

UNO STRUMENTO CAD RIGOROSO ED EFFICIENTE PER IL PROGETTO DI RETI COMPLESSE IN GUIDA D'ONDA

F. Alessandri, M. Dionigi, R. Sorrentino
Istituto di Elettronica, Via G. Duranti 93, 06131 Perugia

ABSTRACT

A sophisticated CAD and optimization tool of complex microwave networks, incorporating fabrication and realizability constraints has been developed. Rigorous full wave models based on the mode matching technique are adopted along with specific algorithms to speed up both the analysis and optimization of the entire microwave structure.

A waveguide diplexer and a beam-forming Butler matrix in waveguide technology characterized by 238 geometrical parameters have been designed and globally optimized. The full wave analysis required less than 1 second per frequency point for the Butler matrix, while the entire optimization was performed in less than one hour, using an IBM RS6000 250T.

Introduzione

Il progetto della componentistica a microonde moderna richiede l'uso di strumenti CAD estremamente sofisticati che consentano di ridurre i costi di produzione, di prevedere la risposta dei componenti anche in presenza di errori di costruzione dovuti alle tolleranze meccaniche e di predire gli effetti delle imperfezioni nel processo di fabbricazione. Ciò non è soltanto ristretto al campo dei (M)MIC ma anche nel campo più convenzionale della componentistica in guida d'onda come ad esempio le reti formatrici di fascio, i multiplexers e le antenne a schiera di aperture. Maggiore è l'accuratezza richiesta e sempre più grande risulta l'impegno computazionale del codice di calcolo. Come conseguenza, mentre il progetto di singoli elementi componenti di una rete a microonde (filtri, accoppiatori, etc.) può essere ottenuto con codici estremamente rigorosi ed efficienti, il progetto e l'ottimizzazione di una intera rete, composta da decine se non da centinaia di componenti, risulta il più delle volte estremamente pesante, se non impossibile, dal punto di vista delle risorse di calcolo. D'altro canto ottimizzare una rete a microonde nella sua interezza e non attraverso l'unione dei suoi componenti ottimizzati, permette un notevole aumento dei gradi di libertà che il progettista ha a sua disposizione. In particolare è possibile porre i componenti a una minore distanza tenendo in conto l'interazione dei modi di ordine superiore generati alle discontinuità, e ottenendo in questo modo una estrema compattezza della rete finale. Tale metodologia è sempre esclusa nel caso di ottimizzazione dei singoli componenti.

In generale si ha sempre la necessità di imporre dei vincoli geometrici alle dimensioni della rete e di aggiungere componenti, come curve e twists, che ne permettano la realizzazione fisica. Tali componenti e vincoli, che non sono in genere inseriti al momento della prima stesura della struttura della rete, ne modificano il comportamento elettrico e rendono perciò necessaria una serie di passi di ottimizzazione per potere recuperare la risposta desiderata. Uno strumento CAD che permetta l'inclusione dei vincoli costruttivi, degli elementi aggiuntivi, e che permetta l'ottimizzazione dell'intera rete risulta essere prezioso nella fase di progetto e di ottimizzazione, permettendo di ottenere, nel caso in cui il modello elettromagnetico applicato sia sufficientemente accurato, un progetto candidato a una realizzazione senza ulteriori modifiche e tuning post produzione [1-3].

In questo lavoro presentiamo uno strumento CAD, basato sul metodo del Mode Matching, che permette la progettazione di reti in guida d'onda di alta complessità alla stessa stregua di un singolo

componente. Per fare sì che la rete risulti fisicamente realizzabile lo strumento CAD permette di impostare una serie di vincoli topologici e geometrici.

L'efficacia e versatilità del metodo è dimostrata attraverso il progetto di una rete di Butler 4x4 nel piano di E e di un diplexer in guida rettangolare nel piano di H.

Le Strutture

In figura 1a è mostrato lo schema a blocchi della rete di Butler 4x4 in cui sono presenti 4 accoppiatori direzionali 3 dB, 2 accoppiatori direzionali 0dB che fungono da incroci e 4 sfasatori di cui i due in uscita servono solo per compensare lo sfasamento introdotto dal secondo incrocio. È stata scelta questa struttura in quanto permette una costruzione quasi planare (piano di E). Il segnale che incide su una delle porte di ingresso (1-4) viene ugualmente suddiviso in ampiezza sulle porte di uscita (5-8) e opportunamente sfasato in modo da produrre 4 fasci distinti a seconda della porta scelta come alimentazione. La distanza tra le bocche di uscita è direttamente legata alla spaziatura angolare dei fasci e dunque uno dei vincoli di progetto risulta essere la spaziatura d tra le porte di uscita della rete [4].

