

1. RICHIAMI DI ELETTROTECNICA	24
7. MISURE ELETTRICHE	28
8. CIRCUITI MAGNETICI	30
9. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL TRASFORMATORE	34
10. TRASFORMATORE	38
11. RAPPORTO SPIRE	42
12. CORRENTE DI MAGNETIZZAZIONE	44
13. CORRENTI PARASSITE	46
15. TRASF. RESE	48
16. RENDIMENTO DEL TRASFORMATORE	50
18. TRASFORMATORE TRIFASE	52
21. DATI DI TARGA / PROVA A VUOTO	54
23. PROVA DI CORTOCIRCUITO	56
26. PARALLELO DI TRASFORMATORI	58
31. AUTOTRASFORMATORE / CAMPO MAGNETICO ROTANTE / MACCHINE	60
32. MACCHINA SINCRONA - ROTORE	62
33. SCORRIMENTO / TRASDUTTORE	64
34. CAMPO PULSANTE	66
35. AVVOLGIMENTI TRIFASE	68
36. RAPP. CIRCUITALE MOTORE ASINCRONO	70
39. RENDIMENTO MOTORE ASINCRONO	72
40. PROVA A VUOTO	74
41. PROVA A ROTORE BLOCCATO / CARATTERIST. DI COPPIA DELLA MACCHINA	76
43. AVVIAMENTO MACCHINA	78
46. MACCHINE IN CONTINUO E GENERATORI SINCRONI	80
51. INSERIMENTO GENERATORI SINCRONI IN RETE	82
52. INTRODUZIONE ALLI IMPIANTI	84

53. IEC / CENELEC / CEI [impianti]
54. NORMATIVE / TENSIONE NOMINALE / SISTEMI - IMPIANTO ELETTRICO
55. SCHEMI IMPIANTO ELETTRICO
56. DIMENSIONAMENTO DI UNA LINEA IN BT
57. COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE - CONTEMPORANEITA'
58. USO UNIPOLARE / TRIPOLARE
61. PERICOLOSITA' DELLA CORRENTE ELETTRICA
62. MESSA A TERRA
63. SISTEMI TT / INTERRUZIONE DIFFERENZIALE
64. SISTEMA TN-C
65. SISTEMI TN-S / IT
66. INTERRUZIONE / ATTUATORE / RELE'
67. RELE TERMICO
68. RELE MAGNETICO / INTERRUZIONE MAGNETOTERMICO / CURVE DI (N) S
69. POTERE D'INTERUZIONE / FUSIBILE / SELETTIVITA' CROMOMETRICA SUPEROMETRICA
70. SCELTA INTERRUZIONE IN BASE A CARICO E USO / CORRENTE MINIMA DI CORTOCIRCUITO
71. COORDINAMENTO DI PROTEZIONI / IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE
72. RIFASAMENTO
73. RIFASAMENTO CENTRALIZATO / DISTRIBUITO / RISTO / PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA (ITALIA) - IMPIANTI IDROELETTRICI
74. IMPIANTI TERMoeLETTRICI / CONSIDERAZIONI

Corso: macchine elettriche - esercizio a metà gennaio ^(in prima) → all'idee parti solo
 gli impianti elettrici, Stanza n. 3 - disp. ing. mecc.

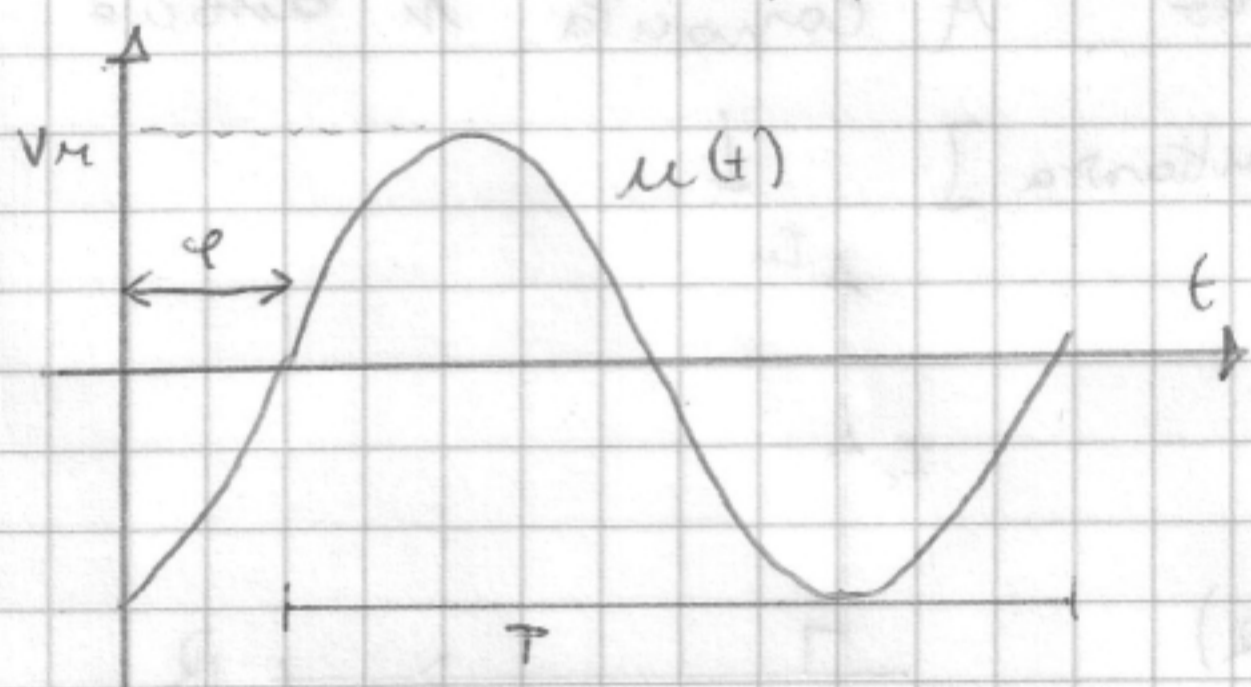
H

Richiami di elettrotecnica

- Elementi di generazione: $\vec{U} \uparrow \phi$: gen. di tensione monofase;

$\phi \vec{I}$: gen di corrente ^{velocità} solo regime sinusoidale

- El. passivi: R, L, C . Nessuno è mai puro (ex. R e anche L)



$$u(t) = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = 2\pi f; \quad f = \frac{1}{T} = [f] \text{ Hz}$$

$$\omega [\text{rad/s}]$$

φ è angolo di sfasamento

Usiamo per semplicità i valori poiché in RPS ω è costante;

Ci serve V_m e φ . Anziché IR si considera origine

angoli. Si definisce il VALORE EFFICACE della

grandezza:

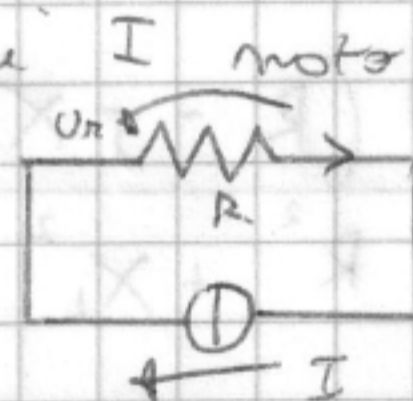
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad \text{per le}$$

grandezze sinusoidali $U = V_m / \sqrt{2}$

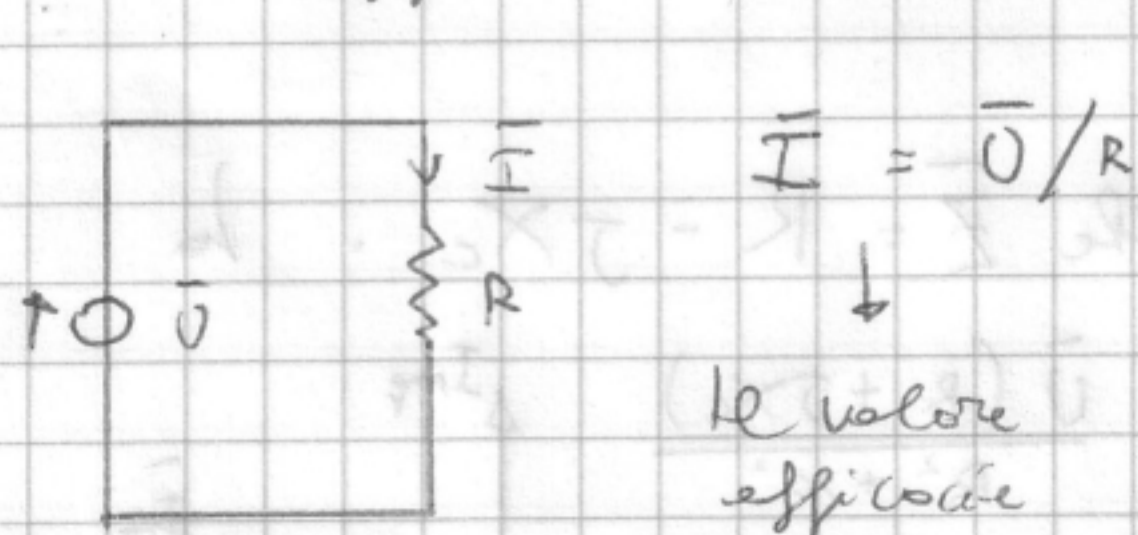
Supponiamo di avere resistenza R con ai capi gen. su I noto

$P_R = I \cdot U_R$ dove $U_R = R \cdot I$ quindi

$P_R = R I^2$; I può essere costante.

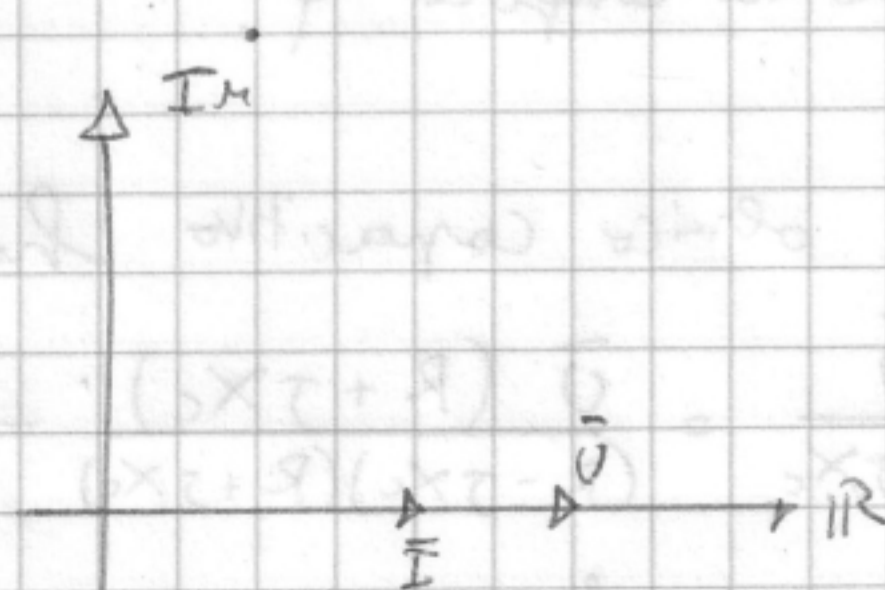


Valore efficace è valore I sinusoidale che produce stessa potenza di I costante



$$\vec{I} = \vec{U} / R$$

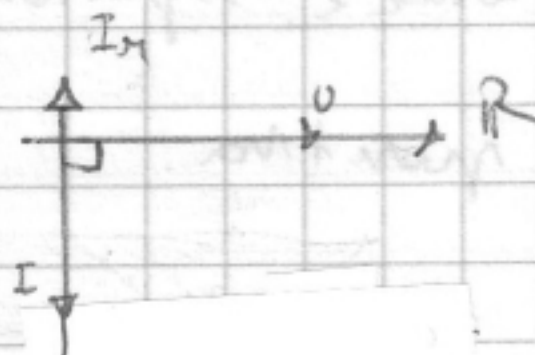
Il valore efficace



→ R non produce Momenti

la fase di \vec{I} è in R

Se abbiamo impedenza pura ho



A impedenza

L'induttanza reattanza $X_L = \omega \cdot L$ che dipende non solo dalle caratteristiche fisiche ma anche del generatore. I_L (effettiva) = $\frac{U}{X_L}$

↙ : angoli positivi in ritardo (molto a IR)

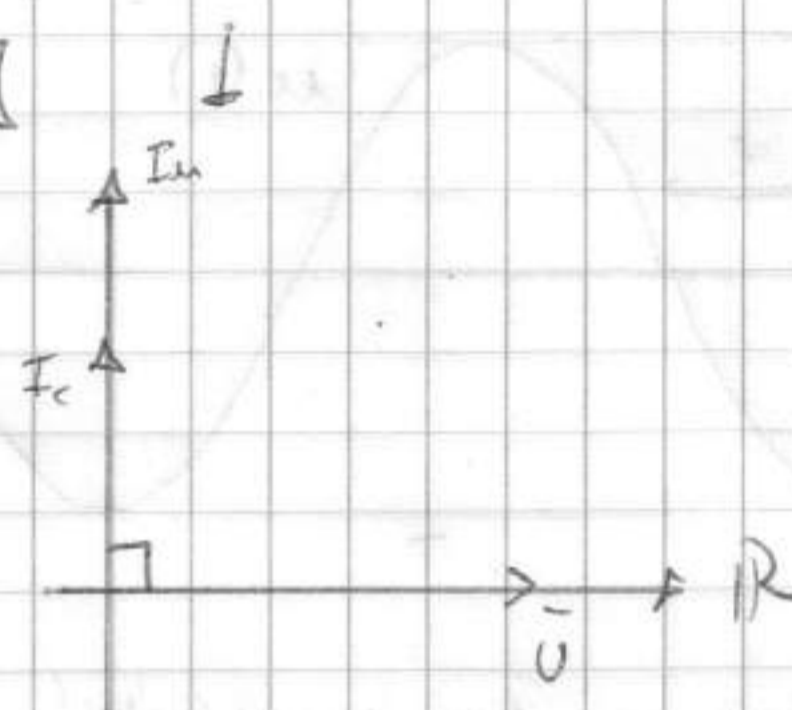
↗ : angoli positivi in anticipo (molto a IR)

Verbo di rotazione di U è ↗, quindi in L c'è prima $U \Rightarrow$ corrente è in ritardo rispetto a tensione.

Per elemento capacitivo accade il contrario. A capacità si associa $X_C = \frac{1}{\omega C}$ [effetto opposto induttanza]

$I_C = \frac{U}{X_C}$ Marcato di 90° in anticipo

(angolo φ è compreso tra 0 e 90 se R)

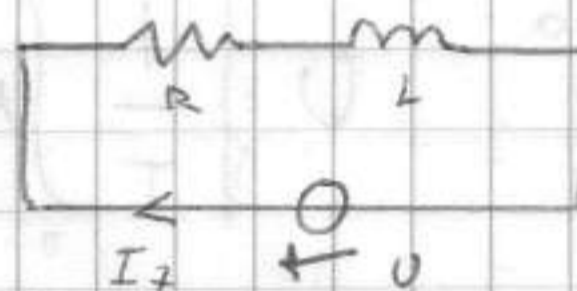


Elementi collegabili in Σ e \parallel . Se ad ex. ho

Z e impedenza (ohm) esprimibile con un

termine reale (R) e parte immaginaria (X_L). $\rightarrow Z = R + jX_L$

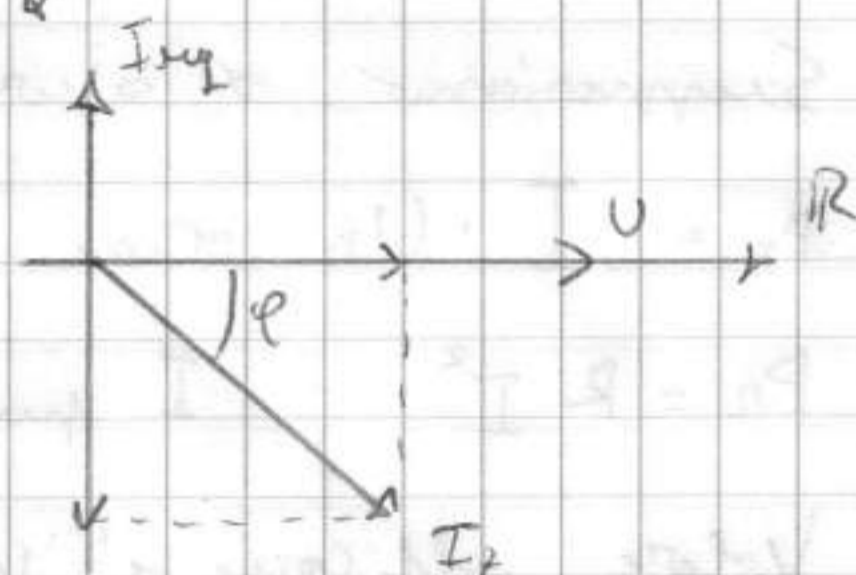
C'è "+" se ho X_L , altrimenti ho "-".



$$I_Z = \frac{\bar{U}}{Z} = \bar{U} \frac{(R - jX_L)}{(R + jX_L)(R - jX_L)}$$

$$= \frac{\bar{U} (R - jX_L)}{R^2 + X_L^2}$$

Rappresentando I_Z ho parte R positiva e parte $Imag$ negativa.



Corrente associata ad un carico ohmico induttivo

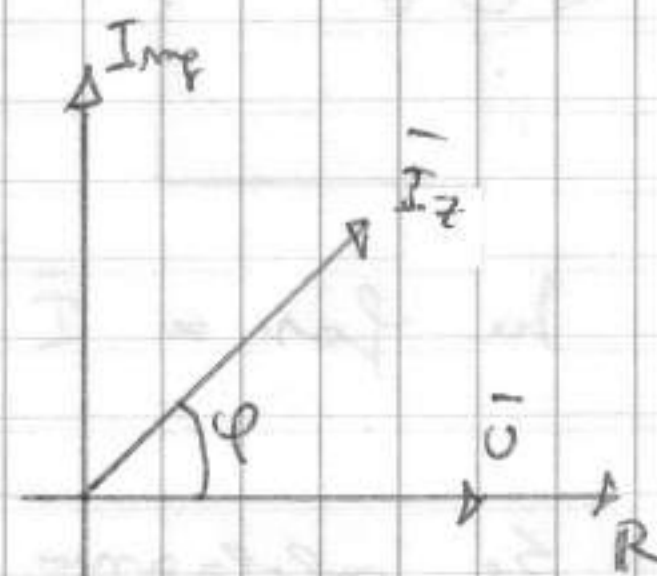
è marcata in ritardo su angolo φ .

Se invece ho carico ohmico capacitivo ho che $\bar{Z} = R - jX_C$. In

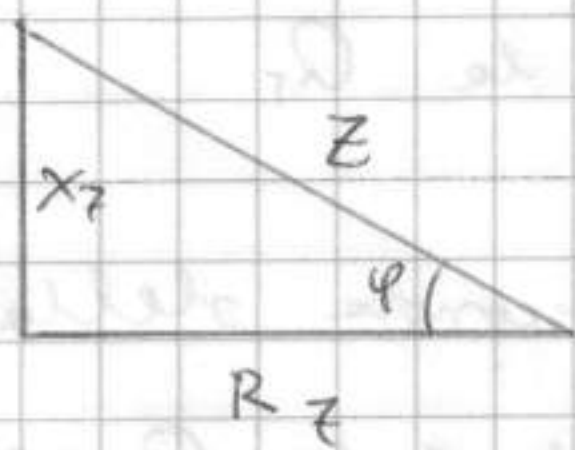
$$\bar{I}_Z = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} = \frac{\bar{U}}{R - jX_C} = \frac{\bar{U} (R + jX_C)}{(R - jX_C)(R + jX_C)} \rightarrow \frac{\bar{U} (R + jX_C)}{R^2 + X_C^2}$$

Quindi la corrente è marcata in anticipo risp. a U .

Parte R e $Imag$ positiva.



Varie elementi Z formano le TRIANGOLO delle IMPEDENZE come




$$\tan \varphi = \frac{X_z}{R_z}$$

$$\begin{cases} R_z = Z \cos \varphi \\ X_z = Z \sin \varphi \end{cases}$$

$$|Z| = \sqrt{R_z^2 + X_z^2}$$

Si rappresentano con circuiti equivalenti i motori e impianti elettrici, tramite collegamenti in serie o in //.

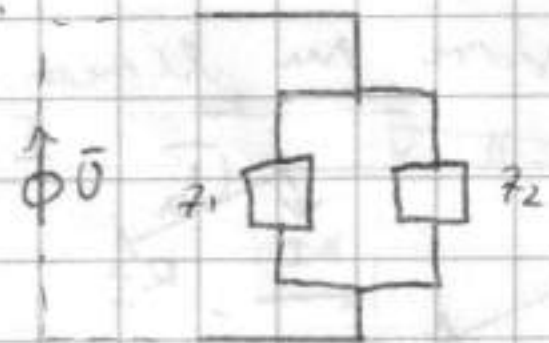
Es:  (Z sono "rettangoli" nei quali c'è l'oggetto/i

relativi al valore di Z).

- Due elementi sono in Σ se portano sulla stessa corrente. L'impedenza equivalente serie è data dalla somma delle impedenze.

$$\bar{Z}_{eq} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 \quad (\text{somma vettoriale tra complessi}).$$

- Due elementi sono in // se soggetti alla stessa ΔV :



Quindi:

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

Ai ogni elemento si associa potenza. In RPS abbiamo η apparente, attiva e reattiva.

- $A = U \cdot I$ (η apparente): prodotto dei valori efficaci. Non è quella trasformata in potenza meccanica.

- $P = U I \cos \varphi$ (η attiva) \rightarrow questa è quella trasformata

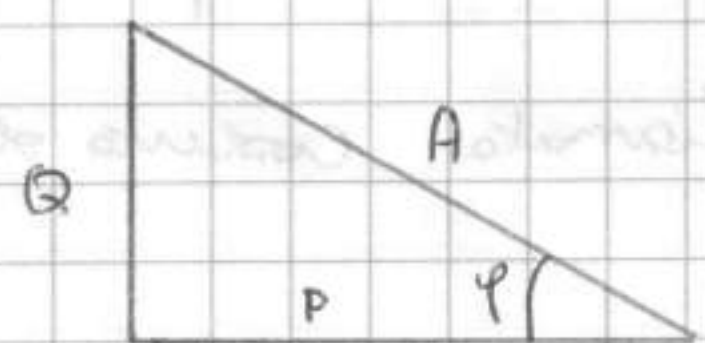
$$P = A \cos \varphi; \quad \cos \varphi = \text{fattore di potenza}$$

- $Q = A \sin \varphi$ (η reattiva) $\rightarrow U I \sin \varphi$



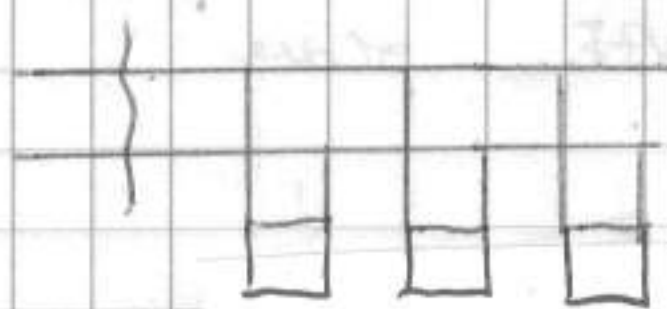
Il triangolo delle POTENZE (come x impedenze)

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$



Th. delle POTENZE: tutte le potenze attive e reattive sono conservate.

La η attiva complessiva è pari alla somma di tutte le P_i . ③



P_T P_1 P_2 P_3
 Q_T Q_1 Q_2 Q_3

ottenere collegare in monopolo. ha P_T attiva

equivalente $P_T = P_1 + P_2 + P_3$ mentre la Q_T
 \hookrightarrow (sempre > 0 e assorbita)

reattive equivalente (> 0 o < 0 a seconda della

reattanza associata; $X_L > 0$, $Q_T > 0$; o $X_C < 0$, $Q_C < 0$)

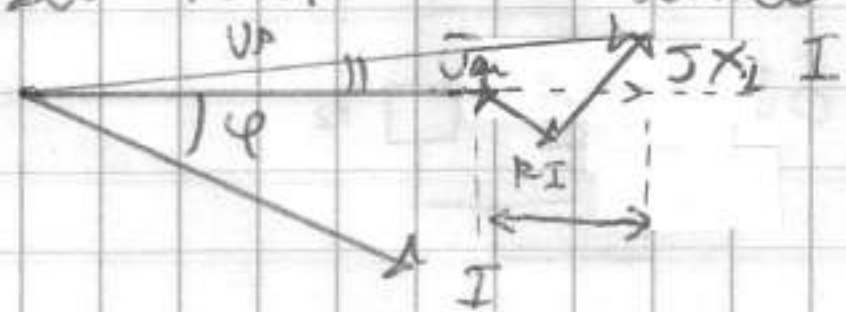
è $Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$. ha $P_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$. È SBAGLIATO fare la
 somma delle potenze apparenti.

Nei circuiti elettrici il cavo è rappresentato da Σ di R e L (relative
 al cavo stesso). Sono alimentate da U_P di
 partenza e una U_A arriva. Chi eroga

corrente deve fornire sempre U_A (c'è margine

di limite) \rightarrow Tolleranza max. del 10%. \Rightarrow delle errore nella costante

di tensione in linea. Vettorialmente (supponiamo cavo semico isolato)



$$\bar{U}_P = \bar{U}_A + \bar{U}_e \leadsto \bar{U}_e = \bar{Z} \cdot \bar{I} = (R + jX_L) \bar{I} \text{ a}$$

U_A sommano RI e $jX_L I$ (non vogliamo R

piccola per evitare perdite x effetto Joule) $\rightarrow RI$ è molto piccolo risp.

a U_A ; $jX_L I$ è parato di 90 risp a I . U_P è somma vettoriale. Si

cerca di non avere problemi, anche trovate approx. Anche R e L non

$P_1(\omega)$ rispetto a U_A e U_P , ϕ è molto piccolo \Rightarrow l'ampiezza di

U_P si può considerare con proiezione su $U_A \Rightarrow$ non abbiamo tangente;

si possono avere reali: $U_P = U_A +$ (segmento ottenuto tra diff. di

proiezioni) $+ RI \cos \phi + X_L I \sin \phi$.

ha USURA di Tensione in una linea

è data da questa relazione:

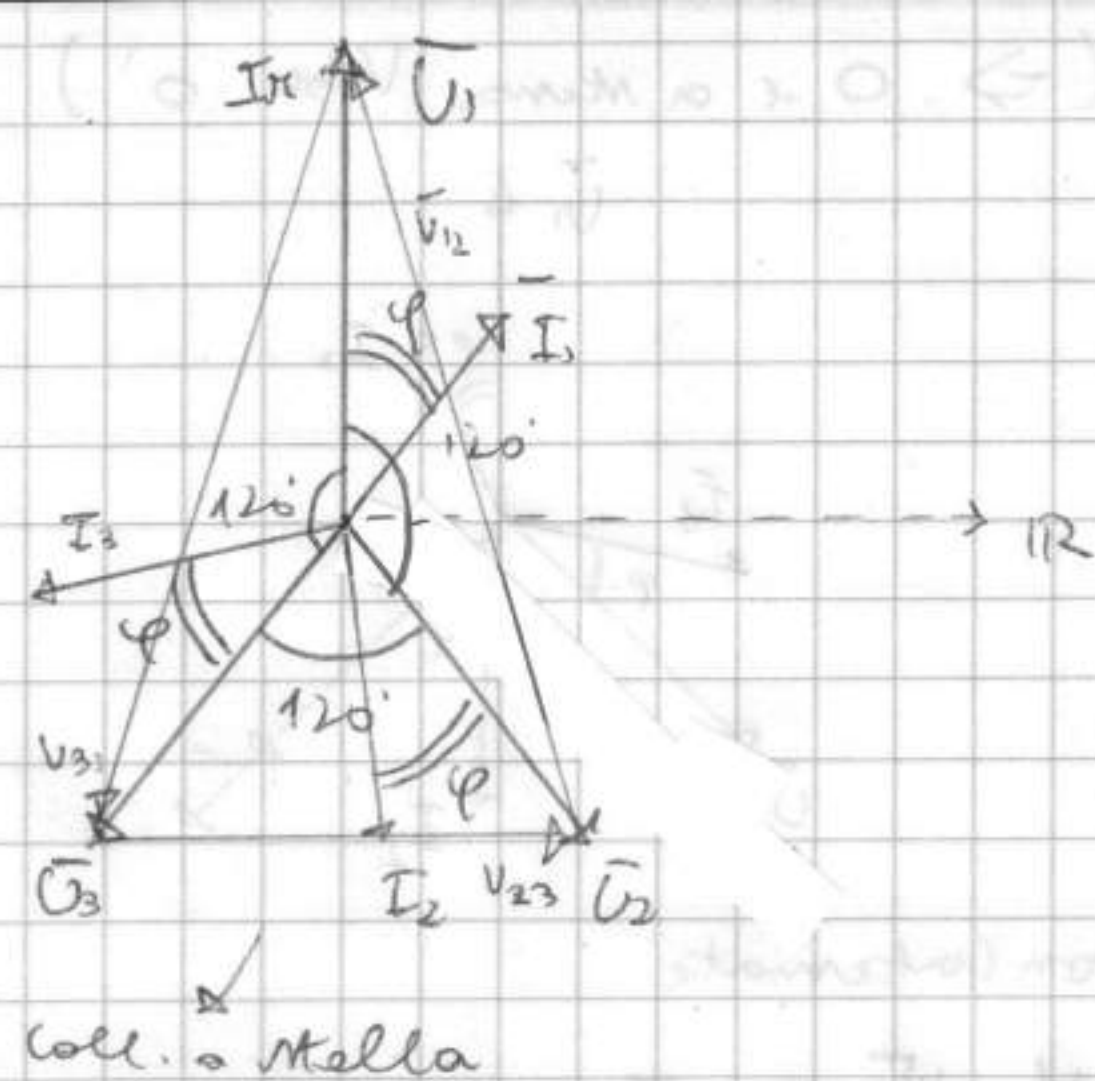
$$\Delta U = U_P - U_A = I(R \cos \phi + X_L \sin \phi)$$

\hookrightarrow Chiamata caduta di tensione industriale.

Normalmente però macchine sono TRIFASE \rightarrow per alimentare grandi

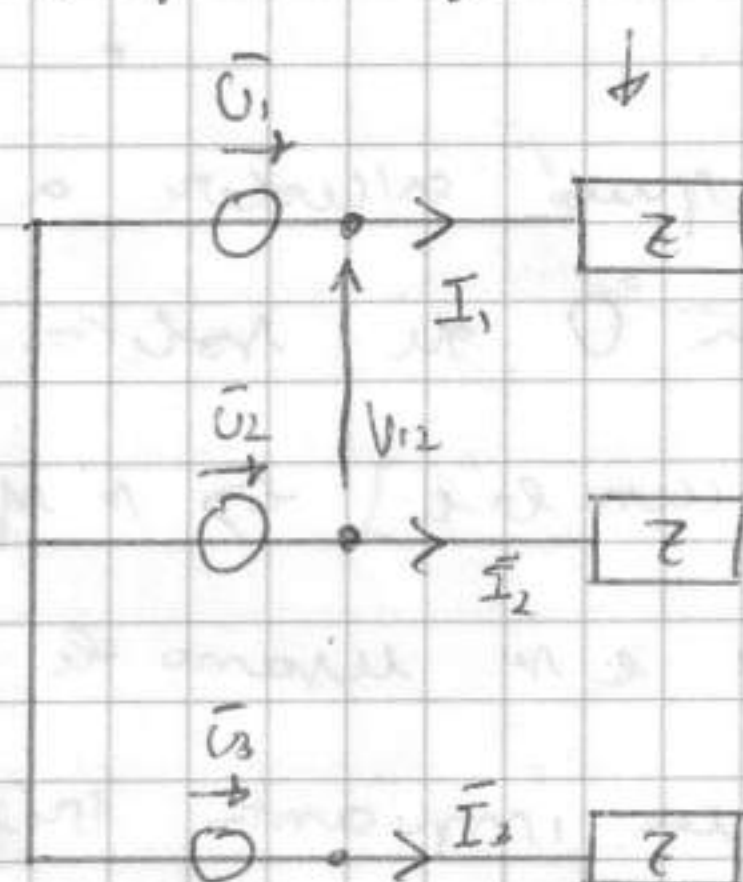
carichi. (3 linee sono parano 3 correnti alimentate da 3 tensioni)

④ gen. di tensione formano terna simmetrica



$$U_1 = U_2 = U_3 \text{ (moduli uguali)}$$

e sfasati di 120°



Per alimentare utenze trifase, in ogni fase c'è stella \neq equivalente:

Carico EQUILIBRATO (corrente ammessa in 3 fasi ha stessa ampiezza: $I_1 = I_2 = I_3$

con angoli di sfasamento associato al carico). $\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$, identico $\times 3$.

Anche 3 correnti formano terna analoga a tensioni.

Carico equilibrato ammette stessa I in 3 fasi con stesso sfasamento.

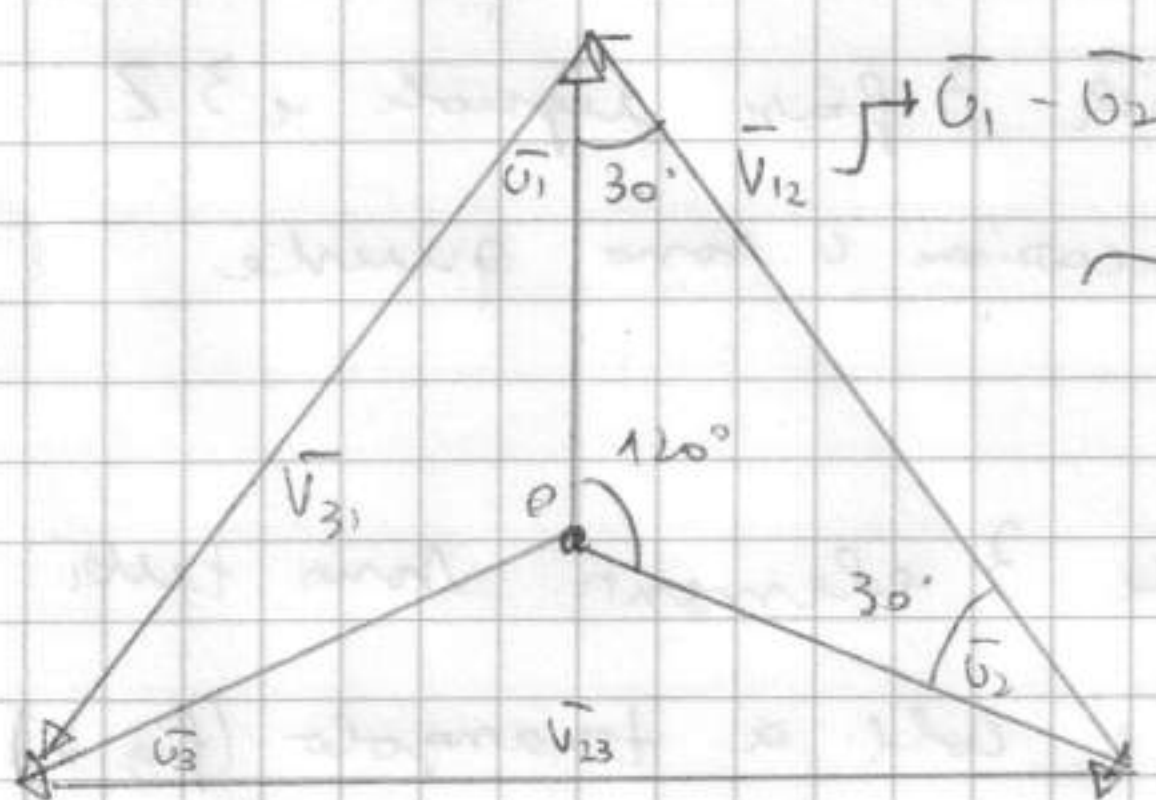
Nei trifase si considerano anche le tensioni concatenate V tra i

morsetti di uscita: V_{12}, V_{23}, V_{31} formano triangolo equilatero \Rightarrow

$$V_{12} = V_{31} = V_{23} = \boxed{\sqrt{3} \cdot U = V}; \quad \leftarrow \text{sono sfasate di } 30^\circ \text{ in anticipo rispetto}$$

alle relative U

7/12/2005

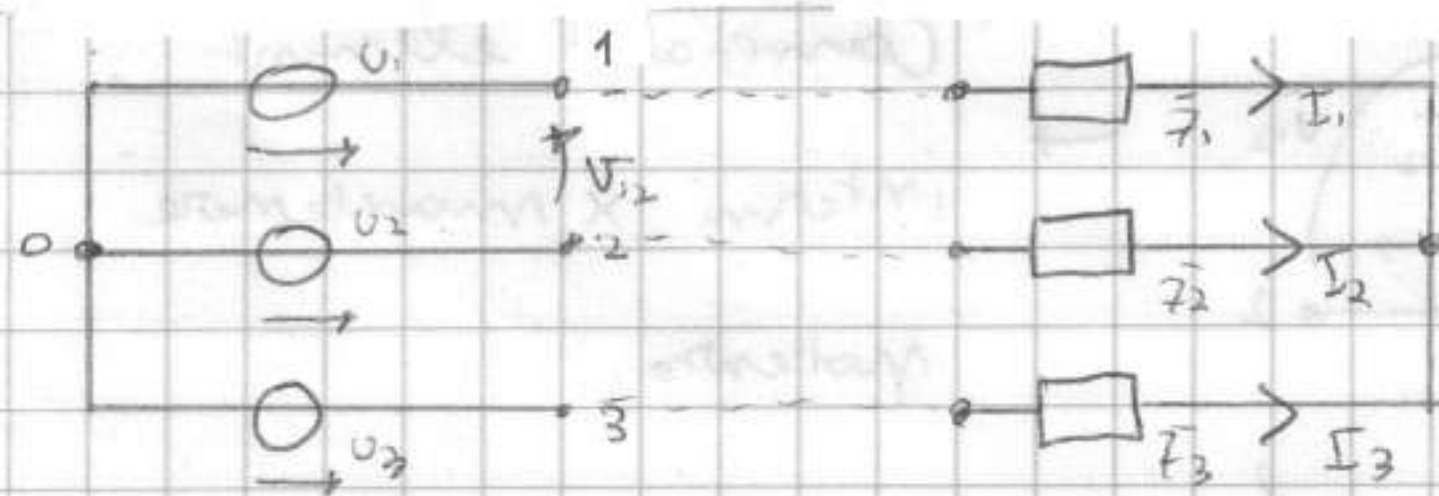
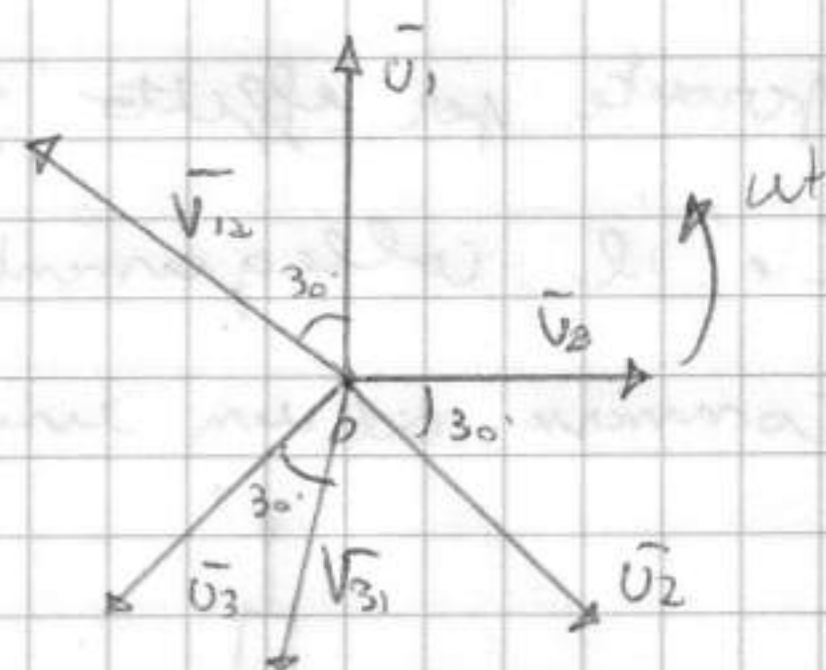


Risparmiando al centro stella

\rightarrow le tensioni concatenate:

$$V = \sqrt{3} U$$

V_{12} è sfasata di 30° in anticipo rispetto a U_1



$$\rightarrow \underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3; \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\underline{Z} = R \pm jX \text{ [uguali in 1 e fase]}$$

Normalmente in m.c. si usano carichi equilibrati (stessa I in

ciascuna fase) \rightarrow uguali in $|I|$ e sfasate di 120° . $I_1 = I_2 = I_3$

In generale $I = U/Z$ in monofase, lo si può pensare come (5)

Composizione di 3 monofasi $\Leftrightarrow \bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \bar{I}_3 \Rightarrow 0$ e a meno V su $0'$

Supponiamo impedenze omiche insuttive:

Singli impianti si può accedere a 3

Cond. di fase e non 0 di solito.

[morale 0 non accettabile] \Rightarrow si spostano

i morali delle fasi e si usano le V concatenate.

Poiché $V = \sqrt{3} U$, per un impianto trifase $V = \sqrt{3} Z \cdot I$ dove Z e I sono relative al carico [si usano valori efficaci].

- la A per un monofase è $A_M = U I$. Ora abbiamo 3 volte (poiché Z e I sono quasi uguali) la V su fase $\times I$ su fase:

$$A = 3 U I = \sqrt{3} V I.$$

- la $P_m = A \cos \varphi$. In trifase $P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3$

$$\text{ma } U_x = U_{x+1}, I_x = I_{x+1}, \varphi_x = \varphi_{x+1} \Rightarrow P = 3 U I \cos \varphi = \sqrt{3} V I \cos \varphi$$

dove φ è angolo tra corrente di fase e la tensione di fase.

$$\text{- la } Q = \sqrt{3} V I \sin \varphi = A \sin \varphi$$

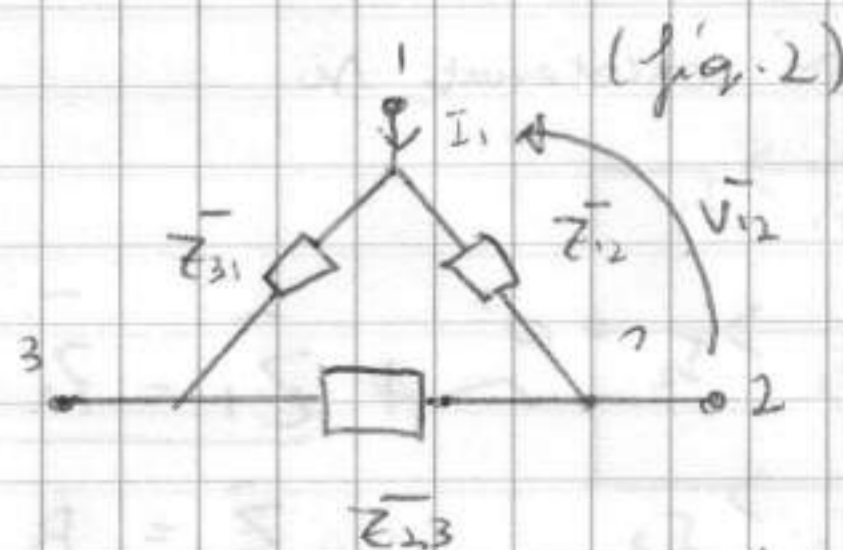
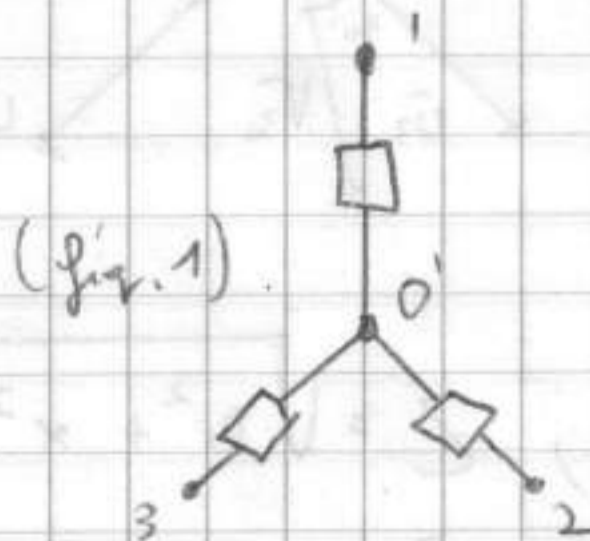
Supponiamo che $Z_1 = Z_2 = Z_3 = R$. Allora la P a ogni fase è $P_R = U_1 I$ ma

U_1 è anche uguale a $R I \Rightarrow P_R = R I^2$. Poiché 3 fasi uguali e 3 Z

uguali, la $P = 3 R I^2$. In tutte le applicazioni ci sono queste

potenze per effetto Joule.

C'è il collegamento a stella (quinto) dove 3 elementi sono tutti connessi ad un unico centro? (fig. 1). Poi c'è coll. a triangolo (fig. 2)



Corriamo elementi interni \times mantenere potenza.

Si ha equivalenza tra stella e tr. quando $Z_{TRIANG} = 3 Z_{STELLA}$

$$\rightarrow Z_\Delta = 3 Z_Y \text{ dove } \bar{Z}_\Delta = \bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{31} \text{ e } \bar{Z}_Y = \bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3$$

⑥ Le erogazioni di potenza non cambiano perché sono in f (V concatenate)

Perché 3 i trifase? Qual è il vantaggio? →

Il trasporto e l'utile uso di energia è + comodo e efficace

Nel monofase $P = UI \cos \varphi$, nel trif. $P = \sqrt{3} V I \cos \varphi$. Considerando

P costante (ex. moto), con lo stesso valore di U nel trif. si è ridotta

la corrente di $1/3 \Rightarrow$ corrente + piccola nei conduttori \Rightarrow n. cavi

fornire uguali in mon. e trif. abbiamo disperso 3 volte in meno la

potenza OPPURE possiamo usare conduttore + piccolo perché $R = \rho \frac{l}{S}$

e quindi stessa perdita di potenza ma con vantaggio economico

nella riduzione della sezione dei cavi (anche per trasporto e installazioni

→ condutt. avvolti in bobine < resistenza meccanica). TRIFASE x

MAZIORE EFFICIENZA e PIU' COSTO.

Per piccole utenze (in edifici civili) si trattano piccole potenze

e quindi si parla di sistemi monofase. Massima I di una

presa è $10 \div 16 A$; (se $V=220V$ e limite $P=3kW$).

MISURE ELETTRICHE

Tramite strumenti che misurano tensione, corrente e potenza.

• Per la V si usa il VOLTMETRO (in DERIVAZIONE)

C'è bobina (si nota 2) percorsi da

due I ricavate da p.t. di innescamento. Effetto interazione 2

bobine da luogo a spostamento indice di misura. Oggi si usano nuovi ex. effetto Hall
tensioni accumibili sono quelle ai moschetti.

• Per la I si usa l'AMPEROMETRO in SERIE rispetto al carico.

Non servono modificare sistema \Rightarrow amperometro

deve avere R molto piccola (ma non così grande)

Il $V.m.$ deve invece assorbire una corrente

piccolissima \Rightarrow resistenza interna molto grande

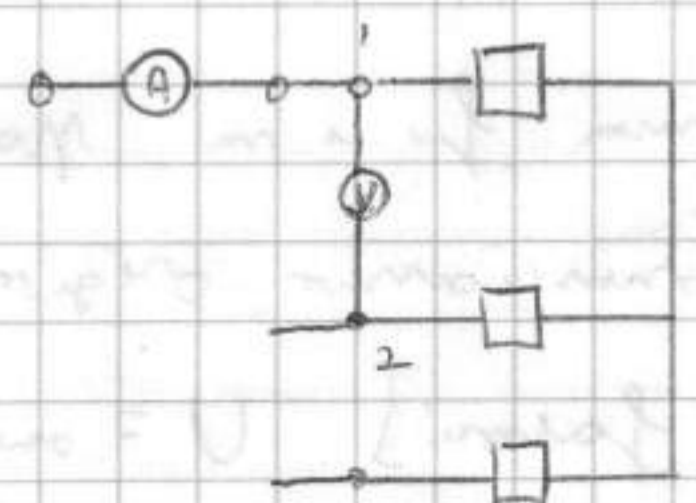
e quindi cond. piccoli.

• Il VOLTMETRO misura la potenza attiva. E la "Sema" di un $\Delta.m.$ e

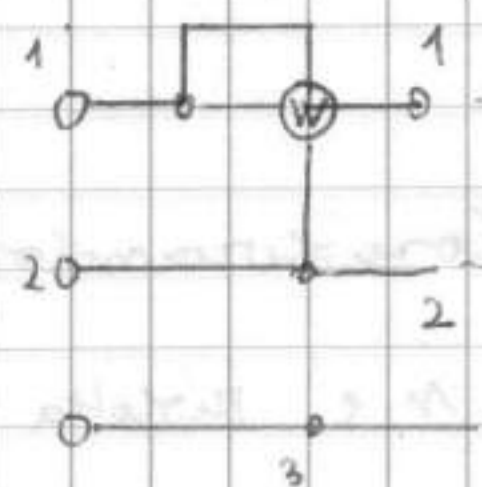
$V.m.$ → ha 4 moschetti, 1 moschetto amperometrico sono in serie al \textcircled{Z}



+ spostamento al
ex. effetto Hall

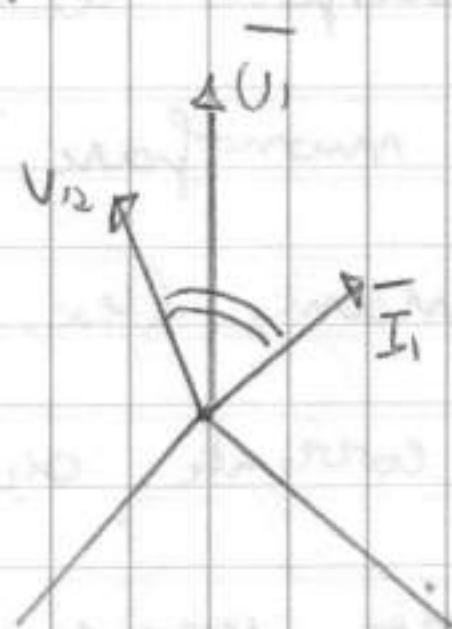


carico, i Voltmetri in // la lettura è prossima a ΔU per $\Delta I \propto \cos \alpha$



Parametri I misurato e V misurato.

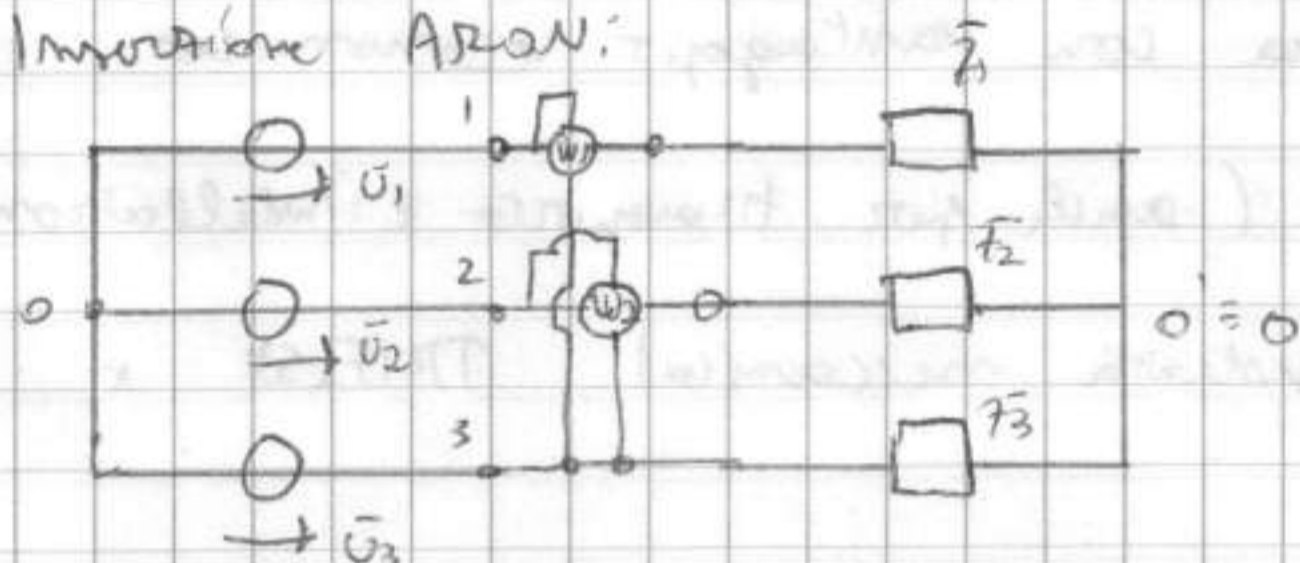
$$W = V_{12} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_{1,12}$$



Si usano istruzioni x misurare

potenza su una fase [E anche il VARIETRO che però produce errori grossolani] → in molte potenze reattiva da altissima.

Impostazione ARON:



Immagina W_1 in prima fase (con bobina amperometrica), W_2 in 2° fase. W_1 misura tensione tra 1 e 3

La P tot. ammessa è somma algebrica

delle due letture: $P = W_1 + W_2$. Può capitare che una sia negativa

in un polo parametro è $> 90^\circ$ [lavoro di I è sfasato di $\varphi > 60^\circ$

rispetto a \bar{U}_x]. La potenza reattiva è $Q = \sqrt{3}(W_1 - W_2)$

↳ ex. carico fortemente induttivo.

H

(CIRCUITI MAGNETICI [SEMPRE in R.p.m. → $I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$])

Bolma (avvolgimento, conduttore di rame fortemente induttivo): effetto

L Una corrente che fluisce in bolma produce

un flusso $\phi = LI$. Si può concatenare

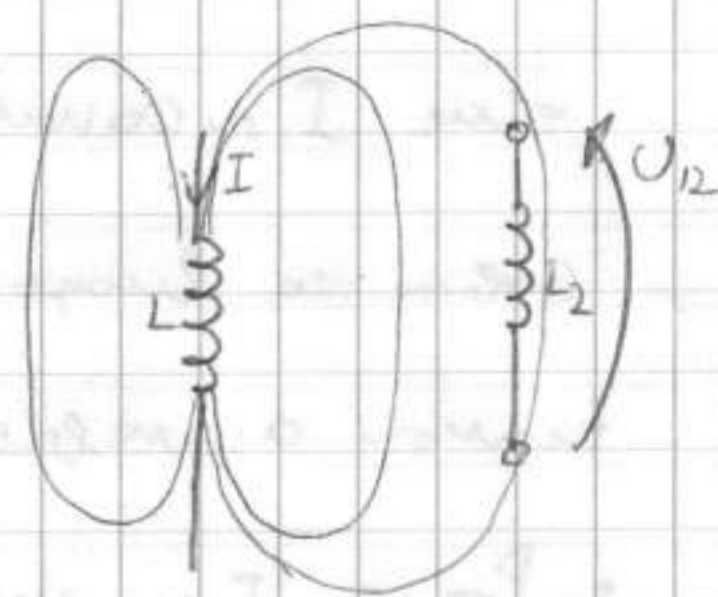
con altri oggetti, ex. in induttanza L_2 [non

forzoso da I] percorso da alcune linee di

flusso del 1°. Sul 2° con un Voltmetro si

misura tensione ai capi → φ nel tempo non costante che produce

una f.e.m. pari all'opposto di $\frac{d\phi}{dt}$. → $u(t) = - \frac{d\phi(t)}{dt}$. Poiché



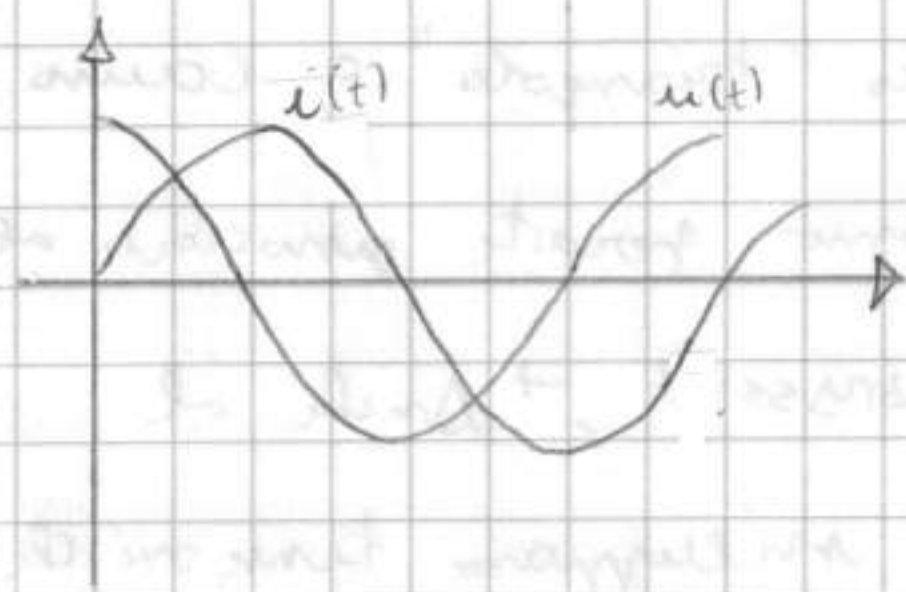
[conosciamo origine problema errore

i fattori]. In cond. ideali tutto il flusso LI interseca L_2 , allora $\phi(t) = \phi$.

