

ANALISI IN FREQUENZA DI UN ARRAY PLANARE DI SLOT IN GUIDA D'ONDA TENENDO CONTO DELLA RETE DI BEAM-FORMING

G.A. Casula, G. Mazzearella

Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Università di Cagliari
piazza d'Armi 09123, Cagliari
a.casula@diee.unica.it

Abstract

An improved analysis procedure for planar slot arrays has been devised and evaluated. Despite of existing ones, this procedure is able to evaluate the frequency response of the array taking fully into account the behaviour of the beam-forming network.

INTRODUZIONE

Nonostante la loro lunga esistenza, gli array planari di slot longitudinali sono ancora oggi le antenne a microonde più efficaci e permettono di ottenere prestazioni elevate. In particolare, le loro perdite assai ridotte suggeriscono l'utilizzo di questo tipo di array nella banda Ka e per frequenze anche superiori, dove l'efficienza di un array stampato è solitamente bassa. Dall'altro lato, un array planare di slot possiede una larghezza di banda piuttosto piccola, che pertanto deve essere accuratamente valutata in fase di progettazione dell'array stesso.

Le tecniche di analisi più accurate sono basate sul modello sviluppato da Elliott [1]. Tale modello consente di ottenere direttamente una procedura di analisi alla frequenza centrale, ma estendere questa procedura a frequenze diverse è tutt'altro che semplice. In effetti il modello di Elliott è basato sulla tensione di modo presente in corrispondenza della slot, la quale dipende in generale dall'eccitazione della slot stessa, mentre alla frequenza centrale tale tensione di modo è indipendente dall'eccitazione della slot. Inoltre, anche il campo nella rete di Beam-Forming dipende dall'eccitazione della slot. Quindi una procedura di analisi per frequenze diverse da quella centrale e che tenga conto della BFN è abbastanza complessa da formulare e sviluppare. Una prima estensione del modello di Elliott, ma applicabile soltanto ad array lineari, è stata proposta da [2]. In tale lavoro, tuttavia, è considerata soltanto la guida radiante e pertanto manca ancora una procedura che permetta di studiare la risposta in frequenza di un array planare completo.

Lo scopo di questo articolo è quello di presentare una simile procedura, la quale tiene conto della BFN e del comportamento in frequenza degli accoppiatori [4] usati in tale rete.

MODELLO DELL'ARRAY

In accordo con [1], la parte radiante di un array di slot può essere descritta tramite due equazioni [1, eq.(10), (33)] che collegano le tensioni di eccitazione delle slot V_n^S , le ammettenze attive delle slot Y_n^A e le tensioni di modo della guida in corrispondenza delle slot V_n :

$$Y_n^A = C_1 V_n^S / V_n \quad ; \quad \frac{1}{Y_n^A} = \frac{1}{Y_n} + C_2 \sum_m g_{nm} \frac{V_m^S}{V_n^S} \quad (1)$$

dove nelle precedenti C_1 , C_2 sono costanti, Y_n è l'autoammettenza della slot n-esima e g_{nm} è il coefficiente di mutuo accoppiamento fra due slot [3] (vedi [1] per ulteriori dettagli).

Le tensioni di modo sono determinate dall'interazione fra la rete di Beam Forming e le slot radianti. Una tipica (ed assai diffusa) rete di Beam Forming consiste in una guida radiante (disposta ortogonalmente rispetto alle guide radianti) che presenta in corrispondenza di ciascuna guida radiante una slot inclinata di accoppiamento che alimenta la guida radiante corrispondente.

Sia la guida di alimentazione che le guide radianti possono essere descritte, in accordo con [2], utilizzando le equazioni dei telegrafisti per ogni tratto di guida compreso tra due slot. Qui verrà descritto in dettaglio soltanto il comportamento della guida di alimentazione, poiché il modello per la guida radiante è più semplice ed in ogni caso è mostrato in [2]. Il circuito equivalente per la guida di alimentazione è mostrato in Fig.1.

