INTRODUZIONE

Campi elettromagnetici

↳ "Radiazione non ionizzante"

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

per le onde radio → frequenza ; invece dal regime ottico in → lunghezza d'onda

Le interazioni tra un'onda e la materia sono legate al rapporto tra λ e le dimensioni dell'oggetto

Ionizzazione → si staccano degli elettroni → libera
↳ quando è in "risonanza"

↳ può generare mutazioni genetiche, cancerogenico
le radiazioni ionizzanti sono certamente cancerogeniche

Noi ci occuperemo dal visibile in giù (in frequenza)

- ripetitori telefonia : 25W
- ripetitori televisioni : KW

06-10-2017

Il campo elettromagnetico è vettoriale

$$\underline{u} \rightarrow \hat{u} = \frac{\bar{u}}{|\bar{u}|}$$

$$\bar{E} \rightarrow \hat{E} = \frac{\bar{E}}{|\bar{E}|} \rightarrow [V/m]$$

i versori indicano una direzione (hanno modulo unitario) e sono numeri puri, adimensionali

$$|\bar{u}| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} = \sqrt{\bar{u} \cdot \bar{u}}$$

↳ prodotto scalare

$$\bar{u} = u_x \cdot \hat{x} + u_y \cdot \hat{y} + u_z \cdot \hat{z}$$

$$\bar{u} \cdot \bar{u} = u_x^2 \underbrace{\hat{x} \cdot \hat{x}}_{1} + u_y u_x \cdot \underbrace{\hat{x} \cdot \hat{y}}_{0} + \ldots$$

$$\bar{u} \cdot \bar{u} = |\bar{u}|^2$$

parallelismo → prodotto vettoriale = 0

perpendicolare → prodotto scalare = 0

$$\bar{a} \times \bar{b} = (a_x \hat{x} + a_y \hat{y} + a_z \hat{z}) \times (b_x \hat{x} + b_y \hat{y} + b_z \hat{z}) =$$

$$= a_x b_x \underbrace{\hat{x} \times \hat{x}}_{0} + a_x b_y \underbrace{\hat{x} \times \hat{y}}_{\hat{z}} + \ldots \quad \underbrace{\hat{x} \times \hat{z}}_{-\hat{y}}$$

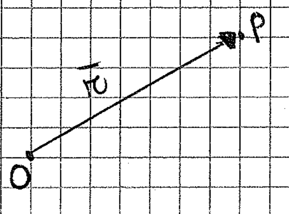
~~Un campo vettoriale è un già~~

Campo scalare → funzione dello spazio $\quad (x, y, z) \rightarrow T(x, y, z)$

Campo vettoriale $\quad (x, y, z) \rightarrow \bar{u}(x, y, z) = u_x(x, y, z)\hat{x} + u_y(x, y, z)\hat{y} + u_z(x, y, z)\hat{z}$

Sistema di riferimento

- scelgo un origine (nel modo + funzionale possibile)



$\bar{r} = P - O$ vettore posizione

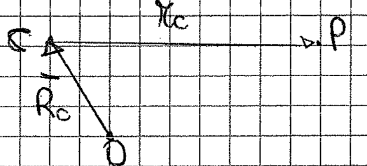
$\bar{E}(P) = \bar{E}(\bar{P}) = \bar{E}(\bar{r})$

Legge di Coulomb: per una singola carica nell'origine

punto dove osservo il campo

$$\bar{E}(P) = Kq \frac{1}{r^2} \hat{r} \qquad \hat{r} = \bar{r}/|\bar{r}|$$

carica nel punto C $\qquad \bar{r} \to \bar{r}_c = P - C$



$\bar{R}_c = x_c \hat{x} + y_c \hat{y} + z_c \hat{z}$

$\bar{r}_c = P - C \qquad P - O = \bar{r} \qquad P = O + \bar{r} \qquad \bar{R}_c = C - O \qquad C = \bar{R}_c + O$

$$\begin{aligned} \bar{r} &= x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z} \\ \bar{r}_c &= P - C = O + \bar{r} - O - \bar{R}_c = \bar{r} - \bar{R}_c \\ &= x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z} - x_c\hat{x} - y_c\hat{y} - z_c\hat{z} \\ &= (x - x_c)\hat{x} + (y - y_c)\hat{y} + (z - z_c)\hat{z} \end{aligned}$$

$\bar{E} = Kq \frac{1}{r_c^2} \hat{r}_c \qquad \hat{r}_c = \frac{\bar{r}_c}{|\bar{r}_c|}$ con $|\bar{r}_c| = \sqrt{\bar{r}_c \cdot \bar{r}_c}$

se sostituisco ho l'espressione esplicita del campo

$$\bar{E} = Kq \frac{1}{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 + (z-z_c)^2} \cdot \left(\frac{(x-x_c)\hat{x}}{\sqrt{}} + \frac{(y-y_c)\hat{y}}{\sqrt{}} + \frac{(z-z_c)\hat{z}}{\sqrt{}} \right)$$