Quindi $u(t) = - \frac{d}{dt} L I_m \sin \omega t$ dove $i(t) = I_m \sin \omega t$. Derivando ho

⑧ $u(t) = -L I_m \omega \cos(\omega t)$ $\cos(\omega t) = \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ quindi

$$u(t) = -\omega L I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow u(t) \text{ è sfasato di } \frac{\pi}{2} \text{ rispetto a } I$$



in anticipo. Grandezza sfasata di $\frac{\pi}{2}$ avevano

una J è orientato su IR

In termini di lavoro

$$U = \int W L I_m \text{ dove } I_m = \sqrt{2} I$$

quindi $U = \int W L \sqrt{2} I$. Si è ottenuto in trasferimento energetico da una parte di generazione a carico senza collegamento.

Trasferimento ideale perché una minima parte viene trasferimento; dobbiamo

[PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL TRASFORMATORE]. Ovvero percorsi preferenziali →

si usano dei nuclei ferromagnetici che hanno proprietà magnetiche

molto migliori aria. ϕ magnetico è come I con resistenza: se trovo ferron.

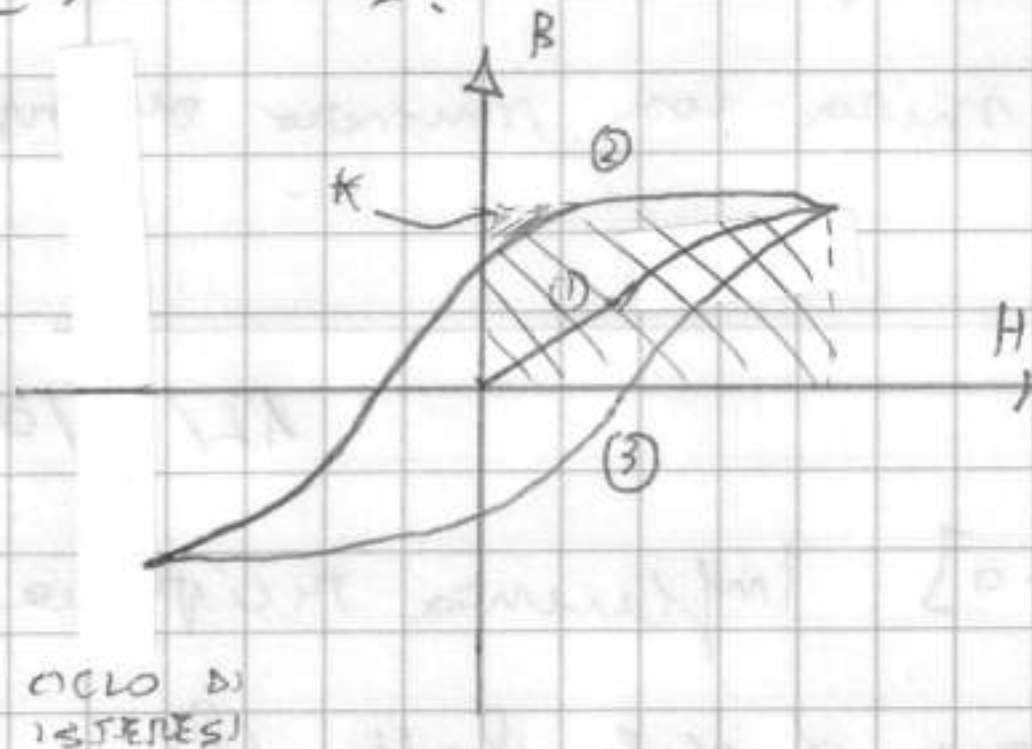
quindi ha RILUTTANZA molto < dell'aria e preferisce passare per lui.

$$R = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S} \quad (\text{simile a resistenza})$$

↳ permeabilità magnetica: quello del ferromagnete è fino a 1000 volte > aria

Proprietà materiale magnetici non sono ideali, hanno effetti di saturazione

[μ varia]. Materiale magnetico ha curva di magnetizzazione:



CICLO DI
ISTERESI

H : effetto provocato da effetto forza magnetica; H è NI

B : induzione. $B \cdot S = \phi$ dove S è la sezione

B e H sono legate da permeabilità magnetica.

$H = B/\mu$. μ è costante o lavora in condizioni

"normali"; quando passa il ϕ genera flusso. All'inizio μ è costante

diminuisce H e diminuisce ϕ ; materiale poi SATURATO e flusso esce dal materiale

e μ cambia e - al di sopra di H utile → a saturazione. ⇒ pure

aumentando H , B rimane costante, flusso va nell'aria. Se diminuiamo

la corrente il percorso è diverso. Avvolgimenti e percorso da I che

è t - a $f = 50 \text{ Hz}$ → anche B varia percorrendo quel ciclo.

↳ Perché si usano transf. negli impianti

SICUREZZA: se aumenta I materiale saturo e linea flusso aggrovigliata

avvolgimenti [ex. cor. di guanti, cortocircuiti]. Non enormi coll. elettrico

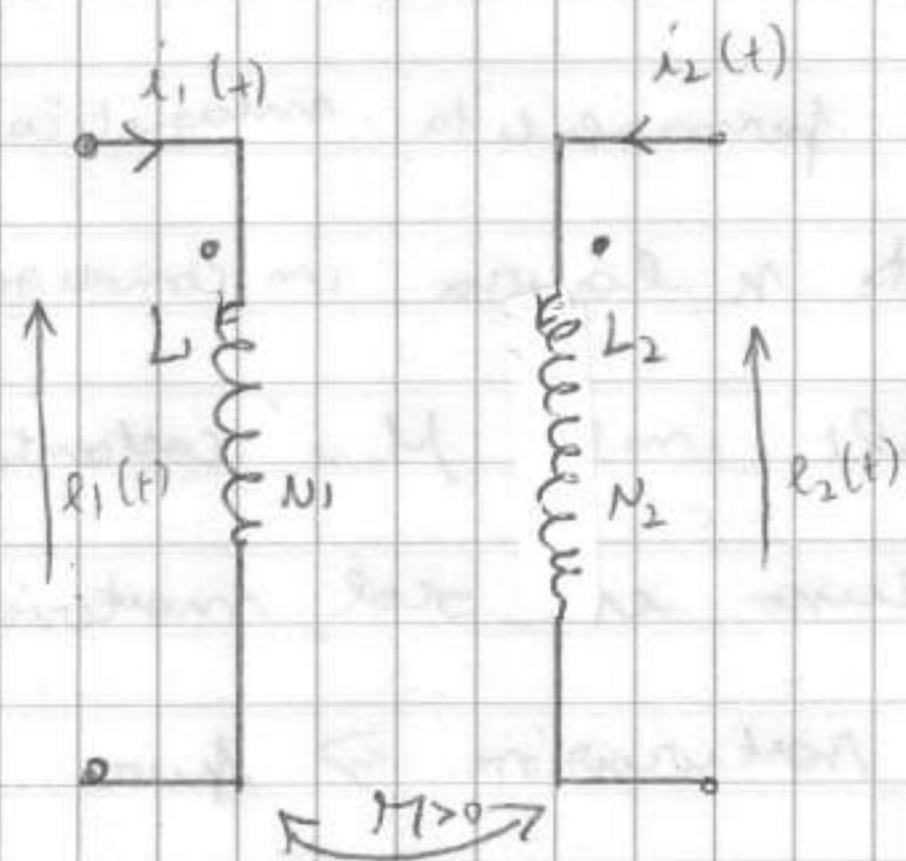
TRASFORMATORE fa LIMITATORE di potenza perché va in saturazione.

* Quando mette I ho PERDITE PER ISTESSI: penso "triangolo" a causa del trasformatore. Nei materiali magnetici abbiamo perdite associate al ciclo. Ci sono poi perdite dovute a correnti parassite, → Anche il materiale ferromagnetico ha certa R e L quindi si sviluppano tensioni che fanno fluire delle correnti non utili al trasferimento energetico. Negli avvolgimenti ci sono perdite, × effetto Joule nel conduttore. Si usano TRSF. negli impianti anche x motivi economici. Nel trasferimento energia abbiamo interesse a V altissima e I bassissima.

(Due elementi con elevata ΔV devono stare lontani x evitare scarica)
Linee alta tensione sono lega di alluminio e acciaio [proprietà elettriche e meccaniche]. A casa non possiamo accettare mV x problemi di isolamento e sicurezza \Rightarrow dobbiamo abbassare la tensione con cui passa I circa. Lo fanno in generazione, fatte con macchine elettriche → per garantire isolamento dovrebbero essere molto grandi e scomode. (Lavorano al max. a qualche $10kV$). Corrente trasferita tramite come se tensione era zero il TRASFORMATORE (con 2 spira con numero diverso di spire).

IL TRASFORMATORE

12/12/05



Materiali ideali [$P_{int} = 0$]. Influenza reciproca $M > 0$ (anche < 0 ; segno d'ol del fatto che i flussi generati dalle correnti sono concordi o discordi) → si sceglie anche verso avvolgimento bobina (oltre a i). Per rappresentare il segno se M si indicano con "•" le estremità degli

avvolgimenti. Se entrambe le i sono entranti e uscenti cioè "•" allora $M > 0$; se una entra e l'altra esce da "•" allora $M < 0$.

le equazioni sono a 2 moglie.

$$[M_{12} \rightarrow M_{21} = M]$$

$$\begin{cases} e_1(t) = L_1 \frac{di_1(t)}{dt} + M \frac{di_2(t)}{dt} \\ e_2(t) = L_2 \frac{di_2(t)}{dt} + M \frac{di_1(t)}{dt} \end{cases}$$

Scrivibili anche in RPS. (abbiamo generatori di ten. minimales)

$$\begin{cases} \bar{U}_1 = j\omega L_1 \bar{I}_1 + j\omega M \bar{I}_2 \\ \bar{U}_2 = j\omega L_2 \bar{I}_2 + j\omega M \bar{I}_1 \end{cases} \quad L \text{ e } M \text{ hanno espressioni "geometriche"}$$

$$L = \frac{N^2}{R} \quad [m. spire al^2 / riluttanza del circuito magnetico]$$

$$M = \frac{N_1 \cdot N_2}{R} \quad \text{e anche} \quad M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

(valido x circuiti ideali). In realtà non tutto φ si concatena & c'è coeff. k (tra 0 e 1).

Si ha che $\frac{L_1}{M} = \frac{M}{L_2} = k_N$: RAPPORTO SPITZE = $\frac{N_1}{N_2}$) riscriviamo eq. RPS

$$\begin{cases} \bar{U}_1 = j\omega L_1 \left(\bar{I}_1 + \frac{\bar{I}_2}{k_N} \right) \\ \bar{U}_2 = j\omega M \left(\bar{I}_1 + \frac{\bar{I}_2}{k_N} \right) \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Dividendo la 1 per la 2} \\ \text{in modulo} \end{array} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{L_1}{M} = k_N = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \text{Si può, cambiando le m. di spire, cambiare la U ai lati del trasformatore}$$

Si può avere la U con $U_2 > U_1$ e viceversa.

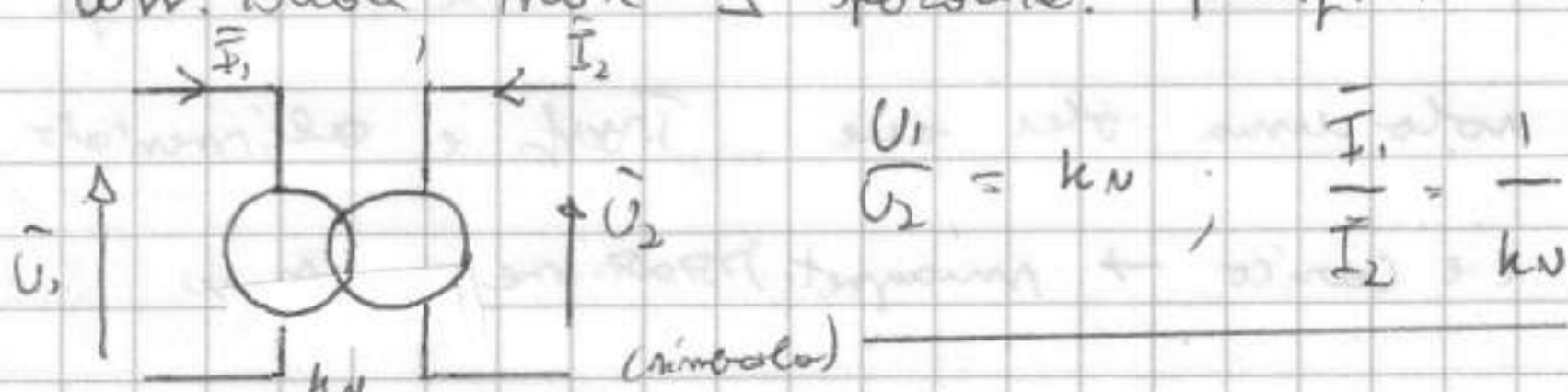
Prendendo la 1 eq. la si può riscrivere così: ($\bar{I}_1 = i$ in ingresso del trans.)

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_1}{j\omega L_1} - \frac{\bar{I}_2}{k_N} \quad \text{Se } L_1 \rightarrow \infty \quad (\text{estremamente ideale, } I \text{ infinitesima da } \varphi)$$

il rapporto $\rightarrow 0$ e quindi rimane il rapporto spire. $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{k_N}$ (intorno alle tensioni)

Potenza in ingresso ($I_1 U_1$) e pot. in uscita ($I_2 U_2$) sono uguali \Rightarrow

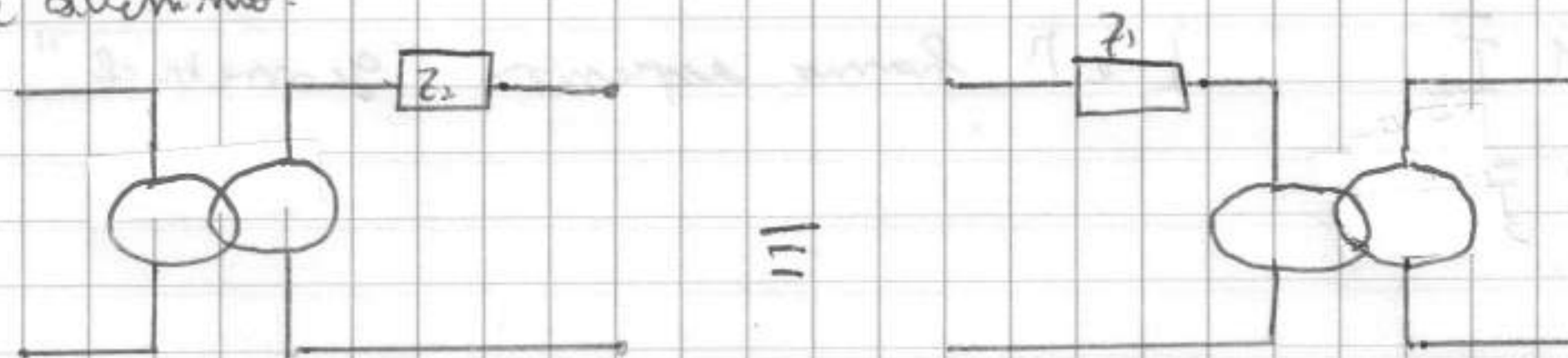
avr. ideale non I perdute. Trans. ideale è TRASPARENTE alle potenze.



Tr. ideale trasforma anche le impedenze. Sul 2° avvolgimento, la Z vista ai suoi morsetti è $\bar{Z}_2 = \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_2}$; in modulo $Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$ nottando

$$Z_2 = \frac{U_1 / k_v}{I_1 \cdot k_v} = \frac{U_1}{I_1} \cdot \frac{1}{k_v^2} = \frac{Z_1}{k_v^2}$$

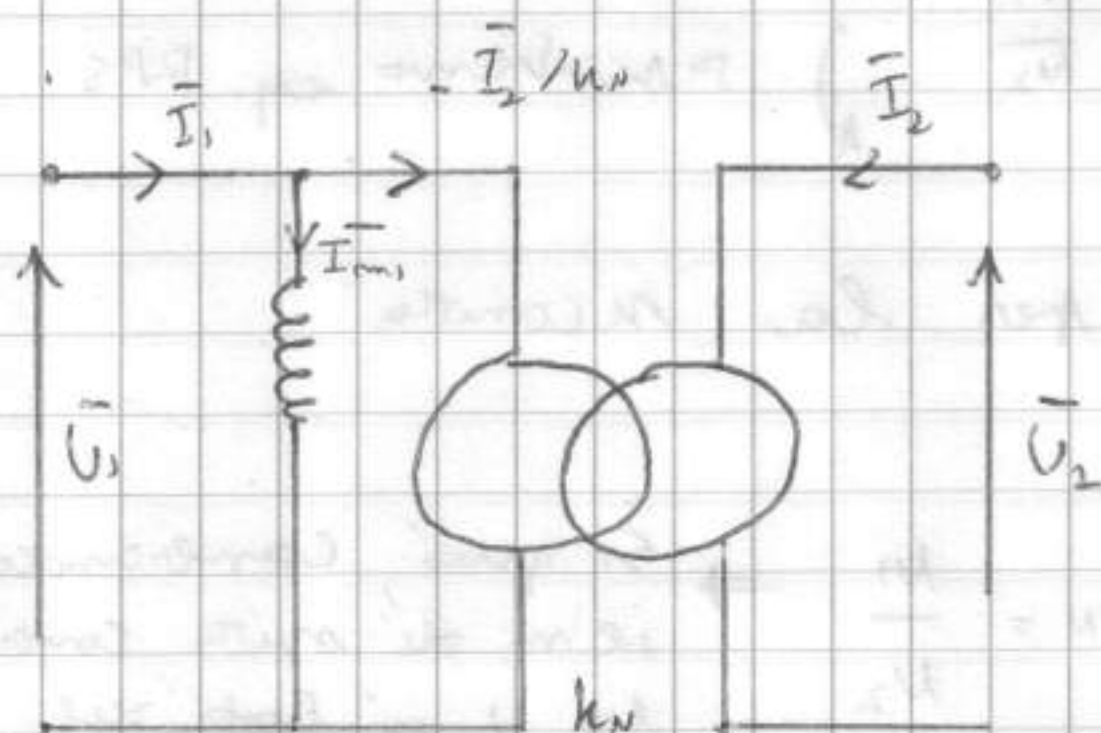
Se allentiamo:



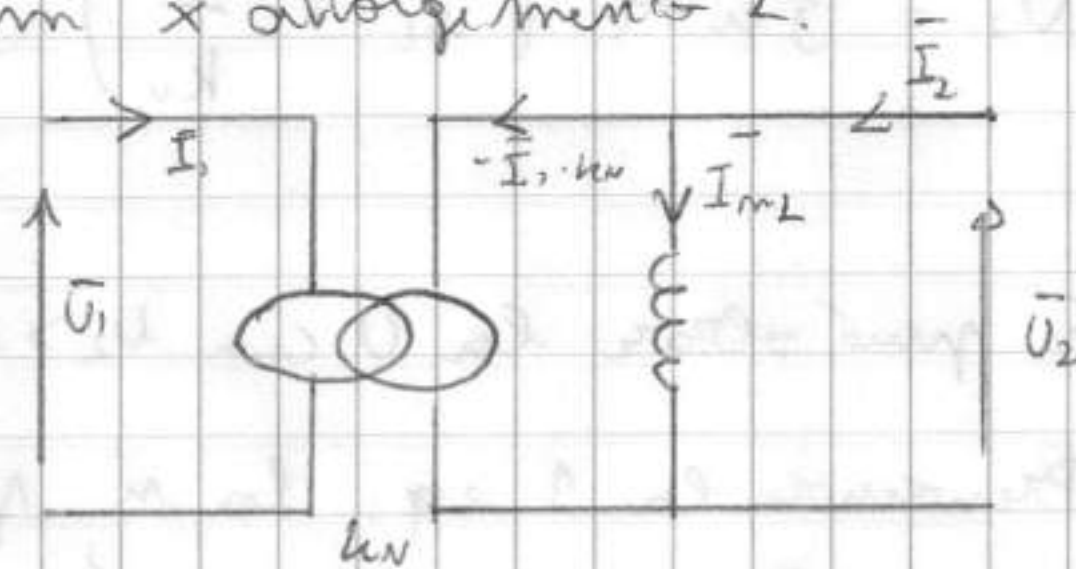
dove $Z_1 = Z_2 \cdot k_v^2$

$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_1}{j\omega L_1} = \frac{\bar{I}_2}{k_v}$; il 1° termine è una corrente \bar{I}_m : corrente di

RAONTESSIZIONE vista al circuito primario (corrente che scorre a L_1 genera il flusso che poi si va a concatenare con il 2° avvolgimento + responsabile di generare il flusso del 1° avvolgimento e di quello concatenato)



\bar{I}_m è in oscillazione rapp. tramite una L non ∞ . Questo è ancora tr. ideale ma ha bisogno di \bar{I}_m × ottenere il flusso. Isterm x avvolgimento 2.



Dalle eq. di prima

$$\bar{U}_2 = j\omega M (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 / k_v)$$

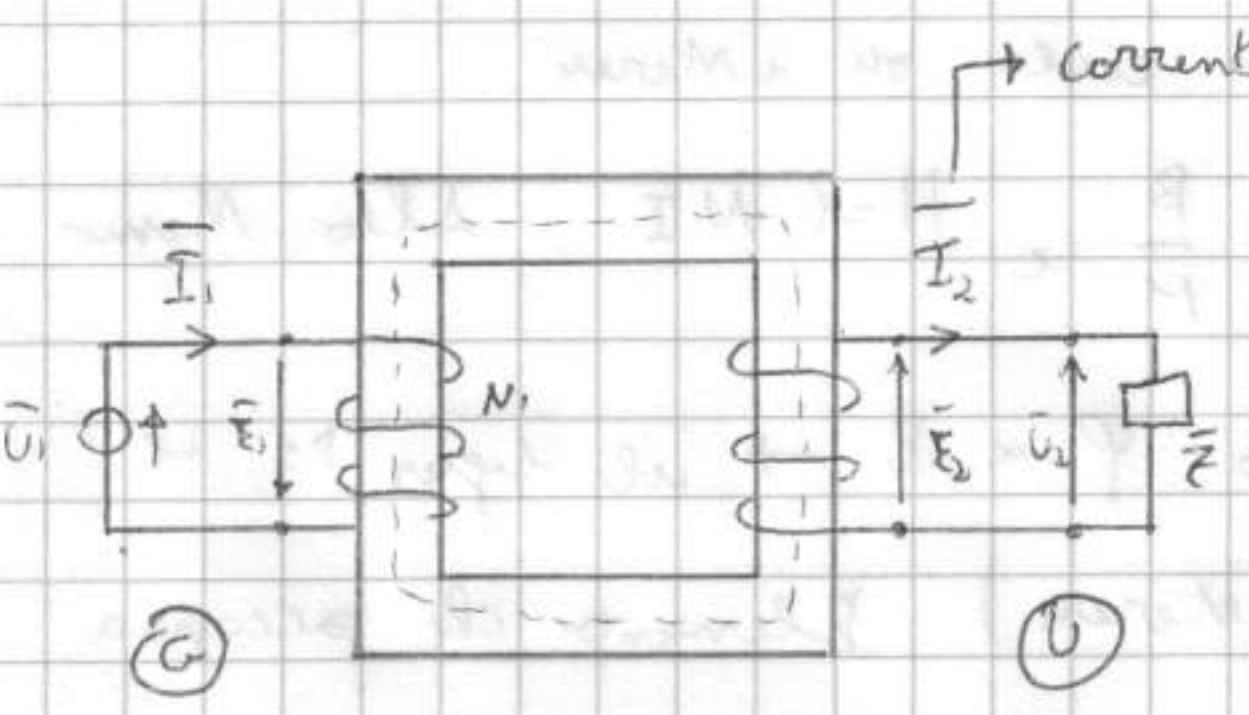
$$\bar{I}_1 + \frac{\bar{I}_2}{k_v} = \frac{\bar{U}_2}{j\omega M} \rightarrow \frac{\bar{I}_2}{k_v} = \frac{\bar{U}_2}{j\omega M} - \bar{I}_1 \rightarrow \bar{I}_2 = \frac{U_2}{j\omega M} \cdot k_v - \bar{I}_1 \cdot k_v =$$

$$\frac{\bar{U}_2}{j\omega M} \cdot \frac{M}{L_2} - \bar{I}_1 \cdot k_v \quad (\text{anche qui 2 correnti})$$

Formiamo pure la corr. in derivazione tra 1 e 2 e via. tramite k_v^2 . \bar{I} entrante e \bar{I}_m e \bar{I}_m ma solo una dei due. Trapp. è alimentato solo da 1 parte, nell'altra c'è carico → magnetizzazione a M

gli che alimenta il circuito.

Si usano ferromagneti x stare "percorso" preferenziale del Φ . Un trasf. (anvera ideale), con nuclei di Fe e Si nel quale sono avvolte le spire.



Si capi delle avvolgimenti a
 corso di L_1 n genera \bar{E}_1 . Nel 2 c'è Φ a
 corso di M . [tutto in conv. generatori]; su
 capi di 2 c'è Z carico e \bar{U}_2 [qui conv.
 utilizzatore].

Area ha μ barra e non si usa. Inoteni ideali: $\mu \rightarrow \infty$ e quindi
 $R \left[= \frac{l}{\mu s} \right] \rightarrow 0$ e poiche' $L = \frac{N^2}{R}$, $L \rightarrow \infty$ [quindi $I_m \rightarrow 0$].

Inoltre resistenza del rame $p_m \rightarrow 0 \Rightarrow$ tutte le potenze associate a
 elementi resistivi $\left[R = p \frac{l}{s} \right]$ ($R \rightarrow 0$) P prossime $\rightarrow 0$.

Anche ferromagnete e' soggetto a perdite. In i. ideali $P_{ferrom.} \rightarrow 0$ (area $= 0$)

Inoltre come c.i.d. consideriamo l'accoppiamento perfetto $[M = k \sqrt{L_1 L_2} \text{ con } k=1]$

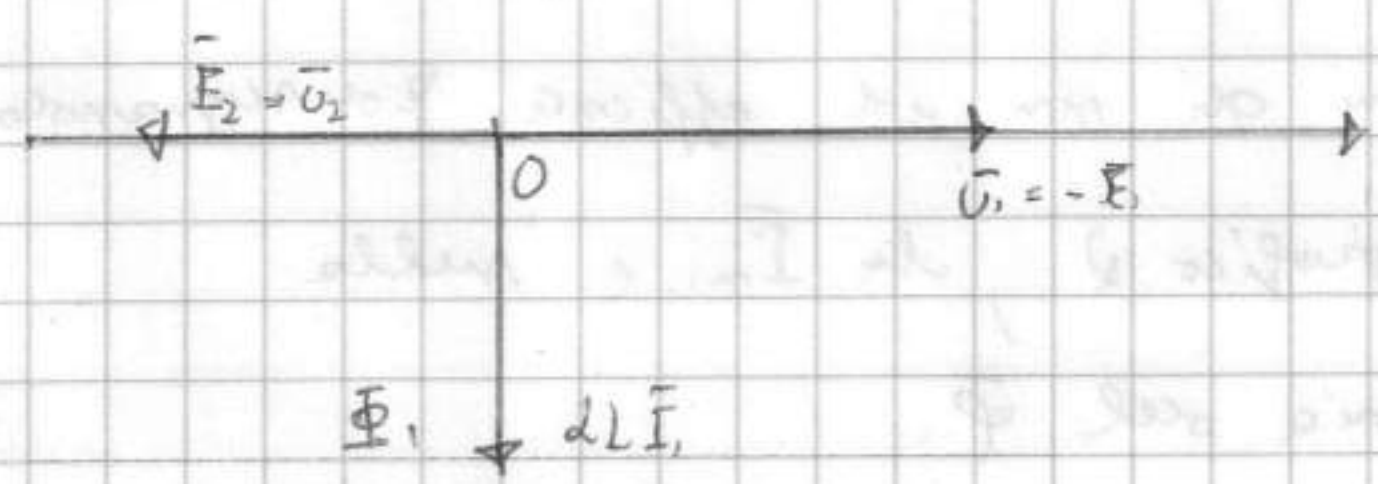
Grafichiamo le grandezze ideali!

(senza il carico).

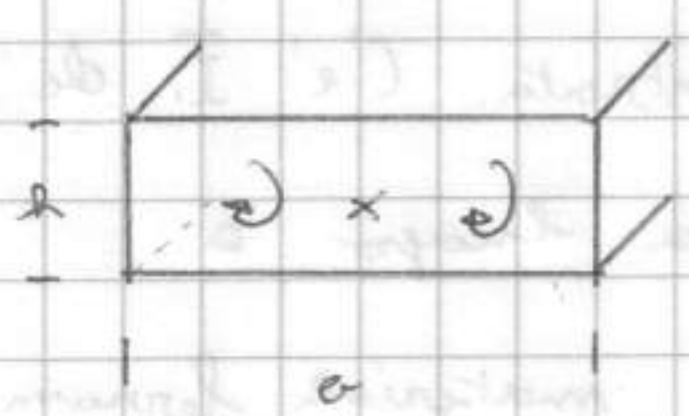
In c.i. $\bar{E}_1 = -\bar{U}_1$. Poi \bar{I}_1 genera
 Φ , $\propto L \bar{I}_1$, stesso angolo \bar{I}_1 .

Poiche' tutto e' concatenato x perfettamente
 ed $e(t) = - \frac{d\phi(t)}{dt}$ si ha

$[\bar{E}_2 = \bar{U}_2]$ spar. su 90°.



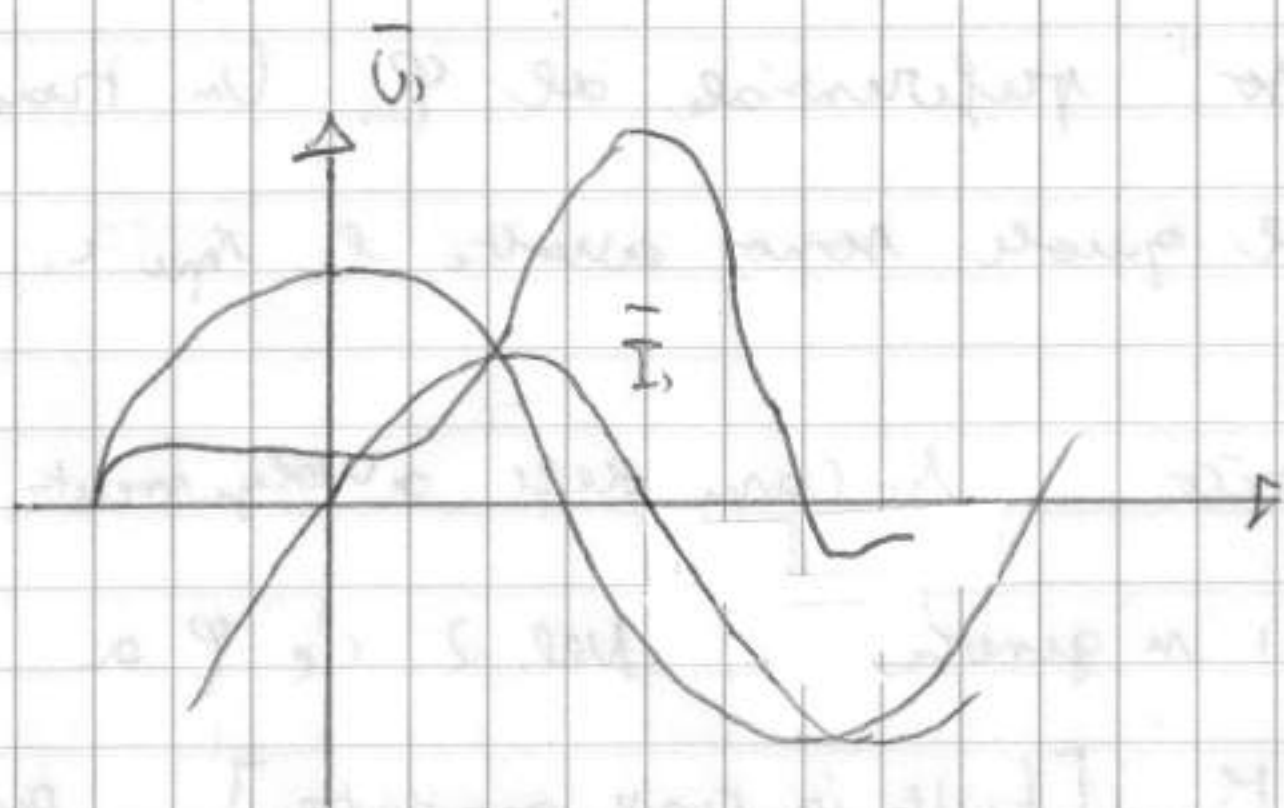
Ci sono anche le perdite per correnti PARASSITE [ferromagnete ha $p \neq 0$]
 che circolano nel ferromagnete. Sono $> r e' >$ larghezza Φ . Sono



proporzionali a bh . Per d h e
 Si può usare ferromagnete migliore (ma costa su
 + e non garantisce prestazioni) \Rightarrow si minimizza

la sezione. Si varia d h della sezione. Non si usa nucleo

monoblocco ma Σ di lamine incollate [$\approx 0,3 \text{ mm}$]



\bar{U}_1 genera φ e \bar{I}_1 sfasata di 90°

Nella scelta φ e \bar{I} sono legati da ciclo di isteresi.

$$H = \frac{B}{\mu} \text{ e } H \propto NI \text{ . Allo stato}$$

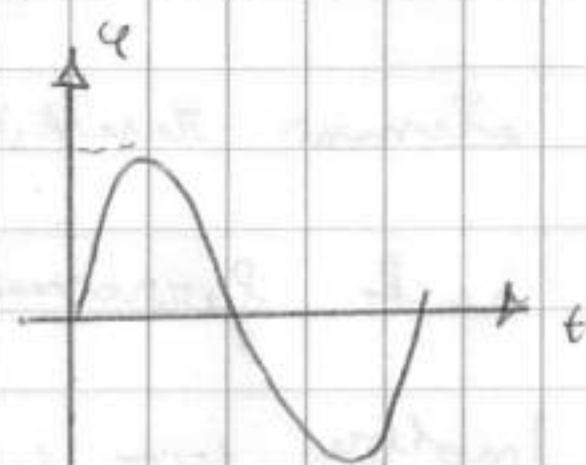
stato $\varphi \propto B \rightarrow$ anche in RPS il

φ non è sinusoidale (che in una il ciclo di isteresi). Elemento che accoppia 2 circuiti non è S/V. Ha una serie di armoniche (somma di + componenti). $T\varphi$ è la stessa solo che forma non è più perfetta.

In 1° appross. si considera solo la 1° armonica fondamentale [$\varphi_{eff} = \varphi_{eff1}$]

In 2° " [φ si usa così e meno grave]: considero φ sinusoidale come forma d'onda, ma il φ_{eff} è pari al φ_{eff} totale

dell'onda. Si ottiene: $\varphi_{eff} = \sqrt{\varphi_{eff1}^2 + \varphi_{eff2}^2 + \dots}$ + non

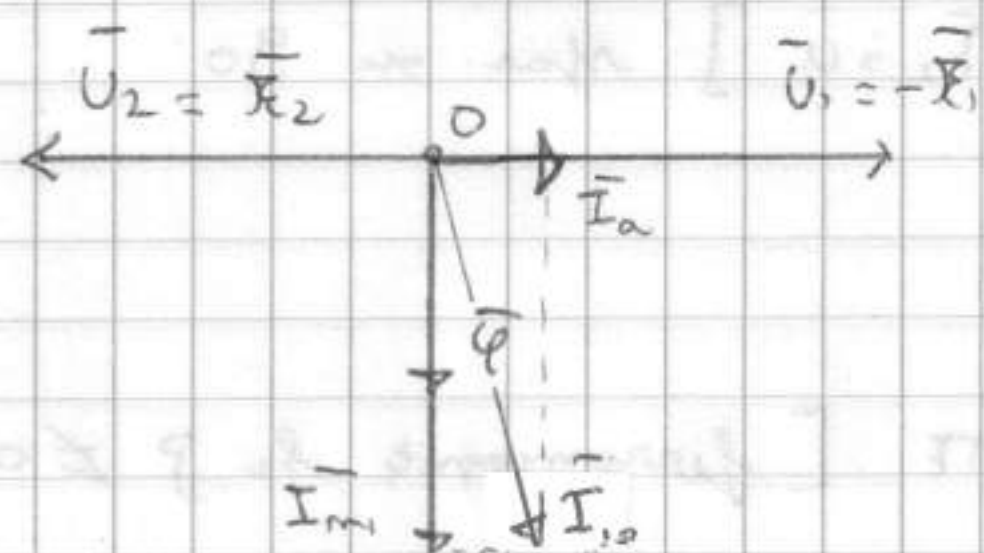


solo armoniche dispari perché in serie fourier armoniche

pari scompaiono.

Quindi si suppone φ sinusoidale con un valore efficace pari allo $\sqrt{\text{quella} + \text{di} \text{ delle armoniche dispari}}$ (aumentando numero armoniche il loro contributo si riduce).

In \bar{I}_{m1} si può ancora scrivere in termini di rim. ed efficaci. Riusciamo a



il grafico 2, la \bar{I}_{m1} è nella direzione del $\bar{\varphi}$.

Iniziamo a considerare le perdite:

ciclo isteresi ha area $\neq 0$ e a non.

1. perditte. \rightarrow la potenza immessa è $<$ di quella in entrata. C'è \bar{I}_0 che

non tutta arriva a \bar{I}_2 . Schemo \bar{I}_{m1} che però non crea luogo a

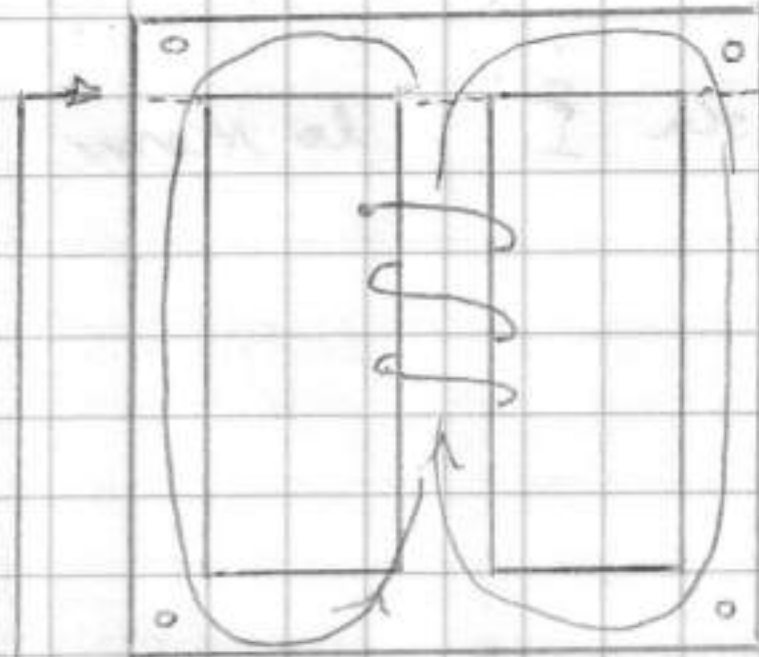
perditte. C'è \bar{I}_a in fase con \bar{E}_1 tale da le perditte del materiale ferrim.

④ nono $P_{Fe} \propto U_1 \cdot I_a$ [\bar{I}_{m1} non crea luogo a n. attive]. Esiste \bar{I}_0 .

movibile del trasformatore si alimenta da I_1 e in 2 c'è solo carico.

I_a per sopprimere a movibile flusso.

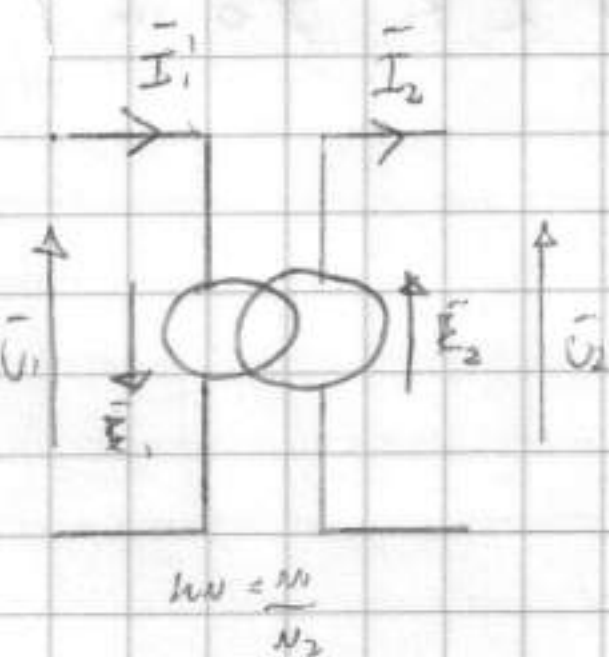
14/12/2005



→ transf. "reale"

laminare verniciati x evitare contatti in modo che le i piazze sono confinate all'interno dello spessore del laminare stesso

→ c'è un trasferimento d'aria a causa del montaggio

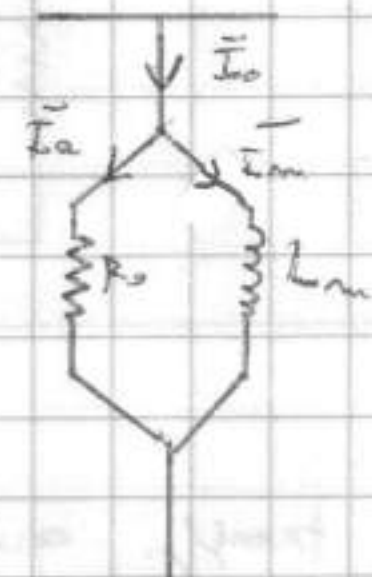


Per il tr. ideale $\frac{E_1}{E_2} = k_v$ e $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{k_v}$

Si considera m per l'effetto I_m , per compensare

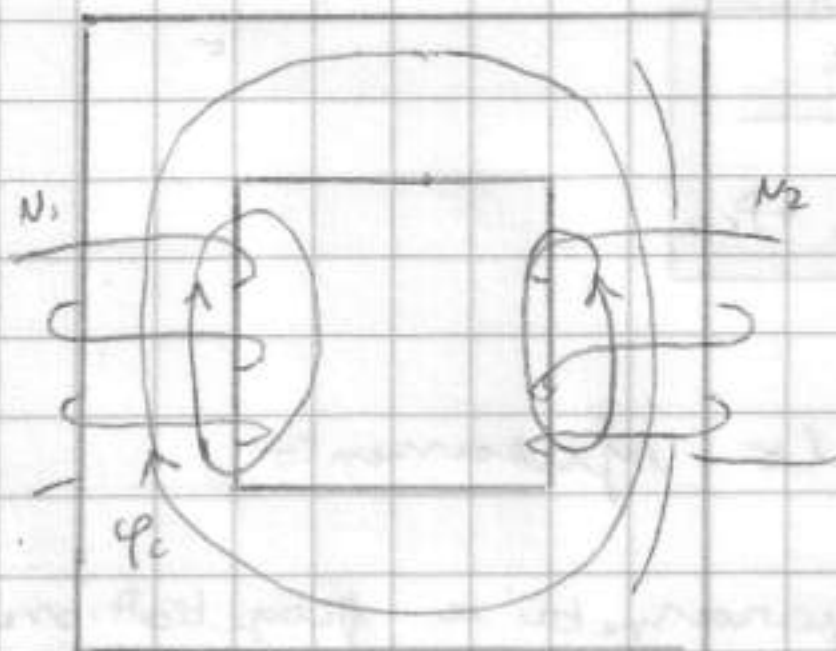
I_a prende R in // a L di I_m
 $\hookrightarrow \bar{I}_a = \frac{\bar{U}_1}{R_0} \rightarrow p. \text{ attiva, consumata}$

$P_{ro} = R_0 \cdot I_a^2$ oppure U_1^2 / R_0 nel circuito



Quando si alimenta transf., il φ provoca perdite x intere e c. parassite → tr. reale non ha rendimento unitario.

R_0 non è R del ferromagnete, ha un valore "equivalente" x compensare le perdite nel ferromagnete.



F. magn. ha μ non ∞ , quindi ci sono linee di flusso che si concatenano $[\varphi_c]$ e altre che si circolano.

$\varphi_{N1} = N_1 \varphi_c + \varphi_{d1}$; $\varphi_{N2} = N_2 \varphi_c + \varphi_{d2}$

Per il ideale $\bar{U}_1 = j\omega L_1 (\bar{I}_1 + \frac{M}{L_1} \bar{I}_2)$; $\bar{U}_2 = j\omega M (\bar{I}_1 + \frac{L_2}{M} \bar{I}_2)$

e $M^2 = L_1 L_2$, quindi $\frac{L_1}{M} = \frac{M}{L_2} = \frac{N_1}{N_2} = k_v$

Nel reale ciò non è più vero perché $M^2 = k L_1 L_2$ [$k \in [0,1]$]

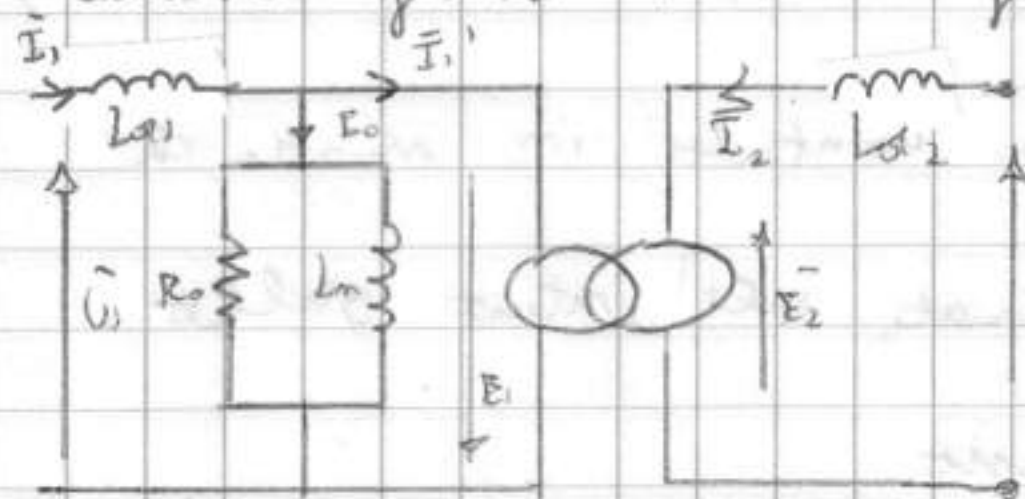
ci sono due L che forniscono il flusso: $L_1 = L_1' + L_1''$ e

$L_2 = L_2' + L_2''$

E quindi Φ_c di $L_1 \cdot I_1$ e Φ_c di $L_2' \cdot I_2$.

$M^2 = L_1' \cdot L_2'$ [tolta le L di permeabilità]; L_1'' e L_2'' percorsi da correnti,

stanno fuori che non forniscono contributo, induttanza di dispersione.

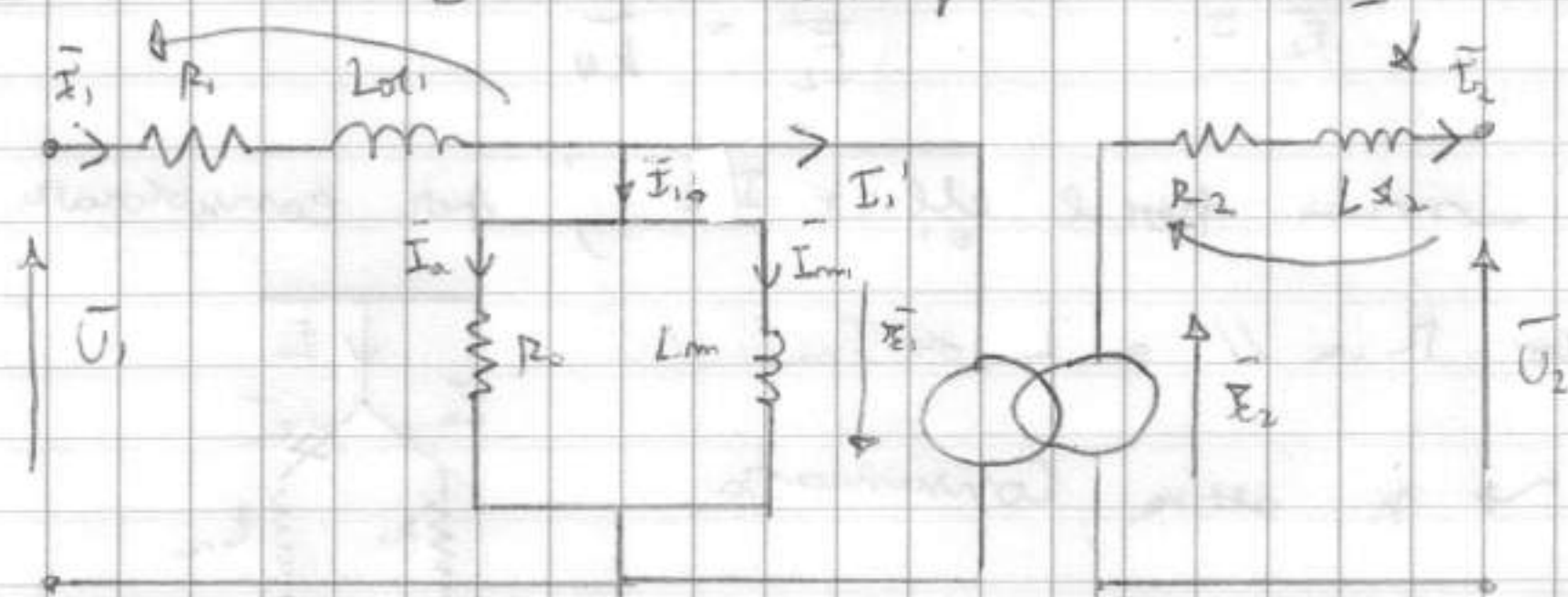


L_{d1} di dispersione percorso da \bar{I}_1 ; lo stesso nel 2° avvolgimento

Dobbiamo anche considerare p del rame; a differenza di R_0 parliamo

proprio di una resistenza fisica; e R dell'avvolgimento $\Rightarrow 2R \neq 0$ in

Σ alle L [ma 1° avvolg. che 2° avv.]



I_{10} + traff. quando è a vuoto [alimenta un carico] anche solo I_0

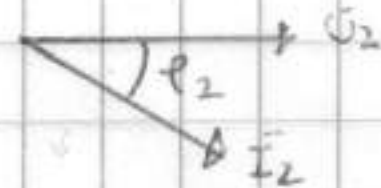
Nel traf. a vuoto le:

- P_{Fe} [perdite materiale ferromagnetico] = $\frac{E_1^2}{R_0}$

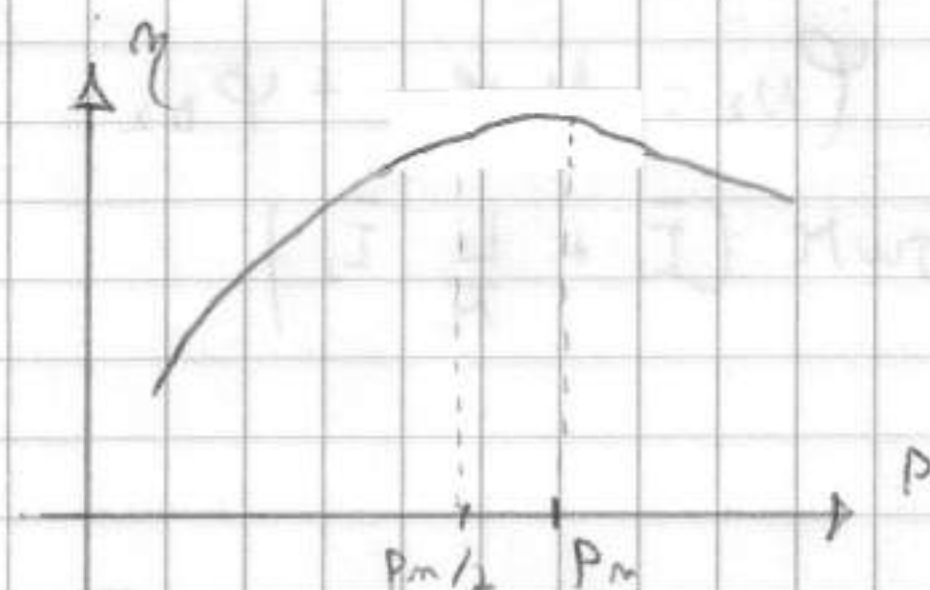
- P_S [per effetto Joule dovute ai due avvolgimenti] = $R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$
 $\hookrightarrow P_{cu}$

Il rendimento del trasformatore è:

dove $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$



Caratteristica del carico che impone lo sfasamento



Parametri Nominali \rightarrow parametri di progettazione,

grandezze elettriche con le quali lavorare.

Se lavora con grand. + grandi può andare

incontro a guasti \rightarrow ad ex con scoppio I

n' serve molto consultore; possono sciogliersi gli isolanti delle spine (non

è istantaneo cmg).

P_n : potenza nominale; tr. ha buon η in P_n e ha un η minore quando è molto caricato ($<$ della metà di I_n). η_n delle ordine di $95 \div 98\%$.

Più grande è il trasformatore, η è \rightarrow quelli sc. ex. che alimentano trasmissione corrente. Deluso errore buoni che si usano tanti traf.

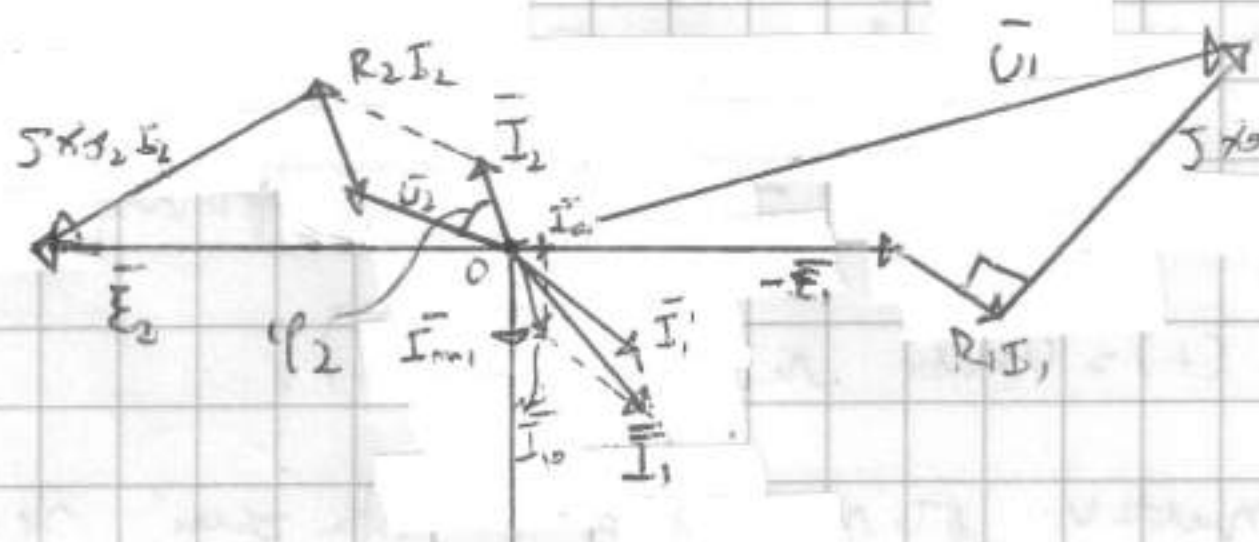
È un po' difficile misurare η poiché errore di lettura dei wattmetri è delle ordine dell'intervallo di η . Quindi si stabilisce η tramite le misure inservite. Si calcola P_{fe} e P_{cu} e P_2 conoscendo i parametri del circuito equivalente.

