

LE ANTENNE IN MICROSTRIP

G. Martinetti

Gli evidenti vantaggi di integrazione e di economicità, che si ottengono con le antenne in microstrip, hanno portato alla ribalta questa struttura di antenna a microonde pur con le sue limitate prestazioni di guadagno. In questo articolo si presentano le caratteristiche fondamentali delle antenne in microstrip e un glossario in appendice della terminologia più usata per le antenne.

Meccanismo di radiazione di un'antenna in microstrip

Un'antenna a microonde in microstrip è essenzialmente costituita da una piastra di circuito stampato recante incisi su una faccia gli elementi radianti insieme alle reti di adattamento e di distribuzione atte ad alimentare quegli elementi.

L'altra faccia della piastra, completamente metallizzata, costituisce il piano di massa (vedi in appendice alcuni richiami sulle linee in microstrip).

In Fig. 1 è rappresentata un'antenna in microstrip che impiega un array di elementi radianti costituiti da piazzole conduttrici (Microstrip Patch Antenna) opportunamente dimensionate e spaziate fra di loro in modo da ottenere il diagramma di radiazione desiderato. La radiazione di ogni areola elementare avviene in virtù dei campi dispersi (fringing field) che si determinano in corrispondenza ai suoi bordi fra il conduttore e il piano di massa. Con riferimento ad una piazzola rettangolare (Fig. 2) di lunghezza pari a mezza lunghezza d'onda ($\lambda/2$) si vede che le componenti normali dei campi elettrici dispersi distanti $\lambda/2$ si compensano dando una radiazione totale nulla. Invece le componenti tangenziali (parallele al piano di massa) si sommano dando luogo ad un campo massimo nella direzione perpendicolare alla struttura.

Idealmente per rendere massimi i campi dispersi converrebbe usare substrati con costante dielettrica relativa (ϵ_r) molto bassa, ma in pratica, come si vedrà, è più conveniente usare substrati con ϵ_r abbastanza elevata (≤ 10).

Diverse configurazioni degli elementi radianti

Le antenne in microstrip si possono classificare in tre diverse categorie a seconda della configurazione dei radiatori impiegati: a piazzole conduttrici, ad onda progressiva, e a fessura.

Antenne in microstrip a piazzole (Microstrip Patch Antennas)

Gli elementi radianti sono costituiti da piazzole conduttrici, ricavate su una faccia del substrato.

Le forme di queste piazzole possono essere le più svariate e in Fig. 3 sono riassunte quelle principali. Vengono esaminati in dettaglio i radiatori a forma rettangolare e circolare che sono i più impiegati.

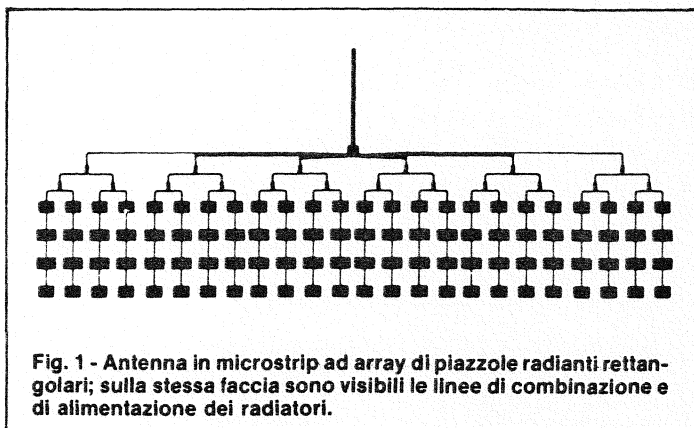


Fig. 1 - Antenna in microstrip ad array di piazzole radianti rettangolari; sulla stessa faccia sono visibili le linee di combinazione e di alimentazione dei radiatori.

