NUMERO: 1399A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: I.D.

MATERIA: Impianti Elettrici. Prof.Tommasini

• 1° LEZIONE : 30/09/2014

Prof. Luca Giaccone

ESAME => solo scritto (Tromme voto basso): domande a risp multipla +
domande +
pochi esercizi (elettrotecnica)

WWW. LADEMA. IT
→ persone
→ luca giaccone
suoi orari per la didattica

- Equazioni di MAXWELL:

$\nabla D = \rho$ D = campo elettrico che si propaga nel materiale

ρ = densità cariche libere

$\frac{dB}{dt} + \nabla \times E = 0$ B = campo magnetico
E = campo elettrico

$\frac{\partial D}{\partial t} - \nabla \times H + J = 0$ $J = \rho \cdot N$

H = campo magnetico che si propaga nel materiale

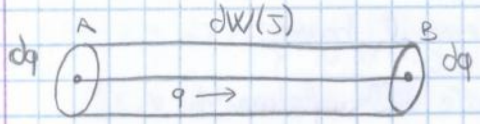
• LIMITI DELLA TEORIA DEI CIRCUITI:

Le eq. di Maxwell (eq. diff. delle derivate parziali) si usano per studiare le onde elettromagnetiche, onde che sono formate da un campo elettrico ed uno magnetico ⊥ tra loro che si propagano. Sono segnali periodici che si propagano nel tempo la minima porzione di tempo in cui questa onda si propaga si chiama PERIODO T(s), l'inverso di T è detta FREQUENZA $f = \frac{1}{T}$ [Hz]
Nel vuoto la velocità delle onde elettromagnetiche è = alla velocità della luce ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). $\lambda = \frac{c}{f}$ è la lung. d'ONDA ovvero lo spazio percorso alla velocità c e alla frequenza f, quanto spazio percorre 1 ciclo del fenomeno elettromagnetico.

Volt = $\frac{J}{C}$ = V ; Ampere = $\frac{C}{s}$ = A

fornisco energia gli elettroni si muovono e si crea CORRENTE. q = CARICA
si prende per riferimento la carica + POSITIVA (sempre)
i = Tasso di variazione della carica nell'unità di Tempo $\left[i = \frac{dq}{dt} \right]$ $\left[\frac{C}{s} = \text{Ampere} \right]$

- TENSIONE ELETTRICA: V



Analizziamo la q.tità infinitesima di carica 'q' che si ~~acquista~~ sposta da A → B

dW = en. che serve a spostarla

$\left[V = \frac{dW}{dq} \right]$ [TENSIONE: rapporto tra energia che ho fornito e carica che ho spostato]

$\frac{J}{C}$ = (V) Il percorso è del tratto arbitrario. L'energia che mi serve è indipendente dal percorso quindi la TENSIONE è un fenomeno CONSERVATIVO e può essere descritta tramite una FUNZ. DI STATO (POTENZIALE).

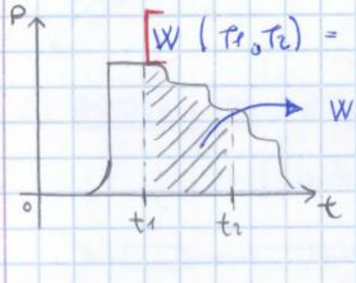
- POTENZIALE ELETTRICO: U

U varia in ogni punto (V). Nel caso in considerazione avrò un pot. in A (U_A) e uno in B (U_B). Se la Tensione ha inizio in A e fine in B => $[V_{AB} = U_A - U_B]$
La Tensione elettrica non è una variabile di stato, dipende da ΔU.
Queste grandezze definite servono per far comunicare il circuito con altri elementi.

- POTENZA ed ENERGIA: P e W

La potenza P è funzione del Tempo: p(t) [Watt]
L'energia W è " di due istanti di Tempo T_1 e T_2

$\left[W(T_1, T_2) = \int_{T_1}^{T_2} P(t')\, dt \right]$ * [J]



W energia = area sottesa da curva.

$\left[P(t) = \frac{dW}{dt} \right]$ def. di potenza a partire da en. applicando derivata a dx e sx della def. di en.

$\left[P(t) = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = v \cdot i \right]$ [W]

La definizione convenzionale serve a definire la potenza. Dal punto di vista di un esempio numerico succede che:
assumiamo una certa polarità e una certa ~~def~~ direzione di flusso e dopo i calcoli verifichiamo se le abbiamo ~~assente corrente~~ assunte corrette.

1) $v = 10\,V$, $i = 1\,A$ $\Big\}$ $P = v \cdot i = 10\,W$ → Da 1 => 2 abbiamo invertito i versi

2) $v = -10\,V$, $i = -1\,A$ $\Big\}$ $P = v \cdot i = 10\,W$ → 1 e 2, $p>0$ ASSORBITA

3) $v = 10\,V$, $i = -1\,A$ $\Big\}$ $P = -10\,W$ → 3 e 4, $P<0$ ASSORBITA; Per 3 e 4 $p = -10\,W$ devo generarla, cioè assorbire 10 W

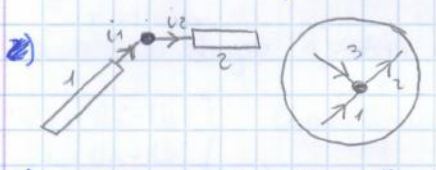
4) $v = -10\,V$, $i = 1\,A$ $\Big\}$ $P = -10\,W$

NB [Negli utilizzatori la corrente è entrante dal terminale in cui è segnato il morsetto ⊕ della tensione. Nei generatori è USCENTE da quel morsetto ⊕.]

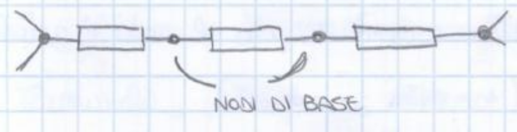
Costruire una rete elettrica significa connettere + componenti secondo le teorie degli elementi della topologia.

- TOPOLOGIA: (elementi topologici)

1) NODO: è quella entità topologica elementare, dove si vengono a costituire almeno 3 vie per la corrente. Esso crea almeno 3 vie per la corrente.



2) RAMO o LATO: è quella porzione di circuito compresa tra 2 nodi senza nodi intermedi



Questo modo avrò una convenzione positiva entrante!

$[i_1 + i_3 - i_2 - i_4 = 0]$ in qualunque istante di tempo t.

La prima legge di Kirchhoff è un'equazione OMOGENEA, quindi moltiplicando per -1 il risultato non CAMBIA, ossia cambiando convenzione.

Questa è un'equazione sulle correnti che tiene conto in qualche modo di quello che avviene dentro le componenti e quindi deriva da eq. MAXWELL.

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}\left(q_1(t) + q_3(t) - q_4(t) - q_2(t)\right) = 0 \quad \text{C.V.V} \quad \text{LKC}$$

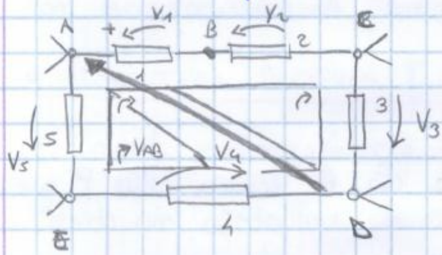
LKC è un'estensione delle eq. di Maxwell, possiamo portare a 2° membro TUTTI i termini con segno negativo

$i_1 + i_3 = i_2 + i_4 \Rightarrow$ riformulaz. della legge

LKC: in qualsiasi istante di tempo la somma delle correnti uscenti dal nodo deve controbilanciare la somma di quelle entranti nel nodo stesso.

• LKT: (maglia)

La somma delle tensioni afferenti ad una maglia è uguale a zero in ogni istante di tempo.



Questo esempio è semplice, 1 maglia

Bisogna seguire un senso ORARIO o ANTIORARIO di percorrenza della maglia, in questo caso è ORARIO ↱

Quindi scrivo: $-V_1 - V_2 + V_3 - V_4 - V_5 = 0$ (il segno è arbitrario, eq OMOGENEA)

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= U_A - U_B \\ V_2 &= U_B - U_C \\ V_3 &= U_D - U_C \\ V_4 &= U_D - U_E \\ V_5 &= U_E - U_A \end{aligned}\right\}$$

Ogni tensione è la Δ di potenziale tra i terminali

Sostituendo ottengo: $0 = 0$ C.V.V

La relaz. con le eq. di Maxwell sta nella Δ di potenziale U (elettrico)

Nella realtà una TENSIONE è una grandezza misurabile con un VOLTMETRO, con 2 terminali, se lo faccio misuro un n° ($V_{AD} = U_A - U_D$).

• **COMPONENTI** (dei circuiti): modelli matematici

→ IDEALI: si concentra su un singolo fenomeno e non considera gli effetti parassiti (trascurando le leggi della fisica).

→ REALI: considera effetti parassiti.

→ PASSIVI: → DISSIPATIVI = trasformano energia e la perdono
↘ CONSERVATIVI = immagazzinano l'energia (NO TRASFORMO)
} usano l'energia elettrica, ma non la generano.

→ ATTIVI: riescono a generare energia elettrica. Per il princ. di conservazione dell'energia, questi sono modelli ideali che non producono energia all'infinito perché essa arriva da una trasf elettromeccanica.

Servono altre equazioni per risolvere il circuito:

EQUAZIONI COSTITUTIVE = descrivono cosa succede ai capi del dipolo.

$V = V(i)$ come dipende la tensione dalla corrente

$i = i(V)$ come dip. la corrente dalla tensione

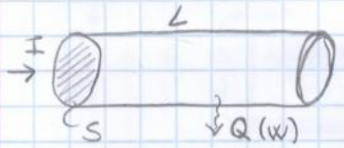
Le eq. sono lineari e adimensionali. Quando i componenti sono conservativi le eq. sono dinamiche.

Non necessariamente tutti i dipoli possono essere descritti in tutti e due modi.

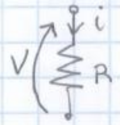
• **RESISTENZA ELETTRICA [Ω]**: passiva dissipativa

È quel componente che spiega l'effetto Joule:

Prendo un conduttore ~~che~~ faccio passare corrente, il conduttore si scalda e scalda l'ambiente circostante.



Tanta energia sta scaldando il conduttore, tanta en. viene dissipata nell'ambiente, una volta che il cond. ha $T=\text{cost}$.

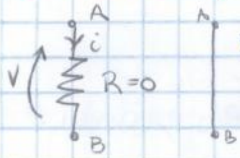


dipolo => si scrive in convenzione con utilizzatori.

L'eq. costitutiva è: $[V = R \cdot i]$ LEGGE DI OHM.

- 2 CASI PARTICOLARI:

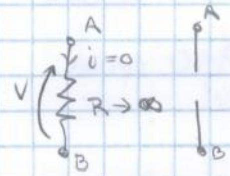
(1) $R = 0\ \Omega$ $\quad [V = R \cdot i = 0]$



$V = U_A - U_B = 0$ Ho creato un componente elettrico che impone una diff. di potenziale uguale alle estremità. Questo si chiama CORTOCIRCUITO.

$\rightarrow A \xrightarrow{i} B$ nullo, elemento circuitale le cui eq. sono: $V = 0$

(2) $R = \infty\ \Omega$ $\quad$ data la legge di OHM $i = V/R = 0\ A$

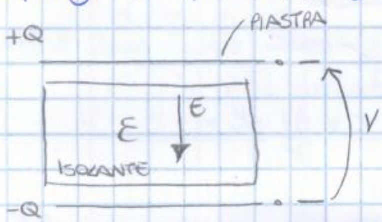


è detto CIRCUITO APERTO $\quad i = 0 \quad \forall V$

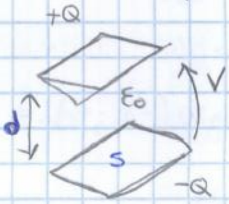
• 3° LEZIONE: 7/10/2014

- CAPACITÀ (CONDENSATORE): passivo conservativo DINAMICO

Spiega un fenomeno, conserva energia e la dissipa a momento opportuno



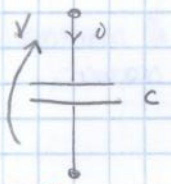
oppure



Ho due armature con isolante ~~...~~ un mezzo creo diff. di potenziale

$Q \propto V$

$[Q = C \cdot V]$ con C = capacità $\left[F = \frac{C}{V}\right]$ farad (C → coulomb, V → volt)



rappresenta il condensatore

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(C \cdot V) \rightarrow \left[i = C\frac{dV}{dt}\right]$$ Eq. COSTITUTIVA CONDENSATORE (perché è COSTANTE)

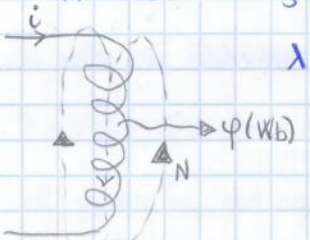
$$\left[C = \varepsilon \frac{S}{d}\right]$$ capacità è invariante rispetto al tempo (costante). (S → SUP, d → dist. armature)

N.B. un bipolo si dice dinamico quando abbiamo derivate nelle eq. costitutive.

Quindi il ~~conduttore~~ condensatore è dinamico.

- INDUTTANZA (INDUTTORE): componente passivo conservativo

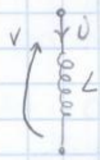
è un SOLENOIDE, facendo passare corrente ho un ~~con~~ flusso magnetico.



$\lambda \propto i \Rightarrow [\lambda = L i]$ COSTITUTIVA con L = induttanza $\left[\frac{Wb}{A} = H\right]$ Henry

FLUSSO CONCATENATO $[\lambda = N\varphi]$ $[Wb]$

dip. da forma del solenoide e' cost.



$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{d}{dt}(L \cdot i)$ — porto la costante

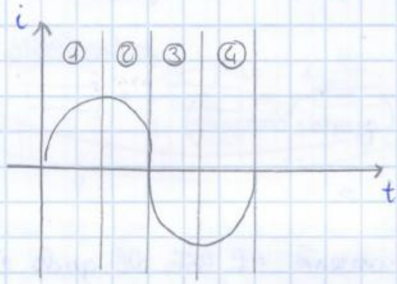
$\left[V = L \frac{di}{dt}\right]$ TENSIONE

LEGGE DI FARADAY

$e(t) = -\frac{d\lambda(t)}{dt}$ variaz. di flusso magnetico in un avvolgimento genera una forza elettromotrice (fem).

La potenza:

$\left[P = v \cdot i = L \cdot i \frac{di}{dt}\right]$ POTENZA



1	$i > 0$	$di/dt > 0$	$P > 0$ ASSORBE
2	$i > 0$	$di/dt < 0$	$P < 0$ EROGATA
3	$i < 0$	$di/dt < 0$	$P > 0$
4	$i < 0$	$di/dt > 0$	$P < 0$

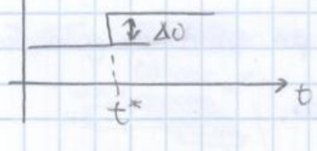
L'energia: $W(t_1, t_2)$ $\quad P = dW/dt$

$$\left.\begin{matrix} t_1 = -\infty \\ t_2 = t \end{matrix}\right\} \left[W(-\infty; t) = \int_{-\infty}^{t} P(t)dt = \int_{-\infty}^{t} L i \frac{di}{\cancel{dt}} \cdot \cancel{dt} = \int_{i(t=-\infty)}^{i(t)} L i \, di = \int_{0}^{i(t)} L i \, di\right]$$

quindi $\left[W = \frac{1}{2} L i^2(t)\right]$ ENERGIA

$i \Rightarrow$ variabile di stato, deve variare con continuità

Per assurdo:



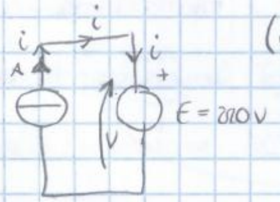
$P = L i \frac{di}{dt}$

$P(t^*) = L i \frac{\Delta i}{\Delta t}$ essendo $\Delta t = 0$, $P = \infty$ ASSURDO

Basti dire che quando il motorino non viene usato ed esso via un rete che pur essendo un generatore la assorbe.

In casa la rete ha V = 220 volT

La $P = V \cdot i = EA = > 0$ se $E \cdot A > 0$,

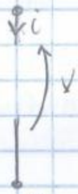


$(i = A,\ V = E)$

per il generatore di corrente sono in convenzioni con i GENERATORI $P > 0$, mentre per quello di tensione $P < 0$ (utilizzatore).

