Appunti di Compatibilità Elettromagnetica

DIMENSIONI ELETTRICHE

Un concetto molto importante è quello delle **dimensioni elettriche** di un circuito elettronico o comunque di una *struttura che genera e irradia campi elettromagnetici* (con quest'ultima terminologia ci riferiamo semplicemente ad una struttura composta da conduttori che trasportano corrente). Le dimensioni fisiche, per se stesse, non incidono sulla capacità di una sorgente di accoppiarsi con un ricevitore; sono decisamente più importanti le dimensioni elettriche, dato che esse determinano l'efficienza del fenomeno di **accoppiamento**.

Le dimensioni elettriche si misurano in *lunghezze d'onda*: ricordiamo allora *che la **lunghezza d'onda** (simbolo: l; unità di misura: **metri**) rappresenta lo spazio percorso perché l'onda subisca una variazione di fase di 360°.* A rigore, essa è valida solo per onde piane uniformi, ma può essere generalizzata ad altri tipi di onde che hanno caratteristiche simili.

Per il momento, vogliamo semplicemente determinare le dimensioni elettriche di una struttura elettromagnetica in termini di lunghezze d'onda.

Consideriamo inizialmente onde elettromagnetiche che si propagano in **mezzi non conduttivi** (quindi senza perdite). In questa ipotesi, la lunghezza d'onda è banalmente legata alla frequenza f dell'onda dalla seguente relazione di proporzionalità inversa:

$$\boxed{\lambda = \frac{v}{f}}$$

dove v rappresenta la velocità di propagazione dell'onda.

Una struttura, le cui **dimensioni fisiche** (espresse cioè in metri) vengano indicate con L, ha una dimensione elettrica (espressa in termini di λ) pari a

$$k = \frac{L}{\lambda} = \frac{L \cdot f}{v}$$

In base a questa espressione, la dimensione elettrica di una struttura dipende sia dalle dimensioni fisiche della struttura stessa, sia dalla velocità e dalla frequenza dell'onda che si propaga nel mezzo in cui la struttura è immersa.

Diremo allora che *una struttura elettromagnetica è **elettricamente piccola** se risulta **k<<1**, ossia se le sue dimensioni fisiche L sono molto minori di una lunghezza d'onda.* E' anche possibile fornire un criterio approssimato di valutazione: diremo infatti che la struttura in esame è elettricamente piccola se risulta k<1/10, ossia se **L<λ/10**.

In generale, la velocità di propagazione di un'onda in un mezzo non conduttivo diverso dallo spazio libero dipende dalla **permettività** (ε) e dalla **permeabilità** (μ) del mezzo stesso, secondo la relazione

$$\boxed{v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r\varepsilon_0 \cdot \mu_r\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}}$$

dove **c** è la **velocità delle onde nel vuoto**, pari notoriamente a **3*10^8 metri/sec**. In particolare, risulta

$$\boxed{c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}}$$

dove ricordiamo che

$$\varepsilon_0 \cong \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \quad \frac{F}{m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad \frac{H}{m}$$

Come si vede, la permettività si misura in F/m, per cui corrisponde ad una capacità per unità di lunghezza, mentre invece la permeabilità si misura in H/m, per cui corrisponde ad una induttanza per unità di lunghezza ([1]).

In base alle relazioni riportate, è evidente che la velocità di propagazione delle onde nei vari mezzi è sempre minore di quella nel vuote. Ad esempio, il **Teflon** possiede permettività relativa ε_r=2.1 e permeabilità relativa μ_r=1 ([2]), da cui consegue che la velocità di propagazione in tale mezzo è **0.69c**.

Solitamente, la permettività relativa ε_r dei dielettrici (μ_r=1) ha un valore compreso tra 2 e 5, da cui consegue che la velocità di propagazione in tali mezzi varia tra 0.70c e 0.45c.

Abbiamo dunque compreso come si possano calcolare le dimensioni elettriche di un circuito o di una struttura elettromagnetica, in modo da stabilire se esso sia elettricamente piccolo ($L<\lambda/10$) oppure no. E' importante capire questo per i motivi che seguono:

- *se il circuito è elettricamente piccolo, allora esso è analizzabile tramite le leggi di Kirchhoff per le tensioni e per le correnti ed inoltre gli elementi presenti sono modellabili tramite modelli circuitali a parametri concentrati;*
- se, invece, il circuito non è elettricamente piccolo, allora è necessario ricorrere alle equazioni di Maxwell (o comunque a qualche loro opportuna semplificazione).

Naturalmente, avendo osservato che le dimensioni elettriche di un circuito dipendono dalla frequenza di lavoro, è evidente che lo stesso circuito può risultare elettricamente piccolo in corrispondenza di certe frequenze e elettricamente lungo in corrispondenza di altre. In generale, *fissate le dimensioni fisiche L del circuito, all'aumentare della frequenza diminuisce la lunghezza d'onda l, per cui aumentano le*

[1] Ricordiamo che il valore di ε_0 è approssimato, mentre quello di μ_0 è esatto.

[2] Notiamo che il Teflon ha permeabilità relativa unitaria, il che significa che ha la stessa permeabilità del vuoto. questa è una caratteristica dei materiali **non ferrosi** o **non magnetici**.

`dimensioni elettriche k=L/l:` quindi, l'ipotesi di circuito elettricamente piccolo è tanto più difficile da adottare quanto maggiore è la frequenza di lavoro.

Analogamente, fissate la frequenza di lavoro e le dimensioni fisiche del circuito, le dimensioni elettriche dipendono anche dal dielettrico in cui il circuito si trova immerso. Ad esempio, consideriamo un circuito la cui dimensione maggiore sia L=3.6m e che lavori alla frequenza di 86 MHz. Se il circuito si trova immerso nel vuoto, la frequenza di 86 MHz corrisponde ad una lunghezza d'onda di 3.49m, per cui la dimensione elettrica del circuito è k=3.6/3.49=1.03. Al contrario, se il circuito fosse immerso in *cloruro di polivinile* (più noto come **PVC**), la lunghezza d'onda corrispondente a 86MHz sarebbe

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1}{f}\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} = \frac{3.49\text{m}}{\sqrt{4 \cdot 1}} = 1.745\text{m}$$

e quindi ad essa corrisponderebbe una dimensione elettrica k=3.6/1.745=2.06 doppia della precedente.

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**
e-mail: sandry@iol.it
sito personale: http://users.iol.it/sandry
succursale: http://digilander.iol.it/sandry1