

CIRCUITO EQUIVALENTE DI UN LIMITATORE DI CORRENTE SUPERCONDUTTIVO A NUCLEO SCHERMATO

M. Fabbri, A. Morandi, F. Negrini, P.L. Ribani, L. Trevisani
*Laboratorio di Superconduttività Applicata,
Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università di Bologna,*

I dispositivi di limitazione della corrente di guasto (FCL) sono componenti essenziali per l'espansione dei moderni sistemi elettrici di potenza. In particolare, se realizzati mediante l'utilizzo di tecnologie superconduttive (SCFCL), tali dispositivi riescono a combinare una impedenza trascurabile in condizioni di funzionamento nominale, una elevata impedenza in condizioni di guasto e una completa affidabilità della transizione. Benché gli SFCL, sia induttivi che resistivi, siano stati intensamente studiati, la loro interazione con i sistemi elettrici di potenza è ancora poco conosciuta. Infatti, per studiare il modo in cui un SFCL può migliorare le prestazioni di un sistema, è necessario un modello circuitale affidabile del dispositivo, da integrare nei codici di simulazione dei sistemi elettrici.

In questa memoria si presenta il modello circuitale equivalente di un limitatore di corrente superconduttivo induttivo a nucleo schermato. Nel modello si suppone che il superconduttore (SC) sia in equilibrio termico alla temperatura dell'azoto liquido. Il dispositivo è costituito da un avvolgimento primario in rame, da inserire in serie al circuito da proteggere, da un anello SC in BISCCO 2212, concentrici all'avvolgimento, e da un nucleo centrale in materiale ferromagnetico. A partire da una discretizzazione 3D dei volumi del SC e del nucleo ferromagnetico, le equazioni di Maxwell in forma quasistazionaria permettono di definire le leggi di Kirchhoff e le caratteristiche dei componenti di una rete elettrica associata al volume del SC e di una rete magnetica associata al volume del nucleo ferromagnetico [1, 2]. Il dispositivo SCFCL è quindi schematizzato tramite una rete elettrica e una rete magnetica non-lineari accoppiate. La tensione ai capi del SCFCL è espressa, utilizzando il Teorema di Poynting, in funzione delle correnti nella rete elettrica e dei flussi nella rete magnetica.

Al fine di validare il modello si sono utilizzati dati disponibili in letteratura su un limitatore di corrente superconduttivo induttivo a nucleo schermato connesso in serie al carico da proteggere e pilotato da una tensione sinusoidale alla frequenza di rete [3]. Se il materiale ferromagnetico del nucleo non satura per tutto il range di correnti previste, il modello circuitale sviluppato si semplifica considerevolmente. In figura 1 è illustrato lo schema circuitale equivalente del dispositivo SCFCL e del circuito di controllo. Si noti che la non linearità del dispositivo è dovuta esclusivamente ai resistori non lineari posti sui secondari degli induttori accoppiati; le caratteristiche di tali componenti possono essere dedotte a partire dalla legge di legame materiale del SC. Il circuito equivalente sviluppato può quindi essere semplicemente implementato in ogni codice dedicato alla simulazione dei sistemi elettrici.

Nelle figure 2 e 3 sono riportati i profili sperimentali e calcolati della corrente e della tensione ai capi del dispositivo. Il carico è cortocircuitato a 60 ms, il SCFCL interviene per un periodo, l'interruttore apre a 80 ms.

