

CALCOLO ESATTO DELLE SOVRATENSIONI INDOTTE DA FULMINAZIONE INDIRETTA

A. Andreotti, D. Assante, F. Mottola, L. Verolino

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università Federico II di Napoli
Via Claudio, 21 I-80125 Napoli

In questa memoria si presenta la soluzione esatta in forma chiusa della sovratensione indotta da fulminazione indiretta su una linea di trasmissione. Questo è un argomento classico nella letteratura scientifica rivolta ai problemi di fulminazione e diversi modelli sono stati proposti per risolvere il problema, che pur tuttavia offrono sempre una soluzione approssimata.

Una prima espressione della sovratensione indotta è stata proposta da Rusck [1] ed è stata adottata dallo standard IEEE 1410-2004. Successivamente sono state proposte delle soluzioni da Chowdhuri e Gross [2], da Liew e Mar [3] e più recentemente da Høidalen [4].

I modelli fisici per i quali sono state ricavate le formule sono due, in quanto il canale di scarica perfettamente verticale può essere supposto inizialmente carico (Figura 1-a) o scarico (Figura 1-b). Il terreno è perfettamente conduttore.

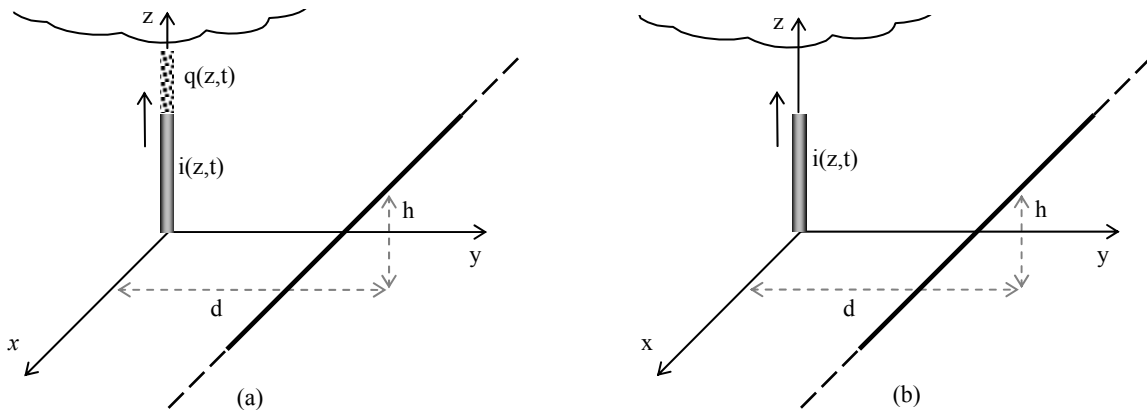


Figura 1: geometria del problema.

La corrente lungo il canale di scarica si assume con fronte d'onda a gradino e senza alcuna attenuazione lungo l'altezza, come nel modello di Rusck. In tali ipotesi è possibile risolvere il problema di campo elettromagnetico nel dominio del tempo in forma chiusa e calcolare quindi il campo irradiato dal fulmine nei due casi esposti in Figura 1.

Per effettuare l'accoppiamento fra il campo elettromagnetico e la linea di trasmissione monofilare, supposta infinita, si utilizza il modello di accoppiamento di Taylor. Seguendo tale approccio, in generale la sovratensione indotta si può valutare attraverso l'espressione:

$$v(x, t) = -\int_0^h e_z(x, d, z, t) dz - \frac{1}{2} \int_x^\infty e_L\left(\xi, d, t - \frac{\xi - x}{c}\right) d\xi - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^x e_L\left(\xi, d, t + \frac{\xi - x}{c}\right) d\xi,$$

dove e_z è la componente verticale del campo elettrico ed e_L è la componente tangente alla linea, mentre c è la velocità della luce nel vuoto.

Risolvendo i precedenti integrali si trova la seguente espressione della sovratensione indotta:

$$v(x, t) = v_1(x, t) + v_1(-x, t) + v_2(x, t) + v_2(-x, t),$$

con

$$v_1(x, t) = \frac{\zeta_0 I_0}{8\pi\beta} \left[\ln \frac{\lambda_m - \beta x_1 + \sqrt{(\lambda_m - \beta x_1)^2 + \delta_1^2}}{\lambda_p - \beta x_1 + \sqrt{(\lambda_p - \beta x_1)^2 + \delta_1^2}} + \beta \ln \frac{x_1 - \beta \lambda_m + \sqrt{(\beta x_1 - \lambda_m)^2 + \delta_1^2}}{x_1 - \beta \lambda_p + \sqrt{(\beta x_1 - \lambda_p)^2 + \delta_1^2}} + \right. \\ \left. - \beta \ln \frac{x - \beta \lambda_m + \sqrt{(\beta x - \lambda_m)^2 + \delta^2}}{x - \beta \lambda_p + \sqrt{(\beta x - \lambda_p)^2 + \delta^2}} \right],$$

