

OTTIMIZZAZIONE DELLA SOLUZIONE DI PROBLEMI DI PROGETTO DI DISPOSITIVI ELETTROMAGNETICI

C.A. Borghi, D. Casadei, A. Cristofolini, M. Fabbri, G. Serra

Dipartimento di Ingegneria Elettrica - Università degli Studi di Bologna

Il progetto di dispositivi elettromagnetici solitamente richiede la soluzione di un problema inverso. Tale problema può presentare infinite soluzioni o quasi-soluzioni (soluzioni approssimate). La scelta della soluzione da adottare costituisce un problema di sintesi e nel caso del progetto può essere fatta per mezzo dell'ottimizzazione di proprietà o caratteristiche del dispositivo da progettare. Il criterio di ottimizzazione ha rilevanza ingegneristica e può riguardare le prestazioni del dispositivo, la qualità delle sue funzioni, l'economicità della sua realizzazione ecc. Tale criterio viene espresso tramite una funzione obiettivo che dipende dalle variabili di progetto, incognite del problema. La soluzione è data da quelle incognite che massimizzano o minimizzano la funzione obiettivo.

Nella maggioranza delle applicazioni del problema descritto all'ingegneria elettrica, la funzione obiettivo è non-lineare, non-analitica e mal condizionata^[1,2]. Il problema quindi risulta avere più minimi locali ed inoltre si presenta come problema malposto. In tal caso la soluzione del problema di minimo risulta essere ottenuta in modo adeguato da metodi stocastici^[3]. I metodi stocastici infatti sono robusti sotto il profilo numerico anche nel caso di problemi non-analitici e malposti e tendono a convergere alla soluzione di minimo globale per qualsiasi punto iniziale del calcolo di minimizzazione. Ciò non avviene per i metodi deterministici, che per solito richiedono il calcolo del gradiente o dell'Hessiano della funzione obiettivo e convergono al minimo locale del "bacino di attrazione" a cui il punto iniziale appartiene. Molto spesso inoltre si richiede di soddisfare contemporaneamente a più criteri derivanti da esigenze di progetto. Un metodo di perseguire tali esigenze è la soluzione di un problema multiobiettivo. In tal caso la funzione obiettivo è costruita in modo da tener conto di tutte le esigenze che si intende soddisfare od anche si minimizzano contemporaneamente più funzioni obiettivo ognuna delle quali considera una delle condizioni richieste.

L'attività di ricerca dell'unità di Bologna in quest'ambito ultimamente ha riguardato sia la messa a punto di metodi di ottimizzazione globale, la soluzione di problemi multiobiettivo e l'applicazione a diversi casi di progetto di dispositivi elettromagnetici.

Si sono messi a punto due metodi per la ricerca minimo globale. Il primo di questi è il metodo di ricerca dinamico. Esso è un metodo di tipo deterministico che considera un corpo fittizio in moto sulla ipersuperficie definita dalla funzione obiettivo. La velocità impressa a tale corpo è in grado di farlo attraversare bacini di attrazione di minimi parziali e quindi di farlo muovere verso il minimo più basso. L'altro metodo messo a punto è basato sull'associazione degli algoritmi della Filled Function (FF) e delle Strategie Evolutive (ES). Ogni volta che si giunge ad un minimo ottenuto dall'algoritmo ES si passa ad un bacino di attrazione di un minimo più basso con l'algoritmo FF. Si aumenta perciò la probabilità di ottenere il minimo globale che si avrebbe utilizzando il solo ES e si accelera la convergenza di quest'ultimo.

Per la soluzione di problemi multiobiettivo si è adottato il metodo dei coefficienti di penalità. In tal caso la funzione obiettivo è rappresentata da una combinazione lineare delle singole funzioni obiettivo derivate dai singoli requisiti di progetto. La soluzione che si ottiene dipende dalla scelta dei coefficienti di penalità. Tuttavia poche procedure di minimizzazione, eseguite con scelte diverse di tali coefficienti, sono in grado di offrire soluzioni soddisfacenti.

