

I radome

Antenne II / Antenne in ambiente operativo

Leonardo Lucci

leonardo.lucci@unifi.it

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

Università di Firenze

A.A. 2008/2009

- ▶ Il radome (radar dome) è l'involucro che in alcuni casi contiene l'antenna
- ▶ La funzione principale del radome è quella di proteggere l'antenna da esso racchiusa dagli agenti ambientali esterni (carico del vento, ghiaccio, neve, pioggia, temperatura)
- ▶ Idealmente il radome dovrebbe essere completamente trasparente alla radiofrequenza (RF) e non dovrebbe degradare le performance elettromagnetiche dell'antenna

- ▶ Un guscio in materiale dielettrico
- ▶ Strati di materiale metallico perforato
- ▶ Può comprendere strutture metalliche o dielettriche di sostegno

- ▶ Gli aeromobili a bassa velocità impiegati durante la seconda guerra mondiale, consentivano l'impiego di antenne esterne di tipo Yagi-Uda o ad array di dipoli operanti in VHF.
- ▶ Nel 1941 negli Stati Uniti e nel Regno Unito sono sperimentati radar a microonde e si ha il primo volo di un aeromobile ad alta velocità che monta un radome in plexiglass per un radar sperimentale in banda S (2-4GHz) della Western Electric

- ▶ Dal 1943 iniziano a diffondersi radome per aeromobili in legno compensato (ampia diffusione anche a bordo di alcune imbarcazioni della marina statunitense, a bordo dei dirigibili e nelle stazioni di terra): problema dell'umidità e della realizzazione di superfici con doppia curvatura
- ▶ Dal 1944 si iniziano a studiare strutture a sandwich a tre strati (skin-core-skin) con rivestimento in fibra di vetro e nucleo in polistirene

- ▶ Sistemi terrestri
- ▶ Sistemi marittimi
- ▶ Sistemi a bordo di aeromobili
- ▶ Sistemi missilistici

Radome per comunicazioni satellitari: vista in primo piano e installazione a bordo di una imbarcazione

[D. J. Kozakoff, Analysis of Radome-Enclosed Antennas, Artech House, Boston-London, 1997]

- ▶ Forma sferica (grandi antenne delle stazioni terrestri)
- ▶ forma smussata per contenere la resistenza aerodinamica o *drag* (a bordo di velivoli o missili)
- ▶ spesso il radome è montato sul naso del velivolo per minimizzare il *drag*

Radome al Misawa Security
Operations Center, Misawa, Japan

Radome montato sul *cockpit* di un
aereo

Sistema Airborne Early Warning and Control (AEW&C) a bordo di un
Boeing E-3 Sentry della Royal Air Force

Fin dai primi anni gli studi sui materiali impiegati per la realizzazione dei radome hanno riguardato due aree principali:

- ▶ radome ceramici impiegati in applicazioni missilistiche (altissima velocità)
- ▶ strutture composite a sandwich che utilizzano materiali organici ad elevata resistenza

- ▶ L-3 Communications ESSCO (Massachusetts, USA / Ireland)
<http://www.l-3com.com/ESSCO/index.html>
- ▶ AFC (Florida, USA)
<http://www.afcsat.com/>
- ▶ Radome srl (Bergamo, Italy)
<http://www.radome.it/home.html>
- ▶ Microwave Instrumentation Technologies (Georgia, USA) - ex Scientific Atlanta
<http://www.mi-technologies.com/index.html>

Proprietà elettriche (dipendenti generalmente dalla frequenza di lavoro)

- ▶ costante dielettrica relativa
- ▶ tangente di perdita del dielettrico

Proprietà termo-meccaniche

- ▶ flessibilità, durezza e resistenza
- ▶ densità del materiale
- ▶ caratteristiche di assorbimento dell'acqua
- ▶ resistenza all'erosione da pioggia reazione agli shock termici

Per quanto attiene ai materiali i radome possono essere raggruppati in due grandi famiglie:

- ▶ Radome con pareti dielettriche organiche : applicazioni a bassa temperatura (aeronautica civile e militare, veicoli terrestri e stazioni di terra) per cui $T = 250^{\circ}\text{C}$ ($T = 500^{\circ}\text{C}$ per brevi intervalli di tempo)
- ▶ Radome con pareti dielettriche inorganiche (ceramiche): applicazioni ad alta temperatura (aerei o missili supersonici)

- ▶ strutture monolitiche (*style-a* e *style-b* [MIL-R-7705B]): si tratta di strutture solide costituite da resine che eventualmente incorporano elementi di rinforzo (fibra di vetro)
- ▶ strutture **a sandwich** (*style-c* o *A-sandwich*, *style-d* e *style-e* [MIL-R-7705B]): si tratta di strutture che alternano strati di materiale ad alta densità e costante dielettrica a strati di materiale a bassa densità e costante dielettrica

Struttura a sandwich

Laminato interno ed esterno

Struttura a sandwich

Nucleo

Parametri che determinano le performance di un radome

Le variabili che determinano i parametri di performance di un radome sono di due tipi:

- ▶ **Vincoli di progetto:** variabili che non costituiscono gradi di libertà per il progettista elettromagnetico, poiché vengono scelti per soddisfare esigenze irrinunciabili (requisiti termo-meccanici del materiale, resistenza aerodinamica o resistenza al vento della forma, dimensioni necessarie per proteggere l'antenna, caratteristiche meccaniche ed EM dell'antenna)
- ▶ **Variabili di progetto:** sono i gradi di libertà che il progettista ha per ottimizzare le performance del radome (in particolare composizione e configurazione delle pareti)

