PROF. GIOVANNI LUPÒ 10/03/2014

Il materiale è nella sezione dei meccanici.

CAPITOLO 1 è il cardine

CAPITOLO 2 e 3 PIÙ IMPORTANTI

CAPITOLO VIII sì, il VII lo deve cambiare.

ESAME: parte scritta si può usare tutto

WWW. elettrotecnica.unina.it per il materiale didattico

"L'AEREO non è colpito dal fulmine, è il fulmine". cit. LUPÒ

EQUAZIONI DI MAXWELL

In elettrotecnica si usano molto quelle integrali.

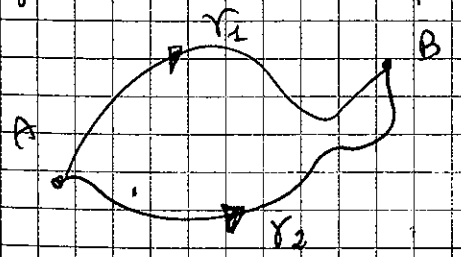
$$\oint_\gamma \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl = -\frac{d}{dt}\iint_{S_\gamma} \vec{B}\cdot\vec{n}\,dS_\gamma$$

$[V]$ $[V]$

legge dell'induzione elettromagnetica di Faraday-Neumann

Usato per il generatore dei motori al fine degli 1800.

Uguale sta per quantità e dimensione.



Se faccio $\gamma_1 \cup (-\gamma_2) = \gamma$ è, dunque, una CURVA CHIUSA

S_γ è una superficie orlata da γ

$\oint \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl$ è una tensione elettrica indotta (o forza elettromotrice indotta)

$$(\gamma_1)\int_A^B \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl + (\gamma_2)\int_B^A \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl =$$ flusso concatenato alla linea γ

ciò è vero per la 3ª

$$\oiint_\Sigma \vec{B}\cdot\vec{n}\,d\Sigma = 0$$

$V_{AB}^{(\gamma_1)}$ = TENSIONE ELETTRICA da A a B lungo γ_1

$V_{BA}^{(\gamma_2)}$

Bisogna fissare la curva lungo la quale calcolo la V_{AB} se il campo non è conservativo, altrimenti non serve.

voltmetro ideale = è un integratore di campo elettrico, svolge $(\gamma_1)\int_A^B \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl$

devo avere $\vec{E}$, i punti A e B e la curva γ_1.

NB. Se scambio A e B avrò:

$$(\gamma_1)\int_A^B \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl = -(\gamma_1)\int_B^A \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl$$

VITALE

Ciò è importante perché la V_{AB} è la tensione da un 1° punto ad un 2° lungo una certa linea in un campo $\vec{E}$ definito.

La $V_{AB}^{(\gamma)}$ viene misurato in V, il campo elettrico è $\left[\frac{V}{m}\right]$

$$V_{AB}^{(\gamma_1)} = (\gamma_1)\int_A^B \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl \quad , \text{ho } [V] = E\cdot[m] \Rightarrow E = \left[\frac{V}{m}\right]$$

La tensione indotta o Elettromotrice indotta è uguale a zero, cioè il flusso di B è nullo, se non c'è variazione rispetto al tempo.

$[B]$ è $[T] = \left[\frac{Weber}{m^2}\right]$

$[V] = \left[\frac{Weber}{m^2\cdot s}\right]$

NB. Può essere $B=0$ o $B\neq 0$, ma il flusso di $B=0$.

NB. Più di E, parlerei di E indotto.

Φ del campo magnetico si misura in $[Wb] = [T\cdot m^2]$

La L si misura in $[H] = \left[\frac{Wb}{A}\right]$, HENRY.

Prendiamo per funz

NERATORE A B

Nei casi

Il voltmet fra A e

Si può in Se c'è

NB. N

la fibra legge di LEGGE

$\oiint_\Sigma \vec{E}\cdot$

Hp. Q e

$Q_\Sigma =$

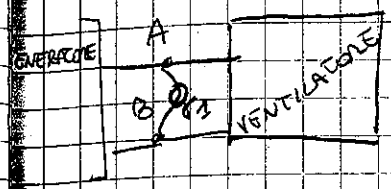
In gener

$\oiint_\Sigma \vec{B}$

le line

Oppure finito.