– CASO PARTICOLARE $\Rightarrow$ $A = 0$

$A = 0 \Rightarrow i = 0 \quad \forall V$

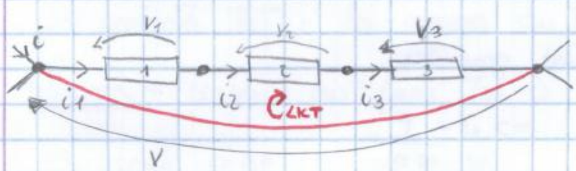


circuito aperto = resistenza infinita o generatore di corrente nullo

N.B. il generatore è detto IDEALE perché non ha limiti fisici su V, cioè $V = \pm \infty$.

• CONNESSIONE SERIE: (1)

si usano per unire i componenti in SERIE: (usando conv. utilizzatori)



componenti da 1 a N (possono essere tutti)

Scrivo eq. per connessione in serie indipendentemente dai componenti.

LKC (primo Terminale) $\Rightarrow i = i_1$

$$\left.\begin{aligned} i_1 &= i_2 \\ i_2 &= i_3 \\ i_{m-1} &= i_m \end{aligned}\right\} \boxed{i = i_1 = i_2 = i_m}$$ il flusso è unico.

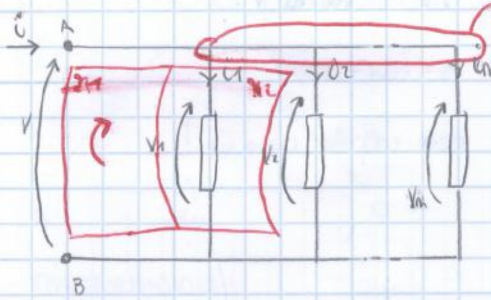
Creiamo una maglia (chiusa) e applichiamo LKT: (senso orario ↻)

LKT $\Rightarrow V - V_1 - V_2 - V_3 - V_m = 0 \rightsquigarrow \boxed{V = V_1 + V_2 + \ldots + V_m}$ Sono dette eq. TOPOLOGICHE

Queste eq. devono essere rispettate sempre a prescindere dalla scelta dei componenti.

N.B. [Si dice che n componenti sono connessi in serie quando sono ~~stati~~ attraversati tutti dalla stessa corrente. La V_{TOT} = somma algebrica ~~degl~~ delle V di n componenti.] DEF.

• CONNESSIONE PARALLELO: ②



nodo generalizzato (posso applicare le LK)
||
qualunque area che taglia un lato della rete, a causa della conservazione della carica posso usare LK su un det volume preso in considerazione.

LKC => $\boxed{i = i_1 + i_2 + \ldots + i_m}$ ⟶ Eq. della connessione in PARALLELO

Applico LKT a maglia 1 (γ_1) => $V - V_1 = 0$

LKT(γ_2) => $V - V_2 = 0$

LKT(γ_m) => $V - V_m = 0$

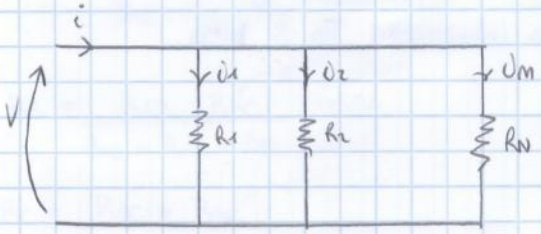
$\boxed{V = V_1 = V_2 = V_m}$

N.B. [2 o più elementi sono connessi in parallelo quando presentano tra i terminali la stessa diff. di potenziale ($V = cost$), ciò vale se i terminali sono 2.] DEF

La corrente TOT è la somma di tutte le correnti.

DUALITÀ = scambio di ferme tra 'i' e 'V', PARALLELO e SERIE sono DUALI.

- ES. CONN. SERIE m RESISTENZE:



Calcola $i_1 \ldots i_m$?

$V_1 = R_1 \cdot i_1 \rightarrow i_1 = V_1/R_1$

$V_2 = R_2 \cdot i_2 \rightarrow i_2 = V_2/R_2$

$V_m = R_m \cdot i_m \rightarrow i_m = V_m/R_m$

uso la conduttanza => $G = 1/R$ quindi: $i_1 = V_1 \cdot G_1$, $i_2 = V_2 \cdot G_2$, $i_m = V_m G_m$

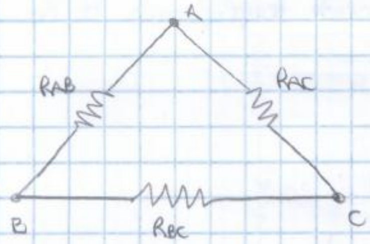
uso LKC => $i = G_1 \cdot V + G_2 V + \ldots + G_m V = V\underbrace{(G_1 + G_2 + G_m)}_{G_{eq}}$ parallelo di m conduttanze.

quindi: $\boxed{i = V \cdot G_{eq}} \rightarrow \boxed{i = V/R_{eq}}$ è la legge di OHM

$$G_{eq} = \sum_{k=1}^{m} G_k$$

$$R_{eq} = \frac{1}{G_{eq}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots \frac{1}{R_m}}$$

• CONNESSIONE TRIANGOLO: (4) Δ unione a 2 a 2 dei 3 bipoli



- TRASFORMAZIONI:

① da STELLA → a TRIANGOLO cioè $[Y \rightarrow \Delta]$ devo conoscere R_A, R_B, R_C e poi calcolo R_{AB}, R_{BC}, R_{AC} che sono incognite

Cioè: $$R_{AB} = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_C}$$ ← C no

$$R_{BC} = \frac{R_A \cdot R_C + R_A R_B + R_B \cdot R_C}{R_A}$$ ← poiché no presente dall'altra parte

$$R_{AC} = \frac{R_A \cdot R_C + R_A \cdot R_B + R_B \cdot R_C}{R_B}$$ ← B no

② da TRIANGOLO → a STELLA $[\Delta \rightarrow Y]$ note R_{AB}, R_{BC}, R_{AC} e ignote R_A, R_B, R_C

$$R_A = \frac{R_{AB} \cdot R_{CA}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$ ← deve esserci A nel prodotto

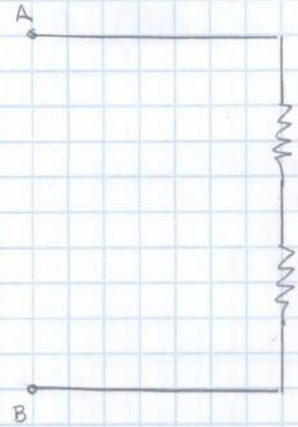
$$R_B = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$ ← B

$$R_C = \frac{R_{BC} \cdot R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$ ← C

$R_A = R_B = R_C = R_y$
→ $R_{AB} = R_{BC} = R_{AC} = R_\Delta$ } $\left[R_\Delta = \frac{3R_y^2}{R_y} = 3R_y\right]$

$R_{AB} = R_{BC} = R_{AC} = R_\Delta$
→ $R_A = R_B = R_C = R_y$ } $\left[R_y = \frac{R_\Delta^2}{3R_\Delta} = \frac{R_\Delta}{3}\right]$

NB: queste valgono solo se le resistenze sono uguali.

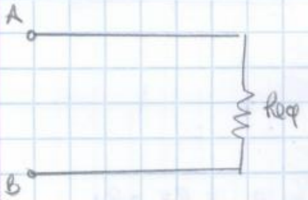


$R' = \dfrac{R_1 R_3}{R_1+R_3} = 10{,}91\ k\Omega$

$R'' = \dfrac{R_2 \cdot R_4}{R_2+R_4} = 8\ k\Omega$

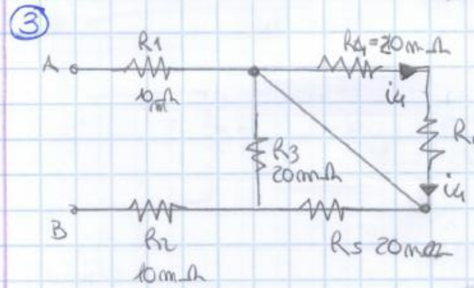
$\Big\}$ sono in SERIE

Per calcolare R_{AB} inserisco un generatore che induce i.

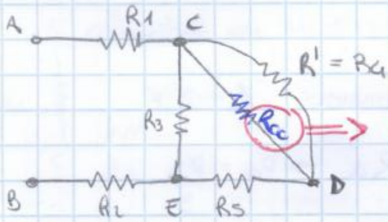


$R_{eq} = R' + R'' = 18{,}91\ k\Omega$

③

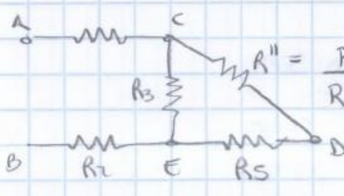


i_4 attraversa R_4 e R_6 sono in serie



$R' = R_4 + R_6 = 40\ m\Omega$

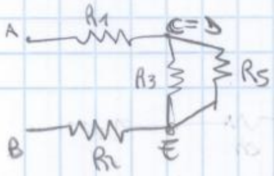
Il cortocircuito e R' sono in parallelo, affido a cortocircuito una R_{cc} particolare, così lo semplifico.



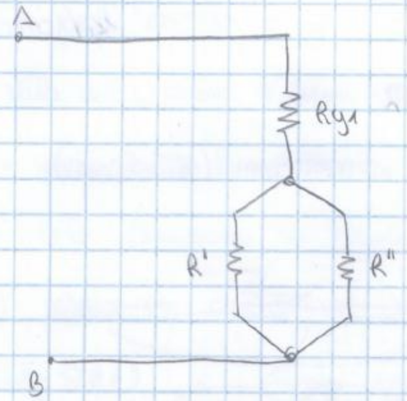
$R'' = \dfrac{R' \cdot R_{cc}}{R_{cc}+R'} = 0$ → ancora un cortocircuito

Il cc può essere = a $\boxed{R_{cc}=0}$ quando una R in parallelo con un cc sparisce sempre.

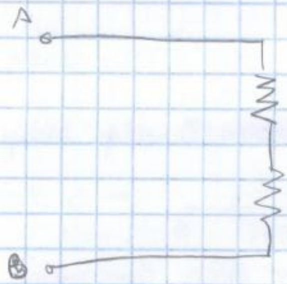
Un cc impone che $V_C = V_D$ quindi $C \equiv D$.



R_3 e R_5 sono in parallelo

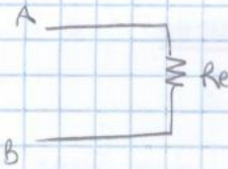


$$\left.\begin{aligned} R' &= R_{y2} + R_2 = 40\ m\Omega \\ R'' &= R_5 + R_{y3} = 40\ m\Omega \end{aligned}\right\}$$ sono in parallelo



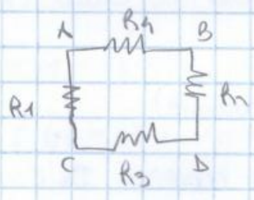
R_{y1} e R''' sono in serie

$$R''' = \frac{R' \cdot R''}{R' + R''} = \frac{R}{2} = 20\ m\Omega$$



$R_{eq} = R_{y1} + R''' = 30\ m\Omega$ FINE

Quando



$R_{eq} = ?$ ... NO TERMINALI

non so da dove iniziare

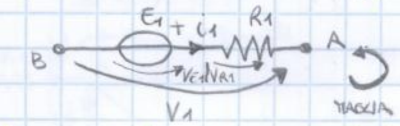
$$R_{AB} = (R_2 + R_3 + R_4) \,//\, R_1$$

$$R_{AC} = (R_1 + R_2) \,//\, (R_3 + R_4)$$

Per def. LKT su maglia 2° uso regola pratica => elimino da 1° maglia un lato della rete, restano 2 lati => in questo modo ho necessariamente 2 eq. LINEAR. INDIP. In questo modo ho TUTTE le eq. necessarie, la regola si blocca quando cancellando un lato finiscono le maglie.

3) scrivo eq. costitutive dei singoli lati

Lato 1 =>



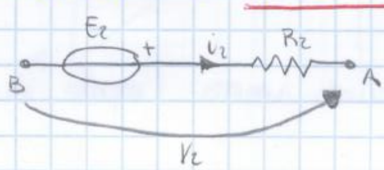
$$R_1: \; V_{R1} = R_1 i_1$$
$$E_1: \; V_{E1} = E_1 \quad \forall i$$

scrivo LKT e LKC solo per questo lato:

$$V_1 + V_{R1} - V_{E1} = 0 \rightarrow V_1 = V_{E1} - V_{R1} = E_1 - R_1 i_1 \quad (4)$$

N.B. devo includere anche V_1 cioè tensione TOT del lato

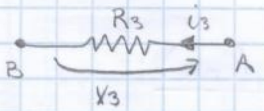
Lato 2 =>



è uguale a prima

$$V_2 = E_2 - R_2 \cdot i_2 \quad (5)$$

Lato 3 =>



$$V_3 = R_3 \cdot i_3 \quad (6)$$ TOT. 6 equazioni

In questo modo ho un sistema di eq. L.I. che mi danno le 6 incognite.

4) calcolo un valore di riferimento i_3:

$V = V_1 = V_2 = V_3$ da (2) e (3) (sono in parallelo)

$$\begin{cases} i_1 = \dfrac{E_1 - V_1}{R_1} & \text{da lato 1} \\ i_2 = \dfrac{E_2 - V_2}{R_2} & \text{da lato 2} \end{cases}$$ essendo $V_1 = V_2 = R_3 \cdot i_3 = V_3$

$$\begin{cases} i_1 = \dfrac{E_1 - R_3 \cdot i_3}{R_1} \\ i_2 = \dfrac{E_2 - R_3 \cdot i_3}{R_2} \end{cases}$$

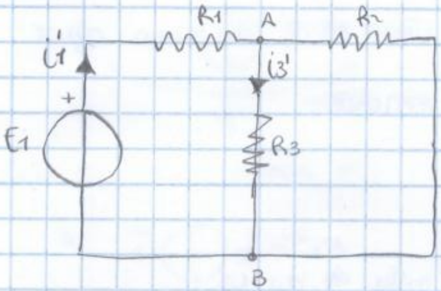
sostituisco in (1) LKC $i_1 + i_2 = i_3$ e trovo i_3, cioè:

$$\frac{E_1 - R_3 \cdot i_3}{R_1} - \frac{E_2 - R_3 i_3}{R_2} = i_3$$ calcolando trovo

$$\boxed{i_3 = \frac{R_1 E_1 + R_2 E_2}{R_1 R_3 + R_1 R_2 + R_2 R_3}}$$

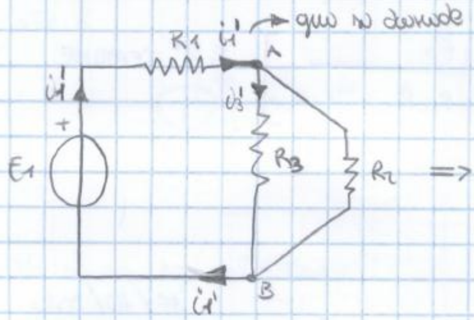
NB. le resist. sono già passive

Calcolo $i_3' = (E_1 ; E_2 = 0)$ passivando E_2 (sost. cortocircuito)

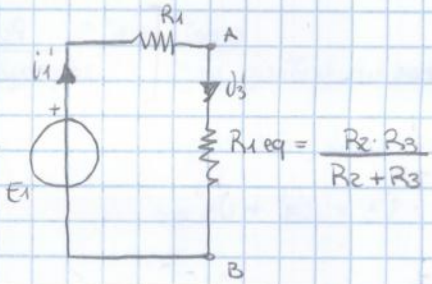


1° passo calcolo i_1' : R_2 e R_3 sono in parallelo

i.....

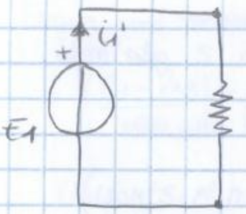


=>



Abbiamo 1 maglia

i_1' passa da R_1 e R_{eq1} sono in SERIE



$R_{eq2} = R_1 + R_{eq1}$

Quindi ... essendo $\begin{cases} V_1 = E_1 \\ V_1 = R_{eq} i_1' \end{cases}$ OHM

$$\downarrow$$

$$i_1' = \frac{E_1}{R_{eq2}}$$

Verifica

$$i_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2R_3}{R_2+R_3}} = \frac{E_1}{\frac{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}{R_2+R_3}} = \frac{E_1\,(R_2+R_3)}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

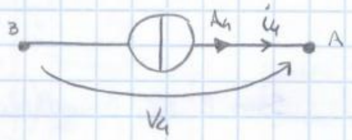
Essendo un PARTITORE DI CORRENTE posso:

$$i_3' = i_1' \cdot \frac{R_2}{R_2+R_3} \quad \text{sostituisco } i_1'$$

$$\left[\, i_3' = \frac{E_1\cancel{R_2} + E_1\cancel{R_3}}{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3} \cdot \frac{R_2}{\cancel{R_2+R_3}} = \frac{E_1R_2}{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3} \,\right]$$

1° CONTRIBUTO DI E_1 con E_2 passivato

Lato 4



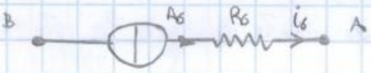
$$\left[i_4 = A_4 \ \forall V_4 \right]$$

Lato 5

$$\left[i_5 = -A_5 \ \forall V_5 \right]$$

segno discorde, verso discorde

Lato 6



$$\left[i_6 = A_6 \right]$$

Ogni generatore di corrente impone $i = cost$ sul proprio lato, indip. da quale componente vi sia.