Diagramma Vettoriale: Supponiamo che si alimenti un carico con \bar{Z}

$$\begin{cases} \bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + R_1 \bar{I}_1 + jX_{\sigma 1} \bar{I}_1 & [X_{\sigma 1} = \omega L_{\sigma 1}] \\ \bar{U}_2 = \bar{E}_2 - R_2 \bar{I}_2 - jX_{\sigma 2} \bar{I}_2 & [X_{\sigma 2} = \omega L_{\sigma 2}] \end{cases}$$

vedi gr. a p. 16

Supponiamo \bar{Z}_2 ohmico induttiva;



φ_2 è angolo di sfasamento in ritardo

Con la 2° eq, a U_2 nominale vettore

$R_2 \bar{I}_2$ diretto come \bar{I}_2 e $jX_{\sigma 2} \bar{I}_2$ orientato

a $90^\circ \perp$ a \bar{I}_2 ; \bar{E}_2 è la somma. Sapendo k_n possiamo passare a \bar{E}_1 [se

non è in distribuzione cioè $N_2 > N_1$, si abbassa la tensione] Vettorialmente

$-\bar{E}_1 = -k_n \bar{E}_2$. \bar{I}_1 in ingresso è dato da $\bar{I}_{10} + \bar{I}'_1$ dove $\bar{I}'_1 = -\bar{I}_2 / k_n$

[\bar{I}'_1 + piccolo di \bar{I}_2 in questo caso]. Poi \bar{I}_{m1} è + piccola ancora, \bar{I}_{a1} è

ancora + piccola di \bar{I}_{m1} ; \bar{I}_{a1} e \bar{I}_{m1} sono sfasati di $\approx 80^\circ$ e la somma è \bar{I}_{10}

$\bar{I}_1 = \bar{I}_{10} + \bar{I}'_1$. Poi a $-\bar{E}_1$ si somma $R_1 \bar{I}_1$ e $jX_{\sigma 1} \bar{I}_1$ per avere \bar{U}_1

si può semplificare il circuito equivalente. Un'impedenza in

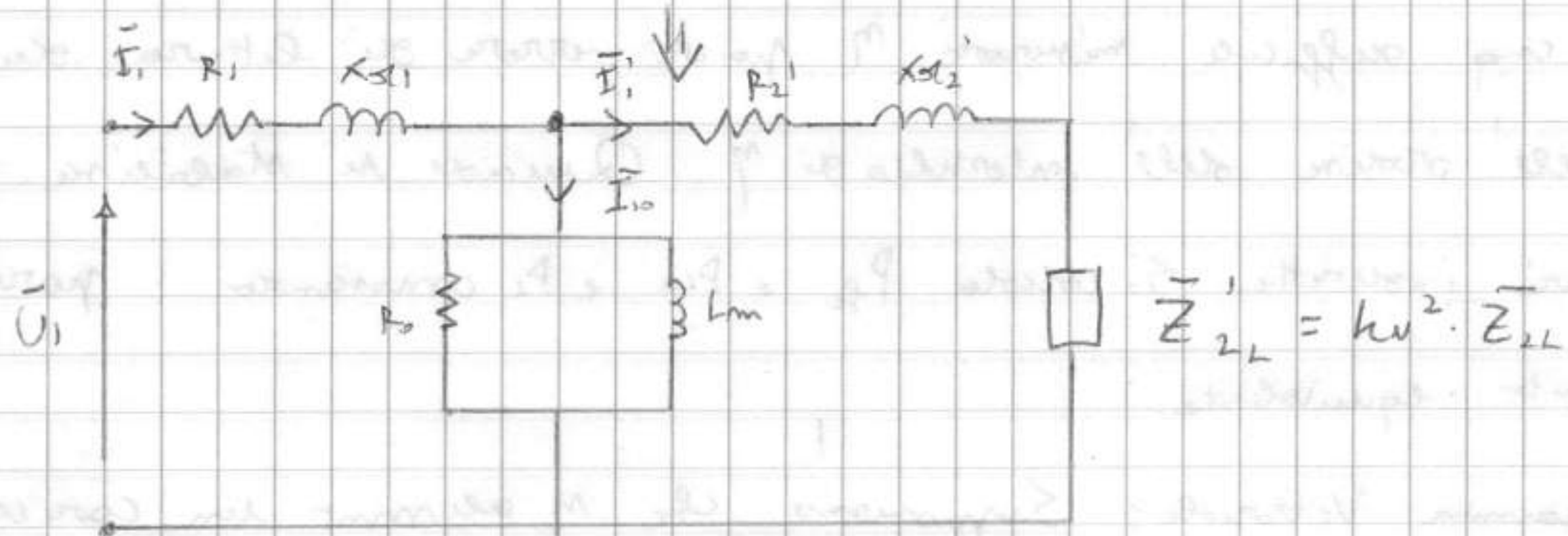
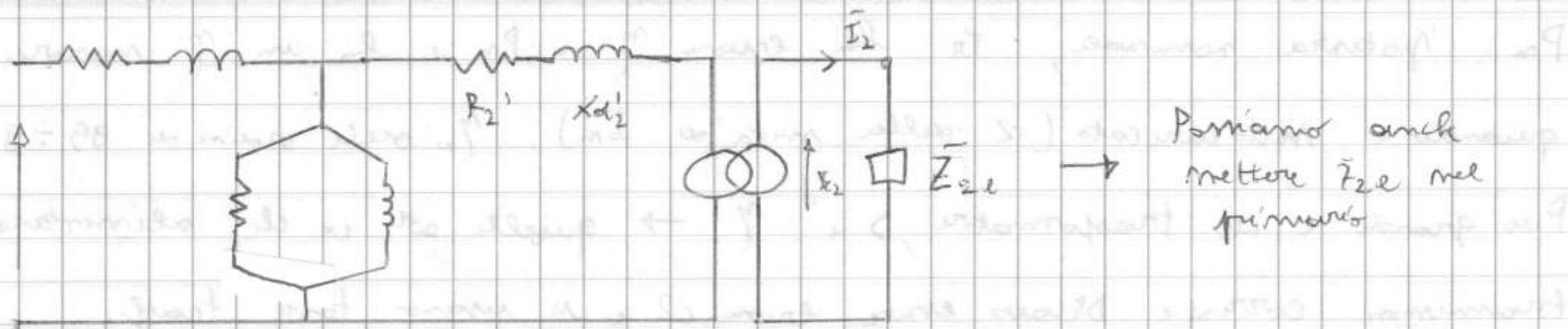
uscita al traf. (che può essere vista come $\bar{Z}_2 = \frac{\bar{E}_2}{\bar{I}_2}$); sostituiamo

$$\text{con } \left[\frac{\bar{E}_1}{\bar{E}_2} = k_n \text{ e } \frac{\bar{I}'_1}{\bar{I}_2} = \frac{1}{k_n} \right] \rightarrow \bar{Z}_2 = \frac{\bar{E}_1}{k_n} \cdot \frac{1}{\bar{I}'_1 k_n} = \bar{Z}_1 \frac{1}{k_n^2}$$

Si possono riportare R_2 e $X_{\sigma 2}$ al primario moltiplicandoli per k_n^2 . Si trasforma il circuito equivalente

$$R_2' = k_n^2 \cdot R_2$$

$$X_{\sigma 2}' = k_n^2 \cdot X_{\sigma 2}$$



15/12/05

TRASFORMATORE TRIFASE



→ Può essere ripetuto 3 volte.

$u_1(t) = U_{max} \sin \omega t$; il primario del 1° transf.

ora $u_2(t) = U_{max} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$ e il primario

del 3° ora $u_3(t) = U_{max} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$.

Ma ricordarsi ancora l'effetto dei rispettivi primari. In realtà si riconosce

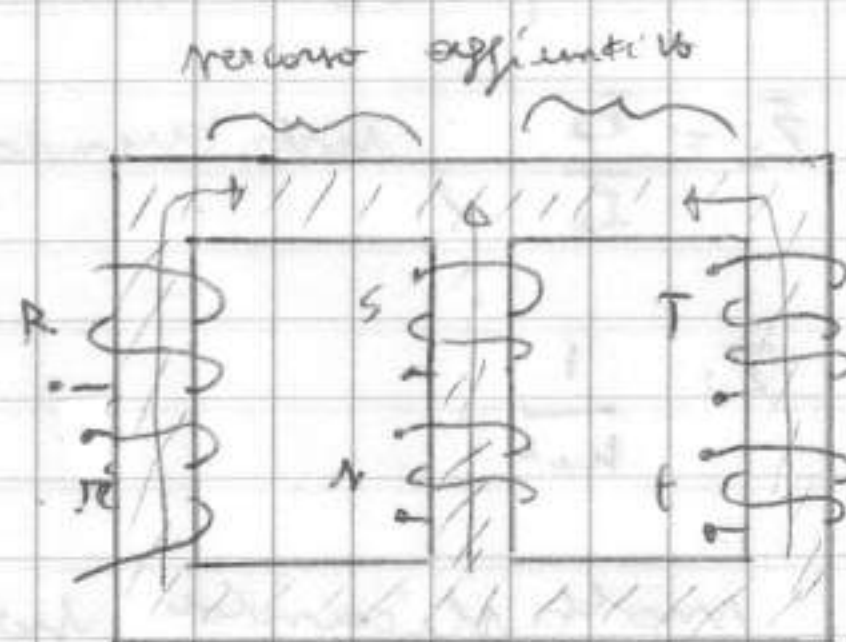
si ha una simmetria di tensioni; le rapporti spira = x i 3 transf.

1 3 fasi $\bar{U}_R + \bar{U}_S + \bar{U}_T = 0$; anche le correnti $\bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T = 0$ relative alle

3 fasi R, S, T; poiché i flussi sono del tipo $L\bar{I}$: $\bar{\Phi}_R = L_1 \cdot \bar{I}_R$;

$\bar{\Phi}_S = L_1 \bar{I}_S$; $\bar{\Phi}_T = L_1 \bar{I}_T$ anche la somma dei flussi è nulla

$[\bar{\Phi}_R + \bar{\Phi}_S + \bar{\Phi}_T = 0]$. Allora al posto di questa configurazione si può utilizzare:



Stoie in ogni colonna avvolgiamo quelle

di ciascuna fase → non ci vuole la

colonna x chiudono linee di flusso.

La struttura non è perfettamente simmetrica perché

R e T devono percorrere + tempo e spazio.

Per notare il Φ sarebbe necessaria I + alta, ma è poco significativa

⑩ x la riluttanza molto piccola dell'intercetta d'aria tra ed .

Come determinare il circuito equivalente?

Se abbiamo trifase a stella tutte le fasi sono collegate
stanno alimentando i primari così!

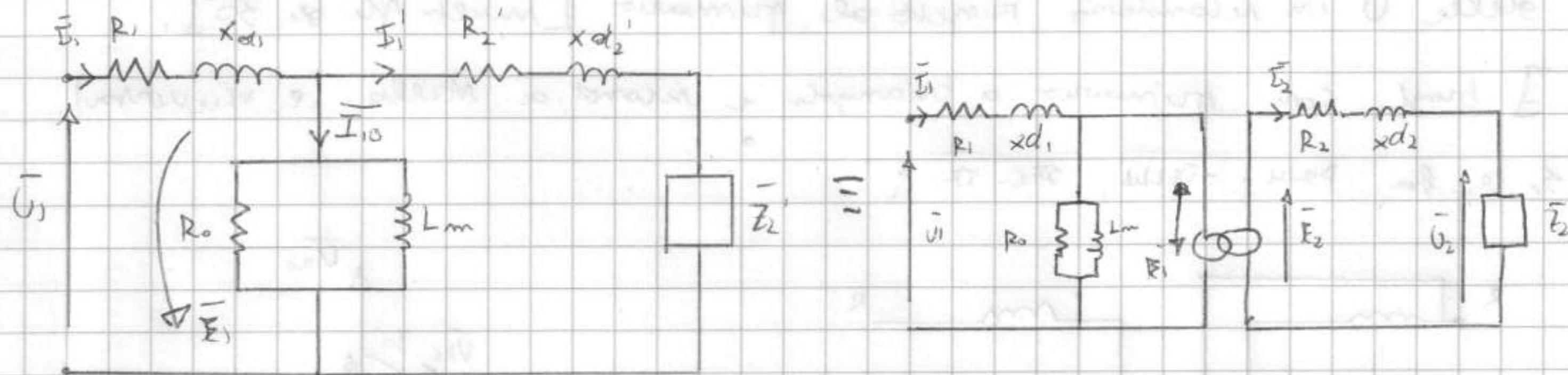
(e lo stesso x gli avv. secondari)

Il centro stella hanno $V=0 \rightarrow$

Come se collegati da EAP, U_0'

che accade in R e' \equiv a quello in S, T [cambia solo la fase],

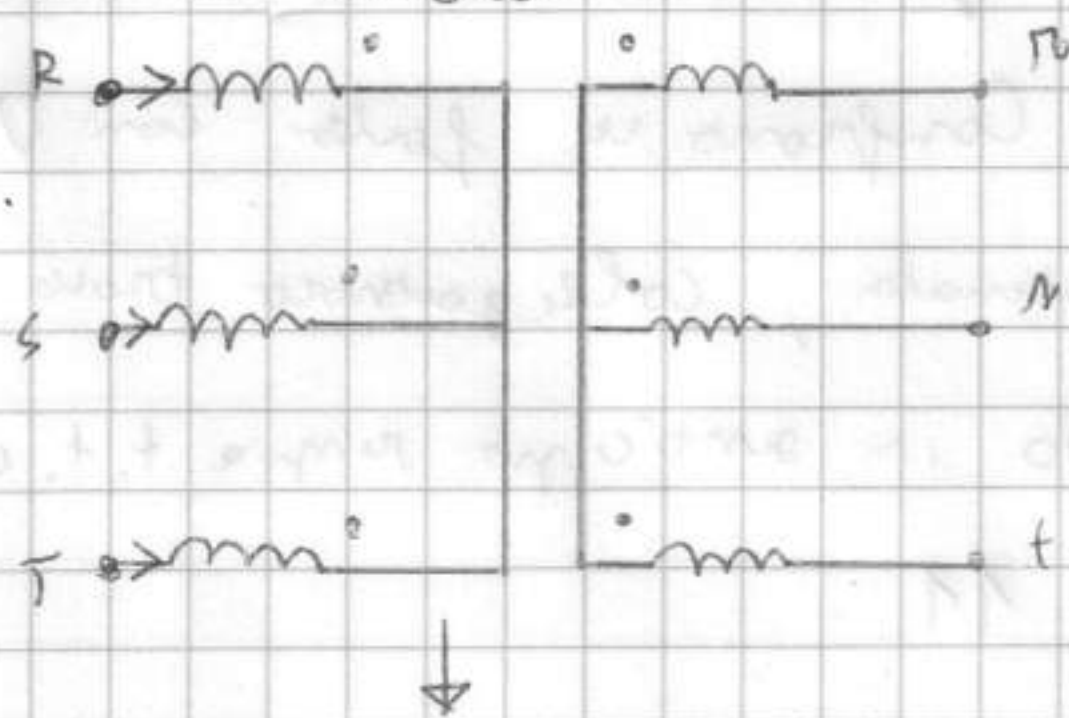
quindi si può studiare solo 1. \Rightarrow si può rappresentare come il circ. monofase.



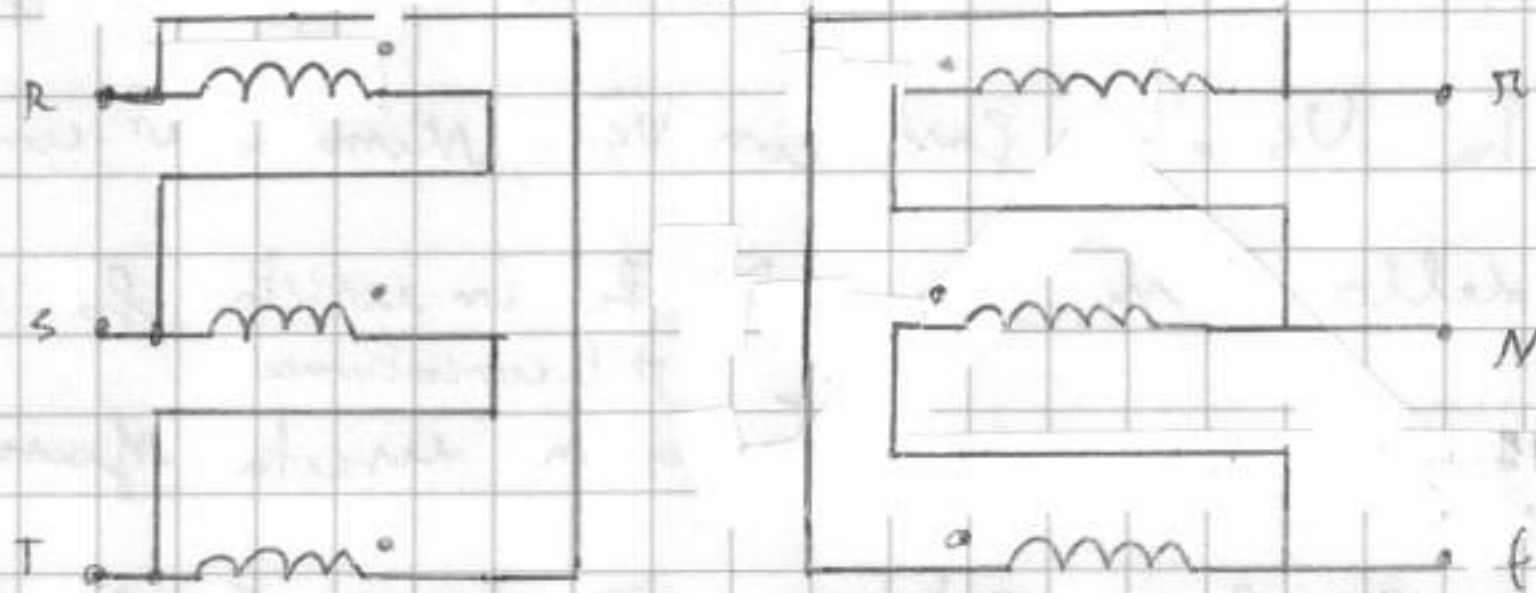
può rappresentare R

Se invece abbiamo un collegamento a triangolo! Sempre stesso circ. equivalente.

[Stella-Stella]



[Triangolo-Triangolo]



Su ciascun avvolgimento c'è proprio la tensione di fase.

Lo stesso vale per i secondari.

Nel tr. non abbiamo il centro stella.

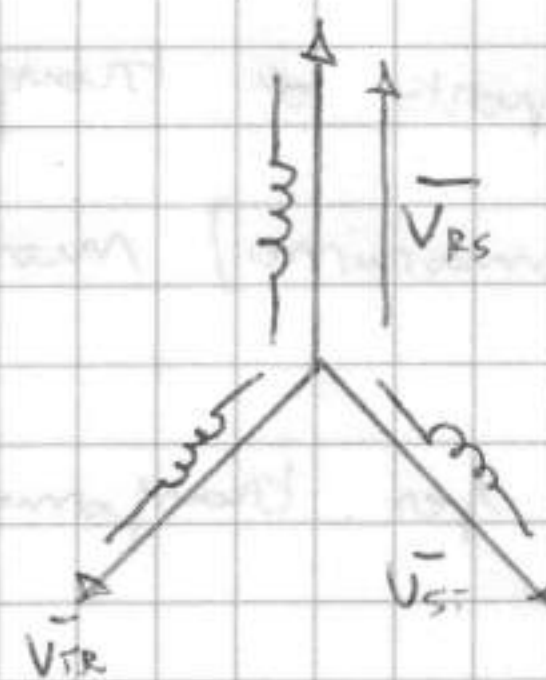
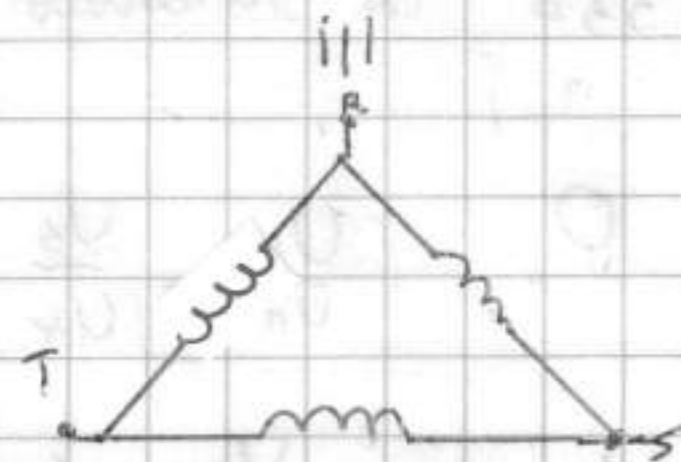
Sul 1° avvolgimento è applicata \bar{V}_{RS} e

così via \rightarrow le tre bobine sono alimentate

da tensioni concatenate [e' cmq una

tensione simmetrica]. Lo stesso nel 2° avv.

[basta con le lettere minuscole]



Possiamo utilizzare come circuito equivalente quello monofase; a livello di potenza tutto rimane uguale \rightarrow passiamo a tr. equiv. fatto con collegamento stella-stella del quale ne facciamo il circ. equivalente.

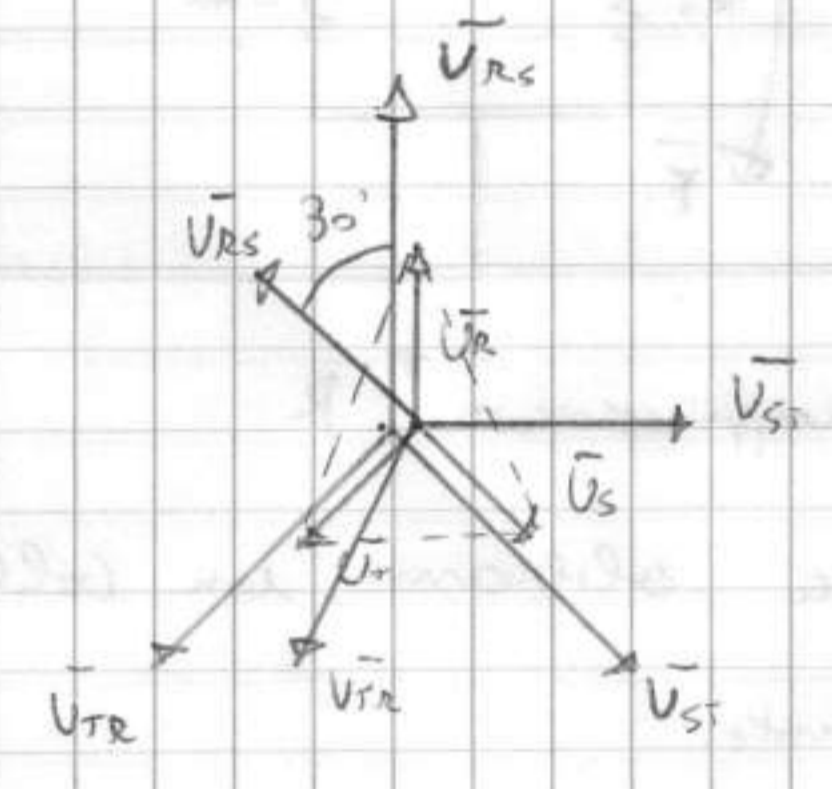
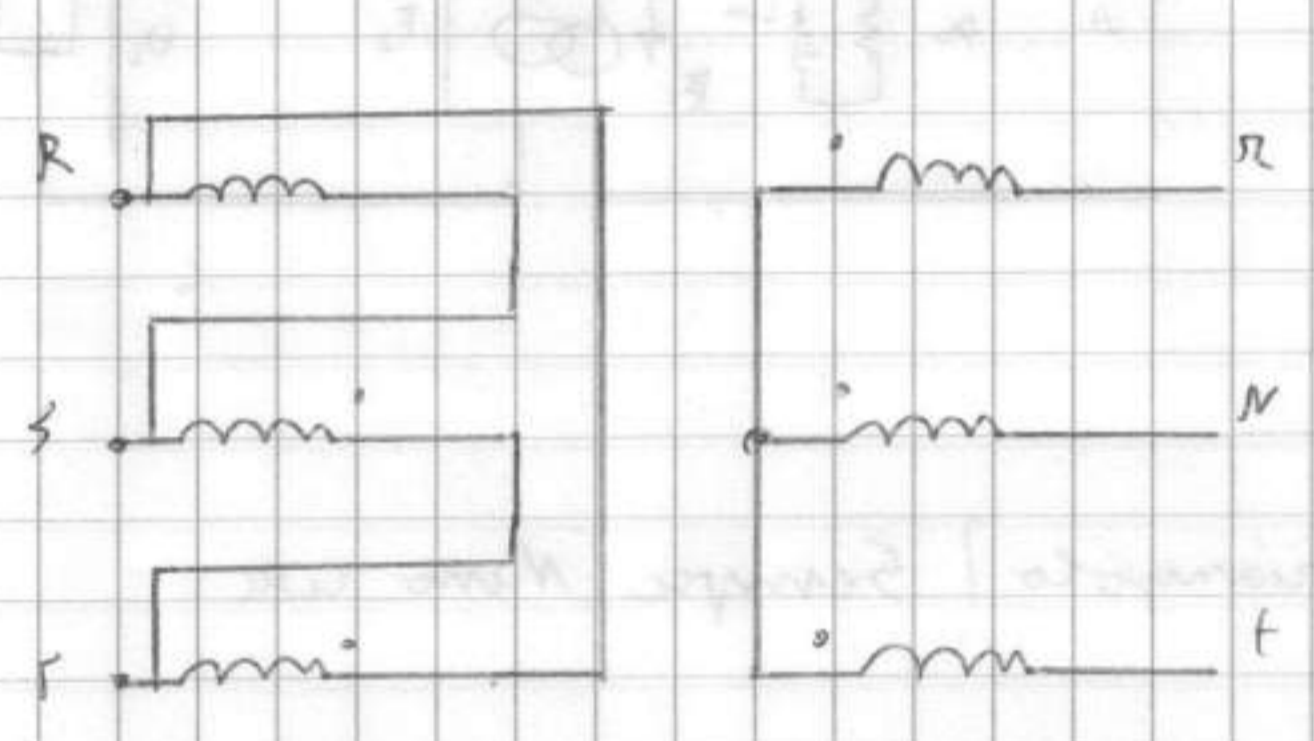
Nel coll. a triangolo non c'è centro stella e quindi non possiamo rapp. unica fase con ritorno ad O. I trasformatori esistenti possono essere di entrambi i tipi.

Terna U uscita e ingresso sono in fase tra loro, terna sovrapposibile.

$\left[\frac{U_R}{U_N} = k_N \right]$ Squadrangolo al gruppo 0: angolo di sfasamento delle U in monofase rispetto al primario [multipli di 30°].

I trapp. con primario a triangolo e second. a stella (e viceversa).

Se tr. ha PRIM - TRIN, SEC - ST.



Q di R si concatenava con r, onde zero c'è già tensione di fase.

La U_s è in fase con \bar{V}_{st} , stesso $\times \bar{U}_r$ con \bar{V}_{tr} . Confronto va fatto con U dello stesso tipo. Poiché in uscita ho U concatenata, collegandosi trova quelle di fase. Terna in uscita sfasata di 30° in anticipo risp. a t, t, c. prim.

$\Rightarrow 330^\circ$ in ritardo \Rightarrow questi 6 al gruppo 11

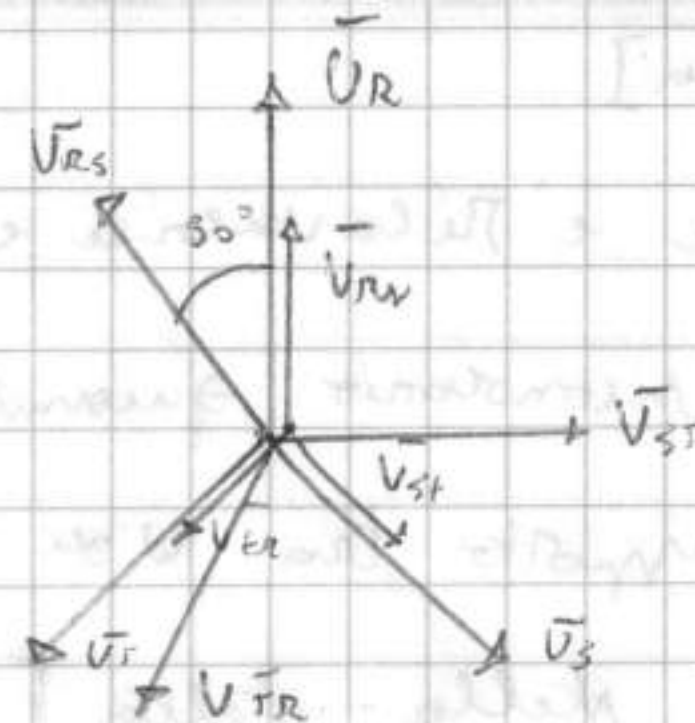
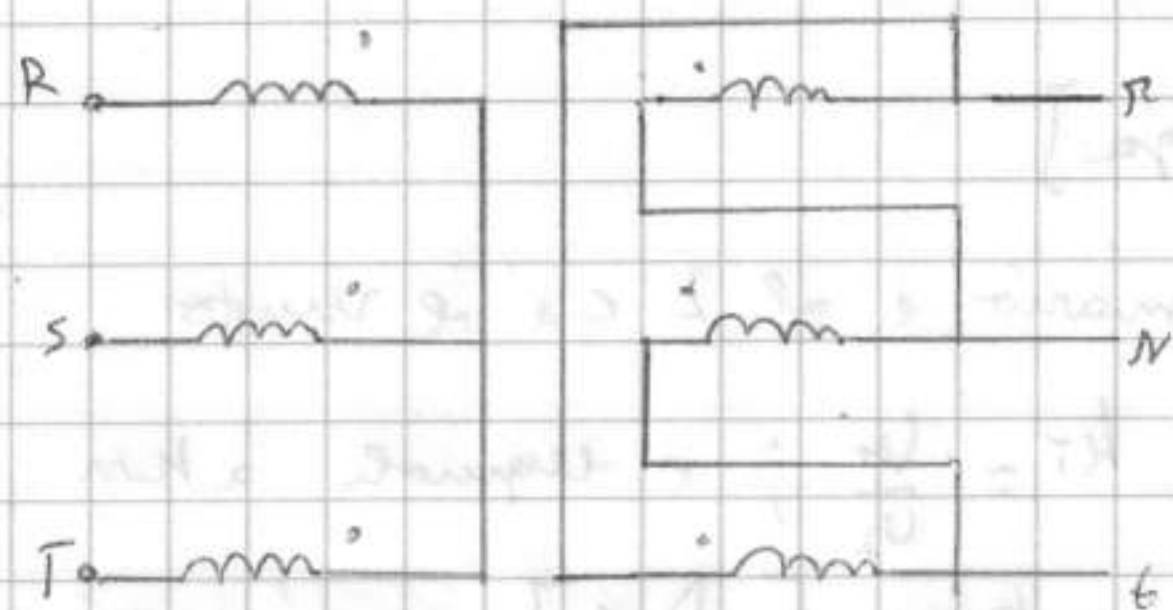
Per 0 $\frac{U_R}{U_N} = \frac{U_S}{U_N} = \frac{U_T}{U_N} = \frac{V_{RS}}{V_{RN}} = \frac{V_{ST}}{V_{NT}} = \frac{V_{TR}}{V_{TR}} = k_N$ [in generale $V = \sqrt{3} U$]

In 11 c'è V_{RS} concatenata con $\frac{V_{RS}}{U_R} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{V_{RS}}{V_{RN}} = \frac{U_R}{U_N} = \frac{N_1}{N_2} \frac{1}{\sqrt{3}}$

Le rapporti di trasformazione (legame tra ten. primarie) non è uguale a k_N

Analogo per trasformatore con primario a stella e secondario a triangolo

20 (\rightarrow)



Il trasf. è al gruppo 1.

$$\frac{U_R}{U_{RS}} = \frac{U_{RS}}{\sqrt{3} U_{NR}} = \frac{N_1}{N_2} \leadsto \frac{U_{RS}}{U_{NR}} = \sqrt{3} \frac{N_1}{N_2} \rightarrow \text{è l'intervallo delle "11"}$$

→ quella chiesta sul carico

Per la potenza quella in uscita è $P_2 = 3 U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2$

Quelle perdute nel rame e nel ferro sono date da:

$$P_{cu1} = 3 I_1^2 R_1 \text{ [nel primario]} \rightarrow \text{perduto} \times m, n, tr, ft$$

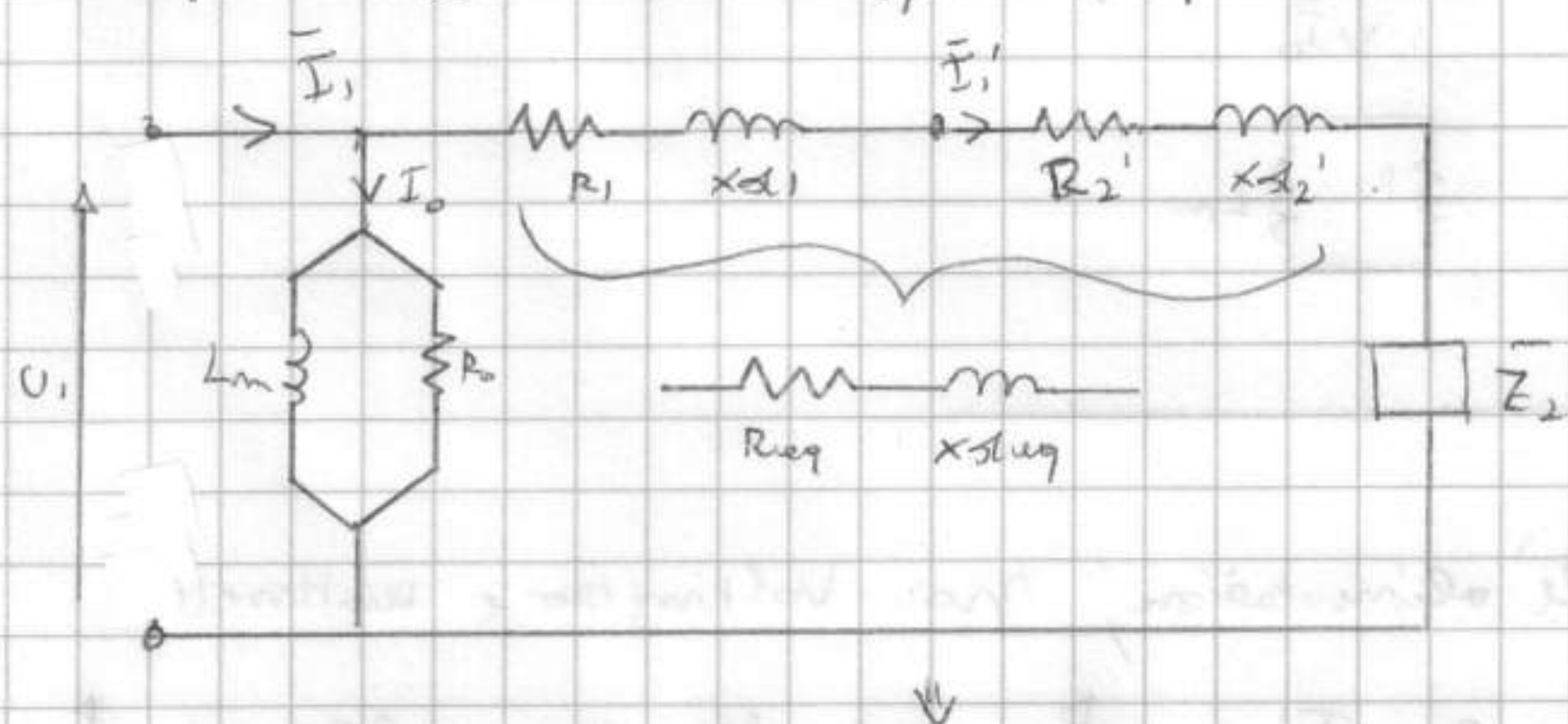
$$P_{cu2} = 3 I_2^2 R_2 \text{ [nel secondario]}$$

$$P_{Fe} = (E_1^2 / R_0) \cdot 3 \rightarrow \text{maius} \text{ unq in trifase}$$

Per collocare i parametri si fanno le prove a vuoto e in cortocircuito.

Circolo si può semplificare ulteriormente.

$I_0 \approx 4 \div 8\% I_1 \rightarrow$ possiamo fare approx. e quindi spostare $\frac{R_0}{3}$ in ingresso [si trascura effetto rispetto a I_0 e I_1]



Possiamo collegare in serie gli elementi e allora R_{eq} e X_{eq} .

Si fa prova per il trasformatore.

16/12/05

Prova a vuoto: si alimenta il primario e nel secondario non c'è carico

DI CORTOCIRCUITO: " " " " e si cortocircuita il secondario

Quando si progetta il trasf. lo si fa in base ai seguenti stati nominali:

- POTENZA APPARENTE NOMINALE: $S_n = U_{n1} I_{n1}$
→ si calcol.

- TENSIONE NOMINALE: U_{n1} [di tipo di isolante e modo che dovranno]

monofase]

[Corrente e' rilevabile e non e' dato gi' tarare]

- Val monitorio quando e' alimentato il primario e al 2 c'e' il vuoto
- Il rapporto tra U di ingresso e uscita e' $k_T = \frac{U_1}{U_2}$; e' uguale a km
- n e' stella-stella [Y-Y] e anche per trian-trian [D-d]; e' pari a $k_m/\sqrt{3}$ n D-Y; $k_T = k_m \sqrt{3}$ n Y-d

A vuoto $I_2 = 0 \Rightarrow U_2 = E_2$ e quindi $I_1' = 0$ e - poiche' abbiamo

rapporto $\frac{U_1}{U_2}$, $U_1 = E_1$. Quindi $\frac{U_1}{U_2}$ a vuoto = k_T

si da $\frac{U_{m1}}{U_{m20}}$ a vuoto; non il risultato ma il valore di U_{m1} e U_{m20}

(es. ex gli media a barre: $\frac{20kV}{400V}$). \hookrightarrow si da $\frac{U_{m1}}{U_{m20}}$ (ten. considerate xk'e non sempre si raggiunge entro stella). A vuoto misuro la U_{m1}

Si cercano le cond. nominali; la R_0 rappresenta le perdite \rightarrow pensiamo dire di facciamo prova nelle condizioni nominali di perdite del circuito ferromagnetico.

Per fare prova a vuoto, cio' che ci rimane nel circuito e' solo la 1' parte:



Metteremo amperometro in serie all'alimentazione, poi Voltmetro e Wattmetro

Alimentiamo con U_{m1} . Misuriamo la I_{10} . Poi col W. metro abbiamo P_0

che e' esprimibile [nel t. monofase] = $U_{m1} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_{10}$

(aviamo $U_2 = E_2$, $I_1 = I_{10}$, $E_1 = U_1$)

Si puo' conoscere lo sfasamento

Quando trasf. e' in esercizio cio' che riguarda la I_{10} e nulla, non e' cambiato il valore. Si possono

ricavare i parametri del circuito equivalente. Sappiamo che $R_0 = \frac{U_{m1}^2}{P_0} \Rightarrow$

22) tramite questa prova si ricava la "resistenza" dovuta alle perdite

del ferromagnete. lo stesso per L_m ; $X_m = \omega L_m$. $\bar{U}_m = I_{10} \bar{Z}$

dove $\bar{Z} = \frac{R_0 + jX_m}{R_0 + jX_m} \rightarrow$ conoscendo R_0 e dal valore di \bar{Z} troviamo X_m .

Si conosce la frequenza costante. Si indica ω_m (fm) [≈ 60 Hz]

Le perdite nel ferromagnete d'onde da f sui fenomeni elettrici.

Il costruttore da:

- $P_0 \% = (P_0 / A_m) \cdot 100 \rightarrow$ tramite A_m abbiamo P_0 [$P_0 \approx Fe$], sempre con alimentazione fatta con valori nominali.

Se è alimentato da $U \leftrightarrow$ possiamo ricavare le perdite semplicemente

da $R_0 = U_{1r}^2 / P_0$; In generale $PFE \approx P_0 = [x \text{ ogni } U \text{ applicata}] = P_{0n} \left(\frac{U^2}{U_{1n}^2} \right)$

quindi $PFE = \frac{P_0 \% \cdot A_m}{100} \cdot \left(\frac{U}{U_{1n}} \right)^2$ \rightarrow tramite i dati di targa n° possiamo calcolare le perdite

nel ferromagnete $\forall U$ applicata

- corrente a vuoto (I_{10}) data in % $\rightarrow I_{10} \% = \frac{I_{10}}{I_{1n}} \cdot 100$

Se $P_0 \% = \left(\frac{P_0}{A_m} \right) 100$ e facciamo $\frac{P_0 \%}{I_{10} \%}$ n° ottiene:

$$\frac{P_0 \%}{I_{10} \%} = \frac{I_{1n}}{I_{10}} \cdot \frac{P_0}{A_m} \quad \text{Sostituendo entrambe:} \quad \frac{U_{1n} I_{10} \cos \varphi_{10}}{U_{1n} \cdot I_{1n}} \cdot \frac{I_{1n}}{I_{10}} \Rightarrow$$

il rapporto tra i due dati forniti ci da lo sfamento: $\frac{P_0 \%}{I_{10} \%} = \cos \varphi_{10}$

Trasformatore trifase: $P_{\text{molt}} \times 3$ e $U \times \sqrt{3}$

$$P_0 = \frac{U_{1n}^2}{P_0} \quad ; \quad \text{se } P_0 = 3 U_{1n} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_{10} \quad \text{Gli altri dati sono}$$

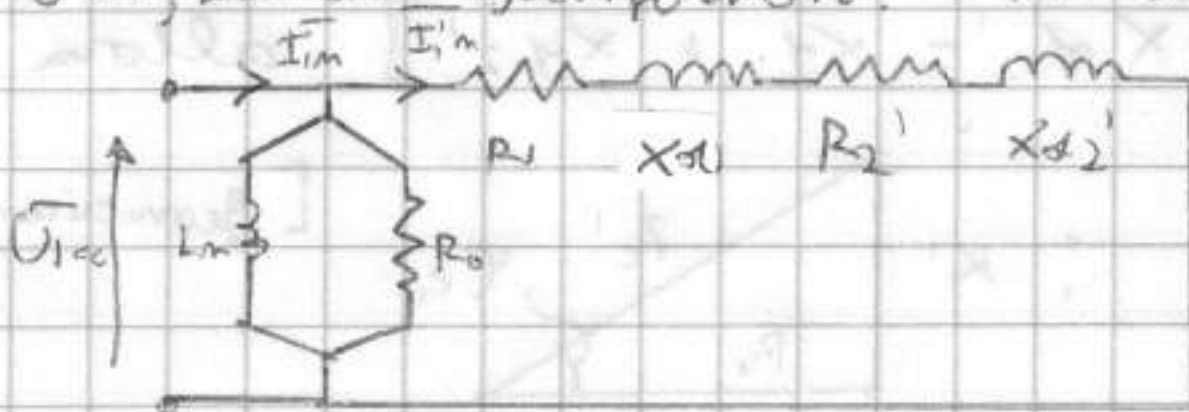
inalterati; anche nel trifase n° ha $P_0 \%$

x

PROVA DI CORTOCIRCUITO

Determina i valori della η perduta negli avvolgimenti; cioè R_1, R_2

e L_1, L_2 di dispersione. Il secondario ha $\bar{Z}_2 = 0$ [$R_2' = R_2 \cdot k^2$ e



$$X_{d2}' = X_{d2} \cdot k^2$$

Perdite legate a resistenza e

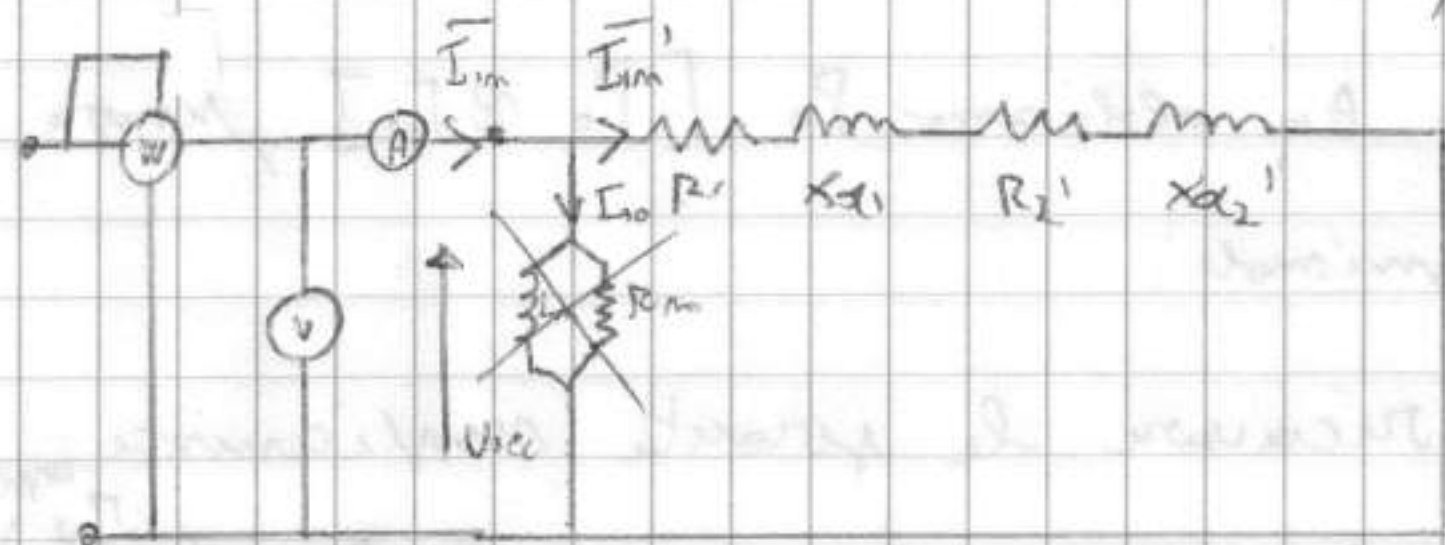
correnti che fluiscono. Dobbiamo far circolare le correnti nominali.

Dobbiamo mettere una V_{cc} [$I_{1m} = \frac{I_{2m}}{n}$ e $A_m = U_{1m} \cdot I_{1m} = U_{2m} \cdot I_{2m}$]

quindi avere I_{1m} . Si produce caduta di tensione su elementi piccoli e

dobbiamo applicare QUESTA tensione, e non quella nominale altrimenti

avrei corrente enorme. Si mette Amp., Voltm. e Voltm.



Aumentiamo piano piano la V . Quando la I misurata $= I_m$ allora siamo

in cond. nominale e misuriamo V_{cc} ($< U_{1m}$). Misuriamo quindi la

pot. di cortocircuito P_{cc} . Possiamo P_0 e' $< dell' 8\%$, al quoziente la

potiamo trascurare. Quindi $P_{cc} \approx P_{cu}$ [in c. nominale] $= (R_1 + R_2') I_{1m}^2$

[$I_{10} = 0$, $V_{cc}/7$ e' molto trascurabile] Possiamo quindi ricavare la

$R_e' = R_1 + R_2'$ cioè la resistenza equiv. degli avvolgimenti del
trasformatore vista al primario.

[monofase]

- E' fornito $P_{cc} \% = \frac{P_{cc}}{A_m} \cdot 100$

e la V_{cc}
in % :

$$V_{cc} \% = \frac{V_{cc}}{U_m} \cdot 100$$

Per un transf. trifase (mg) misuriamo tutta la

potenza, quindi $P_{cfe} = 3 (R_1 + R_2') I_{1m}^2$, normalmente si hanno le V e

non le U . Ci sta [il costruttore] $V_{cc} \% = \frac{V_{cc}}{V_{1m}} \cdot 100$

le rapporti non cambia. Rappr. tra $P_{cc} \%$ e $V_{cc} \%$.

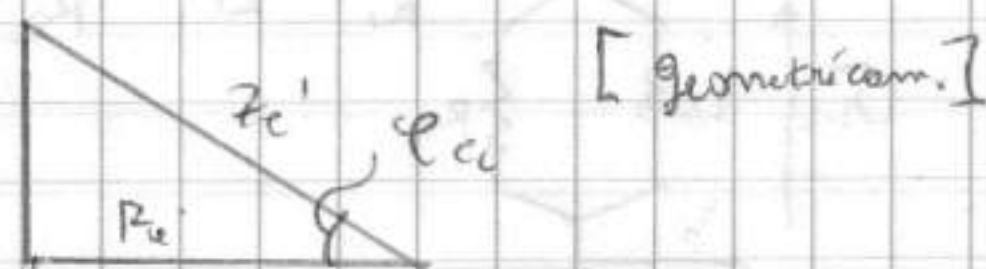
$$\frac{P_{cc} \%}{V_{cc} \%} = \frac{P_{cc}}{A_m} \cdot \frac{U_{1m}}{V_{cc}} = \frac{V_{cc} \cdot I_{1m} \cdot \cos \varphi_{cc}}{U_{1m} \cdot I_{1m}} \cdot \frac{U_{1m}}{V_{cc}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{P_{cc} \%}{V_{cc} \%} = \cos \varphi_{cc}}$$

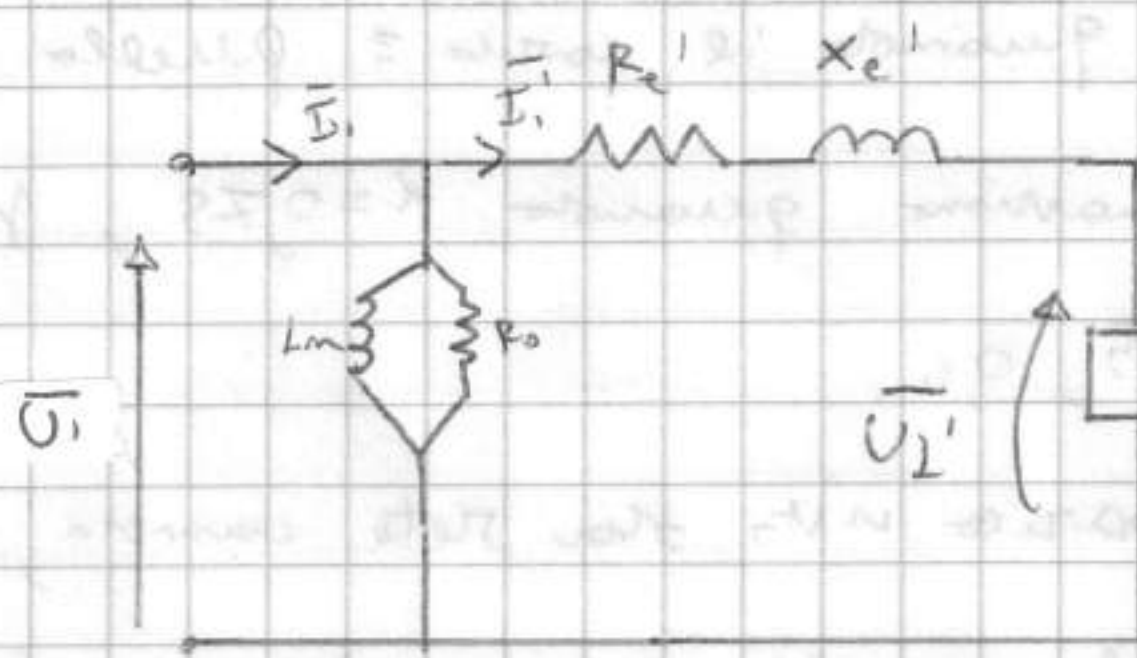
dove φ_{cc} e' l'angolo relativo all'impedenza
dominata a R_{eq} e X_{eq} [$R_1, R_2', X_{\sigma 1}, X_{\sigma 2}'$]

Se $Z_{eq}' = R_e' + jX_{\sigma e}'$ [$R_e' = R_1 + R_2'$ e $X_{\sigma e}' = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}'$] allora

$$\textcircled{24} \quad \frac{R_e'}{Z_{eq}'} = \cos \varphi_{cc} \quad \text{mentre} \quad \frac{X_{\sigma e}'}{Z_{eq}'} = \sin \varphi_{cc}$$



Quindi $X_e' = R_e' \tan \varphi_c \rightarrow$ det. i parametri "longitudinali" del trasformatore \Rightarrow si può rappresent. numericamente il transf.

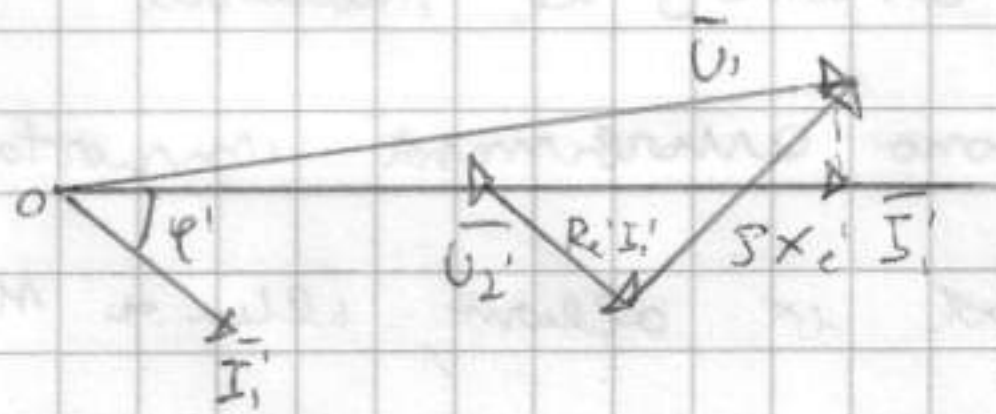


Spesso si chiede \bar{U}_2' , quanto deve essere \bar{U}_1 a quell. \bar{U}_2' ? Cioè la

costante di tensione su Z_c .

Si può semplificare che parametri trasformatore sono piccoli

Diag. vett.



$\varphi' =$ angolo di carico

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2' + R_e' \bar{I}_1 + j X_e' \bar{I}_1$$

Si può confrontare il vertice con la sua proiezione:

$$U_1 - U_2' = \Delta U = \bar{I}_1 (R_e' \cos \varphi' +$$

$X_e' \sin \varphi')$ Se molt. conv. per U_2' : $\Delta U = \frac{U_2' I_1}{U_2'} (R_e' \cos \varphi' + X_e' \sin \varphi')$

$U_2' I_1 \cos \varphi'$ è la p attiva assorbita dal carico. Quindi

la costante di tensione $\Delta U = \frac{P_2' \cdot R_e' + Q_2' X_e'}{U_2'}$ $[Q_2' = U_2' I_1 \sin \varphi']$

Si tiene conto del coeff. di carico α che indica quanto è caricato:

$$\alpha = \frac{I_2}{I_{2n}} = \frac{I_1}{I_{1n}}$$

Se $\alpha = 0$ tr. e' a vuoto, $\alpha = 1 \rightarrow$ cortocircuito

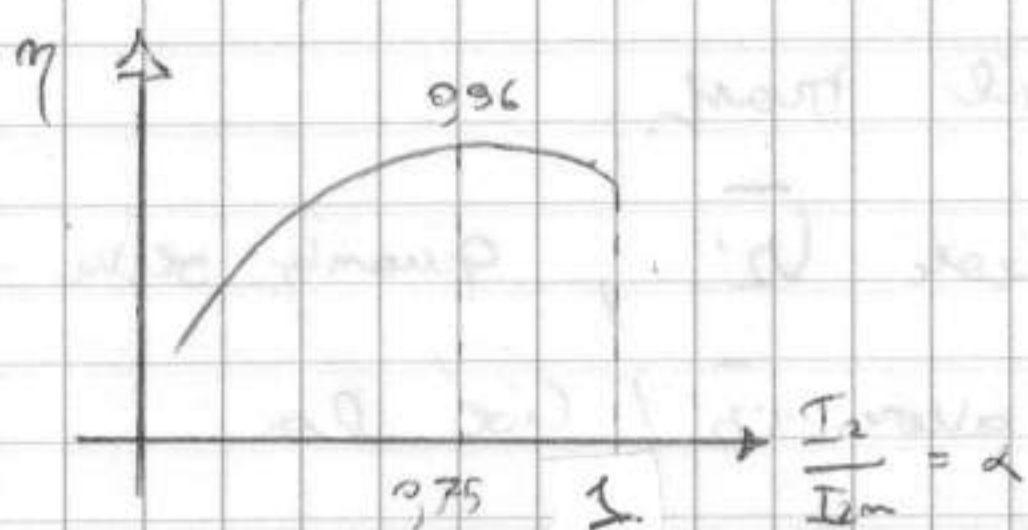
Sappiamo $U_{cc} \% = \Delta U$ su Z_c cortocircuitato [costante quando tr. e' pieno o a I_{1n}]. Si può dire in generale: $\Delta U = U_{cc} \% \cdot \alpha (\cos \varphi' \cos \varphi_c + \sin \varphi' \sin \varphi_c)$. La II si può scrivere:

$$\Delta U = \frac{U_2' \cdot I_1}{U_2'} (Z_e' \cos \varphi_c \cos \varphi' + Z_e' \sin \varphi_c \sin \varphi') = (\text{unisco}$$

$$\alpha, \bar{I}_1 = \alpha I_{1n}) = \frac{U_2'}{U_2'} \cdot \alpha I_{1n} \cdot Z_e' (\cos \varphi_c \cos \varphi' + \sin \varphi_c \sin \varphi')$$

Quindi $I_{1n} \cdot Z_e' = U_{cc}!$ $\rightarrow \Delta U = \alpha U_{cc} ($

(usando la %: $U_{cc} = U_{cc} \% \cdot \frac{U_{1n}}{100}$) $\rightarrow \Delta U = \frac{U_{1n} \cdot U_{cc} \%}{100} \cdot \alpha ($



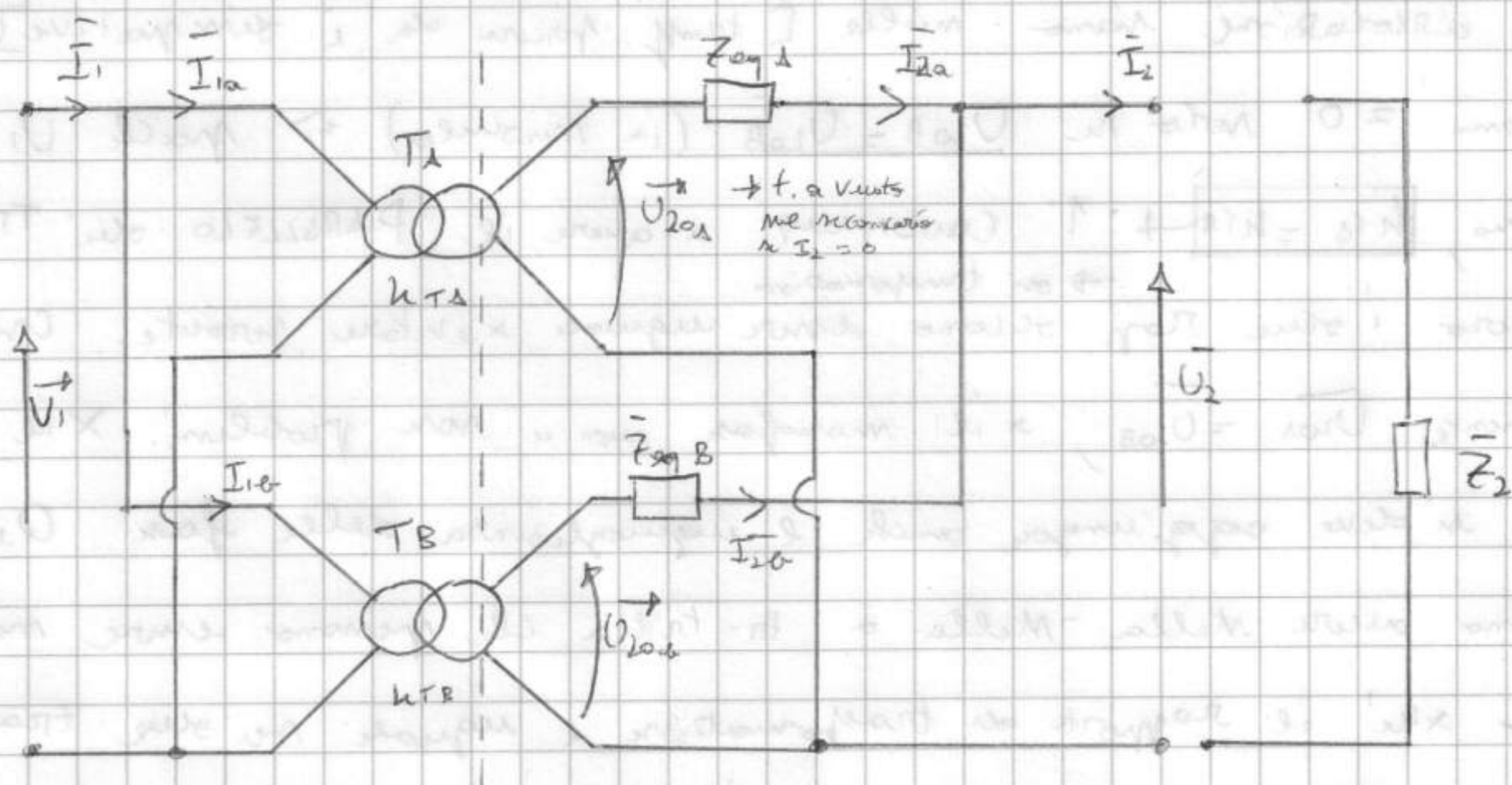
Carico transf. e' α a I_{in} usata. Il η ha andamento buono quando il carico \approx quello nominale, max. quando $\alpha = 0,75$, poi scende sotto a 0,5, 0,4.

