

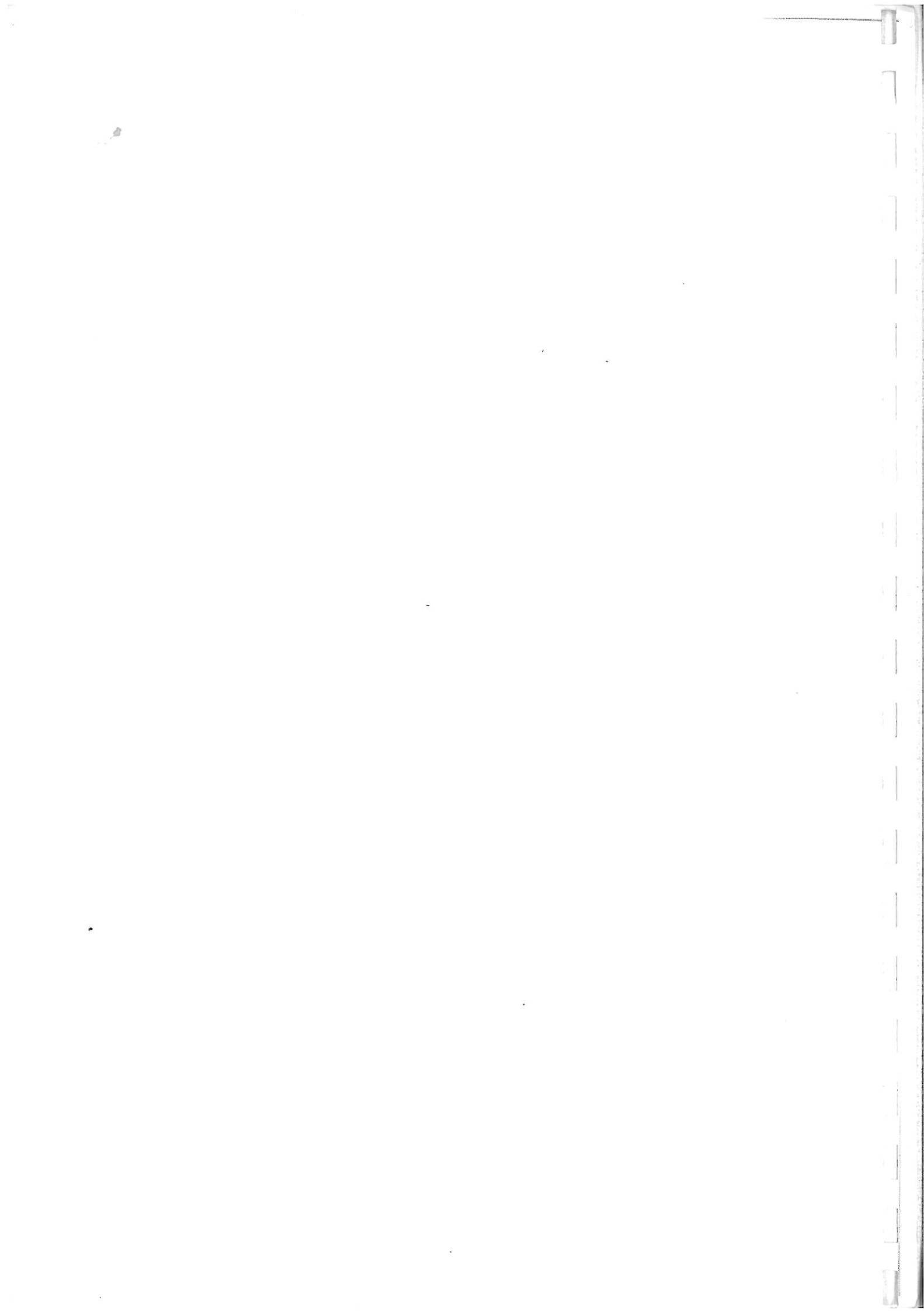
06/07/2004

PROF. PESAVENTO

appunti delle lezioni di

MISURE e COLLAUDO

APPUNTI STUDENTI



MISURE E COLLAUDO

Pd 4-10-99

- Le dimensioni di tutto ciò che sorge da una macchina (isolatori, ecc) dipendono dal livello della tensione ad impulso e non dalla tensione nominale della macchina.
- Le prove devono essere:
 - RIPE TIBILI
 - RIPRODUCIBILI (con analoghi risultati tratti da un altro in un diverso luogo)
- E' importante la simulazione delle CONDIZIONI DI ESERCIZIO, ma queste non sono considerate con lo schema elettrico, per questo si devono ottenerne determinate soluzioni per verificare l'aspetto termico, dell'ambiente esterno, delle sovratensioni, della prevenzione di incendi.

N.B. Ricordare sempre che non è detto che le tolleranze siano simmetriche

Es: condensatore da 1pF $\pm 5\%$ - 0%

- Prove e collaudi necessitano di:

- apparecchiature tarata \rightarrow RIFERIBILITÀ: una certa misura è riportata ai campioni dell'Istituto Metrologico Italiano
- procedure

Multimetri: $\rightarrow 1,1$: trova il valore medio e lo moltiplica per 1,1,
(AC)
 \rightarrow TRUE RMS: dà il vero valore efficace con qualsiasi tipo di onde

Pd 6-10-99

TA \rightarrow secondarie di solito a 5A

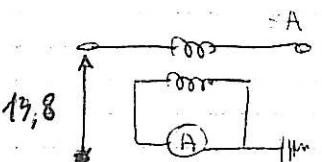
TV \rightarrow " " a 100V; oltre 130KV vanno collegati tra fase e terra, cioè vanno usati per $\approx 70\text{KV}$ e non 130KV, altrimenti se connessi alla corrente si bruciano

PRESTAZIONE: carico che si può applicare al secondario, [VA]

N.B. I vecchi TV dovevano essere connessi a carichi maggiori degli odierni (2VA) avevano elevate c.d.t. e per questo il costruttore doveva la tensione per agiustare il problema. Per cui se usati con strumenti moderni si riduca di lavorare in condizioni sfavorevoli vista che le c.d.t. sono inferiori

- Il TA può essere usato anche per isolare
 - Es: una linea a 5A a 13,8 KV è pericolosa, per questo mi islo con un TA a 26KV.

Può essere sovraccaricato al 120%. solo per brevi periodi



perché può tenere elettricamente ma forse non meccanicamente.

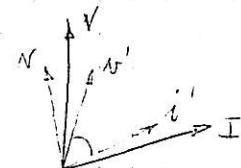
Il TV può funzionare con escursioni $80-120\%$.

Per corri DC si usa lo SHUNT ma questo però non dà separazione galvanica



Per ottenere la potenza dalla combinazione delle letture di TA e TV si deve introdurre l'ERRORE D'ANGOLI [centiradiane]:

$$\text{La grossa per coridi a basso cos}\varphi \quad E = E \operatorname{tg} \varphi$$

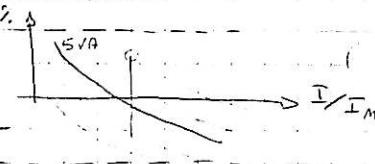


Va considerato anche l'ERRORE DI RAPPORTO, il quale con l'errore d'angolo dipende dalla costruzione del TA o TV.

Il costruttore garantisce che l'errore sia contenuto in una fascia funzione di prestazione, corrente e tensione.

Dalla taratura si ottiene una tabella per la correzione dell'errore (di natura sistematica). La norma richiede taratura a prestazione nominale e ad un quarto, ma comunque perciò solo per ciò che serve.

La taratura deve essere ripetuta \approx ogni 5 anni.



SALA PROVE

Industriale a 50Hz, 60Hz

Non conviene avere contratti elevati di potenza se ne usa poco, al massimo quando serve più potenza si pagano delle penali! Si possono anche ridisegnare un gruppo elettrogeno.

Per tensioni (potenze) basse si usa il VARIAC

MA: ha come punto debole lo

spacco altamente

resistivo per limitatore

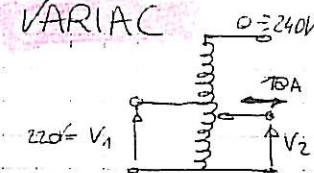
Se I_{ac} tra 2 spire, quindi

non si può raggiungere lo pot. di

corso con basse tensioni per limitazioni

fisiche delle correnti

Ha una regolazione a gradini davanti alle spire.

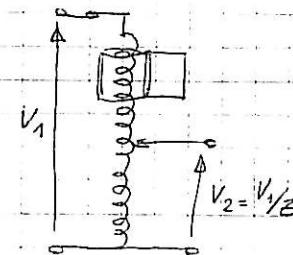


Per grandi potenze

Dato che il variac non va bene: una bobina in corteo fa sì che non ci sia c.d.t. (a meno di quelle dovute al disperso).

Alimentando a V_1 sposterò la

bobina ottengo vari valori di V_2 in modo continuo.



• Altre soluzioni

- mi apro un alternatore e mi svuoto sulle reti, regolando la velocità ho le varie frequenze.

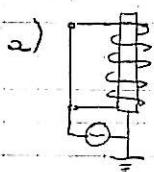
E' conveniente (necessario) avere la DC, mediante accumulatori o sistemi di raddrizzamento.

- ↳ La variazione di tensione la si ottiene variando l'alternata in ingresso al raddrizzatore con poco disturbo.

Pd, M-10-99

- Per prove su macchine con accoppiamenti magnetici:

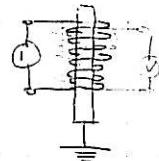
- ↳ Verifica della presenza con spire in corto circuito



sapendo che il nucleo è messo a terra se metto in tensione i morsetti de le spire siano isolate e meno non è possibile dirlo perché manca l'accoppiamento magnetico, infatti con nucleo a terra non c'è flusso

- b) Si effettua la prova con tensione indotta:

$$E = 4,44 f N B S$$



si vede che la tensione indotta dipende dalla frequenza della V applicata

- ↳ applico una tensione a $f > 50\text{Hz}$ su una coppia di morsetti e verifico che ci sia la rispettiva tensione in uscita

$$\begin{aligned} \text{f doppia} &\Rightarrow 2E \\ \text{f triplice} &\Rightarrow 3E \end{aligned}$$

Ma: non si sale troppo con le f ($\approx 300\text{Hz}$ come via di mezzo)

- In macchine di elevata potenza a $\cos\phi < 0,1$ gli errori d'angolo del Wattmetro e del TV incidono pesantemente perché le pot. in gioco sono elevate.

Errore: sistematico e risolvibile sulla carta con
adeguate correzioni.

L'incertezza: errore statistico, casuale e non è
correggibile tramite teoria.

Se le prove brevi posso sperimentare al limite l'
approssimazione (transistori termici dei canali, ecc.).

Con presenza di armoniche (carichi non lineari)
si deve stare attenti alla cancellazione delle
armoniche perché può essere controproducente
per la misura di flussi di vario ordine
che creano problemi.

→ N.B. Si deve stare attenti alle HP fatte
per il modello che si utilizza e
controllare che tengano o meno conto
della non linearità del carico.

Spesso manca l'HP di potenza
^(POTENZA) infinita o elevata della rete
di alimentazione (regolatore).

→ fornisce onde distorte che
comportano problemi di riproducibilità
delle prove effettuate.

→ N.B. È importante avere un'alimentazione
rifusa per contenere le distorsioni
provocate dalle cadute (presenti sul regolatore).

Per analisi di più canali è conveniente usare
un MULTIPLEXER per evitare registratori a
50 canali.

→ Con transitori più veloci è però necessario affidarsi
alle elevate velocità di funzionamento dei
registratori multicanale.

OSCILLOPERTURBOMETRI: registratori a nastro
magnetico continuo per acquisire transitori
casuali (fleccini, ecc.).

OSCILLOSCOPI:

ANALOGICI: vantaggioso è il fatto che si vede tutto
quello che accade e non si perde niente.

I DIGITALI perdono tutto quello che c'è tra un campione e l'altro, quindi sono validi solo se hanno una f_c di campionamento compatibile con la frequenza del fenomeno.

Shannon

→ ALIASING: tramite il teo di Shannon si dovrebbe riuscire a costruire il segnale; ma se le f_c elevate e campiona con $f_c <$ perde informazioni indispensabili per riprodurre il segnale reale.

→ E' indispensabile poter risalire alla > componente armonica con:

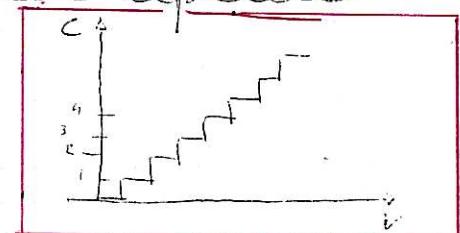
- elevazione della f_c di campionamento
- presentazione all'oscilloscopio di una forma d'onda filtrata priva di f_c troppo elevate (in ingresso), cercando di eliminare solo il rumore (tagliare ad una f_c che come minimo sia la metà di quella di campionamento - "f_c limite di Nyquist")

Caratteristiche sistemi DIGITALI:

- Risoluzione [bit]: l'input può essere rappresentato su 2ⁿ livelli

↳ il fondo scala dovrebbe scattare sul gradino e qui vuol s.

L'incertezza dovrebbe solo metà del gradino
buone: 10 bit



↳ Non è l'incertezza perché serve anche anche in convertitore con un $< 1/10000$ su 10 bit
⇒ È il limite a cui può tendere l'incertezza.

Si deve tenere conto della non idealità: i gradini hanno varie lunghezze

- se differenze regolari \Rightarrow sistema testo lineare
- se differenze \neq \Rightarrow codice & linearità differenziale



La lin. INTEGRALE è statica

La lin. DIFFERENZIALE è legato alla derivata della tensione (dinamica, !)



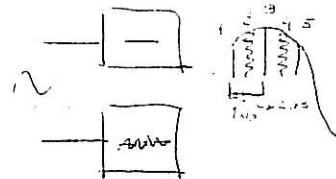
↳ Non andare a vedere solo la risoluzione

- Profondità di memoria [byte]

Tecniche di conversione:

- FLASH: in parallelo

PING PONG : un segnale entra in 2 convertitori in H (alternati) spazati di poco



- Interfacce

- ↳ IEEE 488 → schede PC e cavo particolare (16 fili seg.)
- ↳ VXI → costa meno, alimentazione unica e bus per schede standard

L'hardware è codificato.

Pd, 12-10-99

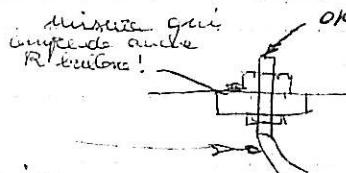
• MISURE DI RESISTENZA

↳ Sono anche se : (Stima delle perdite)

- effetto polle
- campi elettromagnetici producono perdite addizionali che si trovano dalla differenza $P - RI^2$

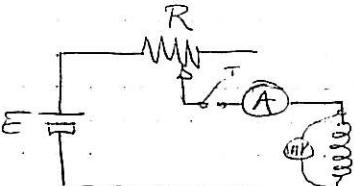
• R PICCOLA : macchine grandi, basse tensioni, fortemente induttive

↳ Per evitare di misurare anche R del bobina devo andare a valle



Per misura : generatore di tensione continua, 1 resistore

C'è dip. della temperatura dell'avvolgimento, quindi va misurata, anche nello stesso riferimento.



La misura sarebbe più precisa con correnti elevate ma non si può fare troppo per non falsare la misura col riscaldamento dell'avvolgimento.

↳ Buon valore: $I < \frac{I_m}{10}$ → se assumo che Δt corrisponde alle perdite

$$20^\circ \rightarrow 75^\circ C \Rightarrow \frac{55}{100} = 0,55^\circ C$$

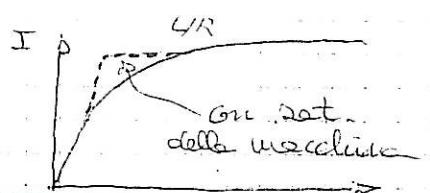
Dal coeff. 4% / °C qui sbaglierei del 2% che è accettabile.

• Per scoprire la temperatura a cui si è portato l'avvolgimento in funzione:

1) per evitare procedura invasiva che è pericolosa si misura la R staccando la macchina. Conoscendo R a temp. ambiente vedo il salto Δt che esiste.

↳ N.B. E' una temperatura media quella trovata e non si sa cosa sta succedendo dentro (magari va a fuoco).

Chiudendo il circuito di misura con I solo con $T = L/R$ dove R stabilizza la crescita evitando oscillazioni indesiderate.



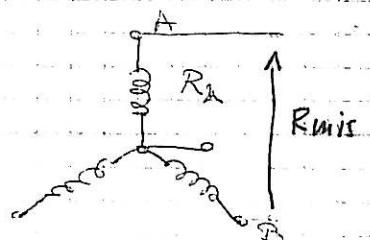
↳ Durante il transit. il V va tenuto staccato perché

$$V = RI + L \frac{di}{dt}$$

e la V che cade nell'avvolg. è piccola a regime, ma all'inizio RI manca e tutto lo V cade sul (avv) e facendo inserzione o disinserzione si creano ΔV elevate.

E' possibile aprire l'interruttore "scasso" così che l'arco si mantiene e lì venga dissipata l'energia.

