



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 722

DATA: 07/10/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Rossi A.

MATERIA: Macchine Elettriche

Prof. Lazzari

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Macchine elettriche

La macchina è un dispositivo che converte potenza
 considerando i fattori

Le macchine elettriche impiegano Ferro e rame

UNA MACCHINA ELETTRICA TRASFORMA ENERGIA ELETTRICA IN

ELETTRICA
 (trasformatore)



MECCANICA
 (macchina c.c., motore e induttore
 macchina sincrona)

macchine
 rotanti



Il processo ha ambedue i
 sensi poiché le macchine
 elettriche sono REVERSIBILI

EL → MEC parte di motore

MEC → EL parte di generatori

Consideriamo alcune appi della fisica elettromagnetica

↳ Lenz-Faraday

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

↳ Circuazione magnetica

$$i = \oint \vec{H} \times d\vec{l}$$

da cui possiamo scrivere

le leggi di Ampere
 la legge di Ampere dice che un filo percorso
 da corrente genera un campo magnetico
 (studiamo la geometria degli avvolgimenti)

→ la legge di Ampere dice che un filo percorso
 da corrente genera un campo magnetico
 (studiamo la geometria degli avvolgimenti)

→ Eq. elettrica

$$v_k = R_k i_k \pm \frac{d\lambda_k}{dt}$$

↳ negativo → perdite

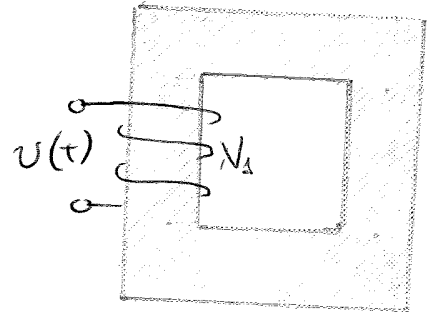
Il Ferro Fe richiede di per produrre f.e.m. è
 necessario avere basse correnti e alto flusso
 $\mu_r \gg 1$ permeabilità P.T.A. dell'acciaio di 103

appriamo una struttura ferromagnetica con una permeabilità $\mu_r \gg 1$.

Possiamo ricavare l'induttanza del ferromagnete scrivendo la relazione elettrica:

$$v(t) = L \frac{di}{dt} + Ri$$

però $R = 0$



$L i$ è il flusso concatenato con l'avvolgimento

$$L i = N_1 \Phi$$

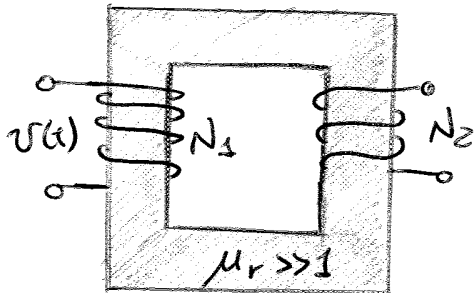
dove Φ è il flusso di circolo nell'elettromagnete.

Quindi posso scrivere

$$v(t) = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

EQUAZIONE ELETTRICA DEL AVVOLGIMENTO

Ora possiamo di fare un secondo avvolgimento sulla seconda colonna



Se alimento il primo avvolgimento con $v(t)$ la tensione che si genera sul secondario è data dalla variazione del flusso

$$v_2(t) = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Quindi $\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = \frac{N_1}{N_2}$

qualunque sia la forma d'onda della tensione.

Il Trasformatore trasferisce la forma d'onda in ingresso sull'uscita amplificata o ridotta e seconda del rapporto $\frac{N_1}{N_2}$.

Consideriamo il Trasformatore monofase con $\mu_r \gg 1$ ipotizziamo che gli avvolgimenti sono avvolti nello stesso verso con le correnti e le tensioni indicate.

Φ_0 è il flusso principale generato dalle linee di

$$\sqrt{2} (N_1 \bar{I}_1 - N_2 \bar{I}_2) = R_p \Phi_{pmax}$$

$$\sqrt{2} N_1 \bar{I}_1 = R_{\sigma_1} \bar{\Phi}_{\sigma_1max}$$

$$\sqrt{2} N_2 \bar{I}_2 = R_{\sigma_2} \bar{\Phi}_{\sigma_2max}$$

combinando le 2 ottengo la prima.

Le equazioni elettriche invece saranno

$$\bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} \bar{\Phi}_{pmax}$$

$$\bar{V}_2 = -R_2 \bar{I}_2 + j\omega \frac{N_2}{\sqrt{2}} \bar{\Phi}_{\sigma_2max}$$

(ci riferiamo al flusso max poiché esso incide sulle stazioni del materiale ferromagnetic)

$$\bar{\Phi}_{pmax} = \bar{\Phi}_{pmax} + \bar{\Phi}_{\sigma_2max}$$

$$\bar{\Phi}_{\sigma_2max} = \bar{\Phi}_{pmax} - \bar{\Phi}_{\sigma_2max}$$

Con queste equazioni descrivo il trasformatore monofase

le equazioni diventano

$$\bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} (\bar{\Phi}_{pmax} + \bar{\Phi}_{\sigma_2max})$$

$$\bar{V}_2 = -R_2 \bar{I}_2 + j\omega \frac{N_2}{\sqrt{2}} (\bar{\Phi}_{pmax} - \bar{\Phi}_{\sigma_2max})$$

che ancora posso riscrivere

$$\bar{\Phi}_{\sigma_2max} = \frac{N_2 \bar{I}_2 \sqrt{2}}{R_{\sigma_2}}$$

$$\bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} \bar{\Phi}_{pmax} + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} \bar{\Phi}_{\sigma_2max}$$

caduta esistiva

caduta induttiva (dovute a 2 flussi)

$$\bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} \bar{\Phi}_{pmax} + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{2} N_2 \bar{I}_2}{R_{\sigma_2}}$$

$$\bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega \frac{N_1}{\sqrt{2}} \bar{\Phi}_{pmax} + j\omega \frac{N_1^2 \bar{I}_2}{R_{\sigma_2}}$$

le m principale primaria

$$\frac{N_1^2 \bar{I}_2}{R_{\sigma_2}}$$

induttanze di dispersione primaria

$$V_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega L_{\sigma 1} \bar{I}_1 + j\omega L_p (\bar{I}_1 - \bar{I}_2')$$

$$\bar{V}_2 = -R_2 \bar{I}_2 - j\omega L_{\sigma 2} \bar{I}_2 + j\omega L_p (\bar{I}_1 - \bar{I}_2')$$

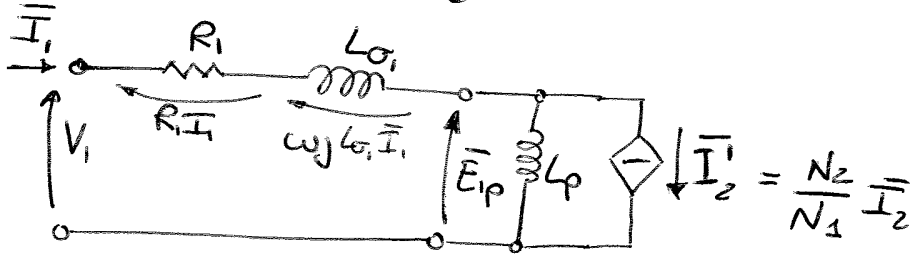
dove

$$\frac{\bar{E}_{1p}}{\bar{E}_{2p}} = \frac{N_1}{N_2}$$

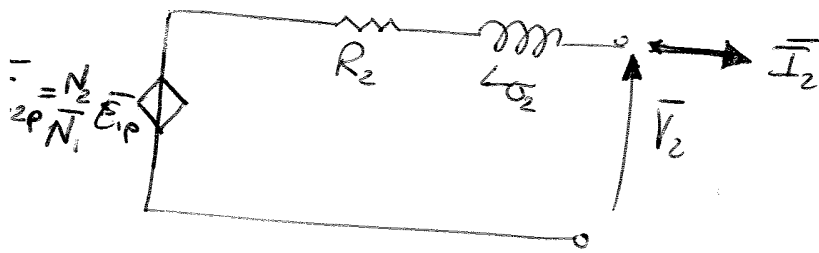
$$\frac{\bar{I}_2'}{\bar{I}_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Tali equazioni mi permettono di operare su un trasformatore

Interpretiamo circuitualmente la prima delle equazioni elettriche



mentre posso rappresentare il secondario



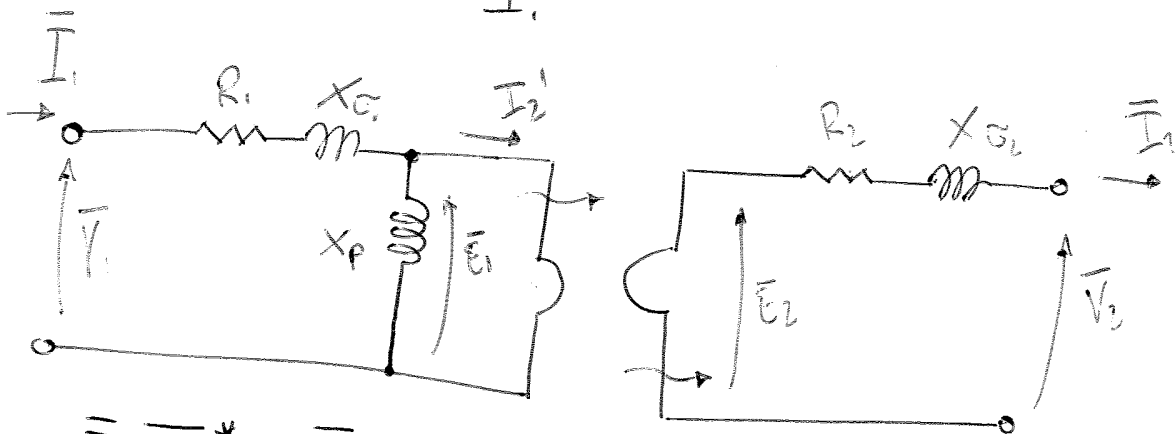
Quindi c'è un'interconnessione tra i due circuiti

Tali accoppiamenti si rappresenta come



Per tanto la condizione del trasformatore ideale è:

$$\frac{\bar{E}_1}{\bar{E}_2} = \frac{\bar{I}_2}{\bar{I}_1}$$



$\bar{E}_1 \bar{I}_2' = \bar{E}_2 \bar{I}_2$ relazione che descrive il fenomeno di un trasformatore la potenza primaria e

Per cambiare il flusso devo cambiare V_1
 il primo flusso e tensione legati tra loro e
 direttamente proporzionali.

Ma quando molto la tensione aumenta troppo il
 flusso e il ferro satura $\rightarrow X_p$ si riduce
 il che NON VA'.

Operazioni di riporto.

Se il Trasformatore ideale è spostato a monte
 del circuito occorre modificare opportunamente i
 parametri del circuito primario, in tal caso
 si dice che i parametri sono riportati e secondario
 viceversa se il Trasformatore è spostato a valle
 del circuito si dice che i parametri secondari
 sono riportati a primario.

Determino V_2 e I_2

$$\bar{V}_2 = -R_2 \bar{I}_2 - j X_{\sigma_2} \bar{I}_2 + \bar{E}_2$$

lo riscrivo in funzione
 di I_2' e E_1

$$\bar{E}_1 = n \bar{E}_2 \quad \bar{I}_2' = \frac{\bar{I}_2}{n}$$

ricordando il
 rapporto spire $n = \frac{N_1}{N_2}$
 \downarrow
 diverso dal rapporto
 di trasformazione
 $t = \frac{V_1}{V_2}$

per effettuare il riporto si \uparrow rapporto spire

ricavo $\bar{V}_2' = n \bar{V}_2$

$$n \bar{V}_2 = -n R_2 \bar{I}_2 - j n X_{\sigma_2} \bar{I}_2 + n \bar{E}_2$$

$$n \bar{V}_2 = -n R_2 \bar{I}_2 - j n X_{\sigma_2} \bar{I}_2 + \bar{E}_1$$

$$n \bar{V}_2 = -n^2 R_2 \bar{I}_2' - j n^2 X_{\sigma_2} \bar{I}_2' + \bar{E}_1$$

$\hookrightarrow V_2'$ tensione secondaria riportata a primario

$$R_2 = \rho \frac{N_2}{S_2} \cdot (l_{\text{spira media}}) \qquad R_2' = \rho \frac{N_1}{S_1} (l_{\text{sp.m.}})$$

dal rapporto si ha:

$$\frac{R_2'}{R_2} = \frac{N_1}{S_1} \cdot \frac{S_2}{N_2} \qquad \text{si comprende } \frac{S_2}{S_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{R_2'}{R_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = n^2$$

Si hanno perdite in Joule.

Avrà un valore di corrente idoneo tale che avrà perdite che il trasformatore è in grado di smaltire

↳ Tale corrente sarà la corrente nominale per smaltire il passo:

- * usare metodi di raffreddamento
- * isolante ed altre sopportazioni
- * ecc...

