

MODELUL MATEMATIC “LINIE ELECTRICĂ – INSTALAȚIE EOLIANĂ”

V. Merenco, doctorand IE AȘM

Rezumat. În lucrare se examinează problema întocmirii modelului matematic a sistemului ”linie electrică - instalație eoliană” pentru analiza regimului de funcționare prin simulări matematice. Modelul se bazează pe utilizarea metodei caracteristicilor, ține cont de structura neomogenă a circuitului și permite efectuarea procedurilor de schimbare a regimului și structurii schemei echivalente prin atribuirea valorilor limită a unor mărimi din circuitele cu parametri concentrați.

Cuvinte-cheie: linie electrică, instalație eoliană, model matematic, metoda caracteristicilor.

Математическая модель «электрическая линия – ветроагрегат» Меренко В., аспирант ИЭ АНМ

Аннотация. В работе рассмотрена проблема составления математической модели для цепи «электрическая линия – ветроагрегат» с целью анализа режимов работы методом математического моделирования. Математическая модель базируется на метод характеристик, учитывает неоднородность цепи и позволяет реализовать различные режимы и изменений в структуре цепи простым изменением значений величин заданных как сосредоточенные параметры.

Ключевые слова: электрическая линия, ветроагрегат, математическая модель, метод характеристик.

Mathematical model “The electric line - wind farm” V. Merenco, post-graduate student of the IPE ASM

Abstract. It is considered the problem of finding of the mathematical model of a circuit “electric line – wind farm” with the purpose of analysis of operating modes by a method of mathematical simulation. The mathematical model is based on a method of characteristics, takes into account heterogeneity of a circuit and allows realizing various modes and changes in structure of a circuit simple change of values of sizes set as the concentrated parameters.

Key words: electric line, wind farm, mathematical model, method of characteristics.

Introducere

Instalațiile eoliene au o gamă largă de puteri și pot funcționa atât în regim autonom, cât și în paralel cu rețeaua de distribuție. La funcționarea în paralel cu rețeaua sunt posibile multiple regimuri tranzitorii, condiționate de viteza variabilă a vântului [1-6]. Pulsațiile puterii active, variația tensiunii generatorului instalației eoliene pot influența asupra regimului rețelei. Studiarea experimentală a acestor regimuri este destul de dificilă, deoarece factorii exteriori, care influențează asupra regimului au un caracter aleator. Ca formă de cercetare a acestor regimuri se prezintă simulările matematice [1-6]. Modelele matematice utilizate se bazează pe prezentarea echipamentelor reale prin cuadripoli, a circuitelor prin scheme echivalente monofilare cu sursa de generare și sarcina conectată la capetele marginale a circuitului electric [1,3], convertorul electromecanic (generatorul) se prezintă în sistemul de coordonate d-q [4].

În lucrarea dată se abordează problema includerii în circuitul liniei electrice a sursei de generare, a cărui regim de funcționare depinde de viteza vântului, este conectată la linie într-un punct aliator și totodată să se țină cont de parametrii acestei linii electrice, care în regimuri tranzitorii se poate comporta ca o porțiune de circuit cu parametri distribuți.

Modelul matematic “linie electrică – instalație eoliană”.

Linia electrică prezintă un circuit cu parametri distribuți și procesele nestaționare în ea se descriu de ecuațiile telegrafistilor [7]. La linie se poate conecta o instalație sau mai multe instalații eoliene de putere mică. În comparație cu linia aceste surse se pot prezenta în schemă

echivalentă cu parametri concentrați. În fig.1 se prezintă schema echivalentă a liniei alimentată de la bare cu puterea nelimitată și de o instalație eoliană amplasată în punctul cu coordonata x_k :

unde l – lungimea liniei;

L, C, R, G – parametrii distribuiți ai liniei;

Z_s – sarcina liniei;

Z_g – impedanța internă a generatorului;

$e_g(t, v)$ – tensiunea electromotoare a generatorului instalației eoliene.