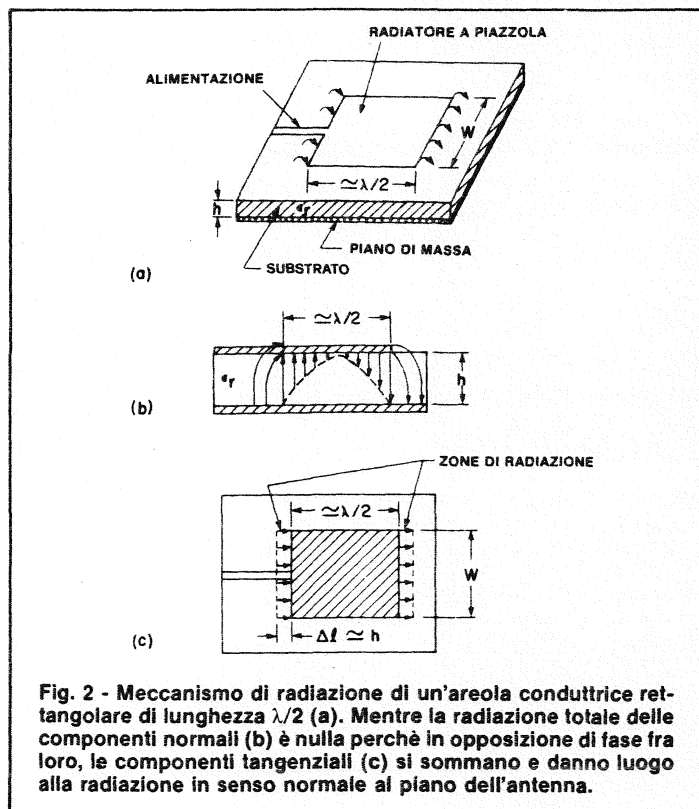
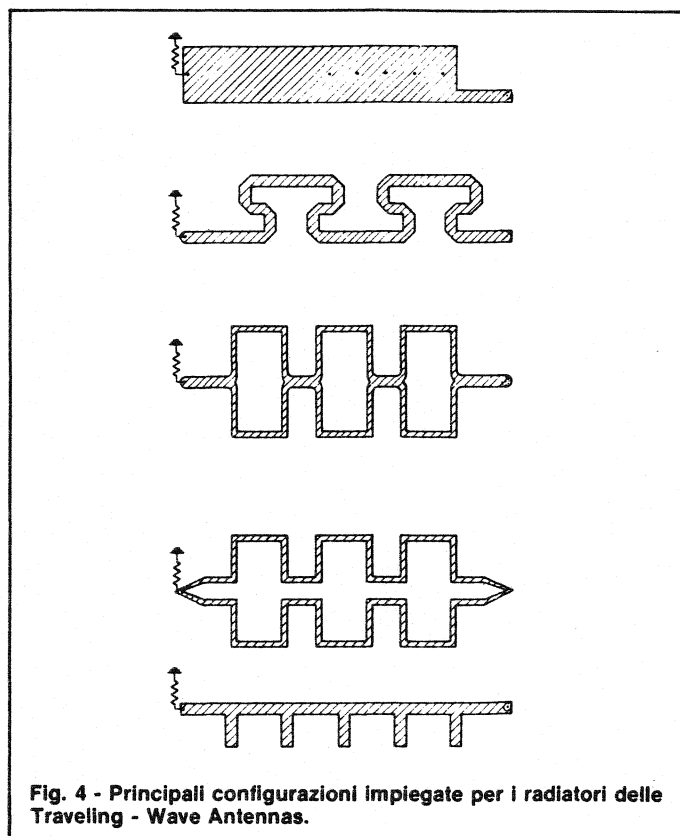
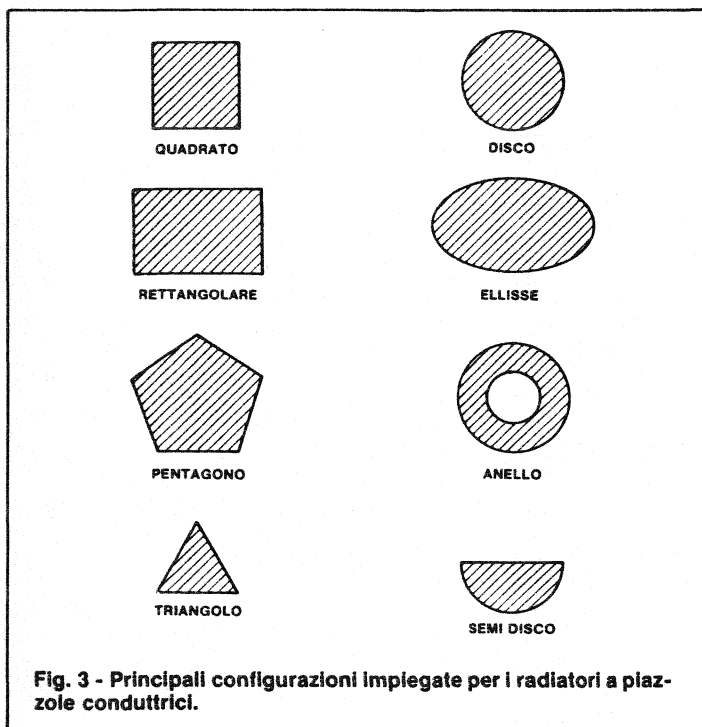