Durante il giorno cambiano le utenze, carico visto da rete cambia, e utenza civile il max. si ha la mattina alle 8, 8.30 e nel pomeriggio alle 4.30, 5 [inverno]. Per le utenze si trova industriale c'è variazione diurna / notturna: [grandi fabbriche sono in piena produzione 24/7/365 e quindi il loro consumo è praticamente costante] le industrie + piccole non fanno la notte, quindi il giorno ci sono assorbimenti importanti, durante la notte invece rimangono solo ad ex. allarme, illumin. di sicurezza, ecc.. Quindi se trasformatore dimensionato alla P. max si lavora [quella diurna], la notte lavora con una I molto piccola. In notte le utenze variano dell'ordine di 7-10% rispetto a quelle diurna, quindi lavora il transf. con η molto basso. Per evitare ciò negli impianti industriali si usano 2 trasformatori in // nella cabina di trasformazione, I è \uparrow prevalentemente dimensionato \times la pot. diurna e l'altro \times la pot. notturna. Durante il giorno f. entrambi [lavorano con buone cond. di regime, circa il 75% del carico nominale], invece durante la notte \times evitare che transf. si fonda + grande lavora notte-caricato (10% p.n.) - questo transf. + grande viene SCOLLEGATO, separato dagli impianti, rimane solo quello "notturno". Bisogna garantire che durante il giorno transf. lavorino nelle cond. migliori \uparrow reg. certe regole, inoltre si usano in // \times garantire continuità di servizio negli impianti \rightarrow \times tutti gli strumenti si fa MANUTENZIONE: si deve isolare comp. elettrico, verificare funzionamento, fare operazioni di verifica \times ad ex controllare isolanti e conduttori.

Se abbiamo cabina di trasformazione che alimenta zona alta e all'in,
 (26) teno avere un unico trasformatore, quando ne dobbiamo fare la

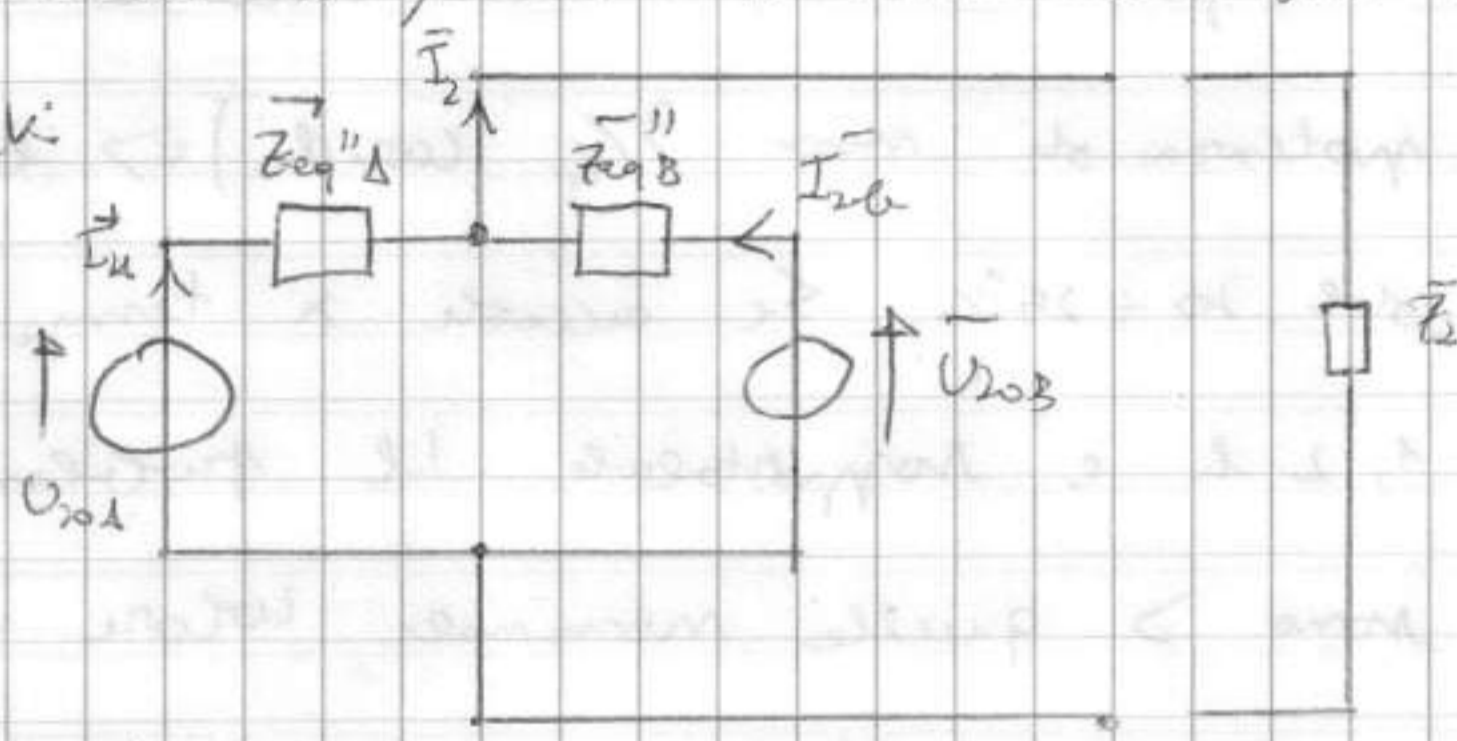
manutenzione tutti gli utenti rimarrebbero scollegati (opere ex. a corso di un quarto). Per evitare ciò in queste cabine si usano 2 transf. in parallelo dove ciascuno dei 2 è dimensionato $\times \frac{2}{3}$ (o $\frac{3}{4}$ al max) di ciò che dovranno alimentare. Alimentano i carichi \times lavorare con $\alpha \approx 75\%$. Quando uno dei due non si può usare (guasto, mant.) si collega e si lascia il 1 transf. ad alimentare tutti i carichi \rightarrow lo fa in cond. di sovraccarico (ola solo è stato dimensionato \times potenza di max $\frac{3}{4}$ carichi) \Rightarrow lavora con $\alpha \approx 1,25 \Rightarrow$ sovraccarico $\rightarrow 1h \approx$ del 20-25%. Se a volte \times tempi brevi (ex. manutenzione) ad ex su 1, 2 h è sopportabile. Il problema è di tipo TERMICO \rightarrow perché cu sono $>$ quelle nominali, calore in eccesso. Se invece c'è un guasto e ci vuole \times tempo \times riparare (e quindi dovrebbe lavorare \times troppo tempo in sovraccarico) vengono scollegati i carichi SECONDA [legati o all'ann. pubblica, o acqua, etc]. Si deve garantire il corretto funz. quando i transf. non sono in //.

Regole (ex. tra. monofase)



$T_A = \text{transf. ideale} + Z_{eqA}$: imp. equiv. al secondario [ignoriamo elementi trasformativi - R_0 e X_m - che nel parallelo non hanno influenza], lo stesso $\times Z_{eqB}$ e T_B . Sono in parallelo che T_A e T_B sono alimentati da stessa tensione, hanno il primario in parallelo. $[V_1]$. In uscita alimentano lo stesso carico \bar{Z}_2 generico.

Cosa accade se $k_{TS} \neq k_{TB}$? A noi interessa in particolare il circuito, dove vale sempre questa relazione: $\bar{I}_{2A} + \bar{I}_{2B} = \bar{I}_2$. Se $\bar{I}_2 = 0$ [non c'è carico], non è detto che le 2 componenti sono nulle, ma potrebbero entrambe essere uguali e opposte e sarebbe molto fastidioso, infatti i due transf. sarebbero percorsi da corrente [e quindi noi si produce $R I^2$] fornita in ingresso. Anche quando non c'è il carico $\Rightarrow \eta = 0$. Questa "corrente di circolazione", con il carico sui due T_A, T_B è data, secondo questo circuito equivalente:



[gen. di tensione $U_{20A} \rightarrow n \cdot \bar{U}_1$, allora $\bar{U}_{20A} = U_1 / k_{TA}$; in serie c'è la $Z_{eq}''A$ al secondario di T_A ; poi c'è posto e su un ramo abbiamo $Z_{eq}''B$ e una tensione \bar{U}_{20B} e di nuovo posto, che è il p.t. di partenza di U_{20B} (e' posto che essenzialmente andrebbe al carico)]. $U_{20B} = U_1 / k_{TB}$. Quando $I_2 = 0$, allora $\bar{I}_{2A} = -\bar{I}_{2B} = \frac{\bar{U}_{20A} - \bar{U}_{20B}}{Z_{eq}''A + Z_{eq}''B}$, vogliamo che anche entrambe le i di circolazione siano nulle [transf. percorsi da i sinipattive] \Rightarrow

lo possiamo ≈ 0 solo se $\bar{U}_{20A} = \bar{U}_{20B}$ (in modulo) \Rightarrow poiché U_1 è la stessa, $k_{TA} = k_{TB} \rightarrow 1$ CONDIZIONE x avere il PARALLELO dei TRANSFORMERS

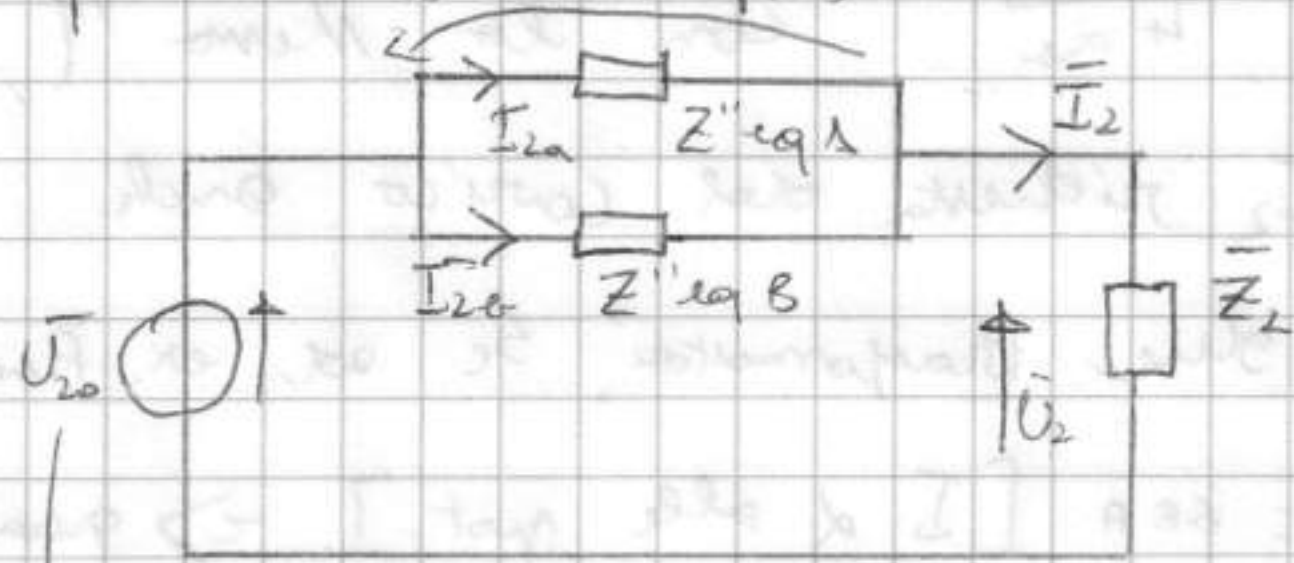
TORI, ovvero i due transf. devono avere uguali x evitare perdite. Cmq anche vettorialmente $\bar{U}_{20A} = \bar{U}_{20B}$, x il monofase non è un problema. X il transf. trifase: si deve aggiungere anche l'uguaglianza delle fasi. Quindi si possono avere stella-stella o tri-stella che possono essere messi in parallelo xché il rapporto di trasformazione è uguale nei due transf.

per emulo $<>$ le reg. n. x l'uguaglianza delle fasi non è un gruppo \rightarrow annullata la corrente di circolazione [la i che scorre nel trasformatore quando non è collegato un carico]

Ci vogliono altre 2 condizioni x avere un ottimo esercizio.

28) Collegiamo il carico ai paralleli; verificata la 1 cond., si ha

$U_{20a} = U_{20b}$ e quindi gli estremi del generatore del circuito equivalente hanno lo stesso potenziale anche se fisicamente non sono collegati; quindi da un p.t. di vista elettrico li possiamo considerare tali:



tanto è uguale $[U_2 = \text{secondari in //}]$

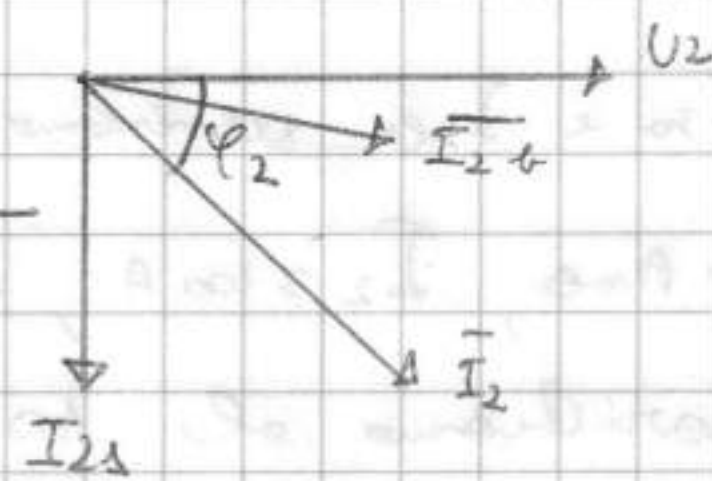
Collegiamo quindi Z_2 e N ha

$$\bar{I}_{2a} + \bar{I}_{2b} = \bar{I}_2$$

Supponiamo ora

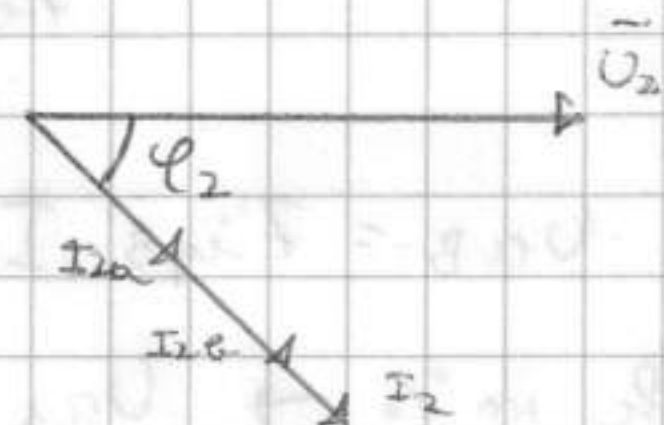
un carico sh.

induttivo.



I_{2a} e I_{2b} sono sfasate diversamente a causa delle 2 impedenze, N fornire uguali non lo sarebbe. $\rightarrow \tan \varphi_{cc} = \frac{X_{eq}}{R_{eq}}$ e' il tangente della variazione di sfasamento di I_{2x} rispetto all'altra e a U_2 .

Per far sì che I_{2a} e I_{2b} siano sfasate nello stesso modo rispetto a U_2 i due angoli $\varphi_{ccA} = \varphi_{ccB}$ [e $\cos \varphi_{ccA} = \cos \varphi_{ccB} \rightarrow$ e' costante che lo leggiamo da ogni stato di carica] $\rightarrow I_{2a}$ e I_{2b} sono sfasate dello stesso angolo rispetto alle U di uscita \Rightarrow anche I_2 e' sfasata dello stesso angolo φ_2 rispetto al carico rispetto a U_2].



In queste condizioni $\bar{I}_2 = \bar{I}_{2a} + \bar{I}_{2b}$ in forma

algebrica \Rightarrow a parità di I_2 si sono minimizzati

le dimensioni delle componenti che si sommano \rightarrow la somma algebrica fa in modo che le 2 componenti in $| |$ siano le minime possibili, sono nella stessa retta, non ci sono proiezioni.

Per qualsiasi richiesta del carico, i due trasformatori erogano la minima corrente possibile e lavora alle cond. migliori. \Rightarrow perdite \propto effetto

Joule minime. 2 CONDIZIONI: $\cos \varphi_{ccA} = \cos \varphi_{ccB}$

[si verificano da ogni stato di carica].

3° Cond. Quando mettiamo i trasformatori in parallelo può accadere che non troviamo stesso modello [ex amplificatione canonica transformation in quadrature in espansione] di potenza. Se abbiamo due trasformatori

con $A_{ma} \neq A_{mb}$, noi vorremmo che I_{2a} di A_{ma} e I_{2b} di A_{mb} ,

ovvero che $\frac{I_{2A}}{I_{2B}} = \frac{A_{mA}}{A_{mB}} = \frac{U_{20A} \cdot I_{20A}}{U_{20B} \cdot I_{20B}}$ [al momento]; a causa della

1° cond. $U_{20A} = U_{20B}$, quindi $\frac{I_{2A}}{I_{2B}} = \frac{I_{20A}}{I_{20B}}$. Se $d_A = d_B$ vuol dire che i trapp lavorano con lo stesso η , molto importante che all'aumentare di I_2 richiesta dal carico anche I_{2A} e I_{2B} aumentano d alla potenza dei due trasformatori. Se ad ex. $A_{mA} = \frac{1}{2} A_{mB}$, $I_{20} = 100 A$, allora $I_{2A} = 33 A$ e $I_{2B} = 66 A$ [I d alla pot.]. \Rightarrow quando carichiamo al 100% uno dei due trasformatori anche l'altro è caricato al 100% [$d_A = d_B$] + lavorano contemporaneamente alla cond. di carico nominale \Rightarrow evitiamo che all'aumentare della pot. di carico un trapp. lavori sotto carico e l'altro o uno > del 100%. Dall'esterno non lo si nota ma col tempo si sganneggia.

Ch parametro dai dati di targa garantisce questa relazione? + la TENSIONE DI C.C. % DEL TRASF. Durante la prova di c.c. vogliamo che $\frac{I_{2A}}{I_{2B}} = \frac{I_{20A}}{I_{20B}}$; moltiplicando numeratore per Z_{eqA} e denominatore per Z_{eqB} si ha $\frac{Z_{eqA} \cdot I_{2A}}{Z_{eqB} \cdot I_{2B}} = \frac{Z_{eqA} \cdot I_{20A}}{Z_{eqB} \cdot I_{20B}}$ dove $U_{cA} = Z_{eqA} \cdot I_{20A}$

e $U_{cB} = Z_{eqB} \cdot I_{20B}$. Per avere $d_A = d_B$ nottuenendo deve avere $\frac{U_{cA}}{U_{cB}}$ che in % $\rightarrow U_{cA} \% = \frac{U_{cA}}{A_{mA}} \cdot 100$ e $U_{cB} \% = \frac{U_{cB}}{A_{mB}} \cdot 100$; se $\frac{U_{cA} \%}{U_{cB} \%} = 1$, allora $\frac{U_{cA}}{U_{cB}} \cdot \frac{A_{mB}}{A_{mA}} = 1 \rightarrow \frac{U_{cA}}{U_{cB}} = \frac{A_{mA}}{A_{mB}} = \frac{Z_{eqA} \cdot I_{20A}}{Z_{eqB} \cdot I_{20B}}$

Se $U_{cA} = U_{cB}$ allora le correnti erogate dai due trasformatori sono in relazione con le due A_m che le due cosette di tensione dovranno essere uguali e quindi $Z_{eqA} \cdot I_{2A} = Z_{eqB} \cdot I_{2B}$ [e' il // dei trapp. che rende uguali le cosette di tensione] e cioè $\frac{Z_{eqA}}{Z_{eqB}} = \frac{I_{2B}}{I_{2A}}$, nottuenendo si ha

$\frac{I_{2B}}{I_{2A}} \cdot \frac{I_{20A}}{I_{20B}} = 1$ e quindi il rapporto tra le correnti e' uguale al rapporto tra correnti nominali (correnti d ora e nominali).

3° CONDIZIONE: $U_{cA} \% = U_{cB} \%$ (si verifica che $d_A = d_B$).

AUTOTRASFORMATORE

È un dispositivo che deriva al trasformatore.

Composto da avvolgimento primario su

N_1 spire alimentato da U_1 [e percorso da I_1]

e come secondario una quota parte di

N_1 : viene derivato in un punto della bobina

in collegamento al capo di N_2 spire [che

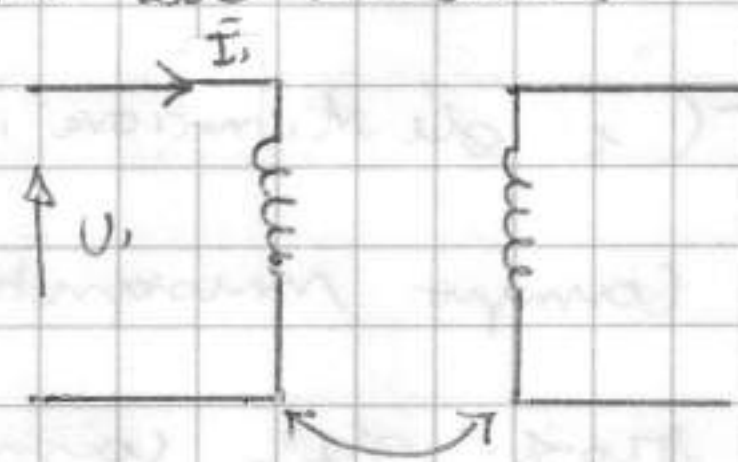
stanno dentro le N_1 spire]. Anche qui $\frac{N_1}{N_2} = k_{aut} = \frac{U_1}{U_2}$.

Serve a cambiare il livello di una tensione. Perché lo si usa?

Economicamente è vantaggioso rispetto a trasformatore, che si usa meno rame, guastano del 20-30% e x le grane trasformazioni [grandi impianti di trasmissione di energia] è notevole + si usano x potenze di ≈ 1000 MVA.

- L'inconveniente è la mancanza di isolamento tra ingresso ed uscita.

Per transf. "standard" il transf. di energia tra il primario ed il secondario è fatto dall'accoppiamento mutuo degli oggetti e non c'è collegamento fisico



con un conduttore, transf. magnetico \Rightarrow transf. di φ del circuito elettromagnetico che - quando aumenta - si satura. Qui invece c'è anche il collegamento oltre all'accoppiamento, c'è modo elettrico. Se si fanno un quarto [I_2 esagerata] anche I_1 cresce in maniera esagerata non c'è più il tempo della saturazione.

Conviene quindi in gran parte che oltre al risparmio gli impianti sono fuori città, non direttamente legati agli utenti, e sempre riforniti. Si usano invece i trasformatori negli impianti + vicini.

GRUPPO MAGNETICO ROTANTE

9/1/06

Possono div. in 3 categorie:

- SINCRONE [o a INDUZIONE] (1)

- SINCRONE

- CORRENTE CONTINUA

(1) i più usati [ex. condizionamento, più usati in campo ind. e civ. - ma in monopole (elettrodomestici) - de trifase] - (motori) le SINCRONE generano energia elettrica; usate come motori (tratt. elettronici).

MACCHINE in CONTINUA impiegate soprattutto in robotica e piccoli ausiliari [ex. periferiche PC].

Macchine elettriche convertono en. mech in en. elettrica e viceversa [generatore e motore].

- Mac. SINCRONE: parte della macchina ruota ad una velocità sincrona con il campo magnetico rotante. C'è parte FISSA [STATORE] e parte ROTANTE [ROTORE]. Stat. riceve V ed I , la trasforma in e. mech fornita al rotore. Nel generatore è il inverso, en. mech al rot. che porta I a stat.

- C'è distinzione in INDOTTO e INDUTTORE. Dentro a macchina c'è campo magnetico che ruota; a seconda del rapporto della pos. del campo, questo si chiama INDUTTORE (elemento che produce un flusso). Ex: transf: il primario è l'INDUTTORE. "INDOTTO" è elemento che a causa di B riceve V ed I o coppia

RELAZIONI tra B e E

- Generatore:

$$e = U \times B \cdot l$$

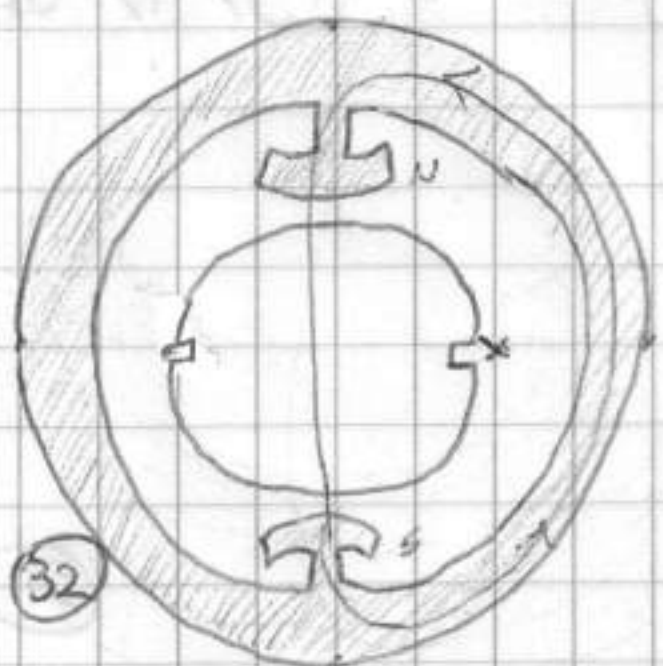
- Motore:

$$F = i l \times B$$

Coppia di F che ruota la macchina

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

ROTORE [di ferro magnetico al cui interno ci sono 2 coils come sono



intorno gli avvolgimenti, un conduttore di rame chiuso in cc. Poi ci sono le scarpe polari [STATORE] con le 2 polarità. Ci sono linee di flusso che si concatenano con spira in cc immersa in B prodotta

una magnet permanente. Se ruotiamo lo STAT. a V costante, il
 motore vede un flusso che cambia & le linee di flusso tagliano
 in maniera <> il rotore [Φ cambia nello spazio] \rightarrow effetto e'
 rotaz. rotore che segue motore $x \rightarrow$ a pos. di minima energia. Rot.
 ruota con $V \propto x$ & le linee di Φ sarebbero
 le stesse \Rightarrow \cancel{I} var. del flusso, non c'è Fem e coppia (V varia
 legg. inferiore). Se rotore fosse trasparente ogni attrito scopo primo
 colpo non si ferma mai, ma \exists attriti, quindi dobbiamo metter
 sempre coppia.

$$S = \frac{M_s - M_R}{M_s}$$

\uparrow V. di rot.
 Scorrimento

Quando c'è B rotante con M_s , a causa
 di ciò c'è scorrimento S . Conversione me-
 mecc. Abbiamo realizzato TRASDUTTORE

[mecc - el - mecc]

Per realizzare MACCHINA!

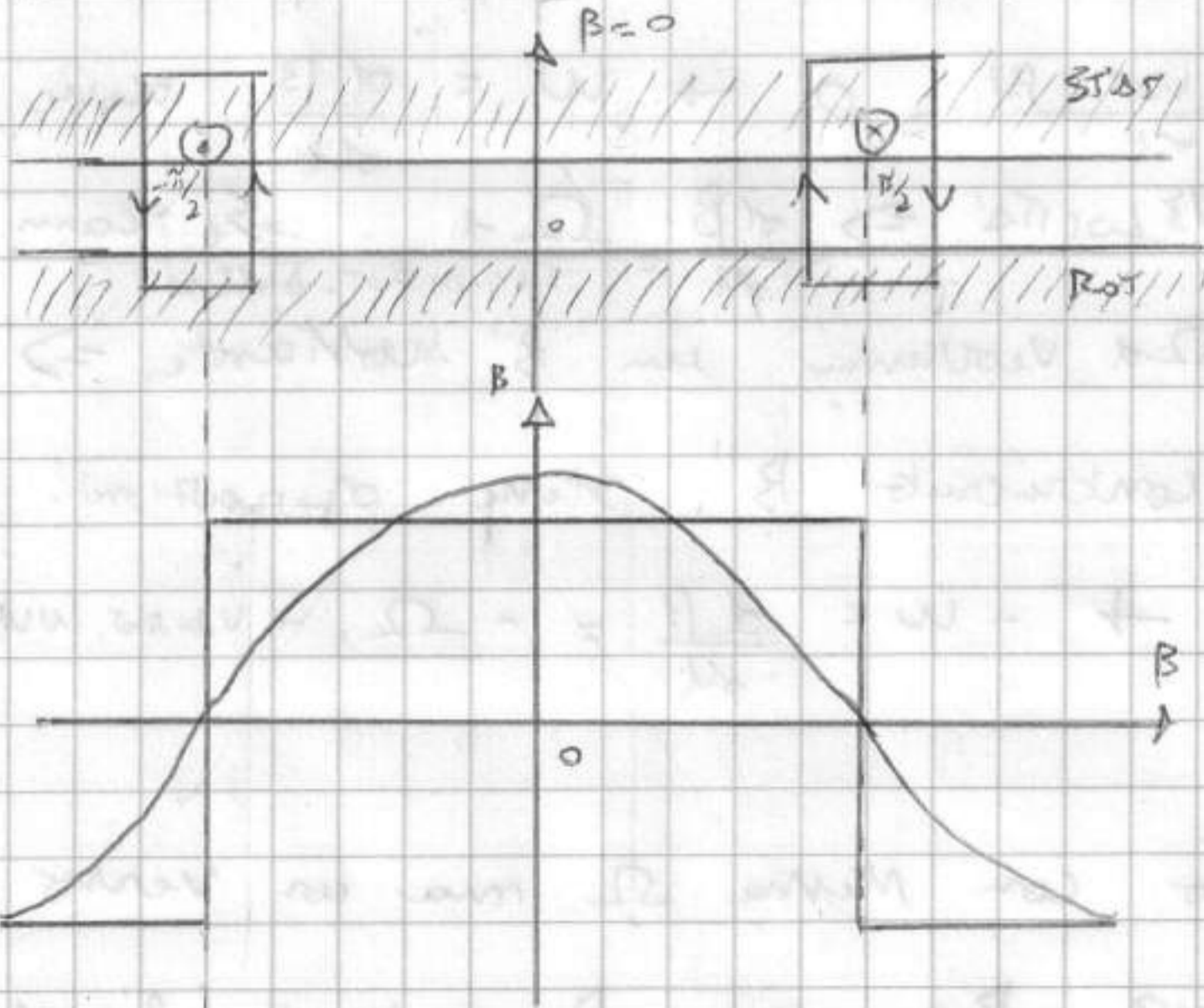
B si può produrre con I che passa in spira.

Conr. Motore e Motore, a forma di TOROIDE con
 mat. ferromagnetico; avvolgimento su N spire con

Corr. costante che produce Φ . [Il TRASFERRO e' parte

in aria tra rot. e Mot.] Se tagliamo in sezione il trasf. e graf.

chiamo su axe orizzontale si ha. Ci muoviamo da $\beta = 0$ in giù.



Smacchiamo le linee di flusso.

B ha andamento a onda quadrata

ci interessa la 1^a armonica della

f. di onda [B per ora non ruota]

$$I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 N I}{2S} \quad [S = \text{trasf. macchina}]$$

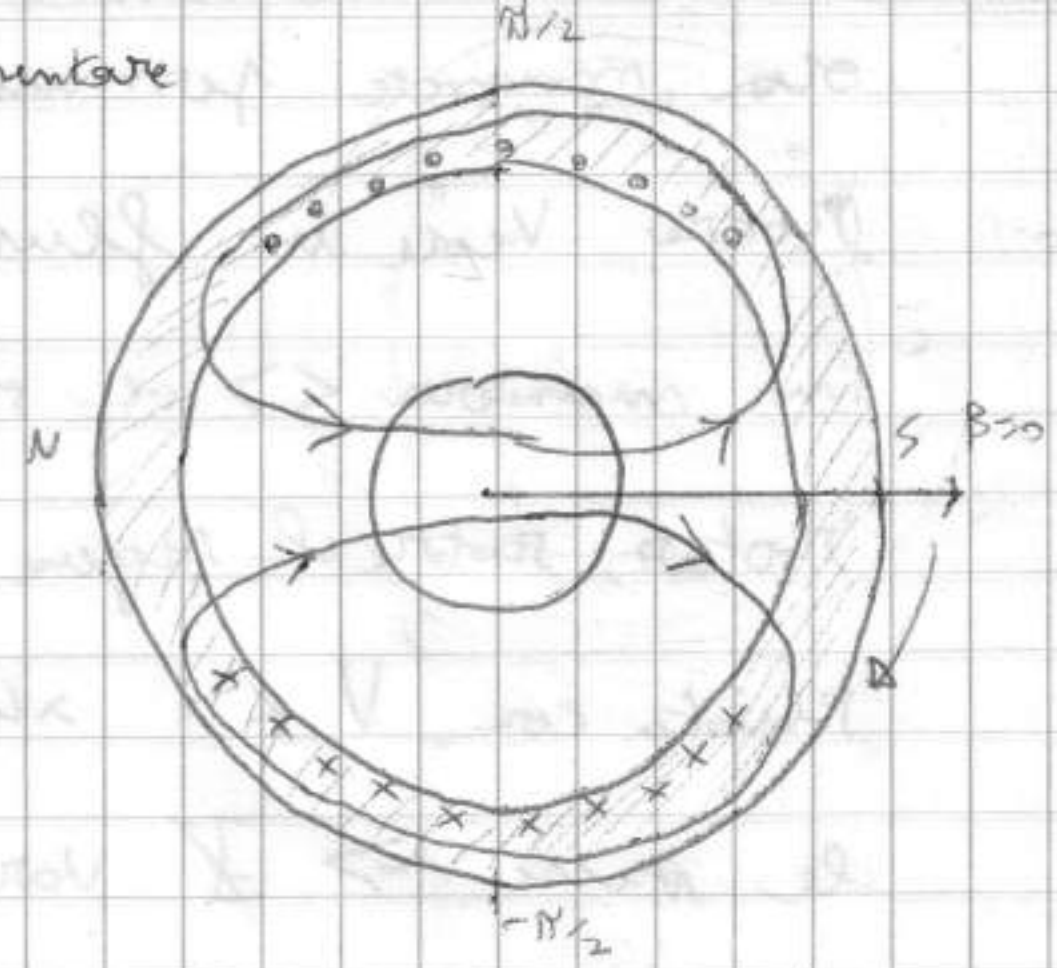
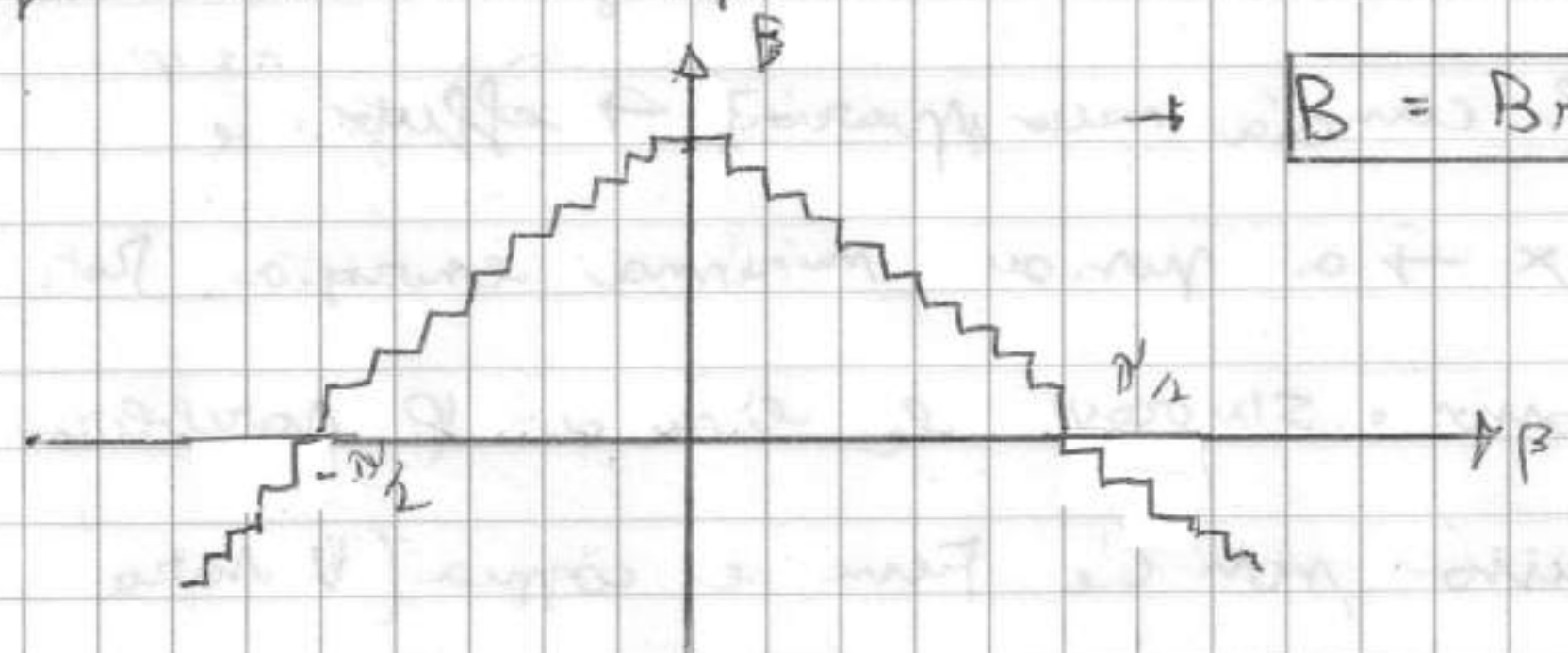
"2" xke' attraversiamo 2 volte il traf.

Per avvicinare l'onda quadrata

alla sinusoidale, si distribuisce l'avvolgimento lungo la circonferenza. (3)

Ha Matrice. Quindi le linee di $f \rightarrow$ ed aumentare

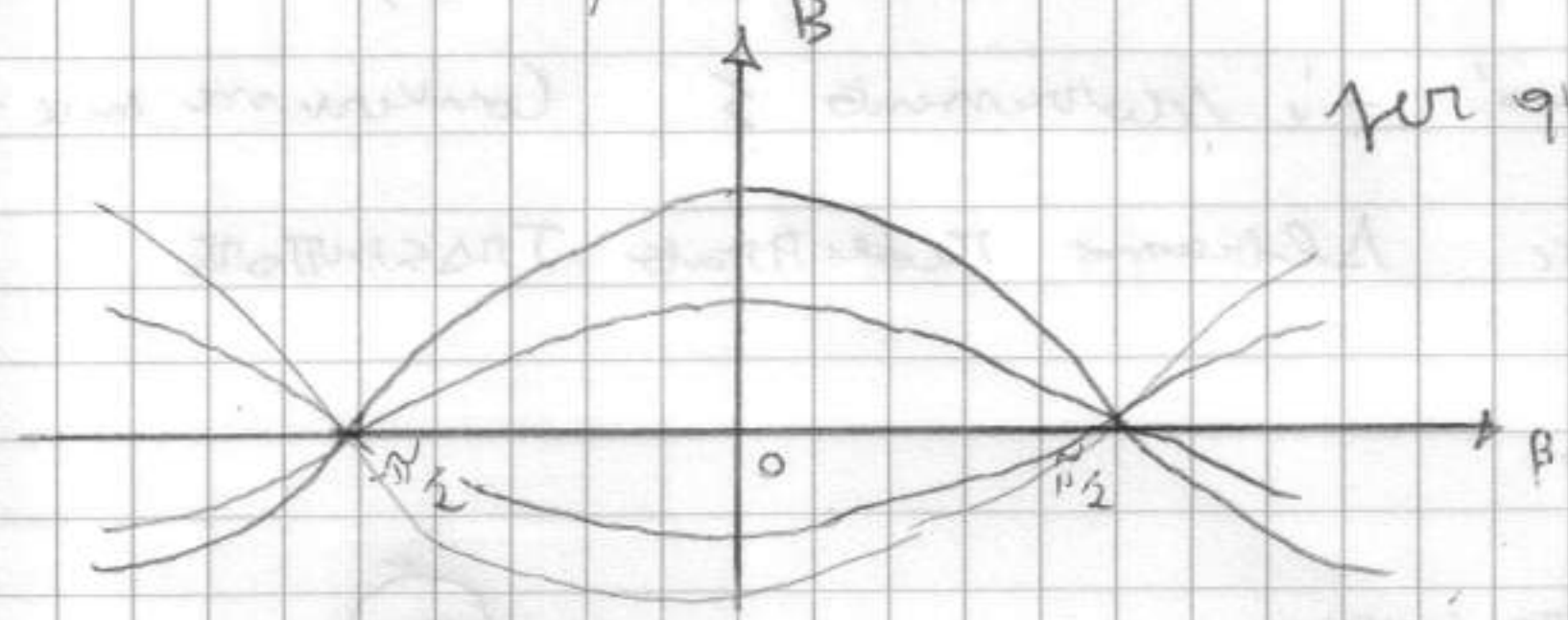
fino a $\beta = 0$ e poi a diminuire.



S' ottenere questo andamento \rightarrow normalmente N e' molto grande e si può pensare a sinusoidale.

Applichiamo ora una $I = \sin \omega t$ (alternata) $i = I_m \sin(\omega t)$

Quindi $B(t, \beta) = B_m \sin \omega t \cdot \cos \beta$ Ridescriviamo linee isocorrente



per questo campo. Abbiamo \leftrightarrow valore

a moltiplica di $\sin \omega t$, tranne per $\pi/2$ e $-\pi/2 \rightarrow$ rimangono fissi. \rightarrow funzionano la PULSANTE \Rightarrow non produce

ancora un B rotante; $\sin \omega t \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\omega t - \beta) + \sin(\omega t + \beta)]$

Quindi $B(t, \beta) = \frac{B_m}{2} [\sin(\omega t - \beta) + \sin(\omega t + \beta)] \rightarrow$ due contributi all'induzione, B' e B'' ; $B(t, \beta) = B'(t, \beta) + B''(t, \beta)$

$[B'(t, \beta) = \frac{B_m}{2} \sin(\omega t - \beta)$ e $B''(t, \beta) = \frac{B_m}{2} \sin(\omega t + \beta)]$

Campi di Campo DIRETTO

camp. di Campo INVERSO

B' rappresenta un B costante se $\omega t - \beta = \text{costante}$ lungo tutto il tragitto. $\omega t - \beta = \text{cost} \Rightarrow \frac{d(\omega t - \beta)}{dt} = 0 \rightarrow \omega = \frac{d\beta}{dt}$ dove

$\frac{d\beta}{dt}$ e' la var. angolare, e' una VELOCITA' $\Rightarrow \frac{d\beta}{dt} = \frac{\Omega}{L.V. DI ROT. DIRETTA}$ Se cam-

miniamo lungo il tragitto con $v = \Omega r$ muoviamo un B' costante. \Rightarrow

B' sarebbe ROTANTE. (e' anche contributo B'' . Stessa operazione).

$\omega t + \beta = \text{cost} \Rightarrow \frac{d(\omega t + \beta)}{dt} = 0 \rightarrow -\omega = \frac{d\beta}{dt} = -\Omega$; \rightarrow V. DI ROT. INVERSA

(camminiamo in senso contrario) \Downarrow

\rightarrow due campi mag. che ruotano con stessa Ω ma in verso contrario e si ha campo pulsante. Per avere B rotante finale

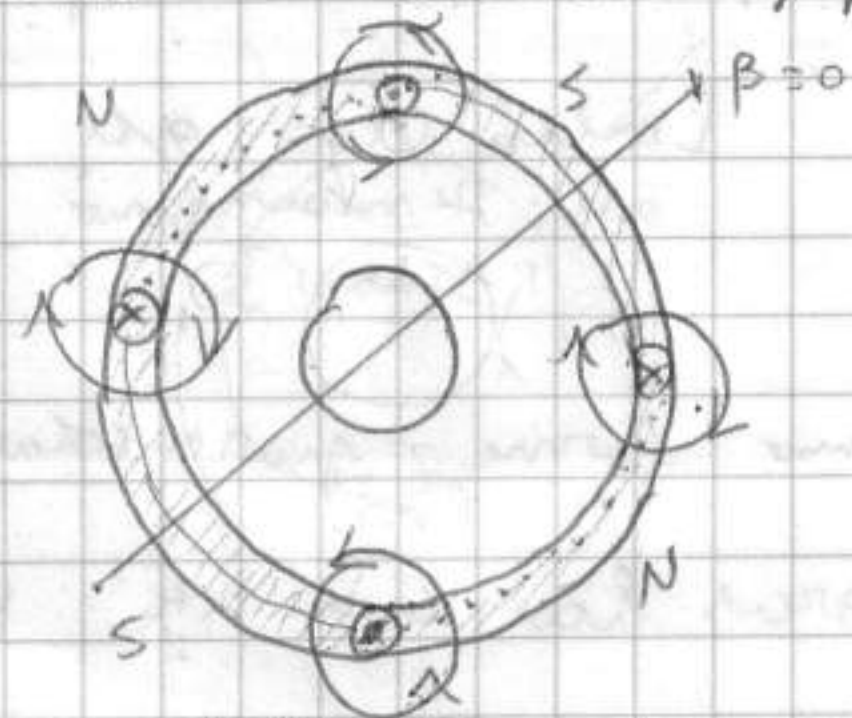
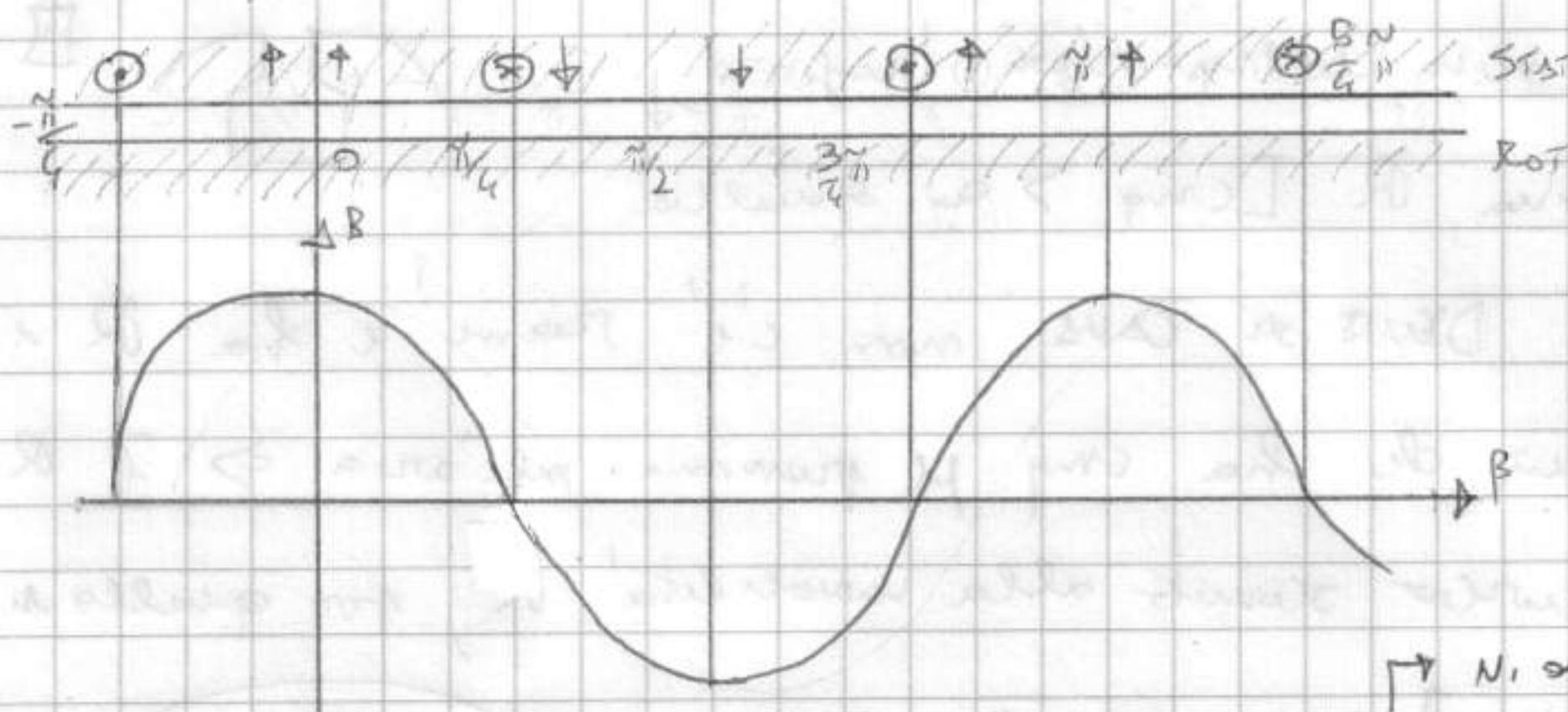
34) dobbiamo eliminare $B''(t, \beta)$.

Si usano gli avvolg. TRIFASE.

Abbiamo creato campo con COPPIA POLARE. Si possono ottenere config. diverse connessi. Ex: avvolg. Conc.

S_{ud} = entranti nello statore. Abbiamo 2

corrispolari. B si ripete due volte in 2π .



→ n ha 2 volte più

min e max, e come n

$$\Omega_s = 2\omega$$

→ n di COPPIE POLARI

Quindi $B(t, \beta) = B_m \sin \omega t \cos p\beta$

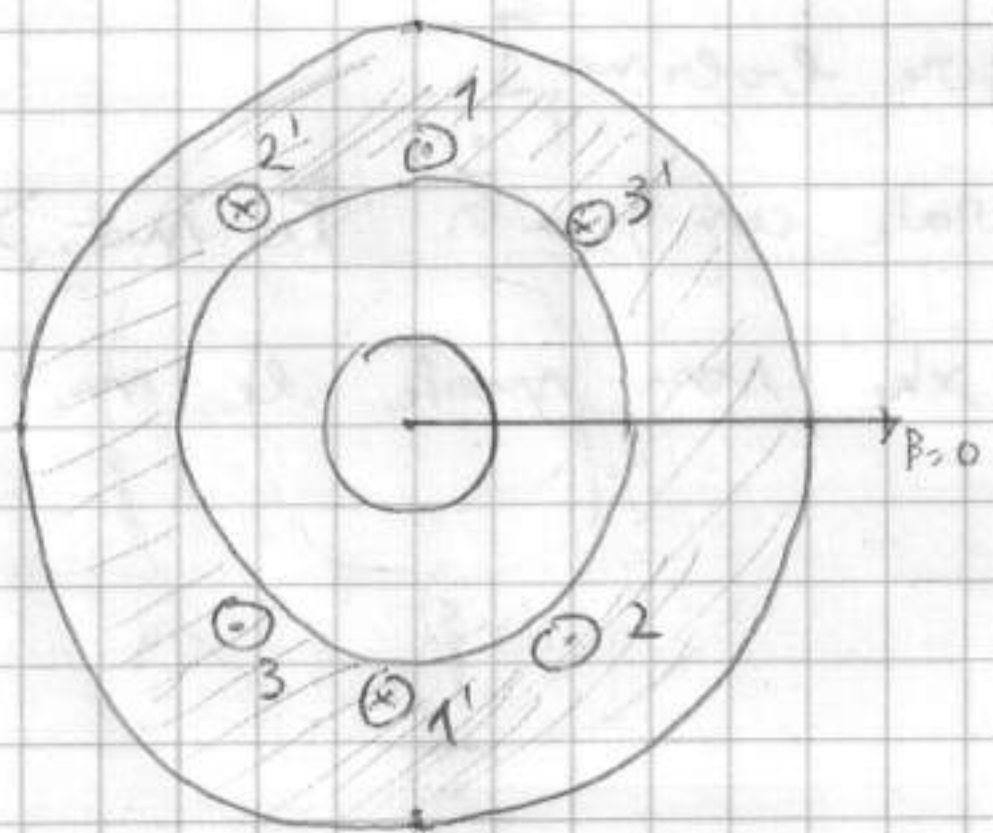
Scoprendo in B' e B'' otteniamo $\omega t \pm p\beta$. Quindi

$$\Omega_s = \frac{d\beta}{dt} = \frac{\omega}{p}$$

La Velocità di rotazione meccanica è pari alla freq. elettrica / n di coppie polari.

Per trovare B'' n usi avv. trifase. Mettiamo avvolgimenti alimentati da

fasce diverse → spostati di 120° . Quindi



$$\begin{cases} i_1(t) = I_m \sin \omega t \\ i_2(t) = I_m \sin (\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3(t) = I_m \sin (\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

$$B_1(t, \beta) = \frac{B_m}{2} [\sin (\omega t + \beta) + \sin (\omega t - \beta)]$$

$$B_2(t, \beta) = B_m \sin (\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cos (\beta - \frac{2\pi}{3}) \rightarrow B_2(t, \beta) = \frac{B_m}{2} [\sin (\omega t - \beta) + \sin (\omega t + \beta - \frac{4\pi}{3})]$$

$$B_3(t, \beta) = B_m \sin (\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cos (\beta - \frac{4\pi}{3}) \rightarrow B_3(t, \beta) = \frac{B_m}{2} [\sin (\omega t - \beta) + \sin (\omega t + \beta - \frac{2\pi}{3})]$$

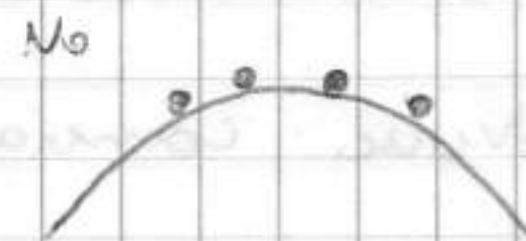
$$B = B_1 + B_2 + B_3$$

Sommando tutte le componenti, $B = \frac{3}{2} B_m \sin (\omega t - \beta)$

Obteniamo il B rotante come lo statore meno fisicamente in rotazione.

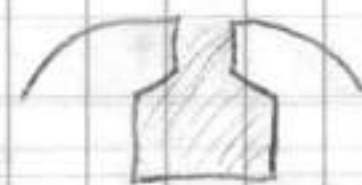
Avvolgimenti non posizionati nelle CSE (x entrambi)

[nella rot. gli avv. rimangono stabili]



hanno forme particolari: apertura + piccola e intorno al rotore in

ALLARGA la cosa che è stile attraversare traforo,



altrimenti abbiamo eccenta R [cm] > a quella

del trasformatore]. Nel DEUT si usa non c'è rame e ha R a δ ,

mentre nella cosa ho PSUE che ha cm il prossimo all'aria $\Rightarrow \int R$

> R si si cala \Rightarrow disturbo dovuto alla variabilità R, per quello in

Realizza II, e + costante. I case CHIUSE, ma



costruzione e + complicità. / ROTORE a GABBIA formato



Anello Post.