Generalmente le perdite sono dovute ai conduttori quindi sono perdite nel rame.

Ma nella macchina ci sono altre correnti ed il campo che viaggia nel ferro e sono chiamate correnti parassite.

Tali perdite sono espresse

$$P_{fe} = \frac{(\omega \phi_p)^2}{R_{fe}}$$

fem indotta nelle spira principale

resistenza del ferro & perdite nel ferro

Quindi posso esprimere in termini:

$$P_{fe} = \frac{E_1^2}{R_{fe}}$$

Quindi devo inserire R_{fe} nel circuito

La cifra di perdita nei normali materiali magnetici è dell'ordine di $8 \div 30 \frac{W}{Kg}$

Nel materiale c'è aggiunta di silicio che serve per diminuire la cifra di perdita

↳ ma aumenta la durezza del materiale e perciò difficile da lavorare per questo motivo $\%Si < 6\%$

Gli acciai sono forniti in forma di nastri di laminato. Esistono 2 tipi di laminazione

* laminazione a caldo

* laminazione a freddo (laminazione dei materiali magnetici più pregiati)

la laminazione consente una più facile magnetizzazione.

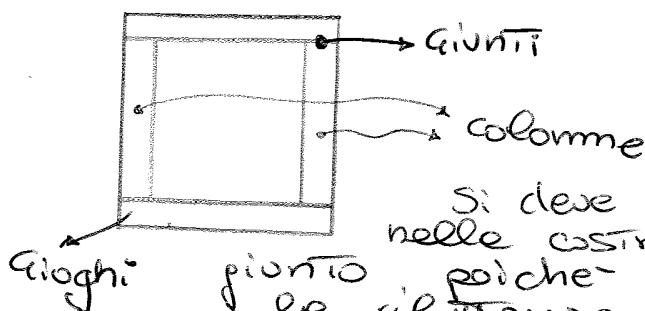
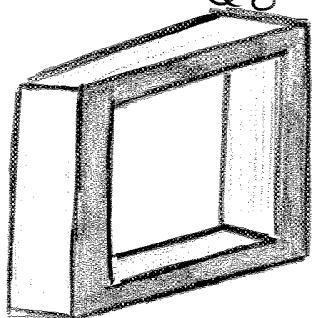
I materiali soffici non trovano grandi applicazioni perché sono difficili da lavorare, sono più simili al vetro e si ottengono nelle forme laminare partendo direttamente dallo stato fuso.

-> struttura complessiva del nucleo è realizzata tramite l'assemblaggio di tante lamiere di spessore $0,3 \div 0,5 \text{ mm}$

↳ la laminazione serve a spezzare il cammino delle correnti parassite,

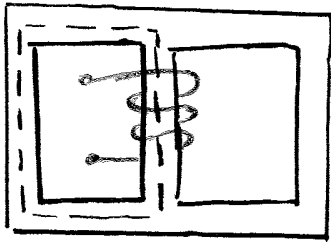
NUCLEO ad \square

Il nucleo è costituito da un unico blocco



Si deve fare attenzione nelle costruzioni del nucleo poiché aumentano le perdite nel nucleo

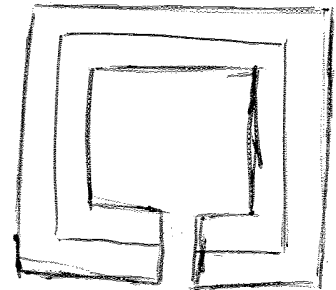
sono poi Trasformatori
impiegati per la media-bassa
Tensione sui PALI



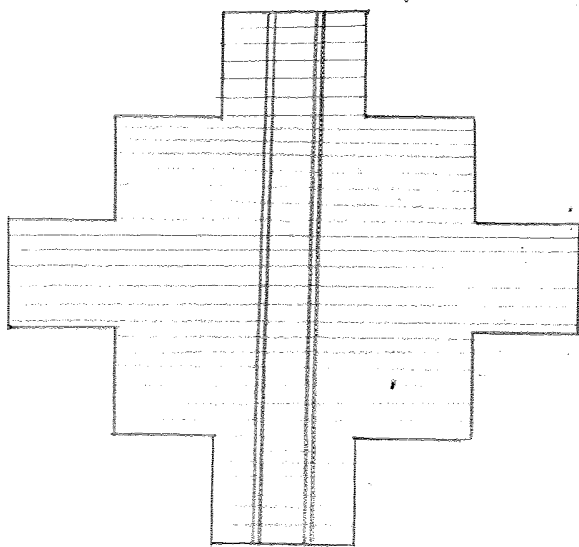
↳ Trasformazione in prossimità
della utenza.

Si tende a non usare TRAFERRO TRA i poli
lo scheuro costruttivo viene diviso in 2
nuclei ad O sopomati come segue

Poi come una macchina avvolgitrice
si avvolgono le bobine
e in seguito i 2 nuclei ad
O vengono collati nelle bobine
che si avvolgono sulla colonna
entrando dai Topi dei 2 nuclei
ad O.



↳ Trasformatori GRANDI usano un sezione a
prodini.



canali di raffreddamento

Per cui grandi usati
per i grandi Trasformatori
effettuare la plettatura
ad angolo retto potrebbe
dare dei problemi quindi
si usa uno strato
cilindrico di cartone.

Inoltre ci possono essere
problemi di raffreddamento
per questo sono effettuati
i canali di raffreddamento
ortogonali al flusso magnetico.

GRANDEZZE NOMINALI DEL TRASFORMATORE

(grandezze in etichetta → fornite dal costruttore)

↳ grandezze nominali principali (grandezze di targa)

- * Correnti nominali I_{1nom}, I_{2nom} non indicate sulle Targa
- * Tensioni nominali V_{1nom}, V_{2nom}
- * Rapporto di Trasformazione t
- * Potenza nominale S_{nom} non indicato in targa

CORRENTE NOMINALI

Sono quelle correnti che possono fluire all'interno dei rispettivi avvolgimenti, senza surriscaldare poiché gli isolanti sono in grado di dissipare tutto il calore.

Quindi sono le correnti che il trasformatore può sopportare per un tempo indefinito e tali correnti sono legate ad alcune grandezze come:

ECCESSO DI TEMPERATURA MASSIMO che può sopportare l'isolante rispetto alle condizioni di riferimento $\theta_{max, isolante}$

DENSITA' di CORRENTE $\delta \left[\frac{A}{mm^2} \right]$
 $2 \div 4 \frac{A}{mm^2}$

AREA DELLA SEZIONE DEL CONDUTTORE

$A_{seccad} [mm^2]$

se il raffreddamento è migliore allora δ cresce
 se la temperatura aumenta

→ l'isolante tende ad ossidarsi

→ e inoltre tende ad invecchiare prima

(quindi o si sgretola l'isolante o smette di isolare la macchina)

↳ Si può far funzionare il trasformatore a

La tensione nominale secondaria del Trasformatore è la tensione che si legge ai morsetti secondari quando i primari sono alimentati da V_{1nom} e i secondari lasciati aperti

$$V_{2nom} = V_2 \text{ quando in ingresso c'è } V_{1nom}$$

Rapporto di Trasformazione

$$t = \frac{V_{1NOM}}{V_2} = \frac{V_{1NOM}}{V_{2NOM}}$$

Potenza Nominale

$$S_{NOM} = V_{1NOM} I_{1NOM} = V_{2NOM} I_{2NOM} \quad [VA]$$

Esempio

Se ho

$$S_{NOM} = 200KVA$$

$$\frac{V_{1nom}}{V_{2nom}} = \frac{20KV}{100V}$$

poi ricavo le altre grandezze poiché sulla tarpa ci sono solo queste

Nel Trasformatore si parla di potenza apparente poiché il trasformatore si scalda in virtù di tensione e corrente nominale. (NON FUNZIONA DALLE FASE)

Il circuito a vuoto (ossia quando non c'è carico al secondario) è importante per la valutazione delle perdite nel ferro

Il circuito di cortocircuito è un fusioneamento quando (come un pannello ai morsetti)

Da tale fusioneamento valuto le perdite nel rame
FUNZIONAMENTO A VUOTO (solo primario)

la corrente I_{10} è interessata dai parametri trasversali della rete ed ha un andamento distorto.

$$\text{Se } e \quad v_1(t) = \hat{V}_{1n} \cos \omega t = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi(t) = \phi_{\text{max}} \sin \omega t \quad \phi_{\text{max}} = \frac{\hat{V}_{1n}}{N_1 \omega}$$

ciò ci fa notare come il flusso ha un andamento in funzione della tensione. Qualsiasi variazione di tensione porta a una variazione di flusso.

Rappresentando il flusso $\phi(t)$, le caratteristiche di magnetizzazione posso ricavare la corrente. La onda è distorta e le armoniche sono solo dispari.

↳ infatti si nota la presenza della 3^a armonica

↳ che fa in modo che la corrente non sia sinusoidale

Nella Targa sono portati:

- 1) potenza assorbita a vuoto S_{10}
- 2) corrente percentuale assorbita a vuoto $i_0\%$
- 3) fattore di potenza, a vuoto $\cos \varphi_0$

(dove φ_0 è l'angolo (fase) tra I_{10} e la corrente)
(in Rfe)

$$I_{10} = i_0\% \frac{I_{1n\text{norm}}}{100}$$

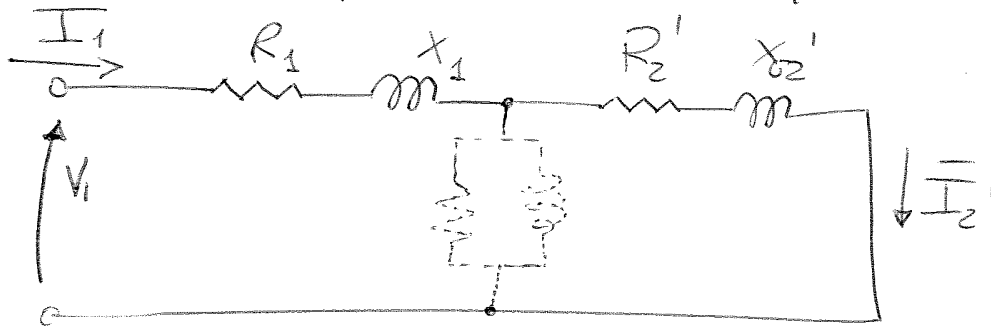
$$I_2 = i_0\% \frac{I_{2n\text{norm}}}{100}$$

$$\frac{I_{10}}{I_{20}} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{N_2}{N_1}$$

(12bis)

funzionamento in cortocircuito

Il circuito equivalente è il seguente



la corrente di c.t.o. c.t.o. è influenzata solo da parametri longitudinali:

Calcolo l'impedenza primaria di c.t.o. c.t.o. $(R_1 + R_2') + j(X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}') = Z'_{cc}$

$$I_{1cc} = \frac{V_{1n}}{Z'_{cc}}$$

se volessi I_{2cc} basta ricordare che $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{t}$
ricavo che $I_2 = I_1 t$

Le prove in corto si fa con valori di tensione basse, con la tensione nominale. Precisamente la V da applicare si chiama tensione di corto circuito

$$V_{cc} = Z'_{cc} I_{1nom}$$

→ Tensione che occorre ed un avvolgimento affinché nei 2 avvolgimenti circolino il valore nominale della corrente

nei dati di targa V_{cc} è rappresentata V'_{cc}

$$\Rightarrow V_{cc}\% = \frac{V_{cc}}{V_{1nom}} 100 = \frac{V_{cc}}{V_{2nom}} 100$$

Le tensioni di c.t.o. c.t.o. devono essere medie e non troppo piccole altrimenti si surriscaldano i correnti di posto elevate.

Quindi $P'_{\text{perd}} = 8 P_{\text{perd}}$ il rendimento sarà più alto
 poiché le P'_{perd} sono ridotte rispetto S_n
 Quindi da questo punto di vista è prescelto
 dal progettista

$$P_{\text{perd}} = k \theta \Delta \theta S$$

$\Delta \theta$ è proporzionale a $\frac{P_{\text{perd}}}{S}$

Più grosso è il trasformatore più la sua T
 tende ad aumentare con le parti lineari del
 trasformatore.

I grandi trasformatori devono avere un efficiente
 scambio termico ciò si fa con olio
 ossia con immersioni in olio isolante o
 elettrico da consentire una migliore dissipazione
 del calore tale che esso può essere meglio scelto.

Nelle dimensioni generali non influisce il numero di
 spire.

Dalla relazione $N_1 i_1 = H \ell \mu_r$ se T_{leg} B_{max} cost
 anche $H \ell$ cost così la costante di magnetizzazione
 varia linearmente.

Più una macchina è grande più le perdite
 resistive sono più basse delle perdite reattive.

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \quad X_{\sigma} = \omega N^2 \frac{\mu_0 S}{\ell}$$

\downarrow tende a diminuire \downarrow tende a crescere

Caso

Consideriamo un Trasformatore da 10 KVA con i seguenti valori nominali.