Fig. 2 - Meccanismo di radiazione di un'areola conduttrice rettangolare di lunghezza $\lambda/2$ (a). Mentre la radiazione totale delle componenti normali (b) è nulla perchè in opposizione di fase fra loro, le componenti tangenziali (c) si sommano e danno luogo alla radiazione in senso normale al piano dell'antenna.

| | Antenna a piazzola | Antenna a fessura | Antenna a onda retrostante | Antenna a dipolo stampato |
|----------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Spessore | Sottile | Non troppo sottile | Spesso | Sottile |
| Costruzione | Molto semplice | Semplice | Difficile | Semplice |
| Polarizzazione | Lineare e circolare | Lineare | Lineare e circolare | Lineare |
| Operazione a due frequenze | Possibile | Non possibile | Non possibile | Non possibile |
| Sagome possibili | Qualunque | Solo rettangolare | Diverse | Rettangolare e triangolare |
| Radiazioni spurie | Esistono | Esistono | Non esistono | Esistono |
| Larghezza di banda | 1 ÷ 5% | 1 ÷ 2% | ≈ 10% | ≈ 10% |



Antenne in microstrip ad onda progressiva (Microstrip Traveling Wave Antennas)

Gli elementi radianti sono costituiti da una linea trasmissiva che presenta periodicamente delle discontinuità del tipo presentato in Fig. 4.

La linea viene terminata da un carico resistivo in modo da non avere riflessioni che determinerebbero un'onda stazionaria.

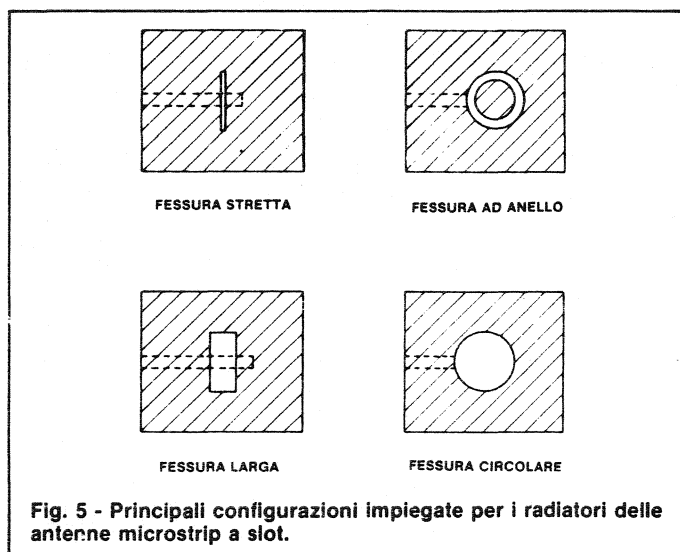
Esiste anche una versione di antenna "ad onda stazionaria" in cui le linee con discontinuità periodiche sono terminate da un corto o da un aperto.

