatoriamente.

Examina-se que devido à representação de cada modo como único circuito π , o erro relativo cresce exponencialmente em função do comprimento da linha, embora a metodologia apresentada em linhas trifásica com transposição oferece para cada parâmetro estimado uma boa aproximação para linhas de até 600 km e para linhas sem transposição para linhas de até 300 km. Espera-se que o erro devido à representação como um único circuito π diminui se a linha é dividida em segmentos e cada segmento se representara por um circuito π . Isto é possível fazendo uso dos novos sensores que permitem o monitoramento sincronizado em tempo real através da tecnologia GSM.

REFERÊNCIAS

- [1] Hofmann L. "Series expansions for line series impedances considering different specific resistances, magnetic permeabilities and dielectric permittivities of conductors, air and ground". *IEEE Trans. Power Delivery*, v. 18, n. 2, pp. 564-570, 2003.
- [2] Marti L. "Low order approximation of transmission line parameters for frequency-dependent models". *IEEE Trans Power App. and Syst.*, v. PAS-102, n. 11, pp. 3582-3589, 1983.
- [3] Martinez J. A., Gustavsen B., Durbak D. "Parameter determination for modelling system transients - Part I: Overhead lines". *IEEE Trans. Power Delivery*, v. 20, n. 3, pp. 2038-2040, 2005.
- [4] Lima A. C. S., Portela C. "Inclusion of frequency-dependent soil parameters in transmission line modeling". *IEEE Trans. Power Delivery*, v. 22, n. 1, pp. 492-499, 2007.
- [5] Dan A. M., Raisz D. "Estimation of transmission line parameters using wide-area measurement method". *Proc. IEEE/PES Trondheim Powertech*, Trondheim, Noruega, 2011.
- [6] Yuan Liao. "Algorithms for Power System Fault Location and Line Parameter Estimation". SSST '07. Thirty-Ninth Southeastern Symposium on System Theory, Macon, Georgia, USA, 2007
- [7] Dasgupta, K., Soman, S.A. "Line parameter estimation using phasor measurements by the total least squares approach". *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES)*, Vancouver, BC, Canada, 2013.
- [8] Zhan Min, Zhou Su-quan, Li Bi-jun, Li Lei, Lin Gui-hua, Yi Jia-liang. "Parameter Estimation of Transmission Line Based on GATS". *International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*, v.2, Hangzhou, China, 2010.
- [9] Kurokawa S., Asti G. A., Costa E. C. M., Pissolato J. "Simplified procedure to estimate the resistance parameters of transmission lines". *Electrical Engineering*, v. 95, n. 3, pp. 221-227, 2013.
- [10] Asti, G.A., da Silva, R.C., Kurokawa, S., da Costa, E.C.M., "Identification of Transmission Line Parameters from Temporal Measurements of Currents and Voltages in Their Terminals: Influence on the Length Line" *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, CA, USA, 2012
- [11] Pineda, J.T.R., da Costa, E.C.M., Kurokawa, S., "Estimação dos Parâmetros Elétricos de Linhas de Transmissão: Restrições e Novas Propostas", *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, Foz do Iguaçu, Brasil, 2014.
- [12] Schulze, R., Schegner, P., Zivanovic, R. "Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines Using Fault Records Obtained From Protective Relays". *IEEE Transactions on Power Delivery*, v.26, n.2, pp.1265-1272, 2011
- [13] Schulze, R., Schegner, P. "Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines". *IEEE Bucharest Power Tech Conference*, Bucharest, Romania, 2009.
- [14] LONG, R.WILSON; GELOPULOS, D., "Component Transformations - Eigenvalue Analysis Succinctly Defines Their Relationships," *Power Engineering Review, IEEE*, vol.2, no.10, pp.57,58, Oct. 1982.
- [15] Brandao Faria, J.A.; Briceno Mendez, J.H., "Modal analysis of untransposed bilateral three-phase lines-a perturbation approach," *Power Delivery, IEEE Transactions*, vol.12, no.1, pp.497,504, Jan 1997