$S_n = 10 \text{ KVA}$

$V_n = 380/227,6 \text{ V}$ di conseguenza $I_n = 26,3/44 \text{ A}$

la corrente $I_{10} = 0,41 \text{ A}$ corrente assorbita a vuoto.

Da qui estrapolando le proporzioni dei vettori con I_{10} piccolissimo e quindi vettori I_1'' e I_2 coincidenti.

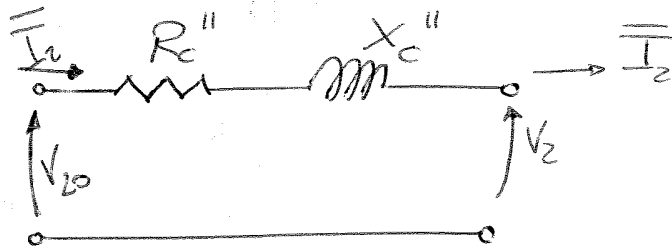
Si ha inoltre: $R_e'' = 633 \Omega$ $X_p'' = 394 \Omega$

ottenuto: $R_1'' = 0,062 \Omega$ $X_{\sigma_1}'' = 0,059 \Omega$

$R_2 = 0,048 \Omega$ $X_{\sigma_2} = 0,059 \Omega$

Essendo I_2 e I_1'' coincidenti può eliminarsi il ramo parallelo trasversale.

Però posso così rappresentare il circuito come:



$R_{cc}'' = R_1'' + R_2$

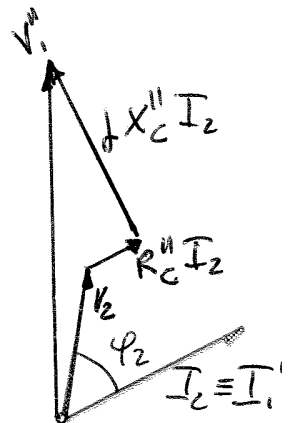
$X_{cc}'' = X_{\sigma_1}'' + X_{\sigma_2}$

Il diagramma vettoriale risulta semplice

diagramma del Trasformatore a carico

di dati di Tarpa saranno noti $V_{cc}\%$ e $\cos \phi_{cc}$

$V_{cc} = \sqrt{R_{cc}''^2 + X_{cc}''^2} \cdot I_{n\text{car}}$

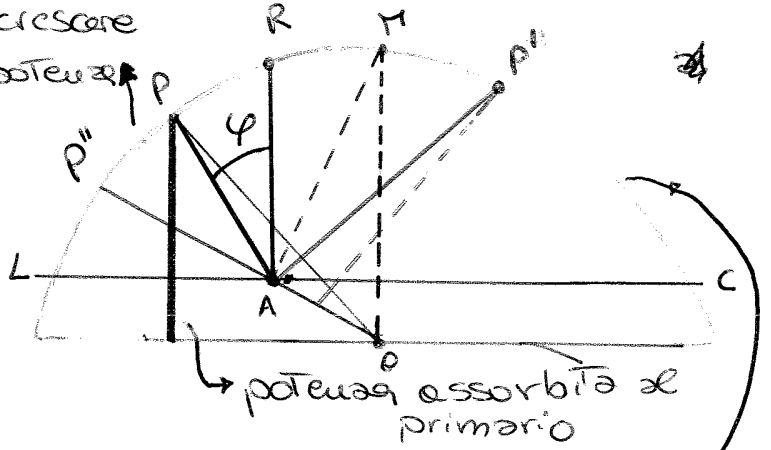


La caduta di tensione di un Trasformatore a carico si intende la differenza tra la tensione a vuoto e la tensione a carico.

$\Delta V = |V_{20} - V_2|$

e sarà funzione di $I_2, \phi, R_{cc}'', X_{cc}''$

V_{CARICO} tende a decrescere o crescere a seconda del fattore di potenza



$$P = V_2 I_2 \cos \varphi$$

potenza trasferita al CARICO

↓
sarà massima quando il carico non è induttivo ma è letteralmente capacitivo

al crescere delle capacità le V_{CARICO} tende a crescere

Trovo un punto dove $|V_{CO}| = |V_2|$ tale punto è P' indicato come P' ed OA

$$\Delta V = |V_{CO}| - |V_2| \approx R_{CC}'' I_2 \cos \varphi + X_{CC}'' I_2 \sin \varphi$$

se $\varphi = 90^\circ$ \parallel \rightarrow negativo con $\varphi = 90^\circ$

Da P'' la caduta di tensione è massima

$$\cos \varphi = \cos \varphi_{CC} \quad \varphi = \varphi_{CC}$$

V_2 e V_{CO} in fase tra loro.

Giudi con tale diagramma si comprende come varia la situazione al variare del fattore di potenza.

Il rapporto tra le altezze rispetto la linea LC e rispetto l'asse passante per O rappresenta il rendimento.

Il punto B: rappresenta l'arco di funzionamento positivo
intersecato con l'asse perpendicolare
a \overline{OQ} e in tale punto $\Delta V = 0$

Quindi dal diagramma a raddoppio osservo
che nelle zone induttive $\Delta V > 0$ $V_{20} > V_2$
nelle zone capacitive $\Delta V < 0$ $V_{20} < V_2$

Le altre perdite nel rame sono le perdite addizionali.

Quando la corrente nei avvolgimenti è alternata la distribuzione di densità di corrente nei conduttori non è coerente infatti si creano delle correnti parassite che si sovrappongono alle correnti \vec{I}_1 e \vec{I}_2 e provocano addensamenti dello \vec{J} verso la superficie del conduttore (effetto pelle).

Supponiamo che il trasformatore lavori a carico quindi $N_1 \vec{I}_1 = N_2 \vec{I}_2$

La corrente è alternata, il campo è alternato e il flusso nei conduttori produce correnti parassite perpendicolari alle linee di campo. Tali correnti si oppongono alle forze che le hanno generate. Il loro sovrapporsi alle correnti \vec{I}_1 e \vec{I}_2 portano perdite addizionali. La soluzione sta nel calcolo di un coefficiente k_R di incremento delle perdite che è funzione di p e della frequenza.

Si considera un avvolgimento formato da conduttori a sezione rettangolare $b \times h$ con b orientato lungo le linee di campo e h ortogonale ad esse.

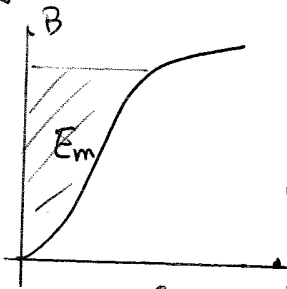
Allora si ha che



$$R_{ca} = R_{ohm} \left(1 + \frac{4}{45} \frac{p^2}{f^2} \right) \cdot k_R$$

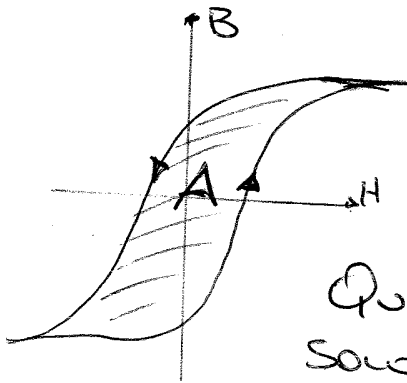
2) Perdite per isteresi:

Per magnetizzare un elemento si ha un assorbimento di una certa quantità di energia da parte del circuito elettrico



l'area E_m è l'energia che occorre per magnetizzare

durante il fenomeno di smagnetizzazione ma causa dell'isteresi magnetica il materiale si smagnetizza seguendo una caratteristica diversa da quella di magnetizzazione



si pensa un ciclo chiuso che è detto ciclo di isteresi.

$$A = \oint H dB$$

Quindi le perdite per isteresi sono $P_{ist} = A \cdot f$ ($\frac{W}{m^3}$)

Tali perdite si riducono con il solenoide. Le perdite nel ferro possono essere rappresentate cumulativamente come R_{fe} .

cos ϕ fattore potenza

o fattore di carico

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

Notiamo che V_2 dipende dal fattore di potenza del carico.

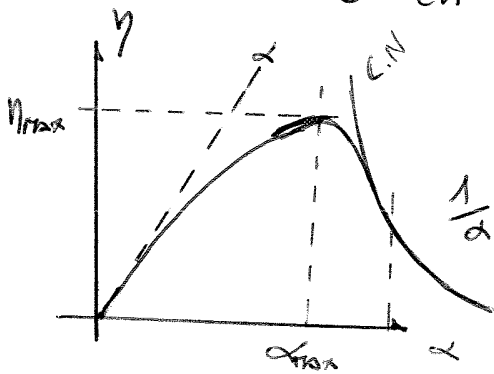
Posso dire che il rendimento è influenzato dal fattore di potenza del carico e dal fattore di carico.

Quindi confondendo V_2 con V_2 *
 il massimo rendimento si ottiene per $\varphi_2 = 0$

$$P_2 = V_2 I_2 \cos \varphi_2 \approx \alpha V_2 I_{2n} \cos \varphi_2$$

$$\eta \approx \frac{\alpha V_2 I_{2n}}{\alpha V_2 I_{2n} + \alpha^2 P_{cc} + P_{fe}}$$

riportandolo su un diagramma otteyo



$$\eta = \frac{V_2 I_{2n}}{V_2 I_{2n} + \alpha P_{cc} + \frac{P_{fe}}{\alpha}}$$

rendimento massimo quando denominatore minimo

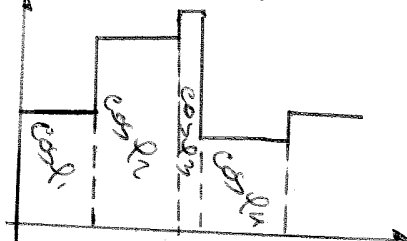
derivo il denominatore

$$P_{cc} - \frac{P_{fe}}{\alpha^2} = 0 \Rightarrow \alpha^2 P_{cc} = P_{fe}$$

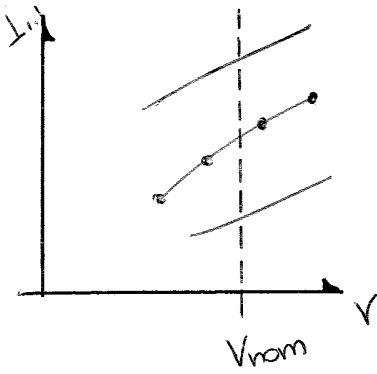
↳ condizione η massimo

gli auti forniscono un α_{max} , in questo il Trasformatore non lavora sempre a pieno carico così si ha miglior esercizio del Trasformatore non ci si può basare sul rendimento max ma si deve analizzare l'energia sprecata lungo le giornate.

$$V_2 = V_2 - I_2 (R_{cc} \cos \varphi_2 + X_{cc} \sin \varphi_2)$$



$$A_{tr} = S_{tr} = \frac{P_R}{\cos \varphi_R} \text{ [VA]}$$



$$i_{10\%} \Rightarrow P_{fe} = P_{0\text{ nom}}$$

↓
utile nei calcoli

ricavo $\cos \varphi_{\text{nom}}$

$$\cos \varphi_{\text{neu}} = \frac{P_{0\text{ nom}}}{V_{\text{nom}} I_{0\text{ nom}}}$$

inoltre con questa prova ricavo il rapporto di trasformazione.

La prova 3 in corto è uguale la prova 2 in termini di grandezze misurate.

V_1, I_1, P_1 e subito anche I_2

Si pone in corto il secondario e applicando tensioni via via crescenti a partire da \emptyset la corrispondenza ha I_1 che varia da $\emptyset \rightarrow I_n$ e in corrispondenza avrà $P_1 : \emptyset \rightarrow P_{cc}$ la tensione per cui si ha che $I_1 = I_{\text{nom}}$ è la tensione di cortocircuito V_{cc}

$$V_{cc}\%, P_{cc} = P_w, \cos \varphi_{cc}$$

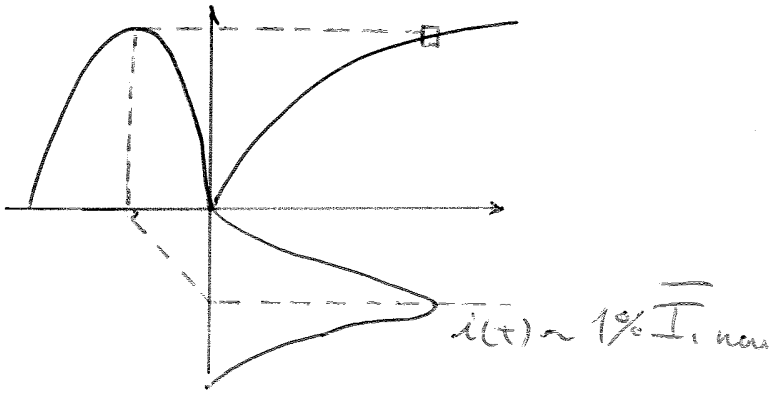
se V_{cc} molto piccolo rispetto a V_{nom} allora le P_{fe} sono trascurabili.

la prova è completa misurando la temperatura di prova.

