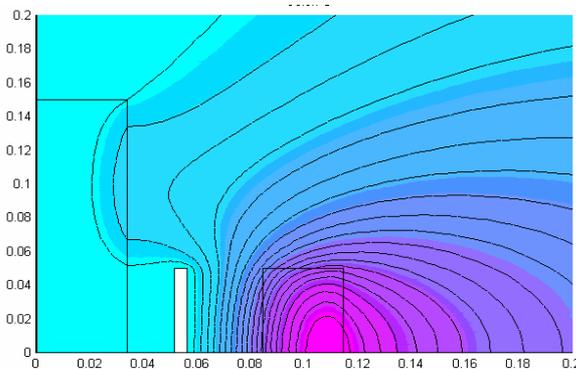


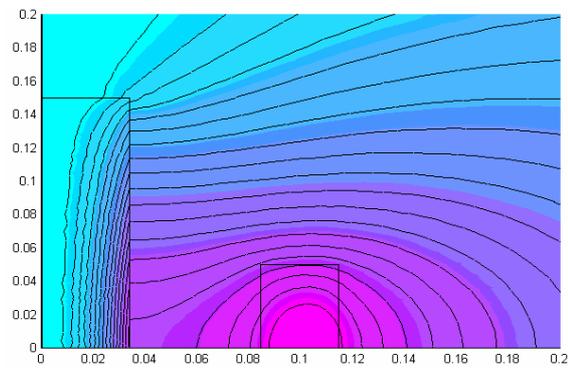
# PROGETTO ELETTROMAGNETICO E CRIOGENICO DI UN LIMITATORE DI CORRENTE SUPERCONDUTTIVO

M. Fabbri, A. Morandi, F. Negrini, P. L. Ribani, L. Trevisani  
*Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università di Bologna,  
Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna, Italy*

L'introduzione di un dispositivo di limitazione della corrente di guasto costituisce un prerequisito essenziale per l'espansione dei moderni sistemi elettrici di potenza; tali dispositivi possono essere realizzati efficacemente mediante l'utilizzo di tecnologie superconduttive [1, 2]. In questa memoria si presenta il progetto di un prototipo di base di limitatore di corrente superconduttivo induttivo; sul prototipo, in fase di sviluppo presso il laboratorio di Superconduttività Applicata dell'Università di Bologna, sarà effettuata una campagna sperimentale per la validazione di modelli numerici. Il progetto affronta due aspetti fondamentali: il dimensionamento della struttura dal punto di vista elettromagnetico ed il dimensionamento del sistema di raffreddamento degli elementi superconduttivi. La struttura per la quale si è optato è costituita da un avvolgimento primario in rame, da inserire in serie al circuito da proteggere, da due anelli superconduttivi in BISCCO 2212, e da un nucleo in materiale ferromagnetico realizzato mediante un'unica colonna centrale. Si è adottato, come vincolo di progetto, un rapporto tra l'induttanza del dispositivo in fase non limitativa e in fase limitativa minore o uguale a 1/3. La corrente di quenching del dispositivo è stata determinata mediante il criterio di bilanciamento delle forze magnetomotrici. In figura sono riportate le distribuzioni di campo, in fase di non limitazione e di limitazione, all'interno del dispositivo. In essa sono visibili anche le dimensioni geometriche dei vari elementi che formano la configurazione di riferimento. I valori delle induttanze sono riportati sotto.



Distribuzione di campo all'interno del limitatore in fase di non limitazione,  $L_{NL} = 12.39 \text{ mH}$

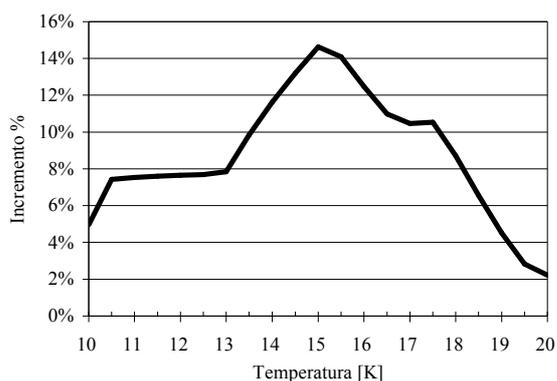


Distribuzione di campo all'interno del limitatore in fase di limitazione,  $L_L = 35.86 \text{ mH}$