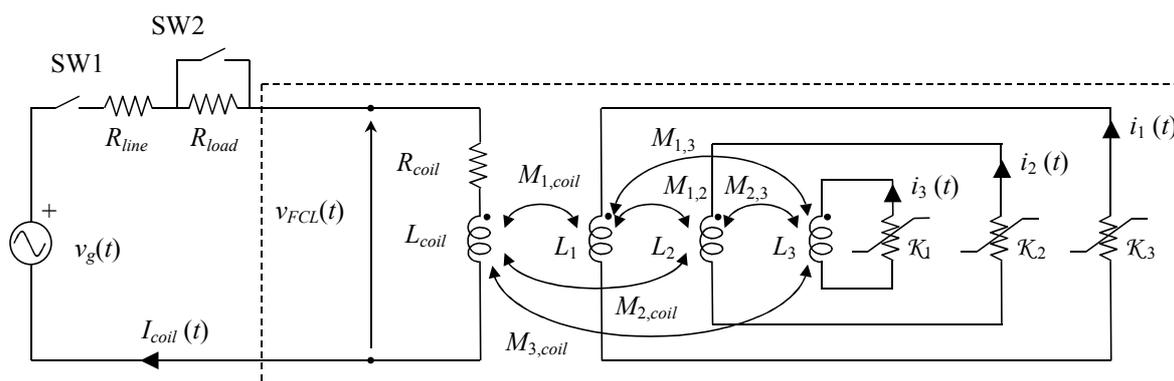


Figura 1. Schema del circuito elettrico equivalente del dispositivo SCFCL (entro la linea tratteggiata) e del circuito di controllo del dispositivo.

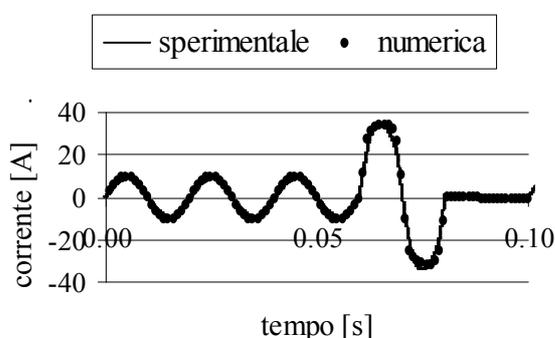


Figura 2. Corrente attraverso il SCFCL.

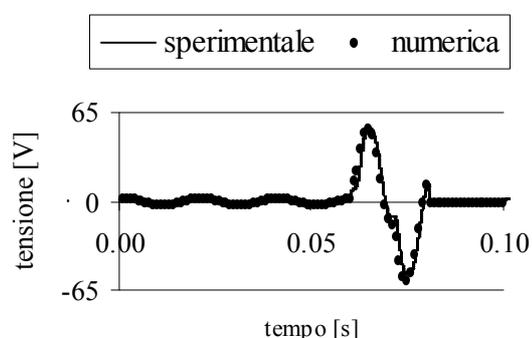


Figura 3. Tensione sul SCFCL.

Presso il Laboratorio di Superconduttività Applicata del Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Bologna è già stato realizzato un prototipo di limitatore di corrente superconduttivo a nucleo schermato [4]. Attualmente sono in fase di definizione il circuito di prova ed il sistema di acquisizione dati al fine di effettuare una campagna di rilevazioni sperimentali per la validazione del modello numerico sviluppato in differenti condizioni di funzionamento e per la valutazione degli effetti termici.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Morandi, A. Cristofolini, M. Fabbri, F. Negrini, P.L. Ribani, "Current distribution in a composite superconducting system by means of an equivalent circuit model based on a smooth E-J characteristic," *Physica C*, vol. 372-376, pp. 1771-1776, 2002.
- [2] M. Fabbri, A. Morandi, P.L. Ribani, "Magnetization distribution in a superconducting bulk by means of an equivalent circuit model based on a hysteretic material characteristic," *IEEE Trans. on Magn.*, vol. 39, n. 3, Maggio 2003.
- [3] H. Ueda, A. Ishiyama, H. Kado, M. Ichikawa, "Thermal and magnetic characteristics of bulk superconductors and performances analysis of magnetic shield type superconducting fault current limiter," *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, vol. 11, n. 1, pp. 2402-2405, Marzo 2001.
- [4] M. Fabbri, A. Morandi, F. Negrini, P. L. Ribani, L. Trevisani, "Progetto elettromagnetico e criogenico di un limitatore di corrente superconduttivo", *Atti della 18° Riunione annuale dei Ricercatori di Elettrotecnica -ET2002*, pp. P14.1-2, Messina, Giugno 2002.