Ora scrivo eq. costitutiva:

$$i_1 = \frac{E_1 - V_{AB}}{R_1} \; ; \; i_2 = \frac{-E_2 - V_{AB}}{R_2} \; ; \; i_3 = -V_{AB}/R_3$$

Eseguo una sommatoria

$$\left(\frac{E_1 - V_{AB}}{R_1}\right) + \left(\frac{-E_2 - V_{AB}}{R_2}\right) + \left(\frac{-V_{AB}}{R_3}\right) + A_4 - A_5 + A_6 = 0$$

$$V_{AB}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + A_4 - A_5 + A_6$$

$$\left[V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + A_4 - A_5 + A_6}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \right]$$

TENSIONE DI MILLMAN

In generale questa formula dice che al NUMERATORE = n° generatori

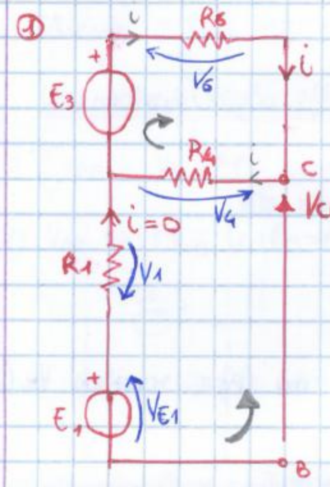
Il segno è positivo se la tensione incognita e il generatore sul lato considerato sono CONCORDI questo vale per i gen. di tensione.

Per i gen. di corrente se la corrente entra nel terminale + della tensione incognita, cioè prende il segno della polarità del terminale in cui entra.

DENOMINATORE => inverso di resistenze sempre sommate, escluse quelle legate al generatore di corrente (R_6).

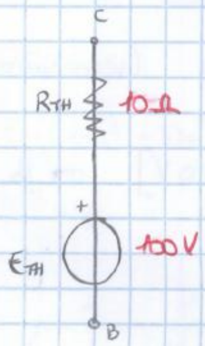
Considero soltanto la rete in rosso:

questo è un passaggio intermedio. Uso Th. Thevenin.

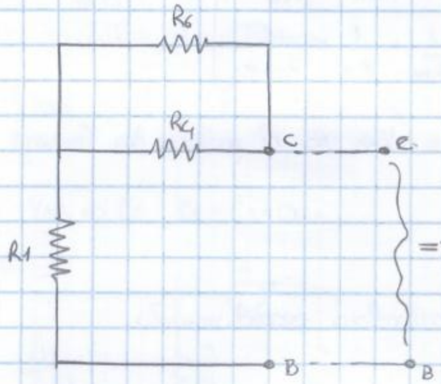


UNICA MAGLIA = UNICA CORRENTE

Costruisco la rete equivalente di THEVENIN



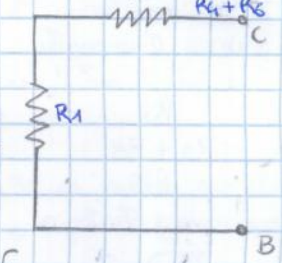
Calcolo R_{TH} devo passivare la rete (PASSIVANDO i generatori diventano CORTOCIRCUITI)



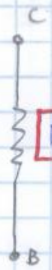
$\Rightarrow R_{CB} = R_{TH}$

R_6 e R_4 sono in parallelo

$R' = \frac{R_4 R_6}{R_4 + R_6}$



R' e R_1 = sono in serie



$[R''_{CB} = R' + R_1 = 10\,\Omega]$ del primo pezzo di rete $= R_{TH}$.

N.B. le resist. flottanti non contano, non passa corrente, cioè ha un solo terminale connesso e l'altro staccato. (R_1)

N.B. In una sola maglia, c'è solo un flusso di corrente, nel nostro caso il resto del circuito è senza corrente perché aperto. (R_1)

Calcolo ~~ETH~~ E_{TH}: (percorro maglia in senso orario)

$[V_6 = R_6 \cdot i$ e $V_4 = R_4 \cdot i]$ $\quad E_3 - V_6 - V_4 = 0$

quindi $E_3 = (R_6 + R_4)\, i \rightarrow i = \frac{E_3}{R_6 + R_4}$ ora trovo $V_4 = R_4 \cdot i$ utile per trovare V_{AB}

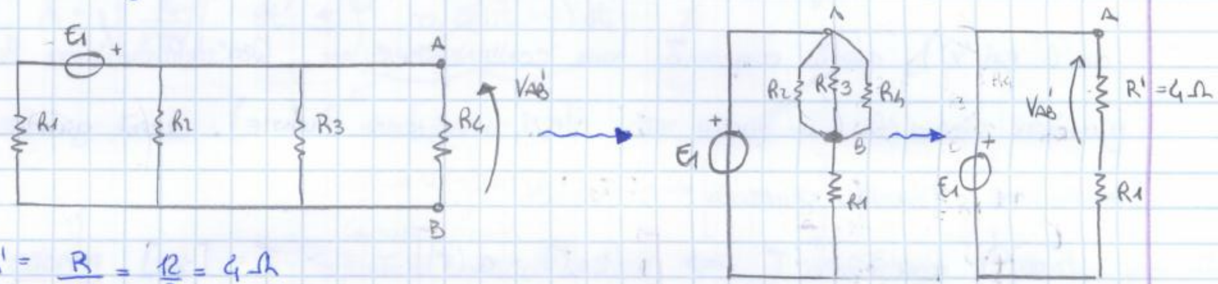
Calcolo ~~di~~ E_{TH}: (diff. di pot. a vuoto)

Avendo 5 lati => 10 equazioni NON USARE METODO ALGEBRICO

Uso sovrapp. degli effetti: (3 generatori, 3 contributi)

$$\left[V_{AB} = V'_{AB}(E_1, E_2=0, E_3=0) + V''_{AB}(E_1=0, E_2, E_3=0) + V'''_{AB}(E_1=0; E_2=0, E_3)\right]$$

① $V'_{AB} \Rightarrow E_1,\ E_2=E_3=0$



$R' = \frac{R}{n^\circ R} = \frac{12}{3} = 4\,\Omega$

Uso partitore di tensione:

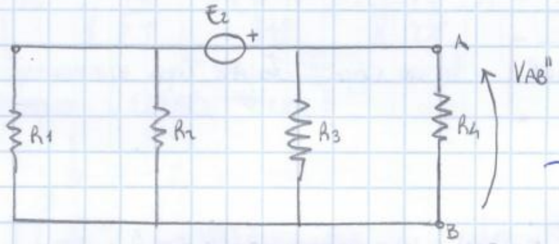
$$\left[V'_{AB} = E_1 \frac{R'}{R_1+R'} = 10 \cdot \frac{4}{12+4} = \frac{10}{4}\ V\right]$$

1° contributo trovato essendo $E_1=E_2=E_3=E$

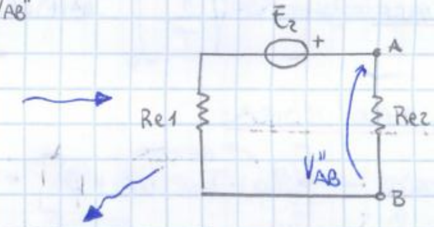
$$\left[V'_{AB} = E/4\right]$$

② $V_{AB} \Rightarrow E_2,\ E_1=E_3=0$

3 NODI

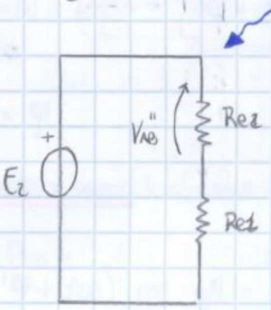


R_1, R_2 in parallelo così come R_3 e R_4



$R_{e1} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} = 6\,\Omega$

$R_{e2} = \frac{R_3 R_4}{R_3+R_4} = 6\,\Omega$

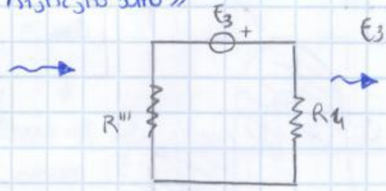


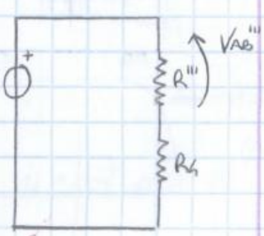
Uso il partitore di tensione:

$$\left[V''_{AB} = E_2 \frac{R_{e2}}{R_{e1}+R_{e2}} = \frac{E}{2}\ V\right]$$

③ $V'''_{AB} \Rightarrow E_1=E_2=0,\ E_3$

R_1, R_2, R_3 sono //





$R''' = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} = \frac{R}{n^\circ R} = \frac{12}{3} = 4\,\Omega$

$$\left[V'''_{AB} = E_3 \cdot \frac{R_4}{R_4+R'''}\right]$$ partitore di tensione

$$\left[V'''_{AB} = 3/4\,E\ V\right]$$

$a(t) = A_p \cdot \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$ da sostituire dentro A

$$A = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t^*}^{t^*+T} a^2(t')\,dt'} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t^*}^{t^*+T} A_p^2 \cdot \operatorname{sen}^2(\omega t' + \varphi)\,dt'}$$

essendo $\operatorname{sen}^2 x = \frac{1-\cos x}{2}$ sostituendo in A ottengo

$$A = \sqrt{\frac{A_p^2}{2T}\left[\int_{t^*}^{t^*+T} dt' - \underbrace{\cancel{\int_{t^*}^{t^*+T} \cos 2(\omega t' + \varphi)\,dt'}}_{0}\right]} \quad *$$

$\cos[2\omega t' + 2\varphi]$

$\frac{2\pi}{T'} = \omega' = 2\omega = \left(\frac{2\pi}{T}\right)\cdot 2 \rightarrow \left[T' = T/2\right]$ quindi l'integrale è esteso a 2 periodi, posso estenderlo a K periodi.

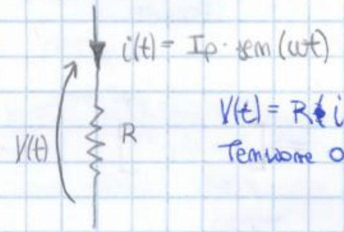
$\hookrightarrow$ nuovo periodo riferito a nuova pulsazione

Quindi posso scrivere

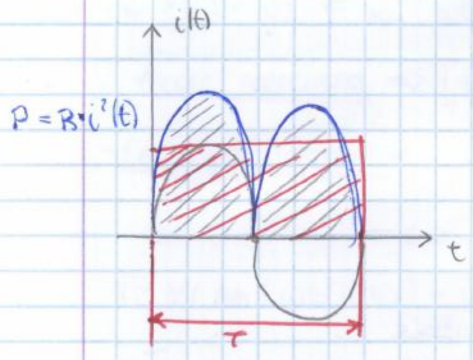
$$a_m = \frac{1}{T}\int_{t^*}^{t^*+K} a(t')\,dt' = 0$$ quindi quel termine è nullo

$$* \left[A = \sqrt{\frac{A_p^2}{2T}\cdot t\Big|_{t^*}^{t^*+T}} = \sqrt{\frac{A_p^2}{2\cancel{T}}\cdot\cancel{T}} = \frac{A_p}{\sqrt{2}}\right]$$ VALORE efficace di una SINUSOIDE (è un valore energetico)

- esempio (EFFETTO JOULE)



$V(t) = R \cdot i(t)$ Tensione OHM e $\left[P = V(t)\cdot i(t) = R\, i^2(t)\right]$ Potenza — varia nel tempo con il quadrato della corrente



considero una $\overline{P_m}$, il suo periodo è la metà del periodo di $a(t)$.

$$P_m = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt \quad \text{sostituisco } P = R\,i^2(t)$$

$$\underline{P_m} = \frac{1}{T}\int_0^T R\cdot i^2(t')\,dt' = \frac{R}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt = R\Bigg(\underbrace{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt}}_{I^2 = \text{valore eff. di } i(t)}\Bigg)^2 =$$

$$= \underline{R\,I^2}$$

NB → Una corrente alternata sinusoidale fa su una R gli stessi effetti di i = cost pari al valore efficace.

$$f(t) = \underbrace{(\sqrt{2}\,F)}_{A_p}\ \text{sen}(\omega t + \varphi)$$ SINUSOIDE

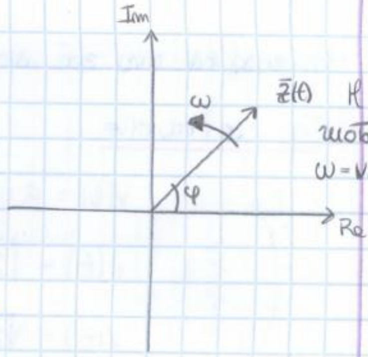
A_p → VALORE EFFICACE DI TALE SINUSOIDE

$\bar{z}(t) = z\, e^{j(\omega t + \varphi)}$ con $Re[\bar{z}(t)] = z \cos(\omega t + \varphi)$

FASE → $(\omega t + \varphi)$; MODULO → z

$$Im[\bar{z}(t)] = z\ \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

→ Questa eq. ci permette di rappresentare una sinusoide con un n° complesso ROTANTE, rappresenta una SINUSOIDE GENERICA.



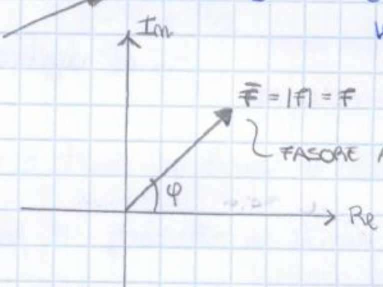
Il vettore sta ruotando con ω = v. angolare.

$[\sqrt{2}F \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}]$ N° COMPLESSO ora uso le prop. dell'esponenziale

$$= \sqrt{2}\,\boxed{F \cdot e^{j\varphi}}\, e^{j\omega t}$$

→ MI INTERESSA → $\bar{F} = F \cdot e^{j\varphi}$ è una parte di un n° complesso rotante con velocità ang. ω.

SI CHIAMA FASORE ASSOCIATO



$\bar{F} = |F| = F$ questa parte NON VARIA NEL TEMPO

FASORE ASSOCIATO (NON RUOTA nel dominio della freq)

[Questo fasore racchiude tutte le info necessarie per descrivere la sinusoide variabile nel dominio del tempo.]

- 8° LEZIONE: 24/10/2014

- Metodo simbolico => permette di def. una $f(x)$ nel tempo con un'altra funzione che si chiama FASORE ASSOCIATO ALLA SINUSOIDE (nel dom. della freq.)

SINUSOIDE → $f(t) = \sqrt{2}\, F\ \text{sen}(\omega t + \varphi)$; $f(t) = Im[\sqrt{2}\, F e^{j\varphi} \cdot e^{j\omega t}]$

FASORE ASSOCIATO => $[\bar{F} = F e^{j\varphi}]$

- EQUAZIONI TOPOLOGICHE esistono 2 famiglie (come nel dom. tempo)

LKT LKC

→ $\sqrt{2}\, V_1\ \text{sen}(\omega t + \varphi_1) + \sqrt{2}\, V_2\ \text{sen}(\omega t + \varphi_2) = 0$ la sinusoide adesso può essere considerata come la parte immaginaria di un n° complesso **rotante**.