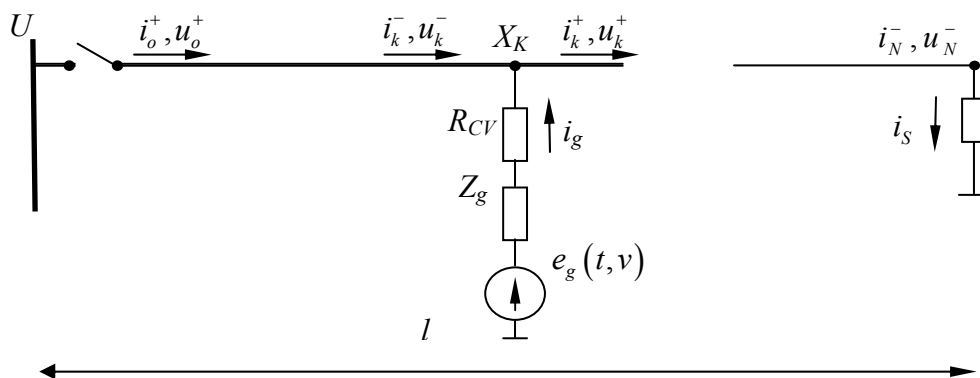


Fig.1. Schema echivalentă a circuitului „liniei electrice -instalație eoliană”

La faza curentă a studiului vom admite, că ne este cunoscută relația funcțională a evoluției tensiunii de ieșire a generatorului în funcție de viteza vântului $e_g = f(t, v)$. Impedanța interioară Z_g a generatorului determină puterea nominală a acestei surse.

La funcționarea în paralel cu linia a instalației eoliene sunt posibile regimurile, când tensiunea electromotoare a generatorului $e_g = E_{g.\max} \sin \omega t$ depășește valoarea tensiunii

$u_k = U_{k.\max} \sin \omega t$ a rețelei în punctul x_k și generatorul furnizează energie în rețea. Dar este posibilă și varianta $E_{g.\max} < U_{k.\max}$ și ca urmare instalația eoliană se va transforma în consumator de energie. Acest regim se exclude prin deconectarea de la rețea a instalației eoliene de un comutator dirijat automat.

Deoarece procesele electromagnetice în linie derulează cu o viteză limitată, reiese că în circuitul examinat persistă fenomenele de întârziere privind evoluția undelor de tensiune.

Particularitățile evidențiate anterior trebuie să fie percepute de modelul matematic. Se pot propune următoarele ipoteze și soluții privind realizarea modelului matematic al liniei și instalației eoliene:

1) comutatorul se modelează cu ajutorul unui rezistor R_c introdus în serie cu circuitul generatorului;

2) conexiunea instalației eoliene la linie în model se face cu o întârziere de timp; coordonata punctului x_k coincide cu coordonata nodului întreg al rețelei de calcul;

3) impedanța Z_g include componenta activă R_g și componenta inductivă X_g ;

4) în schema de calcul numeric mărimii R_c i se atribuie valoarea $R_c = 0$, dacă se îndeplinește condiția $P_g = E_g I_g \cos \varphi_g \geq 0$ și $R_c = \infty$, dacă se îndeplinește condiția $P_g = E_g I_g \cos \varphi_g < 0$.

În circuitul din fig.1 se pot evidenția trei puncte caracteristice: $x_o = 0$ – începutul liniei; x_k – punctul de conexiune a instalației eoliene; x_N – sfârșitul liniei la care este conectată în caz general sarcina cu caracter $R_s L_s C_s$.

Pentru a realiza modelul matematic este necesar, ca în aceste puncte să fie definite condițiile de limită și inițiale:

a) $i_o = i_{1/2}^+$; $u_{1/2}^+ = U_m \sin \omega t$ pentru $x = 0, t > 0$;

- b) $i_k^- + i_g - i_k^+ = 0$; $u_k^- = u_k^+ = u_k = -R_c i_g - R_g i_g - L \frac{di_g}{dt} + e_g(t, v)$, pentru $x = x_k$, $t \geq n\tau$;
- c) $i_N^- = i_s$; $u_N^- = u_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i_s dt$, pentru $x = l$, $t > 0$.

Modelul matematic al circuitului examinat se poate prezenta în diferențe finite de ecuația matriceală [8]

$$BX=Y, \quad (1)$$

unde: X – vectorul transpus al variabilelor necunoscute u_i, i_i ;

Y – vectorul coloană a mărimilor cunoscute (din dreapta) pentru sistemul neomogen de ecuații în diferențe finite;

B – matricea coeficienților de pe lângă variabilele necunoscute a sistemului de ecuații prezentat în diferențe finite.

Expresiile mărimilor B, X, Y pentru punctele marginale ale liniei $x = 0$ și $x = l$ sunt prezentate în [8]. Pentru punctul $x = x_k$ de conexiune la linie a instalației eoliene componentele relației (1) se prezintă de următoarele expresii:

$X = (i_k^-, i_k^+, i_g, u_k^-, u_k^+, u_k)^T$ - vectorul transpus al variabilelor necunoscute în punctul $x = x_k$.

