

Un Nuovo e Semplice Sistema di Misura della Costante Dielettrica dei Materiali

Elisa Fratticcioli, Marco Dionigi, Roberto Sorrentino

D.I.E.I Università di Perugia, via G. Duranti 93, 06125 Perugia.

fratticcioli@diei.unipg.it, dionigi@diei.unipg.it, sorrent@diei.unipg.it

Abstract

A microwave planar resonant sensor for the measurement of the complex permittivity in compact areas of the material under test (MUT) is presented. Compared to transmission or reflection sensors, the adoption of a scalar 2-port measurement procedure reduces the cost of the system and improves its robustness. The measuring system requires only the calculation of two parameters, namely the resonant frequency and the 3dB bandwidth, thus achieving a substantial reduction of cost and computation time is achieved. The low cost of the sensor allows its use even in a disposable manner.

INTRODUZIONE

L'automazione dei processi industriali richiede lo sviluppo di sensori atti ad eseguire diversi tipi di misure [1]. Le proprietà dielettriche dei materiali e la loro misura possono fornire informazioni di vario tipo sulla natura dei materiali. Le caratteristiche dielettriche possono essere ottenute mediante l'uso di sensori a microonde che operino a risonanza, a riflessione o in trasmissione. Gli ultimi due metodi sono largamente utilizzati in misure in cui si ottiene una caratterizzazione a banda larga del materiale. Purtroppo questo tipo di misure sono a volte troppo complesse per essere applicate in un ambiente industriale necessitando spesso di strumenti costosi come analizzatori vettoriali.

In un precedente lavoro [2] è stato mostrato un sistema di misura (Fig.1) basato sull'utilizzo di sensori risonanti. La sonda del sensore era costituita da un tratto di cavo coassiale risonante.

Per mezzo dello stesso sistema di misura e sostituendo il sensore coassiale con uno planare, si riescono ad eseguire delle misure anche su piccole aree del MUT. La risposta del sensore è costituita dalla misura scalare della potenza trasmessa attraverso le porte del risonatore. Questa viene campionata in un intervallo discreto di frequenze e interpolata con un fitting lorentziano (Fig.2): in questo modo la frequenza di risonanza e la banda a 3dB possono essere calcolate con precisione ed in modo veloce [2].

IL SENSORE PLANARE

La sonda del sensore che viene qui presentato (Fig.3) è costituita da una microstriscia risonante a $\lambda/4$ eccitata alle porte di ingresso/uscita da un accoppiamento distribuito. La microstriscia è lunga 70 mm, a circuito aperto ad un estremo e collegata a massa con un via hole all'altro. Il substrato presenta una costante dielettrica nominale di 3.2(1-0.003j). L'interazione col materiale incognito (MUT) avviene grazie ad una fessura di 8x10 mm presente sul piano di massa della microstriscia. La spaziatura fra le linee accoppiate è dimensionata in modo da ottenere un buon compromesso tra il livello del segnale trasmesso e il fattore di merito Q del risonatore. Inoltre l'accoppiamento avviene nel punto della microstriscia dove si ha un massimo dell'intensità di corrente, mentre particolari accorgimenti nel disegno delle linee di ingresso-uscita permettono di

minimizzare l'effetto di accoppiamenti parassiti. Il MUT può essere rappresentato da una stratificazione posta sotto il piano di massa. In questo modo l'intera struttura può essere analizzata con un simulatore commerciale che sfrutti il metodo dei momenti [3].

CALIBRAZIONE

La procedura di calibrazione generalmente richiesta da un sistema di misura viene qui sostituita da una semplice procedura software da eseguire una sola volta, che consiste nell'identificare le relazioni che intercorrono fra la frequenza di risonanza, la banda a 3dB e la costante dielettrica incognita. Dopo aver simulato le risposte dovute ad un insieme di dielettrici noti, aria compresa (caso a vuoto), vengono calcolate, per ciascuna risposta ottenuta, la frequenza di risonanza e la banda a 3dB, ottenendo i due grafici in Fig. 4.

In Fig. 4a si può vedere come, per $\tan\delta$ del MUT minore di 0.1, la frequenza di risonanza dipende solo dalla parte reale della costante dielettrica incognita; tale dipendenza può essere approssimata da un polinomio (1).

$$f_0 = 679.49 - 6.962\epsilon'_{MUT} + 0.743(\epsilon'_{MUT})^2 - 0.046(\epsilon'_{MUT})^3 + 0.00116(\epsilon'_{MUT})^4 \quad (1)$$

La banda a 3dB dipende invece sia dalla parte reale che da quella immaginaria della costante dielettrica. Se si riporta in un grafico (Fig. 4b) la variazione di banda rispetto al caso a vuoto si ottengono delle funzioni lineari della parte immaginaria (2)

$$\Delta B_{3dB} = m(\epsilon'_{MUT})\epsilon''_{MUT} + q(\epsilon'_{MUT}) \quad (2)$$

il cui coefficiente angolare (3) e termine noto (4) dipendono dalla parte reale.

$$m(\epsilon'_{MUT}) = 12.075 - 2.267\epsilon'_{MUT} + 0.192(\epsilon'_{MUT})^2 - 0.006(\epsilon'_{MUT})^3 \quad (3)$$

$$q(\epsilon'_{MUT}) = 0.031 - 0.026\epsilon'_{MUT} + 0.002(\epsilon'_{MUT})^2 \quad (4)$$

Le formule precedenti forniscono una buona approssimazione del comportamento del sistema se $\epsilon'_{MUT} \in [1, 10]$, $\tan\delta_{MUT} \in [0.0075, 0.1]$, con un errore di approssimazione inferiore all'1%.