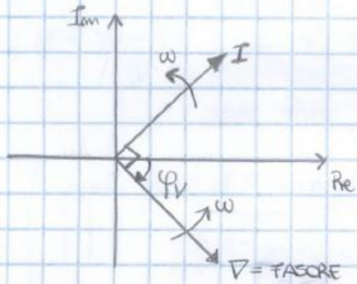
$Im[\sqrt{2}\, V_1 e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\omega t}] + Im[\sqrt{2}\, V_2\, e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\omega t}] = 0$ posso inglobare in un'unica parentesi perché sono tutte parti Imm. Raccolgo a fattor comune:

=> $Im[\sqrt{2}\,(V_1 e^{j\varphi_1} + V_2 e^{j\varphi_2})\, e^{j\omega t}] = 0$ } l'unico termine che si può annullare è quello in parentesi tonda

- ALGEBRA DEI FASORI:

t	ω	
$+$	$+$	somma
$-$	$-$	diff.
$kx(t)$	$k\bar{X}$	prodotto
$\frac{d}{dt}$	$j\omega$	derivata

Discussione sulla capacità:

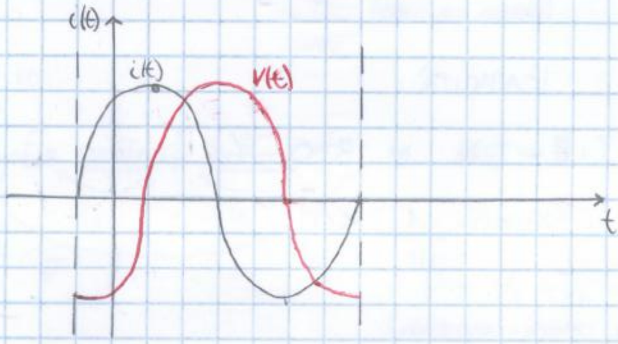


FASORE ASSOCIATO ALLA SINUSOIDE

$$\begin{cases} I = \omega C V \\ \varphi_I = \varphi_V + \pi/2 \end{cases}$$

La tensione e' 90° in ritardo rispetto alla corrente sono dette in QUADRATURA.

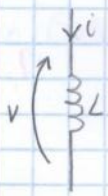
Di conseguenza la corrente e' 90° in anticipo.



Quando la i ha un max di 'i' un quarto di periodo dopo ha il max di 'v'.

C'e' uno sfasamento di $\frac{T}{4}$ con T = periodo.

- INDUTTORE:



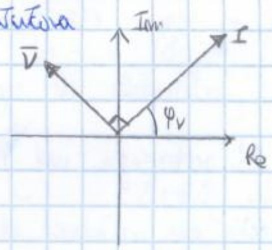
$v(t) = L\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}(L \cdot i)$ eq. costitutiva

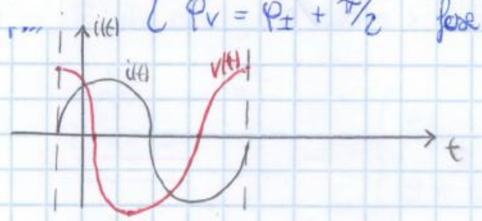
pass. ai fasori

COSTITUTIVA INDUTTORE

$[\bar{V} = j\omega L \bar{I}]$ algebra fasori

$$\begin{cases} V = \omega L I & \text{modulo del fasore} \\ \varphi_V = \varphi_I + \pi/2 & \text{fase della tensione} \end{cases}$$





La tensione e' 90° in anticipo rispetto alla corrente.

$\bar{Z} = R e^{j\theta} \rightarrow \theta = 0$ RESIST.

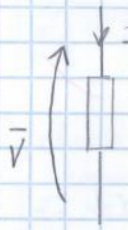
$\bar{Z} = -j \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{\omega C} e^{-j\pi/2} \rightarrow \theta = -\pi/2$ CAPACITÀ

$\bar{Z} = j\omega L = \omega L e^{j\pi/2} \rightarrow \theta = \pi/2$ INDUTTANZA

$$\frac{\bar{V}}{\bar{I}} = \bar{Z} = Z e^{j\theta} = \frac{V e^{j\varphi_V}}{I e^{j\varphi_I}} = \frac{\sqrt{2}\, V e^{j\varphi_V}}{\sqrt{2}\, I e^{j\varphi_I}} = \left(\frac{V}{I}\right) e^{j(\varphi_V - \varphi_I)}$$

Quindi:

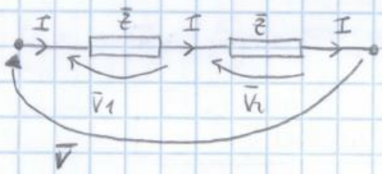
$$\begin{cases} Z = V/I & C \rightarrow \varphi_V - \varphi_I = -\pi/2 \quad \varphi_I = \varphi_V + \pi/2 \\ \theta = \varphi_V - \varphi_I & L \rightarrow \varphi_V - \varphi_I = \pi/2 \quad \varphi_V = \pi/2 + \varphi_I \end{cases}$$



$[\bar{V} = \bar{Z}\bar{I}]$ legge di OHM

la resistenza è sostituita dall' IMPEDENZA

- es:



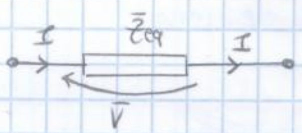
$\bar{V}_1 = \bar{Z}_1 I$

$\bar{V}_2 = \bar{Z}_2 I$

$\bar{V} - \bar{V}_1 - \bar{V}_2 = 0$ (LKT) $\rightarrow \boxed{\bar{V} = \bar{Z}_1 I + \bar{Z}_2 I = I(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)}$

eq. costitutiva di 2 impedenze

$\bar{Z}_{eq} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2$



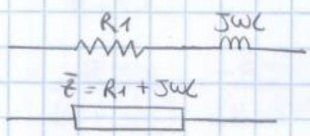
$$\bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}_{eq}} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2}$$

Estensione dei Th. di rete.

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V} \dfrac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} \\ \bar{V}_2 = \bar{V} \cdot \dfrac{\bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} \end{cases}$$

partitore di tensione

Nelle reti a corrente alternata con il metodo simbolico usiamo le estensioni dei Th. di rete, che restano validi così come nelle reti resistive.

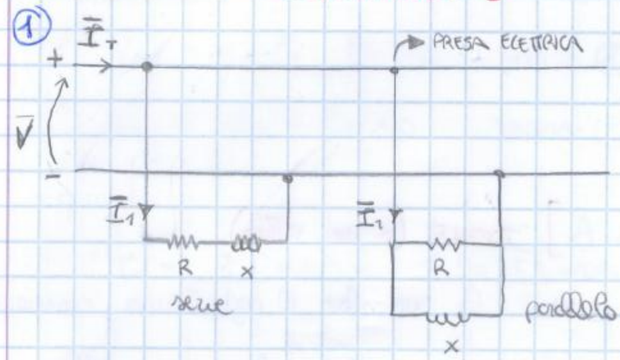


$$\begin{cases} Z_{eq} = \sqrt{R_1^2 + (\omega L)^2} \\ \theta = \text{arctg}\left(\dfrac{\omega L}{R_1}\right) \end{cases}$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 158

ESERCITAZIONE 3 — 28/10/2014

①



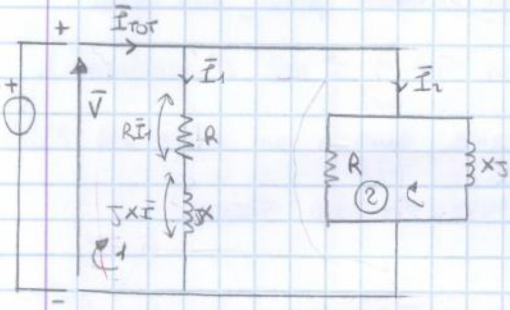
$R = 3\,\Omega$

$X = 3\,\Omega$

$V = 230$ Volts ↳ valore efficace

La corrente e la tensione sono sinusoidali, in regime di TR. di RETE (X = REATTANZA ...)

I carichi 1 e 2 sono in parallelo.



Se non ci sono fasi iniziali usiamo un fasore di riferimento in linea con asse Reale cioè:

$\bar{V} = Ve^{j0}$

chiudo una maglia ① $\quad \bar{V} - \underbrace{R\bar{I}_1 - jX\bar{I}_1}_{\text{caduta tens. dovuta a impedenza}} = 0 \quad$ quindi $\bar{I}_1 = \dfrac{\bar{V}}{\underbrace{R+jX}_{\text{impedenza tot maglia 1 (in serie)}}}$

CONNESSI IN SERIE

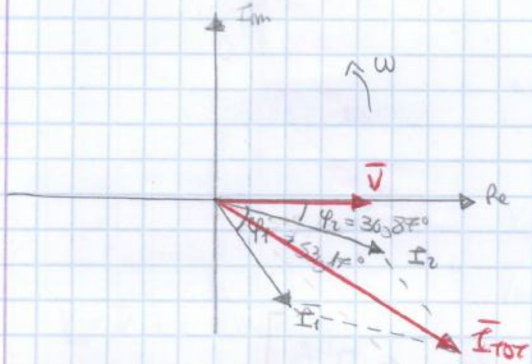
$\left[\bar{Z}_1 = R + jX = Z_1 e^{j\varphi_1}\right]$ passo in forma polare (impedenza)

$\left[Z_1 = \sqrt{R^2 + X^2}\right]$

$\left[\varphi_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{X}{R}\right) = 53{,}13°\right]$ FASE della 1° maglia (CORRENTE)

Quindi $\left[\bar{I}_1 = \dfrac{Ve^{j0}}{Z_1 e^{j\varphi_1}} = \left(\dfrac{V}{Z_1}\right) e^{-j\varphi_1} = 46\, e^{-j\,53{,}13°} = 27{,}6 - j\,36{,}8\,A\right]$

N.B. jX = IMPEDENZA



(regola del parallelogramma)

Calcolo I_2: (Trovo impedenza 2)

$\bar{Z}_2 = \dfrac{RjX}{R+jX}$ IMPEDENZA eq (di un parallelo) — Per passare in polare moltiplico e divido per complesso coniugato. (PER TROVARE Im e Re)

$\left[\bar{Z}_2 = \dfrac{RjX}{(R+jX)} \cdot \dfrac{-RjX}{(R-jX)} = \dfrac{RX^2 + jR^2X}{R^2+X^2} = \underbrace{\dfrac{RX^2}{R^2+X^2}}_{Re} + j\underbrace{\dfrac{R^2X}{R^2+X^2}}_{Im}\right.$ = ORA CONVERTO IN POLARI

$\left[Z_2 e^{j\varphi_2} = 2{,}4\, e^{j\,36{,}87°}\,\Omega\right]$

ORA INSERISCO NELLA FORMULA DELLA CORRENTE MAGLIA ②

Calcolo I_1 e I_2:

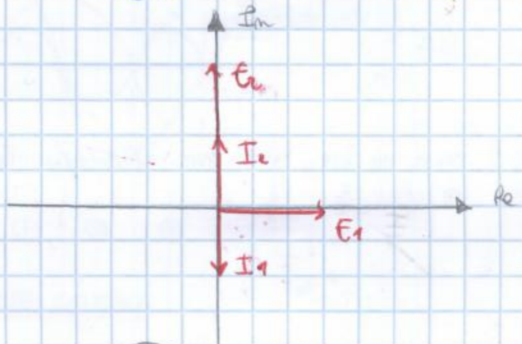
$\bar V_m + jX\bar I_1 - \bar E_1 = 0$ maglia ①

$\bar V_m + R\bar I_2 - \bar E_2 = 0$ maglia ②

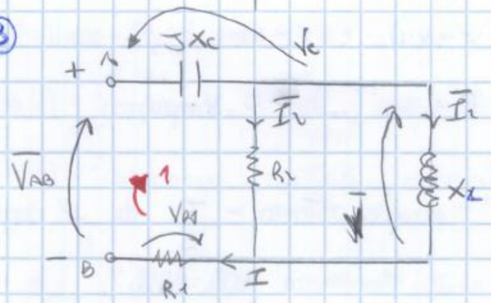
} pongo $\bar V_m = 0$

quindi:

$I_1 = \dfrac{E_1}{jX} = 10A$ e $I_2 = \dfrac{E_2}{R} = 10A$ sono il numeratore del th. Millman (V_m)



③



$R1 = 1\ \Omega$

$R_2 = 2\ \Omega$

$X_C = -5\ \Omega$

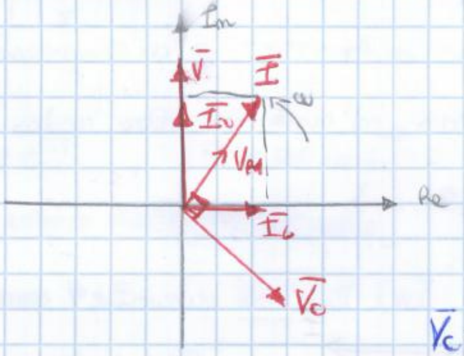
$X_L = 10\ \Omega$

$I_L = 3A \Rightarrow \bar I_L = I_L e^{j0}$ A

$\bar V_{AB} = ?$

$\bar V = jX_L \bar I_L = j30$ A

$\bar V = R_2 \bar I_2 \Rightarrow \bar I_2 = \dfrac{\bar V}{R_2} = j15$ A



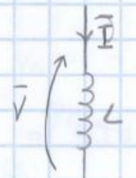
$I = \bar I_2 + \bar I_L = 3 + j15$ A

$\bar V_C = jX_C I = 75 - j15$ A

$\bar V_{R1} = R_1 I_1 =$

$\bar V_{AB} = \bar V + \bar V_C + \bar V_{R1} = 78 + j30$ V

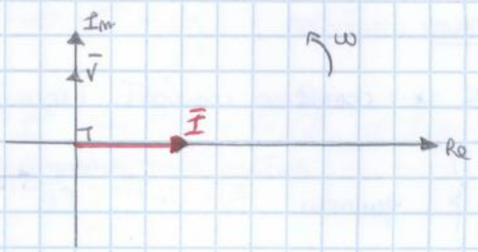
- esempio INDUTTORE:



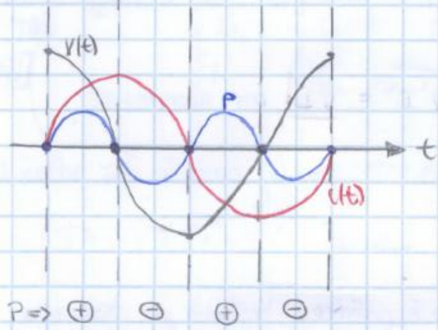
$\bar{V} = jXL$

$X = \omega L$

$\bar{V} = j\omega L \bar{I}$



Sono $\bar{V}$ e $\bar{I}$ in quadratura, $\bar{I}$ è in ritardo di 90°



P cambia di segno, assorbe e cede energia (induttore)

$P<0$ erogata ; $P_m = 0$.

In un periodo T la $P_m=0$ perché si compensa.

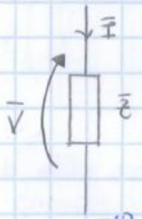
Ha una FREQ DOPPIA risp. a quella di partenza.

- RETE GENERICA:

$$\left[P(t) = P_a(t) + P_r(t) \right]$$

$P_a(t)$ = componente attiva, associata ai fenomeni dissipativi (resist)

$P_r(t)$ = componente reattiva, associata ai dipoli dinamici (reattanza)



$P_m = P$ potenza attiva

Q = potenza reattiva $= \max\{P_r(t)\}$ con segno

$\bar{z} = z e^{j\varphi}$

$$\begin{bmatrix} P = VI\cos\varphi \\ Q = VI\tan\varphi \end{bmatrix} > 0 \quad \text{con } \varphi = \varphi_V - \varphi_I = \left[-\tfrac{\pi}{2} ; 0 ; \tfrac{\pi}{2}\right]$$

$Q<0$ CAPACITIVO PURO; $Q>0$ INDUTTIVO PURO

NB => P si misura in Watt [W]

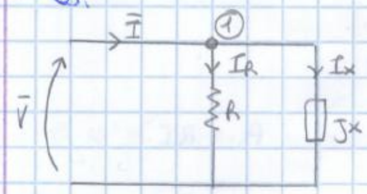
Q si misura in Volt Ampere reattivo cioè [VAR] perché non è riferito ad un intervallo di tempo ma ne considera un massimo.