In Figura 2 a è mostrata la struttura del diplexer nel piano di H realizzato in una configurazione particolarmente compatta.

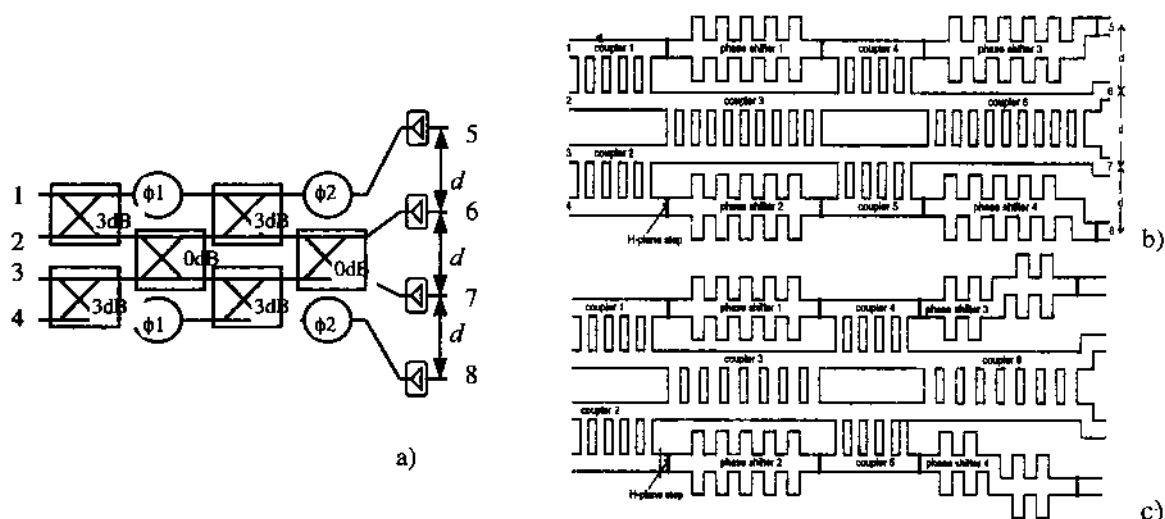


Figura 1: a) schema a blocchi della rete di Butler, b) Layout con gomiti esterni c) Layout con gomiti inseriti negli sfasatori

Analisi e Ottimizzazione

I punti essenziali del metodo di analisi e ottimizzazione adottato sono brevemente richiamati.

Ciascun componente della rete è segmentato in celle elementari (step, giunzioni T, stubs, iridi, etc...). La tecnica del mode matching è usata per il calcolo della matrice ammettenza generalizzata (GAM) [5] di ciascuna delle celle. Le relazioni di connessione tra le celle sono usate per ottenere il sistema risolvibile dell'intera rete.

La numerazione delle porte di connessione delle celle è ottimizzata al fine di ridurre la larghezza di banda della matrice dei coefficienti del sistema risolvibile [7].

I vincoli geometrici per la realizzabilità fisica della struttura vengono forniti dall'utente attraverso un numero di equazioni nei parametri geometrici. Vincoli di disuguaglianza sono usati per limitare ciascuno dei parametri geometrici all'interno di un intervallo di pratica realizzabilità.

L'applicazione della tecnica della rete aggiunta (ANM) [2] permette un calcolo veloce ed accurato della derivate della risposta della rete rispetto alle dimensioni geometriche. Ciò rende possibile l'uso di ottimizzatori efficienti che fanno uso del gradiente della funzione obiettivo. In questo caso è stato utilizzato un algoritmo di ottimizzazione del tipo Quasi Newton.