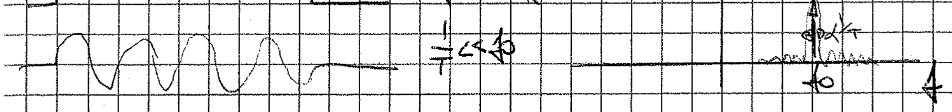
REGIME TEMPO-ARMONICO

10-10-2012

(o sinusoidale). Si usano grandezze complesse invece di reali

dico che è sinusoidale perché confronto il periodo d'osservazione con quello della sinusoide

→ la sinusoide di reale in frequenza è una sinc (molto stretta rispetto a 50 Hz)



segnale a banda stretta
quasi-sinusoidale

il vantaggio di usare il sistema sinusoidale, è nel risolvere le derivate

↳ utilizzo equazioni algebriche per risolvere

Con la trasformata di Fourier lavoro con le sinusoidi → non risolvo eq. differenziali
↳ applico il principio di sovrapposizione degli effetti
↳ la limitazione dell'analisi di Fourier è l'applicazione a soli sistemi lineari
(analisi di Fourier = sinusoidale = tempo-armonico)
↳ è limitata a sistemi LTI (lineari, tempo invarianti)
↳ $\frac{d}{dt}$, $\int ()dt$ ⇒ operazioni algebriche
equazioni di Maxwell → a derivate parziali, campi vettoriali

Trasmettere a frequenze uniche è un reato per

Per trasmettere ad una frequenza, bisogna chiedere all'ente competente la licenza (e bisogna pagarla)

segnale $\underline{v(t) = A \cos(\omega t + \phi)} = \underline{A \underbrace{\cos(\omega t)\cos(\phi)}_{\text{in fase}} - A \sin(\omega t)\sin(\phi)} =$

↳ in fase ↳ in quadratura

$$= \underline{A_c \cos(\omega t) - A_s \sin(\omega s)}$$

$e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j\sin(\omega t)$

$$v(t) = \mathrm{Re}\left[e^{j\omega t}(A_c + jA_s)\right] = \mathrm{Re}(V e^{j\omega t})$$

↳ $\in \mathbb{C}$

alternative: $V = \underbrace{V' + jV''}_{\text{cartesiano}} = |V| e^{j\alpha}$ ⇒ FASORE DI $v(t)$

$V' \to A_c$, $V'' \to A_s$; ↳ cartesiano ↳ polare

$$v(t) = |V| \,\mathrm{Re}(e^{j\omega t} \cdot e^{j\alpha}) = |V| \,\mathrm{Re}(e^{j(\omega t + \alpha)}) = |V| \cdot \cos(\omega t + \alpha)$$

$\alpha = \phi$

Significato fisico di V', V'' $\quad v(t) = \mathrm{Re}\left[(V' + jV'')e^{j\omega t}\right] = V'\cos\omega t - V''\sin\omega t$
↳ grandezze osservabili

$v(0) = V'$ se campiono il segnale a $t=0$ trovo la parte reale del fasore

$\omega t = \frac{\pi}{2}$ → $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T}$

$\frac{2\pi}{T} t = \frac{\pi}{2}$ $\quad t = \frac{1}{4} T$ → $v(T/4) = -V''$

$$\underline{V = v(0) - j\, v(T/4)}$$

VETTORI TEMPO-ARMONICI

$\bar{v}(t)$ → dipendenza sinusoidale

? come associare lo scalare $\cos(\omega t)$ al vettore $\bar{v}(t)$

11-10-2012

La potenza è la caratteristica rilevante → xké l'energia è infinita (x una sinusoide)

potenza: $v(t) \cdot i(t)$

pot. istantanea: $p(t) = v(t)\, i(t)$

regime sinusoidale (tempo-armonico): potenza media sul periodo T : $P = \frac{E_T}{T}$

$$E_T = \int_0^T p(t)\,dt \qquad P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt$$

Usando la rappresentazione con i fasori:

$$v(t) = Re(\underbrace{V}_{\text{fasore}} e^{j\omega t}) \; , \; i(t) = Re(\underbrace{I}_{\text{fasore}} e^{j\omega t})$$

la potenza istantanea non è associabile direttamente ad un fasore.

però si può collegare $P \longleftrightarrow$ fasori V, I ; $P = \frac{1}{2} Re(V \cdot I^*)$