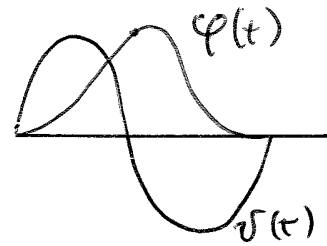
Poi si ricavano i risultati di prova riportati a temperatura convenzionale.

Si ha: R_1, R_2, T_a riportate e T_{prova}

$$R_1^*, R_2^*, T_{P_{cc}}$$

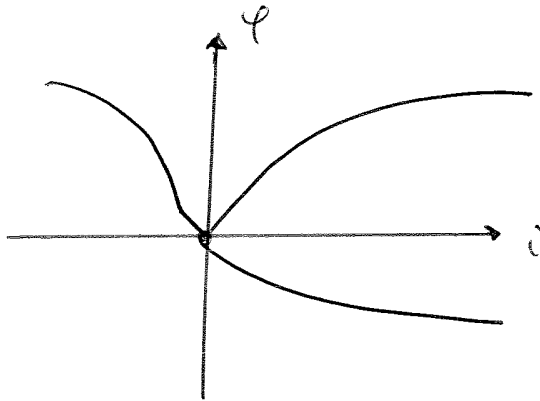


Supponendo di chiudere l'interruttore a $t=0$



flusso

unidirezionale con valor medio $\neq 0$



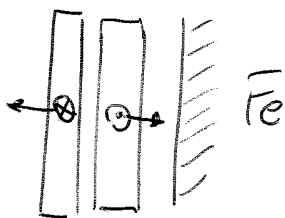
l'entità di corrente assorbita nell'apertura è coseno come è e si vede la chiusura dell'interruttore

si ha che:

$$L_0 \rightarrow v(t) = L_0 \frac{di}{dt}$$

normalissimo Transitorio

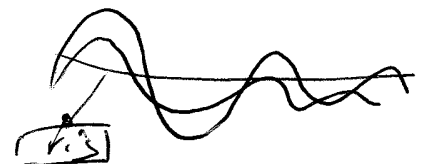
Se ho 2 conduttori



durante un corto si possono avere valori tali che si possa rovinare per avvolgimenti.

~~nel corto si hanno due correnti una di corto pulsante e una di corto istantanea le loro somme a da costante di I_{cc}~~

~~Ma sui conduttori secondo legge di Biot-Savart una forza che in caso di corto può rovinare i conduttori.~~



$$S_n = V_{in} (I_{in} + I_{en}) = V_{in} I_{in} (1+t)$$

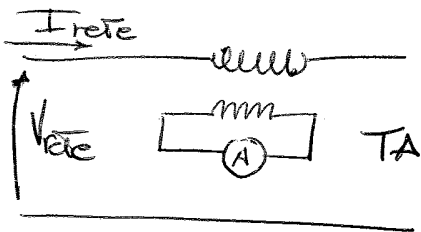
$$S_n = (1+t) S_d$$

CASO ABBASSATORI

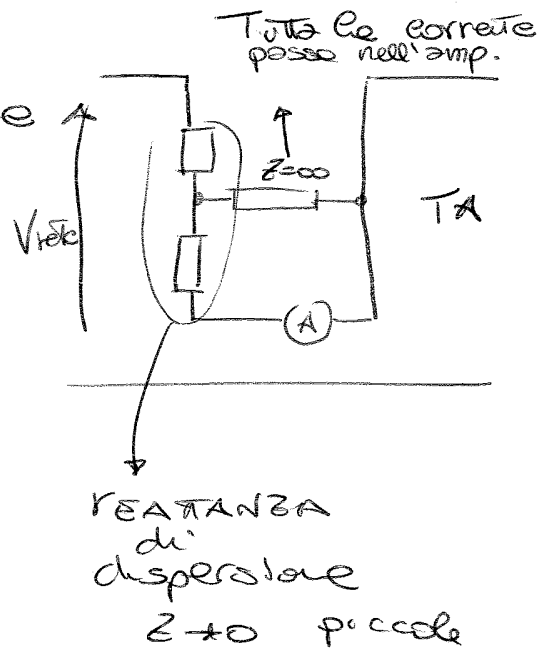
$t=1$ il secondario ha zero spire

se $t=\infty$ $S_d=0$

l'inserzione nella rete e' effettuata nel seguente modo



il cui diagramma fisico sarà



un TA non può essere lasciato aperto poiché si avrebbe la saturazione e il danneggiamento per perdite nel ferro

i nostri Trifase sono trasformatori di potenza e che si occupano della generazione e Trasformazione dell'energia elettrica.

TRE FILI

Generazione - Trasporto

TRE FILI

Trasporto - sottostazione

TRE O QUATTRO FILI (al secondario) 3 fili a primario

sottostazione - distribuzione

Nei casi dei 3 fili l'ultima ep. non esiste quindi non esiste flusso omopolare quindi la terna è equilibrata.

La presenza del neutro implica che la somma delle 3 correnti di fase sia $\neq 0$ quindi c'è corrente nel filo omopolare

e si avrebbe
$$-N'' \bar{I}_0'' = (3R_0 + R_p) \bar{\Phi}_0$$

ricavo la corrente di neutro
$$\bar{I}_0'' = \sum_{i=1}^3 \bar{I}_i''$$

Quindi il flusso omopolare si crea solo in caso di presenza del neutro e con carico squilibrato

La struttura a 3 colonne presenta R_0 alto quindi Φ_0 piccolo.

Nel caso in cui, a 4 fili, $\Phi_0 = 0$ allora

$$N' \bar{I}_1 - N'' \bar{I}_1'' = R_p \cdot \bar{\Phi}_{p1}$$

$$N' \bar{I}_2 - N'' \bar{I}_2'' = R_p \cdot \bar{\Phi}_{p2}$$

$$N' \bar{I}_3 - N'' \bar{I}_3'' = R_p \cdot \bar{\Phi}_{p3}$$

le 3 fasi si comportano in modo indipendente l'una dall'altra

↳ si ricorre in tal caso alla Teoria del monofase

$$\frac{N''}{2} \bar{I}_1 - \frac{N''}{2} \bar{I}_3 \quad \text{f. m. m. su colonna 1}$$

$$\frac{N''}{2} \bar{I}_2 - \frac{N''}{2} \bar{I}_1 \quad \text{f. m. m. su colonna 2}$$

$$\frac{N''}{2} \bar{I}_3 - \frac{N''}{2} \bar{I}_2 \quad \text{f. m. m. su colonna 3}$$

le somme delle f. m. m. delle 3 colonne = 0
quindi non si ha f.e.m. omnepolare

(CASO USATO SOLO IN CONDIZIONI DI FORTE SQUILIBRIO)

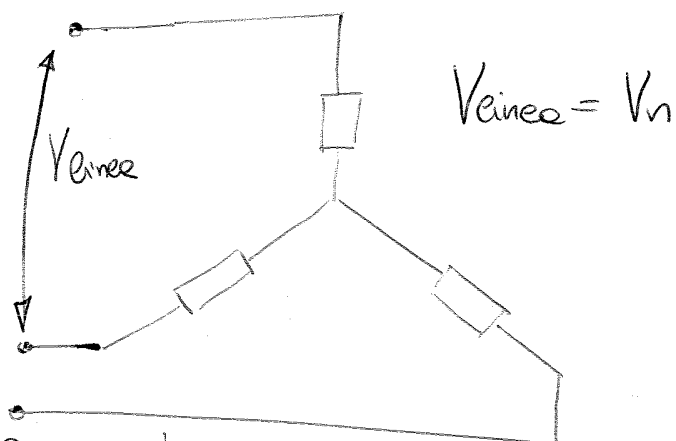
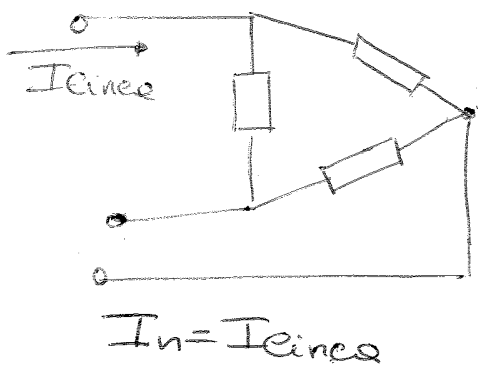
Un guasto a terra di un Trasformatore trifase tende a far sorgere un ϕ_0 tale da limitare le correnti di guasto.

Anche per i Trasformatori trifase vengono definiti i valori nominali.

↳ anche se c'è ambiguità sulla definizione ossia la tensione nominale è quella di una singola bobina o la tensione lineare?

Nel Triangolo

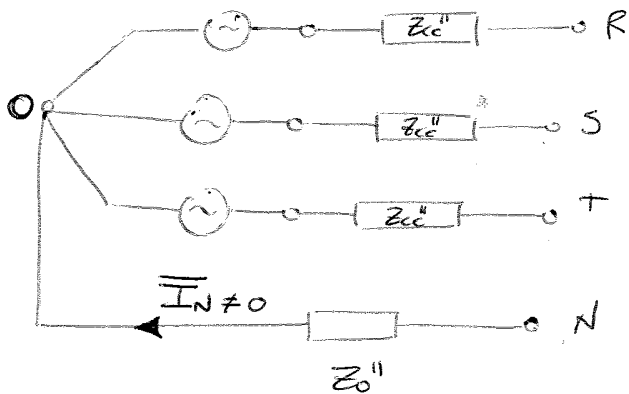
Nelle stelle



Il rapporto di Trasformazione t non è più uguale al rapporto spire (diff. dal monofase)

Defatti:
$$t = \frac{V_{in}}{V_{ph}}$$

nel caso di carico squilibrato il circuito è leggermente diverso



Z_0'' impedenza omopolare del Trasformatore.

si deve avere quindi un collegamento a stelle con neutro o $\Delta/\Delta - \Delta/\Delta$ con neutro

L'impedenza Z_0'' è modesta

Nel caso uso collegamento a $\Delta/\Delta - \Delta/\Delta$ $Z_0'' = 0$

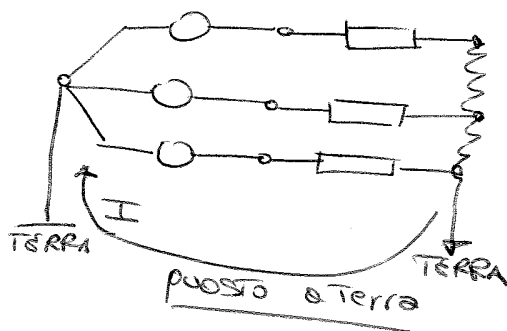
Nel caso di carico squilibrato sul neutro vi è una corrente \bar{I}_N di ritorno del neutro.

quindi lo stato di neutro è funzione di \bar{I}_N e Z_0''

Se considero un Terzo di Testa

se ho un posto FASE-FASE cioè non interessa il neutro

se ho un posto FASE-NEUTRO è un posto di tipo omopolare dove la corrente di corto sarà influenzata oltre che dalla Z_{cc}'' anche dalla Z_0''



Nelle Targa dei Triplex oltre i consueti dati compare una sigla composta da 2 lettere e 1 numero.

$\underline{D Y}$
Triangolo
Stella

1
↳ Gruppo Trasformatore
0 ÷ 11

Le norme di trasformazione dicono che

$$t = \frac{|V_{1'2'}|}{|V_{1''2''}|} = \frac{|-E_2'|}{|E_1'' - E_2''|} = \frac{E_1'}{\sqrt{3} E_1''}$$

perciò il rapporto di trasformazione è $t = \frac{1}{\sqrt{3}}$

Perché è stato introdotto il gruppo orario?

Dal punto di vista dell'utenza non ha alcuna importanza

↳ ha importanza quando occorre un'alimentazione fatta da 2 trasformatori e occorre che le 2 linee siano in parallelo e quindi in fase, producendo correnti e tensioni reciproche in fase.

↳ tale collegamento con 2 trasformatori capita spesso.

PARALLELO di TRASFORMATORE

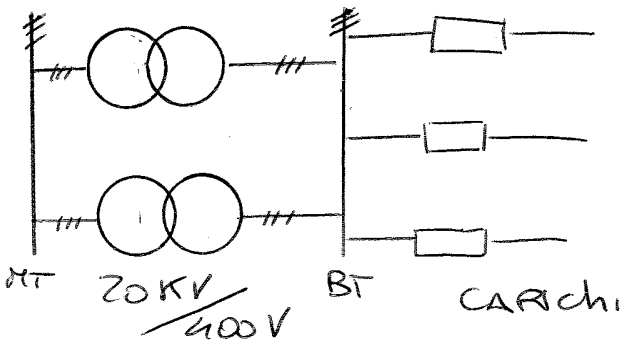
Perché si devono mettere in parallelo più trasformatori

Due trasformatori lavorano in parallelo se sono alimentati dallo stesso sistema di tensione

primarie e alimentano carichi collegati ad entrambi

i trasformatori

CONVIENE mettere 2 da 800 KVA
o 1 da da 1600 KVA?
CONVIENE mettere
2 trasformatori perché



1) perché permette un'alimentazione migliore se uno dei 2 si guasta ridondanza

2) può essere che non occorrono tutti i 1600KVA e quando le occorrono

meno di 800 KVA ne uso solo 1.