• In trifase R_Δ :



Non va fatta la misura sul neutro nell'ipotesi di alim. simmetrica perché questo non è percorso da corrente normalmente quindi occorre R in più che non c'entra.

$$R_{m_3} = 2R_\Delta - \text{se le } 3R \text{ sono diverse} \Rightarrow R_{m_3} \text{ tra A e B della media}$$

• R_Δ :

$$\begin{aligned} P_J &= 3R_\Delta I^2 \\ &= \frac{3}{2} R_m I^2 = \frac{3}{2} R_m \cdot I^2 \end{aligned}$$



$$P_J = 3R_\Delta \left(\frac{I}{R_\Delta}\right)^2 = \frac{3}{2} R_m I^2$$

Si fanno misure sui terminali e prende la media

$$\Rightarrow R_{m_3} = \frac{2}{3} R_\Delta$$

Materiale diversi per isolamento permettono temp. diverse:

$t_2 = 75^\circ C$ (media) per carta e olio.

$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ per temp. più elevate

Così per riportare da R_0 a t_1 ad una R_2 a t_2 :

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{R_0 (1 + \alpha t_2)}{R_0 (1 + \alpha t_1)} = \frac{\frac{1}{\lambda} x + t_2}{\frac{1}{\lambda} x + t_1} = \frac{V_K + t_{\text{MISURA}}}{V_K + t_{\text{AERATO}}}$$

con $\frac{1}{\lambda} = 235 \text{ Cu}$ e 225 AC

N.B. Se si usano alimentatori questi devono essere previsti per circuiti induttivi e devono consentire il passaggio di energia.

RENDIMENTI (MISURA DI)

$$\eta = \frac{P_u}{P_i} = f(\text{caricate a carico})$$



Le incertezze sono quelle relative a 2 misure di potenza (ad es. $\varepsilon = (1,2 \div 1,5)\%$)

Le misure per via diretta sono scuse per
- macchine piccole
- macchine con $\eta < 75\%$.

Ma non vanno bene per macchine grosse, quindi:

$$\eta = \frac{P_u - P}{P_i} = 1 - \frac{P_{\text{perdite}}}{P_i} \quad \begin{matrix} \text{perdite} \\ \text{MISURA} \\ \text{INDIRETTA} \end{matrix}$$

questo è metodo di misura del complemento del η , cioè il 1,2%. Così anche se faccio misure sbagliate del 5% sul complemento non ho un errore importante per il η complessivo.

es: $\eta = \frac{P_u}{P_i} = \frac{990}{1000}$ Se misuro le perdite $P = 10 \pm 1$
 $\rightarrow \eta = 990 \rightarrow 989 \text{ o } 991$

Tutto questo perché le garanzie sono sulle perdite e non sul η .

GRANDEZZE NOMINALI

Negli impianti (linee) anche se $V < V_m$ va bene, altrimenti è meglio.

Nelle macchine invece dove essere $V = V_m$ per sfruttare il dimensionamento.

es: $V_m = 400 \text{ V}$ di motore, se lo uso a $V = 380 \text{ V}$ ho 10% in meno di coppia.

$P_m \times \text{trasf}$ è relativa a V_m , ma questo non lo ottengo mai realmente perché i 400 V del II sono a vuoto, e carico $V < 400 \text{ V} \Rightarrow \text{Pot} < P_m$.

$$\begin{aligned} P_N &= V_m I_N && \text{MONO} \\ P_N &= \sqrt{3} V_N I_N && \text{TRI} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{dovono essere} \\ \text{dati di targa} \end{array} \right.$$

es: $P_N = 1000 \text{ KVA}$

$V_{N_1} = 20000 \pm 2 \times 2,5 \%$ — prese addizionali

$V_{m_2} = 400 \text{ V}$

$$I_{m_1} = \frac{P_N}{\sqrt{3} V_N} = 28,86$$

$Z_{ac} = 10\% \quad i_a = 0,8\% \text{ (corr. a vuoto)}$

$\rho_a = 0,12\% \text{ (pot. a vuoto)} \quad \rho_a = 0,14\% \text{ (pot. di cc)}$

Le perdite sono riportate alla presa centrale, nelle altre varieranno col quadrato di I_a .

Riferite al voltaggio nominale, per V_a e i_a è lo stesso che sia V_m o I_m del I o del II, dipende solo da dove si alimenta.

Normalizzazioni:

$P_N \rightarrow \text{Perdite}$

$V_N \rightarrow V$

$I_m \rightarrow I$

$Z_m \rightarrow R, X, Z$

$$Z_m \triangleq \frac{V_m}{\sqrt{3} I_m} = \frac{V_m}{\sqrt{3} \cdot \frac{P}{\rho_a}} = \frac{V_m^2}{\sqrt{3} P} = Z_m$$

es: $P_{ac} = 0,14\%$

$$P = 3 R I_m^2$$

$P_{ac1} \approx 0,12\%$

$$\frac{P}{P_N} = \frac{3 R I_m^2}{3 Z_m I_m^2} = \frac{R}{Z_m} \Rightarrow P = E$$

$P_{ac2} \approx 0,2\%$

$$R = 0,2 \cdot \frac{400}{100} = 0,8 \Omega$$

$$R_2 = 0,2 \cdot \frac{160 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,3 \mu\Omega$$

$$Z_a = Z_{ee}$$

$$P \rightarrow Z \Rightarrow V_Z \quad V \rightarrow X \rightarrow V_X$$

L'impedenza che ho

PD, 13-10-99

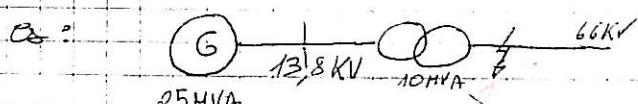
$$Z = P_o, V_o \Rightarrow Z_m = \frac{V_o^2}{P_o} \leftarrow \text{Imp. normalizzata al pot. netto}$$

$$\underline{Z_m} \underline{P_m} \underline{V_m} \Rightarrow Z_m = \frac{V_m^2}{P_m} \leftarrow \text{Imp di base che oggi ha i valori base.}$$

$$Z_0 = \frac{Z}{Z_m} = Z \cdot \frac{P_o}{V_o^2} \quad \frac{Z_m}{Z_0} = \left(\frac{P_m}{P_o} \right) \left(\frac{V_o}{V_m} \right)^2 \quad Z_{\text{norm}} = Z_{\text{realtico}} \cdot \frac{P_m}{P_o} \cdot \frac{V_o}{V_m}$$

$$Z_m = \frac{Z}{Z_m} = Z \cdot \frac{P_m}{V_m^2} \quad Z_m = Z_0 \cdot \left(\frac{P_m}{P_o} \right) \left(\frac{V_o}{V_m} \right)^2 \leftarrow \begin{array}{l} \text{scelgendo } V_0 \text{ appropriata} \\ (V_o = V_m) \text{ l'imp. è} \\ \text{normalizzata sulle} \\ \text{pot.} \end{array}$$

VEDI PAOLUCCI p. 132



$$x'' = 10\% = 0,1 \quad x = 10\% \quad V_b = 13,8 \text{ kV}$$

Se c'è un c.tor c.tor al terminale II del trasf. per analisi in P.u.:

$$\text{A) } V = 1 \quad \text{B) } V = 1 \quad x_{ee} = 0,1 \quad x_{tr} = 0,1 \cdot \frac{25}{10} = 2,5 \quad x_{trasf} = 0,1 \cdot \frac{10}{10} = 1 \quad I_{\text{sc}} = \frac{P_m}{\sqrt{3} V_m} \cdot i = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 66 \cdot 10^3} \cdot 2,86 = 625 \text{ A}$$

TRANSFORMATORE

$$H_P : P_B = 2,5 \text{ MVA}$$

$$x_{tr} = 0,1 \cdot 2,5 \Rightarrow I_a = \frac{1}{0,35} = 2,86 = \frac{1}{x_{trasf}}$$

B) II

$$H_P : P_B = 20 \text{ MVA} \quad V_b = 66 \text{ kV}$$

$$1 = \frac{1}{0,14} = 7,14 \quad I_{\text{sc}} = \frac{10 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 66 \cdot 10^3} = 8747 \cdot 7,14 = 625 \text{ A}$$

Il risultato è lo stesso.

Reattivo Subtransformatore

$$\text{Qui con } P_B = 10 \text{ MVA di base} = P_B; \quad x_{gen}'' = 0,1 \cdot \frac{10}{25} = 0,04$$

$x_{trasf} = 0,1$ perché riferite alla P_B !

• TRASFORMATORI

p. 55 ZINGALES

↳ riducendo i giaglii \rightarrow risparmio Fe \rightarrow meno perdite e dimensioni ridotte

MA: gli sforzi elettrodinamici tendono ad aprire il spazio e se riduci troppo le dim. restano che si rompa tutto

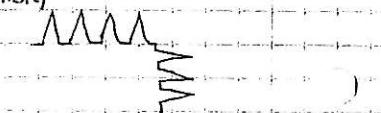
↳ tramite resine speciali si vincolano gli avvallamenti pietrificandoli ma questo è realizzabile solo per la distribuzione.

I giaglii possono essere: · piatti  · obliqui 

· step Leg: 7 tagli con angolazione diversa \rightarrow traferro uniformemente diffuso \rightarrow rumore abbattuto
(si abbatta il rumore)

Cassa e onde: · trasf. stagni

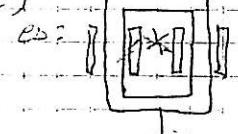
· elasticità che permette dilatazione dell'olio



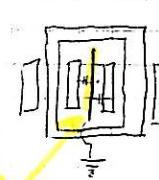
SPECIALE:

È importante specialmente per assicurare l'isolamento galvanico e tenere in sicurezza il II e chi ci è collegato (magari in ambienti pericolosi)

↳ deve essere dotato di controllo dell'isolamento per permettere la continuità di servizio



· ridurre al max il trasf. di corrente (avvolg. separati da schermi eletrostatici)



• TRASF. ELETTRONICI: see nucleo toroidale
↳ buono, bassi flussi dispersi

Specifiche:

V_{1m}

P_m

V_{2m}

$P_o \rightarrow$ fise

$X_a \rightarrow Z_{ac}$

$P_{ac} \rightarrow$ ohm del acciaio

gruppo

↳ $1/1$ proliferativo:

- elevata sensibilità a cali monofasi \rightarrow componenti omopolarie
- periodos per cat. o. cat. f-m che deve essere eliminato in fretta (magnet)

SPAGNOLO TBA

Primo e Secondario

↳ Dy 5 o 11

raffreddamento (ONAN, ONAF)

polarità se monofase (sott. e fse)

marchio CE (UE) (no. CEI)

Directive:

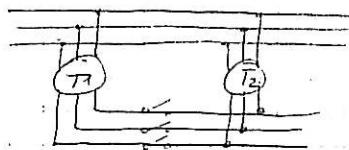
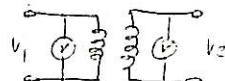
- macchine
- compatibilità elettromagnetica
- bassa tensione

} impengano la sicurezza

Prove:

- di routine
- di tipo
- speciali

- A. misure di resistenza anche su tutte le prese
• 56 B. rapporto di trasformazione $A = V_1/V_2$



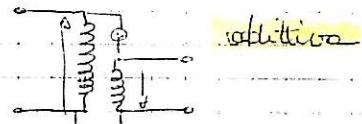
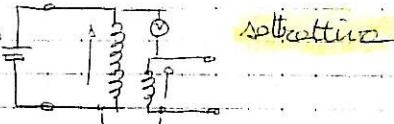
dove deve essere ben definito per evitare problemi di parallelo \rightarrow i di indicazione con incertezza del 1%, quindi serve strumentazione molto spinta e ridurre piccoli sfasamenti con potentiometri.

$$i = \frac{\Delta U}{2Z_{ac}} = \frac{0,01}{0,08} = 12,5i$$

- C. misura delle polarità a vuoto

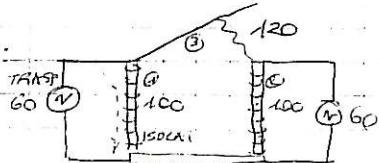
- D. Per le polarità:

Lo qui se indicatore
va sotto a 0
 α tende a
 $\Delta x \Rightarrow$ pd. additiva



E' importante per giocare sull'isolamento.

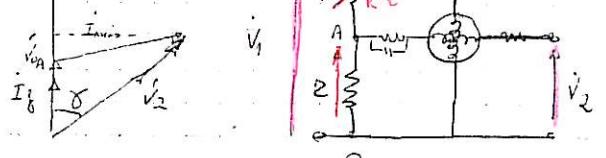
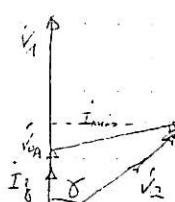
Se il trasf. 2 è in opp. di fase all'1
non c'è d.d.p. tra i 2 e non
scarica il (3)



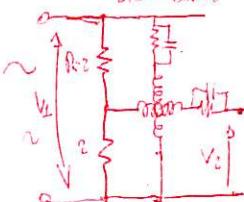
- E. Metodo a proiezioni \rightarrow misura del gruppo / rapporto

$$V_{OA} = \frac{V_1 \cdot \varepsilon}{R}$$

Lo strumento va a 0
o quando $I_m = 0$ o
quando V_{OA} e I_m sono
in quadratura



Pg 58
CIRCUITI BINARI



$$\Rightarrow V_{OA} = V_2 \cos \gamma \Rightarrow \frac{|V_1|}{|V_2 \cos \gamma|} = \frac{R}{\varepsilon} \quad \text{fornito dall' indicatore}$$

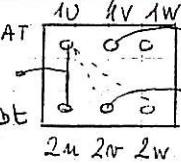
$\frac{A}{\cos \gamma}$ conoscendo il rapporto tra γ
e quindi il gruppo

Qui i gruppi:

R/E	0	-1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$2A$	∞	$-2A$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$-A$	$-\frac{2}{\sqrt{3}}A$	$-2A$	∞	$2A$	$\frac{2}{\sqrt{3}}A$	A	

Se non conosco né il rapporto né il gruppo devo fare misure ciclando e lasciando fermo il riferimento.

Ho 3 letture, 1 delle quali è ∞ , comunque stanno in un certo rapporto, individuando a quale sequenza appartengono le 3 letture di gruppo con incertezza di qualche %.



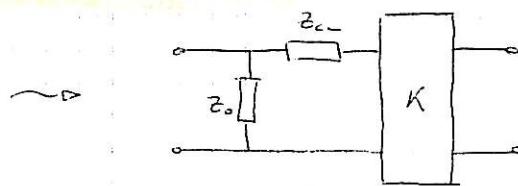
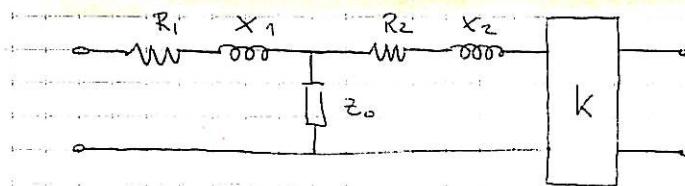
- Letto 10 2m, prendo 1V 2v
- Ciclo 10 2n, prendo 1V 2w
- Ciclo 10 2w, prendo 1V 2m

IMPORTANTE

(DOMANDA D'ESAME)

• PROVA A VUOTO E CORTOCIRCUITO

Lunedì, 18-10-99



IMPERDIBILE SE COMPARATO
TRASMESSO AL PRIMARIO

Vanno determinati:

- fattore di rapporto
- perdite di c.t.o c.t.o e a vuoto \rightarrow calcolare η

• PROVA A VUOTO

Per mettersi nelle condizioni più vicine a quelle nominali la macchina viene alimentata alla tensione nominale.

La ditta che interessa ovvero il flusso nominale si può alimentare sia in bt che in AT indipendentemente.

N.B. Di solito le perdite di un trasformatore sono così ripartite:

• $1/3 \text{ o } 1/4$ come P_{Fe} (P_{Fe})

• Il resto sono perdite negli andamenti (P_{cu}) $\rightarrow 3/4$

$$\text{es.: } S_m = 630 \text{ kVA} \quad V_m = 20000 / 400 \text{ V}$$



$$P_{Fe} = 1 \div 0,57 \quad \rightarrow \text{con tolleranza del } 15\%.$$

$$I_o = 2 \div 0,57 \quad \rightarrow I_o \approx 30 \text{ A}$$

$$U_{1m} = 20000 \text{ V} \quad \rightarrow \text{TV}$$

$$U_{2m} = 400 \text{ V}$$

$$I_{1m} = \frac{S_m}{\sqrt{3} U_{1m}} = 18,2 \text{ A}$$

$$I_{2m} = 903 \text{ A} \rightarrow \bar{I} \text{ A}$$

$$I_o \approx 0,4 \text{ A}$$

$$I_o \approx 15 \text{ A}$$

PRIMARIO

SECONDARIO

$$\vec{V} = \vec{E} - \vec{V}_3$$

$$\text{Se } P_0 \approx 0,5\% \approx 3 \text{ KW} \quad i_0 \approx 1,5\% \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{i_0} = \frac{0,5}{1,5} = 0,3$$

Dai dati si vede che:

- alimentando il primario servono dei trasf. di misura TV e un generatore a 20 KV

- alimentando il secondario ha correnti più elevate e quindi serve TA, ma questi sono più economici di quelli per alte tensioni, anche il generatore è più economico.