- ▶ Il progetto di un radome inizia con la scelta di una struttura di base che viene ottimizzata mediante un procedimento euristico, di tipo *trial-and-error*, in cui i parametri del radome vengono ottimizzati per successive valutazioni delle performance.
- ▶ La caratterizzazione del radome può essere effettuata sia mediante misure, che mediante l'ausilio di tecniche numeriche.
- ▶ In fase di progetto la conoscenza dei contributi di campo all'interno di un radome aiuta ad individuare le regioni che generano significative riflessioni interne e che contribuiscono maggiormente alla degradazione delle performance dell'antenna.

Misura della distribuzione di campo all'interno del radome

Setup di misura

Misura della distribuzione di campo all'interno del radome

Esempio di misura di side lobe level

$$f = 16.5\text{GHz}$$

$$\beta = 36^\circ \text{ (angolo di } \textit{gimbal})$$

$$D = 33\text{cm}$$

$$L = 66\text{cm}$$

$$t = 0.49\text{cm}$$

$$\epsilon = 4$$

Le riflessioni dovute al radome
determinano l'innalzamento dei lobi
laterali

Misura della distribuzione di campo all'interno del radome

Esempio di misura dello sfasamento

$$f = 16.5\text{GHz}$$

$$\beta = 36^\circ \text{ (angolo di } \textit{gimbal})$$

$$D = 33\text{cm}$$

$$L = 66\text{cm}$$

$$t = 0.49\text{cm}$$

$$\epsilon = 4$$

La distorsione del fronte di fase
determina l'errore di boresight

Misura della distribuzione di campo all'interno del radome

Esempio di compact range per la misura delle performance EM di un sistema di antenna con radome

Naval Air Weapons Station Point Mugu
(Scientific-Atlanta compact range 46m x 46m x 18m)

- ▶ Propagazione di un'onda piana attraverso un dielettrico piano multistrato indefinito
- ▶ Si considera un modello a piastre piane (radome localmente piano)
- ▶ Valutazione dell'angolo di incidenza

Si suppone che il mezzo (0) sia il vuoto

$$n_i = \sqrt{\epsilon_{ri}}$$

indice di rifrazione del materiale
(dielettrico)

Legge della rifrazione dell'ottica (Legge di Snell)

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 = n_4 \sin \theta_4$$

Propagazione attraverso dielettrici piani multistrato

Problema di base: singola interfaccia (onde riferite immediatamente a sx e a dx dell'interfaccia)

$$k_i^\perp = k_i^\parallel = k_0 n_i \cos \theta_i$$

$$Z_i^\perp = \frac{\zeta_i}{\cos \theta_i}$$

$$Z_i^\parallel = \zeta_i \cos \theta_i$$

$$R_1^\perp = \frac{B_1}{C_1} \Big|_{B_2=0} = \frac{Z_2^\perp - Z_1^\perp}{Z_2^\perp + Z_1^\perp} \quad R_1^\parallel = \frac{B_1}{C_1} \Big|_{B_2=0} = \frac{Z_2^\parallel - Z_1^\parallel}{Z_2^\parallel + Z_1^\parallel}$$

$$T_1^\perp = \frac{C_2}{C_1} \Big|_{B_2=0} = 1 + R_1^\perp \quad T_1^\parallel = \frac{C_2}{C_1} \Big|_{B_2=0} = (1 + R_1^\parallel) \frac{\zeta_2}{\zeta_1}$$

Per la polarizzazione perpendicolare

$$C_2 = C_1 T_1 + B_2 R'_1$$

$$B_1 = C_1 R_1 + B_2 T'_1$$

$$R'_1 = -R_1$$

$$T'_1 = 1 + R'_1 = 1 - R_1$$

Per la polarizzazione perpendicolare

$$C_2 = C_1 T_1 + B_2 R'_1$$

$$B_1 = C_1 R_1 + B_2 T'_1$$

$$R'_1 = -R_1$$

$$T'_1 = (1 + R'_1) \frac{\zeta_1}{\zeta_2} = (1 - R_1) \frac{\zeta_1}{\zeta_2}$$

Per entrambi le polarizzazioni vale dunque:

$$C_1 = \frac{1}{T_1} C_2 + \frac{R_1}{T_1} B_2$$

$$B_1 = \frac{R_1}{T_1} C_2 + \frac{1}{T_1} B_2$$

Ovvero in forma matriciale:

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{T_1} \begin{bmatrix} 1 & R_1 \\ R_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

Propagazione attraverso dielettrici piani multistrato

Cascata di problemi elementari (onde riferite immediatamente a sx di ciascuna interfaccia)

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^N \frac{1}{T_1} \begin{bmatrix} e^{jk_i t_i} & R_i e^{-jk_i t_i} \\ R_i e^{jk_i t_i} & e^{-jk_i t_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{N+1} \\ B_{N+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{N+1} \\ B_{N+1} \end{bmatrix}$$

Trasmissione attraverso una struttura A-sandwich

Polarizzazione perpendicolare

Trasmissione attraverso una struttura A-sandwich

Polarizzazione parallela