Anello Front

da barre di Rame / alluminio immerse nelle formazioni del ferro magnetico; sono cc sta anelli

\rightarrow e' come n forme spire in cc, la macchina

funziona cmq. Rot. a gabbia e + economico dell'avvolgimento a rame

[costruzione automatizzabile, e' difficile avvolgere bobina].

X una mac. ar. fino a 50, 100 kW sono realizzate con R a G. Per pot. >

il rotore si fa con e avv. fisico del rame che non poche le m.

ar. che richiedono potenza > di 100 kW.

RAPP. CIRCUITALE MOTORE ASINCRONO

$$-E_s = \underbrace{K_s}_{\text{coefficiente}} \cdot N_s \cdot W_s \cdot \varphi_{sr} \quad \text{con } \varphi \text{ che si concatenano con avv.}$$

A causa costruzione c'è coeff. Dobbiamo studiare avvolgimento x allora deriva Min,

Quindi n'una questo COEFFICIENTE DI SVOLGIMENTO (< 1)

$$-E_r = K_r \cdot \underbrace{N_r}_{\text{numero di spire}} \cdot W_r \cdot \varphi_{sr}$$

A gabbia ci sono del equivalente x calcolare N come n forme avvolte

$W_r \neq W_s$ [vedi TRASDUTTORE]. Solo se rotore ruota + lento spire vedono n.

36 se $\varphi < \rightarrow$ e n' può generare coppia.

ha $\Delta \omega$ e la $\Delta \varphi$ che sta lungo alla giri che induce i nel rotore.

ω_r e $\Delta \varphi$. Sia $S = \frac{\omega_r - \omega_s}{\omega_s}$ [m: giri/minute; $\omega = \text{Rad/sec}$]

$$n = \frac{f}{p} \cdot 60 = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{60}{1}$$

\rightarrow n. coppie poli

$$\omega_r = \frac{2\pi \cdot p}{60} \cdot (\omega_r - \omega_s) =$$

$$= \frac{2\pi p}{60} \cdot S \cdot \omega_s \text{ e sostituendo}$$

$$\omega_r = S \cdot \omega_s \Rightarrow E_r = k_r N_r S \omega_s \varphi_{sr}$$

Annuniamo il rotore FERMO [invece a transf.] ovvero "ROTORE BLOCCATO":

$$E_s = k_s N_s \omega_s \varphi_{sr} \text{ [la stessa, alimentata da corrente]}$$

$$E_{ro} = k_r N_r \cdot 1 \cdot \omega_s \cdot \varphi_{sr} [S=1, \omega_r=\omega_s]$$

Si definisce $\frac{E_s}{E_{ro}} = k \cdot \frac{N_s}{N_r}$ In generale $E_r = S E_{ro}$

\downarrow

n. av. autoviglia a transf.; R av primario \rightarrow R Motore; R av MC \rightarrow R rotore;

$X_{le1} \rightarrow X_{le}$ av Mot; $X_{le2} \rightarrow X_{le}$ av. rotore.

\downarrow

$$X_{lr} = \omega_r \cdot L_{lr} = S \cdot \omega_s L_{lr} \text{ } \Delta \text{ rotore bloccato n' ha}$$

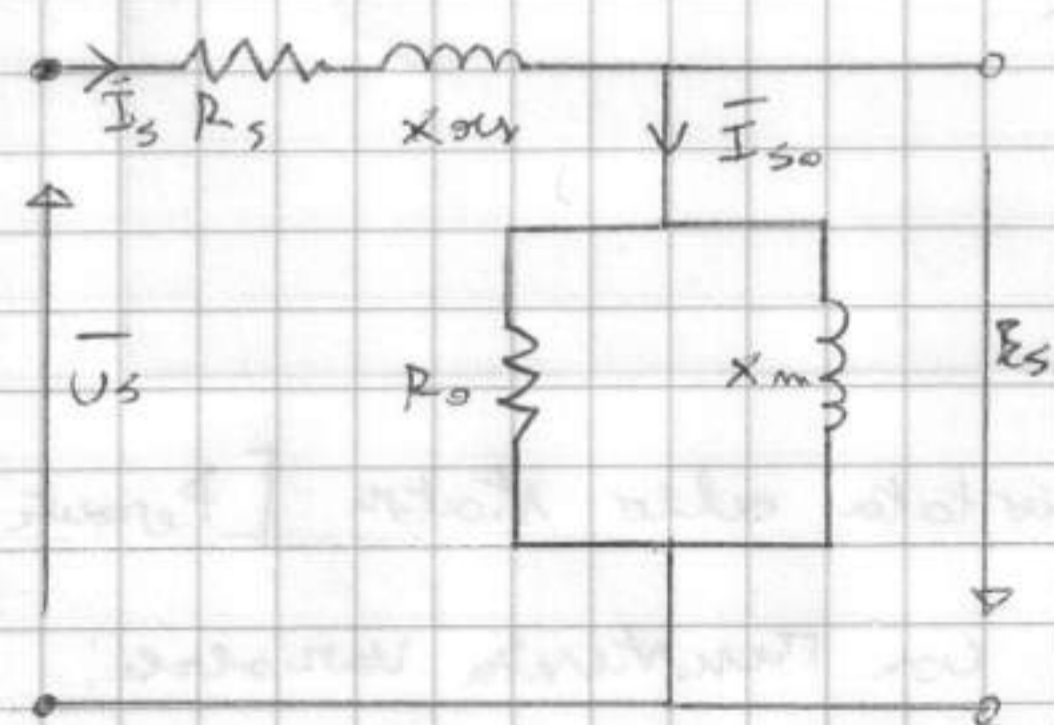
$$X_{lro} = \omega_s \cdot L_{lr} \Rightarrow X_{lr} = S X_{lro} \text{ [n cerca di riferire le}$$

grandezze alla cons. di n. b. X_{le} e' un trasformatore in cc]

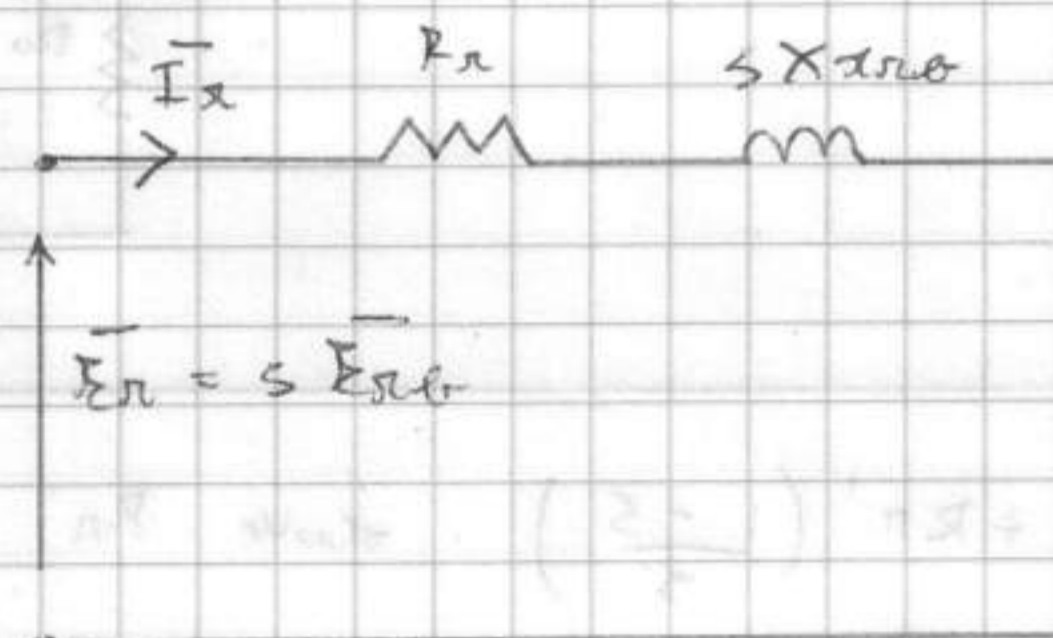
\Downarrow

Nella mappa n' fa:

STATORE:



ROTORE:

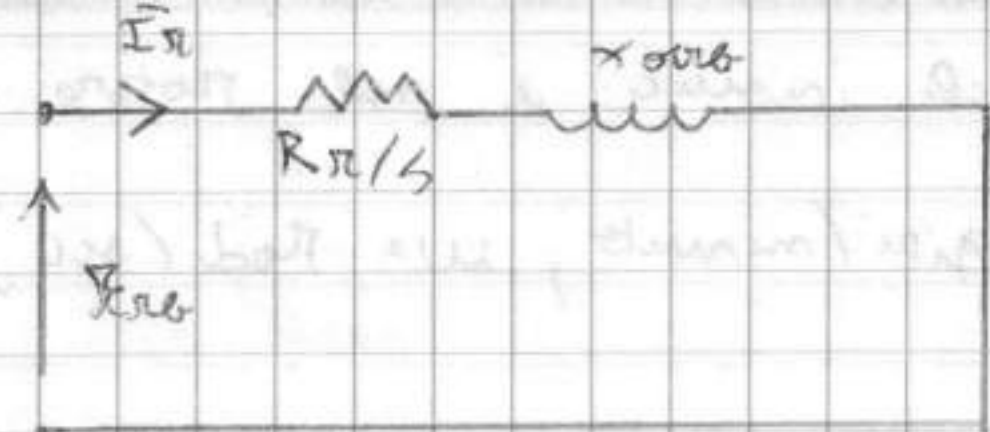


I motori av. sono polifasi trifasi. Non si possono unire i circuiti X_{le}

e ω sono DIVERSE, per questo legate E_r e E_s [come nel transf.].

S e' sta come si muove la macchina e S puo' essere scelto \rightarrow non c'e' circuito equivalente unico.

Potremo pero' dire che il cir. del rotore e' a questo:



dove tutti gli elementi sono divisi $\times s$.

$$I_r = \frac{3 E_{ro}}{\sqrt{R_r^2 + s^2 x_{ro}^2}} \quad (\text{nel 1' circ.})$$

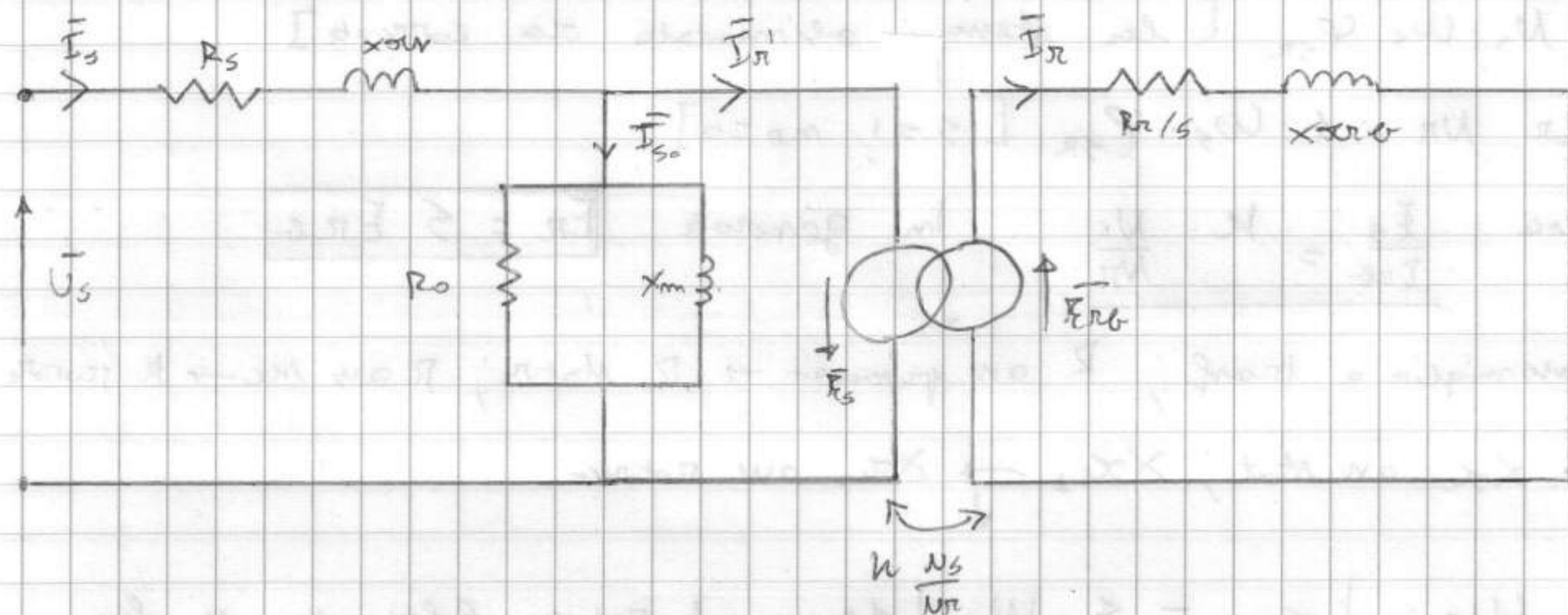
$$I_r = \frac{E_{ro}}{\sqrt{\frac{R_r^2}{s^2} + x_{ro}^2}} \quad (\text{in questo}). \text{ Sono usati}$$

I due circuiti sono equiv.

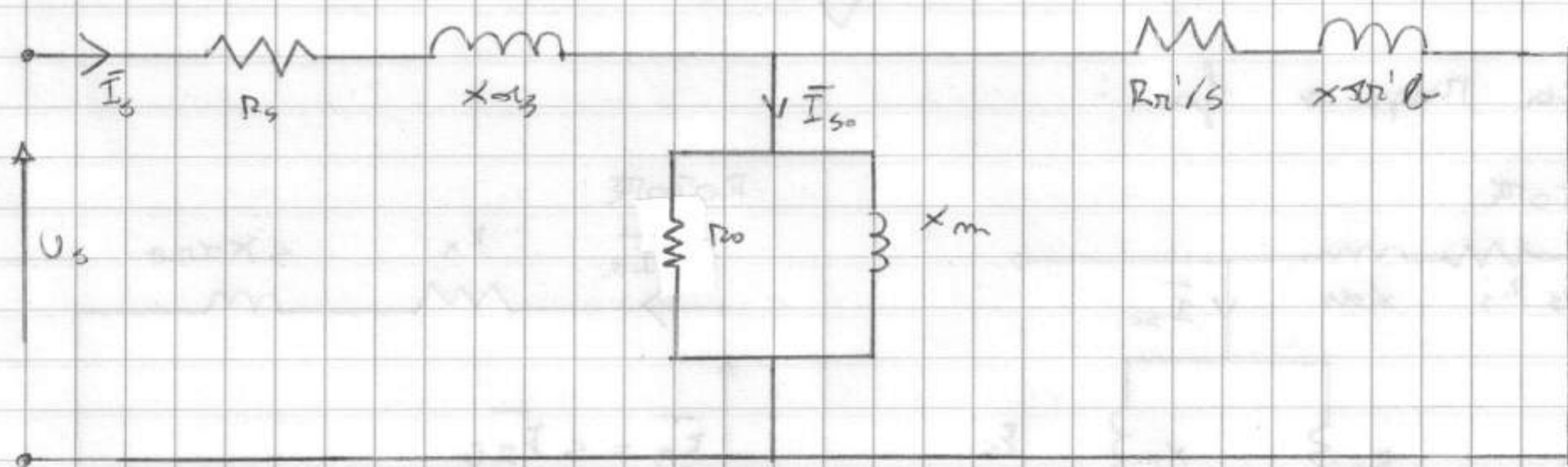
Questo circ. ha il vantaggio

di avere stessa U di $E_s \Rightarrow$ n. pus' in serie tr. ideale [finemente non è vero che R_r è costante, $\propto \omega \propto s$]

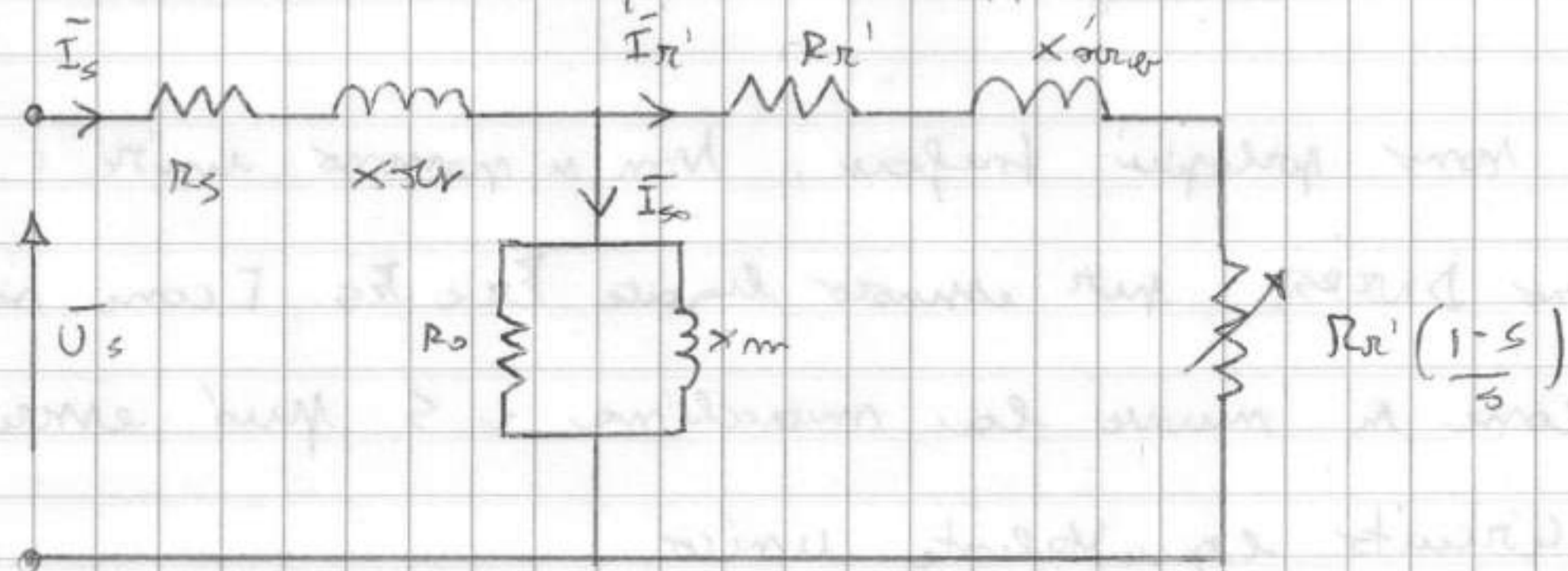
Si ottiene:



Poiché $k \frac{N_s}{N_r}$ non è facilmente modificabile si può un circ. equiv. riportato al primario, allo stator. Macchina è normalmente rapp. con:



$\frac{R_r'}{s} = R_r' + R_r' \left(\frac{1-s}{s} \right)$ dove R_r' è R_r riportata allo stator [Perché nel rot]. Quindi il circ. equiv. è rapp. con resistenza variabile:



(38)

Non c'è R_o del ferromagnete del motore che [nel transf. R_o è unico

x_k e' 1 moltiplo] le PFE sono d'ordine U delle grand. elettriche [ma inferiori che corr. parante]. Nel rotore la rotazione e' U_r a ΔV causata da $m_s - m_r$; poiche' $s \approx 10\%$, si ha che U_r mai > di $1/10 U_s$.

Poiche' PFE e U_r queste sono piccole e trascurabili.

$R_r \left(\frac{1-s}{s} \right)$ e la potenza resa disponibile all'asse della macchina se $s=1$ [a r.e.] da $P=0$. Potenza meccanica, coppia meccanica $\cdot U$.
 Se $s=0$, $P \rightarrow \infty$. $s=0 \Rightarrow m_r = m_s$ ma e' fisicamente impossibile proprio x la natura del motore, e' solo d'alt. \rightarrow circuito equiv. vale con $s \neq 0$.

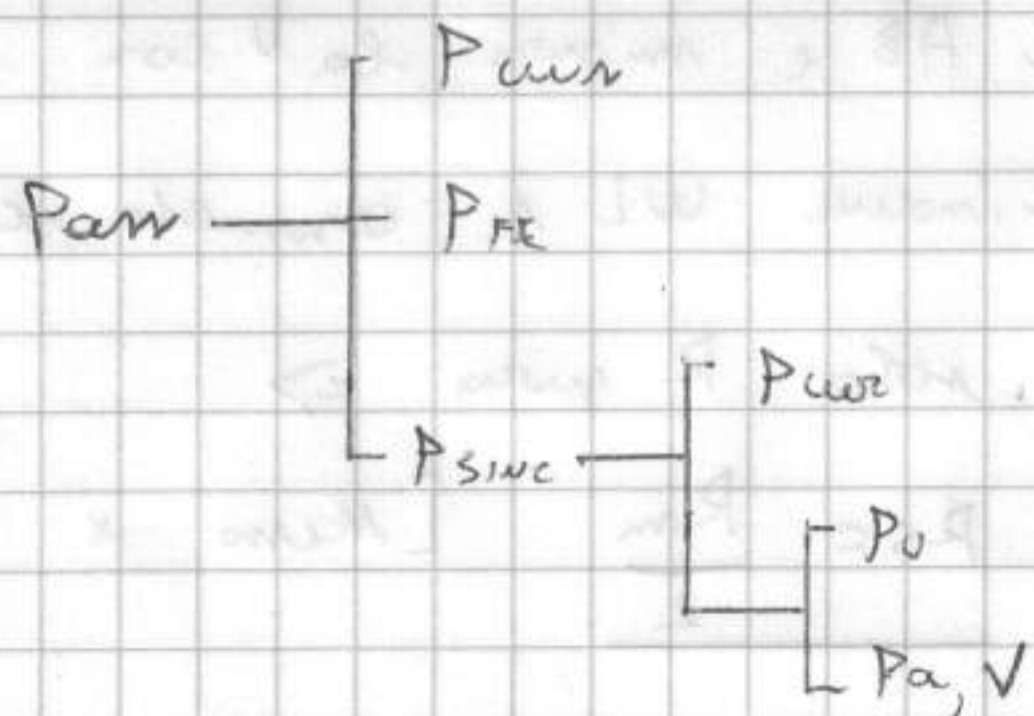
[comodo x ev.]: si deve pensare alle pot. Abbiamo P_{arr} sulla macchina nello statore. $P_{arr} = 3 U_s I_s \cos \phi_s$. Dalla P_{arr} si estraggono le perdite: $P_{cu s} = 3 R_s I_s^2$; P_{fe} in suff. e la pot. trasferita al rotore, P. SINCRONA (e TRASSMESSA) $[P_{sinc}] \rightarrow$ nel passaggio siamo nel

trasfero dove c'e' B rotante a V imposta da U_s (minimo x_k legata alla V di B rot.) P_{sinc} si divide in $P_{cu r} = 3 R_r I_r^2$ e $P_m = 3 R_r \left(\frac{1-s}{s} \right) I_r^2$

[potenza meccanica] \rightarrow P. LORDE, non e' quella realmente disponibile, x_k ci sono perdite nei circuiti, legate agli attriti di rotazione.

Inoltre le macchine sono AUTOVENTILANTI, su esse c'e' ventola che raffredda macchina \Rightarrow da P_m abbiamo una P_u [potenza UTILE NETTA] e una $P_{a,v}$ (puo' essere fornita da costruttore \rightarrow tramite prove). Tramite grandezze elettriche non possiamo distinguere P_m e P_u .

$$P_{sinc} = P_{cu r} + P_m = 3 \left[R_r + R_r \left(\frac{1-s}{s} \right) \right] I_r^2 = 3 \frac{R_r}{s} I_r^2 = \frac{P_{cu r}}{s} = \frac{P_m}{(1-s)}$$



RENDIMENTO MOTORE ASINCRONO

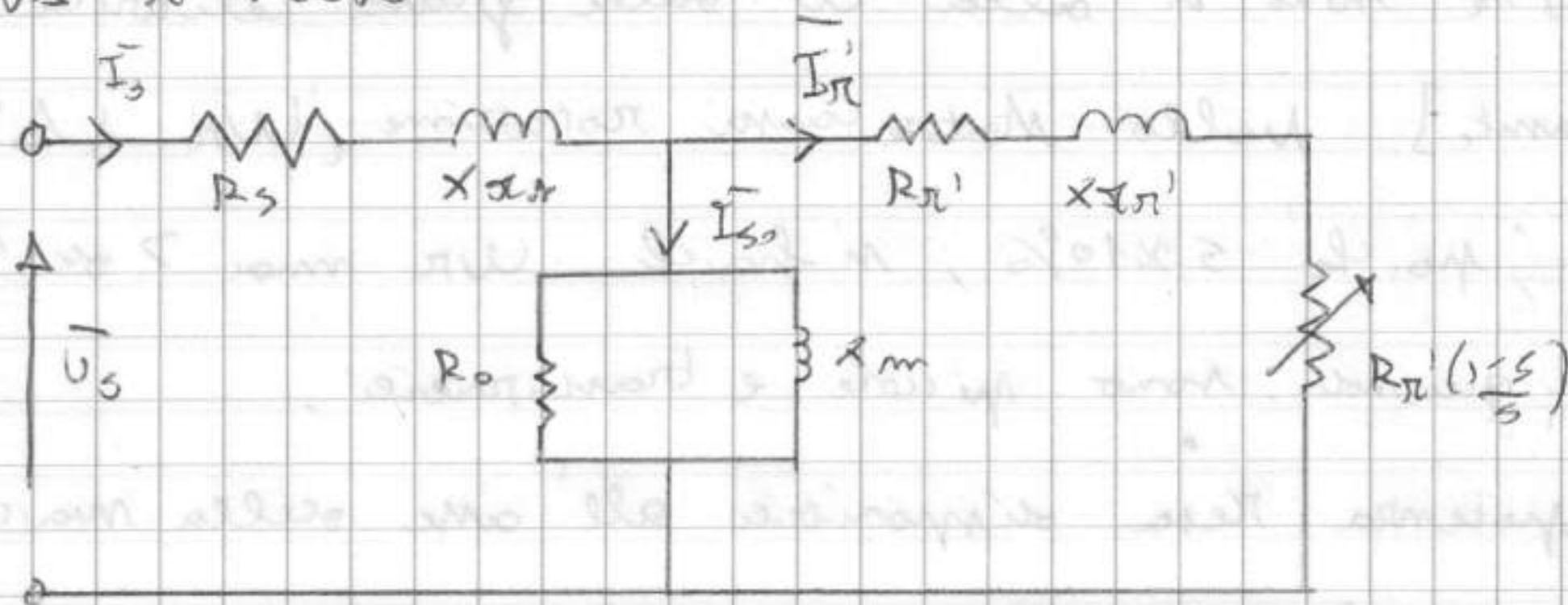
12/1/06

$$\eta = \frac{P_u}{P_{arr}} = \frac{P_u}{P_u + P_{cu r} + P_{fe} + P_{cu s} + P_{a,v}}$$

(dell'ordine del 75 ÷ 80% x macchina di piccola potenza, quelle grandi dell'ordine

del 92 ÷ 93%)

PROVA A VUOTO



Non possiamo spostare gli elementi branchi perché I_{s0} è 10-19% e non è trascurabile rispetto a I_s

Si alimenta motore evitando di collegare un carico [ma non possiamo avere avvolgimenti] meccanico all'asse.

$$U_s = U_{sm}; f = f_m. P_0 = 0, \text{ quindi si ottengono le } P_{a,v}.$$

Assumiamo che I elettrica \times coprire $P_{a,v}$ sia molto piccola e trascurabile

$$\Rightarrow I_s = I_{s0}. \text{ Misurando } P_{a,v} \text{ con Wattm., } I_{s0} \text{ e } U_{s0} \text{ e } U_s \text{ con Voltm.}$$

$$P_{03} = P_{cu,s0} + P_{Fe} + P_{a,v}. \quad \sqrt{3} U_s I_{s0} \cos \varphi_0 = 3 R_s I_{s0}^2 + P_{Fe} + P_{a,v}. \quad \text{E' noto } U_s = U_{sm}, I_{s0} \text{ nota, } P_{03} \text{ nota + conosciamo}$$

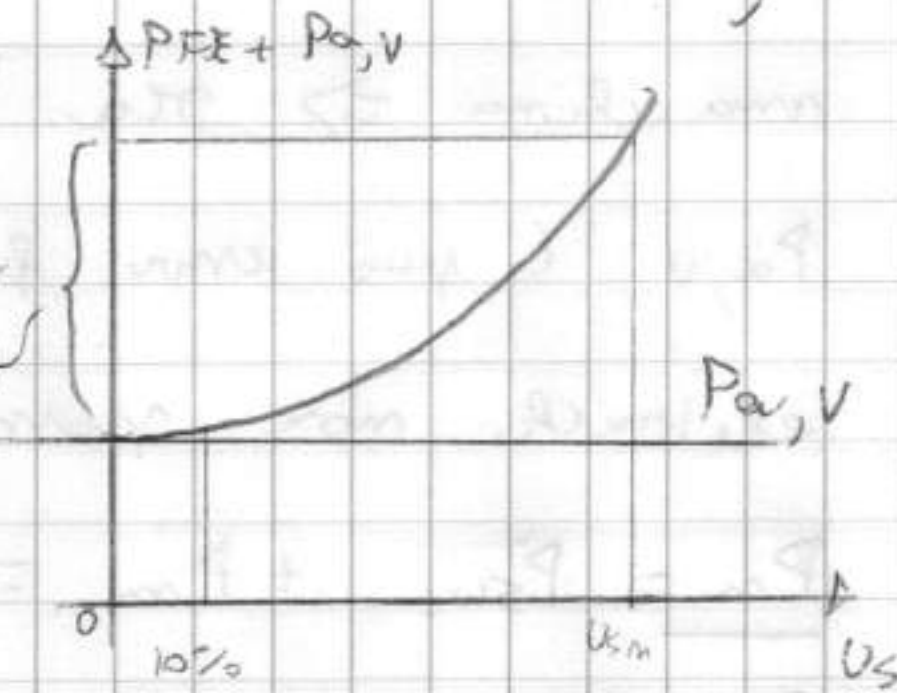
$$\text{fatto di potenza a vuoto } \cos \varphi_0 = \frac{P_{03}}{\sqrt{3} U_{sm} I_{s0}}. \text{ Si può det. } P_{Fe} + P_{a,v} =$$

$$P_{03} - 3 R_s I_{s0}^2. \text{ E' difficile distinguere [negli ex. } P_{a,v} \text{ trascurabile]}$$

Correttore ma che P_{Fe} è U^2 e ω , mentre $P_{a,v}$ sono \propto da U aliment.

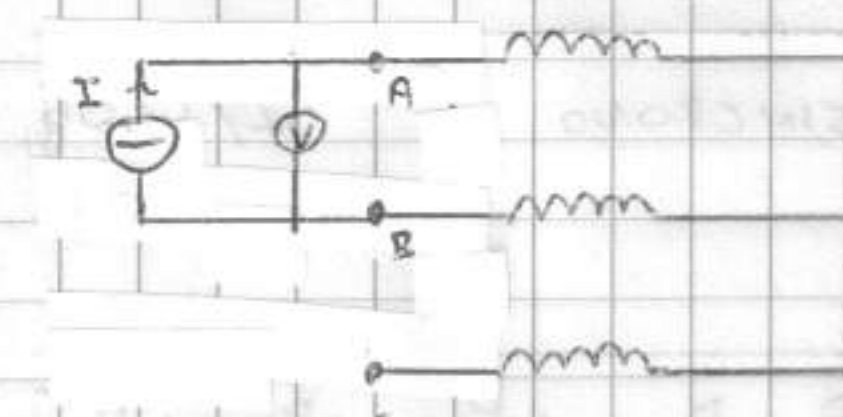
Quindi si misura U di alim. durante la prova a vuoto (es. 75%, 50%, 29%, 10%) e si disegna la somma

rispetto a U . Interpolando si ha curva che interseca lo 0 [istesso, non si può ovv. fare]



La diff tra questo vol. costante e $P(U_{sm})$ e $P_{Fe,m}$.

Per det R_s si usa metodo Volt-Sinonometrico.



Alimentando in continua AB e misurando la U con voltmetro. Circuito ohm-insult. U_L si annulla dopo il transitorio, si vede solo R pura \Rightarrow

$$R_m = \frac{U_{AB}}{I}. \text{ I finisce in 2 fasi in serie. } R_s = \frac{R_m}{2} \text{ [Meno } \times$$

circuiti a triangolo].

$$(40) \frac{X_m}{P_0} = \tan \varphi_0; P_{Fe} = 3 R_0 (I_{s0} \cos \varphi_0)^2$$

PROVA A ROTORE BLOCCATO

[ma P_{cc} e' sempre cc il rotore!] Alimentiamo macchina con I_m , ma

devo tenere fermo, bloccato il motore. $n_r = 0 \Rightarrow s = 1$

$U_s = U_{sc}$ e $I_s = I_{sm}$. Si alza piano piano U_r x arrivare a I_m .

$R_r' \left(\frac{1-s}{s} \right) = 0$. Anche qui U_{sc} e' qualche % U_{rm} [$U_{sc} \ll U_{sm}$].

Potiamo escludere elementi trascurabili x_{le} , essendo d U , essendo U molto piccola sono trascurabili. $\Rightarrow P_{fe} \approx 0$

Quindi $P_{sre} = P_{cu_r} + P_{cu_r}$. $P_{sre} = \sqrt{3} V_{rcc} \cdot I_{sm} \cos \varphi_{cc} =$
 $= 3 R_s I_{sm}^2 + 3 R_r' I_{rm}^2$ [ma $I_{rm} = I_r = I_s$, notturno in ha.]

$= 3 I_{sm}^2 (R_s + R_r')$ \Rightarrow si può ricavare la R_r' del mot. [Rev.

rotorica riportata allo statore] e $\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{sre}}{\sqrt{3} V_{sc} I_{sm}}$. Si può

anche dire: $\tan \varphi_{cc} = \frac{x_{ds} + x_{dr}'}{R_s + R_r'}$. E' impossibile dividere le due

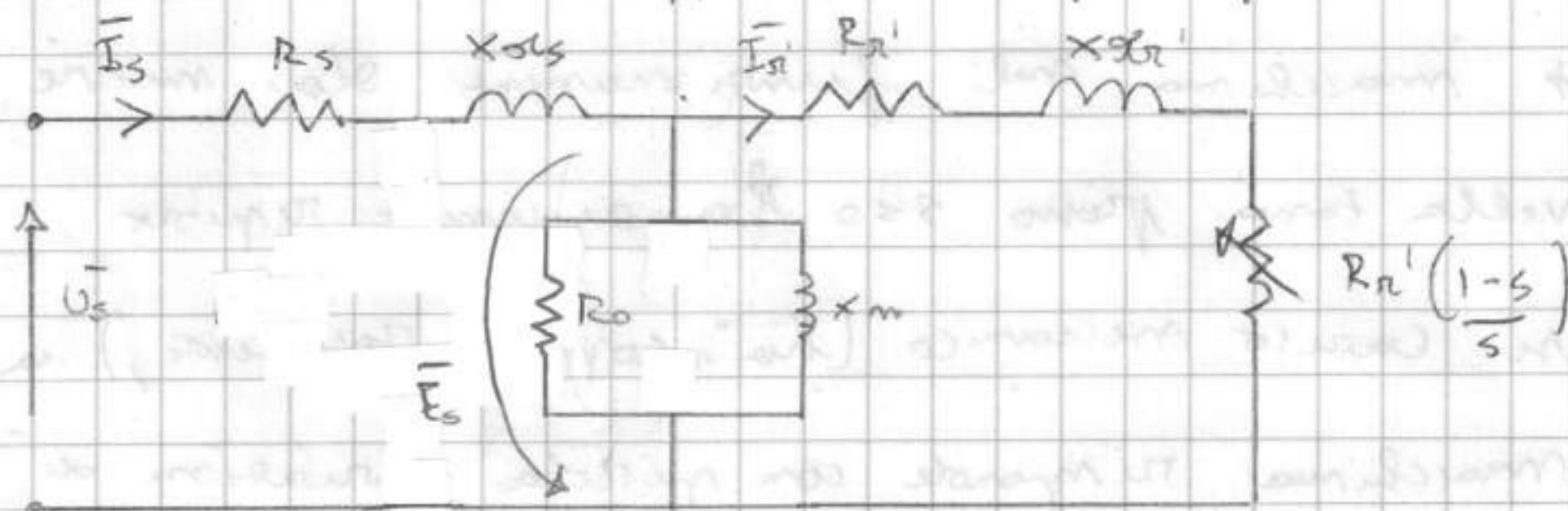
reattanza, se solito si fa a metà. [$x_{ds} \approx x_{dr}'$]

[interessi di solito e' legato a perovita]

H

CARATTERISTICHE DI COPPIA DELLA MACCHINA

Quanto vale la coppia che si può fornire all'asse in fun. di U o s .



$$[s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ quindi}]$$

$$n_r = n_s (1-s)]$$

$$P_m = C \cdot \Omega_r$$

\uparrow N.H
 \uparrow U. di rot. in
 PSD / SEC ($n = \text{giri/min}$)

$$\rightarrow \Omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} = \frac{2\pi n_s (1-s)}{60} = \frac{2\pi}{P} f_s (1-s)$$

Quindi $P_m = 3 R_r' \left(\frac{1-s}{s} \right) I_r'^2$ e la coppia:

$$C = \frac{P_m}{\Omega_r} = \frac{3 R_r' \left(\frac{1-s}{s} \right) I_r'^2}{\frac{2\pi f_s (1-s)}{P}} \Rightarrow$$

$$C = \frac{3P}{2\pi f_s} \frac{R_r'}{s} I_r'^2$$

Del circuito

$$\frac{f_s}{\sqrt{\left(\frac{R_r'}{s} \right)^2 + (x_{dr}')^2}} = \quad (41)$$

$$= \frac{s E_s}{\sqrt{R_r'^2 + s^2 X_{lr}'^2}}$$

Quindi

$$C = \frac{3P}{2\pi f_s} \frac{R_r'}{s} \frac{s^2 E_s^2}{R_r'^2 + s^2 X_{lr}'^2}$$

↓

Espressione coppia elettromagnetica della macchina asincrona.

È difficile porre ricavare $C(I)$ con E_s variabile. \Rightarrow si considera E_s e lo si pone pari a \bar{U}_s [tensione coseno su avvolgimenti motore]:

$$C \approx \frac{3P}{2\pi f_s} U_s^2 \frac{s R_r'}{R_r'^2 + s^2 X_{lr}'^2}$$

Assumendo f_s costante, (e cioè s e m).

Derivando si scopre che la

C_{max} si ha con $s = s_{max} = \frac{R_r'}{X_{lr}'}$

$$C_{max} = \frac{3P}{2\pi f_s} U_s^2 \cdot \frac{1}{2 X_{lr}'}$$

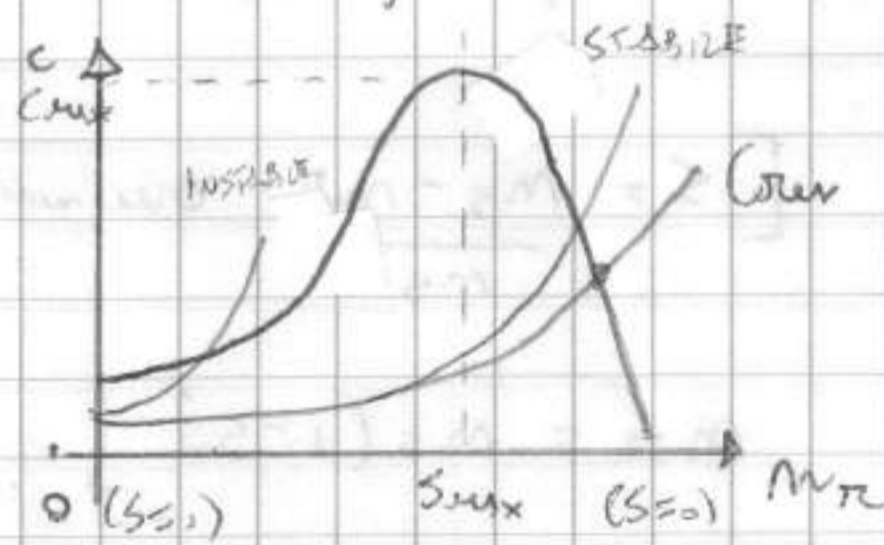
e di R_r' , solo da X_{lr}' .
↳ IMPORTANTE

$s=1 \Rightarrow$ coppia di AVVIGLIAMENTO. $C_{av} = \frac{3P}{2\pi f_s} U_s^2 \frac{R_r'}{R_r'^2 + X_{lr}'^2}$ [non molto alta].

Se $s \rightarrow 0$ coppia ha andamento lineare

Se $s \rightarrow 1$ [X_{lr}' è 10 volte circa R_r' e quindi domina] \rightarrow andamento iperbolico

$s_{max} \approx 0,1$ / Si allargherà anche rispetto a m di giri.



\rightarrow macchina nel funzionamento da motore.

Nella zona per $s < 0$ ha andamento ripreso:

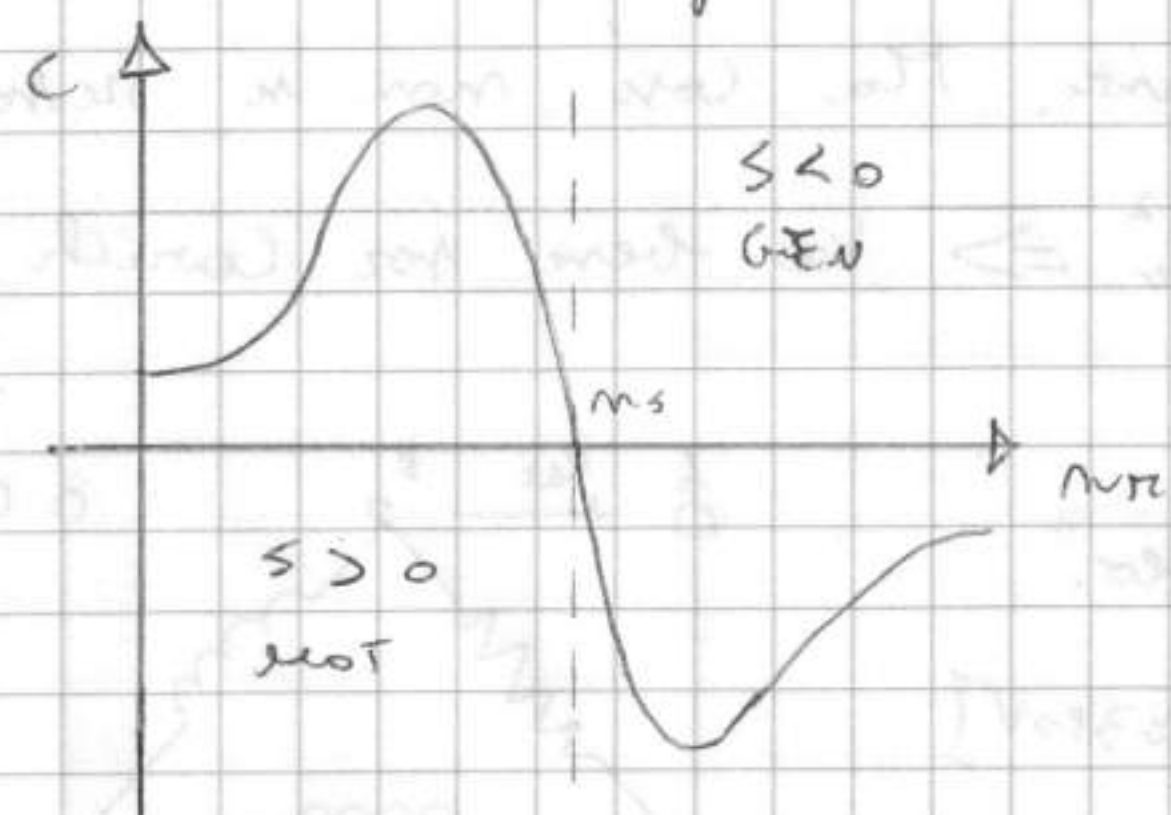
se carico meccanico \uparrow la coppia resistente, la macchina risponde con piccola variazione di

Velocità di Rotazione \rightarrow motore con carichi che devono lavorare a $V = \text{cost.}$ C'è zona STABILE e INSTABILE.

In 7. Macchine frenando la macchina diminuisce m ma macchina può fornire coppia maggiore, soprattutto all'aumentare.

In 7. int. se carico rallenta coppia invece diminuisce e macchina si ferma. / C_{res} costante se il suo errore $<$ di C_{av} altrimenti non parte.

Macchina può funzionare anche da generatore. Deve fornire pot. verso



la rete solo se P cambia segno oppure se cambia segno la COPPIA.

Carico meccanico diventa motore primo, si porta a $V > \omega$ campo mag. rotante.

$S < 0$ nel generatore, $n_m > n_s$.

Coppia di ripulzione andamento asimmetrico. Macchina ha cmq bisogno di P reattiva magnetizzazione.

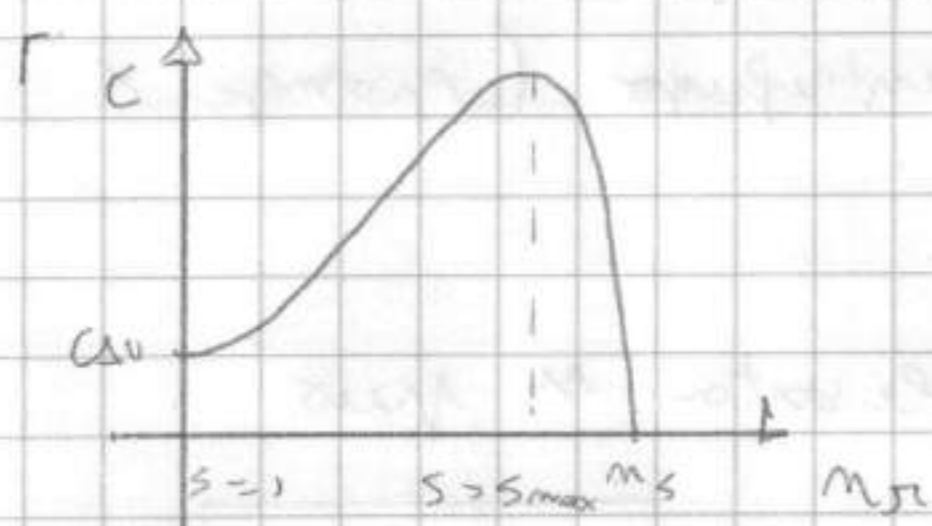
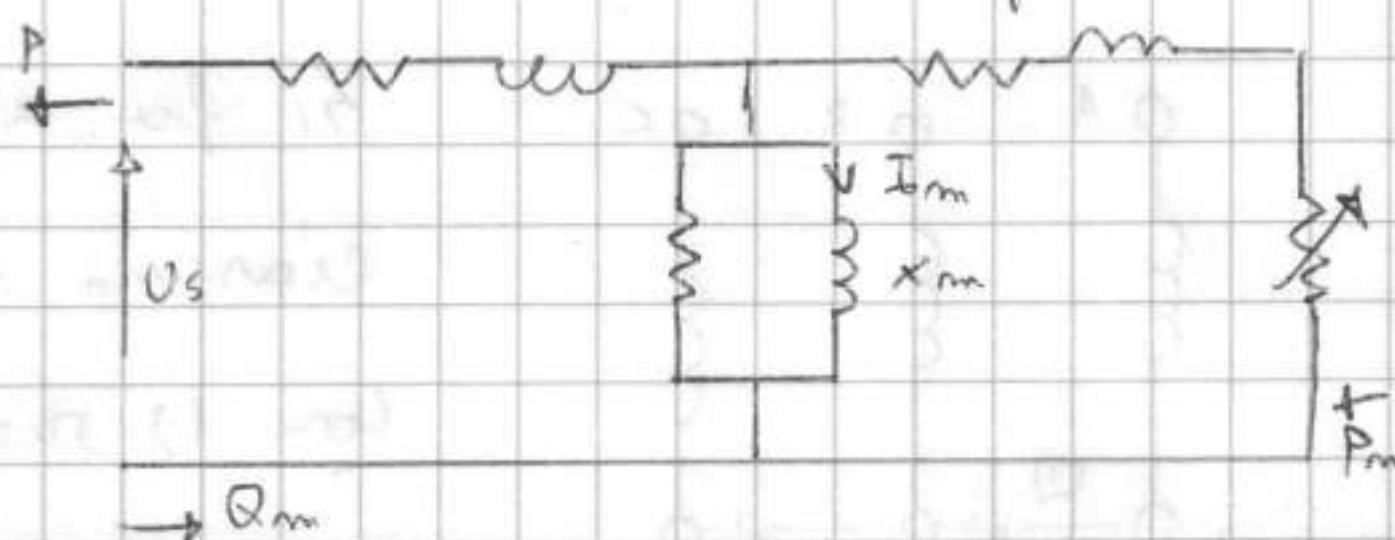
Ci vuole $U_s \times \cos \phi$ tra rot e

stat. Ex: macchina collegata da

rete con turbina, con c'è B rotante. Rotore gira a vuoto.

Motore esterno può stare solo potenza attiva, non reattiva. Q_m sulle

cmq entra annullata dalla rete.



$$S_{max} = \frac{R_r'}{X_{sr'}}$$

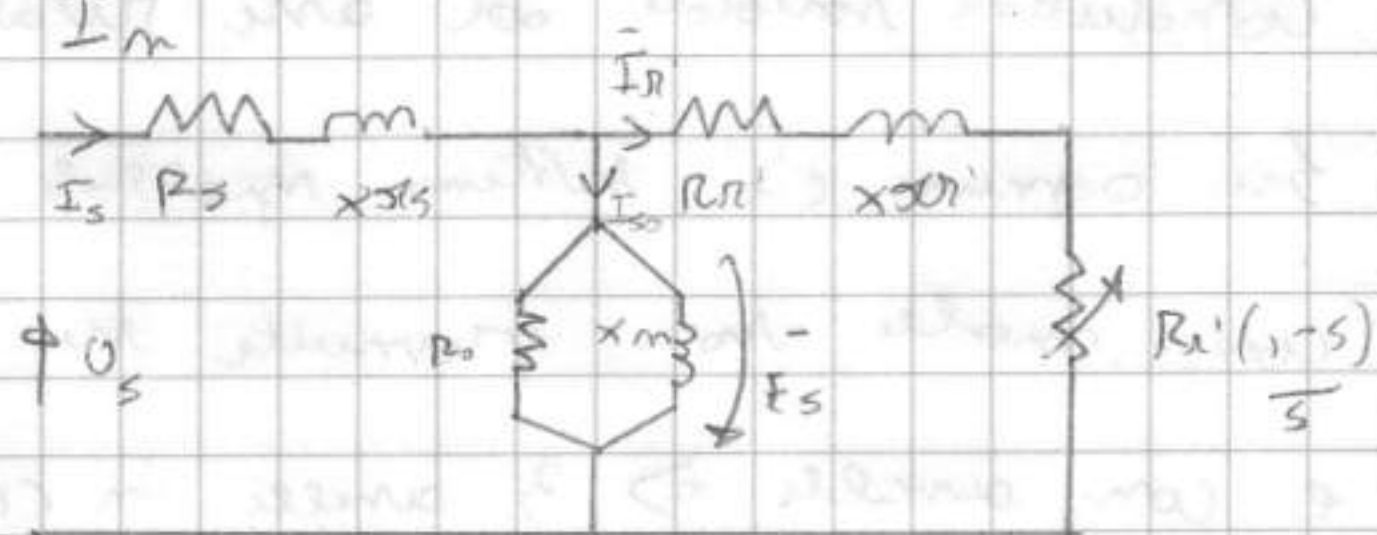
Coppia di avviamento e inf 13/1/06

alle coppie di nomina fornite, conviene con macchine tipo ventilatori, pompe. Non tanto con carichi

con coppia cost. a tutte le $U \rightarrow$ macchina non riuscirebbe ad avviare. I all'avviamento e 17-10 volte

All'avviamento $S=1$. $I_r' = \frac{E_s}{\sqrt{\left(\frac{R_r'}{S}\right)^2 + X_{sr'}^2}}$

e questo sen. ha il



valore R_r' piuttosto, diminuendo lo S aumenta il denom. Spostandosi a portata di E_s , I_r' diminuisce \Rightarrow I_r' maggiore nell'av. (x del carico), il problema non è x

la macchina [$t \approx 100$], effetti termici trascurabili. Lo è x i dispositivi di protezione x gli impianti. C'è interruttore a

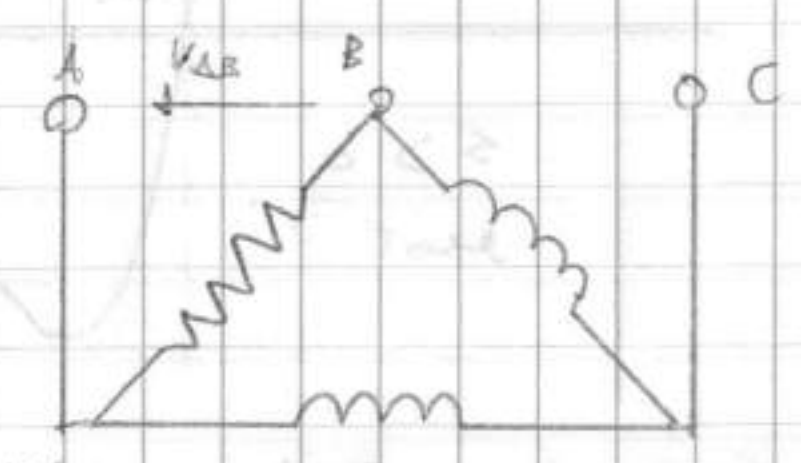
monte macchina (ovvero che a causa questi I molto grande). Int. deve far passare I_{av} .

Per diminuirla si può diminuire E_s (e quindi U_s)

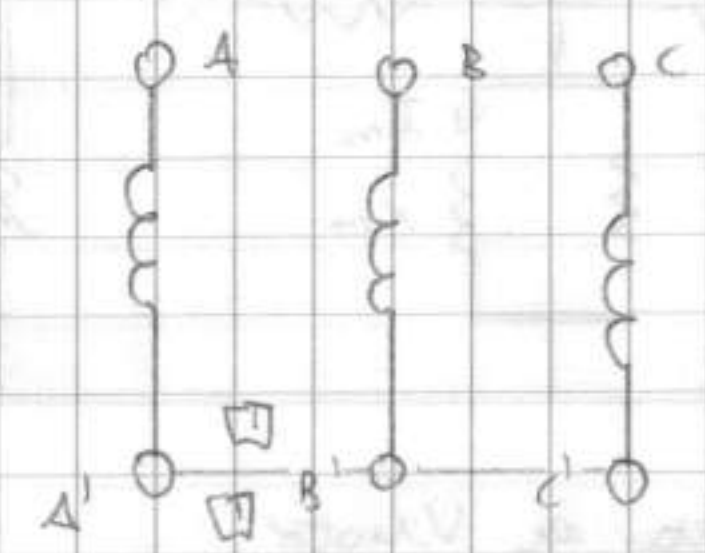
Lo si può fare con particolari trasformatori che possono cambiare la corrente e funzionano con U costante. Ma così non si risolve
 Csw. $\left[C = \frac{3P}{2\pi f_N} U_r^2 \frac{SR_r}{R_r^2 + S^2 X_{dr}^2} \right]$, e' d $U_r^2 \Rightarrow$ va bene per carichi "centrifughi".

Di solito si usa l'avviamento "Stella - triangolo".

Es: macchina asintotica a triangolo $[U_{AB} \approx 380V]$



Costo x risolvere sintonizzare inizio e fine avvolgimento



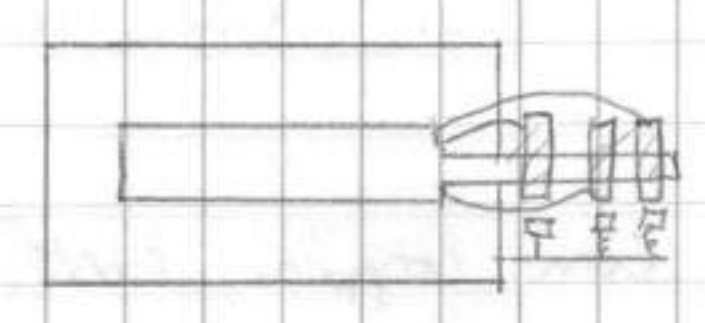
Si fa avviare macchina con fasi a stella e ciascuna fase è soggetta a $U = 220V \Rightarrow$ la avviamo con U sottola rispetto al normale funzionamento.

Una volta avviata si commuta con rele' contatti

termici, oppure con la S della macchina (solalla U di rotazione) e conversione diventano a triangolo e ciascuna fase è a $380V$ [molto usata in impianti industriali] carichi di tipo centrifugo (pompe x circolazione di fluido), economico.