Con riferimento al progetto del criostato, si è scelta una soluzione di tipo cryogen-free, cioè basata sull'utilizzo di un cryocooler per il raffreddamento diretto del materiale superconduttivo. I vantaggi di questo sistema rispetto all'utilizzo di liquidi criogenici sono molteplici: minori costi operativi, maggiore semplicità d'uso, sicurezza, flessibilità e facilità di integrazione nell'impianto [3]. Col recente grande progresso nel campo dei piccoli cryocooler appare sempre più evidente che i sistemi cryogen-free possano determinare il definitivo successo e la diffusione commerciale delle tecnologie superconduttive [4, 5]. Oltre alle tipiche problematiche progettuali determinate dalle particolari condizioni di funzionamento alle temperature criogeniche, nel caso specifico si aggiungono problemi di possibile interferenza della struttura del criostato col campo magnetico oscillante generato dall'avvolgimento esterno. Il progetto prevede il raffreddamento diretto

dell'anello superconduttivo per mezzo di un conduttore di calore a diretto contatto con lo stadio di refrigerazione del cryocooler. Per l'isolamento termico, l'anello è avvolto con uno speciale materiale multistrato (*MLI: MultiLayer Insulation*) mentre la camera criostatica è posta sotto vuoto spinto (pressione inferiore a  $10^{-6}$  Torr, pari a  $1.33 \times 10^{-4}$  Pa). L'obiettivo è quello di arrivare alla realizzazione di un dispositivo in grado di funzionare in modo continuativo per oltre 15000 ore senza bisogno di alcuna manutenzione ed intervento esterno.

La collaborazione con il Department of Energy Sciences del Tokyo Institute of Technology e con il Superconductivity Application Technology Group della Toshiba Corporation ha permesso l'approfondimento delle tecnologie legate all'utilizzo dei cryocooler. Nell'ambito di questa collaborazione si è svolta la sperimentazione del un nuovo materiale magnetico  $\text{Er}(\text{Ni}_{0.075}\text{Co}_{0.925})_2$  all'interno dello scambiatore rigenerativo di calore di un cryocooler di tipo Gifford-McMahon a due stadi [6]. Il cryocooler è stato fatto funzionare all'interno di un criostato cilindrico, senza connessione con alcun materiale superconduttivo da raffreddare. Il carico termico è stato applicato tramite resistenze elettriche poste sul primo e sul secondo stadio di refrigerazione del cryocooler, simulando così le condizioni di funzionamento effettive del dispositivo completo. La sperimentazione è stata effettuata con diverse configurazioni dello scambiatore di calore, della velocità di funzionamento e della lunghezza di corsa del cryocooler. In figura è riportato l'incremento percentuale della potenza refrigerante rispetto al caso di utilizzo di solo piombo nel



rigeneratore di calore ottenuto nella condizione ottimale, che è risultata quella con rapporto  $\text{Er}(\text{Ni,Co})/\text{Pb}$  pari al 30% in volume, velocità di 45.5 rpm e corsa di 32 mm. L'utilizzo del materiale a transizione magnetica  $\text{Er}(\text{Ni}_{0.075}\text{Co}_{0.925})_2$  nello scambiatore di calore del cryocooler ha determinato un aumento massimo della potenza refrigerante pari a quasi il 15% a parità di potenza elettrica assorbita dal compressore.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] W. Paul, M. Chen, "Superconducting control for surge currents", *IEEE spectrum*, Maggio 1998.
- [2] A. Morandi, F. Negrini, T. Nitta, S. Oshima, P. L. Ribani, "Experimental analysis and circuit model of an inductive type high temperature superconducting fault current limiter", *International Journal on Modern Physics B*, Vol. 14, No. 25-27, Ottobre 30, 2000
- [3] W. Shen, M. Coffey, W. McGhee, "Development of 9.5 T NbTi cryogen-free magnet", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 11, n. 1, p. 2619, Marzo 2001.
- [4] M. A. Green, "The effect of low temperature cryocoolers on the development of low temperature superconducting magnets", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 11, n. 1, p. 2615, March 2001.
- [5] L. Ying, "Cryogen-free superconducting magnets and applications", *Superconductors & Cryoelectronics*, p. 11, Winter 2000/01.
- [6] L. Trevisani, "Sistemi criogenici: studi teorici e sperimentali sull'utilizzo dei materiali magnetici nello scambiatore di calore di un cryocooler Gifford-McMahon", Tesi di Laurea, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Bologna, marzo 2002.