N.B. all'aumentare della potenza dell'ascelina

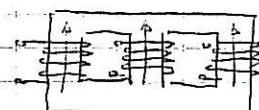
- P_0 e i_0 diminuiscono
- η aumenta

Alimentato lato basso (in questo caso):

N.B. dato che nel funzionamento normale il trasf. è alimentato a Δ e non ci sono i ϕ di 3^a armonica. La prova qui va fatta senza collegare il neutro per non avere ϕ di 3^a armonica.

- le correnti assorbite dall'ascelina non sono sinusoidali a causa della non linearità del circuito magnetico.

Se il circuito è a flussi vincolati \rightarrow le correnti sono diverse e non equilibrate.



Si servono 3 amperometri che misurano il vero valore efficace (dato I_0) con sinusoidalità delle correnti $\rightarrow I_0$ è la media delle 3.

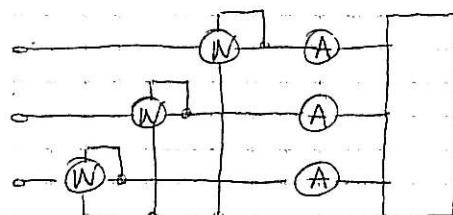
Il circuito di misura può essere:

- ARON \rightarrow non va bene per W a basso $\cos \varphi$ perché uno dei 2 W segna negativo così e quindi è sensibile al complementare dell'angolo.

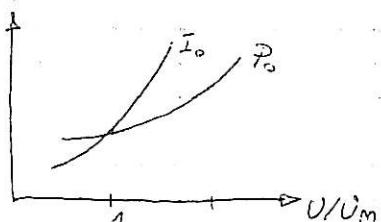
- 3 WATTMETRI \rightarrow per misure a basso $\cos \varphi$ (sistemi dissimmetrici) con strumenti per basso $\cos \varphi$ e squilibrati sovaccaricabili.

Usa il metodo dei 3 W :

faccio più prove sui punti diversi $50 \pm 110\%$ U_m per interpolare i dati



Nel caso di circuito lineare posso ricavare le peralte a U_m facendo un rapporto



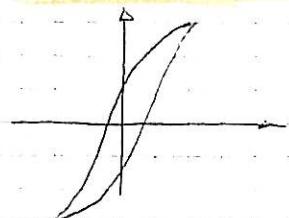
$$\text{es: } U_p = 335 \text{ V} \rightarrow P_i$$

$$\begin{aligned} m_o &= 0,27 \\ m_p &= 0,42 \\ m_i &= 0,27 \end{aligned}$$

$$U_m = 100 \text{ V} \rightarrow P_m = P_i \cdot \frac{U_m^2}{U_1^2}$$

Io press è la media delle 3 correnti

Se ALIMENTAZIONE SINUSOIDALE:



$$P_o = P_i + P_{cp}$$

0,7 0,3 ← λamierini laminati a caldo

0,5 0,5 ← λamierini laminati a freddo

$$P_s = P_i + P_c = a P_s + b P_s \quad \text{con } a+b=1 \quad P_c = (1,11 U_m)^2$$

Se ALIMENTAZIONE NON SINUSOIDALE:

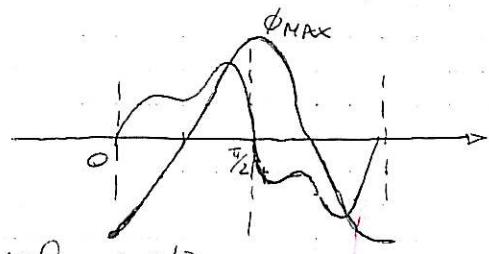
$$P_{cp} = \sum P_{cpm} = \sum \omega_m^2 B_m^2 \equiv U^2 \leftarrow \text{serve } \textcircled{V} \text{ a valore efficace}$$

P_i dipendono da B_{MAX} . $\rightarrow \phi_{MAX}$ e f:

$$v = \frac{d\phi}{dt} \rightarrow \phi = \int v dt$$

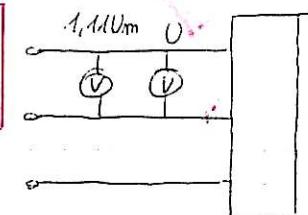
$$2\phi_{MAX} = \int_0^{T/2} v dt \rightarrow \phi_{MAX} = U_m = 1,11 U_m$$

↑ serve \textcircled{V} a valore medio



Devo avere 2 \textcircled{V} : a valore efficace e a valore medio (raddrizzato) per vedere se l'alimentazione è sinusoidale

↳ Se non c'è e le 2 letture sono diverse il valore rappresentativo è quello a valore medio raddrizzato!



Misuro le perdite e lo P_m (riferte al valore medio):

$$P_m = P_i + P_{cp} \quad (\text{misurate})$$

$$P_{cp} = \frac{P_{cp(\text{sin})}}{(1,11 U_m)^2} U^2 \Rightarrow P_m = P_i + P_{cp} \frac{U^2}{(1,11 U_m)^2} = a P_s + b P_s K^2$$

quindi anche se la misura non è fatta a tensione sinusoidale posso trovare lo stesso le perdite in regime sinusoidale!

$$P_s = \frac{P_m}{a+bK^2} \quad \text{chiamo } d = \frac{1,11 U_m - U}{1,11 U_m} = 1 - K$$

$$P_s = \frac{P_m}{a+b(1-d)^2} \approx \frac{P_m}{a+b(1-2d)} = \frac{P_m}{a+b-2bd} \approx \frac{P_m}{1-2bd} = \frac{P_m}{1-d} \approx P_m(1+d)$$

se $a+b=1$ con $b=0,5$

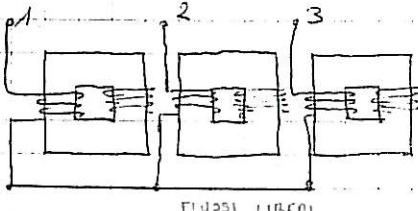
La correzione si può fare se:

→ dalla tensione
licava l'aumento del ϕ

- $d < 3\%$,

- contenuto armonico $\leq 5\%$.

Cs: Caso in cui non si può fare la correzione:



- anche se la tensione è sinusoidale nel ϕ c'è 3^a armonica
- non posso risalire agli andamenti del flusso a partire dalla tensione

N.B. In generale comunque si può fare la compensazione ogni volta che uno degli innalzamenti è collegato a Δ perché circola corrente che compresa la 3^a armonica e il flusso ritorna sinusoidale.

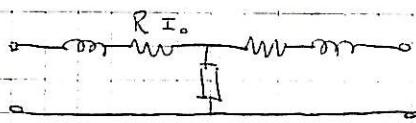
Poiché la corrente di inserzione $I_i \approx 10 I_n$ è tanto maggiore quanto più vado vicino al ginocchio per evitare che il costruttore faccia il punto di funzionamento sul ginocchio vicino a garanzia anche la corrente a 1,1 Vm, cioè fauto in modo che il costruttore mi garantisca anche questo corrente.

Si deve abbiassare il punto di funzionamento delle meccaniche, così limita la I_i . → Vedi "Polleni misura Po" e pag.

N.B. Nelle prove a vuoto non serve fare il riporto delle misure alla temperatura, basta solo segnare nelle prove. Questo perché le correnti in gioco sono picchissime e quindi si ha pressoché costante che comporta perdite costanti.

Pol, 19-10-99

Per le perdite a vuoto è buona norma registrare
a temp. ambiente, ma non serve fare alcun riporto.

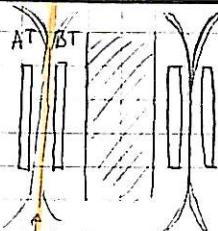


$$P_m = P_0 + R_I^2$$

per trasf. è così piccola
che non viene
tenuta in conto

PROVA IN CORTOCIRCUITO

MISURE DI Z_{cc} : p. 63

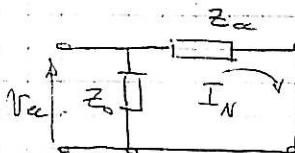


\hookrightarrow si calcola sul
flusso disperso

è una impedenza
lineare \Rightarrow posso fare la prova con i impianti
e poi riportare tutto a im.

ϕ disperso: la maggior parte è tra
i 2 ambienti.

$$\text{N.B. } I_{cc} = (10 \div 30) I_m$$



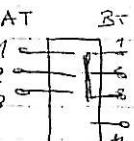
Z_{cc} non è lineare \rightarrow 3-4 volte più grande di Z_{ac} quindi
non interessa la misura (è legata solo a ϕ di magnetizzazione)

Per problemi di alimentazione in genere si fa:

- alimentazione lato AT
- corteo lato BT

\hookrightarrow interessa l'imp. alle seg. dirette quindi
con Dyn 11 il corteo si fa sui 3 morsetti di
fase non prendendo il neutro per evitare
correnti anomopari.

Le correnti nominali circolanti possono essere
importanti \rightarrow uso sbarre per il corteo
con connessioni fatte bene (ben strette) per
limitare le perdite.



Parametri:

- δ_{cc} $\approx 4\%$ (distribuzione)
- $\approx 6\%$ (a secco perché gli em. AT-BT sono più distanti)
- $\approx 10 - 12\%$ (altri casi grandi)

\hookrightarrow maggiore è, minore risulta δ_{cc} (i_m) nel corteo

$$\text{dati: } S_{n1} = 630 \text{ KVA}$$

$$V_{1m} = 20000 \text{ V}$$

$$V_{2m} = 400 \text{ V}$$

Dyn 11

$$I_{1m} = 18,2 \text{ A}$$

$$I_{2m} = 310 \text{ A}$$

$$\delta_{cc} = 4\%$$

$$V_{cc} = 800 \text{ V} \quad I_{cc} = 18,2 \text{ A}$$

$$\eta = 98\%$$

$$\delta_{cc} = 1,5\%$$

\hookrightarrow 27% perdite

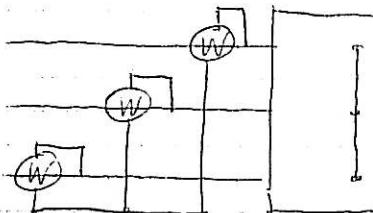
$$\frac{1}{4} Fe \quad \frac{3}{4} Cu = 1,5 \frac{1}{4} Fe$$

Per scegliere il W si deve considerare il corso

$$\cos \varphi_{\text{cor}} = \frac{P_{\text{cor}}}{V_{\text{cor}}} = \frac{1,5}{4} \approx 0,375 \quad (\text{basso})$$

Schemi:
(3 Wattmetri)

↳ Alimentato Bato AT



Misura: P_{cu} → NB qui va considerato lo temp.

gli provo e va riportato perché influenza sulla resistività del rame

↳ x riproducibilità

↳ indicazione perdite in cond. metalliche

La misura si fa col uno $t_1 < t_m$ → riporto le misure a t_m .

↳ $t_{\text{rif}} = 75^\circ\text{C}$ x macchina in olio

Le altre t_{rif} sono date dalla norme x le classi di isolamento

• P_{cu} → perdite del rame dovute alla resistenza
= perdite addizionali

quindi $P_{\text{cu},\text{es}} = 3RI_m^2 < P_{\text{cu}}(\text{totali})$

↳ $P_{\text{cu}} = P_S + P_{\text{add}}$ → cuori prop. alle resistenze quindi $(10 \div 35\%)$ per fare il riporto vanno separate da P_S

⇒ va fatto generalmente la misura di res. per dare una stima di P_S . ↳ $R_{\text{AT}} + R_{\text{BT}}$

• Purche $I_{\text{PROVA}} > 50\% I_{\text{IN}}$ la prova di c.c. può essere fatta con corrente minore di quella I_{IN} e quindi tensione di alim. minore

$$P_{\text{cu}} = P_{\text{in}} \left(\frac{I_m}{I_1} \right)^2 \quad \text{con } P_{\text{in}}(I_1)$$

Perdite nel rame

Riporto delle res:

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1)$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2)$$

$$\Rightarrow R_2 = R_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} = R_1 \frac{(1/2 + t_2)}{1/2 + t_1} \quad \begin{matrix} \xrightarrow{\text{t. > 71°C ECF}} \\ \xrightarrow{\text{t. > 115°C IP 11}} \end{matrix}$$

$1/d$ dettato dalle norme → 235°C
(è valore medio) → 225°C

Misura di resistenza dell'avvolgimento:

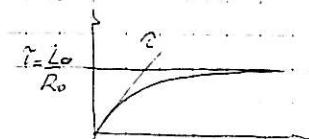
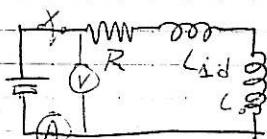
(I) $I_p = 10\% I_m \rightarrow P_p = 1\% P_m \rightarrow t_p = 1\% t_1 \approx t_{ambiente}$
PRIMARIO

$P_{tot} = Z_{sat} + Z_{rest}$ e suppongo $Z_{sat} = Z_{rest}$

qui avei con $I_m = 182A \rightarrow I_p = 10\% I_m$

$Z_m = \frac{V_m^2}{S_m} \approx 650 \Omega \rightarrow Z_{sat} \approx 0,75 \Omega \leftarrow \text{metà di } P_{tot}$

Quindi si deve usare un \textcircled{V} qui e non un \textcircled{mV} .



$L = L_0 + L_{1d}$

Per la stima di L :

$$Z_0 = \frac{1}{i_0} \quad Z_0 \approx \frac{\omega L_0}{X_0} \text{ trascurando le perdite}$$

$$\tau = \frac{L_0}{R_{AT}} = \frac{1}{\omega i_0 Z_0} = \frac{1}{314 \cdot 10^{-2} \cdot 0,75 \cdot 10^{-2}} = 42 \text{ s}$$

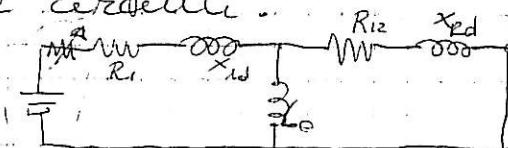
100 di secondi sono circa 1 centinaia di secondi.

Per ridurre il tempo di misura conviene inserire un reostato che aumenta la R e diminuisca τ .

\rightarrow Quando i è stabilizzata si connette il \textcircled{V}

Il circuito deve essere stabile per evitare $di \frac{d\theta}{dt}$, quindi l'insersione del reostato (elettromeccanico o in varo) può modificare la costante di tempo.

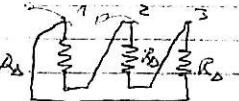
N.B. Il \textcircled{I} va lasciato aperto anche se decavo di chiudere per la misura di Z_0 , globalmente perché qui entrano in gioco le costanti di tempo dei due circuiti.



E' importante vedere come è fatto l'alimentatore perché può essere tenute controllate, ecc. e può influenzare sulla bontà della misura (problemi di stabilità).

$$R_{m12} = R_{12} / (R_{23} + R_{31})$$

COL. TRIANGOLO



$$P_{JAT} = 3 R_\Delta I_m^2 = R_\Delta I_m^2 \Rightarrow R_{m12} = R_\Delta 2 R_\Delta = \frac{2}{3} R_\Delta$$

$$\Rightarrow P_{JAT} = \frac{3}{2} R_m I_m^2$$

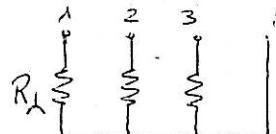
ottenuto dalla misura di R_{m12} . (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})

II. COL. A STELLA

SECONDARIO

$$\varepsilon_{bt} = 0,75\%$$

$$Z_{2m} = \frac{U_{2m}^2}{S_m} = \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 250 \text{ m}\Omega$$



$$I_P = 20 \text{ A}$$

$$\Rightarrow R_{bt} \approx 2 \text{ m}\Omega$$

$R I_P = 400 \text{ mV}$ → serve un mV e con questi valori posso usare metodi volt - amperometrici.

$$R_m = 2 R_\lambda$$

$$P_{SBT} = 3 R_\lambda I_m^2 = \frac{3}{2} R_m I_m^2$$

lo stesso per la Δ .

Metodo operativo:

Misura a t_1 : R_{BT} , R_{AT} , t_1

↳ misura P_{cu} t_2 dove $P_{cu} = P_J + P_{add}$
V.I.P.

$$= 1,5 R_m I_m^2 + P_{add} \quad |_{t_2}$$

$$P_{add} = P_{cu} - P_J$$

$$P_{cu} = P_J \cdot K + \frac{P_{add}}{K} \quad \text{con } K = \frac{235 + \varrho_t}{235 + t_2}$$

Esiste una prova a freq. diverse che permette di non considerare P_{add}

↳ MA: non è conveniente

N.B. trasformatori sono disponibili a perdite normali o ridotte, a differenza del costo ($> <$)

↳ Ma è conveniente avere perdite ridotte per esercizio ottimo e prezzo.

es: Provare un trasformatore: $I_{1N} = 72,2 \text{ A}$ $I_{2m} = 3640 \text{ A}$ (CEI 14/13)

$$S_m = 2500 \text{ KVA}$$

Dym 11

$$U_{1N} = 20000 \text{ V} \pm 2\% \quad U_{2m} = 400 \text{ V}$$

$$\begin{cases} P_0 = 3800 \text{ W} & (\text{perdite norm}) \\ P_{cu} = 26500 \text{ W} & (\text{corta linea}) \end{cases}$$

Tabella classi termodinamiche: (da norma)

A $\theta = 80^\circ \text{C}$

$$\theta = 75^\circ \text{C} \quad \Delta \alpha = 6\%$$

E 95°C

$$\begin{cases} P_0 = 3040 \text{ W} & (\text{perdite ridotte}) \\ P_{cu} = 21000 \text{ W} \end{cases}$$

B 100°C

$$\Delta \alpha = 6\%$$

F 120°C

$$\Delta \alpha = 0,5\%$$

H 145°C

ECO
COSA
SI
DEVE
FARE

Sceglio di fare B. prove sul trasf. a perdite ridotte.