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & aC & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -aC & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & b_{63} & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \text{ - matricea coeficienților,}$$

a – viteza de propagare a undelor de curent și tensiune în linie și $a = \frac{1}{\sqrt{LC}}$;

L, C – inductanța și capacitatea lineică a liniei;

$Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6)^T$ - vectorul transpus a mărimilor cunoscute:

unde $Y_1 = i_{n-1/2} + aCu_{n-1/2}$; $Y_2 = i_{n+1/2} - aCu_{n+1/2}$;

$$Y_3 = Y_4 = Y_5 = 0; \quad Y_6 = -\frac{L_g i_n}{\tau}$$

$$b_{63} = \frac{-L_g}{\tau} - R_c - R_g + e_g(t, v).$$

Valorile mărimilor $i_{n-1/2}, u_{n-1/2}$ și a mărimilor i_n, u_n se determină după metoda caracteristicilor pentru $t_{n+1} = t_n + \tau$ [8], unde

τ - pasul de discretizare a timpului în schema numerică de calcul;

n – numărul de cicluri elementare efectuate pentru care sunt cunoscute valorile $i_{n-1/2}, u_{n-1/2}, i_{n+1/2},$

$u_{n+1/2}$ în seminoduri ale rețelei numerice de calcul (pentru timpul t_n).

Concluzie.

O particularitate a modelului propus constă în aceea că este posibilă schimbarea valorilor parametrilor concentrați în timpul procedurii de calcul numeric neîntrerupt. Astfel este ușor de

modelat regimurile de conectare și deconectare a circuitelor cu parametri concentrați la linie, de exemplu prin atribuirea valorilor zero sau infinit (foarte mare) mărimii R_{CV} din circuitul generatorului sau pentru formarea regimului conectat sau deconectat a sarcinii de la capătul liniei, deci iarăși prin simpla atribuire a valorilor zero sau infinit, de exemplu a componentei R_s sarcinii Z_s . Modalitatea propusă permite efectuarea multiplelor simulări matematice a regimului în acest circuit pentru diferite viteze ale vântului v , care și determină valoarea tensiunii electromotoare a generatorului. Ridicarea complexității modelului se face prin extinderea în programul de calcul numeric a numărului de puncte specifice care corespund conexiunilor noilor instalații eoliene.

Bibliografia

- 1 Sorensen P. Hansen A.D., Bllaabjwerg F. ,Bech J. Dynamic Models for Interaction between Wind Turbines and Power Systems.
http://www.actapress.com/Content_Of_Proceeding.aspx?
- 2 Muljadi E., Butterfield C.P., Conto J., Donoho K. ERCOT's Dynamic Model of Wind Turbine Generators. *Conference Paper*, NREL/CP-500-38126, August 2005
- 3 Electrical Guide to Utility Scale Wind Turbines. AWEA. Policy Department, 1101 14th Street NW, Washington, DC 2005 , 31 p.
- 4 Pierik J.T.G. (ECN), Morren J. (TUD). Variable Speed Wind Turbine Dynamic Model Validation. JWT measurements and simulations. ECN-E-07-008, ECN project numbers: 7.4336 and 7.9463, January 2007
- 5 Soens J., Driesen J., Belmans R. Interaction between Electrical Grid Phenomena and the Wind Turbine's Behaviour. K.U.Leuven, Department Electrotechnical Engineering ESAT-ELECTA Kasteelpark Arenberg 10, B-3001, Heverlee, Belgium. E-mail: joris.soens@esat.kuleuven.ac.be
- 6 Hassan H. El-Tamaly, Mohamed A. A. Wahab and Ali H. Kasem. Simulation of Directly Grid-Connected Wind Turbines for Voltage Fluctuation Evaluation. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 Vol.2, No.1 (2007), pp. 15–30
- 7 Bessonov L.A. BTE. *Electriceschie țepi.M:Vîșșia școla,1984.-559p.*
- 8 Berzan V., Rimschi V. *Procese nestaționare în circuite electrice nneomogene./Sub red. Prof. Petru Postolache. Combinatul Poligrafic.Chișinău: 1998. -412p.*

Lucrarea este îndeplinită în cadrul proiectului „*Elaborarea și încercarea generatorului asincron trifazat cu turații joase și cu excitație capacitivă*”, cifrul 44.001P, Hotărârea CSȘDT nr. 2 din 28.01.05, Programul de stat „*Asigurarea competitivității produselor industriale în construcția de mașini în baza inovațiilor Know-How, materialelor noi și a tehnologiilor avansate*”

Informații despre autor.

V. Merenco. Doctorand al Institutului de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei. Primul an de studii cu frecvență redusă.

Prezentat: 03.11.2008