Quindi dimezza le perdite.

parziale e quindi Trasformatore e funzione della sua corrente nominale

$$\frac{Z_{CB}}{Z_{CA}} = \frac{I_{CA}}{I_{CB}} = \frac{I_{CANOM}}{I_{CBNOM}}$$

condizione di
circuitale di
fatto (effettiva)

Quindi $Z_{CB} \cdot I_{CBNOM}$
 $Z_{CA} \cdot I_{CANOM}$ coincidono

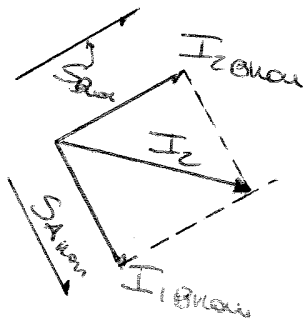
Tale informazione le traso sulle tempo per mezzo delle Testate di certo circuito

Quindi i 2 trasformatori dovranno avere

$$V_{acc\%} = V_{cc\%}$$

Ma devo fare attenzione anche alle fasi

perché può capitare che $I_{CBNOM} = I_{CANOM}$ in modulo ma diverse in fase come nel seguente caso:



e quindi $S_{tot} \neq S_{BNA} + S_{ANA}$

Per tanto affinché tutto vada liscio dovrà avere $\cos \varphi_{CA} = \cos \varphi_{CB}$

Quindi $Z_{acc}'' = Z_{BCC}''$ in fase

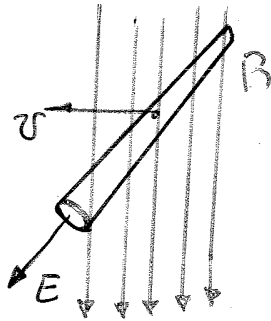
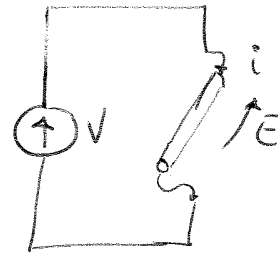
Aura sempre una scostatura, dovrà avere elasticità nell'applicazione delle relazioni

Ma in generale se i requisiti di carico e di vuoto sono rispettati allora i trasformatori operano in parallelo

In tal caso possiamo dire che il nostro è un motore elettrico. Dovremmo quindi estrarre un lavoro che si oppone alla forza elettromotrice.

↳ comportamento da motore

Se passò \vec{v} nel verso opposto



$$P_{mec} = -vF$$

quindi \vec{E} sarà opposto

Tale conduttore produce corrente elettrica

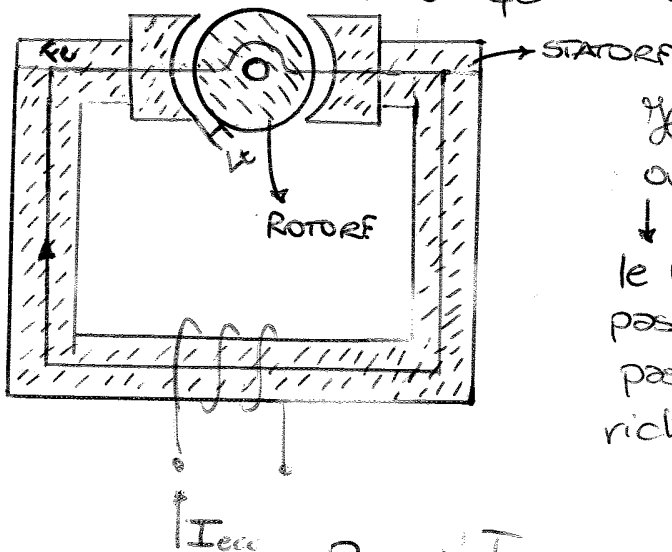
↳ generatore elettrico

La prima macchina elettrica costruita è quella in corrente continua.

Il primo modello prende il nome di modello di Pacinotti (anello di Pacinotti)

Il modello di Pacinotti è costituito da 2 parti
una parte fissa → STATORE che deve fornire B
una parte mobile → percorso da una corrente che svolge il ruolo del nostro conduttore

↳ ci devono essere forze che producano coppia



Il flusso è in senso orario.

↓
le linee di flusso dovranno passare per l'aria per poi passare per il rotore e richiudersi

$$B_t = \frac{N I_{ecc}}{2 L_r \mu_0}$$

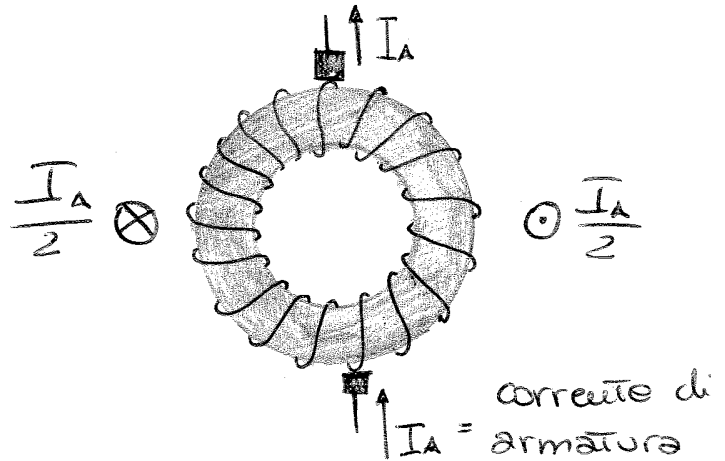
Il l'induzione al Tiferro sarà lo stesso per qualsiasi linea considerata

di commutazione.

Asse in cui non c'è campo, si trova tra i 2 poli e deve commutare i poli.

Questa commutazione è stata realizzata in modo semplice. È stato prodotto sull'anello un avvolgimento ad elica chiuso su se stesso

due parti dei contatti striscianti dette spazzole che trasferiscono corrente nell'avvolgimento



le I_A percorrerà le 2 metà dell'anello

Tale meccanismo composto da spazzole e da conduttori si chiama commutatore ed insieme è quindi detto commutazione.

Se la macchina gira in senso antiorario è generatore se gira in senso orario funziona da motore.

Nei motori motorici non c'è più il buco e i conduttori interni sono montati poiché $B=0$.

Quindi invece di fare avvolgimento sull'anello faccio avvolgimento sul cilindro.

Il tutto a parità di raggio ha un raddoppio dei conduttori.

conduttori possono essere incollati sulla parte cilindrica



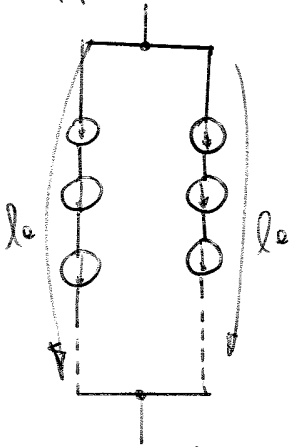
Coppia limitata vincolate alle tensioni delle colle

cave forza elettromotrice

$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad \text{e poi: } C_{wr} = eI$$

può di forza affidamento
Azione elettrica

basato riferimento al quello di panotti che posso rappresentare come:



consideriamo la macchina normale abbandonando il modello di panotti

Z_e TRATTI ATTIVI

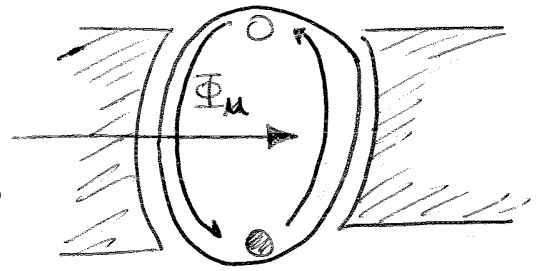
$\frac{Z_e}{4}$ SPIRE x VIA INTERNA

$\frac{Z_e}{2}$ SPIRE

considerando una spira con il suo conduttore di andata e il suo conduttore di ritorno

diamo a tale spira mezzo giro

il flusso che attraversa una nuova spira è lo stesso flusso ma di segno opposto.



si è generata una variazione di flusso

$$\Delta \phi_m = 2 \phi_m \quad \text{in un tempo}$$

$$\Delta t = \frac{\pi}{\omega_R}$$

tempo necessario a compiere la rotazione

$$E_{media_{spira}} = \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} = \frac{2}{\pi} \phi_m \omega_R$$

lo stesso fenomeno accade per tutte le altre spire

$\frac{Z_e}{4}$ Quindi
$$E_a = \frac{Z_e}{4} \frac{2}{\pi} \phi_m \omega_R$$

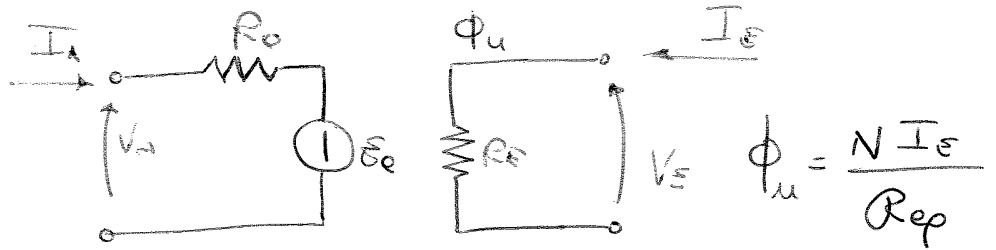
Tale relazione definisce l'azione elettrica della macchina

nel caso di eccitazione separata $R_{ecc} = \Delta LTA$
 con perdite = $\frac{V_e^2}{R_{ecc}}$

nel caso di eccitazione serie si ha una $R_{ecc} = BASSA$
 con perdite = $R_{ecc} I_a^2$

MOTORE C.C. (ecc. separata)

Rappresentato nel seguente modo.



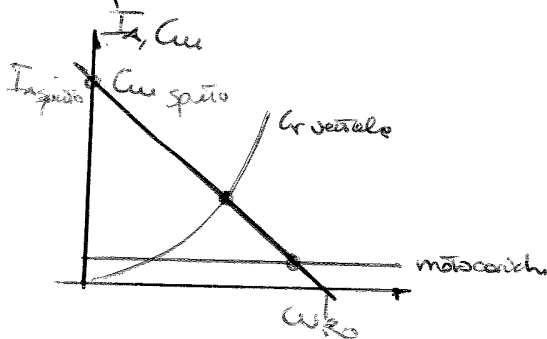
$$E_a = K \Phi_u \omega_R$$

$$I_a = \frac{V_a - K \Phi_u \omega_R}{R_a}$$

a' determina

$$I_a \text{ (spunto)} = \frac{V_a}{R_a}$$

diagramma:



$$\omega_R \text{ (vuoto)} = \frac{V_a}{K \Phi_u} = \omega_{R0}$$

La corrente e la coppia con opportune unita' di misura possono essere rappresentati nello stesso diagramma

$$C_{cuperto} = K \Phi_u \frac{V_a}{R_a}$$

Se ho una ventole o una $C_{r \text{ ventole}}$

Se ho un sistema di sollevamento (indipendente dalle velocità) 2 punti di funzionamento individuati stabiliscono l'equilibrio

(secondo le fisice 3 equilibri.)

$$U \wedge e$$

Tutto regolato dalle relazione

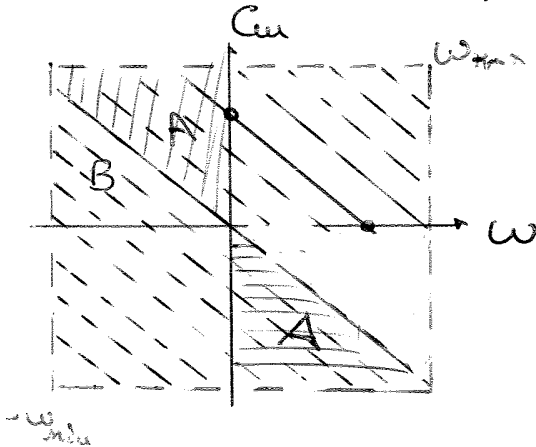
$$C_u - C_r = J \frac{d\omega_R}{dt}$$

↳ un'unita' di inerzia

macchina a eccitazione separata (OTT)

$$C_{cu} = K \Phi_u I_e = K \Phi_u \frac{V_a - K \Phi_u \omega_r}{R_a} \quad \text{in forma esplicita}$$

le caratteristiche e una retta



$$V_A = 0$$

$$C_{cu} = -\frac{(K \Phi_u)^2}{R_a} \omega_r$$

portocircuito e spazzo
vale dire frenare il motore

- * avere dei limiti di velocità ω_{max} e ω_{min}
- * Anche la corrente I_A avrà un massimo portato anche C_{cu} sarà limitato

