INTRODUZIONE

27.09.2021

L'energia elettrica è un'energia secondaria, perchè deriva da altri tipi di energia (chimica, eolica...): è pulita, comoda, si può trasportare facilmente (con elettrodotti), può essere trasformata in altre forme (meccanica, luminosa...); però la conversione dalle fonti primarie ha un rendimento basso (30-40% di energia utilizzabile) e non può nemmeno essere accumulata in larga scala.

L'energia elettrica viene prodotta nelle centrali dove si ha una parte termica che consente di generarla e una parte elettrica (alternatore o generatore e trasformatore = permette di variare la tensione).

La distribuzione avviene attraverso le linee ad alta tensione (220-380 kV), poi la tensione viene abbassata tramite dei trasformatori e staccata negli edifici (230 V = a bassa tensione monofase)

Per ridurre i consumi energetici si deve progettare motori con alta resa energetica (si ha 90-95% di efficienza), anche perchè sono l'elemento con più impatto sui consumi di energia, è necessario progettare dimensionare gli azionamenti elettrici in modo da minimizzare i consumi e cercare di recuperare energia.

L'efficienza di un motore non dipende solo dalla tipologia, ma anche dal suo utilizzo (η dipende dal carico con cui lo si utilizza), se il sistema non è stato opportunamente dimensionato può addirittura rompersi.

DAI CAMPI AI CIRCUITI

EQUAZIONI di MAXWELL (se danno sist. lineari omogenei isotropi => soluz. analitica)

1° $\oint_c \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\cdot d\vec{s} \equiv \nabla\times\vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial s}$

2° $\int_c \vec{H}\cdot d\vec{e} = \int_S \vec{J}\cdot d\vec{s} + \frac{d}{dt}\int_S \vec{D}\cdot d\vec{s} \equiv \nabla\times H = J + \frac{\partial D}{\partial s}$

3° $\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{s} = \int_V \rho\, dV \equiv \nabla\times D = \rho$

4° $\int_S \vec{B}\cdot dS = 0 \equiv \nabla\times\vec{B} = 0$

MODELLO CAMPISTICO

Relazioni costitutive dei mezzi: $D = F_D(E) = \varepsilon E$; $B = F_B(H) = \mu H$, $J = F_I(E) = \sigma E$

FORZA di LAURENCE: $\vec{F} = \int_V \rho\,(\vec{E} + \vec{v}\wedge\vec{B})\cdot d\vec{v}$

Dalla 2° legge, se $\frac{\partial D}{\partial t} \approx 0$ si ricavano i PRINCIPI di KIRKHHOFF GENERALIZZATI:

- $\sum_{h,k}^{h=k} V_{hk} = \frac{d\Phi_c}{dt}$
- $\sum_{k=1}^{N} I_k = 0$

MODELLO A PARAMETRI CONCENTRATI

Il termine $\left|\frac{dD}{dt}\right|$ dovuto alla corrente di spostamento si può trascurare (= ovvero si può usare il modello circuitale a parametri concentrati al posto del modello) solo se $\frac{dD}{dt} / J << 1$ (con J = corrente di conduzione)

ESEMPIO: Linea Bifilare di lunghezza ℓ, sezione S, potenziale $V_s(t) = V_H \sin(\omega t)$ con $\omega = 2\pi f$, $\varepsilon_r = 1$ e $\mu_r = 1$

Se $R = \rho \frac{2\ell}{S}$ e fa frequenza $f = \frac{1}{T}$: $\frac{dD}{dt} / |J| = 2\pi^2 \varepsilon_0 \frac{R}{2} \frac{\ell}{T} = \varepsilon_0 R \pi^2 \frac{\ell}{T}$

Sostituendo $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m e tenendo conto che R è bassa per minimizzare le perdite per effetto joule e introducendo la lunghezza d'onda $\lambda = cT = \frac{c}{f} \Rightarrow \varepsilon_0 R \pi^2 \frac{\ell}{\lambda} c \ll 1$ diventa $K R \frac{\ell}{\lambda} \ll 1$ con $K \approx 2,5 \cdot 10^{-2}$, quindi la condizione è verificata $\frac{\ell}{\lambda} \ll 1$, cioè $\ell \ll \lambda$