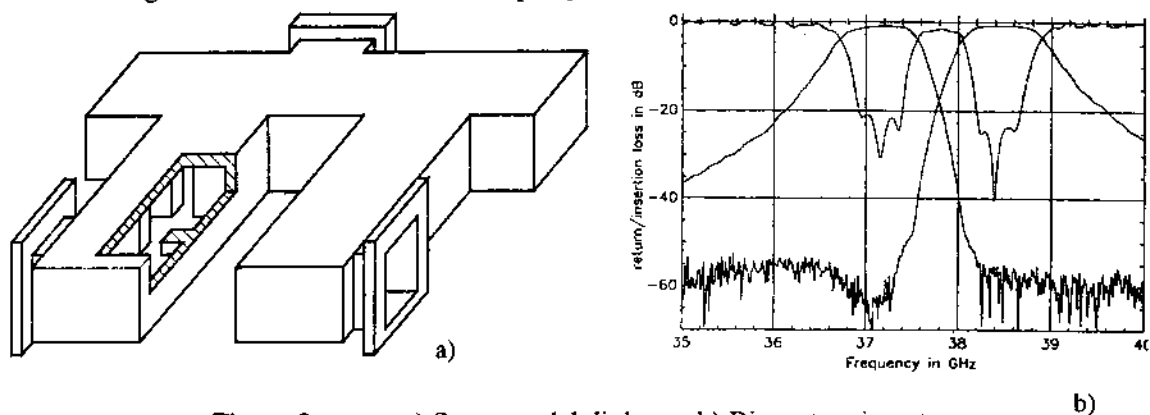


Figura 2: a) Struttura del diplexer, b) Risposta misurata

Le simmetrie della struttura sono imposte associando più parametri geometrici alla stessa variabile di ottimizzazione.

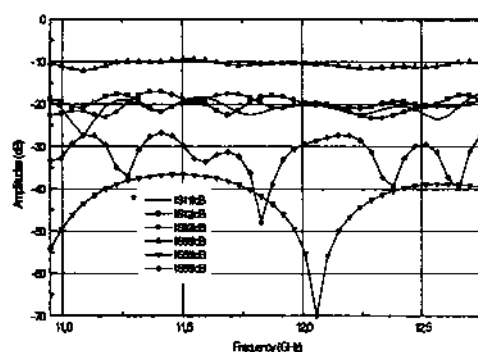
Risultati

Per dimostrare l'efficienza del codice si è progettato un diplexer a 37 GHz e una rete di Butler 4x4 nella banda di frequenze 10.95-12.75 GHz. Ogni componente della rete di Butler è stato progettato individualmente e la rete risultante è descritta da 238 parametri geometrici, che, considerando le simmetrie e i vincoli geometrici, corrispondono a 40 parametri indipendenti. La rete di prima progettazione così ottenuta è stata ottimizzata nella sua interezza. Per ottenere la corretta distanza tra le bocche di uscita si è proceduto seguendo due schemi differenti: nel primo schema sono stati inseriti 4 gomiti in prossimità delle bocche di uscita (fig. 1b); nel secondo schema i gomiti sono stati inclusi all'interno degli sfasatori in sostituzione dello stub centrale (fig. 1c), realizzando così un nuovo elemento che oltre a sfasare il segnale ha una uscita non collineare con l'ingresso. Inoltre gli accoppiatori 0dB sono stati accorciati, passando da 10 a 8 rami. Nelle figure 3 e 4 sono mostrati i coefficienti di riflessione, gli accoppiamenti e gli isolamenti ottenuti per la rete di Butler.

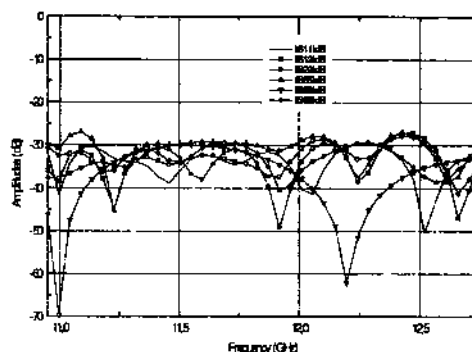
L'analisi della rete di Butler richiede meno di 1 secondo per punto in frequenza, mentre l'intera ottimizzazione circa 1 ora su una macchina IBM RS6000250T. Per quanto riguarda il diplexer il progetto iniziale prevedeva due filtri del terzo ordine, realizzati con 4 iridi nel piano di H. Anche in questo caso, diverse opzioni sulla struttura e sul layout sono state indagate grazie alla versatilità dello strumento CAD, ciò ha consentito di scegliere uno schema in cui giunzioni a T con un ramo cortocircuitato sostituiscono le iridi di ingresso e allo stesso tempo introducono uno zero di trasmissione nella banda passante del filtro complementare, giungendo ad una struttura estremamente compatta e di facile integrazione nel sistema completo. I risultati della misura sono mostrati in figura 2b.