Quando si deve avviare macchina a coppia elevata si può:

- nelle grosse macchine, il ROTORE AVVOLTO 1 3

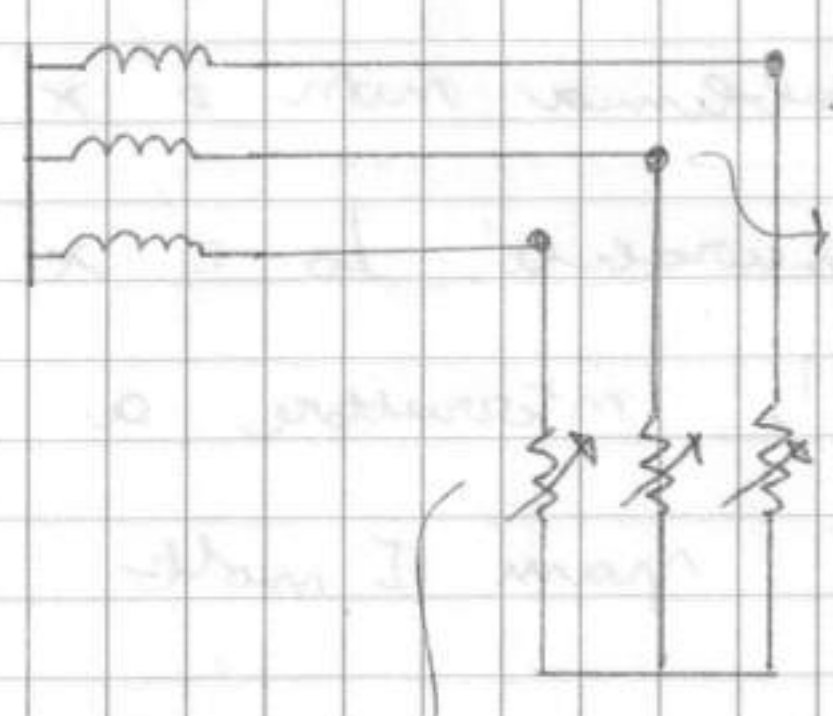


principi degli avvolgimenti portati su 3 anelli

conduttori solidi ed axe rotazione, 1 anello x fase di rotore

Su ognuno c'è nituna morsa in profilo solidi con motore che con molle non premute su anelli. Spazzole collegate tra loro e con anelli \Rightarrow 3 anelli in cc \Rightarrow rotore in cc. Si possono inserire

3 resistori x ciascuna spazzola. Si usano resist. variabili chiusi a



Stella e ciascuna è collegata a fase rotore

tramite spazzole si agiscono a estremità rotore, si

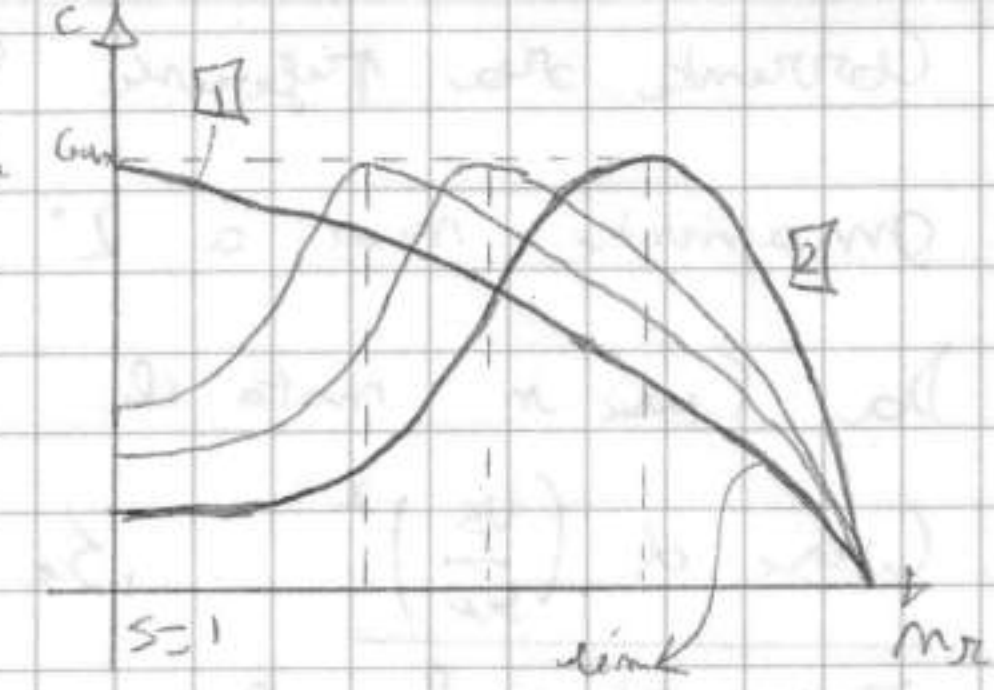
collega a fase [valore R^* lo decidiamo noi].

Contr. $C_{sw} = \frac{3P}{2\pi f_N} U_s^2 \frac{1}{2X_{dr}^2}$ e $S_{sx} = R_r / X_{dr}$

④ Aumentando R_r , aumenta $S \rightarrow 1$ e quindi aumenta S x cui si ha

Cosx. Aumentiamo R_r' e quindi S si ridotta
 $\rightarrow \downarrow R_r'$ $\rightarrow \downarrow$ aumenta

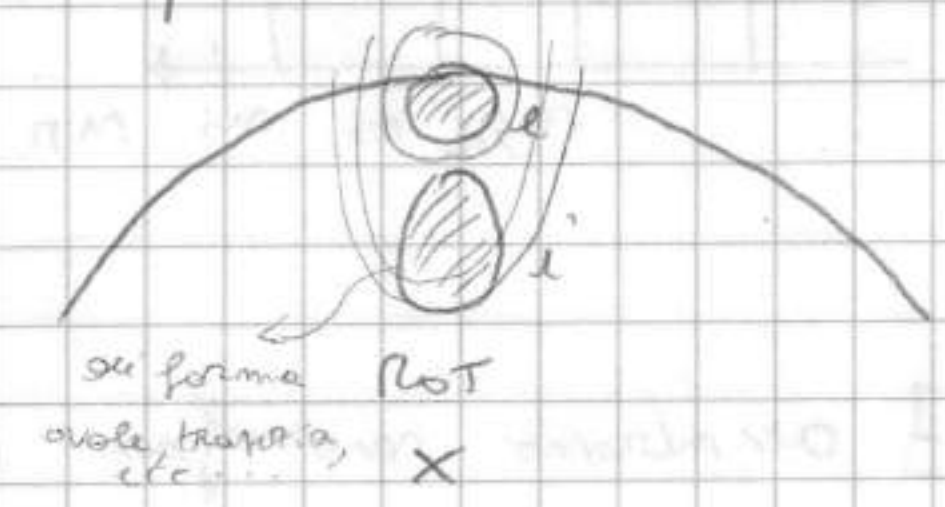
Cosx rimane costante. Si schiaccia parte stabile
 e si alza parte instabile. Al lim n
 porta, aumentando R_r' , $S_{max} = 1$. Facciamo
 partire macchina con $S \approx 1$ e quindi $C_{ux} \approx C_{ux}$.



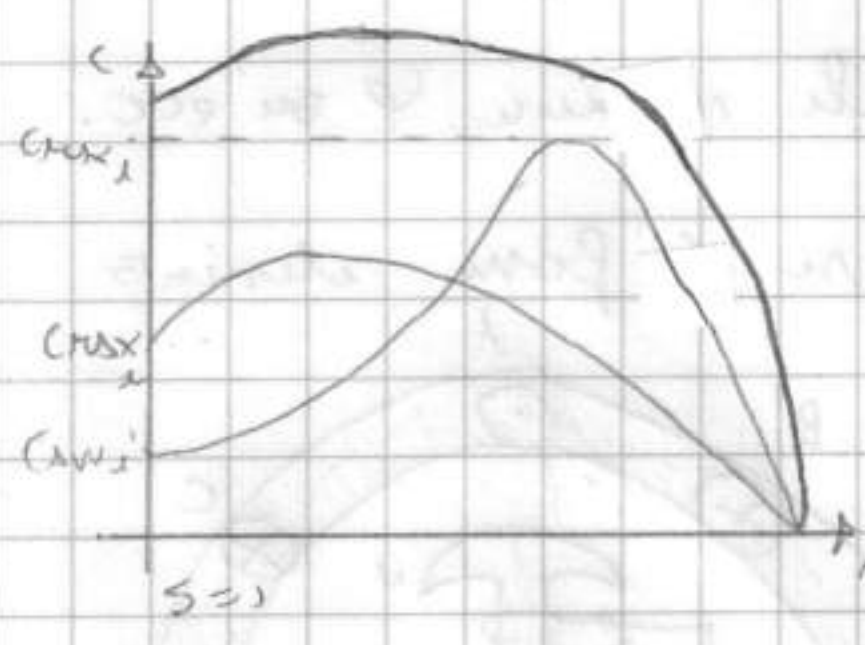
Poi piano piano gli diminuimo resistenza e cambiamo curva dell'ondata,
 fino a ESCLUDERE resistenza e arrivare alla II. Inoltre aumentiamo
 R_r' e diminuisce I_{aw} [entrando le con]. Serve solo x avviamenti,
 $R_r' \uparrow \Rightarrow \eta \downarrow$.

Ma x mot. con slot a gobbia ciò non si può usare. Però
 si possono fare 2 gabbie concentriche.

Una verso il perimetro e una + interna
 + grande [e]. $\bar{Z}_R = R_R + j X_R$



$R_{re} \gg R_{ri}$ (essendo $R = \rho \frac{l}{S}$). Per le istantanee si ha:
 $L_{ri} \gg L_{re}$ (linee di ϕ girate nella macchina si concentrano +
 facilmente in "i", mentre in "e" si disperdono di +, e' molto vicino al
 trasformatore). Per "i" caratteristica di coppia e' la solita. Per "e" (e'
 C d sta R_R). Essendo $X_e < X_i \Rightarrow C_{ux} +$ piccolo (+ vicino a $S=1$)



Coppia totale scomponibile e' la somma dei contributi.
 In e. nominale "e" lavora con $I +$ barra.
 All'avviamento $nr \approx 0 \Rightarrow f_r \approx f_s, \omega_r \approx \omega_s$.
 Quindi $\bar{Z}_R = R_R + j \omega_r L_R$. All'avv. X_R

prevalenza rispetto a R_r e vale x entrambe. Si ha $\bar{Z}_i > \bar{Z}_e$ (a causa
 di $X_{ri} \gg X_{re}$, pur essendo $R_{ri} \ll R_{re}$) \rightarrow comando reattanza. Quindi
 I_{aw} preferisce la gabbia ESTERNA (collegata a stella U) \Rightarrow effetto
 di aumento di COPPIA, \bar{I} pari con R_R .

Aumentando nr , $\omega_r = \omega_s S$. Se $nr \rightarrow ns \Rightarrow \omega_r = S \omega_s$ [con
 $S \rightarrow 0$] e ω_r e' molto piccola. Quindi $X_{or} \ll R_r$. Poiche'
 $R_{re} \gg R_{ri} \Rightarrow \bar{Z}_{ri} \ll \bar{Z}_{re}$.

Corrente sta preferire "i" dove c'è R + ω \Rightarrow ω + ω

ovviamente mai a 2° galleria sotto di più.

Da cui si nota che $d U^2$ e $d f^2$ $[X_{001} = \omega_s L_{001}] \Rightarrow$

$\omega_s \propto \left(\frac{\omega_s}{f_r}\right)^2$ Se si sposta ma cambiare U e f mantenendo il

rapporto si ha sempre $\omega_s \rightarrow$ INVERTER, appaia che in ingenero hanno

U e f fissa e in uscita forniscono V e f variabili \Rightarrow alimentano, nell'uscita,

macchina. Questa inizia a ruotare e pian piano scurono U e f .



Cor. di coppia x macchina elim. sta inverter.

[Cambia U e f in maniera continua]. È l'involuppo

Σ di caratteristiche. A macchina si fa arrivare

$C_{max} =$ involuppo di tutti i max.

H

I azionano monofase modificato x avere B rotante, poco utile x un
civile.

18/1/06

MACHINE IN CONTINUOUS E GENERATORI SINCRONI [CELU]

Gen. macchine azionate x generare en. x impianti imol. e a.v.

Macchine SINCRONE hanno STATORE e ROTORE; mentre nell'asinc. vediamo

B rotante con I che fluisce nello statore, qui B lo produciamo

tramite il rotore. C'è avvolgimento di ECCITAZIONE che produce ϕ di ecc.

Ex. avv. alimentato in continua (rotore). È come se ci fosse elemento

rotante con coppia di poli. Flusso nel

rotore invece avvolgim. Magnetici. Se

mettiamo in rotazione rotore con effetto esterno

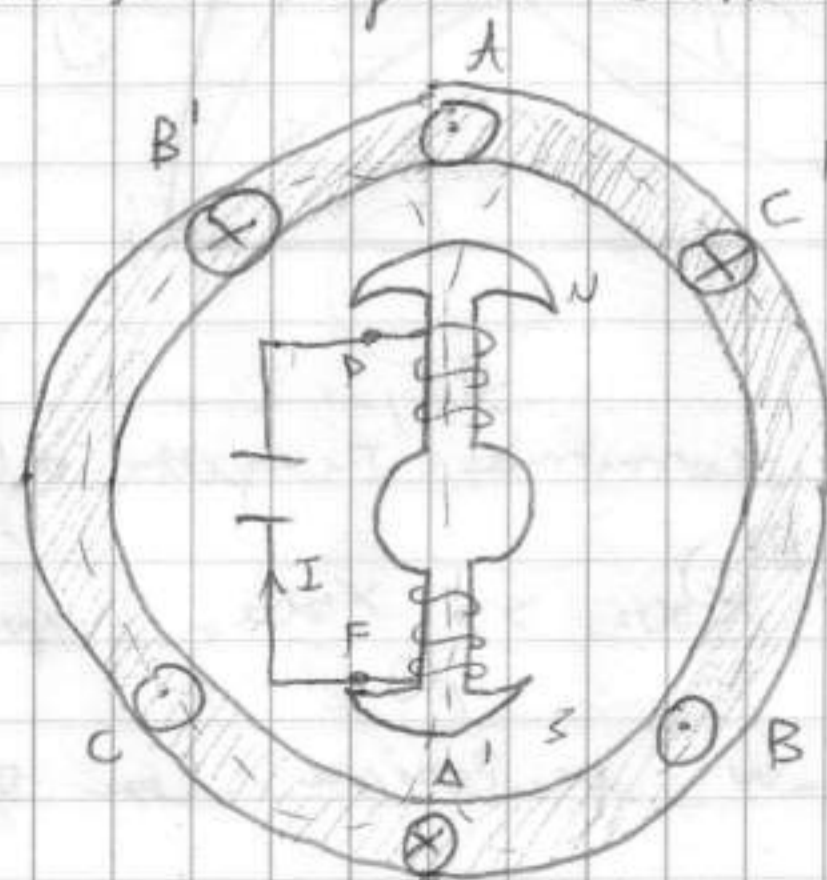
generiamo B rotante, P che ruota. Possiamo

in statore [traferro deve essere piccolo]

av. a 120° , quindi - una volta invertiti - si inverte B. Fem.

Mettiamo su 120° . Quindi si altera:

$$\begin{cases} \phi_a = E \sin \omega t \\ \phi_b = E \sin (\omega t - \frac{2\pi}{3}) \end{cases}$$



$$E_c = E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

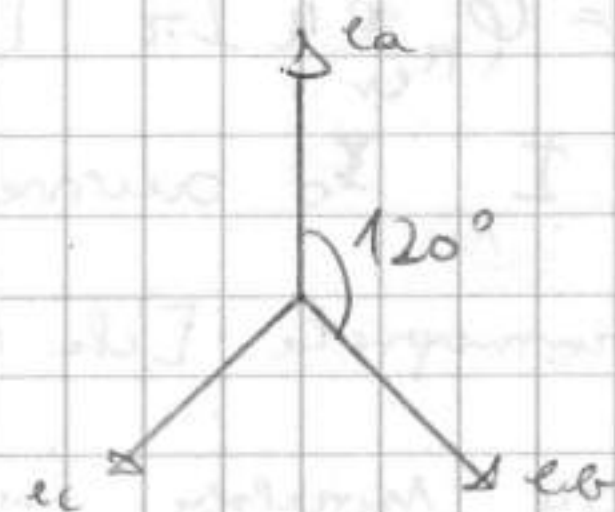
Si forma terza sinusoide di tensione, col e co

che le utenze richiedono sulla linea

per sembrano proprio 3 E separate su propri morsetti

Si chiama sincro e $\omega =$ velocità campo B rotante del rotore

Quindi $\Omega_R = \Omega_s$ e la pulsazione è $\omega = 2\pi f$ dove $f = \frac{n}{60} P$



→ macchina

17. Sincrona funziona da generatore Nello asincrona Mot.

19/11/06

era anche inaltatore, qui è il rotore (il suo avvolgimento) → alimentato

in continua, come se alim. da batteria. Mettendo in rot. il rotore

c'è B rotante; gli avv. di motore quindi tagliano linee di ϕ che

variano a causa della rot. → c'è $d\phi/dt \Rightarrow$ fem in motore (avv.)

Femmo spostare di 110° lo scatto anche le e.

$n_r = \frac{60f}{P} = n_r$. Imprendo n_r imponiamo ω ; essendo f fissa n_r

no a che velocità ruota. È importante che f rimanga costante (rate internazionale). Impianti \leftrightarrow a scossa dei sistemi "conventuali", ex

idroelettrici che muovevano turbina idraulica; x evitare moltiplicatore di

giri a causa bassa ω turbina si cerca di usare m. minori

con molte P che ruotano con turbine idrauliche, che sono diverse.

X i termoelettrici e nucleari ci son turbine con elevata velocità m.

forma a basse P. (sempre x mantenere f costante)

$E = k N \phi \cdot \Omega_R$. Rete a 50 Hz ha tensione prefissata.

parametro macchina → si può variare E del generatore agendo sul flusso,

nelle avv. rotative. $\phi \propto [I_r] \rightarrow$ corrente di eccitazione $[I_{ecc}]$, senza

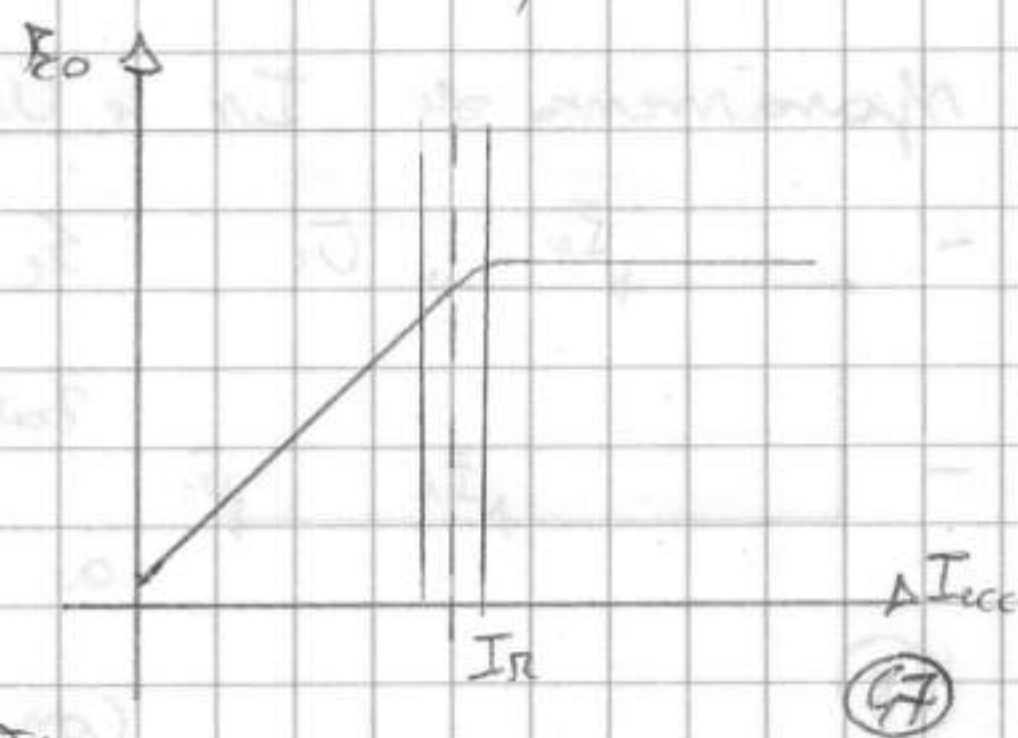
quella ϕ flusso]. Si disegnammo E_0

[E a vuoto, fem che si genera quando

non chiedono corrente alla macchina]

[la uso nel trans.] rimp. a I_{cc} . Parte "quasi"

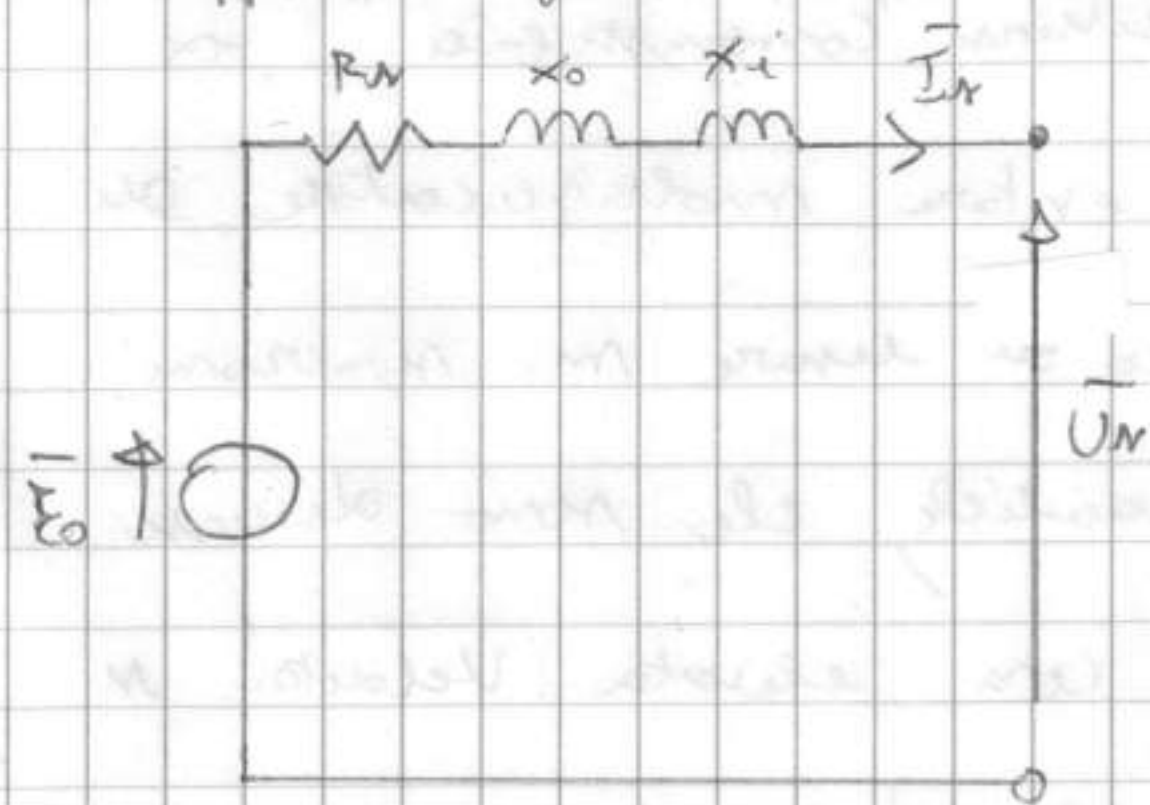
da 0 [c'è magnetizzazione residua] $\Rightarrow \phi$ residuo.



$\varphi = \varphi_{per} + k I_r$ [φ_{per} φ residuo, della magn., a I nulla], all'aumentare di I , E_o aumenta linearmente. Ad un certo punto si noterà il ferromagnete [che non è ideale], macchina lavora in "ginocchio" vero, oltre sarebbe inutile, prima? [macchina alimentata in continua; si usano gli stessi anelli collettati della macchina asincrona, con spazzole. Le due estremità sono collegate ad anelli dove non collegati tramite spazzole in grafite dei terminali che prelevano I da rete, transf. da alternata a continua; questi oggetti possono controllare i valori. Se vuoi regolazione precisa di I , quest'oggetto è + complesso. È comodo risparmiare anche se si fornisce valori un po' < > da quelli voluti] Se non abbiamo I volute alterni scegli equilibri; nel ginocchio la pendenza curva è debole, quindi $\Delta E_o \ll \Delta E$ (prima). \Rightarrow errore del valore di I di max. 10% è accettabile, prima fornirebbe E troppo elevata.

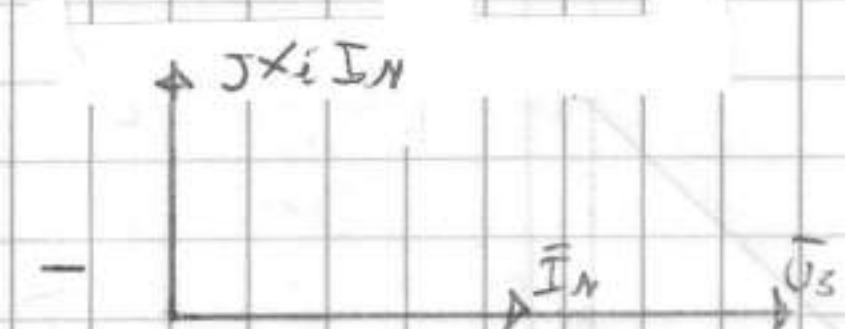
Circuito equiv. semplificato:

Si rappresenta fem. E_o a vuoto e parametri di m. par. v. \rightarrow che abbiamo in Motore



macchina sim. col equil. trattiamo come monofase. R_r = resistenza fisica Motore; reattanza di dispersione X_o . \exists altra X_i , REATTANZA DI INDOTTA [anche nell'asincrono ma trascurabile]

[Regolazione U_r fatta resp. a E_o e a I_r] φ prodotto dal rotore che si concatena. Quando c'è I_r in Motore produce anch'esso un flusso, innanzi E_o di φ , la presenza di un altro φ [al traferro], FLUSSO DI INDOTTA, va considerata. φ_i data I_r e dal tipo, dello sfasamento di I_r e U_r . \exists 3 casi limite:



Se carico è pur. resistivo si ha leggera magnetizzazione φ . Si "oppone" a quello di rotore. Da luogo a sfasamento di \perp rispetto a φ_{rot} . Una I_r in fase con U_r produce φ basso che produce "piccolo" M_{an} .

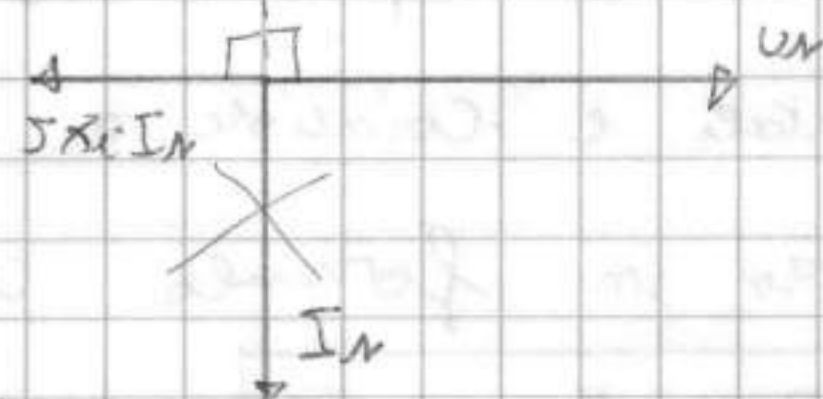
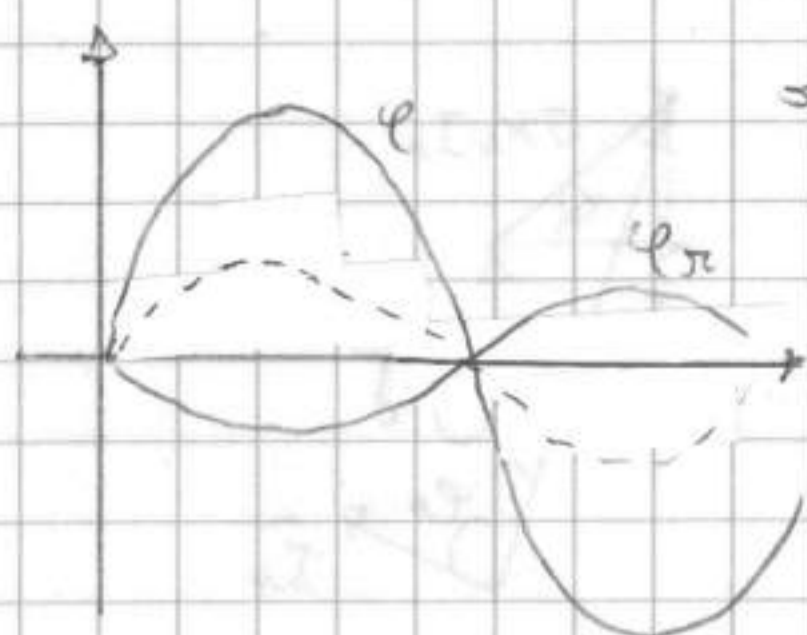
di 90° . C'è $\varphi = L I_r$. Vettore tensione $j X_L I_r$ sfasato di 90° .

- Carico induttivo puro. C'è forte magnetizzazione, $j X_L I_r$ sfasata

di $180^\circ \rightarrow$ la componente di φ minore.

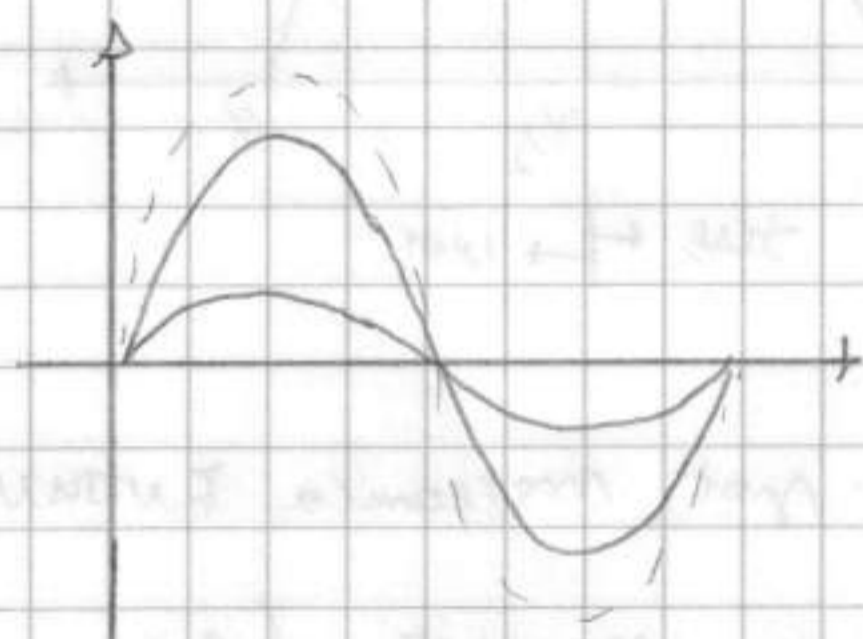
Per la conv. del G. I_{re} : ΔI_r

[I_r è inattiva x
utilizzatore]



- Carico capacitivo puro, $j X_L I_r$ è concorde con U_r , n'ha un

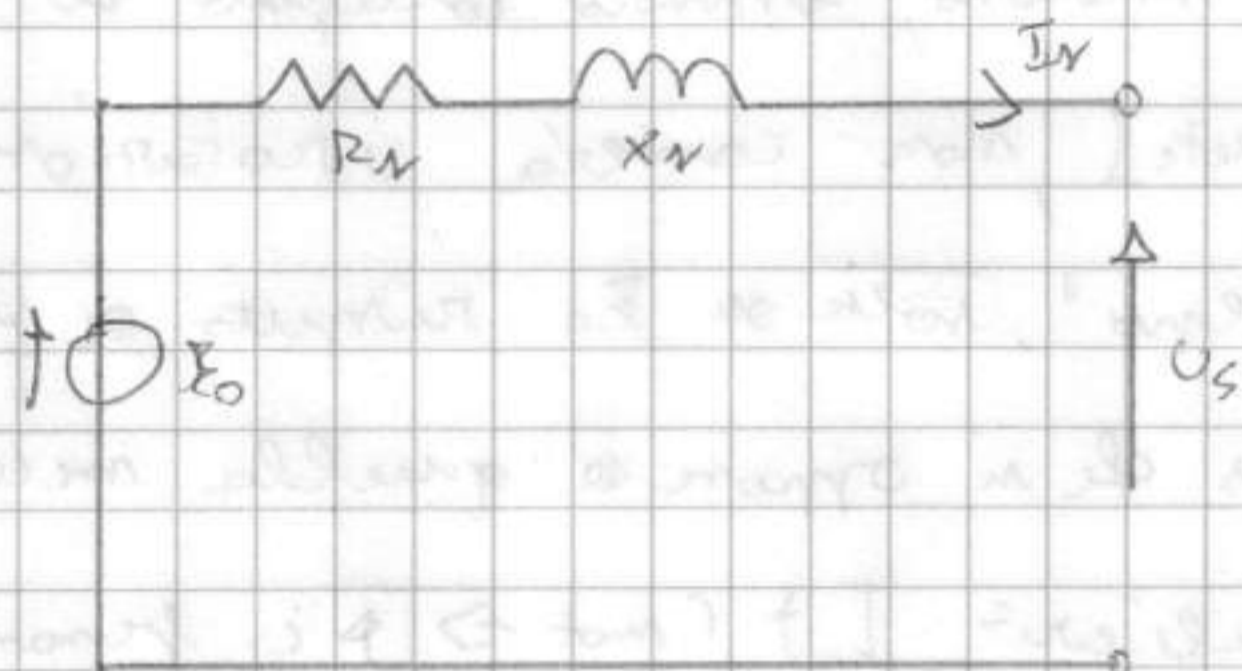
effetto MAGNETIZZANTE



Nelle macchine indotte e motore col effetto di campo generata e/o demagnetizzante e transitoria.

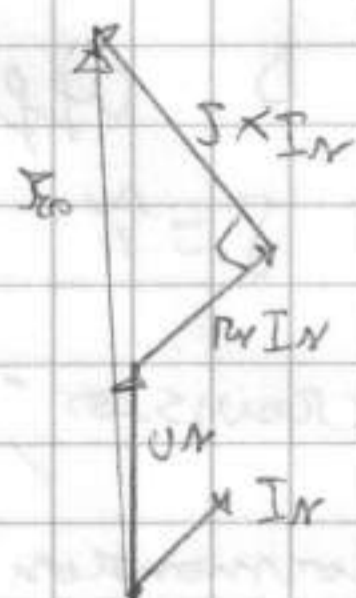
Modello gen. equiv:

[X_r meno già fornita]



Andamenti I ed U :

$$E_0 = U_r + (R_r + j X_r) I_r$$



Si può det. COPPIA macchina sincrona. Rapporto tra

potenza e v. di rotazione;

$$C = \frac{P}{\Omega_r}$$

Se togliamo R_s [gen. ideale] $P = 3 U_r I_r \cos \varphi_r \Rightarrow$

$C = \frac{3 U_r I_r \cos \varphi_r}{\Omega_r}$ Per il modo di equi il diagramma e'

$\delta =$ angolo di carico della macchina.

$X_r I_r \cos \varphi_r =$ proiezione $J_{xr} I_r$ su am.

orizzontale e coincide a $E_0 \sin \delta$. Sov.

tituendo in formula coppia:

$$C = \frac{3 U_r E_0 \sin \delta}{\Omega_r X_s}$$

$$\Delta \hat{N}_2 = \cos x.$$

Anche qui c'

zona STABILE e INST. Se $\delta < \frac{\pi}{2}$ e mot.

alimentato sta farlo funzionare in A. Generatore

invia potenza a rete, e' coppia frenante rispetto a pot. meccanica ENTRANTE.

(In equilibrio). Ora motore prima imporre coppia maggiore (ex.

tesioma che \uparrow m. a corso \uparrow portata). Se aumenta coppia meccanica

[Coppia gen e' costante], c'e' $\Delta C > 0 \Rightarrow$ aumenta la V dell' oggetto.

All' aumentare della coppia motrice le macchine, essendo collegate a

rete a f costante [non cambia grandezza rete], non cambia V rotazione

quindi in STESS U_r imp. a E_0 , "colpo", molto di E_0 rispetto a U_r

Maie \Rightarrow si aumenta δ e aumenta coppia che si oppone a quella meccanica

della tesioma; si passa in B, in equilibrio. [$\uparrow C_{mot} \Rightarrow \uparrow C_{frenante} \Rightarrow$

aumenta potenza verso la rete]. Tutto e' Maie fino a $\delta = \frac{\pi}{2}$.

In "C" con aumento E_0 si sfara e $\delta > \frac{\pi}{2} \Rightarrow$ diminuisce $\sin \delta$ e

Coppia gen. minorano in opposizione diminuisce, allora in D. Oppre

$C_{fren} < E_0$ si sfara ancora di più, va in "E", fino a $\delta = \pi$ dove

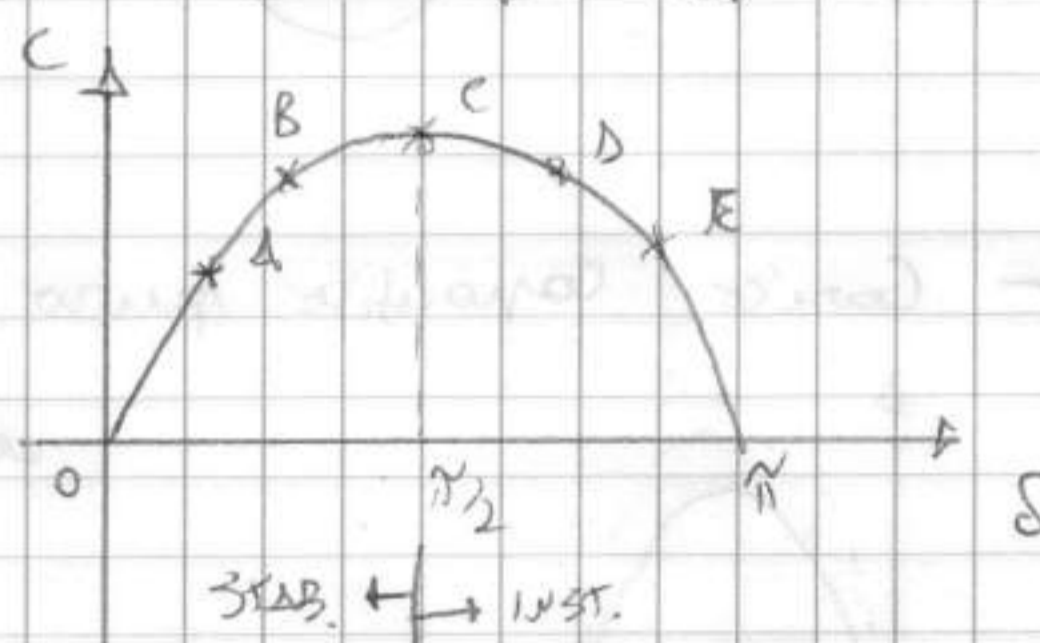
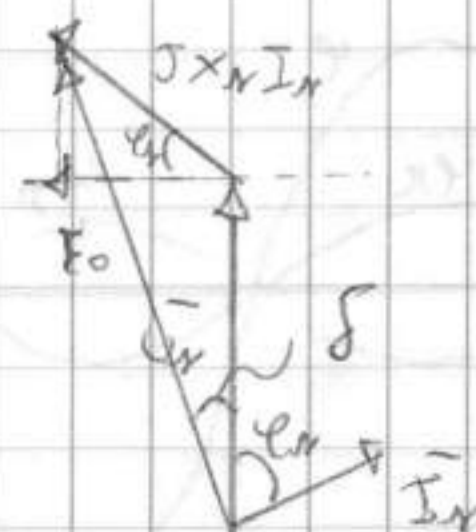
macchina - non potendosi opporre a C_{mot} - PERDE SUCCESIVO, gen.

non fornisce potenza e quella meccanica, non trasformazioni in

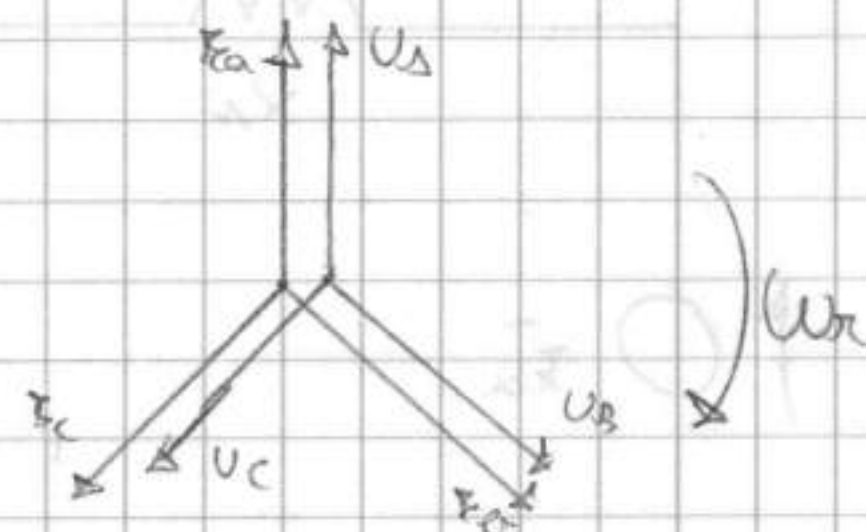
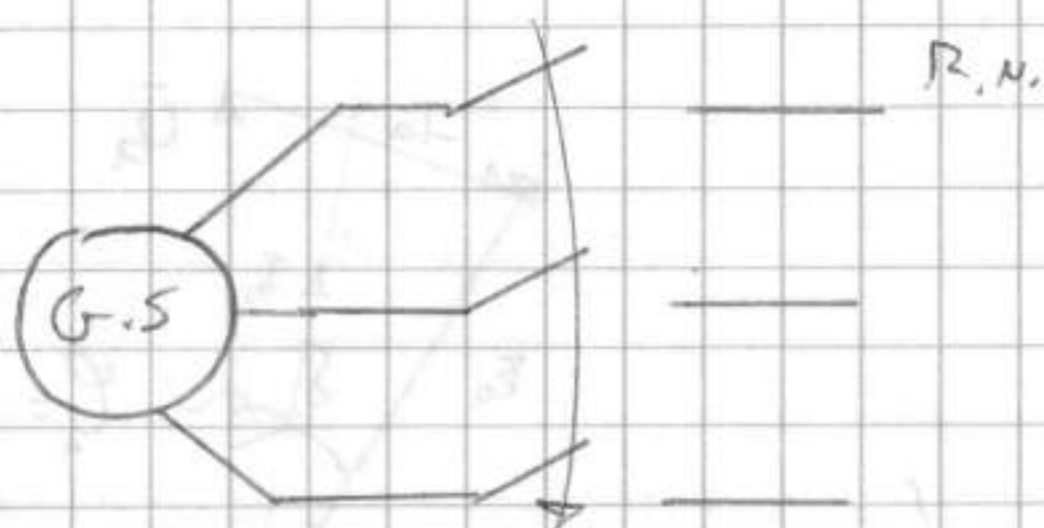
elettrica, genera \uparrow su V all' $\infty \Rightarrow V_a$ in FUGA e quindi si ha rottura

organi meccanici.

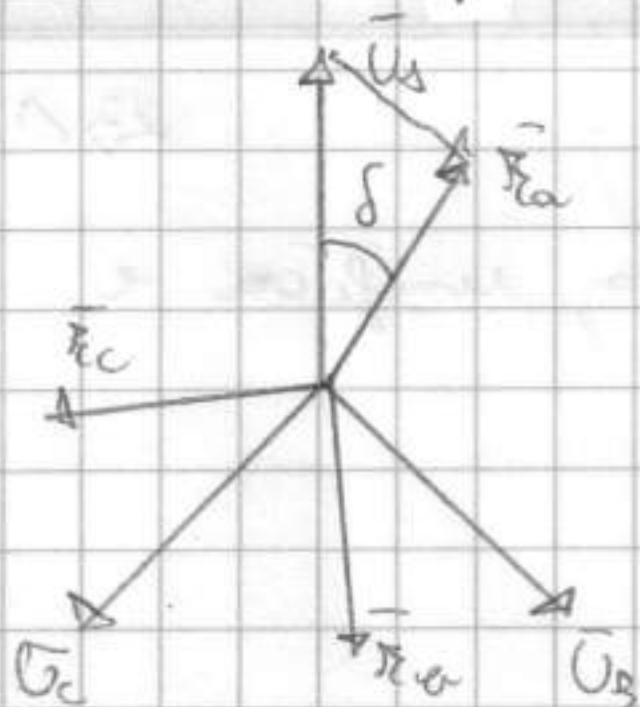
50) Generatori minorano vanno messi in rete.



(ex. manutenzione). Come avviarlo? Come collegarlo alla rete?



Su rete nazionale c'è certa tensione. Quando chiudiamo [Eo > 0, G.S. ha tre avvolgimenti che hanno R_s e X_s che sono piccole], forniamo 10 kV e si producono correnti enormi (oltre agli archi elettrici, interruttori ^{→ moltiplici, etc...}), volta la macchina. Se $E = 0$ (e nono far: $E_o = 20$) e si torna $E_{a, b, c}$ ruota a $\omega_r =$ torna $U_{a, b, c}$ si possono collegare. Quindi ruotiamo gen. finiscono a $\omega = \omega_r$, cioè $n_r = 60 f$. Non sappiamo però E_o [$E = k \Phi \omega_r$]. Intervieniamo nel flusso, nella I_r ($E = 0$). Variamo $I_{ecc}/I_{a, ecc}$ $E_o > 0$. E' però probabile che si ha: (uso torre sparata)



Su ogni fase può passare corrente:

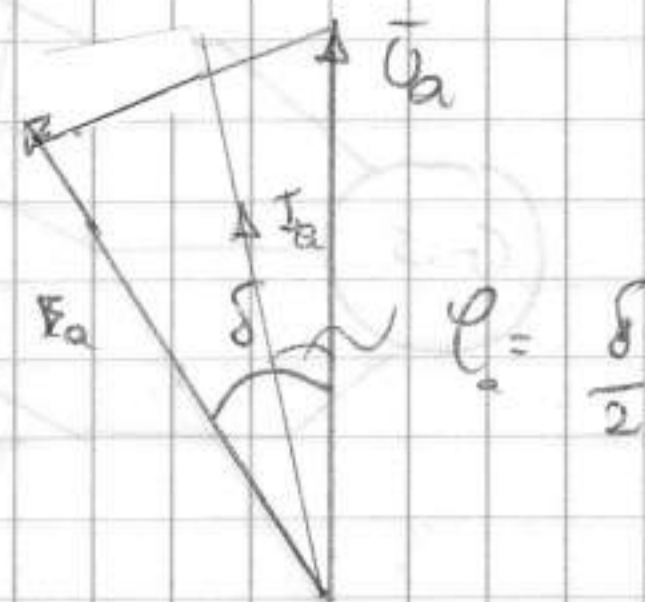
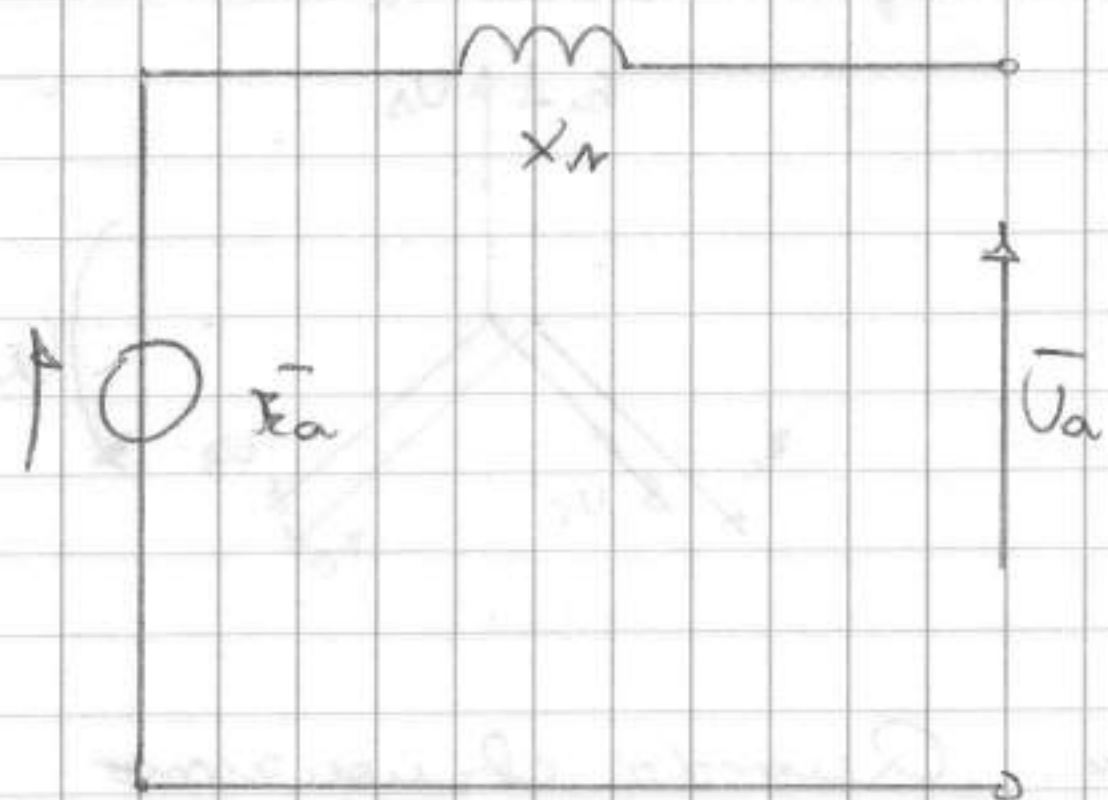
$$\frac{U_a - E_a}{R_s + jX_s} = I \quad \text{con modulo che può}$$

essere elevato \Rightarrow si devono sovrapportare. Si agisce su motore primo (turbina), cambiando

rotazione, f scivola di $1/2$ Hz all'incirca. Cambia la V relativa, non a f scivola. Quindi torce cambiando per relativa rispetto all'altra, fino a $\delta \approx 0 \Rightarrow$ qui CHIUSO interruttore. Una piccola differenza di f è ammessa alla chiusura, si ha piccolo colpetto (ex. da 45 a 50 Hz). ∇I senso che aumentano $\delta \rightarrow 0$.

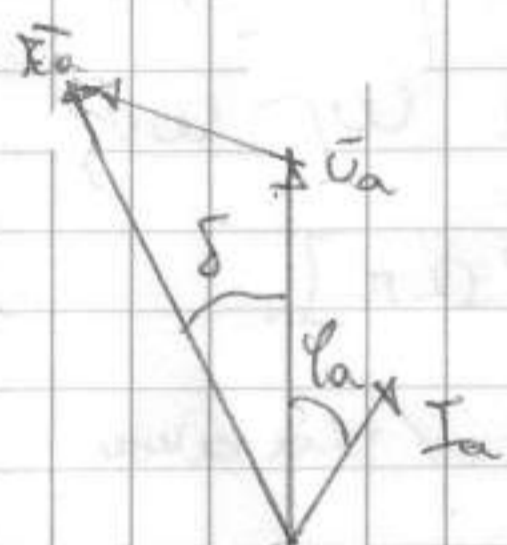
A volte si mettono LAMPADINE tra tensioni, quando si avvicinano (ex. in impianti idroelettrici) luce si spegne e si chiude interruttore.

Se $E_a = U_a$ però $I_r = 0$, non genera. Deve fornire pot. verso la rete. Ci vuole coppia meccanica al rotore. E_a si farà uguale a U_a [e' già agguanciato, può farlo]



$$I_{X_s} = \frac{E_a - U_a}{jX_s}$$

Si genera pot. attiva, ma I_a è in ANTICIPAZIONE su U_a , genera potenza induttiva. Non è commovente, carico è induttivo. Voglio che fornisca Q induttiva, la voglio in ritardo, si aumenta I_{exc} , $\Rightarrow \uparrow I_a$ [I_a è aumentata], I_a è I_a ∇ , quindi trovo Q INDUTTIVA, compensa quella induttiva richiesta dai carichi, si aumenta E con \uparrow coppia.



Condizioni di lavoro ottimali.

IMPIANTI [vedi capitolo di tensione nel trasformatore]

23/1/06

Normativa di riferimento degli impianti. Normativa, unifica e certifica, quindi controlla.

1) NORMAZIONE

2) UNIFICAZIONE

3) CERTIFICAZIONE

4) CONTROLLO

1) Criteri generali x prog. costr e collaudo su macchine e impianti elettrici
x garantire corretto funzionamento (linee "pulite")

2) "elettrica": Caratteristiche macchine, installata f di tipi costruttivi, x rendere semplice appraig. e mant. x commercial. prot. e vogliono materiali e procedure specifiche x tale oggetto.

[+ semplice processo costruttivo, > semplice verifica della bontà del prodotto]

52) Passando da configurazioni locali (città) a quelle + grandi (regione,

nazionali, reti interconnesse) si è resa necessaria l'armonizzazione x
tensioni, frequenze, pure elettriche. [ex: in trazione ferroviaria, noi
in continua a 3,3 kV, altri paesi a diverso \rightarrow è difficile spostare i
locomotori] Stesse normative tecniche x i vari paesi; in Italia norme
emanate dal Comitato Elettrotecnico Italiano \rightarrow seguire normative inter-
nazionali e le "tracce" x l'Italia. A livello mondiale x la
norm. elettrica ci si riferisce all'IEC [≈ 60 paesi]. Norme trasferite
a commissione europea CENELEC, scambio info. (ricepire e correggere)
in modo da non "rubare" le norme che hanno subito €. Nel
CENELEC [19 paesi], poi ci sono i comitati nazionali (noi il CEI)
Dal 1968 [Legge 186/1968], tutti gli impianti e apparecchiature
vanno progettate e costruite a regola d'arte e non automaticamente considerate
tali se ne segue il CEI [e non se ne segue il CEI va comunque dimostrata la
bontà]. IEC non usa gli argomenti, indicazioni già prese a
livello locale [f, V] ma us' di riguardare gli "scambi" tra paesi.
Il CEI è diversi comitati tecnici che emanano norme. Quelli +
importanti sono C.T. n. 2 (macchine rotanti, azionamento), Impianti ad
alta tensione (C.T. n. 11), transf. (C.T. 14), lampade, impianti utilizzatori di BT
(C.T. n. 64), prot. contro fulmini (C.T. 81); tutti gli edifici devono
essere protetti già scariche. I comitati x la parte della
produzione di energia, x trasporti
3) 4), verifica rispondenza a normativa presente. I segni
enti certificatori x caratterizzare oggetto. I marchi CEI che però è
"auto-certificazione", mi assumo responsabilità; IMA \rightarrow Istituto
Italiano Marchio di Qualità importante x la sicurezza. Non è
auto-certific. ma è rilasciato da ente a seguito verifica prototipi;
I marchiatura CE [apparecchi in BT, dal '97 con direttiva BT
si ha obbligo ad ^{appare} questo marchio].

(NOTE \rightarrow)

- Legge 186 ha 2 articoli: oggetti a regola d'arte e ne regolano CEI lo sono.
- Legge 833/1978: sicurezza ambienti e vita.
- D.P.R. 547/1955: non c'è riferimento tecnico del n.º di Volta elettrico. Norme troppo vecchie. È usata poi.
- Legge 46/1990: applicata agli impianti elettrici e tecnologici; impone che trattamento impianti sia effettuato da imprese "classificate". Se di norma di certi limiti ci vuole progetto dell'impianto. Se termine lavori impresa rilascia dichiarazione conformità a CEI, ma non si stabiliscono criteri, quindi ne è emanato il:
- DPR 447/1991: dove si fissano criteri x i limiti e come collegare impianti.
- Legge 791/1977: si riferisce a direttiva F3/23 della CEE che si riferisce a garanzia di sicurezza del materiale elettrico x applicazioni in BT.
- D.L. 626/1994: applicazione in tutti i settori. Impone ai progettisti e fabbricanti di attenersi a norme sull'igiene e salute lavoro. Ricepisce anche da comitati tecnici e CEI x quanto riguarda illuminazione.

- **TENSIONE NOMINALE**: V per cui impianto o sua parte è progettato.

- **SISTEMA ELETTRICO**: parte di impianto con componenti aventi tutte la stessa V_n .

- **IMPIANTO ELETTRICO**: complesso componenti che svolge det. funzione.

Sist. suddivisi in 4 categorie: 0, I, II, III riferite in base a V_n dei dispositivi.

*0: $V_n \leq 50 V$ in $\overset{\rightarrow \text{corr. alternata}}{\text{c.a.}}$ oppure $V_n \leq 120 V$ in $\overset{\rightarrow \text{corr. continua}}{\text{c.c.}}$

[pericolosità ed effetti sul corpo umano] \rightarrow legato al battito cardiaco di $\approx 60 \text{ Hz} \Rightarrow$ INTERFERENZA, aritmia cardiaca

*1: $V_n \in (50, 1000 V]$ in c.a. e $V_n \in (120, 1,5 \text{ kV}]$ in c.c.