Prendiamo un oggetto con una spina che deve essere collegato ad un generatore per funzionare.



$$V_{AB}^{(\gamma_1)} = {}_{(\gamma_1)}\int_A^B \vec{E}_{generatore} \cdot \vec{t}\, dl$$

Nei casi concreti se sposto γ_1 di poco non cambia niente.

Il voltmetro ideale può essere anche solo un filo, come la FIBRA OTTICA stesa fra A e B.

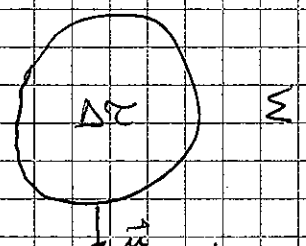
Si può immaginare che in A ci sia luce polarizzata ed in B ci sia un ricevitore. Se c'è corrente la luce polarizzata cambia.

NB. Non si usano come voltmetri, perché costano troppo (circa 10.000 €).

La fibra ottica può essere usata per definire il campo magnetico, perché per la legge di Faraday viene ruotata in presenza di campo magnetico.

LEGGE DI GAUSS

$$\oiint_\Sigma \vec{E} \cdot \vec{n}\, d\Sigma = \frac{Q_\Sigma}{\varepsilon_0}$$



$\Delta\tau$ è un volume

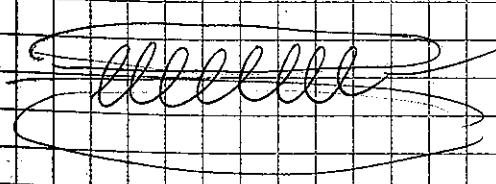
Hp. Q è puntiforme, o distribuita nel volume $\Delta\tau$ con una certa ρ.

$$Q_\Sigma = \iiint_{\Delta\tau} \rho\, d\tau$$

In generale le cariche sono superficiali per l'uso dell'integrale.

$$\oiint_\Sigma \vec{B} \cdot \vec{n}\, d\Sigma = 0$$ Il flusso di B è nullo, il campo è SOLENOIDALE

Le linee del campo B non è detto che siano chiuse



alcune linee di B si chiudono all'infinito

Oppure ci sono casi in cui le linee di B non si chiudono neppure al finito.

$$\oint_{\gamma} \vec{B}\cdot\vec{t}\,dl = \mu_0 \iint_{S_\gamma} \left(\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right)\cdot\vec{n}\,dS_\gamma$$

È gemella della 1ª

$[\varepsilon_0] = \left[\frac{F}{m}\right]$

$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ in USI

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ in USI

USI unità del Σ internazionale

$[\mu_0] = \left[\frac{H}{m}\right]$

Con ragionamento analogo posso definire:

TENSIONE MAGNETICA

$$T_{AB}^{(\gamma_1)} = (\gamma_1) \int_A^B \vec{B}\cdot\vec{t}\,dl$$

Se la linea è chiusa è una FORZA MAGNETOMOTRICE, cioè la CIRCUITAZIONE del campo magnetico lungo una linea chiusa di interesse.

$\vec{J}$ = DENSITÀ DI CORRENTE = $\underbrace{n \cdot q}_{\text{densità di particelle } \ell} \cdot \vec{v}$ → che si muovono con una certa $\vec{v}$

$\frac{\partial E}{\partial t}$ è il caso della carica delle facce di un condensatore

Maxwell disse che $\vec{E}$ e $\vec{B}$ sono dipendenti fra di loro, sarà impossibile ottenere risultati esatti se non per casi semplici.

NB Il materiale è espresso indirettamente in $\vec{J}$, dove c'è la densità ed il moto delle cariche.

Le cariche si possono muovere: $\vec{J} = \vec{J}_e + \vec{J}_v$

- a FASCI (il metallo-struttura cristallina), migrazione effettiva degli elettroni
- DRIFT, i vecchi sono sostituiti con i nuovi, sono quelli del $\vec{J}_e$
- $\vec{J} = \vec{J}_e + \vec{J}_v$ $\quad \vec{J}_{LIBERO} + \vec{J}_{VINCOLATI}$, sono gli e, quelli vincolati e sono vincolate al loro atomo

Allora anche in $Q = Q_L + Q_V$, è per questo che sono stati introdotti ε e μ.

MAXWELL

Si note che

FORZA DI

$\vec{F} =$

• Se la q

NB Nelle ap

posso d

Se le part

allora

la $\vec{F}$ di

ne del

magnetico.