Quindi il funzionamento del motore è limitato in questo retto

Comincio a considerare i punti del 1° quadrante

I → In tutti i punti la tensione sarà positiva $V_a > 0$ di conseguenza I_e sarà positiva $I_e > 0$. Quindi la potenza P_e sarà positiva

Il che anche $C_{cu} > 0$ e $\omega_r > 0$

Quindi anche potenza meccanica sarà positiva

POT. ELETTRICA POSITIVA → POT. MECCANICA POSITIVA

↘ Motore (marcia avanti) ↙

III → La tensione $V_a < 0$ di conseguenza la coppia $C_{cu} < 0$ quindi la corrente è negativa e ω_r è negativa

$V_a < 0$ $C_{cu} < 0$
 $I_e < 0$ $\omega_r < 0$ ⇒ motore (marcia indietro)
 P_e positiva P_m positiva

La differenza di coppia si ha

$$\Delta C = -j \frac{dW_R}{dt} \quad \left(\begin{array}{l} \text{chiusa da} \\ \bar{F}_1 \end{array} \right)$$

cioè corrisponde la frenatura

Determina la frenatura ripercussiva

Nel caso non si può avere un recupero di energia e I_a si annulla e il coppia frequ solo per effetto della sua coppia resistente

Macchina ad eccitazione serie

hanno applicazione nella locomozione, ora usata in campo automobilistico e campo utensile

↓
motorino d'avviamento

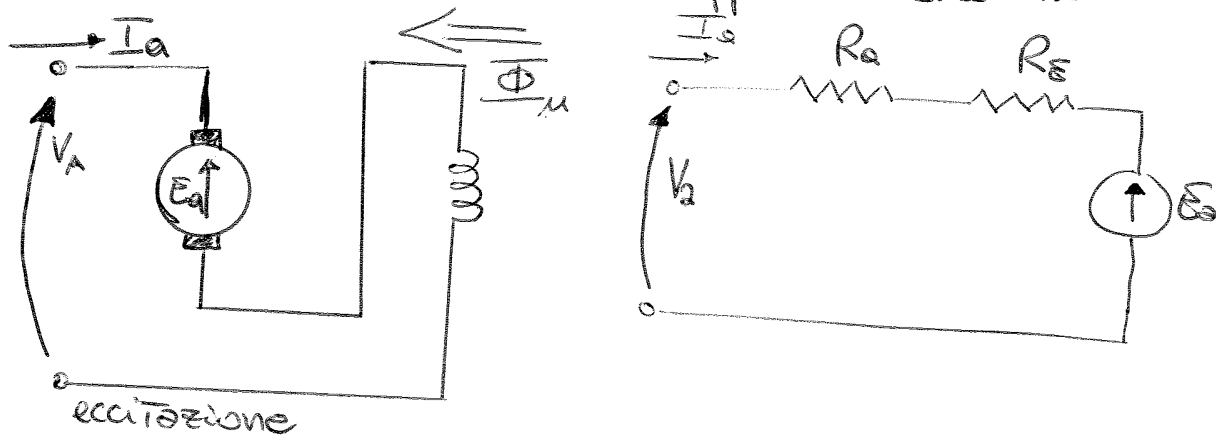
↓
motore phone, motore del

Tale motore può funzionare sia in corrente alternata che in corrente continua

Trapano portatile.
sia in corrente continua

Nel motore con eccitazione serie l'avvolgimento d'eccitazione analogo all'avvolgimento d'armatura

Lo schema elettrico è rappresentabile in tal modo:



Le relazioni costitutive sono $E_a = K \phi \omega_R$

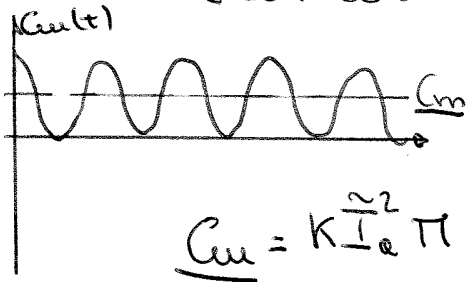
$$C_m = K \phi I_a$$

$$R_a + R_f = R_a'$$

da cui: $I_a = \frac{V_a - K \phi \omega_R}{R_a'} \rightarrow f(I_a)$

ho bisogno di: calcolare la funzione $f(I_a)$

$$i_e = \sqrt{2} \tilde{I}_e \sin \omega t$$



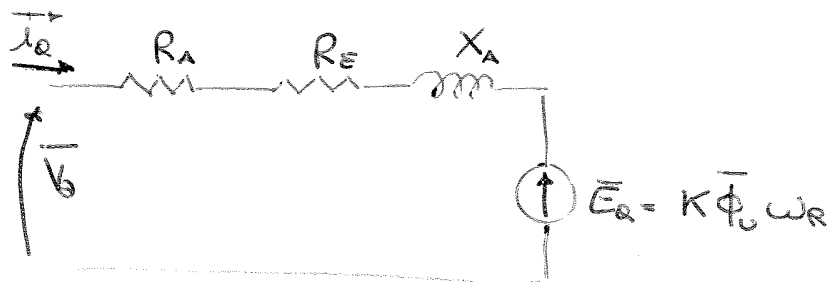
la coppia motrice istantanea vale

$$C_m = 2k\pi \tilde{I}_e^2 \sin^2 \omega t = 2k\pi \tilde{I}_e^2 \frac{(1 - \cos 2\omega t)}{2}$$

in tal caso oppiugo nel circuito me X_e $\sim m$ \cos : \bar{E}_e diventa \bar{f}_e

Con \bar{E}_e in fase con $\bar{\phi}_u$

$$\bar{I}_e = \frac{\bar{V}_0}{(R_e' + jX_e) + k\pi \omega R}$$



La fuga non esiste attriti preponderanti sulla coppia.

La fuga avviene anche nei motori ed ecc. separato

↳ con un motore ed ecc. separato è meglio fermarlo se opera in un preciso percorso

↳ Prima di tutto toglia alimentazione all'armatore poi toglia alimentazione al campo.

$$V_0 = 0 \quad \longleftrightarrow \quad C_m = 0$$

di conseguenza

$$I_e = 0 \quad \longleftrightarrow \quad \phi_u = 0$$

Se toglia alimentazione prima al campo $\phi_u \neq 0$ anche se piccolo (ciclo di isteresi)

Se ϕ_u piccolo \longleftrightarrow C_m alto

l'impedisse di f.m.m. solo secondo l'orientamento dei conduttori

E' costante poiché i pulsanti percorso sceglie il conduttore e' 1 solo

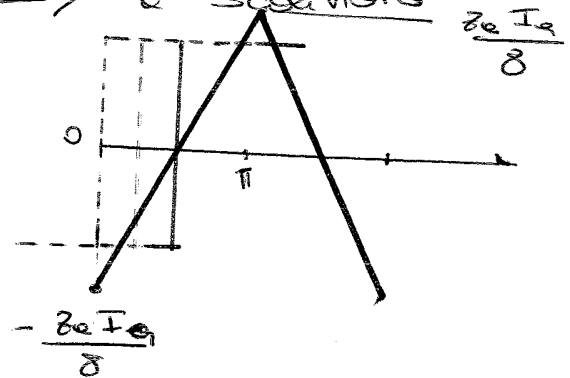
$$A_g(\alpha) = \frac{1}{g} \frac{I_a}{2}$$

Si possono sovrapporre gli effetti di tutte le spire

→ saranno tutte spostate di una certa costante

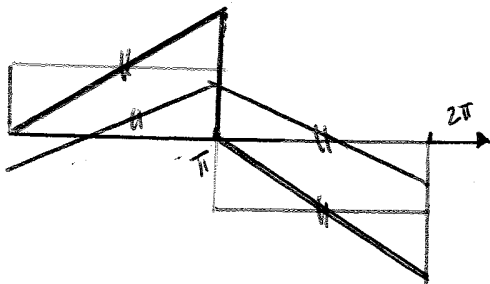
le f.m.m. complessiva e' la somma di tutte onde rettangolari

⇒ si ha una distribuzione a scodinata



si ottiene quindi un'onda TRIANGOLARE

$$A_e(\alpha) = \frac{z_e I_a}{g}$$



sono 2 caratteristiche f.m.m + reazione indotta

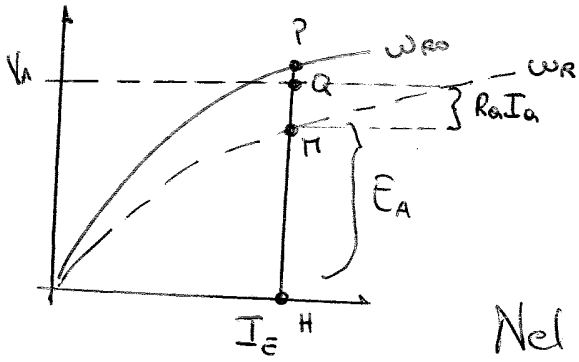
beni somma sarà

fenomeno noto come effetto distortore della reazione di indotto

ci chiediamo se il flusso utile varierà in conseguenza a tale fenomeno? NO

poiché in un punto aumenta induzione e dalla parte opposta simmetrica diminuisce quindi il flusso non è influenzato dalla reazione di indotto

↳ Comprimevole delle linee di campo delle reazione di indotto.



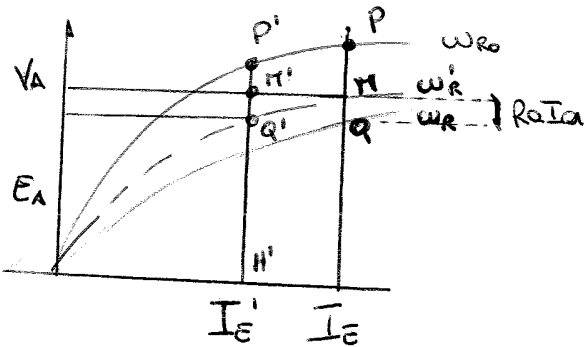
Costruendo $V_A, I_E, I_E \rightarrow \omega_R?$

$$\omega_R = \omega_{R0} \frac{\pi H}{PH}$$

$$V_A - R_a I_a = E_A$$

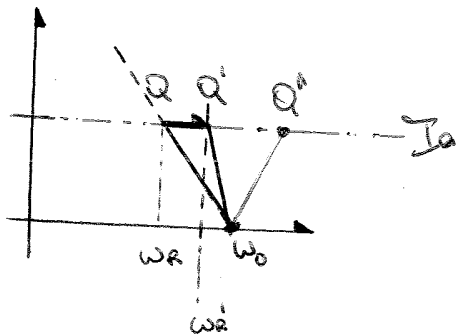
Nel passaggio da vuoto a carico il flusso diminuisce.

Tenendo presente effetto di smagnetizzazione e reazione di indotto si avrà:

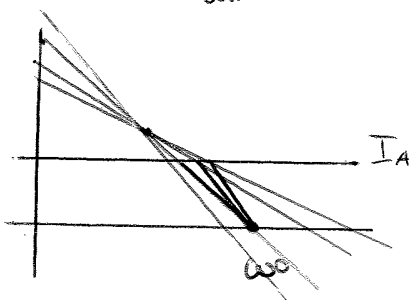


I_E' smagnetizzante più bassa

In tali condizioni il motore gira più velocemente

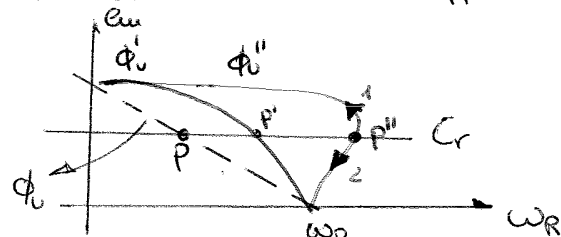


Se ho una Q'' con una corrente d'eccitazione I_E'' ancora più bassa si avrà che Q'' p.to superiore a ω_0 . Quindi le macchine passando a carico decelerano invece che rallentare.