Una volta eseguita questa calibrazione software, la misura vera e propria è semplice e basata sui seguenti passi:

1. Misura dell'ampiezza del parametro di scattering S21, fitting lorenziano per calcolare la frequenza di risonanza e la banda a 3dB come esposto in [2]
2. Inversione dell'eq.(1) e determinazione di ϵ'_{MUT} .
3. Determinazione del coefficiente angolare e del termine noto da inserire in eq.(2) usando le relazioni (3) e (4)
4. Inversione dell'eq.(2) and calcolo di ϵ''_{MUT} (o equivalentemente $\tan\delta_{MUT}$).

RISULTATI

Simulazione di Misura

Per valutare le prestazioni del sistema è stata simulata l'esecuzione della misura di materiali aventi diversi valori di costante dielettrica ($\epsilon' - j\epsilon''$). I risultati sono mostrati in Tab1. Gli errori nel calcolo di ϵ'_{MUT} e ϵ''_{MUT} sono rispettivamente inferiori a 2.6% e 1.3%.

Esperimenti

Sono quindi stati misurati dei polimeri solidi: Teflon, PVC, PEHD (*polietilene ad alta densità*), Nylon. I valori ottenuti per ϵ' (Tab.2) sono stati confrontati con quelli reperibili in letteratura [4]. A causa della mancanza di dati per ϵ'' , i valori misurati per ϵ'' sono stati confrontati con quelli ottenuti con il misuratore di impedenza HP4291A Impedance Meter and HP16453A Test Fixture (Tab.3). In caso di basse perdite il sensore sembra non avere una sufficiente risoluzione, ma si sono riscontrati problemi analoghi anche nella misura con HP Impedance Meter. Per avere una conferma del legame ipotizzato tra frequenza di risonanza e costante dielettrica, un grafico che rappresenta l'eq. (1) viene confrontato (Fig.5) con i valori ottenuti sperimentalmente: in ascissa il valore di ϵ'_{MUT} misurato con HP Impedance Meter ed in ordinata la frequenza di risonanza realmente misurata corrispondente allo stesso materiale.

CONCLUSIONI

In conclusione, è stato sviluppato un sistema di misura per le costanti dielettriche basato sull'utilizzo di un sensore risonante planare. Tale sistema si presta ad applicazioni industriali richiedendo solamente una misura scalare e una semplice procedura software per il calcolo dei parametri incogniti. Risultati simulati e sperimentali mostrano il raggiungimento di una buona accuratezza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E.Nyfors, P.Vainikainen, "*Industrial Microwave Sensors*", Norwood, Artech House, 1989.
- [2] G.Bianchi, M.Dionigi, D.Fiochetto, R.Sorrentino, "*Un apparato per la misura del contenuto di umidità di sabbie ed inerti*", Atti della XIII Riunione Nazionale di Elettromagnetismo, 25-28 Settembre 2000, Como, pp.521-524.
- [3] ADS Reference Manual, Agilent Technologies, 1999.
- [4] D.R. Lide, "*Handbook of Chemistry and Physics*", CRC Press, 1999, tab.13-12.