NB La F

Prendiamo

I

Quindi se

strutturali.

MAXWELL LOCALE

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

Si note che $\nabla \times \vec{E}$ e $\nabla \times \vec{B}$ sono legati a $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ e $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

FORZA DI LORENTZ

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$$

Se la q è ferma $\Rightarrow \vec{v} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} \times \vec{B} = \vec{0} \Rightarrow$ posso calcolare solo $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

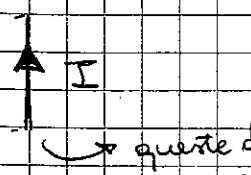
Nelle applicazioni industriali gli elettroni hanno v di deriva bensimile $o(1\ mm/s)$ posso dire che gli elettroni sono praticamente fermi.

Se le particelle sono in acceleratori le v sono $\cong 95\%$ di quella della luce, allora il 2° termine è più presente.

La $\vec{F}$ di Lorentz è la causa dello Effetto Hall che causa la deviazione del percorso delle cariche, ciò è usato per le sonde del campo elettromagnetico.

$\vec{B}$: la F da cui parte è di tipo meccanico!!

Prendiamo una spira percorsa da I:



→ queste due sono ELETTRONE! Si respingono

Quindi se la I di una spira è grande, tende ad esplodere e si possono avere danni.

NB. L'aereo percorso da un fulmine tende ad implodere se l'aereo è metallico.

(2) Fra punto di ingresso ed uscita del punto si genera un cono percorso da corrente.

NFO sulla pila e sulla cella elettrolitica:

- CATODO è l'elettrodo sul quale avviene una semireazione di RIDUZIONE, nel caso di una pila, la riduzione avviene spontaneamente e consuma elettroni, quindi il catodo è il polo positivo.
Nel caso di una cella elettrolitica, la riduzione viene forzata somministrando elettroni, quindi il catodo è il polo negativo.

ANODO è l'elettrodo sul quale avviene una semireazione di OSSIDAZIONE. Nel caso di una pila, l'ossidazione avviene spontaneamente e produce elettroni, quindi l'anodo è il polo negativo. Nel caso di una cella elettrolitica l'ossidazione viene forzata sottraendo elettroni quindi l'anodo è il polo positivo.

AMPO EL

In genere il

Da Lorentz

Per quanto

V_{AB}

Quindi siamo

Delle equ.

- "ESTERNE

- INTERNE

Perché esterno

e può essere

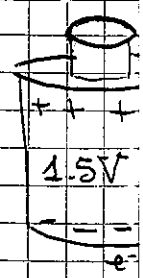
zona, ma

(o DI GE

prodotta

E meccanica

PILA CARI



Nella pila

nella pil

Qui le car

campo E

può essere

P ESTERNO

INTERNO

Per quanto

E, infatti

CAMPO ELETTRO-MAGNETICO

13/03/2014

Un generico campo elettrico si indica con $\vec{E}$ (in generale anche con $\vec{K}$).

Da Coulomb sappiamo che $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$, allora se $\vec{v} \neq \vec{0}$ si ha:

$$\frac{\vec{F}}{q} = \vec{E}\Big|_{\vec{v}=\vec{0}} \qquad \text{con } [E] = \left[\frac{N}{C}\right]$$

Per quanto riguarda la TENSIONE ELETTRICA:

$$V_{AB}^{(\gamma)} = (\gamma)\int_A^B \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl \qquad \text{con } [V] = \left[\frac{N}{C}\,m\right]$$

Quindi siamo in presenza di una E specifica rispetto un'unità di carica (cioè Q).

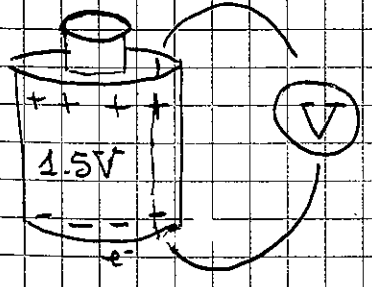
Dalle equ. di Maxwell abbiamo distinto le tipologie di sorgenti:

- "ESTERNE", come e per quanto riguarda il campo $\vec{E}$ e $\vec{J} = \rho\vec{v}$ (stesi di cariche che si muovono con il campo di moto delle cariche)
- INTERNE, come $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$, $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$.

Perché esterne è fra virgolette? Il problema è capire chi fornisce le sorgenti e $\vec{J}$.