$\bar V_R = R\cdot\bar I \Rightarrow V_R^2 = (RI)^2 \Rightarrow I^2 = \frac{V_R^2}{R^2}$ sostituisco in $\left[P = RI^2 = V_R^2/R\right]$

$\bar V_X = jX\bar I \Rightarrow V_X^2 = X^2 I^2 \rightarrow I^2 = V_X^2/X^2$ sostituisco $\left[Q = XI^2 = V_X^2/X\right]$

↳ il quadrato sempre positivo

- es:



$\bar S = \bar V \bar I^*$ $\qquad \bar V = R\bar I_R \rightarrow \bar I_R^* = \bar V^*/R$

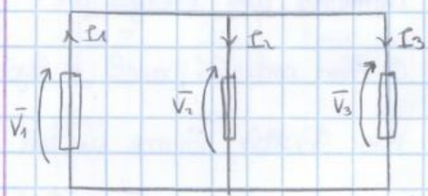
$\bar V = jX\bar I_X \rightarrow \bar I_X^* = \bar V^*/(-jX) = \frac{j\bar V^*}{X}$

NODO 1 $\Rightarrow \bar I = \bar I_R + \bar I_X$ e $\bar I^* = \bar I_R^* + \bar I_X^*$

$$\left[\bar S = \bar V(\bar I_R^* + \bar I_X^*) = \bar V\left(\frac{\bar V^*}{R} + j\frac{\bar V^*}{X}\right) = \frac{V^2}{R} + j\frac{V^2}{X}\right]$$

Quindi $\begin{cases} P = V^2/R = R I_R^2 \\ Q = V^2/X = X I_X^2 \end{cases}$

- CONSERVAZIONE DELLA POTENZA:



$\bar I_1 = \bar I_2 + \bar I_3$

$\bar V_1 = \bar V_2 = \bar V_3 = \bar V$

$\bar I_1^* = \bar I_2^* + \bar I_3^*$ moltiplico a dx e sx

$\bar V \bar I_1 = \bar V \bar I_2^* + \bar V \bar I_3^* \rightarrow \bar S_1 = \bar S_2 + \bar S_3$

quindi:

N_{CG} → generatori, N_{CU} → convenzione utilizzatori

$$\left[\sum_{j=1}^{N_{CG}} S_j = \sum_{j=1}^{N_{CU}} S_j\right]$$

TEOREMA DI BOUCHEROT

$$\begin{cases} \left[\sum_{j=1}^{N_{CG}} P_j = \sum_{k=1}^{N_{CU}} P_k\right] & \text{CANALE ATTIVO} \\ \left[\sum_{j=1}^{N_{CG}} Q_j = \sum_{k=1}^{N_{CU}} Q_k\right] & \text{CANALE REATTIVO} \end{cases}$$

RAPPRESENTA IL BILANCIO DI POT.

Una linea di trasmissione ha 2 linee andata e ritorno.

L spiega perché si crea un campo elettromagnetico sul conduttore (solenoide = fa parte della linea)

Calcoliamo il rendimento di tale linea (rendimento di trasmissione):

$$\left[\eta = \frac{\overbrace{P_U\,\Delta t}^{\text{utile}}}{\underbrace{P_T\,\Delta t}_{\text{spesa}}}\right]$$

con Δt = n° di periodo $\quad P\Delta t$ = energia fornita

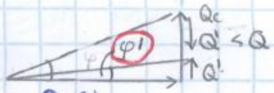
FASE ② POST-RIFASAMENTO <u>cambio $\cos\varphi = \cos\varphi'$</u>

impongo $\boxed{\cos\varphi' > \cos\varphi}$ in modo da diminuire $\operatorname{sen}\varphi$, e $\downarrow Q$ e $\downarrow I$ e quindi le perdite.

$\boxed{\underset{\text{DATO NOTO}}{\cos\varphi' = 0{,}9} \text{ OBBIETTIVO}}$, cambiando $\cos\varphi'$ cambia la ~~...~~ $Q = Q'$.

Usando BOUCHEROT
$$\begin{cases} P' = P & \text{deve rimanere costante} \\ Q' = \underset{<0}{Q_c} + \underset{>0}{Q} & \rightsquigarrow \quad Q_c = Q' - Q \end{cases}$$

$\operatorname{Tg}\varphi'$ = associato a nuovo triangolo delle potenze



cosφ aumenta se φ diminuisce.

Quindi $\boxed{\operatorname{Tg}\varphi' = \frac{Q'}{P'} = \frac{Q'}{P}}$ $\quad \boxed{Q' = P\operatorname{Tg}\varphi'}$

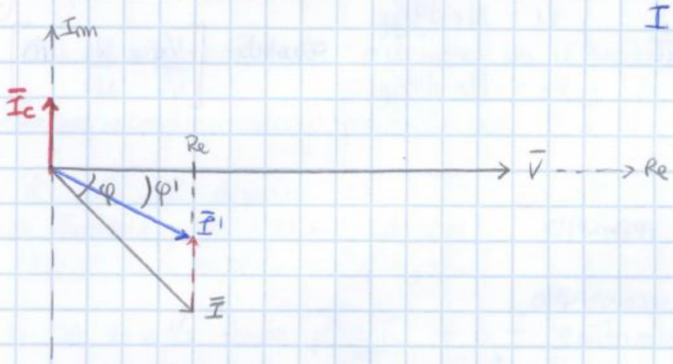
$$Q_c = Q' - Q = P\operatorname{Tg}\varphi' - Q = P\operatorname{Tg}\varphi' - P\operatorname{Tg}\varphi = P(\operatorname{Tg}\varphi' - \operatorname{Tg}\varphi)$$

$\boxed{Q_c = P(\operatorname{Tg}\varphi' - \operatorname{Tg}\varphi)} < 0$ ~~CAPACITÀ~~ NECESSARIA x RIFASARE a $\cos\varphi' = 0{,}9$.

Ora devo calcolare la C del condensatore necessaria ad assorbire Q' diminuita a tensione V

$Q_c = V^2/X_c$ con $X_c = \frac{1}{-\omega C}$ ottengo $Q_c = -V^2\omega C$ quindi

$\boxed{C = -\frac{Q_c}{V^2\omega}}$ CAPACITÀ



$\bar{I}' = \bar{I}_c + \bar{I}$ come si nota dopo la somma vettoriale $I' < I$ e $\varphi' < \varphi$ avrò meno perdite di trasmissione.

La parte reale di I = $\operatorname{Re}[I']$ così:

$I\cos\varphi = I'\cos\varphi'$ resta invariata.

$$\underbrace{VI\cos\varphi}_{P} = \underbrace{VI'\cos\varphi'}_{P'}$$

Eq. COSTITUTIVE TRASF. IDEALE:

$\boxed{\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = n}$ $\boxed{\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{n}}$ se in una entra e l'altra esce (si aggiunge $-1/n$)

se stesso segno su morsetto segnato (altrimenti $-n$)

$\varphi = \int_{S_{Fe}} B\,dS$ B = induzione = cost se IDEALE

$\varphi = B\,S_{Fe} \rightarrow$ essendo $B = \mu H$ * $\boxed{H = B/\mu}$ // al dL quindi pur essendo un vettore ho un prodotto semplice

cioè $\oint_{\partial S} \bar{H}\,d\bar{L} = N_1 i_1 - N_2 i_2$ con $\boxed{HL = N_1 i_1 - N_2 i_2}$ con L = lung. media del percorso magnetico

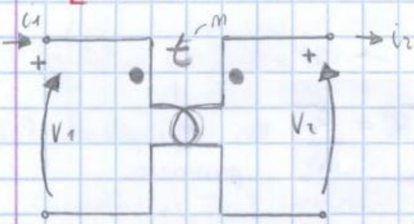
In questo caso L = perimetro di S in rosso.

Se IDEALE $\mu \rightarrow \infty$ $H = B/\mu \rightarrow 0$ e ottengo

$N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0 \rightsquigarrow \boxed{\frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{1}{n}}$ ②

Quindi:

$\boxed{t = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad e \quad \frac{1}{t} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1}}$ sono le eq. COSTITUTIVE del Trasf. IDEALE.



È un quadripolo, devo risolvere 2 incognite.

$\boxed{\frac{V_2}{V_1} = n}$ ① $\boxed{\frac{i_2}{i_1} = \frac{1}{n}}$ ②

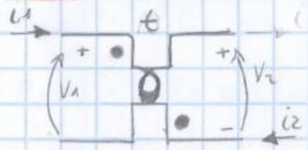
Gli avvolgimenti posso avvenire in 2 modi (orario e antiorario) per ognuno quindi ho 4 configurazioni possibili per V e i, se uso i morsetti contrassegnati da 2 punti al centro del disegno.

REGOLE: (morsetti contrassegnati)

1) Se V_1 e V_2 hanno polarità + o − entrambe sul morsetto contrassegnato allora $\frac{V_2}{V_1} = n$ altrimenti $\frac{V_2}{V_1} = -n$.

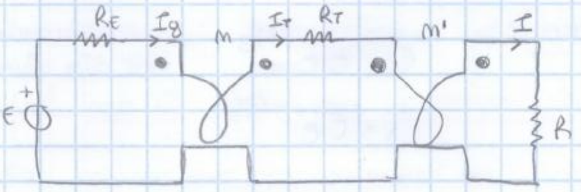
2) Se i_1 e i_2 entrano o escono entrambe nel o dal morsetto contrassegnato allora $\frac{i_2}{i_1} = -\frac{1}{n}$ altrimenti $\frac{i_2}{i_1} = \frac{1}{n}$.

- es:



$\frac{V_2}{V_1} = -n$ (polarità opposta) $\quad \frac{i_2}{i_1} = -\frac{1}{n}$ (entrano entrambe)

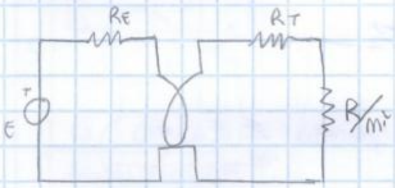
Nuovo schema:



$n' = \frac{1}{n}$ con $n > 1$

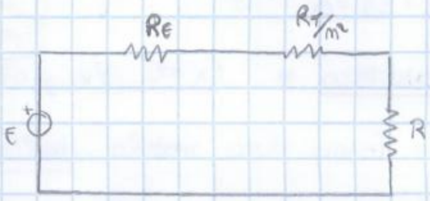
$\frac{i_T}{i_g} = \frac{1}{n}$ $\frac{i}{i_T} = \frac{1}{n'}$

$\frac{i_T}{i_g} \cdot \frac{i}{i_T} = \underbrace{\frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n'}}_{1} \rightarrow i_g = i$



R_T e R/n'^2 sono in serie

$R' = \frac{R_T + \frac{R}{n'^2}}{n'^2} = \frac{R_T}{n'^2} + R$ divido per n'^2 perché in serie.



$$\left[\eta' = \frac{R}{R_E + \frac{R_T}{n'^2} + R} > \eta\right]$$

↳ è diminuito

Quando i Trasf. servono a lavorare undicerto il flusso di potenza modificando V e i, posso migliorare il rendimento. Sono utili soprattutto se le distanze sono notevoli uso V alta e i basso dato che le PERDITE sono prop. con i^2, quindi i bassa = poche perdite (riduci enel) alta TENSIONE.

• 11° LEZIONE: 7/11/2014

- SISTEMI TRIFASE:

Sono reti polifase, con N generatori, se TRIFASE $N=3$, questi generatori sono isofrequenziali ($f \rightarrow \omega = 2\pi f$); sono sfasati l'uno dall'altro di $\theta = \frac{2\pi}{N}$ per i trifase lo sfasamento è $\theta = \frac{2\pi}{3} \rightarrow 120°$

- es:

AMPIEZZA

con fase nulla (riferimento)

① $e_1(t) = \sqrt{2} E_1 \operatorname{sen}(\omega t)$

sfasato di $\frac{2\pi}{N}$

$e_2(t) = \sqrt{2} E_2 \operatorname{sen}(\omega t + 2\pi/3)$

$e_3(t) = \sqrt{2} E_3 \operatorname{sen}(\omega t + 4\pi/3)$

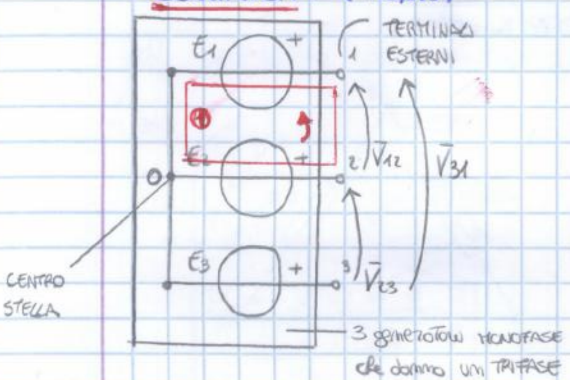
} nnusoide associate ad ogni generatore

Tra caso 1 e caso 2 c'è una grande differenza, ora la analizziamo, fissato un asse tratteggiato di osservazione nel caso ① noto una SEQUENZA INVERSA dei fasori 132.

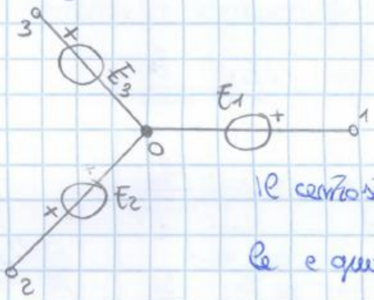
Nel caso ② noto una SEQUENZA DIRETTA dei fasori 123. (con ω ↺).

Per convenzione consideriamo una TERNA DIRETTA.

- GENERATORI: (Trifase)



Topologicamente i generatori sono connessi a STELLA:



Il centro stella non è raggiungibile e quindi non posso misurare la tensione nel centro, ma posso misurarlo indirettamente

Posso misurare V_{12}, V_{23}, V_{31} in modo diretto.

E_1, E_2, E_3 sono le TENSIONI DI FASE

V_{12}, V_{23}, V_{31} sono le TENSIONI CONCATENATE (cioè una di loro concatena le tens. di fase in una maglia.)

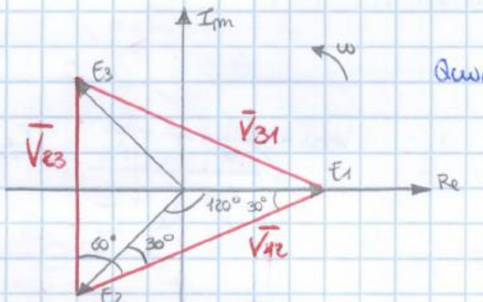
Maglia ①

$$\bar V_{12} - E_1 + E_2 = 0 \qquad \begin{cases} \bar V_{12} = E_1 - E_2 \\ \bar V_{23} = E_2 - E_3 \\ \bar V_{31} = E_3 - E_1 \end{cases}$$

↳ INFATTI RAPP. UNA DIFF DI POTENZIALE

Maglia 2

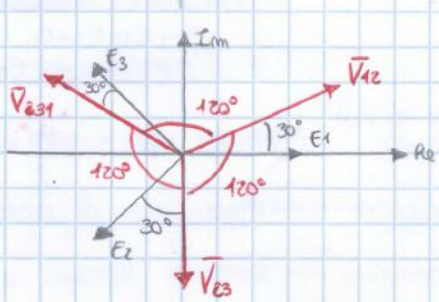
Maglia 3



Quindi $\boxed{\bar V_{12} + \bar V_{23} + \bar V_{31} = 0}$

$\boxed{|V_{12}| = |V_{23}| = |V_{31}| = V}$

sono uguali in MODULO



Se le E formano una Terna DIRETTA anche le concatenate formano una DIRETTA, se INDIRETTA vale uguale.

Calcolo correnti:

MODULI

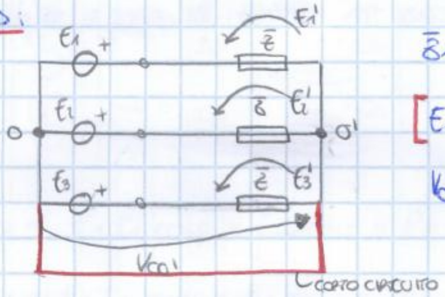
$\bar{I}_1 = E_1'/R_1 \longrightarrow I_1 = 0{,}415A$

$\bar{I}_2 = E_2'/R_2 \longrightarrow I_2 = 200A$

$\bar{I}_3 = E_3'/R_3 \longrightarrow I_3 = 200A$

$\overline{V_{oo'}}$ è un vettore che dice quanto differisce il centro stella del carico dal centro stella del generatore in termini di tensione e potenziale (ne rappresenta lo SPOSTAMENTO)

- es:



$\bar{z}_1 = \bar{z}_2 = \bar{z}_3 = \bar{z}$

$\left[E_1 + E_2 + E_3 = 0\right]$ ~~SIMMETRICA~~ PURO

$$V_{oo'} = \frac{\frac{E_1}{z_1} + \frac{E_2}{z_2} + \frac{E_3}{z_3}}{\frac{3}{z}} \rightsquigarrow \underline{V_{oo'} = 0} \quad \text{perché } \Sigma E = 0$$

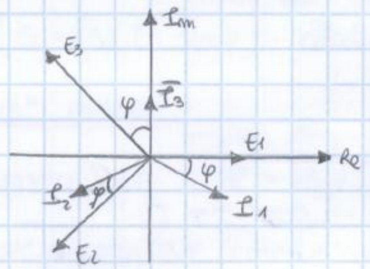
$E_k' = E_k - V_{oo'}$ $\begin{cases} E_1' = E_1 \\ E_2' = E_2 \\ E_3' = E_3 \end{cases}$ $\left[I_k = E_k'/\bar{z}\right]$

$$\bar{I}_k = E_k/\bar{z} = \underbrace{\left(\frac{E}{z}\right)}_{I} e^{j(\varphi_{E_k} - \varphi)}$$

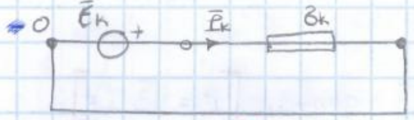
quindi $\left[I_k = I \ \ \forall k\right]$ perché le $\underline{z \text{ sono uguali}}$

CARICO EQUILIBRATO

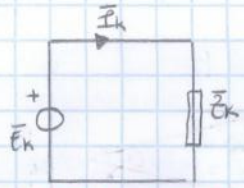
Un carico equilibrato è formato da 3 correnti con stesso MODULO, ma FASE propria.



