

UN MODELLO DINAMICO PER LA SIMULAZIONE DELLA IONIZZAZIONE DI TERRENI NON OMOGENEI IN PRESENZA DI ELETTRODI DISPERDENTI ELEVATE CORRENTI IMPULSIVE

Guido Ala, Pietro L. Buccheri, Maria L. Di Silvestre, Elisa Francomano, Pietro Romano, Fabio Viola

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni
Università degli Studi di Palermo – Viale delle Scienze, Ed. 9 - 90128 Palermo

La caratterizzazione elettromagnetica del comportamento dinamico di elettrodi interrati, disperdenti elevate correnti impulsive, costituisce uno degli aspetti primari nella progettazione di un sistema di protezione dalle fulminazioni atmosferiche (LPS). D'altra parte, elevate correnti impulsive possono causare l'insorgere di fenomeni di ionizzazione del terreno, nelle zone prossime agli elettrodi interrati, nei punti in cui il campo elettrico totale supera il valore critico. Modelli teorici e misure sperimentali correlano l'insorgere di variazioni di conducibilità del terreno in prossimità di elettrodi interrati interessati da elevate correnti impulsive al fenomeno della ionizzazione del terreno stesso. Nella parte di terreno interessata dal fenomeno vengono modificate dinamicamente le caratteristiche fisico-chimiche correlate alla conducibilità elettrica, determinando di fatto un diverso comportamento elettromagnetico dell'intero sistema rispetto al caso di assenza di ionizzazione. Lo studio degli effetti di tale fenomeno, intesi come variazione della conducibilità del terreno, è sostanzialmente riconducibile a due tipologie di approccio, i quali consentono di affrontare secondo punti di partenza e con approssimazioni diversi il fenomeno della ionizzazione diffusa. L'approccio a geometria variabile, in cui si abbandona l'aspetto fisico del fenomeno e si considerano solo gli effetti macroscopici per mezzo di elettrodi metallici con dimensioni trasversali incrementabili in funzione dello stato di ionizzazione del terreno e l'approccio, fisicamente più rispondente alla realtà, basato sulla variazione non lineare in funzione del campo elettrico locale della conducibilità del terreno. La modellizzazione portata avanti dai ricercatori dell'unità si inquadra nell'ambito dello studio della ionizzazione diffusa ed è basata sull'implementazione mediante il metodo delle differenze finite nel dominio del tempo (FDTD) di un modello del terreno a conducibilità variabile: tale approccio non necessita di ipotesi preliminari circa la forma delle zone di terreno ionizzato intorno agli elettrodi: tali ipotesi sono comunemente adottate in letteratura, in via semplificativa. Nella attuale fase della ricerca si è implementato un nuovo modello di conducibilità dinamica del terreno. In esso la scarica nel terreno viene ricondotta alla scarica in aria, legando il fenomeno della ionizzazione ad un forte riscaldamento dei vacuoli d'aria presenti tra i grani di terreno. La resistenza del canale ionizzato nel terreno intorno agli elettrodi, viene considerata funzione della densità di corrente locale; essa è valutata impostando un bilancio energetico tra il calore generato dentro e quello dissipato fuori dal canale quando il campo elettrico locale supera il valore critico. Viene inoltre introdotta la dipendenza della conducibilità dell'aria dalla temperatura. Considerando il volume elementare del terreno di dimensioni Δx , Δy , Δz , corrispondente alla cella elementare della griglia FDTD, si separano le sostanze materiali che costituiscono il mezzo terreno dai vacuoli di aria in esso presenti: per i primi la conducibilità elettrica è considerata invariante durante il processo di ionizzazione e pari ad esempio a quella dell'acqua. Per i vacuoli di aria la conducibilità si suppone crescente con la dimensione del canale ionizzato e variabile in funzione della temperatura raggiunta, a sua volta funzione della densità di corrente. La corrente che fluisce nel suolo interessa in questo modo due diverse vie in parallelo e il valore medio della conducibilità può essere valutato come segue:

$$\sigma(T) = (\sigma_S \Delta A_S + \sigma_A(T) \Delta A_A) \left(\frac{T}{T_d} \right) / (\Delta A_S + \Delta A_A) \quad , \text{dove } \sigma_S \text{ e } \sigma_A(T), \text{ rappresentano i valori di regime}$$