Mentre però le antenne ad onda progressiva possono essere progettate per irradiare il fascio in qualunque direzione, quelle ad onda stazionaria possono irradiare solo nella direzione normale al piano, costituendo così un caso particolare delle prime.

Antenne microstrip a fessura (Microstrip Slot Antennas)

La radiazione avviene per mezzo di una fessura praticata nel piano di massa e alimentata da una linea microstrip ricavata nella faccia opposta.

La slot-può avere diverse configurazioni rappresentate in Fig. 5. A differenza che nelle antenne a piazzole e a onda progressiva ora è possibile ottenere radiazione in entrambe le



direzioni oltre che in una sola direzione.

Inoltre combinando diverse slot è possibile ottenere una radiazione con polarizzazione circolare.

Il ricevitore domestico a 12 GHz dei programmi TV trasmessi dalla torre di Tokyo impiega un'antenna a microstrip integrata con il convertitore.

La ricezione domestica dei programmi TV in gamma VHF/UHF presenta nelle metropoli l'inconveniente delle riflessioni multiple che danno luogo a altrettante immagini sullo schermo a causa del ritardo di propagazione rispetto al principale con cui i segnali riflessi arrivano all'antenna.

Per ridurre il fenomeno, che è particolarmente sentito quando esistono nei dintorni palazzi con superfici piane molto ampie, occorre aumentare la direttività dell'antenna ricevente e la sua altezza. Per ottenere facilmente antenne riceventi con forte direttività è entrato in funzione a Tokyo fin dal 1980 un sistema che irradia 7 programmi TV a 12,1 GHz dalla torre, copia della Tour Eiffel, che domina con la sua mole la città.

L'antenna ricevente impiegata misu-

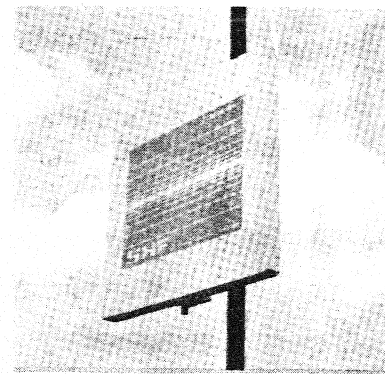
ra 340x330x24 mm ed è realizzata da un array di 306 radiatori a slot, che attraverso un'opportuna rete di combinatori in microstrip, alimenta, attraverso il filtro passabanda, il convertitore. Filtro e convertitore sono realizzati sullo stesso substrato dell'antenna.

Non è necessario l'impiego di un preamplificatore a bassa cifra di rumore, come nella ricezione della TV da satellite data l'intensità sufficientemente elevata del campo ricevuto.

Il guadagno dell'antenna è di 30,1 dB e la sua alta direttività, con lobi laterali molto bassi, elimina praticamente ogni immagine multipla sullo schermo.

Il convertitore impiega un mixer con diodi al silicio e un oscillatore a diodo Gunn stabilizzato con cavità dielettrica.

L'antenna convertitore è realizzata e venduta dalla Toshiba. I criteri di progetto di un'antenna simile saranno presentati nel prossimo articolo. ■



L'antenna in microstrip che opera a 12 GHz permette la ricezione domestica dei programmi TV trasmessi dalla torre di Tokyo. L'alta direttività di questa antenna permette di eliminare gli sdoppiamenti dell'immagine dovuti alla ricezione di segnali riflessi da edifici circostanti.