È può essere una distribuzione di cariche, si potrebbe avere addirittura una forza, ma chi fornisce? È evidente che è una EQUAZIONE DI SORGENTE (o DI GENERAZIONE), le cariche le posso produrre per strofinio, per la tensione prodotta fra due punti di un conduttore, allora posso produrle o per E meccanica (strofinio) o è il $\vec{E}$ (il campo $\vec{E}$ genera le cariche).

PILA CARICA ISOLATA NO Il voltmetro fa: $V_{AC} = (\gamma)\int_{ANODO}^{CATODO} \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl$



C'è qualcosa nella pila che genera un eccesso di elettroni nel CATODO ed un difetto di elettroni nell'ANODO. (ciò è vero nei dispositivi elettronici)

Cosa è successo alla pila? Chi è che tiene separate le cariche? Evidentemente c'è una F che le tiene separate.

Nella pila c'è un campo $\vec{E}$, come se fosse un DIPOLO ELETTRICO, esso è sia nella pila che all'esterno di essa (che muore con $\frac{1}{r^3}$).

Qui le cariche nella pila sono in equilibrio, non si muovono. Allora c'è un campo $\vec{E}^*$ come CAMPO MOTORE, non di natura elettromagnetica, ed esempio può essere di natura chimica.

$\vec{E}$ ESTERNO ED INTERNO + $\vec{E}^*$ = $\vec{0}$ → CONDIZIONE DI EQUILIBRIO

$\vec{E}$ CAMPO DEL DIPOLO PILA

$\vec{E}^*$ → CAMPO MOTORE

Per quanto riguarda $\vec{J}$ non si dice che sia legata solo ad una Δ del campo $\vec{E}$, infatti se prendo un filo strofinato e genero una $\vec{E}$, se la

porto "in giro" ci sarà un moto delle cariche ed una variazione di $\vec{B}$, allora $\vec{J}$ varia.

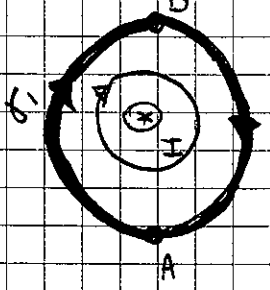
Tornando al discorso di prima:

$$\int_A^C \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl = \int_A^C \vec{E}^*\cdot\vec{t}\,dl = V_{AC} = 1.5\,V$$

NB. Su $\vec{E}^*$ non so se il campo è conservativo, perché non è un campo di Maxwell - Sicuramente non lo è, in più so che:

All'esterno: $\int_\gamma \vec{E}^*\cdot\vec{t}\,dl = 0$ lo scopo di $\vec{E}^*$ è separare le cariche, fuori la pila non c'è nessuna reazione chimica $\Rightarrow$ $\int_\gamma$ è nullo.

NB. In elettrostatica se $\vec{E}$ è conservativo, non è detto che $\vec{B}$ lo sia visto che dipende da $\vec{J}$, l'unico caso è quello in cui non ci sono cariche in movimento



$$\gamma_1 \int_A^B \vec{B}\cdot\vec{t}\,dl = T_{AB}^{\gamma_1}$$

$$\gamma_2 \int_B^A \vec{B}\cdot\vec{t}\,dl = T_{BA}^{\gamma_2}$$

$\Big\}\ T_{AB}^{\gamma_1} \neq T_{BA}^{\gamma_2}$

Se faccio $(\gamma_1 \cup \gamma_2)\oint \vec{B}\cdot\vec{t}\,dl \neq 0$, infatti $T_{AB}^{\gamma_1} - T_{BA}^{\gamma_2} \neq 0$.

Così come V_{AB} è stato associato ad uno strumento di misura reale o ideale (fibra ottica), anche con T_{AB} lo possiamo fare e mi TENSIOMETRO MAGNETICO!
Non bisogna quindi scindere le relazioni, cioè parlare di tensione implica parlare di integrale di linea e strumento/misura.