COND. di ABRHAM: Per poter analizzare un sist. elettrico con il modello a parametri concentrati (= Teoria dei Circuiti) occorre verificare che la max dimensione fisica del sistema ℓ sia $\ll$ della lungh. d'onda λ delle grandezze elettromagnetiche

- Caso $\ell = 1$ m e $f = 50$ Hz: se $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.8 \cdot 10^3 \text{ m/s}}{50 \text{ Hz}} = 6000$ km $\approx$ caso di alimentazione
  → $\ell = 1$ m $\ll \lambda = 6000$ km $\Rightarrow$ il modello circuitale è OK
- Caso $\ell = 1$ m e $f = 50$ MHz: se $\lambda = \frac{c}{f} = 6$ m $\approx$ antenna che irradia energia elettromagnetica
  → $\ell = 1$ m $\not\ll \lambda = 6$ m $\Rightarrow$ non si può usare il mod. circuitale $\Rightarrow$ Mod. Campistico

OSS: 1. nei sistemi studiati in Ing Elettrica hanno ℓ e f (< 1 MHz), quindi la condiz. di Abraham è condiz. necessaria e sufficiente implicitamente VERA

2. Sotto tale ipotesi i dispositivi da analizzare possono essere ridotti ad una rete elettrica costituita da un insieme di elementi circuitali di base.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

28.09.2021

DEFINIZIONI DI BASE

- Un campo elettrico di tipo sinusoidale è della forma: $E_x(t,z) = E_H \cos[\omega(t + \frac{z}{c})]$ dove $c = 3,8 \cdot 10^3$ m/s = velocità della luce
- Data una rete elettrica, le grandezze specifiche fondamentali sono:

  CORRENTE ELETTRICA = moto di cariche elettriche (positive per convenzione) che attraversa una superf. S di riferimento in un Δt: $i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \rightarrow [A]$ è caratterizzata da una funz. scalare $i(t)$ e da un VERSO che indica la direzione convenzionale di movimento delle cariche:
  se $i(t) > 0$ allora le cariche positive si muovono nel verso indicato dalla freccia, se $i(t) < 0$ in verso opposto.

  TENSIONE ELETTRICA = lavoro che si compie contro le forze del campo elettrico E per spostare una carica q_0 pilota di valore unitario da A a B: $L = -q_0 \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\ell = \cancel{q_0}^{1} (V_a - V_b) = V_{ab} \rightarrow [V]$
  La tensione è definita sempre tra 2 punti e si può scrivere come:
  $V_{ab} = V_{ac} - V_{bc} = (V_a - V_c) - (V_b - V_c) = V_a - V_b$
  è caratterizzata da una funz. scalare $v(t)$ e da un VERSO contrassegnato da + e − (= punto a potenz. maggiore / minore)

Il verso si fissa all'inizio CONVENZIONALMENTE, poi si misura con uno strumento mettendo i morsetti + e − secondo la nostra convenzione: negli istanti in cui $v(t) > 0$ il punto a potenziale maggiore coincide con quello scelto, accade il contrario se $v(t) < 0$ (il punto a potenziale maggiore è l'altro).

POTENZA ELETTRICA ISTANTANEA = $p(t) = v(t) \cdot i(t) \rightsquigarrow [W] = 1[V] \cdot 1[A]$

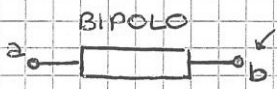
DIM: se $L = \Delta W = q(V_a - V_b) = q V_{ab}$, considerando un Δt piccolo cosicchè $i(t)$ e $v(t)$ siano costanti si ha che l'energia spesa per muovere una Δq vale: $\Delta W = v \cdot \Delta q \overset{\text{DEF di } i}{=} v \cdot i \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{\Delta W}{\Delta t} = v \cdot i$

quindi con processo di limite per $\Delta t \to 0$ $\frac{dW}{dt} = p(t) = v(t) \cdot i(t)$

