

STUDIO DELLA DISTRIBUZIONE DI CORRENTE NEI CAVI SUPERCONDUTTORI MULTIFILAMENTARI

M. Breschi, A. Cristofolini, M. Fabbri, F. Negrini, P. L. Ribani

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Bologna,
40137 Via Risorgimento 4, Bologna
marco.breschi@mail.ing.unibo.it, andrea.cristofolini@mail.ing.unibo.it,
massimo.fabbri@mail.ing.unibo.it, francesco.negrini@mail.ing.unibo.it
pierluigi.ribani@mail.ing.unibo.it

Un notevole problema tecnico sorto negli ultimi anni nell'utilizzo di magneti superconduttori avvolti con cavi superconduttori multifilamentari è la cosiddetta "ramp rate limitation", ovvero la diminuzione della corrente critica trasportabile dai cavi stessi rispetto a quella di progetto in presenza di rampe di corrente o di campo magnetico esterno. Questa limitazione riduce notevolmente le potenzialità di utilizzo di tali magneti in presenza di correnti o campi variabili.

Tale fenomeno è dovuto ad una disuniforme distribuzione della corrente tra i vari sottocavi che costituiscono il cavo superconduttore, per la quale alcuni sottocavi, essendo attraversati da una corrente superiore a quella critica che possono portare, subiscono il "quench", cioè transiscono allo stato normale, prima che il cavo abbia raggiunto la sua corrente critica complessiva.

Il "quench" dei primi sottocavi, generando calore per effetto Joule, si può poi estendere a tutto il cavo provocandone la transizione dallo stato superconduttivo a quello normale, con la conseguente necessità di interrompere il funzionamento del magnete.

Un ulteriore problema generato dalla distribuzione disuniforme di corrente sono le conseguenti disuniformità del campo generato dal magnete, deleterie soprattutto nel caso di magneti utilizzati negli acceleratori di particelle, dove la collimazione del fascio di particelle è tanto migliore quanto maggiore è la uniformità del campo magnetico.

Lo studio della distribuzione di corrente all'interno dei cavi è finalizzato alla determinazione delle condizioni di maggiore uniformità possibile di distribuzione, alla ottimizzazione dei parametri caratteristici del cavo (in particolare della resistenza trasversale tra i diversi sottocavi) ed alla valutazione delle perdite in regime alternato dovute alla circolazione di correnti di accoppiamento tra i vari sottocavi (necessaria per il progetto criogenico).

È stato avviato uno studio della distribuzione di corrente nei cavi superconduttori multifilamentari sviluppando un modello circuitale a costanti distribuite ottenuto direttamente dalle equazioni di Maxwell applicate ai loop formati dai diversi sottocavi non isolati che costituiscono il cavo. Si ottiene in tale modo un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali del I ordine nella variabile temporale t e del II ordine nella variabile spaziale x , in cui le incognite sono le variazioni delle correnti rispetto al valore della distribuzione uniforme. I parametri magnetici vengono calcolati mediante un codice appositamente sviluppato per calcolare le induttanze auto e mutue di fili conduttori comunque disposti nello spazio. L'integrazione per il calcolo viene eseguita su una lunghezza pari al passo dell'ultimo stadio di cablaggio, per consentire di mediare su tale lunghezza le caratteristiche geometriche del cavo. Il valore così ottenuto viene quindi diviso per la lunghezza del passo stesso al fine di ottenere il valore per unità di lunghezza.

La presenza di forze elettromotrici indotte nei loop formati dai diversi sottocavi a causa dell'autocampo creato dalla bobina in esame e da eventuali bobine esterne è tenuta in considerazione mediante opportuni parametri magnetici di accoppiamento fra i tratti di sottocavo e le suddette bobine. Questa approssimazione evita l'introduzione dell'accoppiamento tra ogni tratto di sottocavo e i singoli tratti degli altri sottocavi, riducendo notevolmente il numero di incognite del problema.