• Prove (base) di accettazione - (su presa centrale)

① misure res. ombaggiamenti

② rapporti $\frac{P_0}{S_m} < 1/200$ rapporto di targa

③ verifica del gruppo $\frac{P_{cu}}{S_m} < 1/10$ V.c.

④ misura perdite a vuoto

⑤ misura perdite di c.c.

⑥ -

⑦ nuovo η e caduta tensione

$$\text{Ricerca valori in p.u.: } P_0 = 0,12\% \quad P_{cu} = 0,86\%$$

$$\Delta \alpha = 6\% \quad i_0 = 0,5\% \quad \text{dati dati}$$

① Mis. resistenze:

Hip: P_{cu} metà su alto e metà su basso anche se dovrebbero essere $>$ su basso perdite è la parte più sofflata.

$$Z_{AT} = 0,427$$

$$Z_{1m} = \frac{U_{1m}^2}{S_m} = 160 \Omega$$

$$R_{AT} = 0,67 \Omega$$

$$\rightarrow R_{m_{AT}} \approx 1,3 \Omega \quad (\text{de misurare})$$

La corrente di prova dovrebbe essere $\approx 10 \text{ A} (< 10\% I_{1m})$

\Rightarrow Serve un V con f.s. di 10-20V

$$Z_{BT} = 0,427$$

$$Z_{2m} = 64 \Omega$$

$$R_{BT} = 0,27 \Omega$$

$$\rightarrow R_{m_{BT}} = 0,54 \Omega$$

Serve una corrente di prova $\approx 30-40$ A per ottenere valori di tensione validi per il V .

\hookrightarrow Infatti con $I_{\text{mis}} = 40$ A $\Rightarrow V_m = 20 \text{ mV}$

Q) $U = 400 \text{ V}$ $(80 \div 120\%, U_m)$

Per fare le prove si può usare un gen. sincrono:

A) $150 \text{ kVA} \quad \cos \varphi = 0,8 \quad U = 0 \div 600 \text{ V}$

o regolazione (di tensione) od induzione: (mot-as. che lavora a rotore)

B) $U = 200 \div 600 \text{ V} \quad I = 20 \div 30 \text{ A}$

bloccato ("come un trasf.")

Pot. apparente necessarie è legata alle i_o (impedenze):

$$S = 0,5\% \cdot S_m = 12,5 \text{ kVA} \Rightarrow S/S_m = 10$$

$$I_o = 0,5\% \cdot I_{2m} = 18 \text{ A} \quad \text{con aliment. Rotor Bassa}$$

(è il valore medio sulle 3 fasi)

N.B. Si deve prestare attenzione alla non linearità del nucleo: con $M = 10\%$ la corrente potrebbe addoppiare

$$P_o = 3040 \text{ W} \quad \cos \varphi_o = \frac{P_o}{I_o} = 0,24 \quad \frac{0,12}{0,5\%}$$

Strumentazione: usando A, 3 A del tipo 1 Q, 1 A.

M) portate: 15/30/60/150/300/600

notifica $R_i \approx 2 \text{ M}\Omega \parallel 13 \text{ pF} \rightarrow$ voltmetrodeale e volle e non calcola più i consumi (R_i è elevata)

incertezza: 0,15% lett + 0,1% portata

fatt. cresta punta d'onda $\left(\frac{V_H}{V_{RMS}}\right) \approx 3$

port. 0,5/1/2/5/10/20 A \rightarrow s di I da misurare $\Rightarrow 3 \text{ TA}$

avvertenza $Z_{1m} \approx 6 \text{ m}\Omega + 0,1 \mu\text{H}$

incertezza nello potere: $0,25\% \text{ lett} + 0,1\% \text{ portata}$ ($\cos \varphi = 1$)

errore di fase: $0,25\% \text{ portata}$

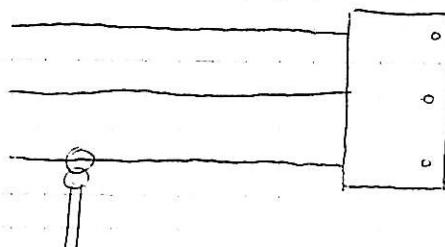
\hookrightarrow dice che $\text{v}\overset{\text{non}}{\sim}$ un V a basso $\cos \varphi$

Serve un TA (3): 10/5 o 20/5 o 50/5

\hookrightarrow classe 0,2 (errore $\leq 0,2\%$)

↳ Si deve tenere presente della prestazione:

E' un consumo $0,15 \text{ VA}$ \Rightarrow le prest. 5 VA 10 VA 50 VA
del trafo. vanno bene perché il consumo è $< 25\%$ prest. TA



↳ Ma anche i covetti hanno una prestazione
(es. 80 m^2 per $10 \text{ m} ; 2,5 \text{ m}^2$)

↳ Si deve stare dentro le prest.
del 25% - 100%.

⑤ Strumentazione per prove in c.to c.to

Corta realizzata con sbarre ben serrate per ridurre le perdite addizionali.

Alimentazione: $U = 1200 \text{ V}$ \rightarrow in realtà a tens. ridotta

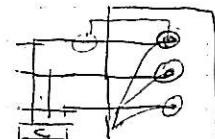
$$I = 72,2 \text{ A} \quad U_{\text{prova}} = 600 \text{ V} \quad I_p = 36 \text{ A}$$

$$N_{\text{cc.}} = P_{\text{cc.}} \Rightarrow S = 150 \text{ KVA} \quad \rightarrow S_p = 37,5 \text{ KVA}$$

$$\cos \varphi_{\text{cc.}} = \frac{P_{\text{cc.}}}{S_{\text{cc.}}} = 0,14 \quad \rightarrow \text{connessione trifase a 3 fili}$$

con 1 tira di fase sempre la canca!

La tensione dello voltmetro va presa sui morsetti (non c'è caduta sui covi perché con $R_i = \infty$ non c'è corrente).



Con alim. B ha $I_{\text{max}} = 30 \text{ A}$ ma mi servono $I_p = 36 \text{ A}$

↳ con $\cos \varphi = 0,14$ mi conviene riferire con un banco di condensatori in modo che dalla rete venga assorbita solo la pot. attiva

$$\text{Prate} = 5,25 \text{ kW} \quad I_{\alpha(\text{rete})} = 5 \text{ A}$$

es: misure

(RHG)	(RHG)	(medio)	P ₁ (W)	P ₂ (W) \Rightarrow P(W)
I (A)	U (V)			
1,24	374	385	396	-54 342
1,42	384	398	460	-90 370
1,68	400,8	413	542	-120 402
2,32	423,2	437	748	-280 468

• Prova ④:

$U_m = 398$ è quella più vicina al valore nominale (in questo caso)

$$P_o = P_{nm} (1 + d) \quad d = \frac{U_{nm} - U_m}{U_{nm}}$$

$$\text{dovrebbe essere } < 3\% \quad \rightarrow \quad \frac{398 - 384}{398} = 3,5\%$$

$$\Rightarrow P_o = 380 (1 + 3,5\%) = 383 \text{ W}$$

N.B. Qui la temperatura non è importante, ma conviene segnarsela

Le correzioni non le ho fatte perché uso strumentazione elettronica

E1

• Prova ⑤ sui trasformatore:

$$S_m = 315 \text{ KVA} \quad \text{Dym 11} \quad \cos \varphi_{ca} = 0,3$$

$$U_m = 11000/400 \quad v_a = 47 \quad i_o = 2\%$$

$$I_{1m} = 16,5 \text{ A} \quad I_{2m} = 455 \text{ A}$$

Misure:

$$t_{amb} = 20,5^\circ\text{C}$$

$$R_{m,AT} (\Omega) \quad R_{m,BT} (\Omega)$$

$$3,716$$

$$4,69$$

$$3,718$$

$$4,73$$

$$3,687$$

$$4,71$$

$$\text{Media: } \underline{3,717 \Omega} \quad \underline{4,71 \Omega}$$

A aliment. lato alto
con $\approx 12 \text{ A}$

Prova: $t_{amb} = 15^\circ\text{C}$ (3 ⑩, ⑪, ⑫)

$$I [\text{A}] \quad U [\text{V}] \quad P [\text{W}] \Rightarrow Z (\Omega) \quad P_{cu} = P(I^2 / r) \quad V_{ca}$$

$$11,9 \quad 300 \quad 1831 \quad 14,55 \rightarrow 3520 \text{ W} \quad 416 \text{ V}$$

$$10,1 \quad 253,1 \quad 1315 \quad 14,50 \rightarrow 3510 \text{ W}$$

Riporto: $P_{cu} = P_J + P_{odd}$

$$P_J = 1,5 R_m I_m^2$$

$$k_u = \frac{235 + 15}{235 + 20,5} = 0,9785$$

$$\Rightarrow P_{J_{AT}} = 1,5 R_m k \cdot I_m^2$$

$$= 1,5 \cdot 3,717 \cdot 0,9785 \cdot 16,5^2 = 1485 \text{ W}$$

$$P_{\text{par}} = \frac{P_{\text{par}}}{1485 + 1431} = 3520 \Rightarrow P_{\text{odd}} = \frac{3520 - (P_{\text{par}} + P_{\text{odd}})}{(t=15^\circ\text{C})}$$

Risposta: $K = \frac{235 + 75}{235 + 15} = 1,24$

$$\Rightarrow P_{\text{par}} = P_J K + P_{\text{odd}} = 3616 + 487 = 4103 \text{ W} \quad (t=75^\circ\text{C})$$

L'equazione in cui a $t=75^\circ\text{C}$ si noti che $E=30,5^{\text{mV}}$ e $I=10\text{A}$ valori noti misurati

Poi si deve scindere $\bar{z} = z(t) + jx$ e risposto z a $t=75^\circ\text{C}$ e ricalcolare $z(t=75^\circ\text{C})$

Problemi misure P_0 :

In, 25-10-99

In generale a causa delle non linearità del nucleo le prove dovrebbero fatti a V_M se proprio non ci si riesce si deve farlo e ricorrere poi ad interpolazione.

\hookrightarrow Il problema è principalmente sul lato inserzione perché (avendo vicino al giaciglio $\phi \approx 1,7$ Tolti che sono elevati) ci possono essere inconvenienti con la chiusura.

\hookrightarrow Così se chiude l'interruttore in inserzione grande $b=0 \Rightarrow$ integro mezzo semicirco e questo causa una saturazione in tronco del nucleo a $1,1V_m$



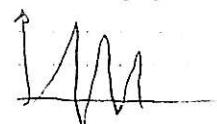
\hookrightarrow si passa da $I_s \approx (1 \div 3)i_i \approx 10 I_m$ limitata dalla sola resistenza.

Quindi:

- o chiude auton. quando $b = V_M$ e integro $1/4$
- o chiude in 2 tempi con R_{odd} per limitare la corrente di inserzione

\hookrightarrow anche gli sforzi elettrodin. sono notevoli

Si hanno anche oscillazioni che si smorzano lentamente.



Nascono anche armoniche peri che si hanno in genere con questi di rete.

\Rightarrow Si specifica che si resti nel 10% di $1,1V_m$ senza fare saltare il rete di max corrente.

Problema di riproducibilità e cause della distorsione di forma d'onda.

\hookrightarrow Uso Δ e correggo la potenza o una alimentazione più ist. possibile.

- La corrente è molto distorta, specialmente per AT dove ci sono grossi passanti nel trasformatore.
 - ↳ TVCS fosse un condensatore delle cui cause le perdite del trasf. e nei loro circuiti magari capacitive
 - ↳ potenza reattiva non trascurabile ($200 \div 300 \text{ pF}$ con tensione a vuoto).
- Si deve anche scegliere il tipo di alimentazione:
 - su BT si usi 4 fili, se usi 3 o 4?
 - ↳ Se usi 4 fili la III armonica è grande.
 - ↳ Se usi 3 fili è ridotta
 - ⇒ importante avere lo stesso ϕ .

• MISURE P.u.:

Le misure da fare sono:

- misure di R → perdite

= P_{cc} V, I lineare

Z_{cc} (a t mis) $\rightarrow X_{cc} \rightarrow c.d.t.$

P_f (Podd) (a t mis)

$L_r \times K_t$ $\frac{1}{2} K_t$ (perdente)



→ Il cond. massiccio investito da ϕ varia se si ha f.e.m. $\mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt}$, ma con var. temp. si ha variazione di corrente, quindi alle fine riporta il tutto (perdite) ad una temp. media di riferimento

→ Riporta Z_{cc} a t riferimento (il termine resistivo aumenta del 20%, anche se non importa tantissimo per macchine grosse dove il termine reattivo prevale).

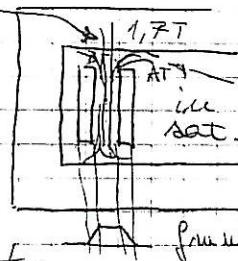
• In cond. t nominale: P_0, I_0 (è la media delle 3 perché corrente nel nucleo centrale (in 3) è minore)

N.B. (↳ Scendendo con I_0 (magnetizz.) si riduce il rumore)

Problemi misure Pcc: (misuristici)

↳ corso basso \rightarrow servono \textcircled{W} curati ($\cos\phi \leq 0,1$)

↳ non linearità del nucleo: con
nucleo
Basso



È vero. Alimentando la macchina con V_m (vac) sono quelle ($4 \div 10\%$) potrei avere mag. sat. $\frac{\mu}{\mu_0} = 1^2$ base al flusso. In un caso è saturo nell'altro (N_m) dispero.

che cosa? \rightarrow la grossa macchina c'è un rete di avvolg. di ϕ , induzione quindi l'andamento dei flussi è diverso. caso per caso.

↳ Per evitare che gioco un sia interessato da ϕ principale e far sentire meno le differenze tra V_m e vac \rightarrow sat e no, si usano pezzi di Cuierini (SHUNT MAGNETICI).

↳ si usano piastre perché piattine costano molto e inoltre se le metto // vedo ϕ diversi e sono percorse da i diverse.

N.B.: le 3 correnti in piastre parate sono uguali.

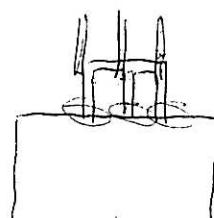
↳ vanno attaccagliate e messe trasposte \rightarrow immediatamente (occupa tutte le posizioni) tutte le piastre vedono lo stesso ϕ .

N.B. Macchine piccole ($< 50 \text{ MVA}$) questo non pesa, ma per quelle grandi ci può essere differenza tra prova con vac e V_m .

↳ le casse (usate anche come autoclave che tiene il voto) sono molto grosse in spessore e denevano forti per induzione.

↳ Si sottraggono con pacchetti di Cuierini isolati tra loro (vedi conversione).

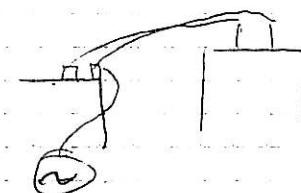
· Inoltre per fare il corto potrei avere 2-3000 A nel cassone per cui si rischia di prendere dentro anche le perdite del cassone grande fanno la misura.



↳ Metto un foglio di zame: secca olio ϕ e mi \rightarrow correnti \rightarrow ϕ che tende a scorrere il campo e tira fuori il flusso dal ferro sotto \times differente permeabilità!



Se gli strumenti su Gancio e trasf.
esistente rischio di prendere debito
anche perdite sui col.



↳ Ora che sei piccole per misure
veloci, tanto posso tirare,
me devo controllare se la prest.
influisce.

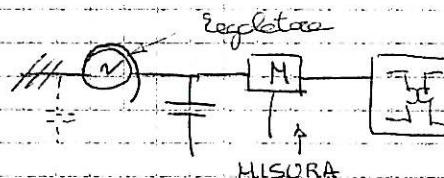
→ Da norma: $i \geq 1/2 I_m$ per la prova

Le prove di c.t. se voglio far girare le
macchine con V_{cc} e I_m serve un bel po'
di potenza.

↳ Con $1/2 I_m \rightarrow 1/4 S_m$, ma $\cos \varphi_{cc} < 0,1$
e quindi ho poca P e tanta Q ($> 90\% S$)
a causa dei flussi presenti

↳ Si può rifare per assorbire la sola P
dall'alimentazione.

↳ La misura va fatta
tra C e trasf così si
vede il sistema rifatto.



Mettendo $i = C$ monte del regolatore
scrivo anche quello, così assorbo poco Ma
serve un regolatore grosso (2-3 MVA).

N.B. Normalmente si accettano tolleranze del 15%. (TU CIANCINE)
perché le toll. sulle perdite non superino il 10%.