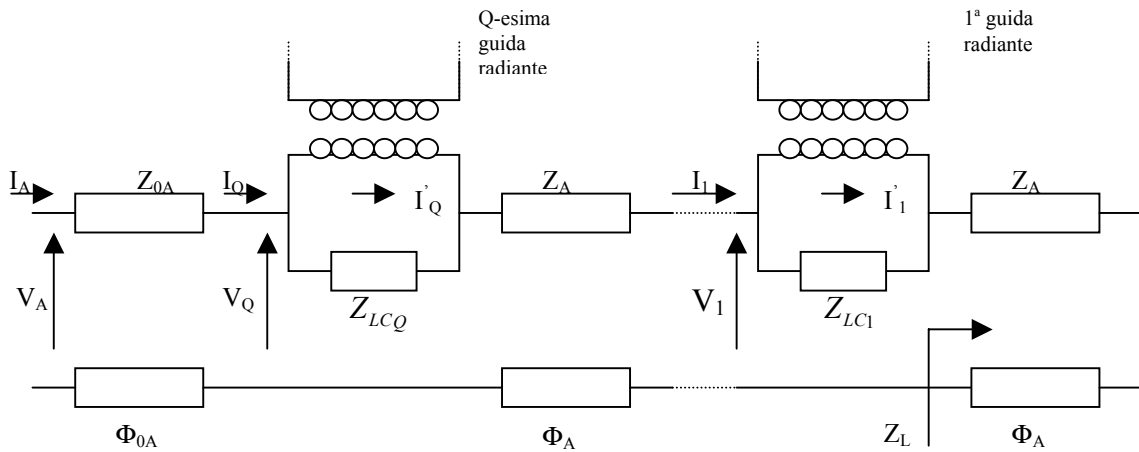


Fig. 1: Circuito equivalente per la guida di alimentazione.

In base a quanto detto in [5], ogni accoppiatore è modellato come un trasformatore non ideale, la cui reattanza in parallelo è Z_{LC} (vedi Fig.1). Posta Z_q l'impedenza di ingresso della q-esima guida radiante, vista dalla guida di alimentazione, segue che:

$$\begin{cases} V_{q+1} = I_{q+1}Z_{q+1} + V_q \cos \phi_A + jZ_A I_q \sin \phi_A \\ I_{q+1} = I_q \cos \phi_A + j \frac{V_q}{Z_A} \sin \phi_A \end{cases} \quad (2)$$

Nel caso esaminato, e mostrato in Fig.1, l'impedenza di ingresso Z dipende dalla tensione di modo di tutte le guide (a causa dell'accoppiamento) e ciò rende abbastanza complicata la costruzione della procedura di analisi. Dopo una serie di calcoli si ottiene:

$$V_q = Z_q^{IN} I_q = Z_q^{IN} \frac{Z_q + Z_{LCq}}{Z_{LCq}} I'_q = Z_q I'_q + j \left\{ \frac{Z_{q-1} + Z_{LCq}}{Z_{LCq} \sin \phi_A} I'_{q-1} - \frac{Z_{LCq} + Z_q}{Z_{LCq} \sin \phi_A} I'_q \cos \phi_A \right\} \quad (3)$$

Sostituendo la (3) in (2) si ottengono, dopo ulteriori semplificazioni, le seguenti equazioni per la guida di alimentazione (per $q=1, Q-1$):

$$\begin{cases} V_{q+1} = Z'_{q+1} I'_{q+1} + V_q \cos \phi_A + jZ_A I_q \sin \phi_A + j \frac{Z_A}{Z_{LCq}} \sin \phi_A Z'_q I'_q \\ I'_{q+1} + \frac{Z'_{q+1}}{Z_{LCq+1}} I'_{q+1} = I_q \cos \phi_A + \frac{Z'_q}{Z_{LCq}} \cos \phi_A I'_q + j \frac{V_q}{Z_A} \sin \phi_A \end{cases} \quad q=1, Q-1 \quad (5)$$

Le equazioni (1), (4) e le equazioni della guida radiante [2, eq.(8)] costituiscono un sistema lineare la cui soluzione completa la procedura di analisi.

RISULTATI

La procedura qui descritta è stata testata su svariati array. I risultati per un array composto da 8 guide radianti, ciascuna con 8 slot radianti, e per un array asimmetrico con 12 guide radianti, 8 con 8 slot radianti e le restanti 4 con soltanto 4 slot radianti, sono mostrati in Fig.2. In Fig.3 è inoltre mostrato il fattore di array calcolato dalla nostra procedura per il secondo dei due casi qui presentati.