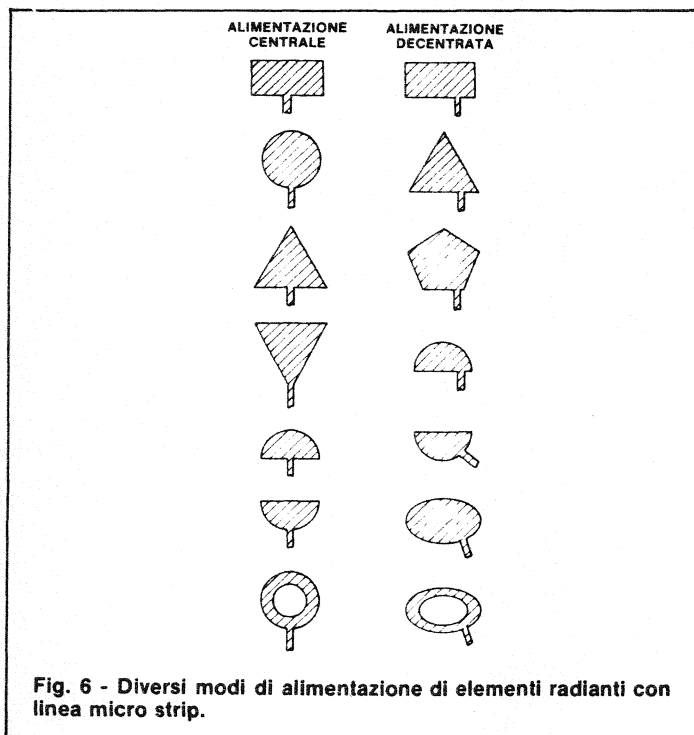


Fig. 6 - Diversi modi di alimentazione di elementi radianti con linea micro strip.

Alimentazione delle antenne in microstrip

Le antenne in microstrip possono essere alimentate da linee in microstrip oppure da linee coassiali.

L'adattamento d'impedenza fra linea di alimentazione a 50 e l'elemento radiante si ottiene scegliendo opportunamente il loro punto di interconnessione. Inoltre occorre tenere conto della perturbazione prodotta sulle caratteristiche di radiazione da parte della stessa interconnessione.

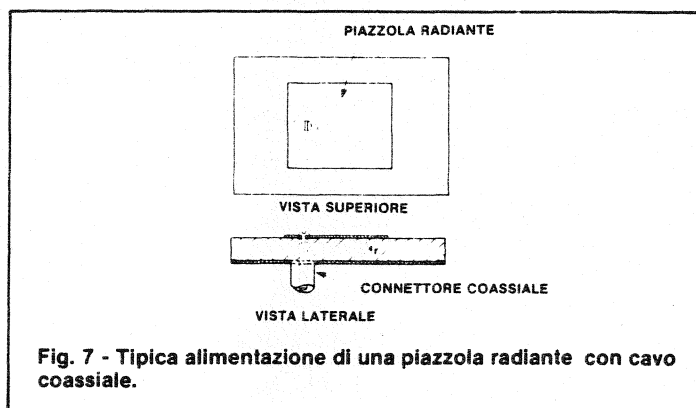


Fig. 7 - Tipica alimentazione di una piazzola radiante con cavo coassiale.

Alimentazione con linea microstrip

In Fig. 6 sono presentati alcuni esempi di connessione alle piazzole radianti del tipo centrale (center feed) e decentrato (off-center).

Per determinare il punto di connessione si può procedere con il calcolo tenendo conto del circuito equivalente del radiatore scelto in funzione del punto di connessione e progettando quindi il trasformatore di impedenza più opportuno.

Come si vedrà l'interconnessione e il trasformatore d'impedenza influenzano il modo di eccitazione del radiatore e la sua frequenza di risonanza.

Alimentazione con linea coassiale

In Fig. 7 è presentato il modo tipico di connessione della linea coassiale al radiatore.

In tutti i casi la calza esterna del coassiale è collegata al piano di massa dell'antenna e il conduttore centrale ad un punto opportuno del radiatore.

Il punto di interconnessione, che può essere sul bordo o all'interno della piazzola, si determina il più delle volte speri-

mentalmente secondo criteri illustrati con i criteri di progettazione.