Questo modello a costanti distribuite è stato confrontato in una semplice situazione con un modello a costanti concentrate completo, nel quale si tiene conto dell'accoppiamento magnetico tra ogni tratto di sottocavo e tutti gli altri tratti dei diversi sottocavi. La situazione analizzata è quella di un cavo di 1m di lunghezza composto da tre sottocavi avvolti elicoidalmente con passo di 2.5cm. Ne risulta un modello circuitale a costanti concentrate costituito da 40 tratti lunghi un passo. E' stato simulato l'aumento di resistenza di un tratto di sottocavo dovuto ad un quench indotto dall'assorbimento di energia dall'esterno ed è stata studiata la redistribuzione di corrente tra i diversi sottocavi. In fig. 1 è presentato l'andamento della corrente nel sottocavo che subisce il quench, che evidenzia una diminuzione di corrente più rapida nella zona interessata dall'aumento di resistenza (x compresa tra 47.5 e 52.5cm). In fig.2 si confrontano i risultati ottenuti con i due modelli per l'andamento temporale della corrente del sottocavo che subisce il quench (indicata con I_3) in diverse sezioni. Per il proseguimento della ricerca è previsto l'accoppiamento del modello a costanti distribuite con le equazioni della fluidodinamica dell'elio refrigerante presente nel sistema.

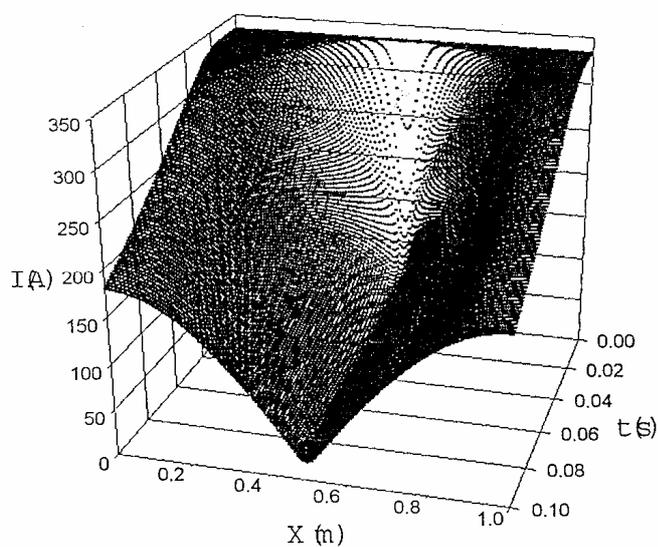


Fig. 1 Corrente nel sottocavo che subisce il quench

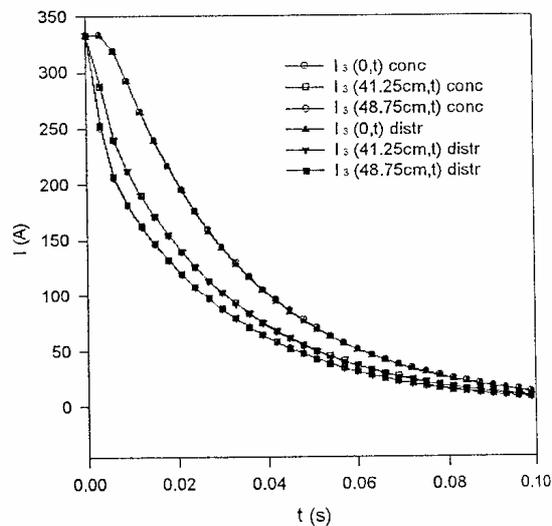


Fig. 2 Confronto tra modello a costanti concentrate e modello a costanti distribuite

Bibliografia

- [1] L. Bottura, Physica C 310, 316-326 (1998)
- [2] N. Amemiya et al., Cryogenics 38, 559-568 (1998)
- [3] K. Krempasky, C. Schmidt, J. Appl. Phys. 78 (9) (1995)