

ANALISI DI UN FORNO PER RISCALDAMENTO A MICROONDE ALIMENTATO DA PIU' SORGENTI ALLO STATO SOLIDO

F. Bressan, M. Bullo M, F. Dughiero

Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII)
Via Gradenigo 6/A, 35131, Padova

INTRODUZIONE

I forni a microonde per uso domestico attualmente utilizzano magnetron con frequenza di lavoro nella banda dei 2.45GHz al fine di generare un campo elettromagnetico in grado di permettere la cottura del cibo (generalmente la potenza nominale è pari ad 1 kW). E' noto che tali dispositivi sono caratterizzati da un limitato rendimento energetico e da una impossibilità intrinseca nel controllo del processo, con evidenti perdite di prestazione dovute alle variazioni significative delle caratteristiche di riflessione della cavità risonante, causate, a loro volta, dalle ampie variazioni dei parametri elettrici del cibo (permettività, angolo di perdita) in funzione della temperatura raggiunta.

Attualmente la ricerca di dispositivi a semiconduttore in grado di gestire alte potenze ha raggiunto un livello tale da poter creare un'alternativa significativa al magnetron e permettere la costruzione di forni innovativi: in particolare, essi possono presentare grandi vantaggi permettendo la gestione di una precisa frequenza di lavoro, il controllo della fase dell'onda in uscita da più sorgenti indipendenti e la capacità di controllo del livello di uscita.

L'obiettivo principale di questo lavoro è quello di indagare sul controllo della frequenza di lavoro e la differenza di fase tra due sorgenti al fine di introdurre importanti miglioramenti per quanto riguarda il trasferimento di energia al cibo (da qui in poi denominato 'carico') durante un processo di riscaldamento a microonde. In particolare, il carico è fisso nelle coordinate spaziali: l'assenza di un piatto rotante o di uno stirrer, escludendo la presenza di parti meccaniche in movimento, costituisce una semplificazione del sistema globale.

Nel corso di questa analisi sono stati utilizzati due diversi strumenti di calcolo commerciali: QuickWave-3D e CST Microwave Studio.

SVILUPPO

In una cavità alimentata da più sorgenti, ciascuna antenna trasmittente può agire come antenna ricevente con la stessa efficienza, così parte dell'energia disponibile nella cavità viene dissipata nello stadio di uscita del relativo amplificatore: questo effetto è noto come cross-talk. La ripartizione di energia tra ciascuna porta e il carico è descritta dai parametri S (Scattering) ed il rendimento può essere calcolato sulla base della matrice S.

Nello scenario con N porte il coefficiente di riflessione all'*i*-esima porta è definito come segue:

$$\Gamma_i = \frac{b_i}{a_i}, \quad (1)$$

dove a_i rappresenta l'ampiezza dell'onda incidente alla porta *i*-esima, mentre b_i rappresenta l'ampiezza dell'onda risultante dalla somma delle onde riflesse e di cross-talk alla porta *i*-esima:

$$b_i = \sum_{j=1}^N S_{ij} a_j \quad (2)$$

Il rendimento può essere quindi definito in base alle relazioni tra tutte le onde riflesse e quelle incidenti:

$$\eta = \left(1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Gamma_i|^2 \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

Le perdite per cross-talk possono essere ridotte, ad esempio, scegliendo con cura la posizione e la polarizzazione di ciascuna sorgente; tuttavia l'approccio più veloce ed efficace è quello di sintonizzare la differenza di fase tra le porte.

Se la matrice S è disponibile (simulata o misurata), è possibile calcolare rapidamente i parametri ottimali di alimentazione mediante la valutazione multipla della formula (3): questo calcolo è relativamente semplice e può essere ripetuto migliaia di volte al secondo sui moderni computer. Si propone di utilizzare un approccio statistico basato su metodi Monte-Carlo: l'algoritmo richiede in ingresso solo la matrice dei parametri di Scattering nella banda di frequenze considerata.

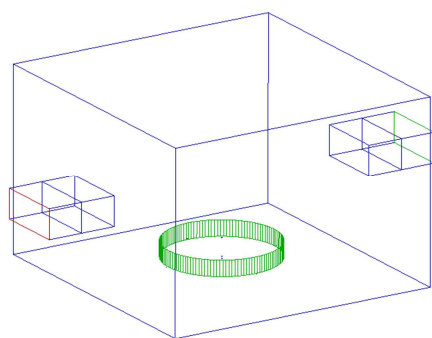


Fig. 1. Scenario simulato

Sono state eseguite diverse simulazioni in QuickWave-3D e CST al fine di dimostrare i risultati ottenuti: lo scenario è costituito da una cavità metallica rettangolare (larghezza 343 millimetri, altezza 266 millimetri e profondità 337 millimetri) con due aperture per guida d'onda centrate sulle rispettive pareti (sezione 84x43 mm, lunghezza 86 mm) alimentate con 250 watt ciascuna (Figura 1); il carico è costituito da un cilindro riempito con acqua e posto 20 mm sopra alla parete inferiore (diametro = 140 mm, altezza = 24mm, $\epsilon' = 69$, $\sigma = 0.735 \text{ S / m}$, $\epsilon'' = 5,4$ alla frequenza di lavoro pari a 2,45 GHz); le pareti sono considerate 'perfect electric conductor'

I parametri S ottenuti con QuickWave and CST Microwave Studio sono riportati in Fig. 2 e Fig. 3.

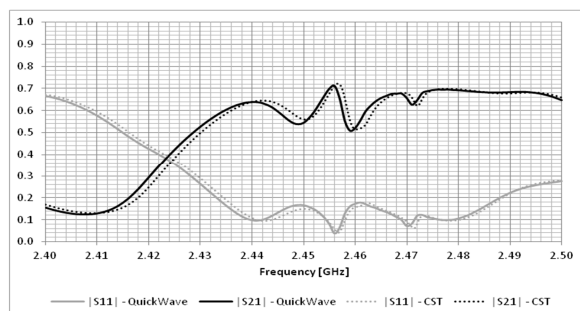


Fig. 2. Parametri di Scattering

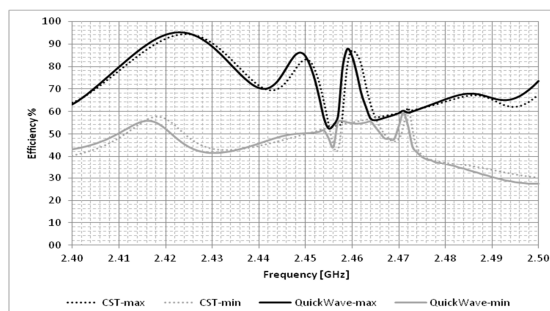


Fig 3. Risultati dell'ottimizzazione – confronti

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato dimostrato come sia possibile stimare la potenza trasferita al carico in una cavità con sorgenti multiple sulla base dei parametri S complessi e come si possa aumentare il rendimento del sistema riducendo il cross-talking tra le diverse antenne con una accurata scelta della frequenza di lavoro e della differenza di fase tra i segnali in uscita dalle sorgenti.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca che ha portato ai risultati illustrati è stata supportata da ENIAC Joint Undertaking (ENIAC/270716-2/HEECS) and dal National Centre for Research and Development, Polonia.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. Więckowski, P. Korpas, M. Kryszicki, F. Dughiero, M. Bullo, F. Bressan, C. Fager "Efficiency Optimization For Phase Controlled Multi-Source Microwave Oven", HES13 International Conference – Padua, May2013 - Proceedings, pp. 207-213