Onde superficiali

Nelle linee microstrip oltre al modo fondamentale (vedi appendice 1) si propagano anche onde superficiali che possono dare luogo nel diagramma di radiazione dell'antenna a lobi secondari indesiderati.

I modi superiori del tipo TM_n e TEn che si determinano hanno frequenze di taglio date da:

$$f_c = \frac{n \cdot c}{4 h \sqrt{\epsilon_r - 1}}$$

essendo

- n = 1, 3, 5, ecc. per i modi TE
- n = 2, 4, 6, ecc. per i modi TM

Il modo a frequenza di taglio più bassa è il TM₀ con f_c = 0. Tuttavia è stato calcolato che l'eccitazione di tale modo diventa significativa solo quando h/λ₀ > 0,09 per il duroid (ε_r ≈ 2, 3) e h/λ₀ > 0,03 per l'alumina (ε_r = 10).

Tali formule vanno perciò utilizzate per dimensionare per una data lunghezza d'onda nel vuoto λ₀ e per h e ε_r del dielettrico in modo da non avere onde superficiali.

Vantaggi e svantaggi delle antenne in microstrip

Oltre alle antenne in microstrip sono stati sviluppati diversi altri tipi di antenne a profilo piatto le cui caratteristiche sono riassunte e confrontate in Tab. 1.

Le antenne in microstrip, a cui si fa riferimento in questo articolo, hanno diversi vantaggi rispetto alle antenne microonde convenzionali impiegate da 100 MHz a 50 GHz:

- spessore, peso e volume molto ridotti;
- basso costo di costruzione e particolarmente adatte alla produzione di massa;
- possibilità di polarizzazione lineare e circolare;
- possibilità di realizzazione di antenne a due frequenze;
- direttamente integrabile con i circuiti attivi dell'apparato oltre che con le linee di alimentazione e di adattamento;
- impiegando substrati flessibili, l'antenna può seguire la sagoma del contenitore dell'apparato.

Tuttavia le antenne in microstrip hanno, rispetto alle antenne convenzionali, i seguenti svantaggi:

- banda passante ridotta;
- guadagno ridotto anche a causa delle perdite della microstriscia;
- cattivo isolamento fra le linee di alimentazione e gli elementi radianti;
- potenza irradiabile ridotta.

Sebbene le applicazioni delle antenne in microstrip si trovino ancora nella fase iniziale si sono riscontrati già convincenti successi nei seguenti campi:

- comunicazioni via satellite;
- doppler radar;
- radiatori per applicazioni biomediche;
- applicazioni di bordo di veicoli aerodinamici;
- applicazioni portatili.

Principali criteri di progetto di una linea in microstrip

In una linea microstrip il modo di propagazione non è

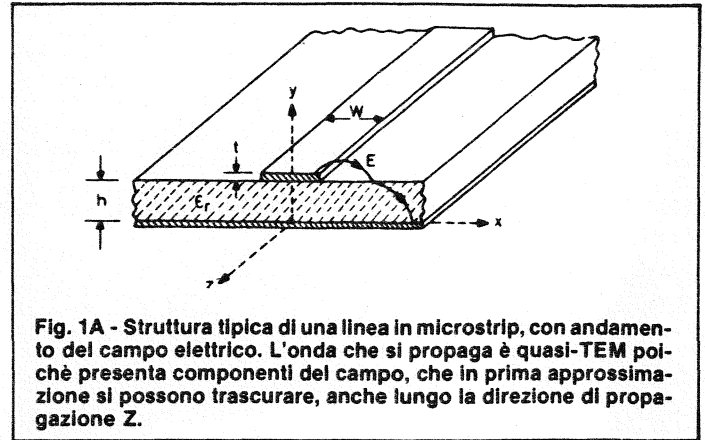


Fig. 1A - Struttura tipica di una linea in microstrip, con andamento del campo elettrico. L'onda che si propaga è quasi-TEM poiché presenta componenti del campo, che in prima approssimazione si possono trascurare, anche lungo la direzione di propagazione Z.