Le applicazioni ingegneristiche ultimamente affrontate riguardano un dispositivo NMR con schermo in ferro, una pompa elettromagnetica a metalli liquidi ed un attuatore a magneti permanenti. Nel caso del dispositivo NMR (Fig. 1) il calcolo riguarda la determinazione delle posizioni e dimensioni delle bobine del sistema di correnti per la generazione del campo magnetico principale dell’NMR, dell’intensità delle correnti e delle dimensioni dello schermo in ferro in modo da massimizzare l’uniformità del campo magnetico prodotto in una regione sferica all’interno del dispositivo e da minimizzare il campo disperso all’esterno di esso^[4,5]. In Fig. 2 è riportato lo schema della pompa a metalli liquidi. In tal caso viene ottimizzato il rendimento della pompa. Le incognite del problema sono le dimensioni del canale per il metallo liquido, la frequenza del sistema trifase di alimentazione, le dimensioni delle cave ed il passo polare^[6]. Per l’attuatore a magneti permanenti si è calcolata la disposizione ottimale dei magneti permanenti (Fig. 3) in modo da ridurre le oscillazioni della coppia generata. Si è a tal fine considerato lo sviluppo in serie di Fourier della forza elettromotrice indotta. Si è quindi massimizzata la prima armonica della serie e si sono minimizzate tutte le altre. Anche in tal caso quindi si è presentato un problema multiobiettivo risolto col metodo delle costanti di penalità.

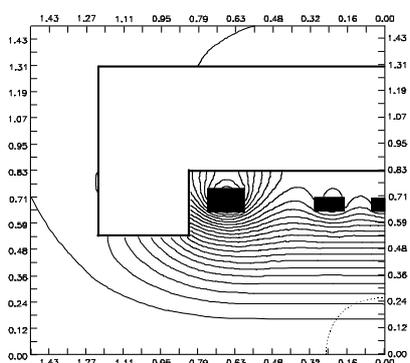


Fig. 1 NMR schermato.

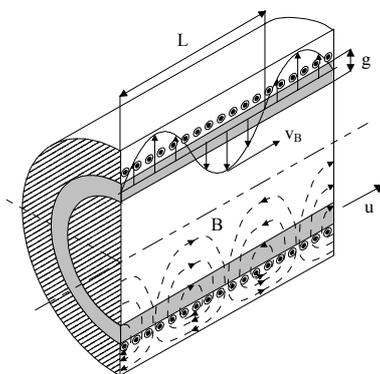


Fig. 2 Schema della pompa.

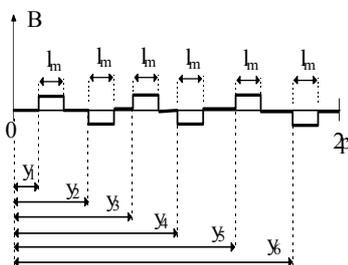


Fig. 3 Disposizione dei magneti permanenti e relativo campo di induzione magnetica.

- [1] C.A. Borghi, M. Fabbri, *A Global Optimization Method for the Solution of a Field Synthesis Problem*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 32, n. 3, pp. 1897-1904, 1996
- [2] P. Di Barba, A. Gottvald, and A. Savini, “Global Optimization of Loney’s Solenoid: a Benchmark Problem”, *Int. Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 6, No. 4, 1996
- [3] C.A. Borghi, P. Di Barba, M. Fabbri, and A. Savini, *A Comparative Study of the Loney’s Solenoid by Different Techniques of Global Optimization*, Proc. 4th Int. Workshop on Optimization and Inverse problems in Electromagnetism, Brno (Repubblica Ceca), Giugno 1996
- [4] C.A. Borghi and M. Fabbri, *A Combined Technique for the Global Optimization of the Inverse Electromagnetic Problem Solution*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33, n. 2, pp. 1947-1950, 1997
- [5] C. A. Borghi and M. Fabbri, *Iron Shielded NMR Optimization*, Numelec’97, Lyon, Francia, Marzo 1997
- [6] C.A. Borghi, A. Cristofolini, and M. Fabbri, *Optimal design of a Liquid Metal Induction Pump*, Istet’97, Palermo, Italy, Giugno 1997