Conclusioni

E' stato sviluppato uno strumento per la progettazione di reti complesse in guida d'onda. Questo CAD permette di ottimizzare l'intera rete alla stessa stregua di un singolo componente tenendo conto anche di tutti i vincoli geometrici realizzativi. Sono stati mostrati due differenti esempi di progetto di reti in guida d'onda per dimostrare l'efficacia del metodo proposto.

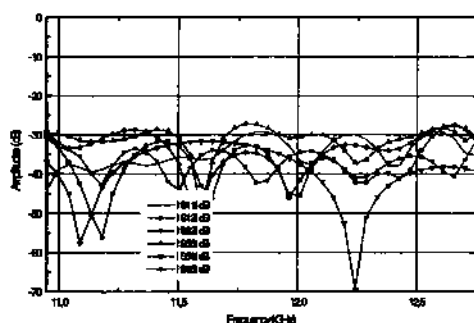


a)

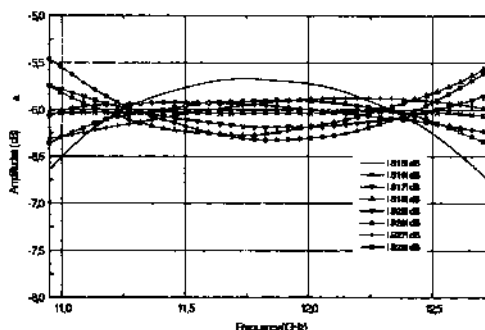


b)

Figura 3: Return Loss e isolamenti della rete di Butler con gomiti esterni; a) non ottimizzata b) ottimizzata



a)



b)

Figura 4: a) Return Loss b) accoppiamenti della rete di Butler con gomiti inseriti negli sfasatori

Bibliografia

- [1] F. Alessandri, M. Mongiardo, and R. Sorrentino, "Computer-Aided Design of Beam Forming Networks for Modern Satellite Antennas", IEEE Trans. MTT, vol. MTT-40, n. 6, June 1992, pp. 1117-1127.
- [2] F. Alessandri, M. Dionigi, and R. Sorrentino, "A Full-wave CAD Tool for Waveguide Components Using a High Speed Direct Optimizer", IEEE Trans. MTT, vol. MTT-43, n.9, pp. 2046-2052, Sept 1995.
- [3] T. Sieverding, F. Arndt, "Field Theoretic CAD of Open or Aperture Matched T-Junction Coupled Rectangular Waveguide Structures", IEEE Trans. On MTT, Vol. 40, n. 2, pp. 353-362, Febr. 1992
- [4] R. Collin, Antennas and Radiowave Propagation, Chapter 3, Mc Graw-Hill, New York, 1985
- [5] W. Hauth, R. Keller, U. Papziner, R. Ihmels, T. Sieverding, F. Arndt, "Rigorous CAD of multiport coupled rectangular waveguide components", in Proc. 23rd Eu. Microw. Conf, pp. 611-614, Madrid 1993.
- [6] F. Alessandri, M. Mongiardo, R. Sorrentino, "Transverse Segmentation : A Novel Technique for Efficient CAD of 2N-port Branch Guide Couplers", IEEE Microwave Guided Wave Letters, Vol. 1, n. 8, August 1991
- [7] L. Tarricone, M. Dionigi, R. Sorrentino, "A strategy for the efficient fullwave description of complex waveguide networks", Int. Journal Microwave and MM-Wave Computer Aided Engineering, 6, 3, pp.183-195,1996
- [8] F. Alessandri, G. Bartolucci, R. Sorrentino, "Admittance Matrix Formulation of Waveguide Discontinuity Problems : CAD of Branch Guide Directional Couplers", IEEE Trans. Microwave Theory Techn., Vol. 36, n. 2, pp. 394-403, February 1988