OHMICO-INDUTTIVO $\Rightarrow \varphi > 0$



equivalente



CIRCUITO MONOFASE EQUIVALENTE

$K = 1, 2, 3$ Una volta trovato i fasori di $K = 1$ posso ruotarli di $120°$ e trovare $K = 2$ e 3.

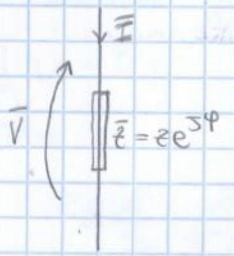
- TR. SOSTITUZIONE:

Posso creare una CRCT mono equivalente perché $V_{oo'} = 0$ e come se ogni generatore alimenta la sua impedenza singolarmente, così trovo i risultati di 1 e poi sfaso di 120°.

· È una SINTESI TRIFASE → MONOFASE.

- POTENZA 3F (TRIFASE):

Δ.

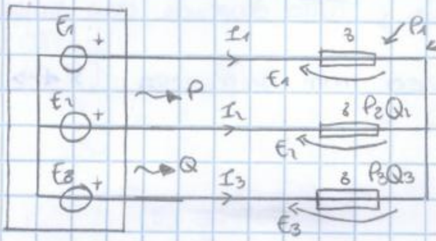


$P = VI \cos\varphi$ $[W]$ ATTIVA

$Q = VI \sin\varphi$ $[VAR]$ REATTIVA

$\bar{S} = \bar{V}\bar{I}^* = P + jQ$ COMPLESSA

$S = \sqrt{P^2+Q^2}$ $[VA]$ APPARENTE



$P = P_1 + P_2 + P_3$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$\left.\begin{array}{l} E_1 = E_2 = E_3 = E \\ I_1 = I_{II} = I_{III} = I \end{array}\right\}$ EQUILIBRATO SIMMETRICO

Note E_1, E_2, E_3 calcolo I_1, I_2, I_3 poi la P.

$P_1 = E_1 I_1 \cos\varphi = EI\cos\varphi = P_2 = P_3$

$Q_1 = E_1 I_1 \sin\varphi = EI \sin\varphi = Q_2 = Q_3$

Quindi: $\begin{cases} P = 3EI\cos\varphi \\ Q = 3EI \sin\varphi \end{cases}$ TOTALI

$$\left[S = \sqrt{P^2+Q^2} = 3EI\right]$$

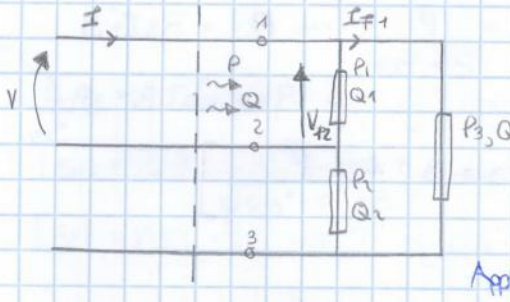
Sapendo che $[V = \sqrt{3}E]$ $\rightarrow$ sostituisco $E = V/\sqrt{3}$ e trovo

$\begin{bmatrix} P = \sqrt{3}\,VI\cos\varphi \\ Q = \sqrt{3}\,VI \sin\varphi \end{bmatrix}$ In questo modo posso calcolare V, al contrario di E che non è facilmente calcolabile.

• 12° LEZIONE: 10/11/2014

SISTEMI 3F : $P = \sqrt{3}\,VI\cos\varphi$; $Q = \sqrt{3}\,VI\sin\varphi$; $S = \sqrt{3}\,VI$ (riassunto)

- ~~SIS~~ SISTEMI 3F connessione TRIANGOLO Δ:



$\begin{cases} P_1 = V_{12} I_{F1} \cos\varphi = V I_F \cos\varphi = P_2 = P_3 \\ Q_1 = V_{12} I_{F1} \sin\varphi = V I_F \sin\varphi = Q_2 = Q_3 \end{cases}$

$|V_{12}| = |V_{23}| = |V_{31}|$ e $|I_{F1}| = |I_{F2}| = |I_{F3}|$

Applicando BOUCHEROT trovo: $P = P_1 + P_2 + P_3$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

Per valutare le 2 linee ① e ② impongo lo stesso η in modo da valutare la convenienza:

$\left[\eta_1 = \eta_3\right] \rightarrow \left[P_{L1} = P_{L3}\right]$ poiché il numeratore è uguale.

Trovo:

$$2\rho \frac{L}{S_1} \cdot \frac{P^2}{V^2 \cos\varphi} = \rho \frac{L}{S_3} \cdot \frac{P^2}{V^2 \cos\varphi}$$

la L è uguale, stessa linea varia solo S. In realtà anche le ρ sono uguali stesso caso

Ottengo:

$\frac{S_3}{S_1} = \frac{1}{2}$ cioè la linea trifase ha dei conduttori con metà sezione,

ora ne valuto il volume di ogni caso. Volume = Ω

$$\left.\begin{array}{l}\Omega_3 = 3 S_3 L \\ \Omega_1 = 2 S_1 L\end{array}\right\} \text{volumi} \rightarrow \left[\frac{\Omega_3}{\Omega_1} = \frac{3}{2}\,\overbrace{\frac{S_3}{S_1}}^{1/2} = \frac{\Omega_3}{\Omega_1} = \frac{3}{4} = 0{,}75\right]$$

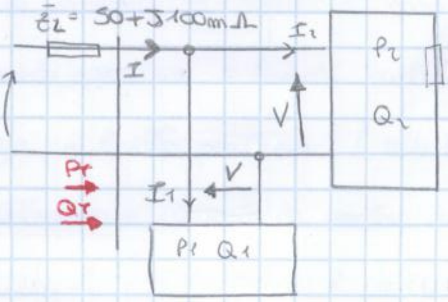
Quindi la linea trifase ha il 75% del volume della monofase, quindi risparmio il 25% di materiale, di peso e di traliccio (strutture).

Quindi trifase è meglio risparmio 25% del volume.

La rete trifase è quella della presa industriale con bocchettone, la potenza trasmessa da una rete trifase è sempre COSTANTE, poiché compensata dalle 3 fasi.

• ESERCITAZIONE 4:

①



$P_1 = 10\ kW$

$Q_1 = 7{,}5\ kVAR$

$P_2 = 20\ kW$

$Q_2 = 7{,}5\ kVAR$

$V = 230\ V$

$V_G = ?$

$\eta_L = ?$

I due carichi sono // quindi stesso tensione V.

$\bar{S}_1 = \bar{V}\bar{I}_1^* = P_1 + jQ_1$ COMPLESSA

$|S_1| = V I_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$ APPARENTE quindi $I_1 = \frac{\sqrt{P_1^2+Q_1^2}}{V}$

$|S_2| = V I_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2}$ quindi $I_2 = \frac{\sqrt{P_2^2+Q_2^2}}{V}$

• 13° LEZIONE: (TOMMASINI) IMPIANTI ELETTRICI 14/11/2014

LIBRO = fondamenti di sicurezza elettrica (Vito Carrescia Ed. TNE)

- SICUREZZA ELETTRICA:

è obbligatorio all'interno di un progetto, devo garantire FUNZIONALITÀ e SICUREZZA

La sicurezza deve contrastare il rischio elettrico, derivante dall'uso della corrente.

- RISCHIO ELETTRICO

	Pericolo		Protezione	
1	Folgorazione	CONTATTO DIRETTO / CONTATTO INDIRETTO	Prot. da contatti DIR/INDIR	
2	Incendio e sovraccorrenti	CORTOCIRCUITO / SOVRACCARICO	Prot. cto/cto e sovraccorrenti (→ CORTOCIRCUITO)	
3	Interruzione di ENERGIA ELETTRICA (alimentazione)		Alimentazione di Emergenza	di riserva / di sicurezza
4	Arco Elettrico		DPI, procedure di intervento.	
5	Fulminazione		Protezione contro i fulmini	

Elettrocuzione = passaggio di e^- nel corpo umano.

Effetto Joule = dovuto a trasporto di corrente il conduttore si riscalda e può fondere, incendio → SOVRACCORRENTI

Alimento = necessario per far funzionare gli strumenti.

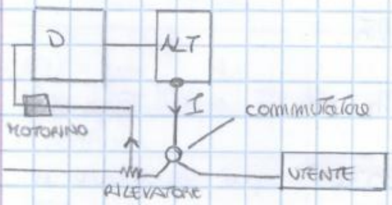
corrisponde a interruzioni di pericolo vitale per gli uomini (SALA OPERATORIA)

Le alimentazioni di riserva e di emergenza sono caratterizzate da un Tempo di Intervento, dipende dall'apparecchio che si sta usando, Tale Tempo può essere BREVE, LUNGO o NULLO.

Infatti le alimentaz. di sicurezza sono NO BREAK (continue, Tint = nullo).

NB. Lampada operatoria = lampada scialitica, T di intervento = 0,5 sec quando non si spegne a livello percettivo. (scialitica = no OMBRE)

Gruppo elettrogeno = formato da motore diesel con alternatore connesso con la rete, vi è un sensore che se manca la corrente attiva il diesel che attiva l'alternatore (T di intervento = decine di sec).



			GAS	POLVERI	
6	Innesco atmosfere Esplosive	Classifico le zone pericolose	Zona 0	Zona 20	+
			Zona 1	Zona 21	↑
			Zona 2	Zona 22	PERICOLO SCARSO

Normativa ATEX = atm esplosive

Luogo con PERICOLO di esplosione = luogo dove è presente ATEX o dove potrebbe esserci ATEX. (MOLTI LUOGHI)

In tali luoghi ci sono gas, combustibili, polveri infiammabili.

a tale fenomeno, inoltre può crearsi anche nella manutenzione di linee in tensione ad esempio quando faccio un cortocircuito con un cacciavite tra 2 elementi a diff. di potenziale. I DPI contro arco elettrico sono GUANTI IN GOMMA e CASCO con VISIERA IN POLICARBONATO (resiste a 10 KA a 30 cm), vestiti NON SINTETICI, cotone spesso.
Le Procedure sono l'unica prevenzione e protezione contro l'arco elettrico.

- FULMINI:

Corrente elettrica impulsiva che si scarica al suolo, è dovuta alle cariche elettrostatiche delle particelle presenti in aria (vapore ecc..), devo valutare il rischio e mettere un LPS esterno ed interno.

NB. FOLGORAZIONE ≠ FULMINAZIONE (scarica atm)

La valutazione è legata al singolo edificio, posso provvedere a mettere un LPS cioè un sistema di protezione contro i fulmini, non è obbligatoria.

LPS = lightning protection system.

- NORMATIVE DI RIFERIMENTO:

CEI 64-8 folgoraz., sovracorrenti, interruzione, arco elettrico (BIBBIA IMP. BASSA TENSIONE) ≤ 1000 V

EN 62305 fulminazione

EN 60079 ambiente esplosivo

- ENTI NORMATORI:

	Norme elettriche	e Non elettriche.
ITALIA	CEI = comitato elettro Tecnico Italiano	UNI
EUROPA	CENE = com.. EU. di normalizzazione elettrica	CEN
MONDO	IEC	ISO

La certificazione delle macchine da parte di un importatore o produttore e' espressa dalla MARCATURA CE che e' OBBLIGATORIA. Tale marcatura certifica TUTTE le DIRETTIVE in vigore rispettivamente il campo di applicazione.
Le DIRETTIVE si basano sulle EN che sono delle NORME, dopo entra come legge in ogni singolo STATO, tale legge potrebbe avere un nome diverso ma contenuto uguale.

- COME RICONOSCO IL MARCHIO?

Il MARCHIO e' una autocertificazione del costruttore quindi non è ONESTISSIMO, può essere posto anche senza verifica, si e' arrivato ad introdurre un terzo ente che verifica la marcatura CE per conto del costruttore, tale verifica è a pagamento, ma non e' obbligatoria, quindi e' una rassicurazione verso il cliente.
In ITALIA e' detto IMQ (istituto del marchio di qualità) = , ne esiste uno in ogni paese membro europeo. (Belgio = CEBEC, Francia = N^F)
NB I prodotti che portano il marchio CE , devono rientrare nella direttiva, altrimenti non è presente (es: presa a spina sono esenti).
Le ditte costruttrici usano i marchi di qualità delle zone dove devono esportare quindi ne pagano più di uno pur non essendo obbligatori come CE, ma sono garantiti da un terzo sotto corrispettivo.
I falsi sono principalmente CINESI che copiano anche i marchi di qualità.
Hanno copiato anche CE come CHINA EXPORT in modo da poter vendere in EUROPA.
Da notare che le norme e quindi le DIRETTIVE vengono sempre aggiornate con una determinata cadenza quindi i marchi mi assicurano una durata di conformità limitata. Onde evitare infortuni se viene modificata la DIRETTIVA e poi la norma il datore di lavoro deve redigere di nuovo un DVR in cui specifica le nuove norme per il vecchio apparecchio oppure interdirlo al lavoro stesso.

• 15° LEZIONE:

- IMPIANTI ELETTRICI:

3 tipologie ne esistono

COMMUT. CORR. ALTERN. 21/11/2014

TENS	CAT	LIMITI	VALORI COMUNI
AT	III cat	≥ 30 kV	130, 150, 220, 380 } kV
MT	II cat	$1 < U_a \leq 30$ kV	60, 50, 20 } kV
BT	I cat	$50V < U_a \leq 1000V$	230 - 400 V
BBT	cat 0	< 50 V	12, 24 V

$f = 50$ Hz

MT

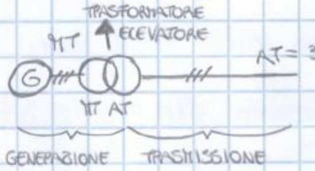
(G) = generazione dell' en. elettrica (media tensione) nelle centrali termo e/o idro-elettrico, con sviluppo dell' eolico e del fotovoltaico.

1) L'energia termo-elettrica si ottiene per combustione di combustibile fossile, è una grande caldaia che fa evaporare dell' H_2O portandola in pressione nelle turbine che muovono gli alternatori oppure si usano i TURBOGAS usando il principio del motore a reazione con combustibile gassoso in pressione nel reattore che muove la turbina, è conveniente rispetto al vapore perché è ad avvio instantaneo ma ha un rendimento $\leq 30\%$ al contrario della turbina a vapore che ci mette del tempo ad avviarsi e necessitano di un det. T° con η maggiore. Ultimamente esistono centrali miste a turbogas e vapore (ciclo combinato), il vapore è riscaldato dai fumi di combustione del reattore cioè TURBOGAS + TURBINA VAPORE $\eta' \leq 50\%$

2) ~~...~~ Idroelettrico è molto ecologico e economico rispetto a tutti gli altri metodi, l' H_2O è raccolta in bacini in quota dotati di condotte quasi verticali in modo da sfruttare l' E_k al termine della CONDOTTA FORZATA in modo da muovere alla fine della corsa delle turbine. Le emissioni sono $\emptyset$ e l' H_2O si ricicla da sola, la sola spesa è la COSTR. e MANUTENZ. producono il 20% dell' en. elettrica italiana. È una fonte RINNOVABILE

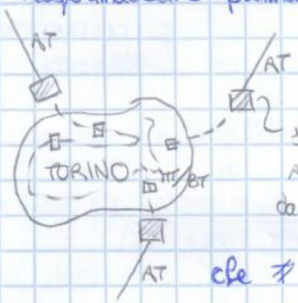
3) Eolico usa delle grosse pale montate su una torre che girando muovono l' alternatore è RINNOVABILE, bassa % perché in Italia abbiamo poco vento e bei territori, difficili da rovinare.