59 *2: $V_n \in (1 \text{ kV}, 30 \text{ kV}]$ in c.a. e $V_n \in (1,5 \text{ kV}, 30 \text{ kV}]$

(oltre certi livelli non importa effetti in mano)

* III: $V_n > 30 \text{ kV}$ [limite superiore tecnologico o economico] in

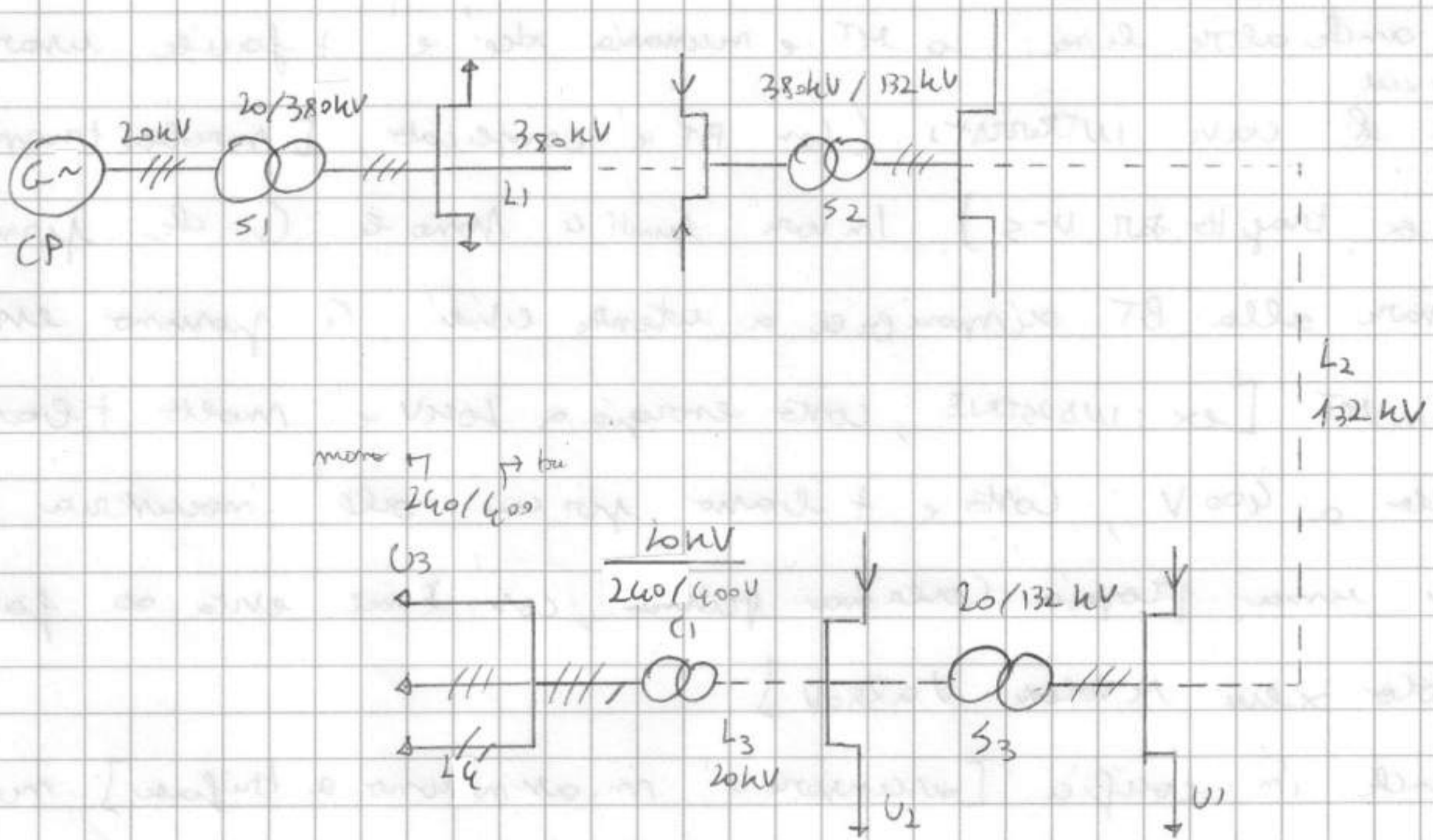
Italia n° ha max 380 kV , in Siberia $\approx 800 \text{ kV}$ (distanze enormi).

In pratica corrente si parla di BT, MT, AT.

0-I: BT; II: MT; III: AT

H

SCHEMA IMPIANTO ELETTRICO



"//": busbar; CP = Centrale di produzione, generatore; "": conduttore di neutro; S_x : Sottostazione; C_x : cabina di trasformazione.

$L \rightarrow$ è n° centrale del centro stella.

Generatori minori fatti a V non troppo elevati.

x problemi di isolamento della macchina,

avvolgimenti sono vicini, si insorgono ottimi dielettrici (\$!) x

isolare. Non si va oltre i 20 kV . Poiché dobbiamo trasmettere energia

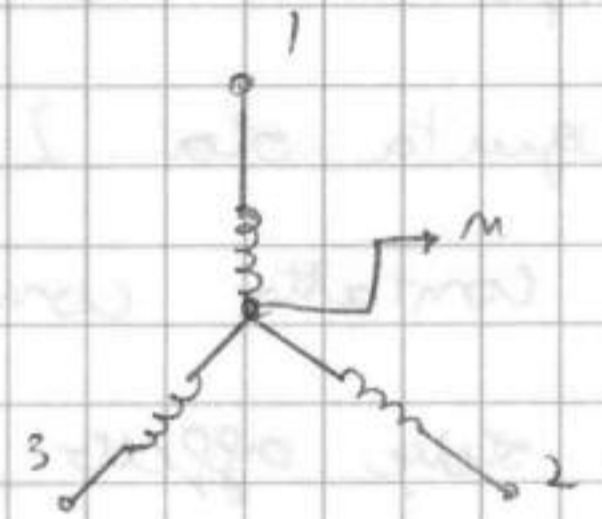
a lunga delle distanze - x ridurre P_{joule} - ci servono alte V [x

ottenere bassa I e stessa P]. Da 20 kV a 380 kV con sottostazioni.

Le " S_x ": zona con elevato num. di trasformatori legati a Σ di

linee \rightarrow interconnessione varie linee. In uscita da cabina u

sono utenze e pochi trasformatori in //



380 kV sono "ingombranti", debbono essere di tanto + lontani da
gronda apertura x evitare scariche. Quando si arriva in prossimità
dei centri abitati dobbiamo abbassare V, passiamo a 132 kV, e si possono
interconnettere zone di utenza a 132 kV e a 132 kV si possono avere
delle UTENZE [ex: comuni che vuole autogestirsi o aziende comunali
autonome che si collegano a reti ENEL]. Poi si passa a 20 kV, entrano
nelle città, (E anche altri livelli, ex 60 kV) in MT con 53 volte arriva
L2 ma anche altre linee. La MT è necessaria xché è + facile usare
materiali e cavi INTERMEDI (con BT è complicato, I sarebbe troppo
elevata, ex tragitto BT U-S). In vari punti ci sono le C che permettono
di passare alla BT disponibile a utenze civili. Ci possono essere
utenze in MT [ex: INDUSTRIE, come energia a 20 kV e molto + basso
di quello a 400 V; come + basso per cui alle industrie conviene
costruirsi una propria linea privata, così Enel evita di fare
una sola x lui a 380 V].

400 V anche in edifici [cancro e m. arrivano a trifase], negli
appartamenti a 240 V.

A 380 kV ci si collega anche con altri paesi (noi importiamo)
Importanti INNOVARI di PROTEZIONE; involucro con sigla IP
Richiesta da 2 tipi da 0-3; il 1° è grado di protezione relativo
a contatto con parti pericolose e relat. all'accesso di corpi estranei
di stile oggetto e' installato. 2° lettera e' protezione contro i LIQUIDI
(acqua e conduttrice)
↳ da 0-3

3 ulteriori lettere ma non sempre utilizzate relative all'
interno dell'involucro e ulteriori info relative al componente.

CORRE DIMENSIONARE LINEE BT

25/1/06

Carichi convenzionali, V assegnati, variazione e I che deve transitare,
dalla int. carichi. Poiché non si sa quanto volte si riducono
(56) le utenze ai carichi conv.

E' difficile coprire le utenze non fisse [ex. PRESE in aula...] Son

previste pure che assorbano I ora 10 A o ora 16 A, $220 \cdot 10 = 2,2 \text{ kVA}$
 $\times 3 \text{ prese} = 6,6 \text{ kVA}$ Tutti i carichi massime nominati sono ENEL, A

La cosa del tipo di utenza si forniscono: $K_U = \text{COEFF. DI UTILIZZAZIONE}$,
 definisce quanto un'utenza e' utilizzata rispetto alla P. nominale;

non e' detto che tutte le macchine lavorino alla loro P. nominale, ex
 condizionamento. Prese poi non sempre forniscono la P_{NEX} (ex. P. collegata).

$$K_U = \frac{P_i}{P_{im}}$$

i = classe di utenza, $P_{im} = P. \text{ nominale}$ [$0 \leq K_U \leq 1$]

Tenore a 1 x le utenze di illuminazione (e' bruis
 quasi tutti la accendono, $\approx 0,95$) In impianti industriali e condizionamento
 sono $< (<)$ di 1;

$K_C = \text{COEFF. DI CONTEMPORANEITA'}$ (non e' detto che tutte le utenze ^{cont.} restano off):
 definisce quante utenze nell'impianto devono esser alimentate contemporaneamente.

Stesso a casa, suffi. A casa abbiamo 3 o 6 kW che pero' non
 alimentano cont. tutti gli elettrodomestici, In imp. industriali non
 tutte le macchine sono in fun. contemporaneamente. Quindi

$$K_C = \frac{P_t}{\sum_i P_i}$$

$P_t = \text{Potenza totale utilizzata}$; i = classe di utenza

$$[0 \leq K_C \leq 1]$$

$$P_t = K_C \sum_{i=1}^N K_{Ui} P_{im}$$

→ molto < della \sum delle P_m , non

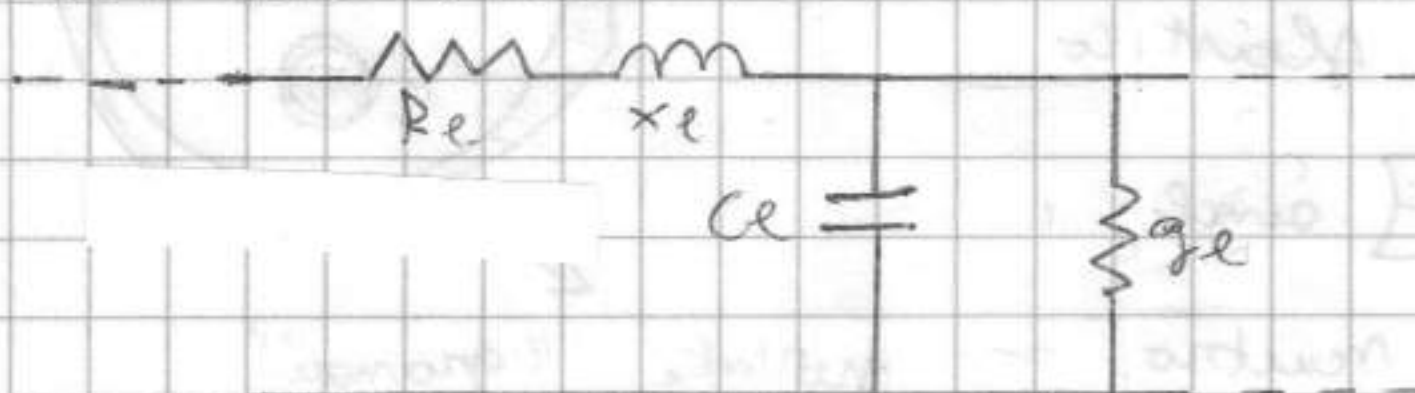
facciamo impianti sovradimensionati. E

importante la scelta dei coeff. Troppo bassi = sottodimension, Troppo
 alti sovradim (+ \$).

Coeff. tabulati, determinati statisticamente. Dal '900 si e' vista l'evoluzione
 delle varie utenze.

Come rappres. una linea elettrica? Si può parametrizzare con 4 elementi:

Ex: $L = 1 \text{ km}$ ^{o di riferimento}



→ gli elementi sono distribuiti.

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ qui } R_e = \rho \frac{l}{S} \text{ [}\Omega/\text{km}\text{]}$$

[$S = \text{mm}^2$]; $\rho = \Omega \cdot \text{mm}^2$ e $S = \text{km}$
 per d. di linee non km aeree o interrate

Facciamo stopp. a parametri concentrati. Fase di una linea $\times 10 \text{ km}$

abbiamo unite 10 blocchi con. X_L e effetto auto e mutua

induttanza fase; c'è l'alternata con altri conduttori vicini tra di loro che si influenzano mutuamente, cavi messi in // che generano un

certo φ . $X_L = \omega L$; L dovuta da considerazioni geometriche:

$$L = \left(0,4606 \log \frac{2D}{\sigma} + k \right) \cdot 10^{-3} \left[\text{H/km} \right]$$

σ = diametro conduttore considerato \rightarrow Extraliscio

D = Distanza tra conduttori diversi

k = Contributo di campo della parte interna

del conduttore, interazione a causa del tipo [linea = + anima non

intrecciata, corrobato - univale in ΔT - c'è corrobatura tra rame e acciaio;

Cu e $\Delta L \times$ piccola p , acciaio \times buona resistenza meccanica \times evitare

rottura a causa del peso e delle cond. esterne]

Linee aeree usano conduttori nudi, non hanno guaine isolanti

che è improbabile il contatto tra gli elementi o a causa del vento quello

reciproco. Nelle linee interrate poniamo conduttori nei tubi (ex $[k \approx 1,2]$ tutte e 3 le fasi vicine); a causa delle vicinanza e del $<$ valore di

tensione dobbiamo garantire isolante di protezione.

\rightarrow Conduttore di $\approx 100 \text{ A}$
- Cavo unipolare: 1 polo = 1 fase = unico conduttore di rame

ricoperto da 1 strato isolante, poi una sottile guaina metal

lica, retina che fornisce resistenza meccanica \rightarrow Abbiamo bisogno

di cavi flessibili; importante che il cavo non si rompa \times eventi accidentali

[ex ruggine che tira su il cavo. C'è ultimo rivestimento plastico.

- Cavo tripolare: 3 anime di met. conduttore,

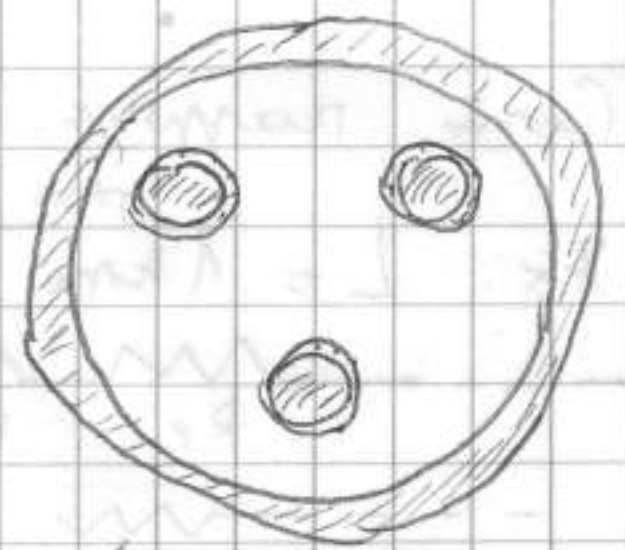
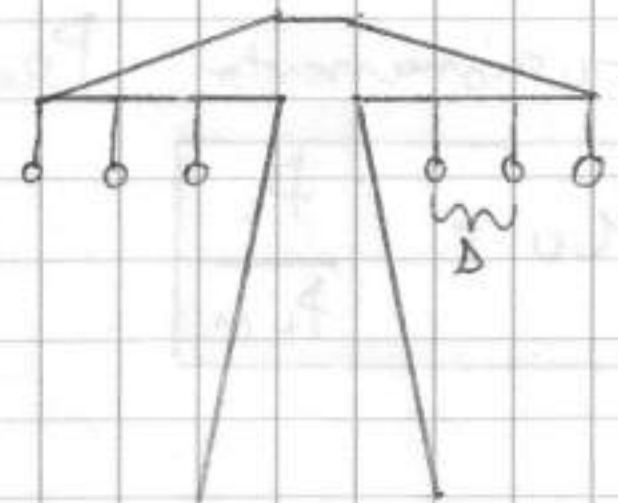
Ciascuna ha isolante. Cavi dentro a

unico involucro, ricoperto da strato plastico

esterno. Ci sono materiali interni. } anche i

58 quadrupolare se viene portato il neutro

portato "grandi"



In linea interrotta $X_L < X_C$ (linee aeree)

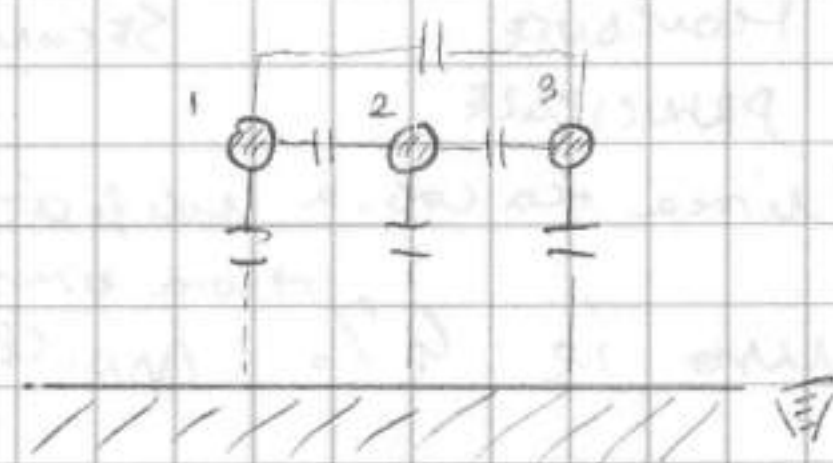
C_e e g_l è solo alle linee aeree in AT, in MT e BT sono trascurabili.

C'è rappr. il fenomeno di campo elettrico tra i diversi conduttori delle fasi e il terreno stesso. 1, 2, 3 sono

spaziati. C'è ΔV tra conduttori e tra conduttori

e il terreno (valori piccoli). Prevalgono

C tra cond. e terreno che tra vari conduttori. Si definisce il valore



$$C_e = \frac{0,02413}{\log \frac{2D}{d}} \left[\mu F / km \right]$$

D = distanza tra conduttori

d = diametro conduttore

g_l corr. fenomeni di conduzione superficiale del cavo (luminiscenza intorno al conduttore, con umidità ed ex. che - essendo acqua conduttrice -

fornisce via di richiama della I, piccole scariche - blu - intorno al conduttore). Si abbassa il dielettrico del materiale intorno al cavo. Se

aria e natura di umidità, E e ϵ' + basso \Rightarrow dissipazione aggiuntiva.

Per linee interrotte in MT e BT, C_e e g_l trascurabili quindi il km

di linea è: $\underline{\quad m \quad m \quad m \quad m \quad}$

Poiché abbiamo solo la serie, possiamo definire la resistenza totale

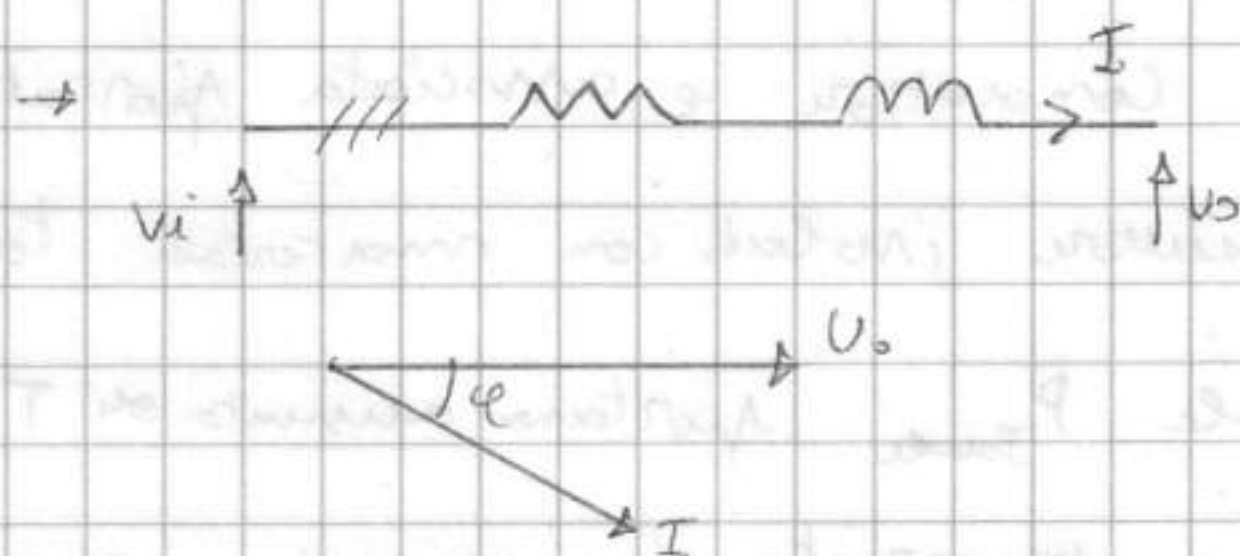
della linea: $\boxed{R_e = l \cdot r_e}$ [costruttore fornisce r_e] l'ora per

$\boxed{X_e = x_e \cdot l}$ [costr. fornisce x_e]

La caduta di tensione in una linea in trifase è:

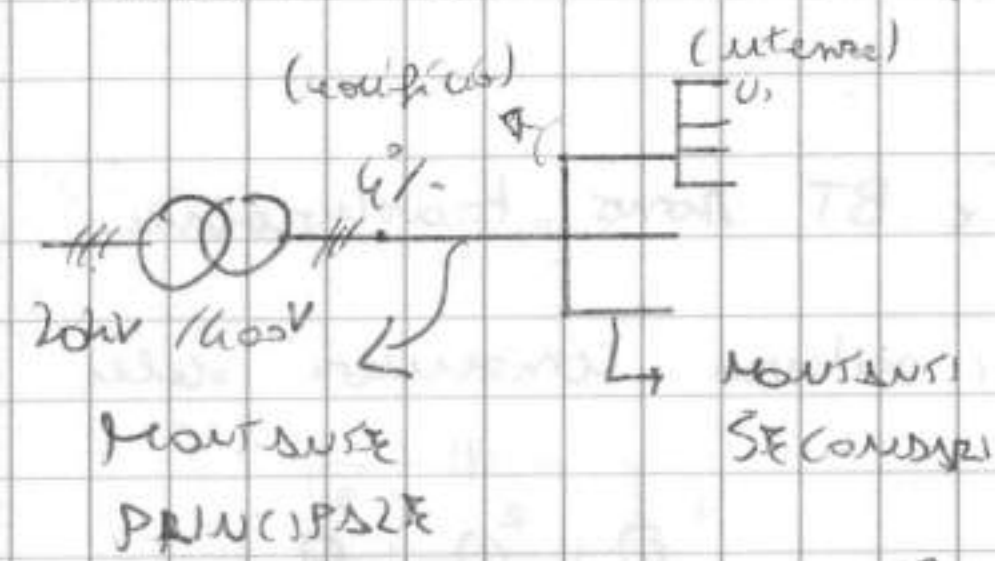
$$\Delta V = \sqrt{3} I (R_e \cos \varphi + X_e \sin \varphi)$$

Espr. approx usata in linee e in trasformatori.



Come avere il dimmer? Normativa dice che ΔV tra usata cabina trasf. e allaccio utenze non più del 10%.

Quindi $\Delta V \leq 10\%$ Dalla coerenza di transf. 3 fase era linea che



va a + utenze. All'edificio si arriva in Σ di linea che vanno a utenze finali. Al max si deve avere 360 di V in un'ora (10% di 400). Sul M. PRIN si

una le 4% poiché - essendo il x con + lungo ma essendo il + "moto" - si ha bene la condotta. In quelli chilometri invece non so come sono distribuiti.

Per dimensionare solo MC applichiamo i valori di R_e e X_e a ΔV .

Parliamo di BT, quindi X_e è + piccola nell' ΔT . In BT $X_L < R_L$.

In BT normativa dice che $\cos \phi$ deve essere $> 0,9$ [$\cos \phi \geq 0,9$]

Se fosse maggiore si usano condensatori di rifasamento. [Si accetta da 0,7 a 0,9 ma si pagano le penali che non consentono. Se si volti e vietato.] $\sin \phi < \cos \phi$, quindi in BT $\Delta V = \sqrt{3} I R_e \cos \phi \leq 4\% V_i$

Come det. I ? \rightarrow tramite k_c e k_{ui} I definita da P_t delle impedenze.

$$P_t = k_c \sum_{i=1}^N k_{ui} P_{im} = \sqrt{3} V I \cos \phi, \text{ quindi } I = \frac{P_t}{\sqrt{3} V \cos \phi} \quad \text{e}$$

$$R_e \leq \frac{4\% V_i}{\sqrt{3} I \cos \phi} \rightarrow \text{poiché } R_e = \frac{\rho l}{S} \rightarrow \text{det. } S = \frac{\rho l}{R_e} \Rightarrow \text{scegliamo}$$

un cavo da tabella [cavi in BT hanno dim. precise, quindi nei calcoli abbiamo $S \leftrightarrow$] con $S_c > S$ [serie commerciale]

Al conduttore è associata portata I_z che d'ora cond. di esercizio

Conduttore isolato con materiali termoplastici che resistono a max 70° ;

se le P_{js} portano aumento di T e isolante inizia a perdere le

sue proprietà (si scioglie, poi si raffredda, poi si scioglie) \rightarrow instabilità

meccanica, microfessure e cedimenti e si ha CC. Si parla di

P_j diminuita da T del cavo d'ora efficacia scambio termico con

⑥ esterno (in linee aeree e t. forate). Se è interrato lo scambio è +

difficile. Rimando la T il lim e non la I. Mi def. le condizioni su
Poss del cavo e quindi la portata. $I_z = k_1 k_2 \cdot I_{z \text{ aria}}$ → cond + effici

$k_1, k_2 \in [0, 1]$, k_1 d. da PROFONDITA' DI POSS, k_2 d. PRESENZA ALTRI
CABLI che risuonano $\rightarrow I_z \text{ reale} \neq I_z \text{ ideale} (= I_{z \text{ aria}})$. Costruttore da $I_{z \text{ aria}}$.

Determiniamo k_1, k_2 (tabellati) e troviamo I_z ; confrontiamola con I .

Se $I_z < I$ dovremo scegliere una $S_c >$ di quella trovata.

Oppure mi cambia tipologia di cavo \rightarrow ex. in alcuni casi mi può
ammorire tutto il singolo x il cavo ($k_2 = 1$).

Dopo la verifica tecnica possiamo impiegare il cavo.

PERICOLOSITA' DELLA CORRENTE ELETTRICA

27/1/06

Norma (IE) 64 \rightarrow impianti in BT. In tutte f. vitali l'attività cellulare
e' influenzata dalla corrente. Da semplice irritabilità, alla contrazione
dei muscoli [torcicolo o torco con polso mano che \rightarrow a chiudersi e
non si scarica] si apprezzano con intensità e durata f. corrente. \rightarrow
aritmia cardiaca (battiti simili a f. corrente). Uomo medio in
accorze a $f = 60 \text{ Hz}$ di $0,9 \text{ mA}$; se $f = 1 \text{ kHz}$ la I_{min} percepita e' di 1 mA ;
se e' continua mi accorze di 2 mA . Si def. la SOGLIA DI RILASCIO: max
 I x cui persona può lasciare elettrodi con i quali e' in contatto (10 mA
 $\times 5 \text{ sec}$). Si def. la SOGLIA DI FIBRILLAZIONE (con soglia di $9,5\%$ di
prob. di aritmia.) \rightarrow

$I = \frac{165 \div 185}{\sqrt{t}} \text{ mA}$. Si def. il FATTORE DI
PERICOLO (iter su I_{ref} riferimento, da mano

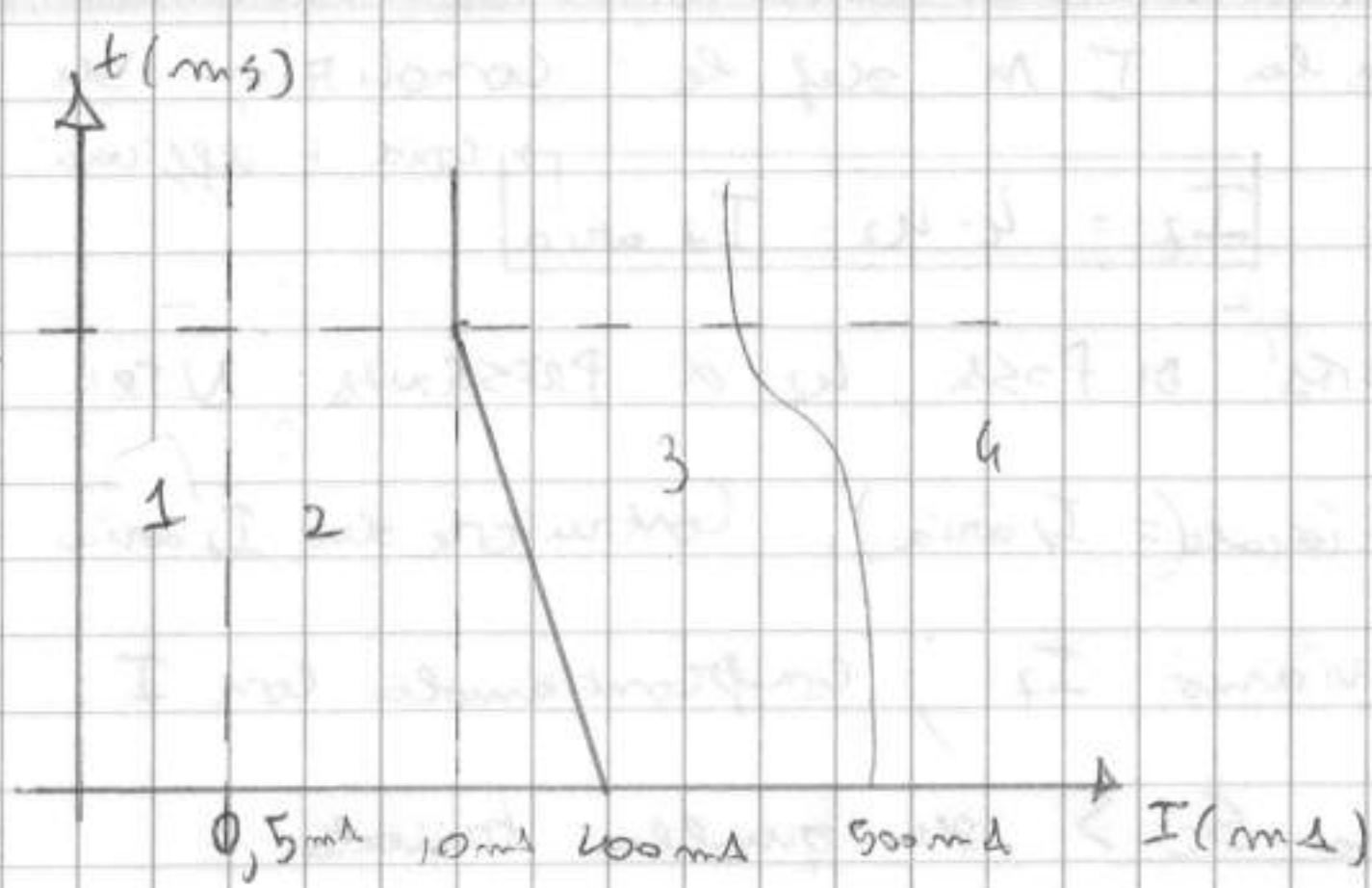
rx a piedi e valutata la I aritmia). Per gli altri $F = \frac{I_{\text{ref}}}{I}$, x
prossima aritmia basta $I < I_{\text{ref}}$ (x il percorso

m. rx - torace = 1,5; m. dx - torace = 1,3; m. rx, m. dx e' meno pericoloso, < 1).

Dati in base Matematica. Ci interessa la V x la quale passa una
 I di pericolosità convenzionale $\approx 10 \text{ mA}$. I prod. da V applicata.

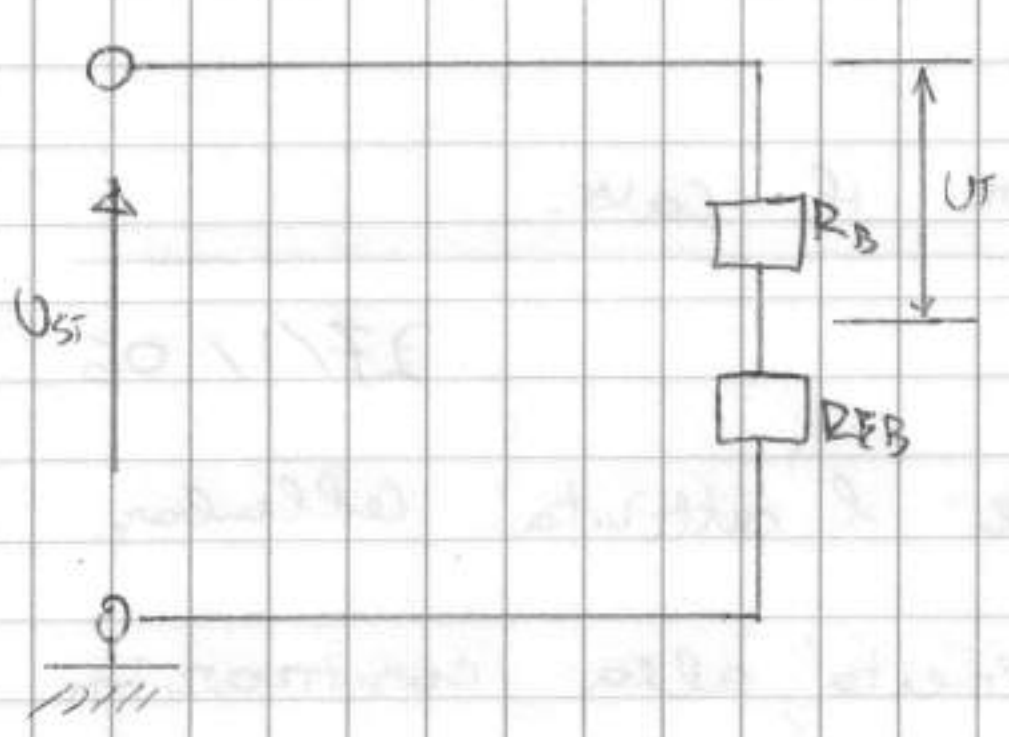
Si fornisce gliogramma, con limite a $9,9 \text{ mA}$ [I] \rightarrow non c'è aritmia,
basta, non c'è reazione. Poi c'è [II] dove I si 10 mA

$\times t > 2 \text{ sec}$ e $I >$ per $t < 2 \text{ sec}$. Si sensibilizza ma non effetti



pericolosi. In B c'è zona di disturbi muscolari, reversibili. In C c'è innesco continua con valori sempre + irreversibili. E anche le ustioni; corpo umano e' sensibilita → I continua in questo

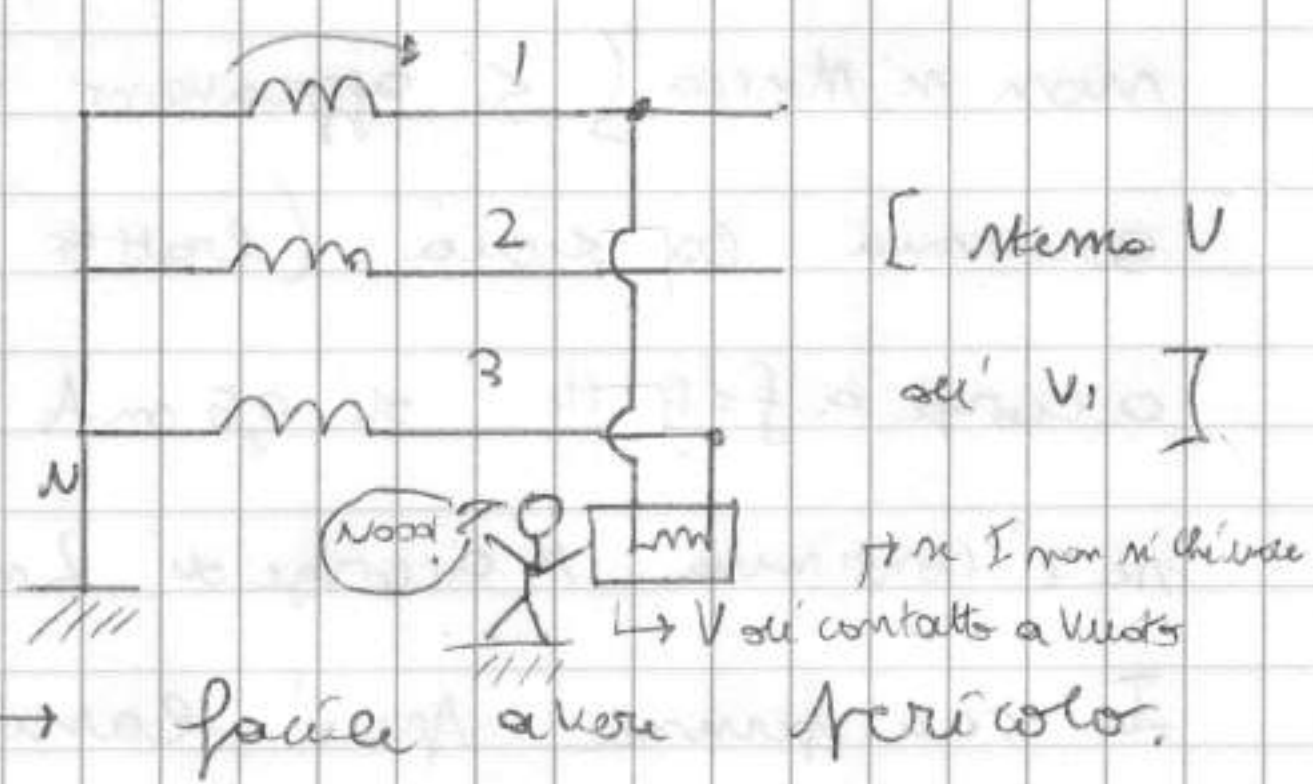
caro ha stessi effetti. Si def. V alle quali corpo umano e' soggetto.



$R_b = R$ corpo umano $\approx 2k\Omega$
 $R_{FB} = R$ persona verso il terreno
 Persona e' in pericolo se tocca ad ex involucro apparecchiatura (non in tensione) che a causa di guasto e' → a terra

in tensione (ex fase alim. torca involucro). Centro nella trasformatore e "avvicinabile" da persona che e' alla

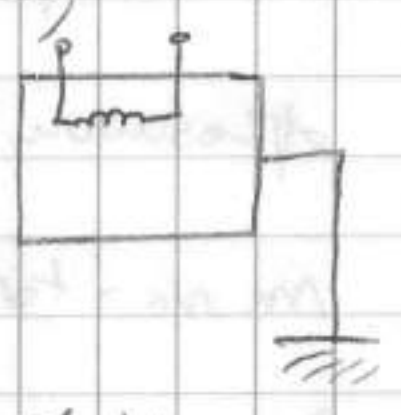
stessa V di V1. [R_b e' sia come mano Vertici] Se $U_{st} \approx 230V \rightarrow I \approx 230mA$ [$R=1k\Omega$]



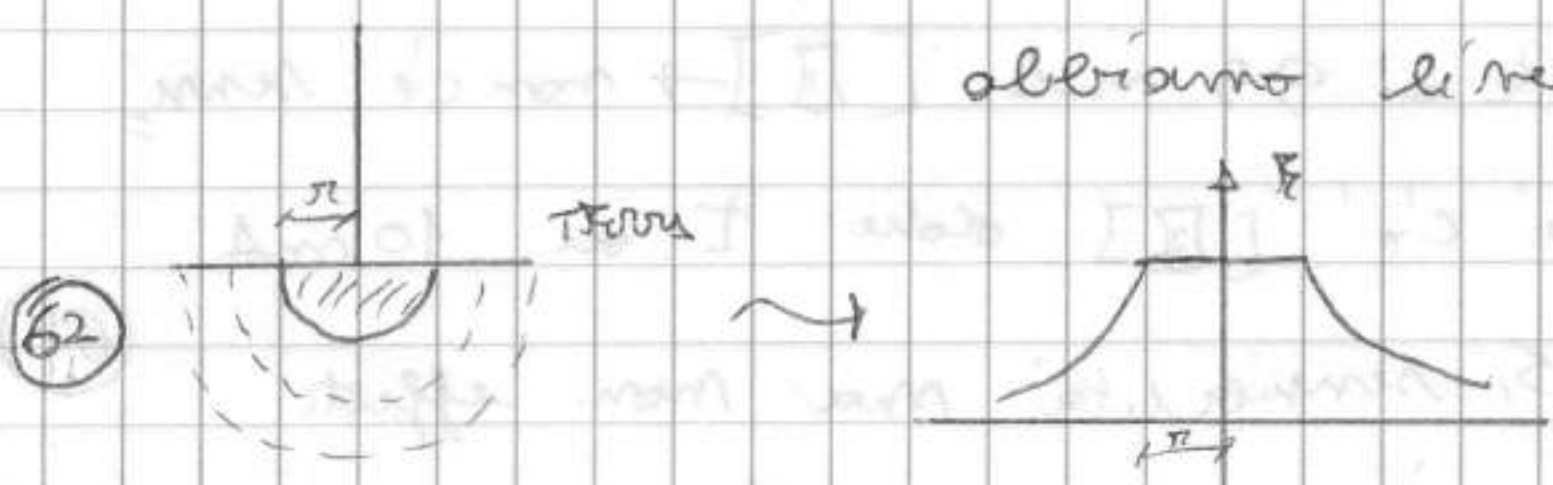
e la cond. e' pericolosa. Ci servono $2k\Omega$! Non respettata da terreno e altro → facile avere pericolo.

Dobbiamo garantire U_s bassa al corpo umano, che d'altro sia effetti esterni. Sempre vero cmq che $U_s \leq U_{st}$. Si def. un limite conv. di V_a $U_{st} = 50V$. Ma impianti e' a 200V! Cosa si fa? Si

ipotizza che "caricava", involucro esterno, e' collegato a terra, TERRA DI PROTEZIONE, con conduttore giallo/verde.



Tutte le pen collegate tra loro e portate nel terreno con conduttori di rame nudi, avuta nel terreno dove c'è le DISPERSIONE → isole xee' e' facile calcolare E → intorno

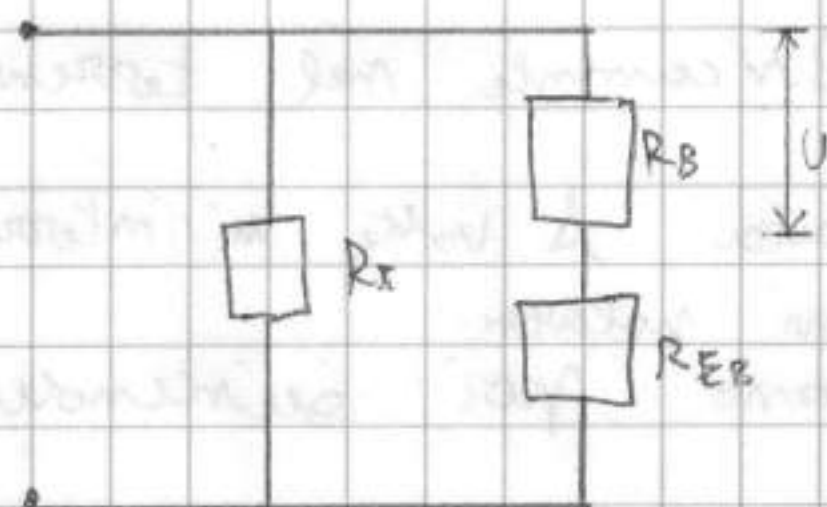
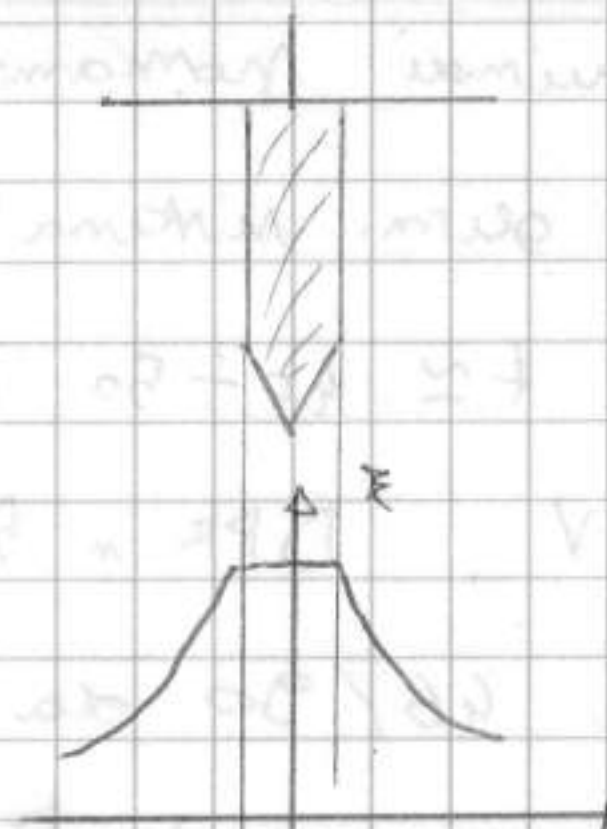


abbiamo linee equipotenziali + E costante dentro al dimp., exp. dopo. Tenendo su sufficiente l'installazione.

non avranno di più il PICCHETTO globale x composta

non assume il variabile come quello ideale.

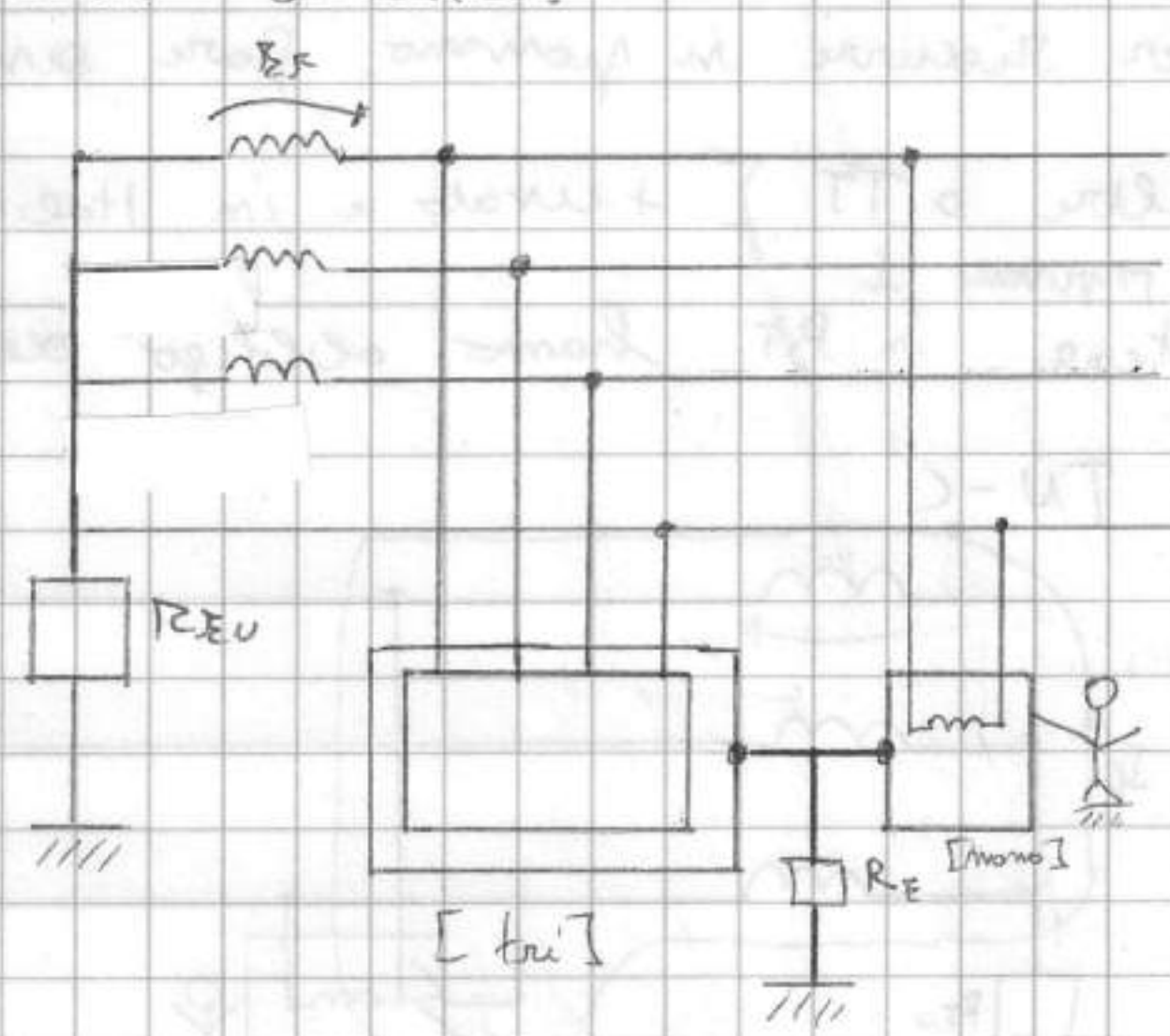
Nel circ. equivalente si aggiunge in // la R_E , la resistenza della messa a terra. Poi:



Ma non far passare
I maggiore a terra e non nel corpo
umano. C'è un R_{EU} messo a terra non
è "ideale". Circuito diventa:

Impianto con utenze collegate tra

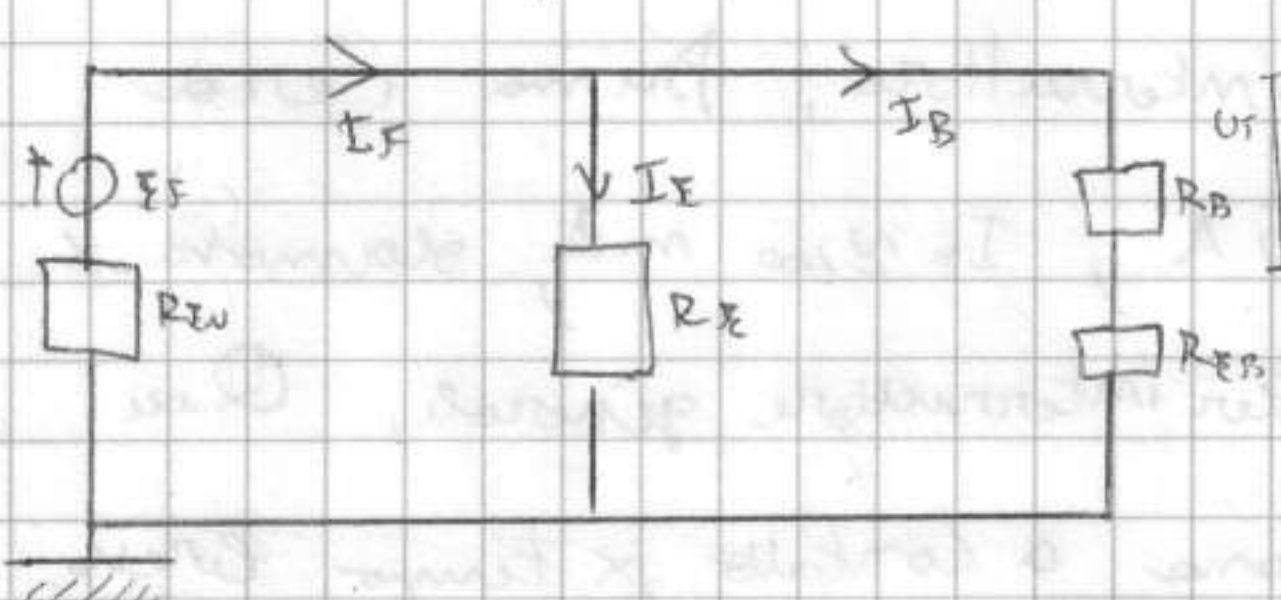
loro sistema
Condizione del neutro
del trasformatore
[T = Terra]
Stato degli
involucri delle
utenze



Sopprimiamo via quanto il mono.

Circuito di quanto è:

Vogliamo U_T che generi I di valori
non pericolosi \Rightarrow ma piccola la
 I_B . Con questo circuito si ha che
$$I_F \cdot \frac{R_E (R_B + R_{EB})}{R_E + R_B + R_{EB}} = I_B (R_B + R_{EB})$$



Quindi $I_B = \frac{I_F R_E}{R_E + R_B + R_{EB}}$, den I_F , I_B è minore se \gg la R_{EB}
al den \rightarrow corrente di guasto

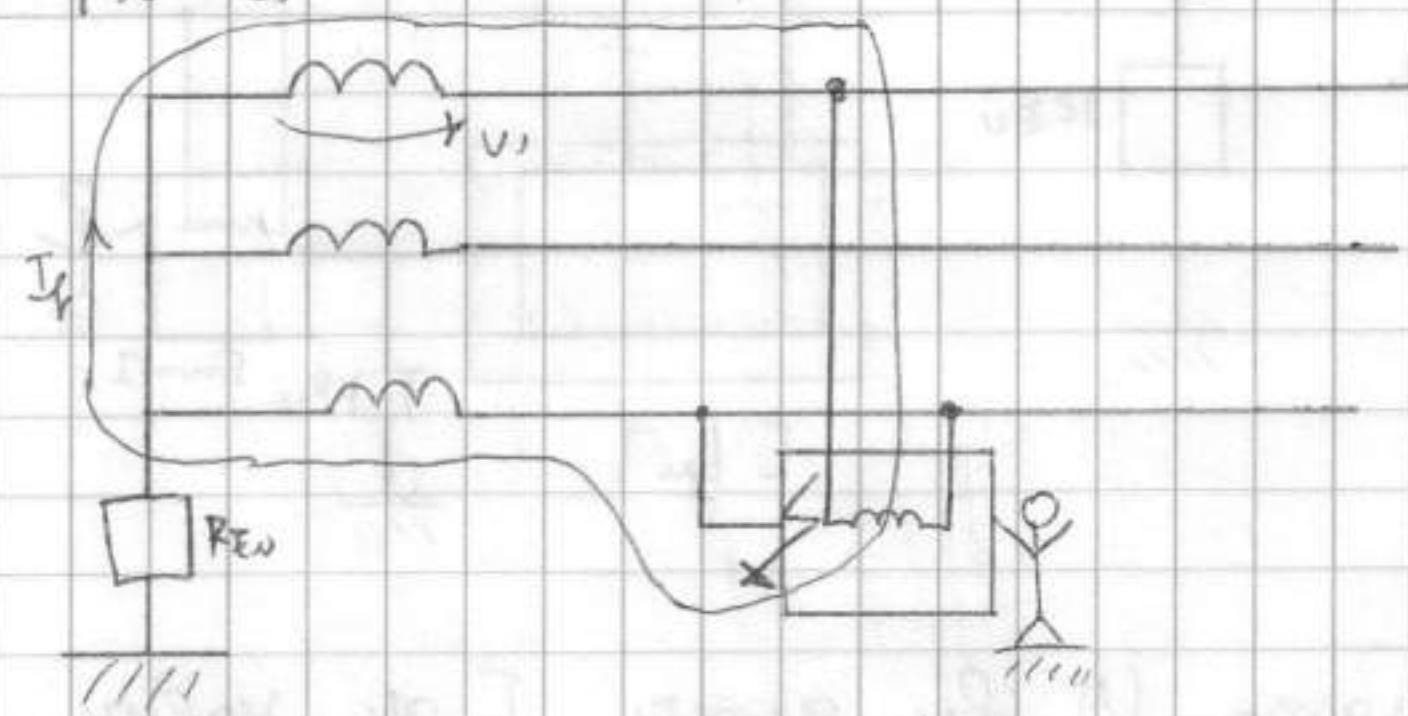
$R_{EB} \approx 1 \text{ k}\Omega$, per annullarla $\Rightarrow 0$, I_B è ora R_E . Se $R_E \ll R_B$ decidiamo
soltanto I_B . $I_B =$ anche a $U_T / R_B \Rightarrow U_T = \frac{I_F \cdot R_E \cdot R_B}{R_E + R_B + R_{EB}} \Rightarrow$ n

può mettere un limite alla tensione,
potrebbe $U_T \leq 50 \text{ V}$ [R_E è anche da I_F]. Se limitiamo I_F (valore noto)
potremmo immaginare una R_E di messa a terra. I_F minuziosa
con il INTERRUPTORE DIFFERENZIALE (SALVAVITA) richiamata verso terra.
Se $I > I_F$ (x imp. abiet $\rightarrow 1 \text{ A}$ x imp. industriali $\rightarrow 30 \text{ mA}$) INTERRUPE il circuito.

Quindi portiamo pure $I_f \approx 30 \text{ mA}$ [in max 5 mV] \rightarrow siamo in grado di dim. sistema di messa a terra. [interuttore interviene con $t \approx 40 \div 50 \text{ ms}$]. Non si usa poi x sicurezza direttamente il 50 V . DPR n. 547 dice che R_E deve essere al max $= 20 \Omega$; con la 46/90 da praticità - e comunque normativa - di avere $R_E >$ (ex. usando TT). Problema è $R_E \approx 20 \Omega$, il pannello fisicamente nel terreno; il terreno è secco e ghiaccio ha R troppo elevata. A volte si interviene le reti magliate di metallo alle quali si collegano poi ^{per mezzi passivi} guerdenti. Per sicurezza si possono fare anelli intorno al edificio.

Altre a TT [tuttavia in Italia è obbligatorio] e altre. (Tutte le utenze in BT hanno obbligo del TT in Italia.)