L'aumento della coppia sarà

$$C_m - C_r = J \frac{d\omega_R}{dt}$$



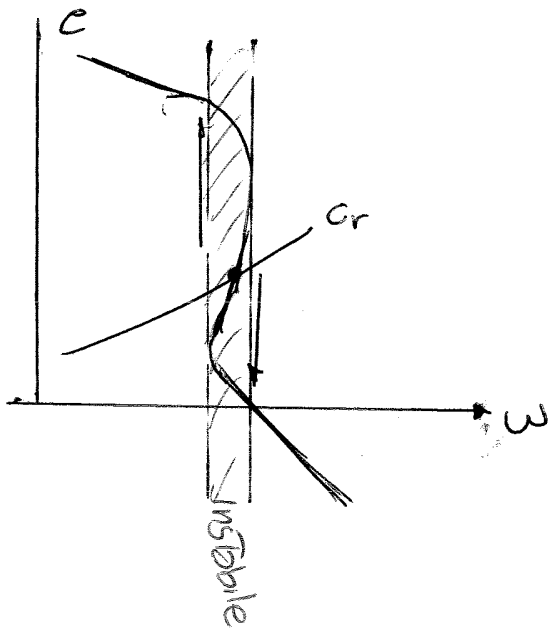
Supponiamo che la velocità aumenti consideriamo all'istesso di $P'' \rightarrow$ Se ho un incremento di velocità $C_m > C_r$

se si ha un rallentamento

$$C_m < C_r$$

ulteriore decelerazione

dove la caratteristica di coppia sarà



che in partenza
 $C_m > C_r$

motore accelera e
continua ad accelerare

$C_m < C_r$

motore ha ulteriore
decelerato

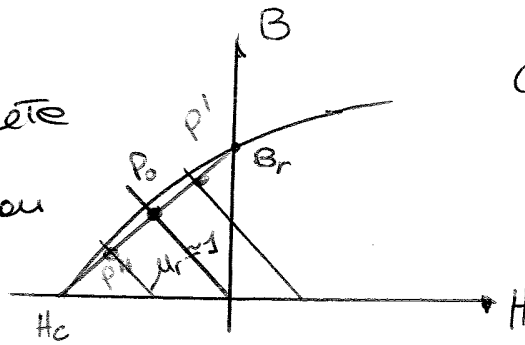
La reazione di indotto \rightarrow ~~è~~ l'effetto distorcitore non interviene sul flusso Φ_u se non fosse presente la saturazione.

evitare instabilità meccanica

Un motore a.c.c. a magneti permanenti

lavora nel 2° p. con intersezione con la caratteristica del

Trasfero nel punto B



Caratteristica del magnete

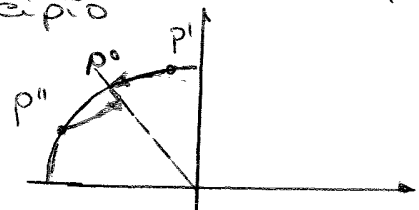
Se i è una corrente * la f.e.m. aumenta e dove si addensano le linee di campo e si sposta su P' se la f.m.m. diminuisce lo dove si riducono le linee di campo e si lavora su P''

Se P'' supera il campo coercitivo H_c una parte del magnete può smagnetizzarsi

Nei motori a magneti permanenti è indicata la massima corrente di armatura che il motore può ammettere per motivi magnetici

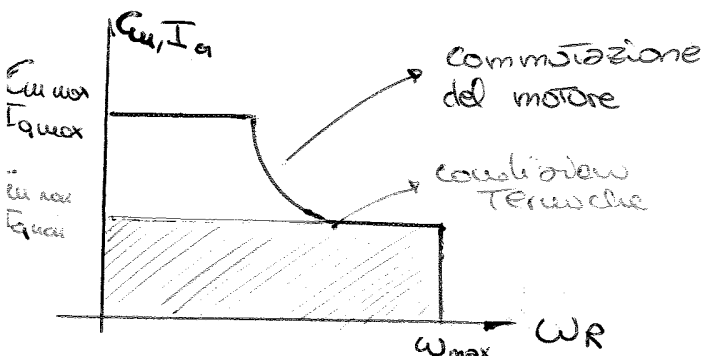
EVITA DANNI PERMANENTI \rightarrow Questo è solo un puro principio

Quando c'è I si lavora su P' e P''
Quando non c'è I si lavora su P^0

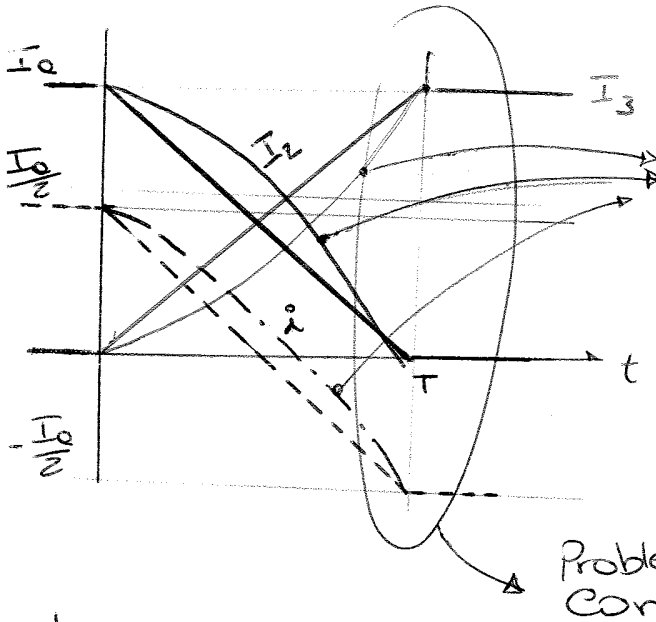


P'' Torna a P^0 inseguendo un percorso diverso.

Le caratteristiche del motore indicano zone di impiego



- 1^a // indicare le condizioni termiche (handmade)
- 2^a // dove il motore è usato nei limiti massimi (motore con I_e) (coppie d'avviamento)



la condizione critica sta nel caso in cui lo spazzolo abbandona la lamella.

l'andamento lineare delle correnti è ostacolato da una f.e.m. indotta che provoca sulla corrente quello che provoca un induttanza quindi si ha un andamento ritardato sulle correnti

Lspira induttanza della spira che deve commutare

$$\Delta\phi = L_s \cdot I_a \rightarrow E_L = \frac{\Delta\phi}{T}$$

la f.e.m. che ostacola $\propto I_a \omega R$ è proporzionale alle correnti I_a e alla velocità del motore.

Questo ritardo si cresce

Ci sono punti in cui la $I_a \neq 0$ al tempo T quando lo spazzolo abbandona la lamella

$I_a \neq 0$ arco elettrico \Rightarrow che scocca tra la lamella abbandonata e il bordo dello spazzolo che ha abbandonato la lamella.

ARCHI ELETTRICI
PROBLEMI

\hookrightarrow si ha un effetto che ritarda e' dovuto alle stesse reazioni di indotto

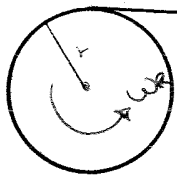
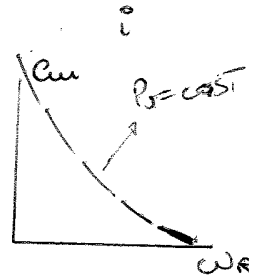
\hookrightarrow si genera un campo magnetico nei pressi dell'avvolgimento così che ad E_L si somma E_{RI} ossia la f.e.m. delle reazioni di indotto

$$E_{RI} = R_m \cdot I_a \quad \text{dove } B_{RI} \propto I_a \text{ e } v \propto \omega R$$

Tali poli possono essere moltiplicati sperimentalmente appiungendo in punta degli spessori magnetici tali da aumentare o ridurre il fenomeno

Volendo anche gli avvolgimenti compensatori riducono i problemi nella commutazione in quanto tendono a contrastare la reazione di indotto

APPROFONDIMENTI Si dice che un motore ad esempio che deve alimentare dei macchinari punti di lavoro sono su una caratteristica considero un'aspo avvolgitore



dove le $P_{mecc} = \nu \cdot T$

Suppongo ωT costante e un velocità costante

Durante processo di lavoro il motore sarà chiamato ad avere diverse coppie e diverse velocità

$C_{mot} = T \cdot \nu$

$\omega_R = \frac{\nu}{r}$

Quando la bobina è vuota r piccolo basse coppia e alta velocità

Quando la bobina è piena r grande alta coppia e bassa velocità

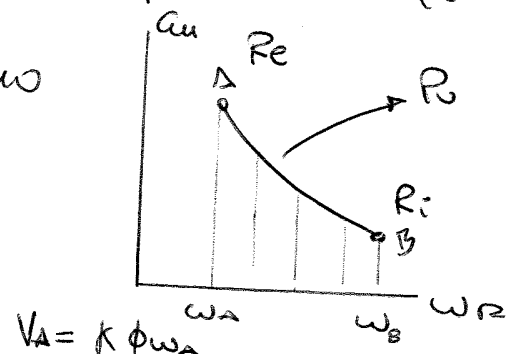
Supponiamo di voler avvolgere sul nostro aspo un nostro con un raggio minimo dell'aspo R_i e raggio massimo con R_e .

Nei vari punti di lavoro ci saranno tensioni varie e correnti varie

Devo considerare I_{Amax} , V_{Amax}

A) $C_u = \frac{P_u}{\omega_A}$ $I_A = \frac{C_u}{k\phi} = \frac{P_u}{k\phi\omega_A}$

B) $C_u = \frac{P_u}{\omega_B}$ $I_B = \frac{P_u}{k\phi\omega_B}$ $V_B = k\phi\omega_B$



$V_A = k\phi\omega_A$

↳ Trascurando le cadute di tensione

MACCHINE A CORRENTE ALTERNATA

Una macchina in corrente continua è a campo fisso in quanto i campi coinvolti sono fissi,

Intendendo fisso con riferimento allo statore

Le macchine a campo rotante sono macchine in corrente alternata

MONOFASE → 2 TORSETTI
TRIFASE → 3 TORSETTI

Le macchine in corrente alternata sono di due tipi

rotore asincrono
con velocità diversa
del campo rotante

sincrono
rotore con uguale
velocità del campo rotante

Entrambe hanno lo stesso statore ma rotore diverso
lo statore produce il campo magnetico rotante e
parliamo sostanzialmente di macchine trifase.

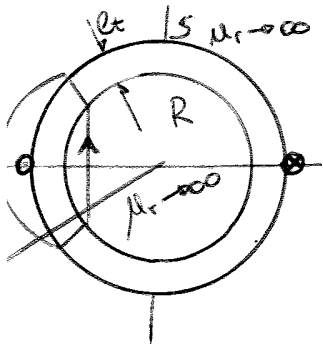
Quindi lo statore ha 3 avvolgimenti alimentati da
una rete trifase.

Nella macchina in corrente alternata le 3 fasi sono
eccoppiate magneticamente → una fase influenza l'altra
→ contrario di quello che accade nel trasformatore

Le fasi andranno rappresentate secondo schemi
vettoriali abbandonando il concetto di fasi:

Come si produce il campo rotante

Studiamo solo l'effetto dello statore e supponiamo
il rotore come un cilindro senza avvolgimenti
considero inonizzato:



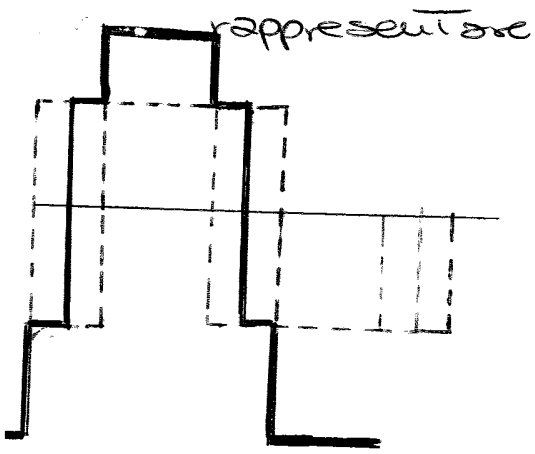
una corrente che entra da una
parte ed esce dall'altra

l_t è lo spessore del ferro

$H_t \Rightarrow 2 H_t l_t$ circolazione
del campo
magnetico

deve
coincidere
con i

$$i = 2 H_t l_t \rightarrow H_t = \frac{i}{2 l_t}$$



3 onde quadre sfasate di β
 posso trovare la fondamentale di tale distribuzione \rightarrow
 dire che la fondamentale è la somma delle fondamentali delle singole componenti.

\hookrightarrow le fondamentali sono sinusoidali

quindi sommo le 3 sinusoidi sfasate di β

$$\hat{A}_{1q} = \frac{Z_f}{q\pi} i$$

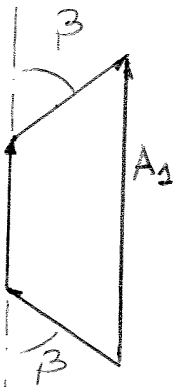
$q=1 \quad \frac{Z_f}{q\pi} i \sin(\alpha - \beta)$

$q=2 \quad \frac{Z_f}{q\pi} i \sin \alpha$

$q=3 \quad \frac{Z_f}{q\pi} i \sin(\alpha + \beta)$

de avranno la medesima ampiezza ma sfasate tra loro.