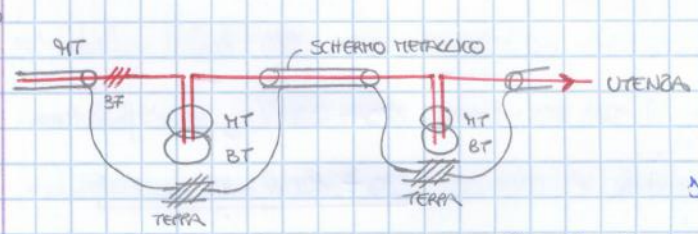
perdute. Quando genero a MT poi trasformo in AT ed eseguo la Trasmissione.



La linea di Trasmissione è composta da Tralicci e cavi conduttori.

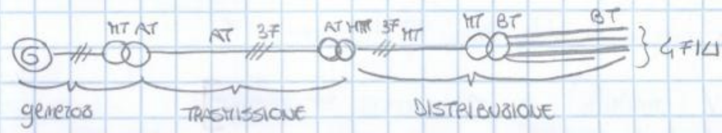
Ai confini della città si cambia linea di Trasmissione con una cabina di Trasformazione primaria; ne escono a 20KV (MT) sono sottoterra (in Traccia) e ~~ne~~ sono lunghi Km ad anello di solito. Essendo ancora ad una tensione inutilizzabile sul percorso ci sono altre cabine di Trasformazione sotterranee che si passa da MT → BT, di queste cabine ce ne sono tantissime con una dist media di 100 m (1 x isolato). I cavi MT sono schermati con del metallo.



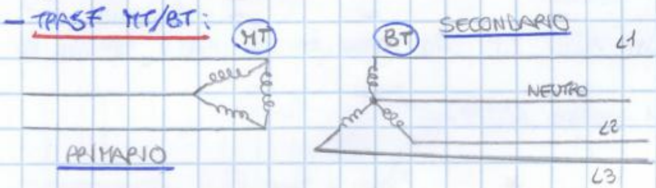


Ogni cabina elettrica ha un impianto di Terra al quale sono collegati gli schermi dei cavi che sono metallici.

Gli impianti di Terra sono collegati fra loro dagli schermi dei conduttori MT

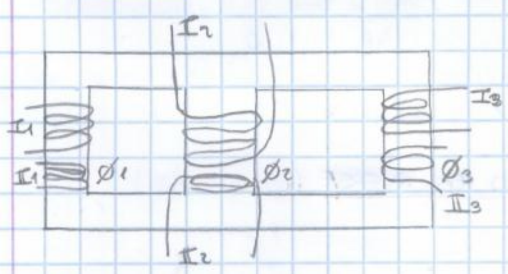


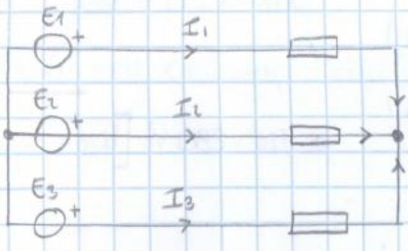
— TRASF MT/BT:



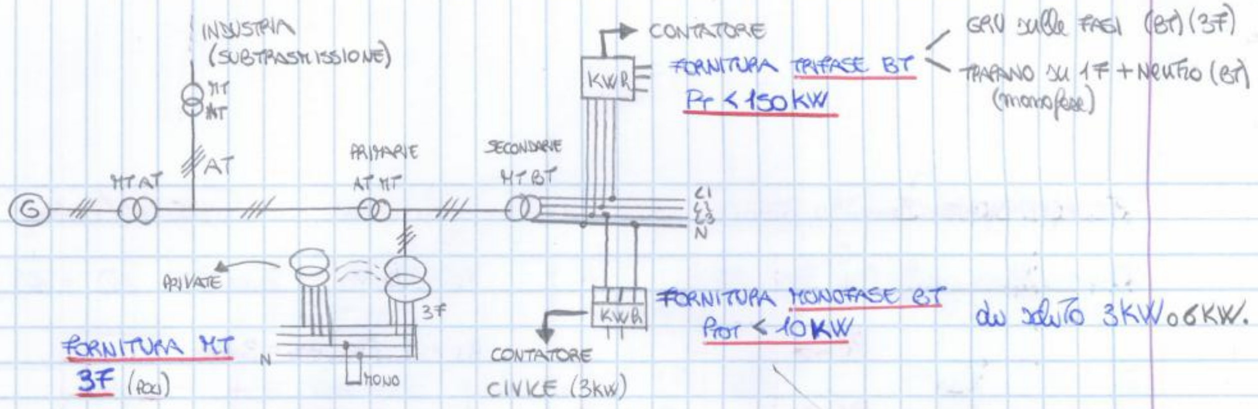
MONOFASE = 2 AVVOLGIMENTO

TRIFASE = 3 AVVOLGIMENTI





Si annullano tt perché SFASATE di 120° cioè $\frac{2}{3}\pi$.

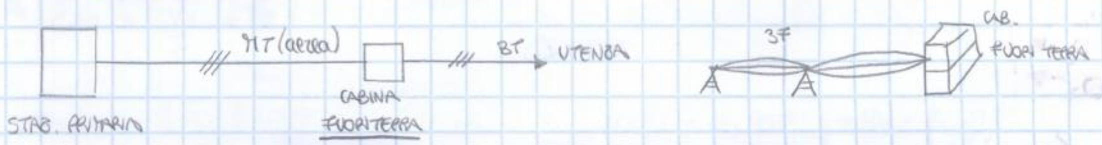


Se necessito di $P_T > 150$ KW il fornitore mi dà un TRIFASE in MT, ma devo comprare un TRASF. MT/BT (un es. è il PoLi) la rete è privata e fornisce una P_T in [MW] le cabine MT/BT sono private una per ogni zona da servire.

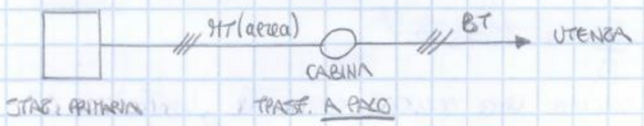
Se ancora non mi basta perché sono in ambito industriale ci può essere un linea in AT che arriva allo stabilimento con $V = 150$ KV (AT SUBTRASMISSIONE)

NB. Si preferiscono tante cabine da MT/BT perché voglio arrivare con V_{max} vicino al carico, e se ne metto una unica da MT/BT il carico + lontano mi costa tanto, quindi ne distribuisco tante nelle vicinanze delle zone da alimentare in modo da avvicinarmi in MT e poi passo a BT, e in città ce ne sono moltissime, una per ogni zona, le perdite sono minimizzate.

- es. CAMPAGNA:



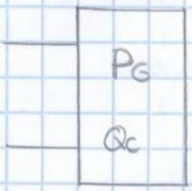
- es. POCHE CASE: (AMERICANO)



NB. Nei quadri-elettrici in città sono in BT che riguardano illuminazione pubblica, semafori.

$$\begin{cases} P_G = P_3 + P_{R1} & \text{con } P_{R1} = R_1 I_1^2 \\ Q_G = Q_3 & \text{(R non è reattiva)} \end{cases}$$

Questa ultima sezione definisce le pot. del solo generatore



$$\left[S_G = \sqrt{P_G^2 + Q_G^2} = V_1 \cdot I_1 \right]$$

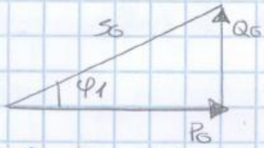
$V_1 = \frac{S_G}{I_1} = 248,81\ V$ tensione del generatore della rete tot.

[Dovendo risolvere la rete introduco nel carico un componente in serie e/o in parallelo
In parallelo si conserva la V, in serie si conserva la I è la stessa corrente.]

NB. la frase scritta sopra non è una regola generale, ci sono delle eccezioni.

Calcolo $\cos\varphi$ all'ingresso linea:

$$\left[P_G = V_1 \cdot I_1 \cos\varphi \right] \rightarrow \cos\varphi = \frac{P_G}{V_1 I_1}$$ oppure uso il classico triangolo delle pot.



$$\left[P_G = S_G \cos\varphi_1 \right] \qquad \cos\varphi_1 = \frac{P_G}{S_G}$$ ad inizio linea

Calcolo $\bar{Z}_{eq}$ del circuito

$[\bar{V} = \bar{Z}\bar{I}]$ la rete si comporta come un carico G con P_G; Q_G e $\cos\varphi_1$

$$\left[\bar{Z}_{eq} = \frac{\bar{V}_1}{\bar{I}_1} = \left(\frac{V_1}{I_1}\right) e^{j\varphi_V - \varphi_I} \right]$$ essendo $[\varphi_V - \varphi_I = \varphi_1]$

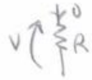
Quindi $|\bar{Z}_{eq}| = \frac{V_1}{I_1} = 4,38\ \Omega$ $\qquad \cos\varphi_1 = 0,907 \rightarrow \varphi_1 = 24,91°$

Quindi $\bar{Z}_{eq} = 4,38\ e^{j24,91°}\ \Omega$

IMPIANTI ELETTRICI FORMULARIO ① CONNESSIONI + COMPONENTI

- COMPONENTI

① RESISTENZA passiva:

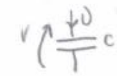


$\boxed{V = Ri}$ $\boxed{G = 1/R}$ conduttanza senza variazioni nel dom freq. $\bar{V} = R\bar{I}$

$\boxed{P = V \cdot i = Ri^2}$

$\boxed{P = V^2/R}$

② CAPACITÀ (condensatore): passivo → immagazzina En. campo elettrico



$\boxed{Q = CV}$ C = capacità [F] farad $\boxed{P = V \cdot C\frac{dV}{dt}}$ ISTANTANEA <0 e >0

$\boxed{i = C\frac{dV}{dt}}$ $W = \frac{1}{2}CV^2$ → en. immagazzinata dom f => $\bar{I} = j\omega C\bar{V}$

COND e INDUTTORE sono DUALI. V e i si scambiano.

③ INDUTTANZA (induttore): passivo → immagazzina En campo magnetico

$\boxed{\lambda = Li}$ L = induttanza [Henry] DomT $V = L\frac{di}{dt}$ Dom f $\bar{V} = j\omega L\bar{I}$

$\boxed{\lambda = N\varphi}$

$\boxed{V = L\frac{di}{dt}}$ $\boxed{P = Li\frac{di}{dt}}$ [<0 e >0]

④ GENERATORE IDEALE DI TENSIONE (attivo):

$\boxed{\begin{matrix} V = E \ \forall i \\ P = Ei \end{matrix}}$ → IDEALE es. BATTERIA cc

⑤ GENERATORE IDEALE DI CORRENTE (attivo):

$\boxed{\begin{matrix} i = A \ \forall V \\ P = V \cdot A \end{matrix}}$ → IDEALE es. FULMINE. CA

- CONNESSIONI IN SERIE

n° componenti sono in serie se attraversati dalla stessa corrente.

$\boxed{R_s = R_1 + R_2}$ somma semplice.

- CONNESSIONE PARALLELO

n componenti sono in parallelo se sottoposti alla stessa diff. di potenziale, cioè stessa tensione V, cioè collegati agli stessi terminali

$$\boxed{R_{eqP} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$

- PARTITORE DI TENSIONE

$$\boxed{V_J = \frac{E\,R_J}{R_1 + R_2 + \ldots R_n}}$$

calcolo tensione di 1 solo componente

- PARTITORE DI CORRENTE:

$$\boxed{i_J = \frac{A\,G_J}{G_1 + G_2 + \ldots + G_K}}$$

calcolo corrente in 1 componente ed il duale del 1°.

② TR DI RETE

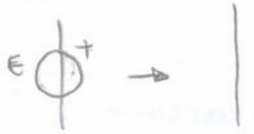
- METODO ALGEBRICO:

N = nodi $\qquad$ L lati = 2L incognite = 2L eq. L indip. COSTITUTIVE

L = lati

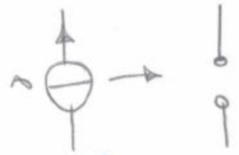
$$\left.\begin{array}{l} L_{KC} = N-1 \\ L_{KT} = L-N+1 \end{array}\right\} \text{Topologiche}$$

- PASSIVAZIONE:



cortocircuito $\Delta V=0$

gen. Tensione



circuito aperto $A=0$

NB. quando ci sono R legate a gen I passivato (circuito aperto) non considerando corrente $R=0$

gen. corrente

LINEARI TEMPO INVARIANTI

IPOTESI = LINEARITÀ se tutti i componenti sono LTI e generatori IDEALI.

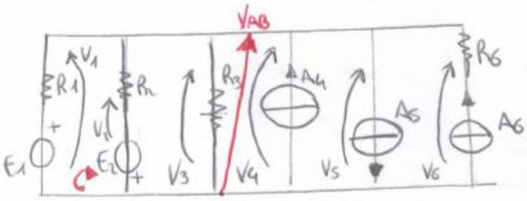
- TEOREMA: Sovrapp. degli effetti:

Permette di calcolare grandezze i e v facendo la somma dei singoli contributi di ogni generatore

$$\left[i_1 (E_1, E_2) = i_1' (E_1 = 0 ; E_2) + i_1'' (E_1 ; E_2 = 0) \right]$$

- TEOREMA DI MILLMAN:

Si applica solo a reti a 2 NODI



V_{AB} = Tensione di Millman

$$\left[V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} \mp \frac{E_2}{R_2} + A_4 + A_5 + A_6}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \right] \begin{array}{l} \text{NUMERATORE} \\ \\ \text{DENOMINATORE} \end{array}$$

num = n° generatori
- E/R → il segno + se V_1 e V_{AB} sono concordi (es. $V_2 < 0$ risp. AB)
- A → il segno + se 'i' entra nel terminale positivo della tensione incognita, cioè si prende il segno della polarità del terminale in cui entra.

denominatore = somma inverso delle resistenze, escluse quelle legate al generatore di corrente

①

3) METODO SIMBOLICO

- TRASF. NUM. COMPLESSI:

$\boxed{\bar{z} = a + jb}$ cartesiana $\begin{cases} a = z\cos\varphi \\ b = z\,\mathrm{sen}\,\varphi \end{cases}$

$\boxed{\bar{z} = z\cos\varphi + jz\,\mathrm{sen}\,\varphi = ze^{j\varphi}}$

$\boxed{|\bar{z}| = \sqrt{a^2+b^2}}$ MODULO

$\boxed{\varphi = \mathrm{arctg}\,(b/a)}$

- SINUSOIDE

$$\begin{cases} \bar{\varepsilon} = \sqrt{2}\,z\ \mathrm{sen}\,(\omega t + \varphi) \\ \bar{z} = z\,e^{j(\omega t+\varphi)} \end{cases}$$

- FASORE

$$\begin{cases} f = \sqrt{2}\,F\ \mathrm{sen}\,(\omega t + \varphi) \\ \bar{F} = F e^{j\varphi} \end{cases}$$

- EQUAZIONI TOPOLOGICHE:

LKC ed LKT

- EQUAZIONI COSTITUTIVE:

1) $\boxed{\bar{V} = R\bar{I}}$ RESISTORE NB. $\varphi_V = \varphi_I$

$Ve^{j\varphi_V} = R I e^{j\varphi_I}$

2) CONDENSATORE

$\bar{I} = Ie^{j\varphi_I}$; $\bar{V} = Ve^{j\varphi_V}$ $I = X_C V$ MODULO DI I

$\boxed{\bar{I} = j\omega C\bar{V}}$ con $\boxed{X_C = -\frac{1}{\omega C}}$ REATTANZA CAPACITIVA $z_C = -j\frac{1}{\omega C}$

$\boxed{\bar{V} = -\frac{j}{\omega C}\bar{I}}$ $\varphi_I = \varphi_V + \pi/2$

$\bar{V} = -\frac{j}{\omega C}\bar{I}$

3) INDUTTORE:

$\boxed{\bar{V} = j\omega L\bar{I}}$ con $\boxed{X_L = \omega L}$ REATTANZA INDUTTIVA

$V = \omega L I$ modulo di V $\varphi_V = \varphi_I + \pi/2$

NB $\boxed{T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}}$; $\boxed{\omega = 2\pi f}$

4) IMPEDENZA: $\bar{Z}$

$\boxed{\bar{V} = \bar{Z}\bar{I}}$ OHM

- RESISTORE $\boxed{\bar{Z} = R}$ resistenza
- CONDENSATORE $\boxed{\bar{Z}_C = -\frac{j}{\omega C} = -jX_C}$ reattanza
- INDUTTORE $\boxed{\bar{Z}_L = j\omega L = jX_L}$ reattanza

L'impedenza $\bar{Z}$ è CAPACITIVA se $X<0$ (REATTANZA), INDUTTIVA se $X>0$ $\Big\}$ $Z = R \pm jX$

Le IMPEDENZE possono trovarsi connesse in SERIE e/o PARALLELO

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 85 di 158

5) SISTEMI 3F

Le f.e.m. sono sfasate tra loro di $\vartheta = 2\pi/N = \frac{2\pi}{3} = 120°$ N = n° generatori

3F PURO => $\bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \bar{E}_3 = 0$

3F SIMMETRICO => $E_1 = E_2 = E_3$ sfasate di $\frac{2\pi}{3}$

TENSIONI DI FASE E_1, E_2, E_3

TENSIONI CONCATENATE V_{12}, V_{23}, V_{31} con $\begin{cases} \bar{V}_{12} = \bar{E}_1 - \bar{E}_2 \\ \bar{V}_{23} = \bar{E}_2 - \bar{E}_3 \\ \bar{V}_{31} = \bar{E}_3 - \bar{E}_1 \end{cases}$ quindi $V_{12} = V_{23} = V_{31} = V$ in modulo

$V_{12} + V_{23} + V_{31} = 0$

NB $\boxed{V = \sqrt{3}\, E}$

$\boxed{I_K = \frac{E_K}{\dot{Z}}}$ corrente su impedenza generica

CARICO EQUILIBRATO $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3$ $I_K = I$ $\forall K$, le I hanno gli stessi moduli.