↳ toll. $P_o + P_{cc} < 15\%$, toll. $P_o + P_{cc} < 10\%$

L'ENEL sceglie i trasf in base a:

$$A + K_1 P_f \cdot T + K_2 P_{cc} \cdot T$$

costo acquisto costo manutenzione (con perdite a vettore K_1)

↳ costo & perdite carica < P_o perché legate
ad un zero, quindi percorrono tutto

→ il più conveniente è quello che minimizza
questo somma.

↳ Ci si basa su P_o e P_{cc} e m (calcolata
perché le tolleranze sono sulle perdite e non sul m)

$$m = \frac{P_{cc}}{P_o} = 1 - \frac{P}{P_o} \rightarrow \text{misurate}$$

$P_o \rightarrow$ fisso
 $P_{cc} \rightarrow = i^2 (\text{carica})$

$$\beta = \frac{I}{I_m}$$

⇒ In una gen. sezione dove circola I :

$$E_M = \delta - \frac{P_0 + \beta P_{ac}}{\beta \cos \varphi + P_0 + \beta^2 P_{ac}}$$

β	$1/2$	$1/2$	$3/4$	1
$\cos \varphi$	$0,5$	1	1	1
$0,8$	1	1	1	1

⇒ Si costruisce una tabella e si trova il β calcolato senza tolleranza perché dipende dalle perdite.

Passaggio nudo/carico:

Specielemente sui motori. L'angolazione di spunto è elevata e causa c.d.t. elevata.

Dalla formula di Kapp:

$$\Delta v = V_x \cos \varphi + V_x \sin \varphi + \frac{[V_x \cos \varphi - V_x \sin \varphi]^2}{200} + (-)$$

acciaio
materiale
stator
 $\frac{1}{4}$ p

Se voglio x_{ac} alto con $\cos \varphi = 1 \rightarrow \sin \varphi = 0$

↳ $\Delta v = V_x \cos \varphi +$ termine preceduto da $(x \cos \varphi)^2$ (Excel)

Riportando a I_m moltiplica tutto per β .

Misura dell'impedenza alla sequenza zero

HACC

RET. Serve conoscere le tensioni delle 3 sequenze che è rilevante per organi rotanti.

↳ Il motore in qualunque caso attacchi i fili non ha problemi, al massimo volto va in un senso e (dopo aver invertito 2 fili) e dopo in un altro.

↳ Quando ho un rif. elettrico ed uno meccanico ho un problema fisico.

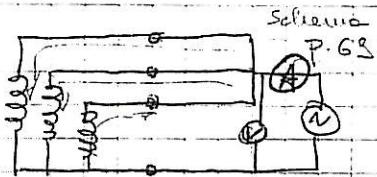
HACC. Ma in un trasf... anche se cambia ordine dei STATCHE 3 fili non ho problemi. Basta che non sia in // o associato ad un altro trasf.

↳ Va rispettato il senso relativo delle cose, cioè se cambia le fasi su un trasf deve farlo anche sugli altri.

↳ Le impedenze non cambiano: $Z_d = Z_i$

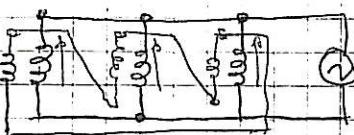
La Z_o che rappresenta delle C è considerata a 50 Hz perché le C vengono considerate esatti (anche se non sarebbe così).

Quindi a seconda del tipo di collegamento possono esserci 3 effetti diversi:



① Δ / Δ o $\Delta \Delta$

Le f.e.m. indotte sul Δ sono in fase e quindi agiscono nello stesso senso prendendo altrate i due terminali e dunque tutto \Rightarrow nel I è riclianato una i

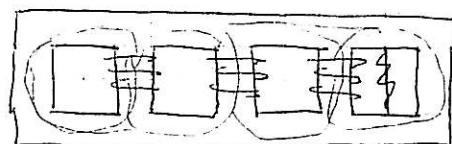


\hookrightarrow il phasor limita le cose, come nel caso del trasformatore in corto, ma non si compone e dà le perdite.

\hookrightarrow In questo caso si sa già che $Z_o = Z_{\text{cort}}$ del trasf in corto.

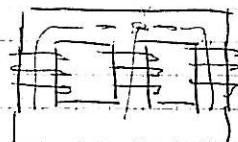
② Δ / Y E' come se il II fosse aperto

③ 5 colonne: è come una macchina a ruote



3 ph si chiudono all'interno del circuito magnetico $\Rightarrow Z_o = Z_0$

④ 3 colonne: i ph si trovano in fase sul giogo e si chiudono in aria (casuale)



\hookrightarrow Caso non prevedibile per risultato della misura.

\hookrightarrow Problemi:

- misura su BT (non n accessibile) \rightarrow i elevate e Z che è una via di mezzo tra Z_{oc} e Z_m \rightarrow quindi ha valori strani con misura difficile.

\hookrightarrow su m $I_m = 3I_m$ ma non è dim nemmeno per I_m

il circuito non è lineare

\rightarrow non posso fare misura con v molto alto

$\Rightarrow Z$ che trovo \approx metà tra Z_{oc} e Z_m (alto)

\hookrightarrow quindi si cerca di tenerseli almeno sullo medio perché Z_o elevata limita corrente di gesto.

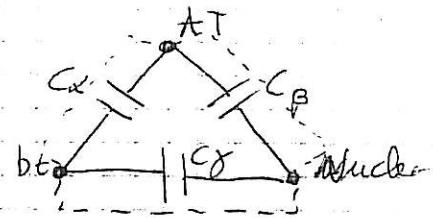
\hookrightarrow MA: ritardo l'apertura dell'interruttore che scatta sulla ca. termica e non magnetica.

Quindi evitare le λ o 3donne o bypass on in differenziale.

Nelle Δ/f non ha problemi.

Capacità tra avvolgimenti:

↳ una parte di i entrante può finire sul nucleo quindi le casse deve essere ben isolate.



Collego i terminali AT tra loro e BT tra loro.

Metto bt in contatto col nucleo e misurando con capaciometro → misuro C_1, C_2, C_3

$$C_1 = C_\alpha + C_\beta$$

(corta bt - N) NB Una sovratensione passa tramite le

$$C_2 = C_\alpha + C_\gamma$$

(corta N - AT) capacità con portatore

$$C_3 = C_\beta + C_\gamma$$

(corta AT - bt) capacitivo.

$$\sum_{i=1}^3 C_i = 2(C_\alpha + C_\beta + C_\gamma)$$

Per misurare le C usa un ponte Schering.

$$\Rightarrow \frac{\sum C_i}{2} = C_\alpha + C_\beta + C_\gamma = \text{cost.}$$

$$C_\alpha = \left(\frac{\sum C_i}{2} \right) - (C_\beta + C_\gamma)$$

$$\Rightarrow C_\alpha = \left(\frac{\sum C_i}{2} \right) - C_3$$

e identifica le cap.

$$C_\beta = \left(\frac{\sum C_i}{2} \right) - C_2$$

↳ Non trascurabili perché dipende dal tipo di macchina

$$C_\gamma = \left(\frac{\sum C_i}{2} \right) - C_1$$

Se su AT ha un transitorio rapido → si trasferisce sul nucleo e sulla bt → compare tra bt e nucleo con un rapporto che non entra al rapporto spire

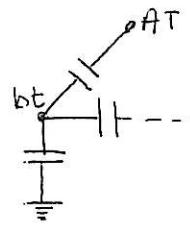
↳ Il transitorio veloce segue l'accoppiamento capacitivo e non lo via magnetico trasmettendo 80 - 100 %.



↳ Si cerca di annullare C_α inserendo una schermatura elettrostatica messo a terra (anneriamo con isolamento per non fare spira in corto).

2 Si mette un condensatore sulla bt che
vincile la tensione

E' un aspetto che va considerato.
Legato ad un trasferimento di modo
comune: quando tutte e 3 le fasi
vedono una tensione.

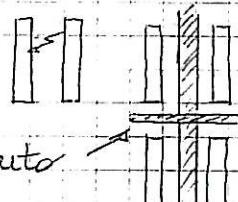


26-10-99

TRASFORMATORI A 3 AVVOLGIMENTI

Nei piccoli trasformatori si preferisce garantire la
sicurezza a scapito dei parametri elettrici.

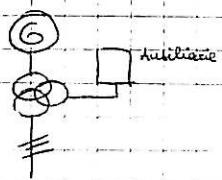
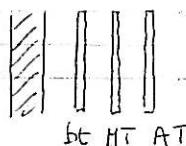
Per questo si possono montare gli
avvolgimenti separati l'uno dall'altro
per evitare guasti come il cortocircuito
tra i 2 avvolgimenti.



Le macchine a 3 avvolgimenti sono
generalmente macchine da
centrale che connettono il
generatore e le macchine ausiliarie

Si hanno 3 tensioni nominali:

es:	V_1	V_2	V_3	
	50	10	10	KV
	20	20	6	MVA



La potenza entrante è spartita tra gli avvolgimenti.

Generalmente sono macchine sofisticate

Il primario ha obbligato un regolatore sotto carico
per non scaricare la macchina. Inoltre mi garantisce
un'induzione nel nucleo che quindi lavora
sempre ai valori nominali nelle condizioni
migliori.

Una prova su questo si fa a 10KV con TA e TV.

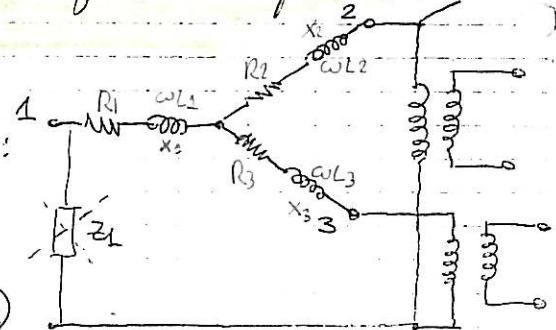
Essendo macchine grosse e l'indice del nucleo sarà
abbastanza elevato.

Per arrivare alle caratteristiche si fanno 3 prove
di corso circuito binario. \rightarrow 1 alimentato, 2 a vuoto, 3 non c'è; ecc

Con metà della I_m nel primario sto già
sovaccaricando il III (di 1,5), quindi si realizza
a pieno carico il III e ad $1/3$ il 1° e 2° (che sono
uguali).

Si deve vedere i dati percentuali di targe rispetto a die valori di base vengono definiti (20 o 6 KV).

↳ Scegliendo 20 KV le perdite vengono in % più basse ma in realtà non è così.



- Prova di cortocircuito binario: separazione delle reattanze e delle resistenze dei singoli avvolgimenti

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{Z}_{12} = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 = R_{12} + X_{12} = (R_1 + R_2) + (X_1 + X_2) \\ \hat{Z}_{13} = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_3 = (R_1 + R_3) + (X_1 + X_3) \\ \hat{Z}_{23} = \hat{Z}_2 + \hat{Z}_3 = (R_2 + R_3) + (X_2 + X_3) \end{array} \right.$$

dove i valori ricavati dalle misure sono:

$$R_{12}, R_{13}, R_{23} \text{ e } X_{12}, X_{13}, X_{23}$$

$$\sum_i \frac{x_i}{2} = X_1 + X_2 + X_3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = \frac{\sum x_i}{2} - X_{23} \\ X_2 = \frac{\sum x_i}{2} - X_{13} \\ X_3 = \frac{\sum x_i}{2} - X_{12} \end{array} \right.$$

analogo per le resistenze le soluzioni hanno la stessa struttura.

↳ N.B. Così le perdite addizionali nel 2° con 1° e 3° alim. sono attribuite al 1° e 3°!!

- Tra le 3 reattanze solitamente ce n'è una negativa; mancano accoppiamenti capacitivi.

↳ MA: il modello è perfettamente equivalente ai morsetti, ma nella realtà è associato alle reattanze un flusso che non è completo. Inoltre questo flusso gira sulla cassa. \Rightarrow Introduci R_{az} alle utilese P_{dd} nel 2° al avvolgim. 2°!!

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{12} = R_{1j} + R_{2j} + R_{a1} + R_{az} \xrightarrow{\text{perdite Joule e}} \text{resistenze relative alle} \\ R_{13} = R_{1j} + R_{3j} + R_{a1} + R_{a3} (+ R'_{az}) \xrightarrow{\text{addizionali degli}} \text{avvolgimenti 1° e 2°} \\ R_{23} = R_{2j} + R_{3j} + R_{a2} + R_{az} \xrightarrow{\text{Nel II. metad}} \end{array} \right.$$

↳ Da misure di resistenza

Le Joule si ricavano da misure di resistenza ed anche quelle addizionali.

↳ Le perdite addizionali di solito non sono quelle che uno si aspetta \Rightarrow si faranno considerazioni sulla struttura della macchina.

Dalle X_{ij} ricava le X_1, X_2, X_3 :

$$X_1 = 12,68 - 3,087 = 9,59$$

$$X_2 = 12,68 - 12,99 = -0,309$$

$$X_3 = 12,68 - 9,285 = 3,39$$

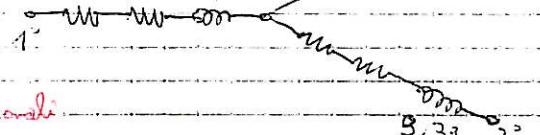
Vediamo come trovare P_f , P_g e P_a :

perdite $\int I^2 \rightarrow 0,203\%$

riferite alla P_g $\int I^2 \rightarrow 0,199\%$

$\int I^2 \rightarrow 0,606\%$

^{Joule} riferito a 20 MVA su 40,6 KW



3,39 3°

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,515 = 0,203 + 0,199 + Z_{a_1} + Z_{a_2} \\ 1,155 = 0,203 + 0,606 + Z_{a_1} + Z_{a_3} \\ 0,944 = 0,199 + 0,606 + Z_{a_2} + Z_{a_3} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 0,113 = Z_{a_1} + Z_{a_2} \\ 0,346 = Z_{a_1} + Z_{a_3} \\ 0,139 = Z_{a_2} + Z_{a_3} \end{array} \right.$$

Altra impostazione: 2 sistemi diversi con gli stessi termini noti

$$Z_{a_1} + Z_{a_2} = 0,113 \quad Z_{a_1} = 0,299 - 0,139 = 0,160$$

$$0,346 = Z_{a_1} + Z_{a_3} + R'_{a_2} \Rightarrow Z_{a_2} = 0,299 - 0,346 = -0,047$$

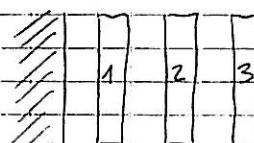
$$0,139 = Z_{a_2} + Z_{a_3} \quad Z_{a_3} = 0,299 - 0,113 = 0,186$$

Risolvendo il sistema sostituendo $R'_{a_2} = 3 Z_{a_2}$ [con cerchio +5%]

$$Z_{a_2} = 0,346 - 0,113 - 0,139 = 0,094$$

$$Z_{a_3} = 0,139 - 0,094 = 0,045$$

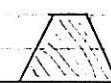
$$Z_{a_1} = 0,113 - 0,094 = 0,019$$



$$R_{13} = R_{1g} + R_{3g} + R_{1a} + R_{3a} + R_{a2} \quad \text{cost. f.m.m. (1-3 mmcc)}$$

Il sistema diventa

TRIAG f.m.m. (1-2 mmcc)



indeterminato anche se in realtà R_{a_2} è in relazione con $R'_{a_2} = 3 R_{a_2}$

L'avvolgimento è lo stesso, cambia l'andamento della f.m.m. che nel II caso è triangolare, mentre nell'altro è costante.

cc binario	V _a	perdite in KW	Riferito a	f.m.m.: forza magnetica matrice
1 - 2	9,3%	102,9	20 MVA	
1 - 3	3,9%	20,8	6 MVA	
2 - 3	0,93%	17	6 MVA	

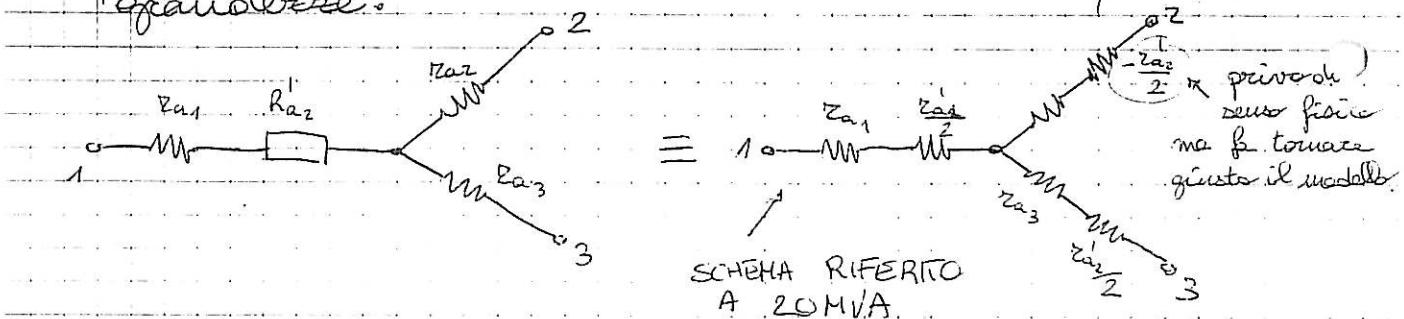
Riferito a 6 MVA:	I	40,6 KW	→ misure di potenza
	II	39,8 KW	
	III	10,8 KW	

Riferiamo tutto a 20 MVA di base:

	V _{ca}	KW	X _{IS}
1 - 2	9,3	0,5157	3,285
1 - 3	$\frac{9,3 \cdot 20}{6} = 13$	1,1557	12,99
2 - 3	$\frac{9,3 \cdot 20}{6} = 3,1$	$\frac{17,100}{6} = 0,94$	2,95

Visti così hanno le $Z_{a1,2,3}$ aspetto migliore, sono tutte > 0 .