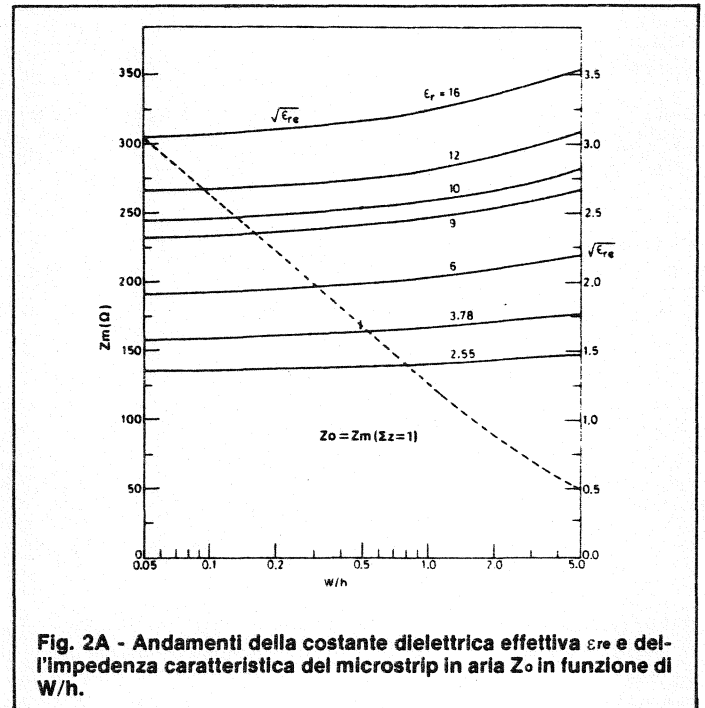


Fig. 2A - Andamenti della costante dielettrica effettiva ε_{re} e dell'impedenza caratteristica del microstrip in aria Z₀ in funzione di W/h.

esattamente TEM (Traverso Eletto Magnetico) poiché il campo elettrico e magnetico hanno componenti lungo la direzione di propagazione z (Fig. 1-A) di ampiezza trascurabile quando si considerano frequenze minori di 10 GHz.

Costante dielettrica effettiva e impedenza caratteristica

Si definisce costante dielettrica effettiva ε_{re} della linea microstrip

$$\sqrt{\epsilon_{re}} = \frac{V_0}{V_m}$$

essendo V₀ la velocità della fase nel vuoto e V_m quella lungo il microstrip.

Poiché le linee di campo elettrico e magnetico si richiudono in parte nel dielettrico e in parte nell'aria si ha che

$$\epsilon_{re} < \epsilon_r$$

essendo ε_r la costante dielettrica relativa.

L'impedenza caratteristica Z_m del microstrip si può calcolare dal rapporto

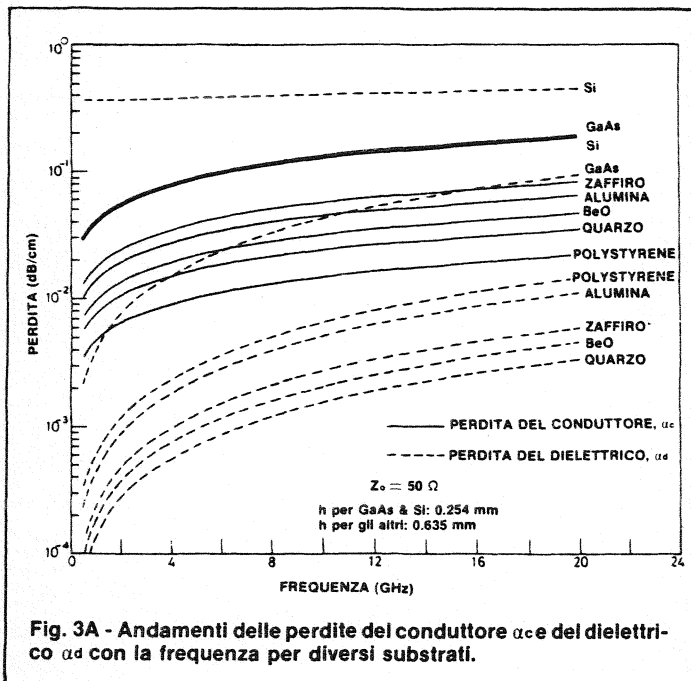


Fig. 3A - Andamenti delle perdite del conduttore α_c e del dielettrico α_d con la frequenza per diversi substrati.

$$Z_m = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}}$$

essendo Z_0 l'impedenza caratteristica di un microstrip completamente immerso in aria ($\epsilon_r = 1$).