$$v_2(x, t) = \frac{\zeta_0 I_0}{8\pi\beta} \left[\ln \frac{h + \sqrt{d^2 + h^2 + x_1^2}}{-h + \sqrt{d^2 + h^2 + x_1^2}} + \beta^2 \ln \frac{\beta ct + h + \sqrt{(\beta ct + h)^2 + \delta^2}}{\beta ct - h + \sqrt{(\beta ct - h)^2 + \delta^2}} \right],$$

essendo β il rapporto fra la velocità del fulmine e quella della luce, $\delta = \sqrt{1 - \beta^2} \sqrt{d^2 + x^2}$,

$$\lambda_p = \beta(ct - x) + h, \quad \lambda_m = \beta(ct - x) - h, \quad x'_1 = -\frac{1}{2} \frac{(ct - x)^2 - h^2 - d^2}{ct - x}, \quad x_1 = \frac{1}{2} \frac{(ct + x)^2 - h^2 - d^2}{ct + x}.$$

È interessante osservare che il campo elettromagnetico prodotto dal fulmine è differente se il canale è carico o meno, ma la sovratensione indotta ha sempre la stessa espressione.

Nelle figure 2 e 3 è riportato un confronto fra la soluzione analitica e le formule approssimate di Rusck e Chowdhuri-Gross, scegliendo $h = 10$ m, $d = 50$ m, $\beta = 0,4$, $I_0 = 10$ kA.

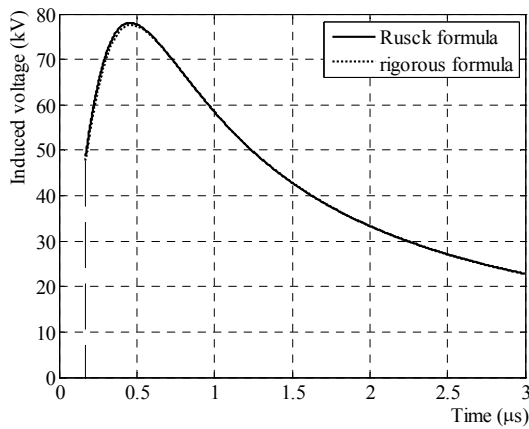


Figura 2: confronto fra sovratensioni indotte.

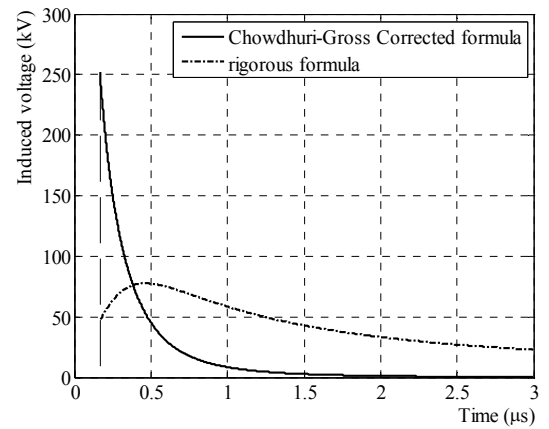


Figura 3: confronto fra sovratensioni indotte.

Bibliografia

- [1] S. Rusck, "Induced Lightning over-voltages on power transmission lines with special reference to the overvoltage protection of low-voltage networks", Trans. Royal Inst. of Tech., no. 120, Stockholm, Sweden, p. 16, 1958.
- [2] P. Chowdhuri and E. T. B. Gross, "Voltage surges induced on overhead lines by lightning strokes," Proc. Iee, Vol. 114, no. 12, pp. 1899–1907, Dec. 1967.
- [3] A. C. Liew, and S. C. Mar, "Extension of the Chowdhuri – Gross Model for Lightning Induced Voltage on Overhead Lines," IEEE Trans. Power Systems, vol. 1, no. 2, pp. 240–247, 1986.
- [4] H. K. Høidalen, "Analytical Formulation of Lightning-Induced Voltages on Multiconductor Overhead Lines Above Lossy Ground," IEEE Trans. Electromag. Compat., vol. 45, no. 1, pp. 92–100, Feb. 2003.