Le grandezze che interessano nelle misure di perdite non c'entrano niente con queste grandezze.



Merc, 27-10-99

C. AUTO TRANSFORMATORI p. 70

↳ Non garantisce più l'isolamento galvanico.

• Per bassa tensione

• Per passaggio tra vari livelli di tensione della trasmissione
(es. da 380kV → 220kV)

Permette una riduzione di costi e peso,
di dim. minore del trasf.

Il flusso disperso è elevato
quindi serve per sicurezza, infatti
non è usualmente in
questa config operazione.

Generalmente si realizza in questo modo:

↳ Ci può essere problema di isolamento
tra i 2 p.ti: uno a t. Alta c'è uno
a terra

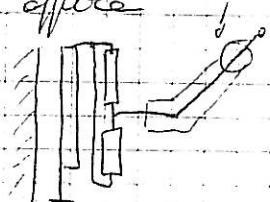
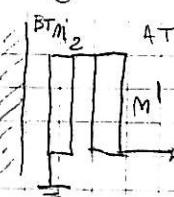
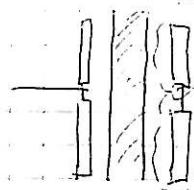
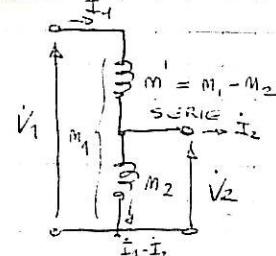
↳ Serve un passante. [$\approx 300\text{MVA}$]

$$P_m = V_1 I_1 - V_2 I_2$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_3 = I_1 - I_2$$

Hazard: se si brucia
 M_2 da $V_1 \approx V_2$ con seri problemi



es: 300 MVA $V_m = 380/220 \text{ KV} \rightarrow I_m = 455,8 / 787,3 \text{ A}$
 $\Rightarrow I_3 = 331 \text{ A}$

\hookrightarrow C'è una certa uguaglianza di sezioni.

es: 200 kVA $400/350 \text{ V}$ $288,7 / 330 \text{ A}$

$\Rightarrow I_3 = 41,2 \rightarrow$ è allora la parte prevalente dell'avvolgimento
 $\hookrightarrow 175$ spire \rightarrow posso fare con un filo (i fili)

$I_1 = 288,7 \rightarrow 25$ spire \rightarrow spessore maggiore perché carico elevato e poche spire

\Rightarrow questi av. hanno difficoltà ad essere costruiti e non presentano una vita medio elevata.

Ha una $\Delta\phi$ modesta rispetto alle sue pot.

\hookrightarrow buon per le cadute di tensione

\hookrightarrow vantaggio per un corto che è meglio sia più cortano possibile

Si cerca di fare un avvolgimento compatto; si impregna la carta con resine, le sollecitazioni vengono trasferite dall'uno all'altro evitando metri relativi.

• Prova a ruota: non ha problemi

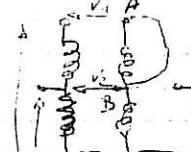
• Prova in c.t. o c.t.: da associare ad una mis. di resistenza

\hookrightarrow Una volta trovate Z_{eq} non posso fare G scarpato perché le sezioni sono diverse con struttura particolare.

Serve quindi usare 2 circuiti distinti dove faccio misura classica nell'avvolgimento comune e una diversa con corrente maggiore nell'avvolgimento serie perché è più minore c.d.t.

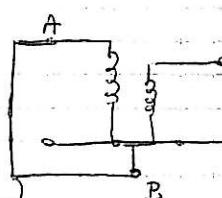
Rapporto: se si fa come rapporto delle anatrete il $\Delta\phi$ fa un certo

\hookrightarrow il costruttore non considera G def. e B altrò in altre maniere.



La regolazione non crea problemi.

Per fare metoda di precisione sulle anatrete serve prendere un p.t. in linea A, il che implica di controllare A e B (\Rightarrow serv. trasf. isolatore)



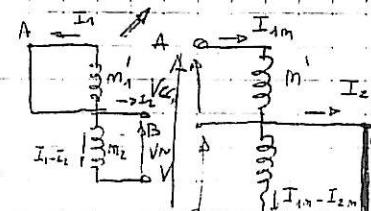
Nelle prove in corto si cerca di fare qualcosa di diverso
in modo da non mettere in gioco correnti molto
elevate.

$$\rightarrow m' I_1 + m_2 (I_2 - I_1) = 0 \quad \text{ugualanza f.m.m.}$$

$$(m_1 - m_2) I_1 = m_2 (I_2 - I_1)$$

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} = \frac{V_{1m} - V_{2m}}{V_{2m}}$$

Per non avere problemi di tensione
ridotto alimentato il lato ad AT,
questo però vale lo stesso se
alimentato il lato e corto la
parte del lato a tensione più
alta.



$$V(I_2 - I_1) = V_{ca} I_1$$

$$V = V_{ca} \cdot \frac{I_1}{I_2 - I_1} = V_{ca} \cdot \frac{V_{2m}}{V_{1m} - V_{2m}} \rightarrow \text{elemento a tensione}$$

METODO
di
C.TO C.TO
MACCHINE
PICCOLE

quindi con macchine piccole alim. il I:

$$V_{ca} = 9,2 \text{ V} \quad \text{dal comune}$$

se alimentato il II mettendo A e B in corto:

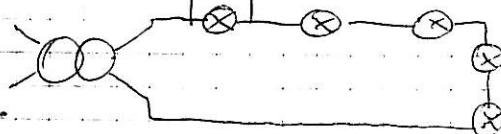
$$\left\{ \begin{array}{l} V = 9,2 \cdot \frac{3,10}{5,0} = 9,2 \cdot 7 = 64,5 \text{ V} \\ \text{alimenti problemi di regolazione} \end{array} \right.$$

$$I_3 = 41,2 \text{ A} \rightarrow \text{sono soltanto decati per poter fare la
scissione di c.t. o c.t.c. alimentando il
comune con } V$$

\Rightarrow conviene fare le misure separate di resistenze.

In illuminazione vorbare

posto che si brucia e mette in corto quando la lampada si spegne.

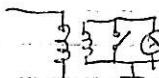


\rightarrow Adesso si usa un inverter
con retroazione in corrente.

In illuminaz. di aeroporti:

è richiesto che la lampada possa essere
cambiata sotto tensione \rightarrow si usa un TA

\hookrightarrow Attenzione che sono deficitati a
corrente costante

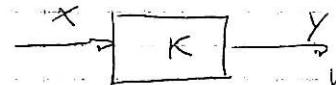


Vari Motori: $P = C \omega$

• TRASDUTTORI

- È utile avere convertitori di grandezze qualsiasi in tensione

↳ La conversione può essere fatta a
livello software



La presenza dei cari può influenzare
sull'uscita del trasduttore tramite
il loro assorbimento.

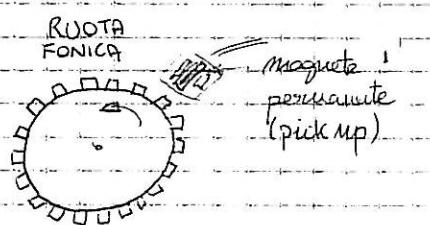
Le strumenti che hanno impedimento d'ingresso elevato
presentano l'inconveniente di essere sensibili
ai disturbi quindi serve mettere in // una
resistenza elevata (10M // 2000Ω).

I trasduttori hanno una scarica sulla fonte
dell'uscita basata sulla resistenza totale
di onda → basta fare una misura
di res. prima di far funzionare il tutto.

Nel caso di motore azionato da inverter è
possibile che il trasduttore spiai le
coppie pulsanti che nascono con la tensione
e fette che viene fornito, quindi serve strumentazione
ad hoc.

• Rimanere con eccitazione a magnete permanente
toroidale perché altrimenti con rame si avrebbero
influenze del riscaldamento del rame
→ variaz. del flusso, ecc.

↳ Per ABS: il passaggio
dei denti causa
una var. di rilettore
→ var. di φ → nasce una
f.e.m.



↳ Si usano ENCODER per poter risalire agli impelli.

Mart, 2 - 11-99

• Dati trasformatore nel laboratorio

$S = 630 \text{ KVA}$ a secco I_o, P_o

$$V_1 = 20000 \pm 2 \times 2,5\%$$

$$\text{Massa} = 2300 \text{ Kg}$$

$$V_2 = 400 \text{ V}$$

$$V_{sc} = 4,09 \%$$

I_o , P_o , N_{ce} , P_{ce} , Magnetizz. (analisi armonica)

1.2. orv. qui vengono tenuti staccati da un canale d'aria, se si vuole eliminare la tensione si inserisce una retina metallica a terra, ma questo non si usa e si lascia tutto la tens. sul canale.



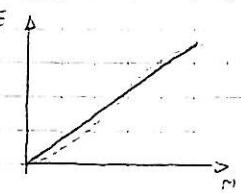
Per i motori c'è la convenzione di riferirsi allo pot. meccanico come pot. di targa.



Le dinamo tachimetriche non hanno mai l'avvolg. di eccitazione per evitare influenze dovute alle var. di temperatura.

Si usa un magnete permanente che assicura un q. costante, anche per gen. in alternata con uso tachimetrica \rightarrow targa: $V/1000$ giri = K

$E = K \phi m$. Per il K serve una taratura e può essere necessaria una incertezza fornita dal costruttore.



E' necessario conoscere (costruttore) anche la non linearità nell'intorno di qualche p.t.o. particolare (non lin. diff) o il coeff di non linearità

Altri dati da conoscere: tempi max, corrente max \rightarrow carico minimo.

Possono risultare come carico di qualche Watt ed aumentano il momento d'inerzia.

La base può essere una ruota dentata o un disco trasparente con adeguate tacche rilevabili con un fotodiodo.

In sistemi elettronici si hanno incertezze molto alte che per misure di n. di giri è anche troppo, ma va bene per lo scorrimento.

Gli Encoder permettono di ottenere segnali in uscita digitali e analizzare l'ingresso trasmite codifiche particolari che permettono di ottenere letture universali senza bisogno di contare gli impulsi.

Misura della Pm del motore.

↳ Si usano freni per simulare un carico che hanno det. caratteristiche di $C = \omega$ indipendenti dalla pot. nominale.
(Non è detto che con un freno da 1 MVA riesca a fermare qualsiasi (ω) moto).

↳ Non hanno problemi di manutenzione perché una volta agganciati sono come muri.

Dissipano potenza elettrica, quindi può convivere ributtare questa pot. in rete per non intralciare la cabina.

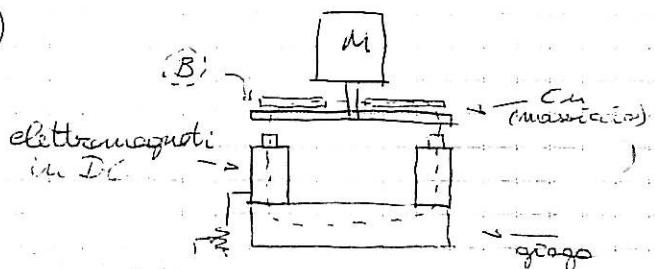
FRENO PASQUALINI: ($\phi = \text{cost}$) (elettromagnetico)

Se il disco gira c'areola nell'el. macchina è sede di f.c.m.

$$\Rightarrow \text{masse} \text{ una } i = \frac{C}{Z} \approx B\omega$$

$$\text{e quindi una } C = B\omega$$

$$P \approx C\omega \approx B\omega^2$$



\Rightarrow L'efficacia frenante ha l'handicap di essere maggiore per motore che gira molto veloce, quindi è difficile fermare un motore lento.

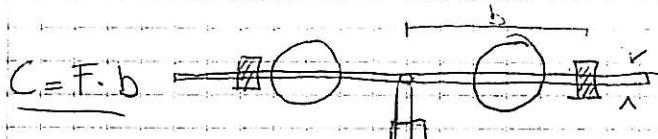
E' molto semplice \rightarrow tomeria.

La potenza è dissipata nel disco, quindi la "grande limitazione" di potenza $\rightarrow 10 \div 20 \text{ kW}$ al max.

\Rightarrow Vanno bene per mot. veloci (a scoppio)

Si deve volentieri far COPPIA DI REAZIONE $\rightarrow P_m$ perché diventa importante per dim. i basamenti che bloccano (telecavo fisso) e steloce.

A. Per misurarla si può usare il sistema a BILANCE:



si sposta a e si oppone per ottenere l'asta in equilibrio su aumentato l'orizzontale.

\bullet sistema
permette di
evidenziare

E' un buon metodo per la riferibilità.

Il disco deve essere liscio per eliminare problemi

di attrito.

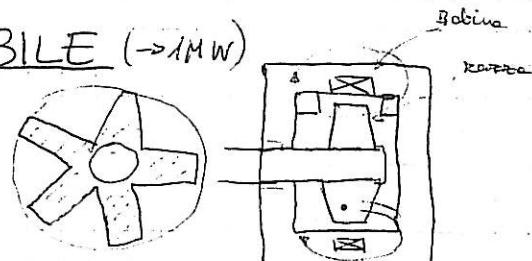
- Un altro metodo per misurare C è basato sull'uso di un dimanometro.

L'altro è a celle di carico.



FRENO A RILUTTANZA VARIABILE ($\rightarrow 1\text{MW}$)

Al passaggio delle razezze sotto le bobine viene inoltre della corrente (anche nell'altro).



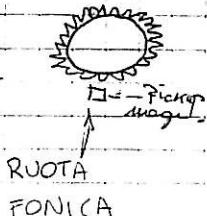
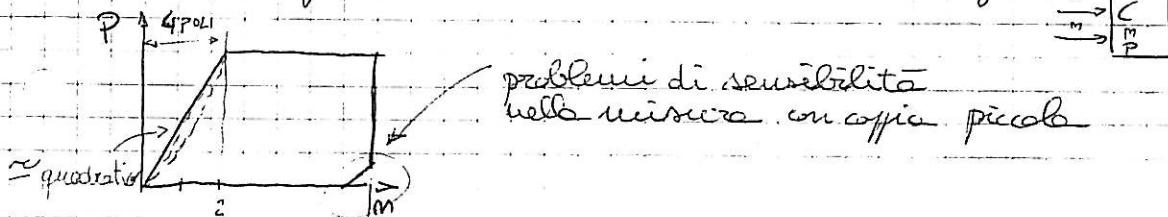
Avendo realizzato uno stator massiccio lì si ha la maggior parte delle per. dissipata e quindi è facile riuscire a prelevare con circuiti di raffreddamento a liquido. Basta non superare le temp. di curie e possono dissipare fino a 300 KW.

Cambiando la riluttanza si varia la C e la coppia frenante (sistema semplice) (ϕ pulsata)

Consumo di $\text{H}_2\text{O} : 0,3 \text{ l/m KW}$

Si può fare un freno multiratore per potenze elevate.

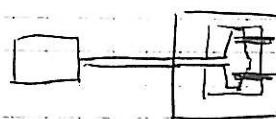
- Per misura di C si usano i soliti metodi, in particolare le CELLE DI CARICO che forniscono un segnale elettrico con C e m. giri.



- E' utile programmare il freno con $C = f(n)$ se si può rilevare la velocità.

Non permettono di misurare la C di spunto di un motore perché se fermi non riesce a dare una C frenante.

Si deve rimuovere il rotore allo stato (con bulloni ???)



Oppure si possono fare prove a Viotetta, ma

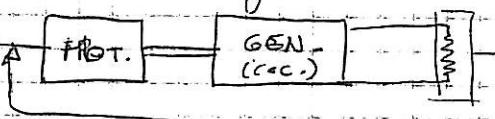
C'è un'applicazione che servirebbe sarebbe in difetto a causa della non linearità del car. magnetico.

- Si usano anche FRENI IDRAULICI che sfruttano la turbolenza di H₂O per dissipare l'energia del motore. Sono necessari dei ricambi del liquido.

↳ MA: per elevate potenze non conviene.

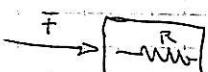
Per elevate potenze si ricorre al recupero delle pot. dissipate con accoppiamento di un generatore.

↳ Si preleva meno pot. dalla rete.



Per motori molto grossi è difficile riuscire a trovare un gen. adeguato e si deve avere un inverter "tagliato" per quelle potenze.

B) CELLE DI CARICO p.22

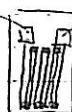


→ Dipende dalla temperatura, quindi deve essere dato molto cura alla realizzazione dell'estensimetro:

Boglio di mayor fotoincisa con costantante con struttura a fili rettilinei

$$\rightarrow R = \rho \frac{L}{S}$$

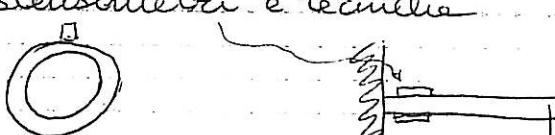
(le curve sono aperte bene per rendere trascurabile le Gia R)



Tirando i fili la R aumenta e viceversa.