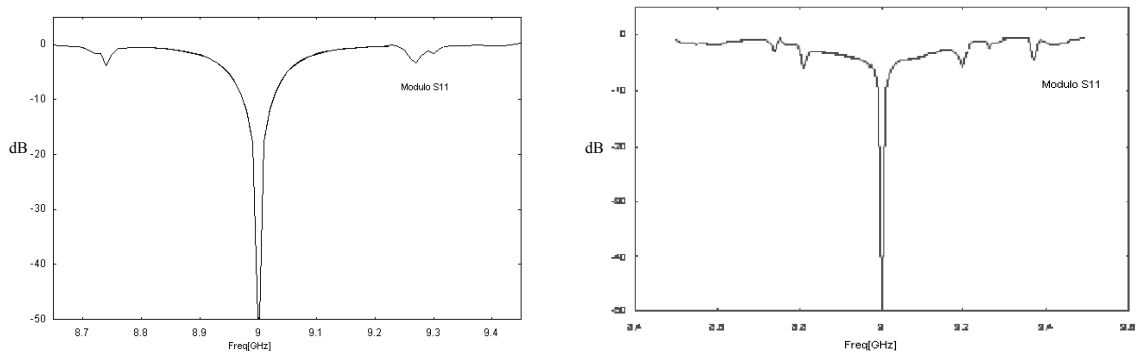


Fig.2: a) Modulo del coefficiente di riflessione alla frequenza centrale per un array simmetrico con 8 guide radianti.
b) Modulo del coefficiente di riflessione alla frequenza centrale per un array asimmetrico con 12 guide radianti.

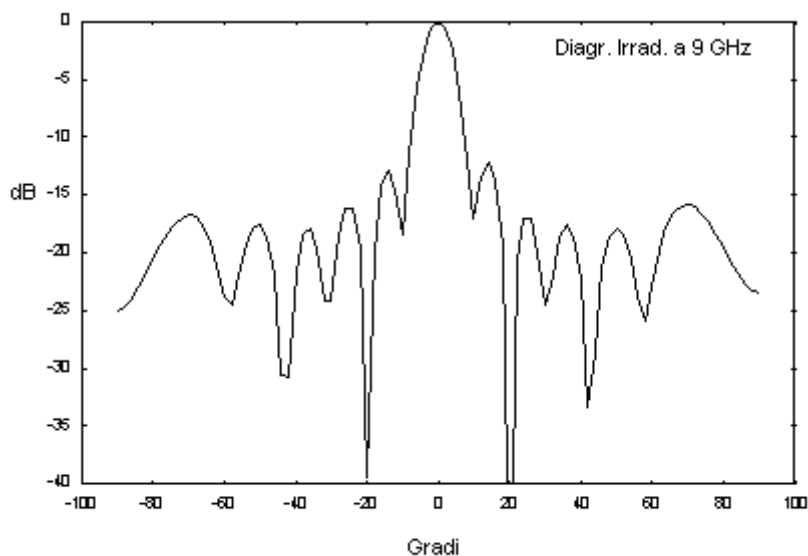


Fig.3: Diagramma di irradiazione alla frequenza centrale per un array asimmetrico con 12 guide radianti.

CONCLUSIONI

E' stata sviluppata una procedura di analisi per array planari di slot, che tenga conto del comportamento in frequenza della rete di Beam Forming. Ciò permette di valutare accuratamente la larghezza di banda dell'array, la quale è un parametro di progetto importante per strutture a banda stretta come un array planare di slot.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R.S. Elliott. "An Improved Design Procedure for Small Arrays of Shunt Slots.", IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-31, 1983, pp. 48-53
- [2] Hamadallah, "Frequency Limitations on Broad-Band Performance of Shunt Slot arrays", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 37 , No. 7, July 1989 pp.817-823
- [3] G. Mazzarella, G. Panariello: "Design of slot arrays for SAR applications", Alta Frequenza, LV, 1986, pp.359-364
- [4] S.R. Rengarajan. "Analysis of a Centered-Inclined Waveguide Slot Coupler." 1989 Transaction on Microwave Theory and Techniques 37.5 (May 1989 [T-MTT]): 884-889
- [5] G. MAZZARELLA, G. MONTISCI: "Wideband Equivalent Circuit of a Centered-Inclined Waveguide Slot Coupler", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol.14, No.1, 2000.