L'energia di conseguenza è: $W = \int_0^T p(t)\,dt \rightsquigarrow [J]$

anche se comunemente si misura in KWh o Wh = energia assorbita da un bipolo in 1 ora quando il valor medio della potenza assorbita è 1 Watt. $[1\,KWh = 3{,}6 \cdot 10^6\,J = 3.6\,MJ]$

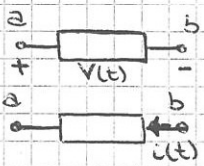
- Elementi base per costruire le reti elettriche → BIPOLI ELETTRICI: sono elementi circuitali generici che simulano in maniera concentrata (= adimensionale) i principali fen. dell'elettromagnetismo in bassa frequenza.



Tramite i morsetti interagisce con l'esterno

1. V tra i 2 morsetti non dipende dal percorso fatto per andare da a a b
2. I che entra è uguale a quella che esce ⇒ Pr. conservazione della carica = non ci sono nè sorgenti nè pozzi di cariche.

Ad un bipolo si associano V e I con le convenzioni "casuali", indipendentemente una dall'altra:

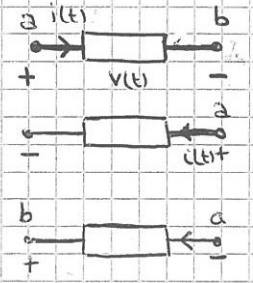


si può così descrivere una REL. COSTITUTIVA che lega V e i: $v(t) = \mathcal{F}(i(t))$ ⇝ comando in corrente

$i(t) = G(v(t))$ ⇝ comando in tensione

La Rel. COSTITUTIVA dipende dalla sua costituzione fisica, ma non da come lo collego alla rete ed è univocamente determinata quando sono assegnate $v(t)$, $i(t)$ e i rispettivi contrassegni.

Si possono così avere 4 situazioni:



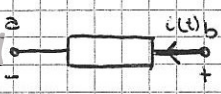
RIFERIMENTI ASSOCIATI (r.a) o convenzione dell'utilizzatore
→ la corrente entra dal morsetto "+" indipendentemente da dove esso sia (a dx o a sx)

RIFERIMENTI NON ASSOCIATI (r.n.a) o convenzione del generatore
→ la corrente entra dal morsetto "−" indipendentemente da dove esso sia

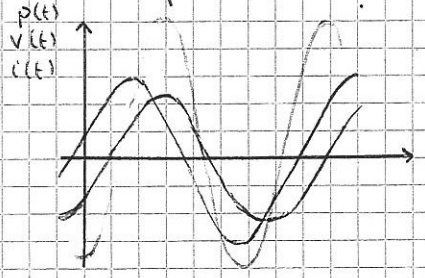
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

- In un bipolo con r.a. la Potenza è CONVENZIONALMENTE ASSORBITA (per questo convenz. dell'utilizzatore).
  Dal punto di vista fisico (dopo aver misurato $p(t)$) quando $p(t) > 0$ l'oggetto fisicamente assorbe potenza, quando $p(t) < 0$ è fisicamente erogata.
- In un bipolo con r.n.a la potenza è CONVENZIONALMENTE EROGATA.
  Dal punto di vista fisico quando $p(t) > 0$ l'oggetto sta fisicamente erogando potenza, se $p(t) < 0$ sta fisicamente assorbendo potenza.

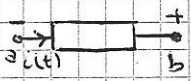
ESEMPIO:

Scelgo a caso i riferimenti: 

=> r.a => potenza convenzionalmente assorbita. Montando un oscilloscopio mantenendo la coerenza dei riferimenti. Calcolando poi: $p(t) = v(t) \cdot i(t)$ dal grafico si ricava che fisicamente l'oggetto:



- $p(t) > 0$ => l'oggetto fisicamente assorbe tra t_1 e t_2 e tra t_3 ...
- $p(t) < 0$ => l'oggetto fisicamente eroga tra t_2 e t_3.