↳ F è trasmesso con un'asta incollata sul supporto.

Per sfruttare al max la sensibilità si usano ponti (in modo bilanciato) con amplificatori e conversione della temperatura con 2 estensimetri e tecniche a mezzo pente.



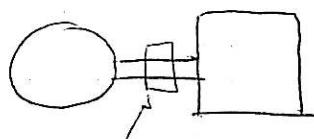
La riluttanza è molto bassa e possono essere usati anche in alternata bypassando i problemi dati dagli amplificatori in c.c. vecchi e scadenti.

↳ usa ampli in c.a. a f = KHz con buona selezione ai disturbi.

11, 8-11-99

④ Misura di coppia

Si può fare una misura diretta della coppia sull'albero (in laboratorio) con un CUPLOMETRO p. 41



TORSIOMETRO

↳ Le deformazioni sull'albero sono amplificate. Ma la banda passante elevata e segue bene anche le armoniche superiori.

Cartecei: lo spostamento tra 2 dischi delle 2 sezioni è $\delta = C \cdot \frac{L}{65}$

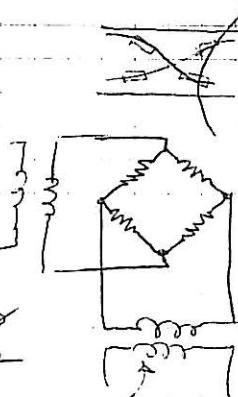


↳ La lettura viene fatta con metodi stroboscopici, ma non sono molto seri. (x laboratorio)

⑤ I migliori sono quelli che usano gli estensimetri

↳ 4 estensimetri usati con un ponte.

MA: si deve alimentare il ponte e questo è squilibrato, quindi se la tensione non è equilibrata (di alim) la misura sbagliata



↳ Si usano delle spazzole (sevre collettore) che hanno disturbo eliminato con alim. in continua

OPPURE

· Si può alimentare fino a qualche KHz seve avere orzori d'angolo.

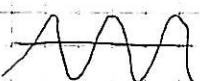
↳ OSCILLATORE: alimenta il ponte

L'uscita è prelevata tramite un trasformatore rotante che permette di regolare.

↳ E' buono perché si ha misura seve spazzole e contatti.

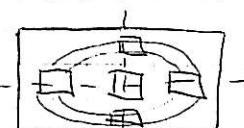
· L'accoppiamento rigido e non allineato sull'alto non è facile e può creare problemi sui cuscinetti.

· Il "canto" del trasformatore è dovuto a fenomeni di magnetostrizione, con fondamentale a circa 100 Hz \rightarrow riducibile con l'ausilio "step-bip".



· Misure all'esterno: (es. turbine)

⑥ Montano 2 elettromagneti alim. e 2 no che fanno da sensori:



L'azione di sforzo sull'albero tende a stirare mentre l'albero e a comprimersi. L'altro mezzo \Rightarrow mazze con f.e.m. che viene rilevata.

(F). Montando 2 gen. tachimetrici. T.c. a riposo hanno coppie polari opposte

\hookrightarrow se l'albero trasmette coppia mazze un angolo elettrico δ c'è una E_d (differenza)

$$E_d \approx 2 E \cdot \frac{\delta}{2} \Rightarrow E_d = E \cdot \delta$$

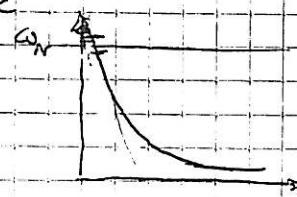
$$E_d \approx P \approx \omega C \Rightarrow \frac{E_d}{E} \equiv C$$

METODI DI RALLENTAMENTO:

o regime di $C_m = C_r + J \frac{dw}{dt} \Rightarrow C_m = C_r$

Si può portare la meccanica a $w > w_N$ e poi stacca \rightarrow la caratteristica scende

Casi $C_r = -J \frac{dw}{dt}$ (nell'intorno di w_N)



\hookrightarrow Possiamo ricavare perdite meccaniche (ventilazione e sui cuscinetti).

$\hookrightarrow J$ da metodi elementi finiti.

Se J non si conosce così si può fare uno Il prova dove C_r non cambia (aggiungendo un volano) e vedere la variazione di J .

$$C_r = -(J + J_r) \frac{dw}{dt}$$

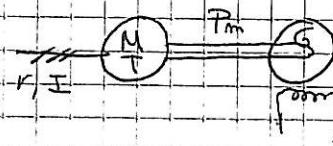
\Rightarrow Per 2 eq. c. 2 incognite \Rightarrow ricava C_r e J misurando la decelerazione $\left(\frac{dw}{dt}\right)$.

\hookrightarrow Se grande \rightarrow cronometra e contagiiri.

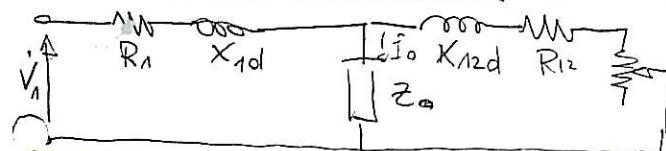
\hookrightarrow Se piccole \rightarrow dinamico tachimetrico e poi si fa la derivata

MOTORI TARATI: m. u. continua di cui è conosciuto $\eta = f(m, V, I)$

\hookrightarrow Per generatori sincroni: permettono di calciarli e di misurare le perdite crescenti V, I e η del mot. tarato.



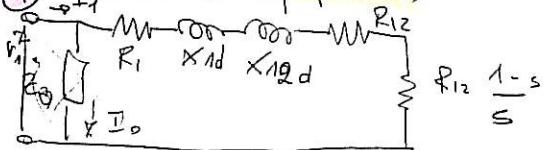
MACC. ASINCRONA (MOTORI)



$$R_{12} \frac{1-s}{s}$$

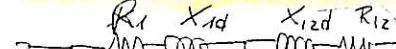
$$X_{1d} = G_1 X_1$$

① Heyland (semplificato)



$$R_{12} \frac{1-s}{s}$$

OSSANNA + Corretto



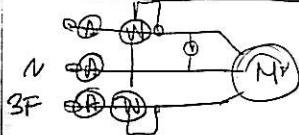
$$R_{12} \frac{1-s}{s}$$

$$X_0 = X_1 - X_{1d} = (1-G_1)X_1$$

↳ Si deve costruire il diag. diodale per det. tutte le car. di funzionamento.

Ⓐ Primo a vuoto

$$V_m \quad s=0 \rightarrow \text{misura } I_0 \text{ e } P_0 \text{ senza carico.}$$



similare con tensione simmetrica possibile perché la macchina ha $\dot{z}_1 = \dot{z}_2$ e quindi anche un piccolo equilibrio (come inserzione strumenti) fa assorbire I_0 → C' inverso fowant.

Non tolgo mentre perché fa scorrere correnti anomali.

$$\cos\phi = 0,1 \div 0,2 \rightarrow \text{servono } \textcircled{A} \text{ a basso } \cos\phi.$$

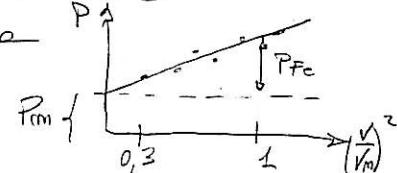
↳ Siccome ci sono perdite meccaniche di attrito ai cuscinetti e di ventilazione, queste vanno separate dalle perdite di ferro statorico

Ⓐ Faccio varie misure a $V \geq 30\%$, V_m fino a 110% , V_m di potenza elettrica assorbita dal motore

↳ Ripeto su grafico in scala quadratica

$$\text{perché } P_{Fe} \propto V^2$$

$$\Rightarrow \text{trovo } P_{m0} \text{ e } P_{Fe}$$



De misura di R_1 si possono calcolare

le P_J di statorico per una migliore extrapolazione di $P_{Fe} = P_0 - P_{m0} - P_J$

Ⓑ Per macchine grosse a valore attuale esiguo

• La misura di P_{Fe} assorbita a circuito rotativo:

- aperto: $P_0 = P_{Fe}$ statorico nei primi momenti + P_{Fe} poi quando la macchina raffreddata

$$- chiuso: P_0 = P_{IS} + P_{JS} + P_{m0}$$

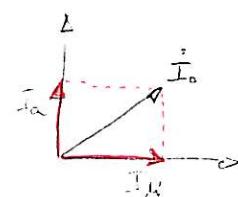
e dalla differenza trovo $P_{JS} + P_{m0}$, conoscendo R_{12} ob. mis. di resistenza \Rightarrow ricavo P_{m0}

Ricavo odendo le componenti attive di I_0 :

$$\textcircled{1} \quad I_a = \frac{P_{Fe}}{\sqrt{3}V}$$

$$\textcircled{2} \quad \bar{I}_0 = \sqrt{I_o^2 - I_a^2}$$

$$\text{Lavorabile: } I_p = \sqrt{I_o^2 - (I_a + P_{m0})^2} \rightarrow \text{non lavorabile}$$

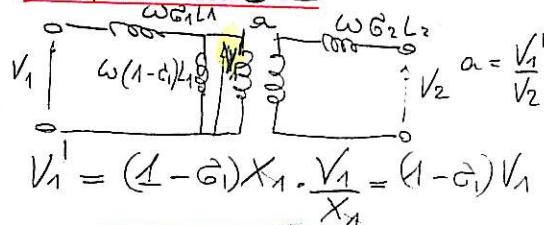


• Per la misura di R e' come per trasformatore, (2)
solo che qui i circuiti sono meno involutivi e l'è minore.

↳ Per il rapporto alle tempi di rif. uso K_a

↳ Per rapporto delle R rotore al primario si calcola il (3)
RAPPORTO DI TRASFORMAZIONE (a rot. avvolto), dunque per
che cambia alimentando, I₁ o II.

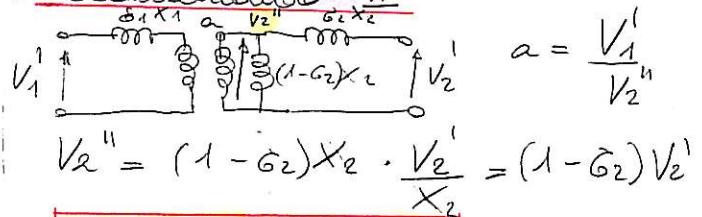
• alimentando I



$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\alpha}{1 - G_1}$$

media

• alimentando II



$$\frac{V_1'}{V_2'} = (1 - G_2) \alpha$$

○ facendo misure con $V \approx V_m$ perché θ varia con ωV . (4)

\Rightarrow Per una stima di α :

$$\frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{V_1'}{V_2'} = \frac{\alpha}{1 - G_1} \cdot (1 - G_2) \alpha = \alpha^2 \frac{1 - G_2}{1 - G_1} \Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{V_1'}{V_2'}}$$

E per una stima del G globale:

$$\frac{V_1'}{V_2'} / \frac{V_1}{V_2} = (1 - G_1)(1 - G_2) \approx 1 - G$$

(B) PROVA A ROTORE BLOCCATO (CORTOCIRCUITO) S = 1

↳ Fisso il rotore con dei bulloni. $\rightarrow C \leq 10 \text{ cm}$

○ Alimento con $V \approx 20 \div 25\% V_m$ perché se uso V_m ho correnti $5 \div 7 I_m$ un eccessivo riscaldamento.

Sarebbe da modificare la posizione angolare del rotore in un passo grande, lasciando tra θ_{max} e θ_{min} di corrente; COPPIARE si fa la media di più misure con rotore in posizioni diverse. Pieno un passo grande

↳ Dalle letture di V, I, P si ha: $P_{cc} = 3(R_1 + R_{12}) \dot{I}_{cc}^2 + P_{Fe}$ trav.

e quindi (considerando per rotore a gobba) si ricavano $R_1 + R_{12}$

con R_{12} eccetto in eccesso per tolleranza dissipata nel ferro ai lati.

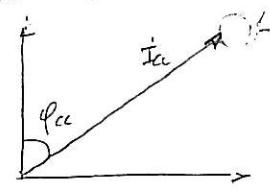
Eseguo il rapporto di $\dot{Z}_{20^\circ} = \frac{V}{I_{20^\circ}}$ e $R_{eq} = R_1 + R_{12} = \frac{P}{3 \dot{I}_{cc}^2}$ $X_{eq} = \sqrt{\dot{Z}_{20^\circ}^2 - R_{eq}^2}$

alla temperatura di rif.: $\dot{Z}_{75^\circ} = \dot{Z}_{20^\circ} \cdot K_t$

$$\Rightarrow I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \dot{Z}_{75^\circ}}$$

$$\text{Corr } \varphi_{cc} = \frac{R_{eq} \dot{I}_{cc}}{\dot{Z}_{75^\circ}}$$

Hor I_{cc} in
modulo e φ_{cc}

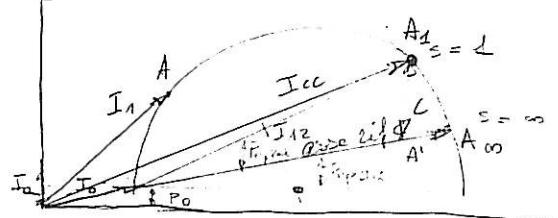


- Se posso misurare le resistenze (rotore stanco) entro la α secondaria di R_{12} con: $R_{120^\circ}, R_{220^\circ} \Rightarrow R_{1220^\circ} = R_{eq} - R_{120^\circ}$
 $\Rightarrow R_{1245^\circ} = a^2 K_b \cdot R_{1220^\circ}$ (rispetto al primario)

Ora dai dati delle prove A e B si costruisce il diagramma circolare:

① Heyland

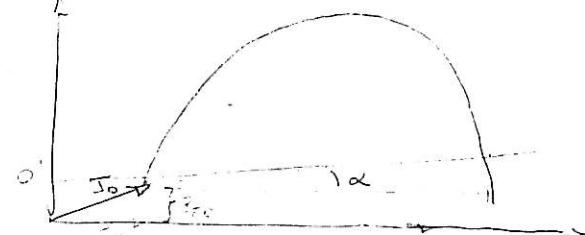
Fixo una scala $I [A/EM]$ e quindi $P = \sqrt{3} V_m I [W/kW]$



Per trovare l'asse della coppia $\alpha_{3=0}$ si tolgono da A_1 le P_{fe} e $P_{js}(R_1, T_1^2)$ individuando A_1' ; le coppie si leggono con lo stesso grafico: \rightarrow RICAVO
 $C = \frac{\sqrt{3} V_m I}{1,03} = \frac{P}{I_1 / I_{12}, \text{sup}_{12}}$
 $1,03 \text{ m} = 1,03 \text{ m} = 1$

MA: sul grafico non sono attenibili, per questo servono misure dirette con un freno.

② Osservaz (più corretto)



Il diametro del cerchio è:

$$D = \frac{2(1-\epsilon)}{G+T^2} \frac{V_1}{2X_1} < D_{Heyland}$$

$$X_m = \frac{1+\epsilon}{G+T^2} \frac{V_1}{2X_1} \quad X_2 = X_{12} + X_0 \quad \epsilon = R_1$$

$$Y_m = \frac{2\epsilon}{G+T^2} \frac{V_1}{2X_1}$$

e il centro piega in retta inclinata da // alle assi ai angoli:

$$\tan \alpha = \frac{y_m}{x_m} = \frac{2\epsilon}{1+\epsilon} \approx \frac{2R_1 I_0}{V_1}$$

$$I_{as=0} \equiv I_c$$

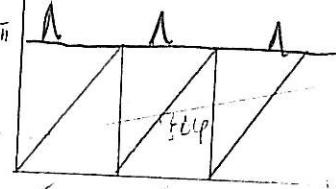
③ MISURA DELLO SCORRIMENTO

Se la macchina è:

- APERTA: uso una bobina che si accoppi con i flussi del rotore a freq $S_f \rightarrow$ si misurano le oscillazioni ottenute con uno strumento magnetoelettrico in un minuto.
 Misura la f_e del rotore: $f_e = S_f \frac{1}{T_s}$ \Rightarrow trovo s

- CHIUSA: uso un metodo stroboscopico sul rotore a velocità $\approx v$. di sincronismo misurando la velocità relativa tra rotore e campo statico.
 Avendo un riferimento sull'albero rotante di periodo T , quando illumino con fasci di luce di periodo T_s , si ha una differenza di fase costante tra l'illuminazione;

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{T} (T_s - T) \quad \text{ma} \quad \Delta\phi = \omega_a T_s$$



\rightarrow velocità apparente del riferimento

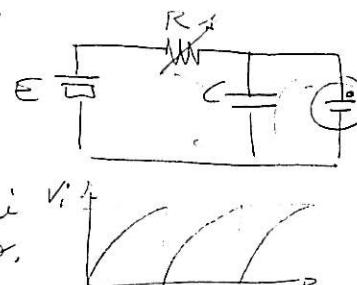
$$\Rightarrow \frac{2\pi}{T} (T_s - T) = \frac{2\pi}{T_a} \cdot T_s \Rightarrow \frac{1}{T_a} = f_a = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_s} \Rightarrow \boxed{f_a = f - f_s} \quad (4)$$

\hookrightarrow Se $T_s = 1/2 T$ si vedono 2 impulsi.