In Fig. 2-A sono dati gli andamenti di $\sqrt{\epsilon_{re}}$ per diversi valori della ϵ_r del substrato usato e di Z_0 in funzione di W/h .

Ad es. per $\epsilon_r = 10$ (alumina), $h = 1$, $w = 0,5$ si ha $W/h = 0,5$, $\sqrt{\epsilon_{re}} = 2,5$ e $Z_0 = 250$.

Perciò

$$Z_m = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} = \frac{250}{2,5} = 100 \text{ ohm}$$

La lunghezza d'onda nel microstrip vale

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}}$$

Perdite

Le perdite nel microstrip hanno due contributi: α_c dovuta alla perdita del conduttore e α_d dovuta alla perdita del dielettrico.

L'andamento delle perdite di diversi substrati con la frequenza è rappresentato in Fig. 3-A.

In una struttura risonante in microstrip vanno inoltre considerate anche le perdite α_r per irraggiamento attraverso l'aria.

Principale terminologia usata per le antenne

Banda passante dell'antenna (BW): è la banda di frequenza nella quale il rapporto di onda stazionaria è inferiore ad un valore assegnato s . Si ha:

$$BW = \frac{s-1}{Q_T \sqrt{s}}$$

essendo Q_T il fattore di merito totale. Per le antenne in microstrip si considera normalmente $s = 1:2$.

Cross polarisation: polarizzazione incrociata rispetto a un'altra polarizzazione.

Depolarizzazione: conversione dell'energia irradiata da una polarizzazione a un'altra.

Direttività (D): rapporto fra la massima intensità di radiazione e la densità media.

Efficienza dell'antenna (η): è il rapporto fra la potenza irradiata P_r e la potenza che alimenta l'antenna. P_t .

Far-field: è il nome che si dà allo spazio abbastanza lontano dall'antenna, dove la distribuzione angolare dell'energia irradiata è indipendente dalla distanza dall'antenna. Se d è la dimensione massima dell'antenna, la regione far-field si trova oltre $2d^2/\lambda_0$. Lo spazio più vicino si chiama naturalmente *near-field*.

Frequenza di risonanza: frequenza a cui l'impedenza d'ingresso non ha componente reattiva.

Guadagno (G): è il rapporto fra la massima intensità di radiazione dell'antenna e la massima intensità di un'antenna di riferimento alimentata dalla stessa potenza. Generalmente l'antenna di riferimento è un'antenna isotropica con eguale radiazione in ogni direzione e in tal caso il G si esprime in Dbi , oppure si fa riferimento a un dipolo a mezza lunghezza d'onda e in tal caso si esprime il guadagno in dBd .

Inoltre si ha che $G = D \cdot \eta$

Larghezza del fascio a -3 dB: è l'angolo compreso fra le due direzioni del piano di massima radiazione fra le quali la radiazione si riduce a metà rispetto alla massima.

Polarizzazione dell'onda irradiata: è caratterizzata dalla figura formata nel tempo dall'estremità del vettore campo elettrico in un determinato punto. In generale tale figura è ellittica e viene percorsa in senso orario o anti-orario. In particolare può diventare una retta (polarizzazione lineare) o un cerchio (polarizzazione circolare).

Resistenza di radiazione (R_r): è il rapporto fra il quadrato del valore efficace della tensione e la potenza irradiata P_r

$$R_r = \frac{V^2}{2 \cdot P_r}$$