

# ANALISI DELLE PERDITE IN C. A. NEI NASTRI SUPERCONDUTTORI AD ALTA TEMPERATURA CRITICA

P. La Cascia, F. Negrini, A. Cristofolini, M. Fabbri, P.L. Ribani

DIE, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

## 1. Introduzione

La tecnologia dei superconduttori ad alta temperatura critica ( $T_c$ ) permette già la costruzione dei primi dispositivi elettrici per le applicazioni di potenza. In questi dispositivi, il superconduttore ad alta  $T_c$  ha la forma di nastro sottile, le dimensioni medie della sezione sono: 4÷5 mm di larghezza e pochi decimi di mm di spessore. La lunghezza dei nastri attualmente prodotti varia da alcune centinaia di metri a oltre un chilometro. La densità di corrente raggiunge 15÷19 kA/cm<sup>2</sup>.

Le applicazioni di potenza di maggiore interesse industriale sono i cavi per la trasmissione di energia elettrica, i limitatori di corrente e gli SMES per migliorare la qualità dell'energia elettrica. Esistono anche studi e realizzazioni sperimentali di motori e trasformatori. La proprietà dei superconduttori ad alta  $T_c$  di trasportare elevate densità di corrente con perdite molto limitate permette la realizzazione di dispositivi molto compatti, quindi con volumi molto inferiori rispetto a quelli realizzati con i conduttori convenzionali.

La stabilità dello stato superconduttivo nei nastri, quando sono attraversati da corrente alternata, è fortemente correlata con le perdite generate nel nastro stesso: queste infatti generano calore che occorre asportare. Già quindi in fase di progetto occorre potere fare una valutazione di massima di queste perdite. E' quindi molto importante potere disporre di modelli che consentono di prevedere, anche se in modo approssimativo, il comportamento elettrico del nastro superconduttore ad alta  $T_c$  in diverse condizioni di funzionamento (presenza di campi esterni, temperature variabili, ecc...).

I superconduttori ad alta  $T_c$  sono materiali ceramici. Esistono diversi composti che possono essere usati per costruire nastri superconduttori ad alta  $T_c$ , tuttavia quello di maggiore interesse industriale è il Bi(Pb)SrCuCoO.

## 2. Aspetti Teorici

Nei nastri superconduttori attraversati da una corrente alternata, a causa della loro complessa struttura multifilamentare, si manifestano diversi meccanismi di perdita.

I meccanismi di perdita dominanti sono: l'isteresi magnetica nel superconduttore, per valori di corrente molto inferiori a quelli della corrente critica, e l'effetto Joule nella matrice metallica, per correnti molto superiori a quella critica. Quando nel nastro circola una corrente prossima a quella critica, i due meccanismi di dissipazione si sovrappongono.

Per il calcolo delle perdite per effetto Joule si usano i metodi validi per i conduttori ohmici convenzionali, per il calcolo delle perdite per isteresi nel superconduttore occorre invece utilizzare dei modelli nuovi.

Il modello di base per il calcolo delle perdite isteretiche nei superconduttori ad alta  $T_c$ , in autocampo, è quello di Norris che si basa sul modello dello stato critico e le cui ipotesi fondamentali sono:

1. il valore della densità di corrente nel superconduttore può assumere solo i valori  $J_c$ , 0,  $-J_c$ ;
2. il superconduttore è omogeneo;
3. la densità di corrente critica è uniforme;
4. la densità di corrente critica è indipendente dal valore del campo magnetico.

La corrente alternata che percorre il nastro superconduttore genera un campo magnetico variabile nel tempo a cui è associato un campo elettrico indotto. La presenza contemporanea di un campo elettrico e di una corrente genera una dissipazione. E' possibile, sulla base del modello di Norris, calcolare le perdite in J per ogni ciclo ed unità di lunghezza del nastro, nel caso di sezione rettangolare od ellittica, in assenza di matrice metallica.

Sebbene il modello di Norris sia molto utile per lo studio delle perdite isteretiche in nastri di BSCCO, è comunque necessario sviluppare dei modelli più complessi in grado di descrivere meglio la situazione reale del nastro, in particolare per tenere conto della struttura multifilamentare del nastro. Sono infatti presenti fenomeni dissipativi legati all'accoppiamento magnetico tra i filamenti del nastro. Inoltre la distribuzione della densità di corrente non è uniforme nella sezione del nastro ed il materiale è fortemente anisotropo.

Ai fini di un modello accurato è inoltre necessario tenere conto della dipendenza della densità di corrente critica dal campo magnetico esterno e dalla temperatura.

### 3. Attività Sperimentale

L'attività sperimentale consiste in misure di perdite elettriche in nastri di BSCCO in diverse condizioni operative. Nell'ambito di una collaborazione che il Dip. di Ingegneria Elettrica dell'Università di Bologna ha con i laboratori di Superconduttività del Polo Diagnostica e Materiali dell'ENEL Ricerche (Segrate - MI), ex CISE S.p.A., vengono effettuate studi sperimentali su nastri in diverse condizioni operative. In particolare si eseguono misure di corrente critica per diversi valori del campo magnetico e della temperatura, e misure di perdite per diversi valori della temperatura del nastro.

### Bibliografia :

1. S. Zannella, V. Ottoboni, P. La Cascia, G. Coletta, L. Gherardi, F. Gomory *Self Field AC Losses of Single Phase Bi-2223 Cable by Calorimetric Method* - proc. CIMTEC '98 Firenze - Giugno 1998
2. M. Majoros, L., S. Zannella, F. Curcio, V. Ottoboni, P. La Cascia, C. Friend, B. A. Glowacki, A. M. Campbell *Temperature dependences of Transport AC Losses in Bi-2223/Ag multifilamentary tapes* - Proc. ICMC '98 AC Loss and Stability - Univ. of Twente The Netherlands - May 1998