Se invece si fossero scelti i riferimenti al contrario: 

r.n.a => potenza convenzionalmente è erogata

Misurando le quantità fisiche si nota che la convenzione è cambiata, ma l'aspetto fisico no.

I bipoli possono essere classificati in base a:

- TIPOLOGIA di COMANDO → a. comandato in corrente $v(t) = \mathcal{F}[i(t)]$
  o
  b. comandato in tensione $i(t) = \mathcal{G}[v(t)]$
- LINEARE → se la relazione costitutiva è espressa da un operatore lineare, a meno di una costante (≈ è una retta)
  o
  NON LINEARE
- CON MEMORIA → se nella rel. costit. il legame tensione-corrente ad un istante dipende dall'istante precedente (es. induttanza)
  o
  SENZA MEMORIA → se il legame I-V non dipende da i stati precedenti.
- TEMPO-INVARIANZA → quando $\mathcal{F}[\cdot]$ o $\mathcal{G}[\cdot]$ nella rel. costitutiva non dipende dal tempo.
  o
  TEMPO-VARIANZA → se c'è dipendenza dal tempo in $\mathcal{F}$ o $\mathcal{G}$
- PASSIVO → se l'energia fisicamente assorbita dal dipolo per qualsiasi condizione di funzionamento è: $\forall t$ è sempre ≥ 0, nei r.a.
  ATTIVO → se l'energia fisicamente assorbita dal dipolo, considerati i r.a. è sempre < 0.

Questo permette di capire quali elementi possono essere considerati generatori e quali no.

- CONSERVATIVITÀ → un bipolo è conservativo (o reattivo) se l'energia W non dipende dall'andamento di I e V in quell'intervallo, ma solo dai valori assunti agli estremi di esso $(t_0, \bar{t})$. (ENERGIA IMMAGAZZINATA)

DISSIPATIVO → se l'energia W assorbita nell'intervallo dipende, oltre che dai valori agli estremi anche dall'andamento di I e V nell'intervallo (ENERGIA DISSIPATA)

DEFINIZIONE di una RETE ELETTRICA:

= Insieme di 2 o più bipoli elettrici collegati tra loro tramite i morsetti

DEFINIZIONI:
- Bipoli sono detti Rami o Lati
- Morsetti di interconnessione → nodi
- Correnti nei dipoli → correnti di ramo
- Tensioni ai capi dei dipoli → tensioni di ramo
- Insieme di rami che formano un percorso chiuso → Maglia

Se si hanno 2 o più bipoli interconnessi le grandezze v(t) e i(t) si adattano per obbedire ai principi di Kirchoff:

1° PdK → in una rete elettrica, $\forall t$, la somma algebrica delle I nei rami che tagliano una superficie chiusa è $=0$

Scelta S si considerano correnti uscenti $= \oplus$ e quelle entranti $= \ominus$ (per ex) e una volta definita questa convenzione rimarrà tale in tutte le superfici di una stessa rete. S può avere dimensioni arbitrarie (racchiudere una maglia o più, o un solo nodo).

Se S contiene più di un nodo = MACRONODO e si può Dimostrare che l'applicazione del 1° PdK ad un macronodo equivale alla sua applicazione a ciascun nodo in esso racchiuso. (dim. applicando a ciascun nodo in S il 1° PdK e poi sommando le eq. ottenute si ottiene la stessa eq. del 1° PdK applicato a S).

⇒ In una rete elettrica con N nodi e R rami: $\sum_{K=1}^{R} (\pm)\, i_K(t) = 0$ 1° PdK

Si ottiene così un sist. di N equazioni $=0$

2° PdK → la somma delle differenze di potenziale lungo una linea chiusa è pari alla variazione nel tempo del flusso concatenato con la superficie racchiusa dalla linea stessa: $\sum_{h,k=a}^{a} v_{hk}(t) = \frac{d\Phi_c}{dt}$

dove il 2° membro dipende dalla superficie racchiusa dalla linea e quindi dal percorso della linea.

Può essere ricavato dalla 1° eq di Maxwell applicata.

MASTER COPY Tel. 050 8312126 Cell. 388 9837745