La somma di sinusoidi a data sempre una sinusoidale
 Potrei anche fare la somma dei vettori



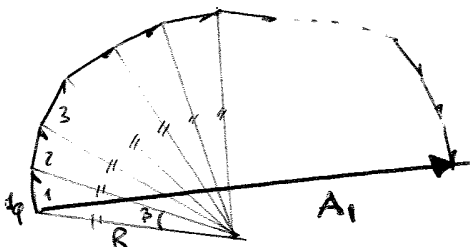
Trao il vettore delle sinusoidi tale abbia stessa fase di $q=2$ ma di ampiezza metà maggiore

Posso considerare un caso generale con n q
 tale da dover costruire una poligonale

posso considerare la poligonale iscritta in una circonferenza di raggio R tale che

$$A_{1q} = 2R \sin \frac{\beta}{2}$$

da cui posso ricavare $R = \frac{A_{1q}}{2 \sin \frac{\beta}{2}}$



A

questa divisione fra stato esterno e stato interno
 è una divisione immaginaria

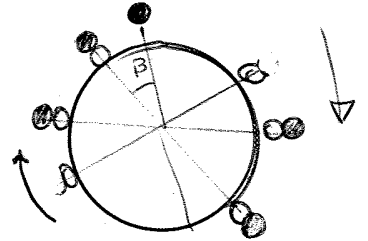
$$A_{1,I} = \frac{1}{2} \frac{Z_f}{\pi} k_D i \quad \text{forza ugrotomotrice generata dallo stato I}$$

$$A_{1,E} = \frac{1}{2} \frac{Z_f}{\pi} k_D i \quad \text{f.m.m generata dallo stato E}$$

Ora effetto una modifica fisica all'avvolgimento

↳ scifto l'avvolgimento esterno di un passo come (scifto di β avvolgimento esterno)

↳ accorciamento di passo

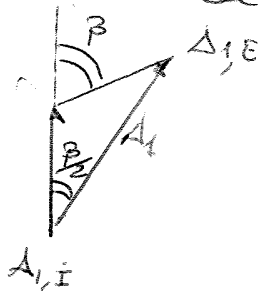


● E
 ○ I

Se scifto ci saranno cose totalmente occupate e cose parzialmente occupate (distribuzione non uniforme)

↳ introduce coefficiente di accorciamento

$$A_1 = 2 A_{1,EI} \cos \frac{\beta}{2}$$



se indico con n_R numero di passi come

$$A_1 = 2 A_{1(E,I)} \cos n_R \frac{\beta}{2}$$

$$K_r = \cos n_R \frac{\beta}{2} \quad \text{coefficiente di accorciamento}$$

Quindi $A_1 = \frac{Z_f}{\pi} i k_D K_r$ e quindi deve $K_r \cdot k_D = k_a$

de sera il coefficiente d'avvolgimento generalmente $k_a < 1$

Ma perché dobbiamo accorciare il passo?
 e perché dovremo accorciare l'avvolgimento?

↳ perché ciò produce effetto benefico nella distribuzione di campo magnetico nel traferro (ovvero meno distorsione)

A.

Qui si abbiamo visto di una bobina o un sistema di bobine distribuito su più cose però una f.m.m

$$\hat{A} = \frac{k_e z_f i}{\pi} \quad \text{dove il termine} \quad \frac{k_e z_f}{\pi} = N'$$

de N' è il numero equivalente di spire dell'avvolgimento
 z_f è il numero di conduttori stadi

$$\hat{A} = N' i \quad \text{Trascuriamo le grandezze di ordine superiore}$$

$$\left. \begin{aligned} A_1(\alpha, t) &= N' \cos \alpha \cdot i_1(t) \\ A_2(\alpha, t) &= N' \cos(\alpha - \frac{2}{3}\pi) i_2(t) \\ A_3(\alpha, t) &= N' \cos(\alpha - \frac{4}{3}\pi) i_3(t) \end{aligned} \right\} \text{in un macchine trifase}$$

nel caso la terza sia simmetrica le correnti saranno:

$$i_1(t) = \hat{I} \sin \omega t$$

$$i_2(t) = \hat{I} \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi)$$

$$i_3(t) = \hat{I} \sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi)$$

la somma delle 3 f.m.m. cui da le risultate

altro verso PROVA FERRESI:

$$\cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)]$$

ricavo de:

$$\begin{aligned} \hat{A}_{risul}(\alpha, t) &= \frac{N' \hat{I}}{2} \left[\sin(\alpha + \omega t) + \sin(\alpha - \omega t) + \right. \\ &+ \sin(\alpha - \frac{2\pi}{3} + \omega t - \frac{2\pi}{3}) + \sin(\alpha - \omega t) + \\ &\left. + \sin(\alpha - \frac{4\pi}{3} + \omega t - \frac{4\pi}{3}) + \sin(\alpha - \omega t) \right] \end{aligned}$$

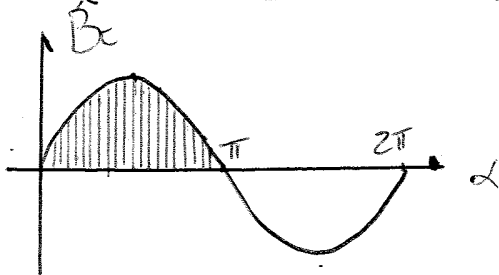
E' possibile fare una trattazione analitica del problema e introdurre una costante che tende a ridurre $H_c B$

K_c coefficiente di CARTER funzione di (α_c, l_c) .
 naturalmente $K_c = 1$ se $\alpha \rightarrow 0$

$$\hat{B}_t \text{ sarà } \Rightarrow \hat{B}_t = \frac{3}{2} \mu_0 \frac{K_c Z_t}{\pi} \frac{1}{K_c l_t} \hat{I}$$

in prima approssimazione si può trascurare le perdite di tensione sul ferro.

Definisco quindi il flusso di induzione partendo da interesse il Trasfero



$$\hat{\phi}_t = \int_0^{\pi} \hat{B}_t \sin \alpha L_c R_t d\alpha$$

↓
 rapporto medio del Trasfero



risultando l'integrale ottengo

$$\hat{\phi}_t = 2 \hat{B}_t L_c R_t$$

quindi l'equazione magnetica mi dà:

$$\hat{\phi}_t = \frac{3}{2} N^2 \hat{I} \underbrace{2 L_c R_t \frac{\mu_0}{K_c l_t}}_{\frac{1}{R_0} \text{ permeabilità}} \Rightarrow A = R \phi$$

\hat{A} ris }
 ↳ riluttanza Trasfero

A parte equazioni scalari posso dire un significato vettoriale → alle 3 correnti i_1, i_2, i_3 associo un unico vettore spaziale \hat{I} che ruota con ω .

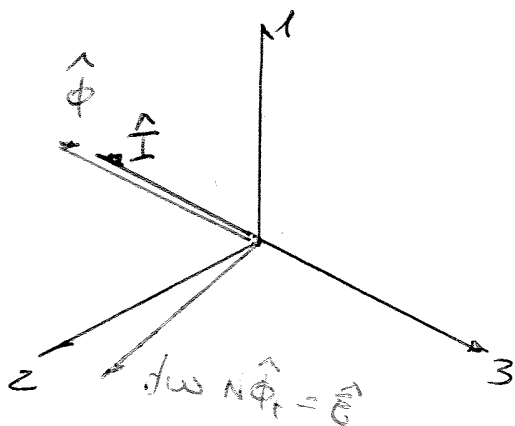
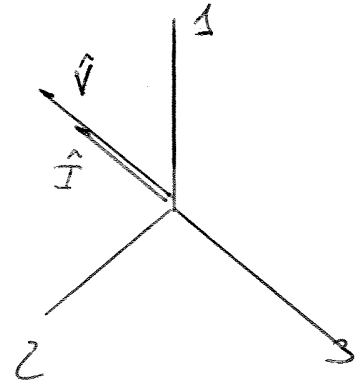
Tale \hat{I} è un vettore rotante

che \hat{V} e un vettore di fase con \perp quindi in generale possono essere scritte come $\hat{V} = R_s \hat{I} + j\omega N \hat{\Phi}_t$

Supponiamo che non ci siano flussi dispersi nelle macchine

↳ c'è solo il flusso Φ_t allora possiamo scrivere

$$\hat{V} = R_s \hat{I} + j\omega N \hat{\Phi}_t$$



\hat{I} è in ritardo rispetto ad \hat{E}

↳ ciò è tipico nella induttanza in corrente alternata e la convenzione degli utilizzatori

$N = \frac{z_f}{2} k_e$ diverso da $N' = \frac{k_e z_f}{\pi}$

Quindi avendo $\hat{V} = R_s \hat{I} + j\omega N \hat{\Phi}_t$

$$\hat{E} = j\omega N \hat{\Phi}_t = j\omega \underbrace{\frac{z_f k_e}{2}}_N \underbrace{\frac{2 R_t L_e \mu_0}{k_e l \tau}}_{1/R_t} \frac{3}{2} \underbrace{\frac{z_f k_e}{\pi}}_{N'} \hat{I}$$

il termine

$\frac{3}{2} \frac{N \cdot N'}{R_t} = L_w$ induttanza di magnetizzazione delle macchine a campo rotante

$$\hat{E} = j\omega L_w \hat{I}$$

scritto in termini di \hat{I} in funzione di tale risultato

DISTINZIONE TRA MACCHINA ASINCRONA e macchina sincrona

↳ la differenza sta nel utilizzo pratico

ES. un disco che ruota (gira) in un campo magnetico e sede di correnti che dissipa calore a spese dell'energia cinetica.

Le correnti costituiscono la frenatura elettrica

↳ Tale esempio visto al controtro e il funzionamento della macchina ASINCRONA (disco che ruota per una eccitazione del magnetico) se al posto del disco ho un ingente pernovente ottengo il principio di funzionamento della macchina SINCRONA.

MACCHINA ASINCRONA o macchina a INDUZIONE

sono molto diffuse

↳ meno ingombranti delle macchine in corrente continua e parità di potenza/coppia

↳ sono semplici da costruire

↳ costano poco

↳ non richiedono contatti striscianti (non c'è il problema dell'usura delle spazzole)

↳ sono più robuste delle macchine a c.c.

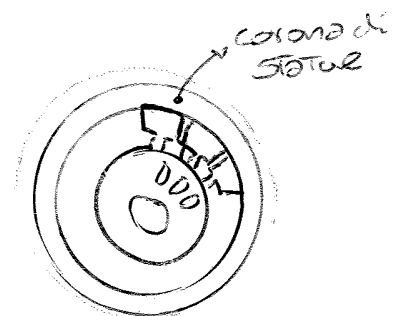
Tale macchina è costituita da ROTORE + STATORE che sono articolati tra loro

Lo statore è costituito dalla corona di statore.

Esso è fissato sulla colonna dello statore tipicamente scaldato

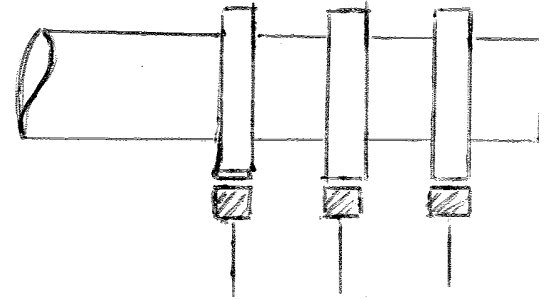
Per il rotore tipicamente scaldato viene per

sottoposto a torquatura per creare attrito tra statore e rotore.



l'aggiungimento di l'ascia aperto quando non
 fosse corrente se non provvedo a dividerlo

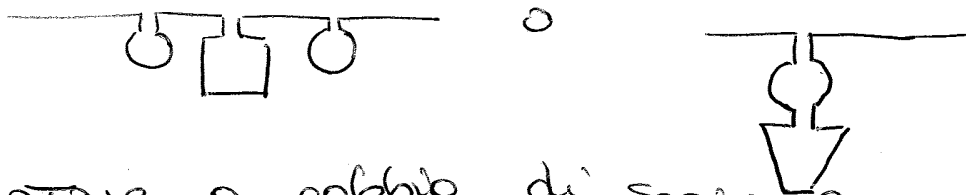
Tali avvolgimenti sono
 condotti sulle macchine
 attraverso contatti striscianti
 di 3 terminali delle
 3 bobine



Tale tecnica utile per trasformare en. meccanica
 in en. elettrica. de passo tramite la spole.

Un motore asincrono ruota a velocità pari alle
 velocità del campo rotante

Si hanno gabbie doppie o triple o gabbie
 profonde



nel motore a gabbie di scarrolo
 in ogni asta delle gabbie circola una
 corrente diversa → ha lo stesso modulo
 → sfasate del passo di corsa

Nelle trattazione ipotizzo che l'addensamento di
 rotore e statore sia simile

Esistono motori asincroni con numeri diversi
 di coppie polari

↳ la scelta delle coppie polari determina la
 velocità di rotazione del campo rotante
 e parità di frequenza di alimentazione

↳ più aumento il numero delle coppie polari
 più diminuisce la velocità di rotazione del
 campo rotante e quindi diminuisce anche la
 velocità di rotazione del rotore.