↳ potenza media sul periodo — perché si sono scelti valori di picco

"potenza complessa" $\hat{P} = \frac{1}{2} V I^* = P + jQ$

↳ componente reattiva: accumulo di energia media nel periodo

$x(t) \to X$

$$y(t) = \frac{d}{dt}(x(t)) \to Y = \frac{d}{dt} Re(X e^{j\omega t}) = Re(X \underbrace{\frac{d}{dt} e^{j\omega t}}_{j\omega e^{j\omega t}}) = Re(j\omega X e^{j\omega t})$$

$$y(t) = Re(Y e^{j\omega t}) \quad Y = j\omega X$$

$$\frac{d}{dt} \longleftrightarrow j\omega$$

<u>effetto pelle</u>: a freq. 0 un conduttore è percorso uniformemente da corrente
alzando la freq., la corrente passa solo sui bordi

spesso la caratterizzazione si fa in frequenza → è + facile

vettore $\bar{v}(t)$ es. $\bar{v}(t) = \bar{u}(x, y, z; t)$ (campo vettoriale) calcolato/misurato a x_0, y_0, z_0

$\bar{v}(t) = v_x(t)\hat{x} + v_y(t)\hat{y} + v_z(t)\hat{z}$ devono oscillare tutti alla stessa frequenza

$v_x(t) = V_{x0} \cos(\omega t + \phi_x)$
$v_y(t) = V_{y0} \cos(\omega t + \phi_y)$ oscillano alla stessa frequenza (stesso ω)

...

Uso la rappresentazione fasoriale

$v_x(t) = Re(\bar{V}_x e^{j\omega t})$
$v_y(t) = Re(\bar{V}_y e^{j\omega t})$
$v_z(t) = Re(\bar{V}_z e^{j\omega t})$

$$\Rightarrow \bar{v}(t) = \hat{x} Re(\bar{V}_x e^{j\omega t}) + \hat{y} Re(\bar{V}_y e^{j\omega t}) + \hat{z} Re(\bar{V}_z e^{j\omega t})$$

sono reali → li posso portare dentro

$$\bar{v}(t) = Re(\underbrace{(\hat{x}\bar{V}_x + \hat{y}\bar{V}_y + \hat{z}\bar{V}_z)}_{\text{è un vettore con componenti complesse}} e^{j\omega t})$$

$\bar{V}_x = \bar{V}_x' + j\bar{V}_x''$

$$↳ = \underbrace{(V_x'\hat{x} + V_y'\hat{y} + V_z'\hat{z})}_{\text{vettore standard reale} \, = V'} + j\underbrace{(V_x''\hat{x} + V_y''\hat{y} + V_z''\hat{z})}_{\text{vettore standard reale} \, \equiv V''}$$

$$(\ldots) = \bar{V}' + j V''$$

$$\bar{v}(t) = Re\left((\bar{V}' + j\bar{V}'')\, e^{j\omega t} \right)$$

Qual è il significato di $\bar{V}', \bar{V}''$?? in termini di grandezze osservabili

$$\bar{v}(t) = Re\left((\bar{V}' + j\bar{V}'')(\cos\omega t + j\sin\omega t) \right) =$$
$$= \bar{V}'\cos\omega t - \bar{V}''\sin\omega t$$

$$\underline{\bar{V}' = \bar{v}(0)} \qquad \underline{\bar{V}'' = -\bar{v}(T/4)} \quad \omega t = \pi/2$$

la fase è considerata nel n° complesso

lo definisco
$$\bar{V} \equiv \bar{V}' + j\bar{V}''$$
$\to \in \mathbb{C}^3$ vettore complesso lungo $\bar{V}'$ a $t=0$ e $\bar{V}''$ a $t=T/4$ $\to$ e gira

[Nella RM il campo magnetico Bd è un vettore rotante]

16-10-2012

Notazione: punto tempo: 4 variabili

$$\bar{\mathcal{E}}(P,t) = Re\left[\bar{E}(P)\, e^{j\omega t} \right] \qquad \bar{E}(P) \in \mathbb{C}^3$$

$$\bar{E} = \bar{E}' + j\bar{E}'' = \bar{\mathcal{E}}(P,0) - j\,\bar{\mathcal{E}}(P, T/4)$$
$\bar{E}', \bar{E}'' \in \mathbb{R}^3$; $t=0$; $t = T/4$

$$\bar{\mathcal{E}}(P,t) = \bar{E}'(P)\cos\omega t - \bar{E}''(P)\sin\omega t$$

INTERAZIONE CON I TESSUTI BIOLOGICI

Interazione:

- Livello biologico
- Livello chimico
- Livello cellulare
- Livello di sistema

1. Studi sulle cellule
2. In vivo (su animali)
3. sperimentazione clinica

Interazione:

1. a livello fisico, con la materia
2. a livello chimico (può esserci o no $\to$ reazioni chimiche)
3. a livello biologico
   $\to$ si tengono conto di tutte le cellule, del sistema: la reazione completa è + complicata di quello del singolo "tessuto"

Per accertarsi del livello di danno bisogna fare studi epidemiologici.

La materia reagisce al campo e.m. solo se ci sono delle particelle cariche

I mezzi biologici hanno delle particolarità

Le eq. di Kirchoff derivano dalle eq. di Maxwell, sono una semplificazione.

$\to$ nei circuiti elettrici posso usare tensione e corrente

$\to$ nel resto devo usare i campi