- TN-C

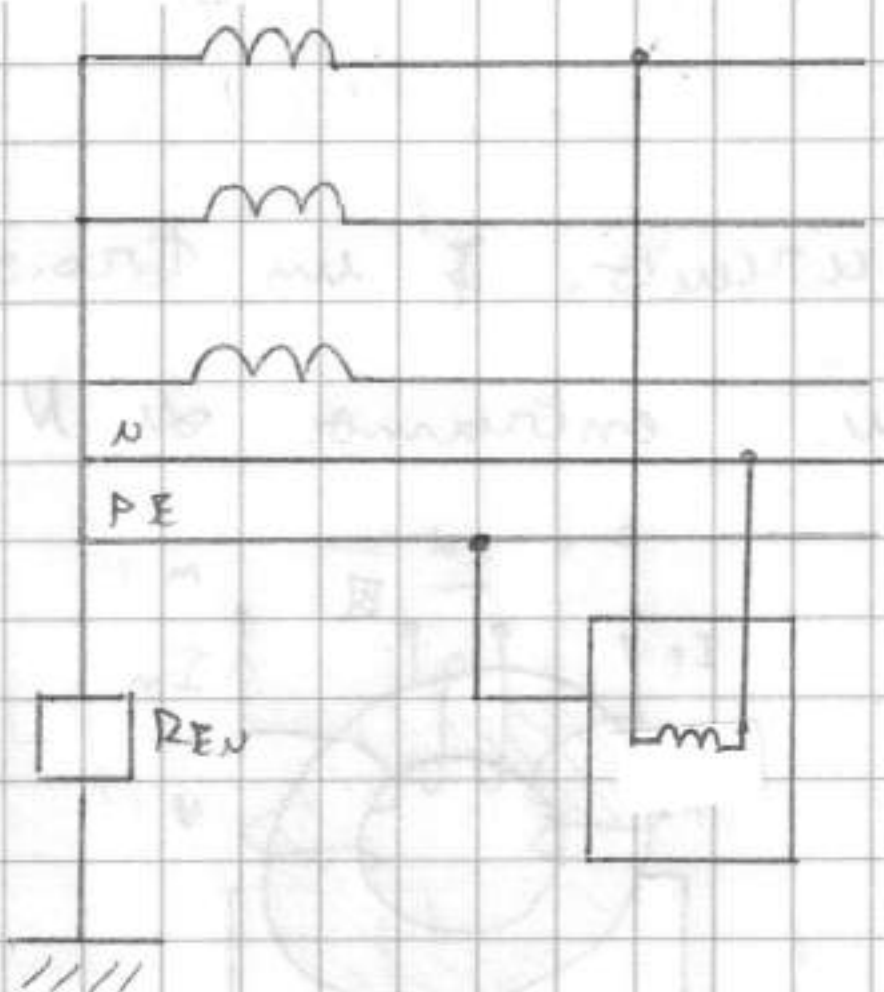


"N": involucri utenze collegate al neutro. Nel quarto, involucro si porta a V_i , ma essendo collegato al neutro forniamo una chiusura del circuito a Z minimo ($R < 1 \Omega$).

quindi l'interruttore che fa intervenire interuttore. Prima c'era problema che I di alimentazione è di 15 A , $I_f \approx 200 \text{ mA}$, siamo a x l'norma ma non sufficiente x aprire interuttore generale. Qui invece I di quarto è sufficiente. Per una a contatti x tempo breve e con intensità minore. Problema è se conduttori non sono perfettamente integri oppure se involucro contatti è median. Risolto, quindi c'è I di guasto. Quindi corrente incontra $R > R_{iscali}$ e può capitare che I scenda sotto a 15 A e quindi interuttore non interviene. Questo sistema accettato solo x utenze che acquistano I con cabina propria (in HT), perché è l'utente il responsabile dei collegamenti, del "Lavoro" del transf. e non l'ente. Manut. offerta è buona [tengono su la linea]. Vantaggio è evitare (64) messa a terra di tutti gli involucri.

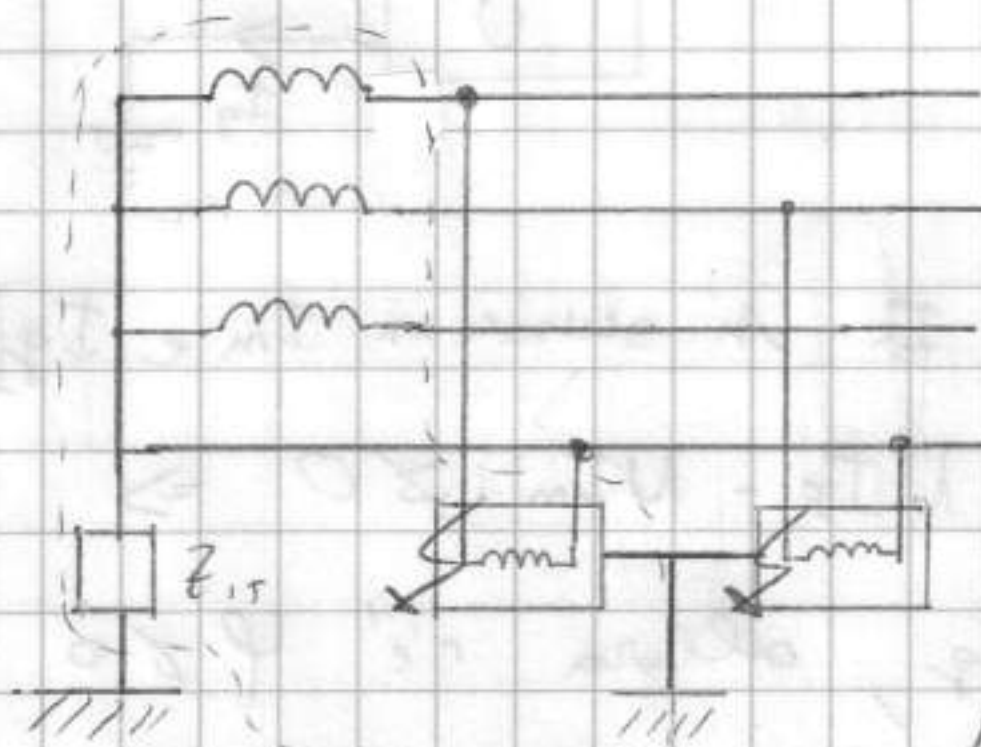
"C" → utente coll. dirett. a neutro. Protegge e porta corrente; "C" = comune (I TN-S)

- TN-S



"Duplication" del neutro. PE → conduitt. di protezione, interrotto da I solo se c'è guasto (di solito tra i TN n'una guasto) → N del TN-C può esser sofferto o sovra caricato e può rovinarsi.

- IT : "I": neutro trasf. è ISOLATO da terra. Collegato con



$Z_{IT} \gg R_{EN}$ [impedenza elevata, X a f industriali elevata]. "I" → isolazione utenze a terra. Ex: guasto nella 1° fan. Esempio 7
grande, $I_F \approx \frac{E_F}{Z_{FT}} \leq 1 \text{ mA}$ e non pericolosa per l'uomo; se tocchiamo mano a 230V ma

non c'è problema, prob. è corrente. Qui non intervergono interruttori e altre utenze sono ancora alimentate.

Supponiamo che n'guasto 2° utenza. Esempio collegati, c'è I intensa tra 2 fasi \Rightarrow n' chiusa interuttore sit. pericolosa x impianti. Sistema usato negli ospedali (importante continuità del servizio); n' deve però evitare la contemporaneità dei guasti, quindi c'è sistema di monitoraggio e si provvede a isolare macchina da altre utenze in maniera tempestiva.

TT V utenza che n' collega in BT; $U_t \leq 50 \text{ V}$; tempo 30/1/2006

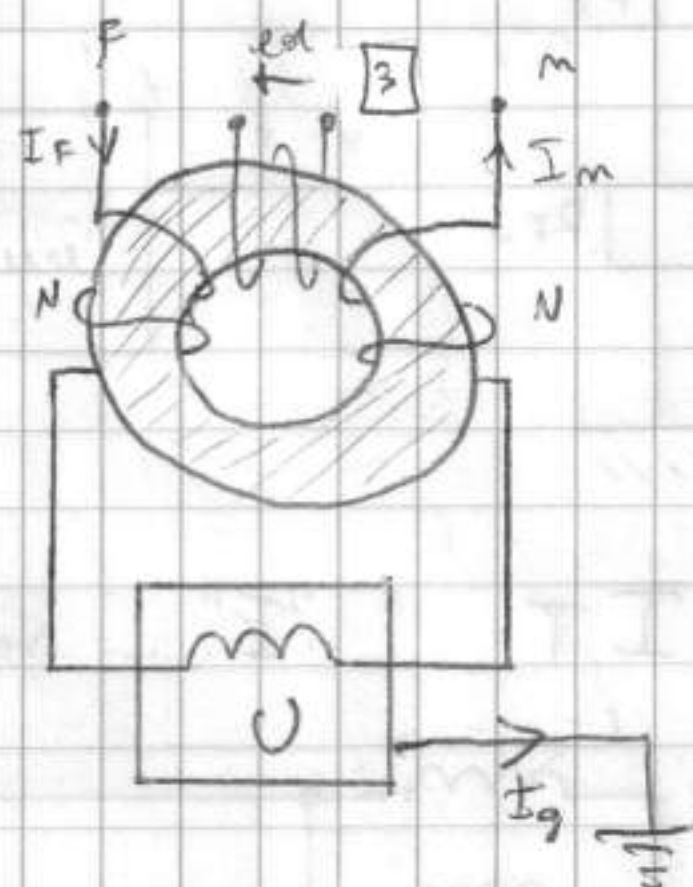
Contatto $< 5 \text{ ms}$ | Nella ricerca dell'isolamento e l'isolamento n'cc. La I di guasto non è molto elevata e interruttori intervergono su utenze, tarati per (a 3kw) $\approx 16 \text{ A} \Rightarrow$ a valle il sovranta, int. diff.

INTERRUTTORE sovino in:

- **APERTORE**: elemento che interrompe il passaggio della corrente (e' elemento "braccio" dell'interruttore)
- **DELE**: quando deve intervenire att.

Relè diff. rileva guasto a terra e apre il circuito. E' un toroide di materiale ferromagnetico con anelli 2 avv. entrambi di N spire collegati alla fase e al neutro.

Se non c'è guasto, $I_F = I_m$. $\Delta \Phi = 0$.
Circ. magnetico, $N I_F - N I_m = 0 \Rightarrow \Phi = 0$.
→ a rel. di zero



Contr. 3° avv. disponibile, in queste cond.

$$\vec{ed} = 0 \quad [ed = -\frac{d\Phi}{dt}]$$

Supponiamo si verifichi un guasto e c'è guasto. I_F si divide in I_m e I_g che va al terreno. Quindi $I_F = I_m + I_g \Rightarrow N I_F - N I_m \neq 0 \Rightarrow$

$\neq 0$ a $N I_g$. Sostituendo $N I_m + N I_g - N I_m = N I_g$, allora c'è $\Phi \neq 0 \Rightarrow$

$ed \neq 0$. (c'è tensione ai capi dei morsetti) uniamo questo al quale x

Comandare attuatore. Si attiva con cert. ex. $I_g = 30 \text{ mA}$ x utente
chiamato ($I_g = 1 \text{ A}$ x ut. industriale). Unico relè x salvare utente.

Si può impiegare anche in sistemi trifase.

Nel f. normale $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0$. Stesso con trifase con neutro:

$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_m = 0$ (4 avv + 5° derivato). Se c'è un guasto su una qualsiasi fase si attiva una $N I_g$.

Sistema TT senza relè differenz. Non può funzionare (non nel TN) → per sicurezza off. lo si installa lo stesso.

ATTUATORE e' "contatto" tra 2 lamine che - comandate dalle molle - aprono le 2 lamm. In f. normale contatto lamina DEVE essere chiuso (e' in Σ con la corrente). Oltre a P_1 e P_2 troviamo involucro

④ e si compromette funzionalmente. Per questo I e' a "petali di

"fueirmano" \Rightarrow x aumentare Contatto. A apertura e' quasi immediata
 che pratica un arco ELETTRICO [circuito e' dm. inolt. \rightarrow utenze e linee]

$$L \frac{dI}{dt} = V \quad ; \quad \frac{dI}{dt} \text{ e' elevata all' passaggio su } I \text{ a } 0 \text{ in}$$

tempi brevi. Anche se $I \approx 10A$, $dt \approx 1ms \Rightarrow \frac{dI}{dt}$ e' grande, tensione elevata (1000V circa). Viene bruciato il dielettrico dell'aria e continua a fluire un po' di I. Potremmo aumentare lo spazio ma e' difficile. Allora usiamo accorgimenti + interruttori ad aria compressa con soffio \perp ad apertura, arco fa poco + lungo si apre e si estingue. E' il SOFFIO MANUFATTO, boline nell'interruttore, int. in OLIO [isolamento + a gasificare e volgono, richiamano olio fresco, trasforma arco verso l'alto, meno dielettrico] (int. x utenze > 3kW) In MT c'e' l'ESSFORURO DI ZOLFO (SF_6 - infiammabile e + dielettrico) Int. comandabile da rete. E' anche il TELE TERMO e MANUFATTO.

1) legato a sovralcorrente

2) " + interm. I_{cc} .

1] e' composto da due lamine sovrapposte con materiali soverni

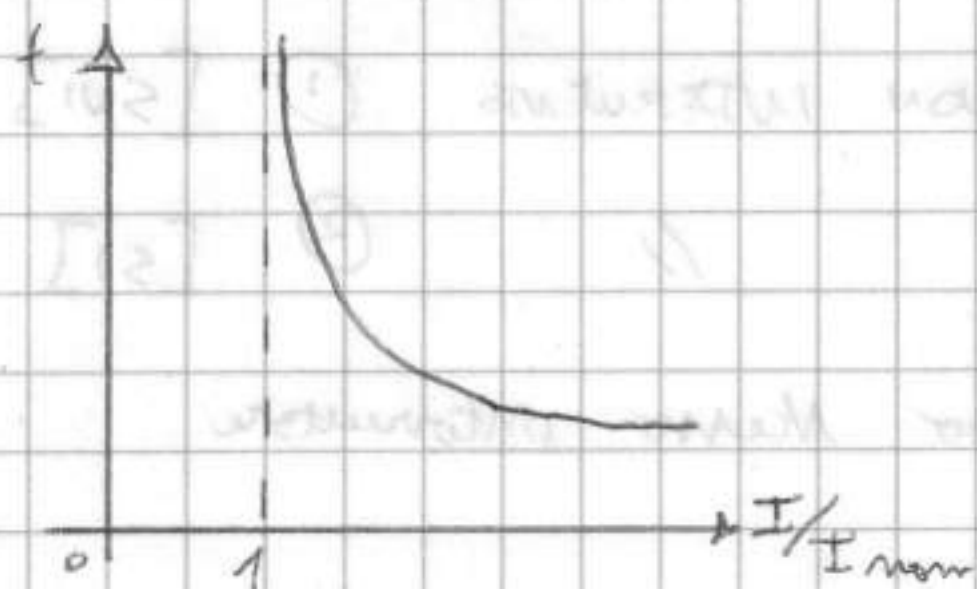


Se $I > I_{lim}$, lamina con coeff. dilatat. > spinge in quella minore: si allunga e si piega (non legate, non scorrono) \Rightarrow apertura manuale del circuito [I_0 o I_{utenza}]
 A apertura contatto manovra un



manovra all'attuatore. Oggi si usano simp. elettronici che confrontano I_0 e I_{lim} . Processo a tempo esponenziale.

Caratteristica dei relè termici: se $I = I_{nom}$ non c'e' intervento.



Altro e' inv. prop. al tempo.

Comanda lo stesso attuatore. Si viene

quomodo ex. a cosa accendiamo + apparecchi

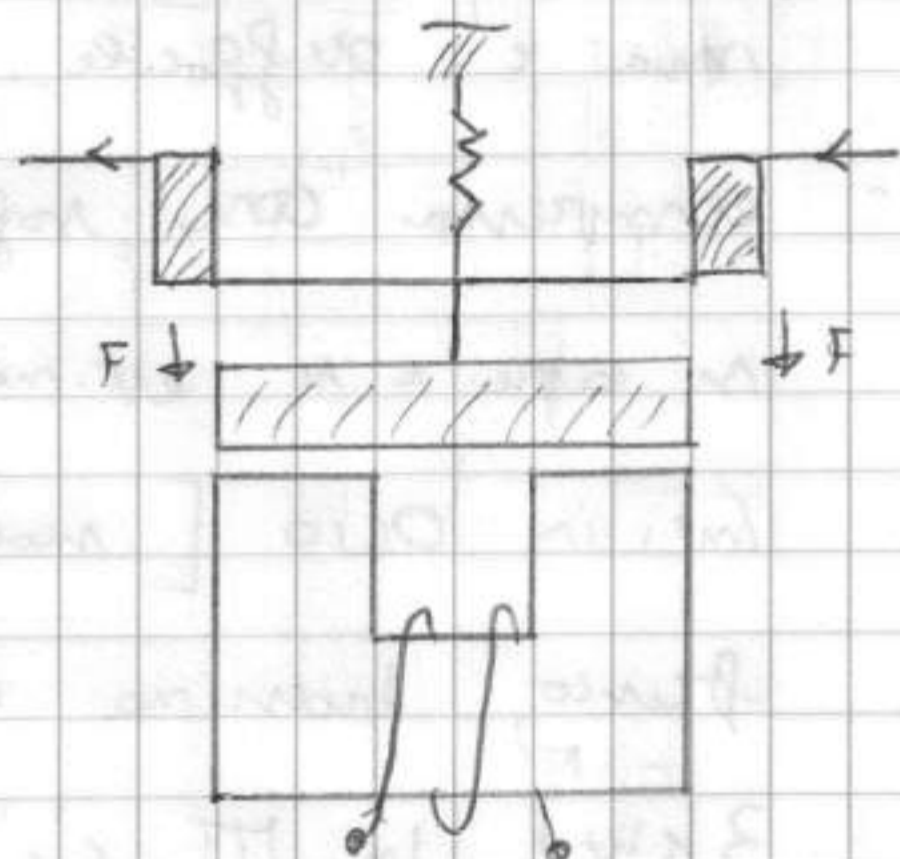
contemporaneamente. Dopo un po' scatta ($I \approx \frac{3}{2} I_{nom}$)

non percepito come guasto ma come malfunzionamento. Ottimo x avviamento delle macchine asincrone, che da tempo di arrivo $[I_{aw}]$ e' amorbita x tempo breve].

E' un relè che può non andare bene nei CC. $[I$ interm in t brevi]; fenomeno termico e' talmente rapido che si provoca un innalzamento ($I \sim 100 I_n$). Rel. ter. ha un po' certo t. d' intervento.

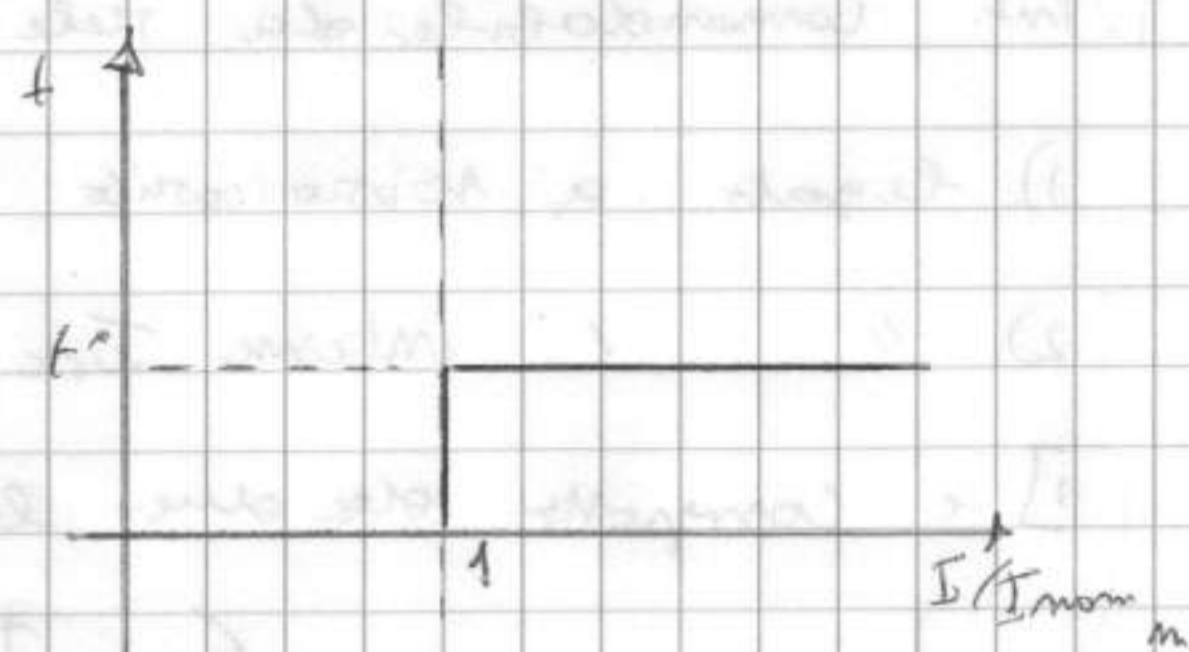
Aggiungendo a questo c'è il relè magnetico \rightarrow ancora mobile.

Quando c'è I_u si genera flusso che si richiama. Ancora mobile tende a richiudersi, a ridurre il trasferimento, allontana contro nucleo a C. Ammoriamo una molla di richiamo. Se I e' troppo elevata, F si richiama e' > molla e si aprono i contatti elettrici. Intervento a tempo indipendente.

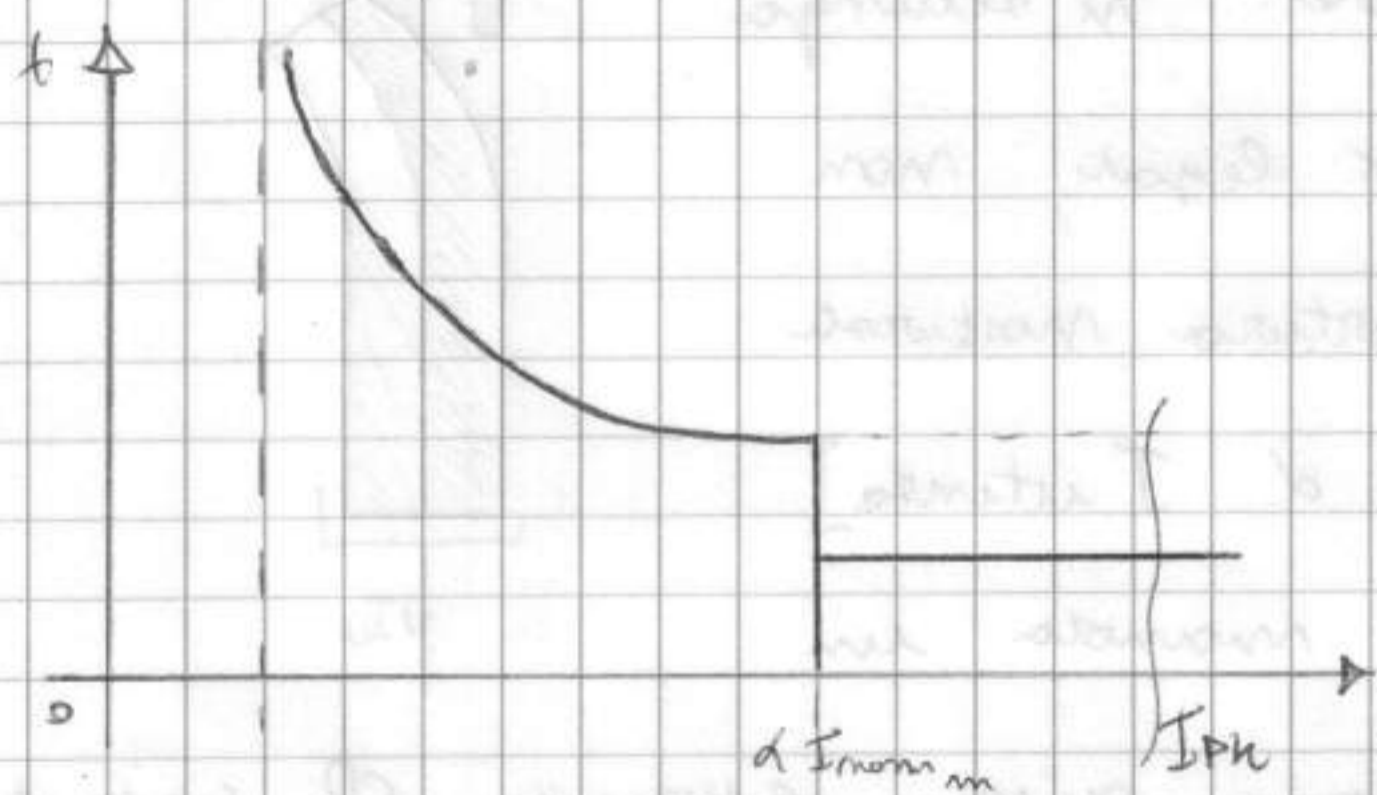


Caratteristica: $[I_{nom} \neq I_{nom_m}]$

Appena I supera I_{nom_m} c'è scatto a tempo t^* ; si può anche ritardare l'intervento (con ordine dei ms).



Usati in combinazione x comandare stesso attuatore.



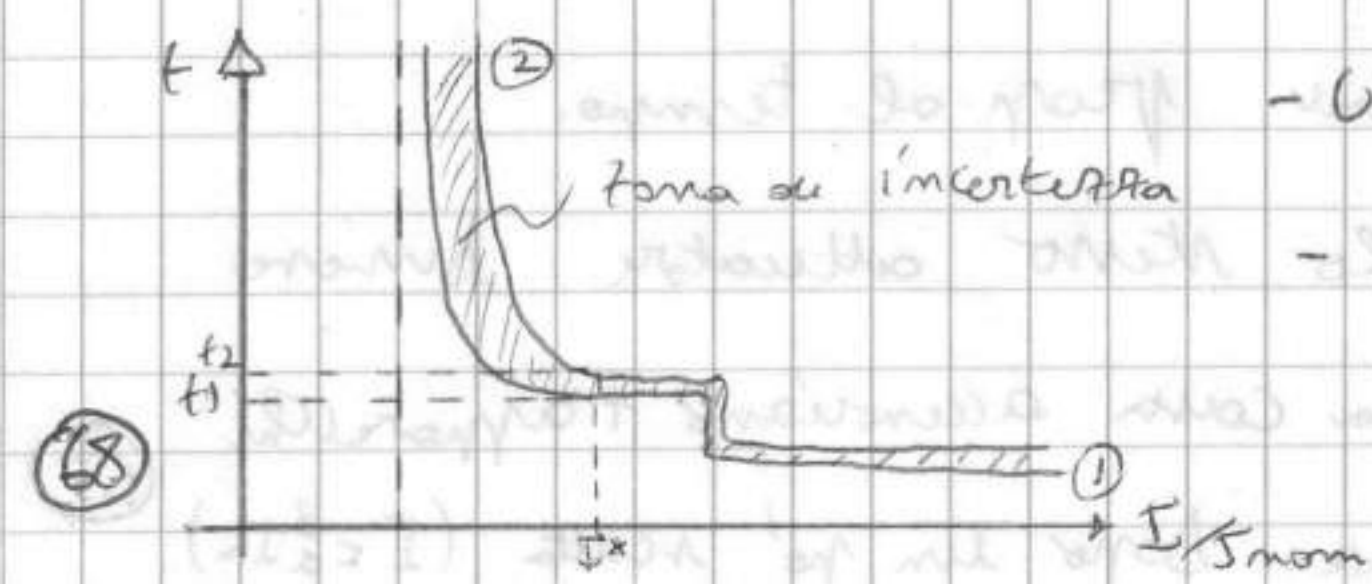
\rightarrow norma dei contributi.

Re Te. continua a funzionare ma interviene prima quello magn.

RELE' MAGNETOTERMICO, in comb.

con attuatori e' il INTERVENTO MAGNETOTERMICO (in int. brevi)

Ma a' sono <> cond. di esercizio V interuttore $\Rightarrow I$ due curve!



- CURVA DI SICURO NON INTERVENTO ① $[S_{NI}]$

- " " " " ② $[S]$

Per una I^* uno stesso interuttore

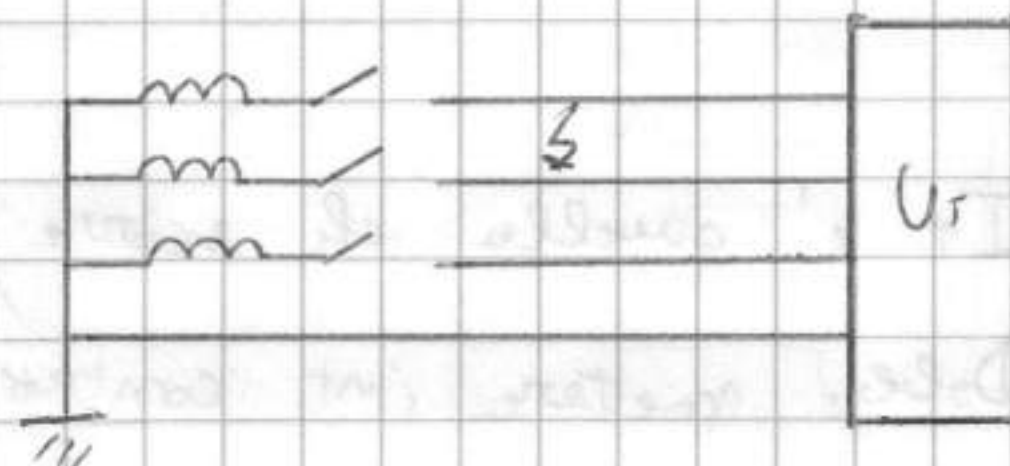
Assicurante fino a t_i non intervenire ma a t_2 si.

Oltre alla I_{nom} e alla V_{nom} c'è il ^{primaria} POTERE D'INTERUZIONE nei param. degli int. \rightarrow max I che si può aprire. Il problema è che arco elettrico non si estingue (\uparrow e PD), $\uparrow E$, \uparrow efficacia).
Scelto nella massima I su quanto che può accendere. Si regola simultaneo alla valle dell'interruttore.

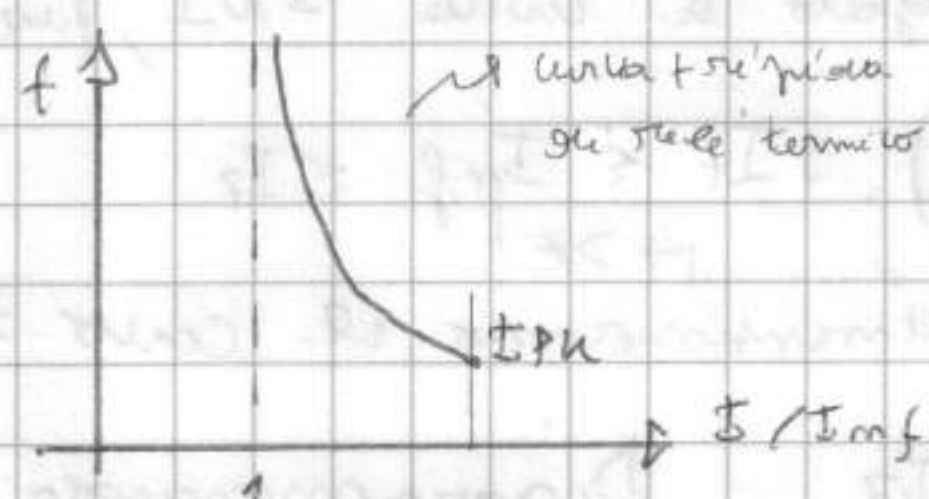
Se interruttore è vicino a U non si accorgiamo

di quanto nella linea, e anche presso il

trasf. Le reattanze sono a fine linea. $I_g = U / Z_{linea}$. A inizio linea Z è piccola e I_g è grande.



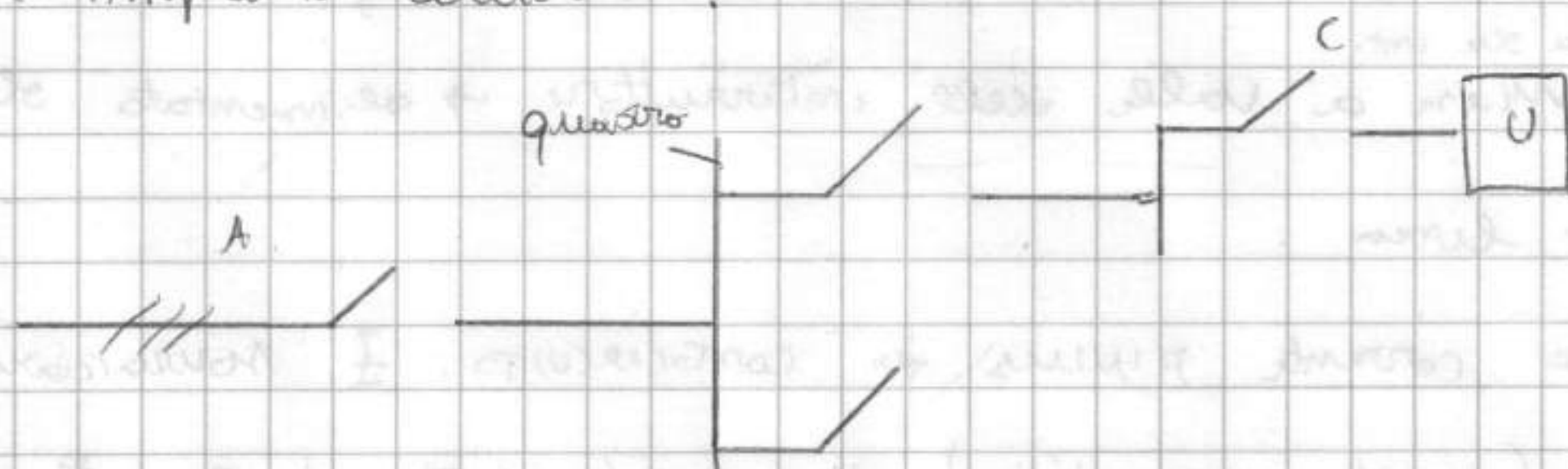
FUSIBILE: elemento di protezione; lamine con t. fus bassa (stagno e argento). Fenomeno termico. Se $I > I_{lim}$, questa genera una P_j che provoca una T di fusione. Anche questo è a tempo-dipendente.



\rightarrow Caratteristica si ferma a I_{ph} . Se $I > I_{ph}$ l'apertura del fusibile è una ESPLOSIONE e si forma arco elettrico.

Per estinguere il fenomeno si usano delle molle. Anche qui c'è il SI e SVI

In impianti elettrici:



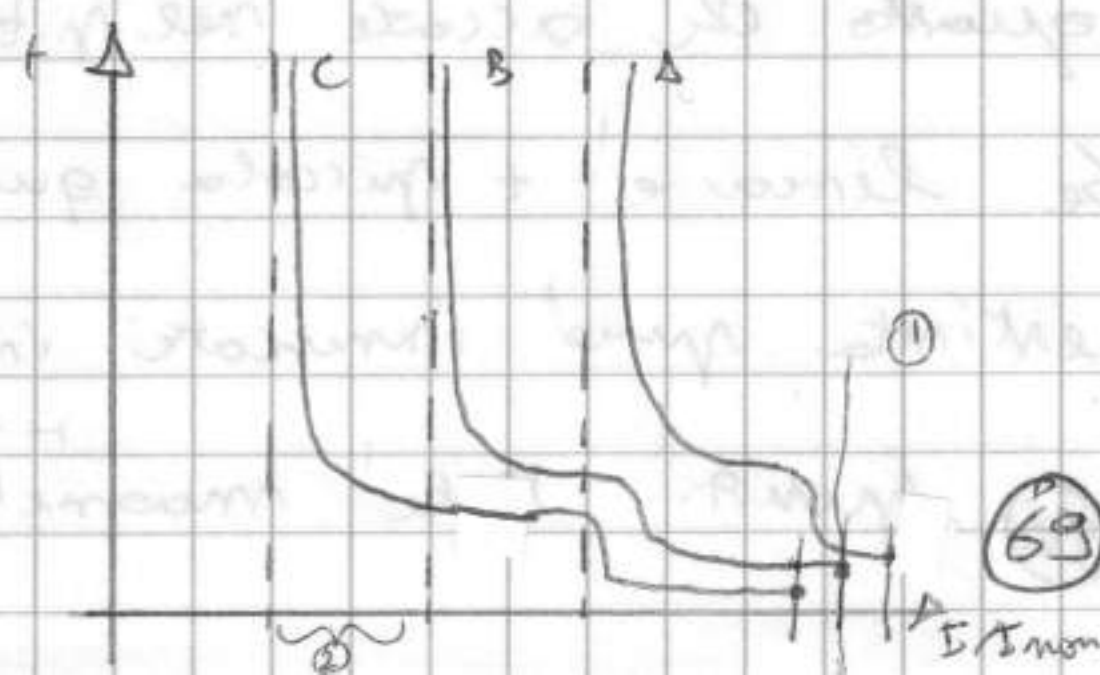
Se c'è quanto in U deve intervenire il suo interruttore. Dobbiamo

regolare C, B, A. \Rightarrow SELETTIVITA' (o 2 tipi):

1) CRONOMETRICA. Per una stessa I interv.

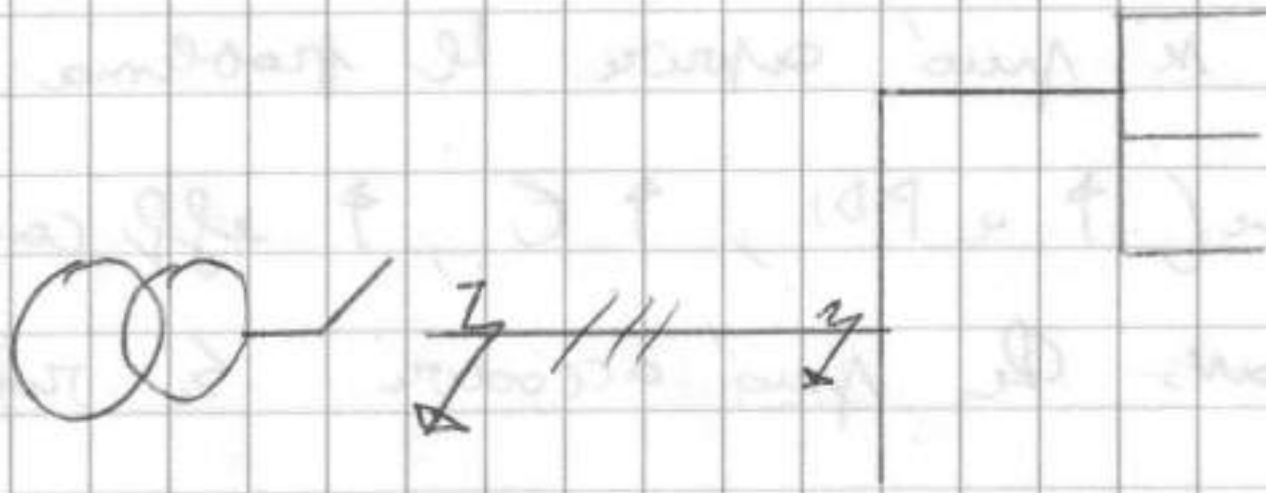
prima C, poi B e poi A.

2) AMPEROMETRICA: B non si accende,



$$I_{PDK} C e' < I_{PDK} B < I_{PDK} A.$$

Organi di protezione. Come scegliere int. in base a carico e calo. 1/2/06



Calo deve supportare $I \times$
tempo ∞ . (no surriscaldamento,
to). Su linea c'è int. che
protege fino a montante

I_T è quella che scorre; $P_T = k_c \sum k_{vi} P_{in} = \sqrt{3} V I_T \cos \varphi_+ \times \text{legge}$
Dob. mettere int. contro guasti linea e carichi; int. magnetotermico.

Sulla in base a V_m la I_m e la I_{pk} . Come individuare I_m !

$I_m \geq I_T$ [carichi elim. senza intervento]. I_T portata del calo;

$I_T = \max i$ del calo (x non "fornitori"). $I_m \leq I_T \Rightarrow$ n. I supera la
portata del calo c'è intervento. Quindi $I_T \leq I_m \leq I_T$ [sufficienti le

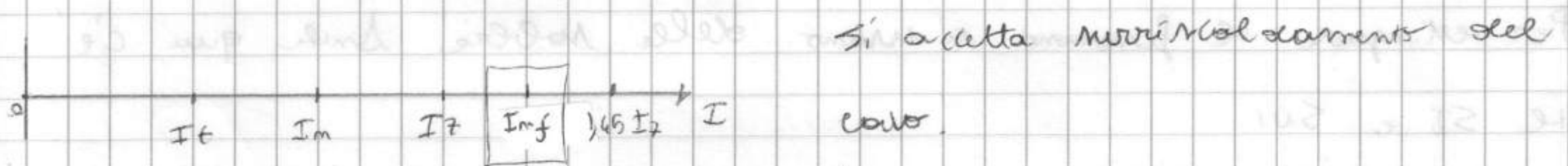
inequivalenze] Interv. ha forma d'indeterminazione, forma di Mauro N I e

nuovo Int. Sarà $I_m = I_{mg}$ funzionalmente \Rightarrow legato a scelta SUI, quindi

$I_{mg} \leq I_T$ (a seconda su qualsiasi condizione). $I_T \leq I_m < I_{mg} \leq I_T$

I_{mg} può essere 30-40% $> I_m$, quindi sovradimensioneremo il calo \Rightarrow

compromesso in base statistica: $I_{mg} \leq 1,45 I_T$. Diagrammatico:



Il Potere d'interruzione è scelto in base a max I si quanto nella
parte d'impianto, \rightarrow protetta da int. \rightarrow allarme a valle dell'interruttore \rightarrow alimentata da
 V_m con linea ΔU in linea.

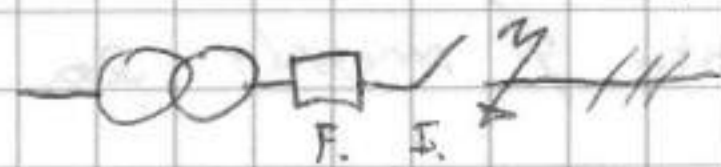
Sì, fa verifica sulla corrente minima di cortocircuito. I SOVRACCARICHI
(parte termica) e GUASTI (parte magnetica). La minima I_{cc} è la I su
quanto che accade nel p.to + lontano della linea protetta dall'int.

Se linea è + piccola questa $I \ll I_{cr}$. Ma se non viene niente
estinta può innescare incendio (surriscaldamento). È importante

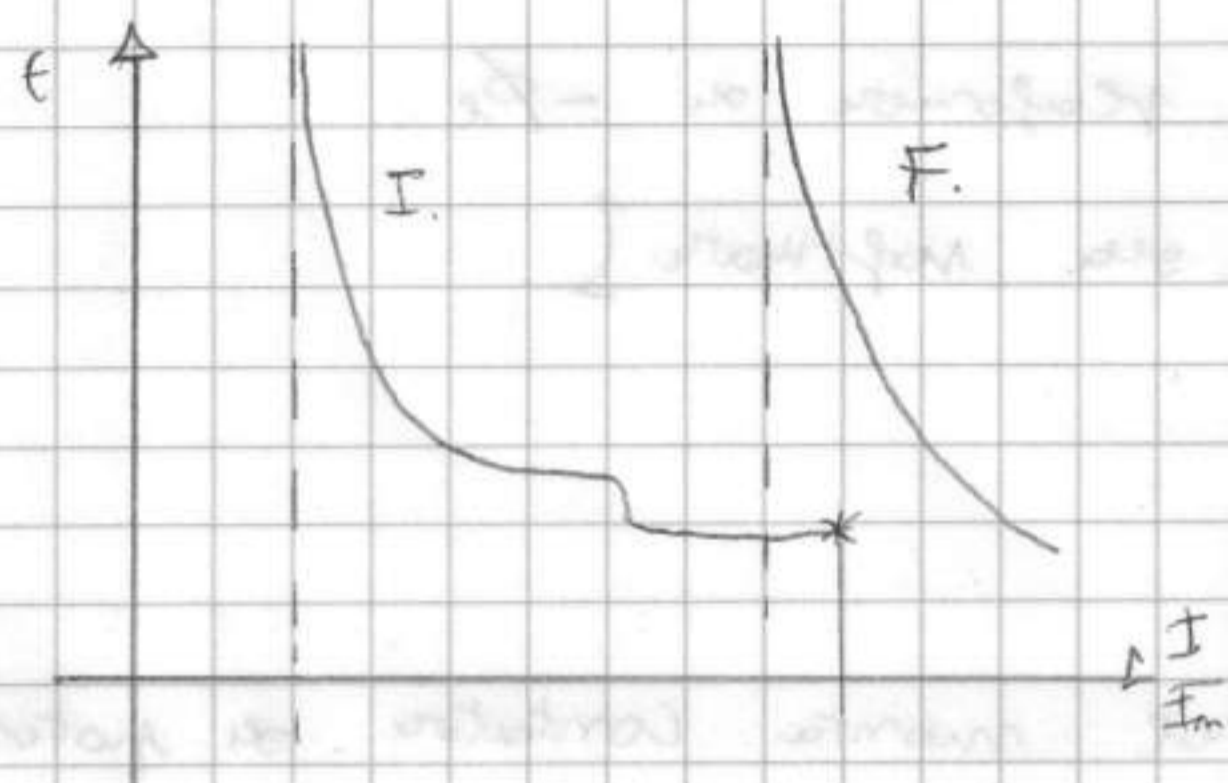
70) nota. Relè magnetico, in caso di CC deve intervenire sempre relè.

Il suo errore anche 100 volte $< I_{max}$, quindi si migliorerebbe I_{pk} enorme (interruttore costoso!). A volte si consiglia di coordinare delle protezioni delle COORDINAMENTO DI PROTEZIONI.

Si può mettere un int. e un FUSIBILE (a monte):



Il costo nel tempo è $>$ [ma costa meno di interruttore]. Ma se verrà cambiato poche volte conviene



Si sceglie int. con I_{pk} limitato e fusibile che copra impianti $\times I > I_{pk}$ [e raro quanto a valle interruttore, può capitare e ci sono labili]

Normalmente i guasti sono + freq.

a $I + \text{barr}$ [e basta la protezione dell'interruttore]. Per $I > I_{pk}$ allora interviene il fusibile (interruttore prova ad aprire ma c'è arco elettrico). Considerare risparmio $\$$ con I_{pk} minore

H

IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE

Criteri \times scelta del φ luminoso, intensità e distribuzione definita da normativa [minima φ a 80 cm da terra].

$$\Phi_0 = A \cdot E \quad (\text{ex. area = somma bracci})$$

superficie da illuminamento
mezzo volto

$$\Phi_E = N \cdot \Phi_L \cdot \eta_{lm} \rightarrow \text{fattore di manutenzione. Nel tempo lamposta si}$$

impolvera, efficienza inferiore (tabellate)

I ambienti puliti e sporchi.

Non tutto il Φ_E arriva su piano di lavoro, parte fluisce lamposta si disperde: COEFF. DI UTILIZZAZIONE:

$$k_u = \frac{\Phi_0}{\Phi_E}, \text{ quindi}$$

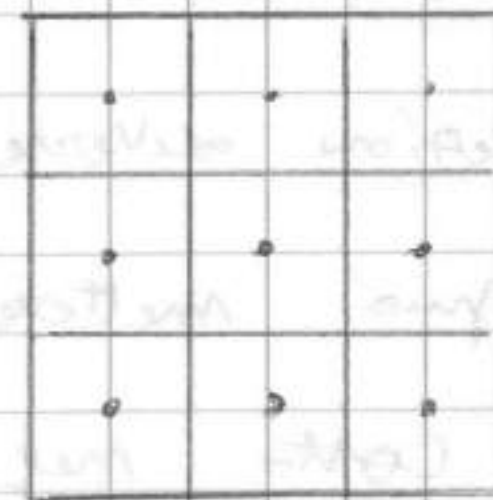
$$\Phi_0 = k_u \Phi_E = k_u \eta_{lm} \Phi_L N = A \cdot E$$

Da qui conosciamo $N \cdot \Phi_L \rightarrow$ poniamo valore a posto il Φ_L (7)

di ciascuna lampada e quindi N e N' e N'' .

Normativa impone distribuzione in nottate tutte
uguali [cioè se min. n. di nottate]. Per garantire

certo ϕ medio, la verifica va fatta al centro di
ciascuna nottata \rightarrow media dei valori ottenuti



D. solito si installa almeno 1 apparecchio x nottata. (\Rightarrow già
si verifica ϕ). Convergono a volte + presenza di ϕ .

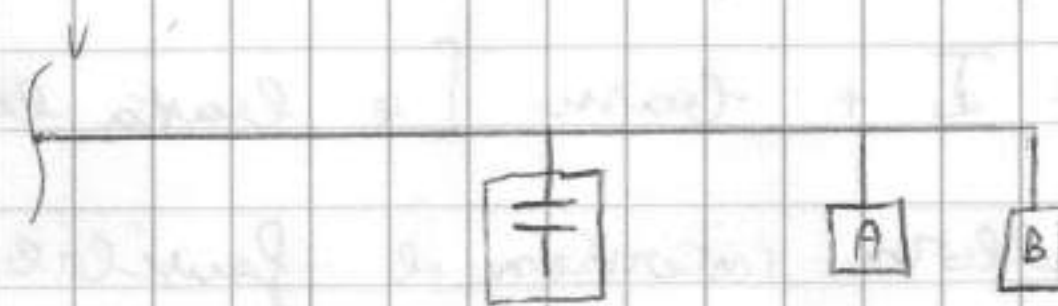
[nella lampade e interruttori regolata da software]

H

RIFASAMENTO

E' necessario rifare carichi in BT. E' una cosa da potenza
attiva o reattiva. Se linea ha + carichi:

emendo V fissata: $P = P_A + P_B$, $Q = Q_A + Q_B$.



$A = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V I$, la corr. α a A + e' alta la Q , + e' alta

la A . Aumentata la P , che esercita - pochi c'è Q - dovrebbe diminuire
anche $\times Q$. Se aumenta Q c'è aumento modulo I ! [P e la stessa]

Quindi ente impone un fattore di potenza $\cos \phi \geq 0,9$. Si accetta

$0,7 \leq \cos \phi \leq 0,9$ ma ci sono grossi penali [pensiamo ad un

utizzatore in BT grande, come università o industria]. Se $\cos \phi < 0,7$
si può chiedere distacco linea.

Emendo alte le penali utente provvede a impianti di rifasamento.

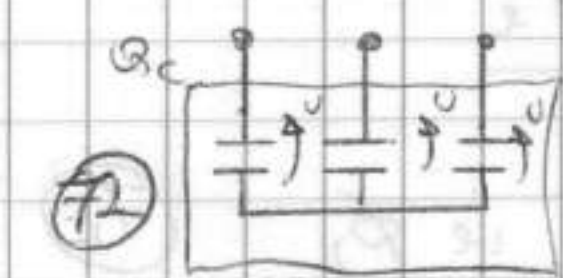
Corr. dei condensatori collegati a Y o a D.

Conoscendo P possiamo det. la Q^* che vorremo ha reattiva =

$P \tan \phi^*$ desiderata, dove $\cos \phi^* = 0,9$. Ne risulta $Q > Q^*$ [e
 $\cos \phi < 0,9$]. Si mette in // a utente un utenza capacitiva tale che

$Q_c = Q - Q^*$ sommando algebricamente abbiamo Q^* .

Se banco di cond. e' a Y, ciascun condensatore fornisce una $\frac{V_c^2}{X_c}$,



quindi $Q_c = \frac{U^2}{X_c} \cdot 3$

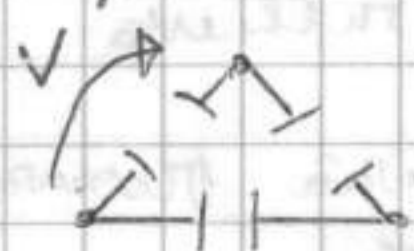
emendo $X = \frac{1}{\omega C}$,

[interna min. ed equiv.]

la C richiesta \times ciascuna

fare e': $C_L = \frac{Q_c}{3V^2 \omega}$ Se uniamo la V concatenata = $\frac{Q_c}{V^2 \omega}$

Se formo a triangolo, ciascun L e' soggetto a V $[X_c = \frac{1}{\omega c}]$



Quindi $Q_c = \frac{3V^2}{X_c}$, quindi $C_\Delta = \frac{Q_c}{3V^2 \omega}$, quindi

$C_\Delta = \frac{1}{3} C_L$ x avere lo stesso $Q_c \Rightarrow$ normalmente in BT si usa C_Δ x convenienza

[Costo > x avere V e non U, ma superato da grande vantaggi di < C]

In BT [utente vuole rifare prima del trasformatore], rifarendo a

monte trop. vede cmq Q richiesta dai carichi. Però si fa ogni

tanto che la U di fase e' 20000/V₃ e quindi e' economicamente +

importante \Rightarrow si usa C_L [$<$], ma meglio mantenere 20kV che 20kV]

3 tipi di rifaramento, ① CENTRALIZZATO, ② DISTRIBUITO, ③ MISTO

1) Σ di utenti, c'è unico banco (VANTAGGIO). Svantaggio e' che si rischia

di rifare troppo (in tutte le intere fanno aperte) \Rightarrow anche Q

capacitiva \Rightarrow può innervare delle sovversioni: $\Delta V = \sqrt{3} I (R_e \cos \phi + X_e \sin \phi)$

[Carico e' tutto]. X_e può essere $\propto \frac{1}{\omega c} \Rightarrow \sin \phi$ negativo e $\Delta V < 0 \Rightarrow V$

in arrivo può essere maggiore, stanno x utente ed. ente erogante.

Economico ma rischioso

2) Se utenti sono diversi e molto distribuiti si scota ogni utente \rightarrow con $\cos \phi < 0.9$

di un banco (funziona solo se funziona macchina) \neq COSTA

(Σ di automatismi).

3) I banchi a carichi concentrati, si riuniscono utenti simili e

ciascun gruppo e' rifareto. Costa -

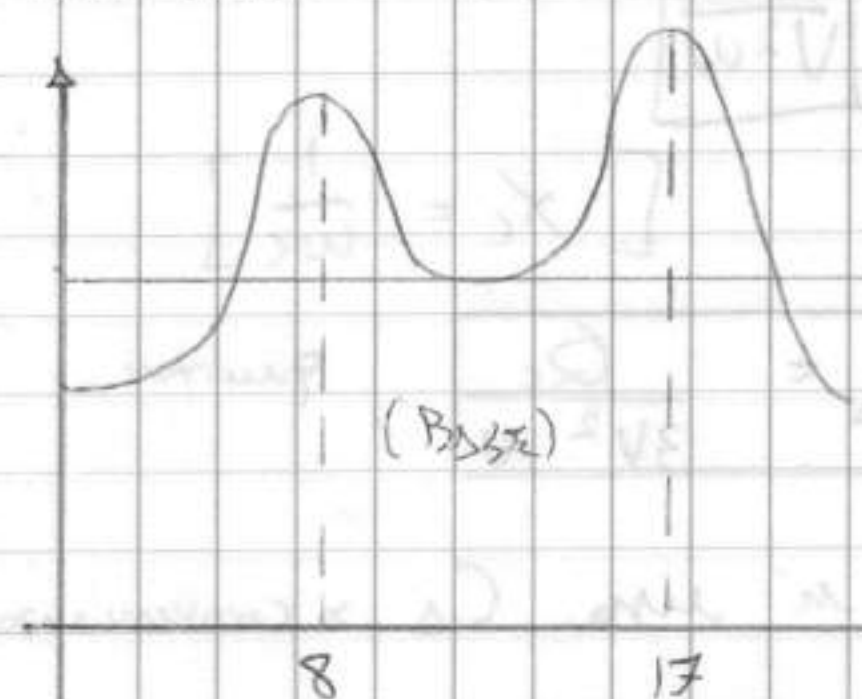
H

PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA (ITALIA)

- Impianti idroelettrici (turberina) a portata fluente (montati su con
s'acqua, sfruttano Q) o a bacino (accumulo acqua in zone
montane). S. molta Q acqua attraverso condotte forzate che fornisce

copra a turberina. E' facile metterla in funzione, utili x e

Variazioni del carico. Carico richiesto ha punta in mattina



e in serata, carico non è costante, ci servono impianti che seguono la richiesta. Basta aprire la valvola e dopo poco inizia produzione, ^{oltre a costo materiale} Basse riempibili anche riutilizzando la stessa acqua. Ci sono i γ . Non sarebbe

conveniente se i costi \Rightarrow la notte riempiamo acqua (compriamo i di costi meno, Fr e Slov. usano impianti nucleari che la notte non si possono spendere). Produciamo invece la I nell'ora di punta dove vale di più.

- Impianti termo-elettrici, a olio combustibile (carbone o gas). Produzione \hookrightarrow coprono la BASSE, insieme a loro, in acqua corrente. Calore colabava genera vapore usato in turbine a vapore che trasforma, ma motori minori a bassa P. Non si può fare buona modulazione del carico. Quelli a GAS usano turbine a gas che hanno dinamica + simile a idroelettrici.

Dati: IDUE: 1000: 32%, Termoe: 67%, Geotermoelettrico $\approx 1\%$
(10 anni fa) \hookrightarrow vapore e gas dal terreno

Si generano 60 GW. ; ne eolico e ne fotovoltaico non riusciremo
olio combustibile \hookrightarrow impatto paesaggistico e acustico

Fotovoltaico e + costoso dell'eolico, generazione locale quasi nulla.

FINE CORSO (01/2/2006)