FIGURE

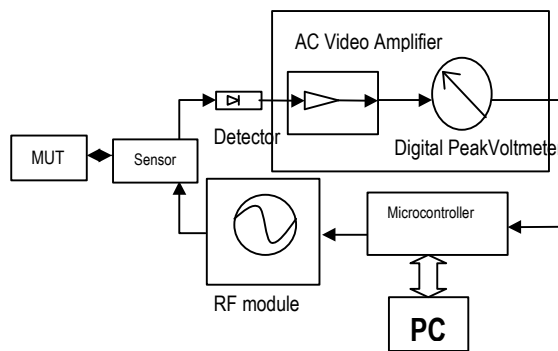


Fig. 1. Diagramma a blocchi del Sistema di Misura

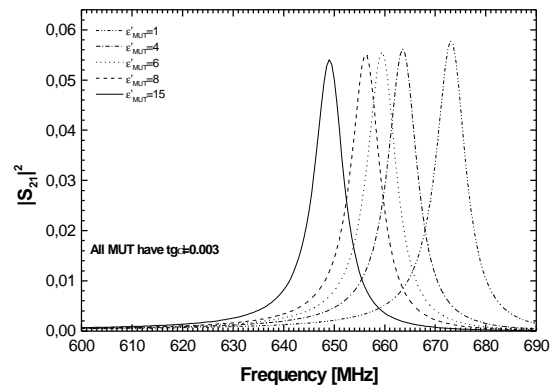


Fig.2. Risposte dovute a diversi MUT

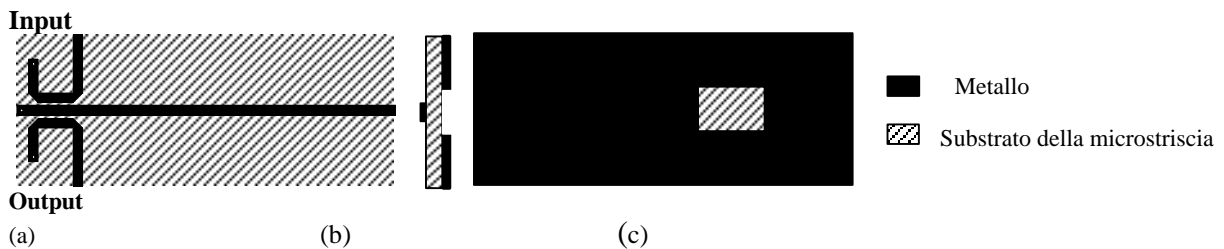


Fig. 3. Sonda planare del sensore (non in scala), top (a), side (b), bottom (c).

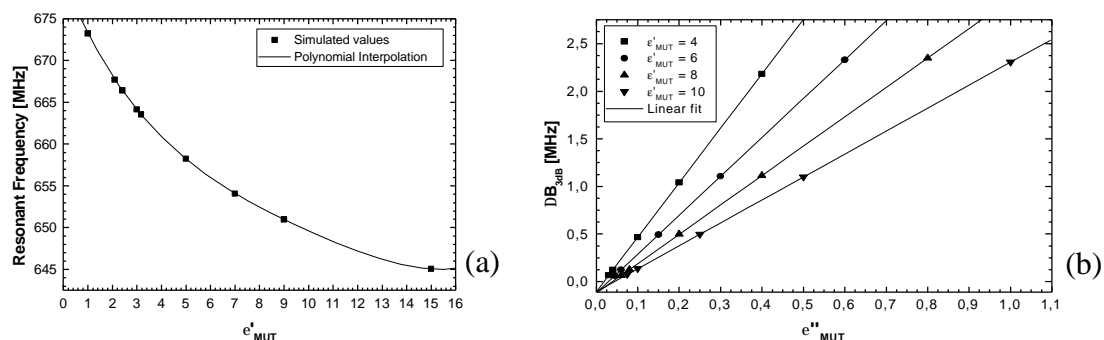


Fig. 4. Dipendenza della frequenza di risonanza dalla parte reale della costante dielettrica (a) e della banda a 3dB dalla parte reale e immaginaria (b).

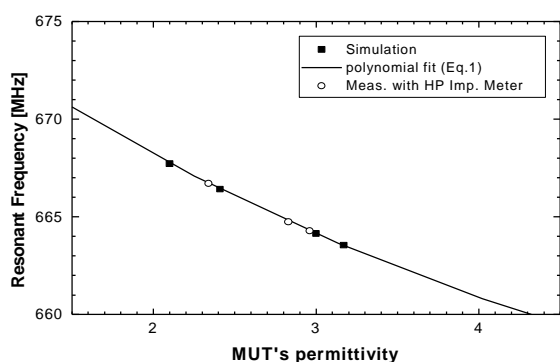


Fig. 5 Verifica del modello

MUT's permittivity		Calculated permittivity		Error (%)	
ϵ'	$\text{tg}\delta$	ϵ'	$\text{tg}\delta$	ϵ'	$\text{tg}\delta$
5.5	0.008	5.493	0.00789	0.14	1.30
5.5	0.035	5.526	0.0349	0.47	0.20
5.5	0.09	5.613	0.0897	2.06	0.38
7.3	0.008	7.325	0.00797	0.34	0.35
7.3	0.035	7.369	0.0350	0.95	0.17
7.3	0.09	7.488	0.0900	2.58	0.10
9.2	0.008	9.190	0.00804	0.11	0.62
9.2	0.035	9.242	0.03494	0.46	0.17
9.2	0.09	9.385	0.0898	2.01	0.20

Tab.1 Simulazione di misura

Sample	Measured [ϵ' $\text{tg}\delta$]		ϵ' (after [4])
Teflon	2.12	---	2.1
PVC	2.90	0.0049	2.8÷2.9
PEHD	2.36	---	2,3
Nylon	2.99	0.0069	2.8÷3.14

Tab.2 Misura di costante dielettrica.

	Resonant sensor		HP Imped. Meter	
	ϵ'	$\text{tg}\delta$	ϵ'	$\text{tg}\delta$
PVC	2.90	0.0049	2.92	0.0058
PEHD	2.36	---	2.38	0.0008
Nylon	2.99	0.0069	2.97	0.01205

Tab.3 Confronto dei risultati ottenuti con il sensore planare e con HP Impedance Meter.