della conducibilità del terreno e la conducibilità dell'aria funzione della temperatura, rispettivamente; T è il valore attuale di temperatura; T_a è la temperatura del terreno subito prima che il processo di ionizzazione abbia inizio. Appena il campo elettrico locale supera il valore critico, una fase di pre-ionizzazione istantanea crea il canale di scarica fortemente conduttivo ad una fissata temperatura (p.es. 3600 K). L'energia dissipata dentro il canale fa aumentare la temperatura del plasma. La conducibilità dentro tale canale è stimata per mezzo di dati sperimentali della conducibilità dell'aria in funzione della temperatura (Fig. 1). Iterando tale processo, viene determinato l'andamento temporale della temperatura dell'aria e dedotto il corrispondente valore di conducibilità istantanea da utilizzare nel modello FDTD del problema in esame. Il modello è stato validato per mezzo di confronto con andamenti fisici misurati e con elaborati provenienti da altri modelli. Lo scenario simulato in [4] (p. 129, fig.6), prevede l'impiego di un picchetto di 3.05 metri di lunghezza e raggio $r_0 \approx 0.0127$ metri, interrato in suolo omogeneo ($\rho_0 = 87 \Omega m$); gli elaborati della simulazione possono confrontarsi con gli andamenti sperimentali (Fig.2). Inoltre il modello messo a punto è stato impiegato per simulare il comportamento dinamico di un picchetto di un metro di lunghezza e raggio $r_0 \approx 0.014$ metri immerso in un terreno stratificato, che presenta un suolo A ($\rho_0 = 2000 \Omega m$) confinato in una fascia di 0.80 metri di profondità a partire dalla superficie calpestabile ed un suolo B ($\rho_0 = 42 \Omega m$) indefinitamente esteso dopo tale fascia. Il profilo temporale della tensione, valutata sulla testa del picchetto, è rappresentato in Fig.3. In tale figura sono anche rappresentati due casi limite: assenza di ionizzazione e terreno omogeneo di tipo A e di tipo B. Tali andamenti sono sovrapponibili a quelli presenti in [8] (p. 208, fig.4).

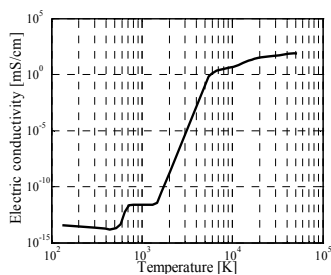


Fig. 1. conducibilità elettrica dell'aria

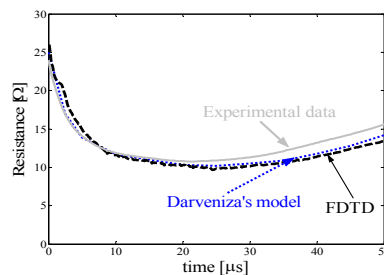


Fig. 2. Profilo temporale della resistenza di terra.

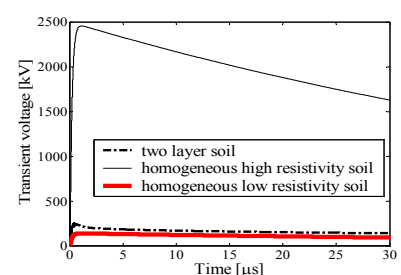


Fig. 3. Andamento del potenziale elettrico scalare nella sezione alimentata.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Ala, M.L. Di Silvestre: "A simulation model for electromagnetic transients in lightning protection systems", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, no. 4, November 2002, pp. 539-554.
- [2] A. Geri, "Behaviour of grounding systems excited by high impulse currents: the model and its validation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 3, July 1999, pp. 1008-1017.
- [3] A. Geri, G. M. Veca, E. Garbagnati, G. Sartorio, "Non-linear behaviour of ground electrodes under lightning surge currents: computer modeling and comparison with experimental results", IEEE on Magnetics, Vol. 28, No. 2, pp. 1442-1445, March 1992.
- [4] Darveniza, M., Liew, A.C.: 'Dynamic model of impulse characteristic of concentrated earths', Proc. IEE, Vol. 121, No.2, pp. 123-135, February 1974.
- [5] G. Ala, F. Viola: "Soil ionization in earth electrodes by a finite difference time domain scheme". Proceedings of IEEE EMC Symposium 2004, August 9-13 2004, Santa Clara, CA, USA.
- [6] G. Ala, E. Francomano, E. Toscano, F. Viola: "Finite Difference Time Domain simulation of soil ionization in grounding systems under lightning surge conditions". Applied Numerical Analysis & Computational Mathematics Journal, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Berlin - DE, Vol. 1, Issue 1, 2004, pp. 90-103.
- [7] V. Cooray, M. Zitnik, M. Manyahi, R. Montano, M. Rahman, Y. Liu: "Physical model of surge current characteristics of buried vertical rods in the presence of soil ionization" Journal of Electrostatics 60 (2004) 193-202.
- [8] Y. Liu, N. Theethayi, R. Thottappillil, R. M. Gonzalez, M. Zitnik, "An improved model for soil ionization around grounding system and its application to stratified soil", Journal of Electrostatics 60 (2004) 203-209.
- [9] G. Ala, P. L. Buccheri, M. L. Di Silvestre, F. Viola: "Soil ionization of earth electrodes under high pulse transient currents". Proceedings of COMPUMAG 2007, Aachen, Germany, 24-28 June, 2007 - paper PC2-11.
- [10] G. Ala, P. L. Buccheri, P. Romano, F. Viola: "FDTD simulation of earth electrodes soil ionization under lightning surge condition". IET Science, Measurement & Technology, ISSN: 1751-8822, Online: 1751-8830, DOI:10.1049/iet-smt:20070001, vol. 2, issue 3, May 2008, pp. 134-145.