CORRENTI DI FASE I_F

CORRENTI DI LINEA I_1, I_2, I_3

$\begin{cases} I_1 = I_{F1} - I_{F3} \\ I_2 = I_{F2} - I_{F1} \\ I_3 = I_{F3} - I_{F2} \end{cases}$

Se il circuito equilibrato

$\boxed{I_{F1} = I_{F2} = I_{F3} = I}$ in modulo

NB $\boxed{I_N = \sqrt{3}\, I_F}$

- POTENZE:

Considerando un carico equilibrato simmetrico

$\left[\begin{matrix} P = 3EI\cos\varphi \\ Q = 3EI\sin\varphi \\ |S| = 3EI \end{matrix}\right\}$ poiché $V = \sqrt{3}E$ $\left\{\begin{matrix} P = \sqrt{3}\, VI\cos\varphi \\ Q = \sqrt{3}\, VI\sin\varphi \\ S = \sqrt{3}\, VI \end{matrix}\right]$

OPPURE PER COMPONENTI:

$P_R = RI^2 \cdot n°comp =$

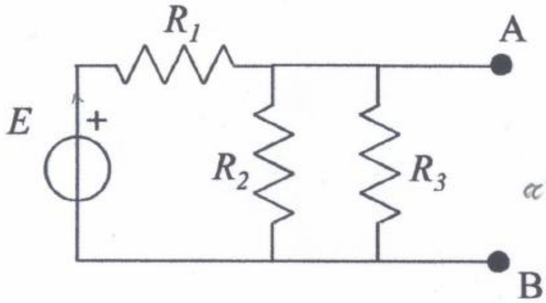
$Q_{cc} = XI^2 \cdot n°comp =$

CARICO STELLA e TRIANGOLO

$\dot{Z}_Y = \frac{\dot{Z}_\Delta}{3}$ $\dot{Z}_\Delta = 3\dot{Z}_Y$

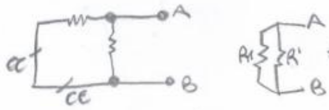
$I_m = \sqrt{3}\, I_\Delta$ 1 componente

√ 3) Calcolare l'equivalente di Thévenin del seguente circuito.
Dati: E = 10 V, R_1 = 2 ohm, R_2 = 6 ohm, R_3 = 3 ohm



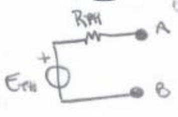
$R' = \frac{3 \cdot 6}{9} = 2\Omega$

R' e R_1 // dopo => $R_{eq} = \frac{R_1}{2} = 1\Omega$ OK



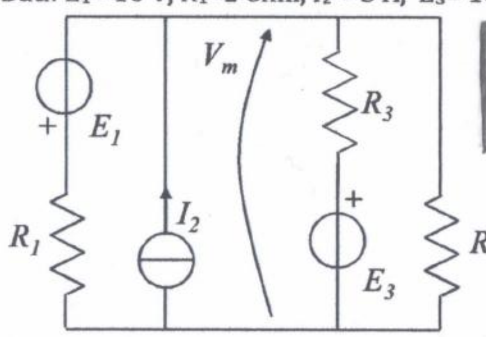
E_{th}: essendo tutto in // V = RI

$E_{th} = \frac{E \cdot R'}{R_1 + R'} = \frac{10 \cdot 2}{4} = 5$ Volt R' e R_1 // stessa V



[Ris: R_{eq} = 1 ohm, E_{eq} = 5 V]

4) determinare la tensione VAB mediante il teorema di Millman
Dati: E_1= 10 V, R_1=2 ohm, I_2 = 3 A, E_3= 18 V, R_3 = 9 ohm, R_4 = 5 ohm



$$\left[V_{AB} = \frac{-\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_3}{R_3} + I_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{-5+2+3}{\Sigma \frac{1}{R}} = 0 \right]$$

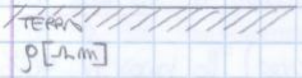
[Ris: Vm= 0 V]

• 16° LEZIONE: 28/11/2014

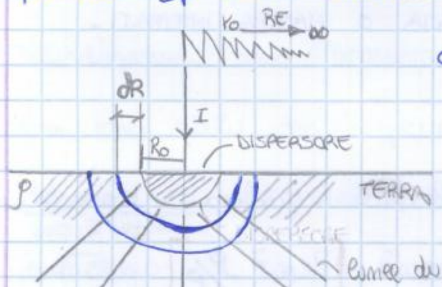
- IMPIANTI DI MESSA A TERRA:

Un buon conduttore ha bassa RESISTIVITÀ o alta CONDUTTIVITÀ. Il Terreno non è un buon conduttore, ha una resistività mediocre ($\Omega \cdot m$), non è né un conduttore né un isolante, per gli elettrici è un cond. mediocre.

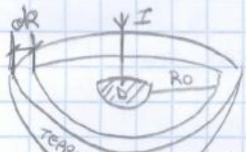
TERRENO VEGETALE = decine $\Omega \cdot m$
TERRENO SABBIOSO = centinaia Ωm
TERRENO ROCCIOSO = migliaia Ωm
} RESISTIVITÀ

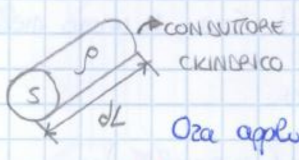


Essendo il Terreno non omogeneo e/o continuo non ha una propria resistività, ad es: falda acquifera, animali, rocce. Quindi il Terreno è ETEROGENEO. Ipotizzo ρ = cost (resistività), quindi Terreno omogeneo, inserisco un disperesore semisferico nella Terra di raggio R_0.



La dispersione di I è caratterizzata dalla Resistenza di Terra, cioè la difficoltà che incontra I — linee di dispersione nel Terreno. Per trovare R_T divido il Terreno in 'n' strati semisferici dR come una cipolla. In questo modo la I trova tante dR strato con R_n propria posti in SERIE quindi $R_T = \sum_{i=1}^{m} R_n$.





$$\left[dR_c = \frac{\rho\, dL}{S}\right]$$ resistenza di un cilindro conduttore

Ora applico lo stesso principio al guscio di Terra con raggio dR e resist. ρ

$dR_N \Rightarrow \left[dR_N = \frac{\rho\, dr}{2\pi r^2}\right]$ — dL del guscio; $2\pi r^2$: Area semisfera $\frac{4}{2}\pi R^2$ — contributo di ogni strato di Terra, e tale resistenza decresce con l'aumentare del r dello strato stesso.

Quindi ad una certa dist dal dispersore la R_N del i-esimo strato è ininfluente.

$$R_E = \int_{r_0}^{\infty} dR_N = \int_{r_0}^{\infty} \frac{\rho\, dr}{2\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi}\int_{r_0}^{\infty}\frac{dr}{r^2} = \frac{\rho}{2\pi}\left(-\frac{1}{r}\right)\Bigg|_{r_0}^{\infty} = \frac{\rho}{2\pi r_0} \Rightarrow \left[R_E = \frac{\rho}{2\pi r_0}\right]$$ RESIST TERRA

(E: EARTH = TERRA)

A MEMORIA

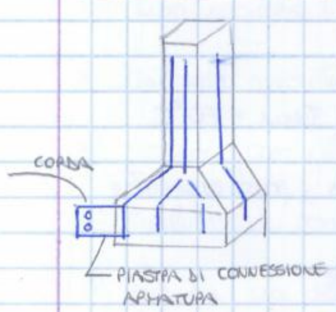
Il materiale del dispersore non influisce su RE, ma le dimensioni sono normate perché il componente deve resistere un tot di anni, definisco una sezione minima per controllare la corrosione. La lung. invece influisce sulla RE e devo dimensionarla. I dispersori sono fatti di RAME (autopassivizzante), ACCIAIO ZINCATO o RAMATO, per gli anelli o le maglie ci sono corde di rame o piatti in acciaio.

I dispersori orizzontali sono interrati tra 0,5 e 1 m, tipicamente 0,8 m, evito che ρ_B sia influenzata dal clima.

Un altro fenomeno è la corrosione elettrolitica, si ha quando avvicino 2 metalli RAME e ACCIAIO, ho Δpotenziale e il circuito è chiuso dal terreno bagnato, l'ANODO si corrode in poco tempo, quindi va interposto un altro materiale es OTTONE.

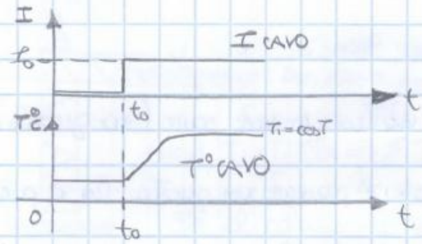
Tali dispersori sono INTENZIONALI, progettati per quello; ne esistono altri che non sono stati dei dispersori ma sono comodi anche per quello si dicono dispersori DI FATTO es: pozzo con camicia di ferro = picchetto gigante; fondazioni in CA dove l'armatura è un perfetto conduttore protetto dal cemento, tale armatura è raccomandata dalla norma come Terra di fondazione per edifici nuovi.

TERRA DI FONDAZIONE = ibrido tra intenzionale e di fatto, uso i plinti dei pilastri in CA faccio saldare una piastra sporgente in acciaio zincato alle armature, poi collego tutte le piastre con delle corde di dispersore anche esse a formare un circuito chiuso.



I vantaggi sono COSTO ECONOMICO, BASSA RE, può essere usato contro i fulmini.
→ SCARICA MOLTA CORRENTE.

L'impianto di terra serve a disperdere la corrente, quindi dovrà essere accessibile alle connessioni per ~~la~~ gli apparecchi, gli accessi sono molteplici.



INIZIO => $T° = cost$ $I = 0$
t_0 => $T° \nearrow$ e $I_0 \neq 0$

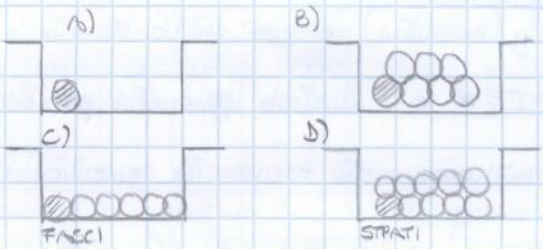
Ad un certo punto il Q scambiato è compensato da Q ceduto dal cavo all'ambiente, in funzione del ΔT tra cavo e ambiente, se ΔT piccolo $Q_{CEDUTO} \cong$ poco, dopo man mano che T_{CAVO} ALTA esso cede Q all'ambiente mantenendo $T = cost. (T_i)$.

In sintesi $\left[\begin{array}{ccc} \text{EFF. JOULE } (Q) & \rightarrow \text{CAVO} & \rightarrow Q \text{ CEDUTO} \\ \text{COSTANTE FLUSSO} & \text{ACCUMULA e POI CEDE} & \text{AUMENTA CON } \Delta T \text{ CAVO-AMBIENTE} \end{array}\right]$ $\left\{\begin{array}{l} \text{Quando } \Delta T \text{ sufficiente } T_{CAVO} = cost \\ \text{e } Q_{JOULE} = Q_{CEDUTO}. \end{array}\right.$

Quando la T° esterna influisce sul cavo, devo valutare il fluido circostante ed il suo coeff. di scambio termico (es: interrato, subacqueo, in aria) quindi uno stesso cavo ha portata differente a seconda della MODALITÀ e ~~[illegible]~~ LUOGO DI POSA.

[Conduttore elettrico + modalità di posa = CONDUTTURA]
ISOLANTE, CANALINA

- ES. CANALINA



Nel caso B il conduttore in è scaldato di più perché ci sono n cond. vicini caldi
La T° è influenzata anche dalla presenza di STRATI O FASCI nella conduttura.

La PORTATA è influenzata da: (va calcolata con formule)

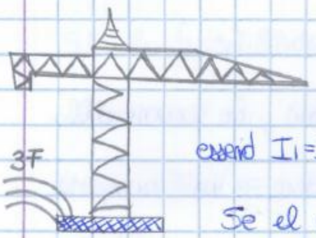
1) Tipo isolante (PVC, EPR...)
2) Materiale conduttore (Cu, Fe+C)
3) Sezione conduttore
4) Modalità di posa
5) Presenza altri circuiti
6) Conduttore in strato o fascio
7) Temperatura ambiente.

Il venditore usa delle tab. per definire la portata di un cavo.

$[I_Z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2]$
PORTATA CAVO

con I_0 = dip. da SEZIONE ~~[illegible]~~, materiale cond, isolante, n° circuiti, modalità di posa.

K_1 = Temp. ambiente
K_2 = presenza di strato e/o fascio.



Con l'uso di un amperometro devo misurare la I su di un solo cavo, vedo 18 A.

essendo $I_1 = I_2 = I_3 \Rightarrow \sum I_n = 0$ cioè i 18 A sono per ognuna delle fasi.

Se il calcolo lo voglio fare su di una porta lampada con lampada da 15 W.

$$\begin{cases} P = 15W \\ \cos\varphi = 1 \\ V_b = 230V \end{cases} \quad P = V_b I \cos\varphi \Rightarrow I = \frac{15}{230} = 0{,}065\,A = 65\,mA$$

ecco perché il cavo è sottile, la I è bassa non surriscalda molto.

- 17 LEZIONE: 2/12/2014

- Sovra-corrente da cortocircuito.

Se by-passo vicino al generatore l'impedenza predominante è quella del generatore stesso, allontanandosi si valuta solo la resist. del conduttore perché il generatore è ininfluente. Es: lavoro in galleria con generatore all'esterno la corrente all'estremità interna dovuta a cortocircuito è bassa.

Di solito la I_{cc} è alta 1.000 A mentre quella di sovraccarico è tipo 10 · Inominale (del carico). La diff. è che il sovraccarico è di una rete sana, mentre I_{cc} è dovuta ad un guasto.

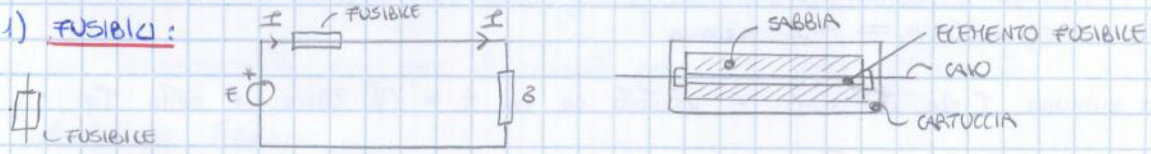
- PROTEZIONE DA SOVRACCORENTE: (sovraccarico e/o cortocircuito)

Si usano dei dispositivi che valutano la I e ne interrompono il flusso, in caso di CC serve intervenire in qualche millisecondo quindi PROTEZIONI AUTOMATICHE (a max corrente), tali dispositivi sono di 2 tipi.

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE CONTRO SOVRAC. → FUSIBILI ①, INT. MAGNETOTERMICI ②

Sono detti a massima corrente.

1) FUSIBILI:



Sono collegati in serie alla rete con chi viene attraversato dalla stessa I del carico.