Considerian

ASO STA

Posso es
$\vec{E}$ co

Ad esem
Il poten
fisico.
La funzi

$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ ≠
Supponia

Allora

Quind
nel
CAMP

NB. Po
p
po

CASO

V_{AB}

Considerando l'equazione: $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

CASO STAZIONARIO $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0} \Rightarrow \vec{E}$ è CONSERVATIVO

Posso associare un potenziale V, cioè rispetto ad un punto P:

$\vec{E}$ CONSERVATIVO $\qquad \vec{E} = -\nabla \Phi(P)$

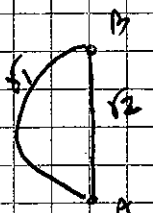
Ad esempio $V_{AB} = \Phi(A) - \Phi(B)$

Il potenziale è un ausilio matematico per lo studio di $\vec{E}$ e $\vec{B}$, ma non ha un significato fisico. È un uso strumentale in elettrotecnica, ma non teorico.

La funzione scalare Φ è di grandissimo aiuto per risoluzioni di campi $\vec{E}$ complessi.

$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ PICCOLO RISPETTO AD UNA QUANTITÀ, **CASO QUASI - STAZIONARIO**

Supponiamo di avere A e B e r_1 e r_2, prendiamo due valori misurati di $V_{AB}^{(r_1)}$ e $V_{AB}^{(r_2)}$.



$$(r_1) \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{t}\, dl = V_{AB}^{(r_1)} = 100\,V$$

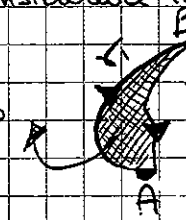
$$(r_2) \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{t}\, dl = V_{AB}^{(r_2)} = 99\,V$$

Allora $V_{AB}^{(r_1)} \simeq V_{AB}^{(r_2)}$, per dire ciò devo stabilire una tolleranza percentuale:

$$\delta = \frac{V_{AB}^{(r_1)} - V_{AB}^{(r_2)}}{V_{AB}^{(r_2)}} \qquad \text{TOLLERANZA } \%$$

Quindi l'ingegnere può stabilire un valore di δ tale che se mi trovo nel limite di tolleranza, $\forall r_1, r_2$ ho CASO QUASI - STAZIONARIO (ELETTRICO).

NB. Posso valutare la tolleranza considerando il flusso fra le curve r_1 e r_2, più sono vicine più il flusso si riduce, se sono "ABBASTANZA" vicine, posso considerare il caso quasi - stazionario.



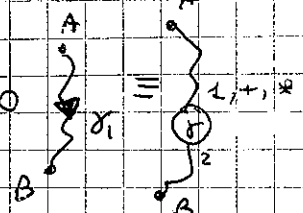
CASO INSTAZIONARIO

V_{AB} dipende dal percorso γ !!

SIMBOLOGIA UTILE

Ricapitolando:

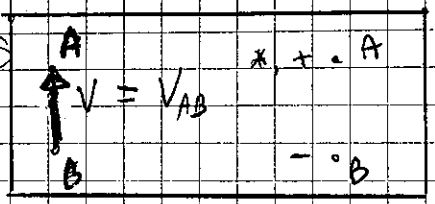
TENSIONE ELETTRICA $(\gamma)\int_A^B \vec{E}\cdot\vec{t}\,dl \iff$ VOLTMETRO IDEALE



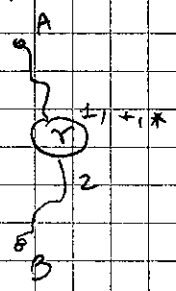
SIMBOLO $\iff$ (*) (campo conservativo)

strumento che collega con due morsetti (nell'ordine giusto) deve distendersi sulla curva γ_1

(*) $\iff$



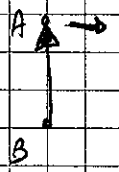
NB. Il 1° morsetto su A si indica con 1, +, oppure * su un voltmetro.



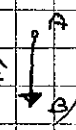
posso calcolare $V_{AB}^{(\gamma_1)} = 100\,V$

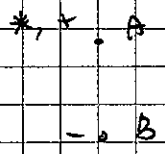
Nel caso stazionario possiamo prescindere dalla indicazione di γ.

$\forall\,\gamma$ non c'è equivoco nel dire $V_{AB} = 100\,V$, in qualsiasi caso devono essere definiti i morsetti, infatti:



LA PUNTA DELLA ARROW PUNTA AD IL 1° MORSETTO

(NB. In Germania la freccia è )

Si può anche usare 

dove il + indica non potenziale maggiore, ma il 1° morsetto.

NB2. A e B possono essere punti reali o astratti, come i morsetti della batteria dell'automobile, la spina di una presa, ecc.