Si usa "stroboscopio a risazionamento"

\hookrightarrow Si cerca di caricare in fatto C che poi viene scaricato da un oscillatore

quando $V_c = V_{messa}$, ottenendo oscillazioni a f molto stabili se si usa un quarzo.



D) MISURA DEL RENDIMENTO (TLC010)

$$M = \frac{\text{POTILE}}{\text{PASSORBITA}} \Rightarrow \text{Eseguite le varie misure e tenendo conto delle perdite addizionali in modo convenzionale con } P_{\text{add}} = 0,51 \cdot P_m \left(\frac{I}{I_m} \right)^2 \text{ si determina } M \text{ tramite calcoli}$$

$$I, \cos\varphi \Rightarrow P_{\text{tot}} = \sqrt{3} VI \cos\varphi$$

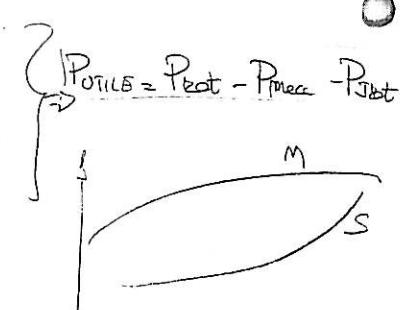
$$P_{\text{fe}} = P_o - P_m \quad \text{con } P_J = 3R_{175^\circ} I_1^2$$

$$P_{\text{rot}} = P_{\text{ass}} - P_{J\text{stat}} - P_{\text{add}} \quad \text{con } P_{J\text{stat}} = 3R_{1275^\circ} I_{12}^2$$

e disegniamo M e S

N.B. S può essere calcolato:

$$S = \frac{P_{J\text{stat}}}{P_{\text{rot}}} = \frac{3R_{1275^\circ} I_{12}^2}{3R_{175^\circ} I_{12}^2} = \frac{R_{1275^\circ}}{R_{175^\circ}}$$

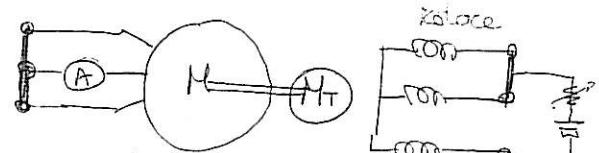


E) DETERMINAZIONE PERDITE ADDIZIONALI: Legate alla incognita distribuzione a curva delle f.m.m. di statora e rotore

\hookrightarrow (I) Motore avviato:

\hookrightarrow Porta il motore a n di lavoro.

Con motore tarato e mette in corto gli sm. di rotore.



Alimenta rotore in DC fino ad avere I (su una fase di statora).

Dalle differenze tra la potenza richiesta al M_r per tenere in rotazione il motore con e senza corrente di eccitazione si ha $3R_{175^\circ} I^2 + P_{\text{add}}$; dividendo R_{175° si trovano P_{add}

(II) Motore a gabbia:

Prova a rotore aperto: talor rotore rimettendo gli sm. Alimenta con 3F e misura la pot assorbita:

$$P_{\text{ass}} = P_{J\text{stat}} + P_{\text{add}} = 3R_1 I_1^2 + P_{\text{add}} \Rightarrow P_{\text{add}} = P_{\text{ass}} - 3R_1 I_1^2$$

(rendendo R_1)

• Motore a SCORRIMENTO 2 (Bueno x rot. a gallie)

(5)

↳ Per det anche le perdite odia. di rotore

Cortocircuito il rotore e la porta

a vel di sincronismo nel senso inverso ($s=2$)

$$\Leftrightarrow R_{12} + R_{12} \frac{1-s}{s} = -\frac{R_{12}}{2} + R_{12} = \frac{R_{12}}{2} \Rightarrow \text{c'è una R rotore metà di quella vera.}$$

Regola le Voli statorice per l'otore I nominale nello statorice.

↳ La potenza dissipata nel rotore è fornita metà dalla linea 3F e metà dal motore di trascinamento, mentre I di rotore che non si conosce non ha componenti da motore rotore

$$P_e = P_{Istat} + P_{addis} + \frac{P_{Irot}}{2}$$

$$P_m = P_{mecc} + P_{addis} + \frac{P_{Irot}}{2} \Rightarrow P_e - P_m = P_{Ie} - P_{mecc} + P_{addis} - P_{addis}$$

costante

accelerazione da prova
a rotore fermo

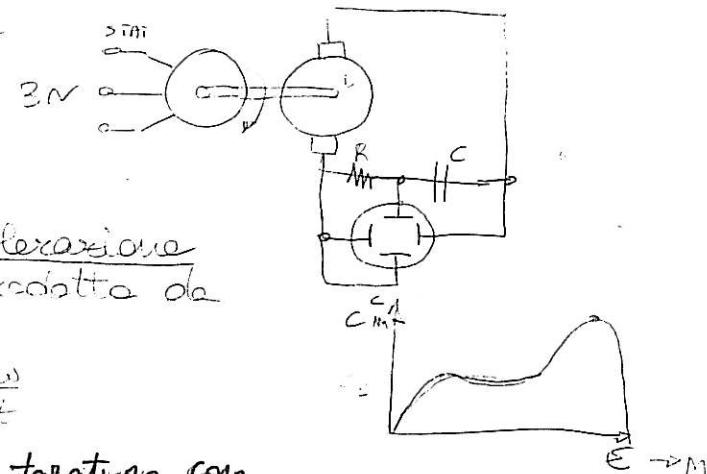
→ Trova P_{addis} !

(6) Caratteristica Coppia - Velocità

↳ Data che il diag. circolare non fornisce informazioni su regolarità di funzionamento (la C di spunto rilevata è > uelle reale)

↳ Si usa una prova di accelerazione registrando la tensione prodotta da una dinamo tachimetrica!

$$C_m = C_p + I \frac{d\omega}{dt} \Rightarrow C_m = I \frac{d\omega}{dt}$$



• Con oscilloscopio analogico: taratura con M_S e C_{MAX} , la C viene dalla $\frac{dx}{dt}$ ottenuta con circuito RC derivatore. → MA sono amplificati i disturbi; comunque buono qualitativamente.

• Con oscilloscopio digitale: il campionamento permette di ottenere buoni valori, da $E_{m1}-E_{m2}$ si ottiene la ricchezza.

Ma rumore disturba la derivata:

↳ Usa osc. a - basso rumore

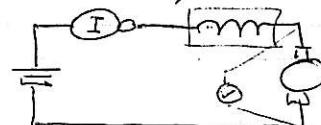
- sovraccampionamento (Hi-RES): $\xi_c = 5-10 \frac{f}{f_s}$

Necessario, quindi ottengo solo i valori medi dei campioni eliminando i disturbi. Aumenta la risoluzione. Non servono circuiti derivatori.

Su questo n ci sono delle incertezze perché non è calcolato.

↳ MA: visto che sono interessate alle perdite (poche %) e il motore che fa girare il gen. è piccolo le incertezze sono sulle perdite già piccole e quindi (es: gen: 100kVA; mot 5kW \rightarrow perdite 1kVA \rightarrow perdite minime) sono trascurabili sulla pot totale.

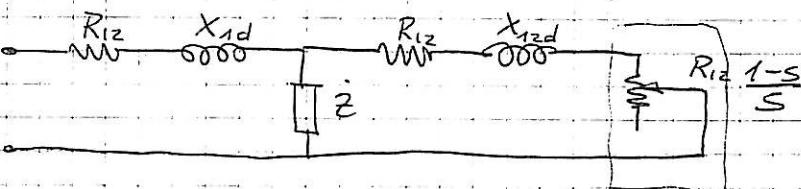
Inoltre sul motore tarato si cerca di ridurre le perdite: eccitazione indipendente così se si scalda le perdite non entrano nel bilancio; eccitazione serie, misura I sul motore lasciando fuori le perdite dell'eccitatore. Sul rotore si cerca di limitare R_2^2 tenendo V^2 (altra P_{fe} che non dip. dalle tem.) così l'incertezza su R pesa meno



↳ L'incertezza sulle spazzole diminuisce sempre tenendo I basso e V alto

\Rightarrow il n è conosciuto, anche con incertezza, in modo adeguato per determinare decentemente le perdite.

MOTORI ASINCRONI p. 83



eq. elettrica
della Pm rese
dalla macchina
all'altro,

Totale pot. trasferita al rotore $P_R \approx \frac{R_2}{S}$

$$S = \frac{M_o - M}{M_o} \quad \text{identifica perdite sul rotore} \Rightarrow S = \frac{P_R}{P_E} \quad \begin{matrix} \leftarrow \text{perdite} \\ \leftarrow \text{pot. trasf. al rotore} \end{matrix}$$

$S = 3 \div 5\%$ accettati per macchine piccole

$S < 3\%$ per macchine grandi ($S \approx 1\%$) altrimenti il rotore vede una perdita $S P_E$ elevatissima.

(NB) ↳ cambia vel ob ruota a carico per meno dell'1% per evitare che si bruci.

In un trasf:

Essendo le perdite a ruota sull'avvolgimento molto piccole ($1 \cdot 10^{-4}$) esse sono coperte da incertezza di misura.

In un motore: la corrente magnetizzante è dovuta a $30\% \div 50\% I_m$.

Quindi a ruota le perdite sono da attribuire anche a R_{12} , quindi I_{12} .

$$\rightarrow P_J + P_{m\text{ (gira)}} + P_{Fe} = \text{perdite a ruota}$$

A rot. • Si può usare un freno, ma deve essere meccanico bloccato (brilloni) e non a correnti parassite ($v=0$) (Prova st. bloccato)

• Essendo rotore bloccato posso misurare B oppo, ma in fretta.

Diagramma circolare: per condizioni di normale funzionamento.

• Prova a rot. bloccato

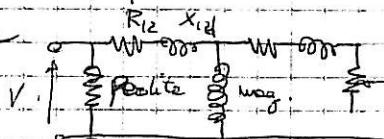
non fatto con $\Delta \leq 20:30$, V_m per avere I_m e non $5:7 I_m$ che sarebbe tutto

$$\frac{I}{V} = \frac{A_S + B}{C_S + D} \rightarrow \begin{array}{l} \text{bilineare} \\ \text{circonferenza} \end{array}$$

5. E' conveniente usare anche una rappresentazione analitica per diversi s (oltre che grafica) per calcolare i valori di I , $\cos \varphi$, Presa, Passodito delle macchine a regime

(a) Il m è calcolato (mai ricavato dai diag. circolari) per ciascun punto.

• Diagramma circolare di Ossanna: sotto l'HP di linearità riporta a mente solo il rango delle perdite



• Prova a ruota:

• alimentatore con 3F cura sub la simmetria delle tensioni

• la conn. inversa ~~auserebbe~~ C frequente e assorbimento di corrente anomala

• aliment. a 3 fili (+ protezione)

• se c'è Δ non serve; se c'è λ il G.S. non va chiuso sul neutro perché ~~auserebbe~~ correnti omopolori (impedenza molto bassa) non trascurabili

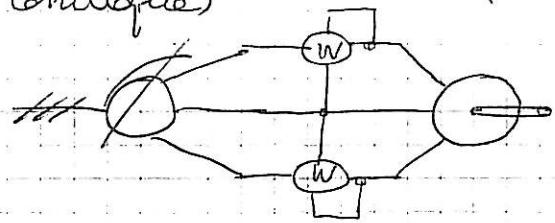
V_m messo a terra la carcassa

• misurazione ARON perché non c'è problema di corri bassi (ma bene anche a 3 W comunque)

P_m, P_{Fe}, P_s

media

$$P_s \text{ valori scorpati: } \frac{3}{2} R_m I^2$$



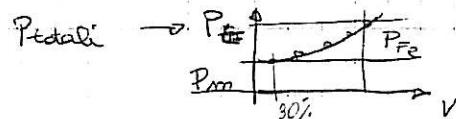
↳ La prova andrebbe fatta con cuscinetti caldi, ma dopo 10 minuti la macchina si scalda e le R non sono quelle a freddo \rightarrow uso R_m .

• Prova a V_m in teoria ma:

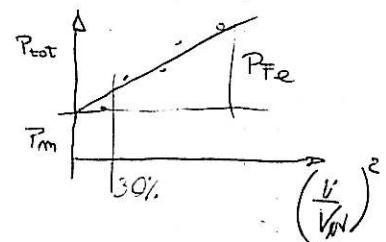
• Per separare P_m da P_{Fe} : si agisce sulla V.

↳ riduci V \rightarrow la macchina raffredda poco e $P_m \approx \text{cost}$ ma P_{Fe} che varia al quadrato variano sensibilmente

↳ Possiamo estrapolare



• Si può usare scala quadratica così si ottiene una corr. di P_{Fe} lineare:



• Nei motori grandi (ret. avvolto) se si può girare il corto e rotore non ha più pot. a rotore

↳ $P_{m,rot} = P_{rot,te,rot} = 0$ e (W) danno solo P_{Fe} .

↳ Dopo un po però rimasono perdite nelle parti massicce, quindi è una prova da fare in transitorio e con macchine grandi con I grande.

• Si usano regolatori con $V > 30\% V_m$ per non avere C troppo piccole e irregolari (es. $V = 0,3 V_m \rightarrow C = 0,03 \text{ cm}$)

• Prova in corto circuito:

• Si blocca il rotore (in entrambe le direzioni)

• si usano $V \approx 20 \div 25\% V_m$ per non saturare

• quello che misura è & normale funz. perché comp rot non è seguito dal rotore \Rightarrow le perdite varia anche nel Fe e R_{12} viene stimata in eccesso

↳ quindi: se misura P_n del rotore avvolto non ha problemi (rapporto)

↳ Buono risultato x perdite

• con rotore a gabbia:

$$s = \frac{P_S}{P_E} \quad \text{se riesco a misurare } s \text{ e a stimare } P_E \rightarrow \text{trovo } P_S$$

Per stimare P_E uso un freno così stabilisco P_E (carico) e misuro s (velocità).

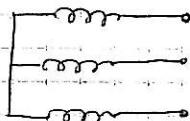
• Qui ci sono approssimazioni maggiori che nei trasformatori.

Maz, 9-11-99

• Misura di resistenza:

• con rotore avvolto:

si vede e si misura
i circuiti sono meno induttori
del trasf. e per τ è minore.

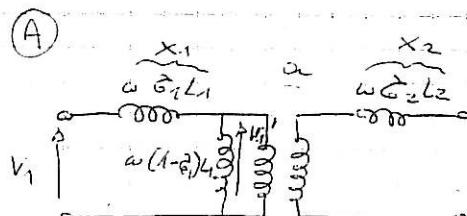


• Misura del rapporto: ci deve essere un minimo di bloccaggio, misura le 3 coppie di tensione su statora e rotore. (a rotore avvolto)

$$L_1 \quad L_2 \quad M \quad (1 - \zeta_1) L_1$$

$$X_1 \quad G_1 = \frac{L_{1d}}{L_1}$$

$$X_2 = \frac{V_1}{I_1} \quad \text{eff. dispers.}$$

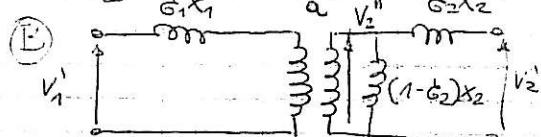


Il problema è che non si può misurare la tensione sull'onda. I e che è ≠ della V_1 imposto, cioè è minore.

$$(A) \quad V_1' = \frac{V_1}{X_1} (1 - \zeta_1) X_1 \quad \text{essendo}$$

$$\frac{V_1'}{V_2} = a \quad (\text{rappr. trasf. ideal})$$

$$\frac{V_1}{V_2} (1 - \zeta_1) = a$$



$$(B) \quad V_2'' = \frac{V_2'}{X_2} (1 - \zeta_2) X_2$$

$$\frac{V_1'}{V_2'} = a$$

$$\frac{V_1'}{V_2'} = \frac{\text{alimentando I}}{\text{(statora)}} \quad \frac{V_1'}{V_2'} = \frac{\text{alimentando II}}{\text{(rotore)}}$$

e ci può essere un peso diverso dei eff. di dispersione che è determinato da accoppiamenti differenti.

(in accoppiamenti molto spinti le tensioni (V_1 e V_1' e viceversa) si differiscono del 2%.

Riassumendo:

- Prove a vuoto $P_{Fe} = \omega P_0 - P_m - P_J$

$$I_a = \frac{P_{Fe}}{\sqrt{3}V}$$

I_o : misurato

Essendo I_μ precedente: $I_o^2 - I_a^2 = I_\mu^2$

I_a a rotore bloccato: $V, I, R \rightarrow Z_{eq}$

- Se schema semplificato di Heiland

Si stima bene I_1 e φ in un p.to di funz. generica 1.

↳ Si sceglie scala $I [A/cm]$

$$P = \sqrt{3} V I \Rightarrow \text{scala } [W/cm] = \sqrt{3} V \cdot [A/cm]$$

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi m} \rightarrow \text{scala delle } C.$$

- Si può anche usare un approccio algebrico:

$$I \cos \varphi \rightarrow \text{Parabola} \rightarrow n? s?$$

Sarà poi: $\frac{P_{Fe}}{P_{J,\text{stat}}} = \frac{3}{2} R_m I^2$

- Le P_{odd} (eccidenti la misura di R in DC) sono complesse e difficili da trovare con metodi particolari.

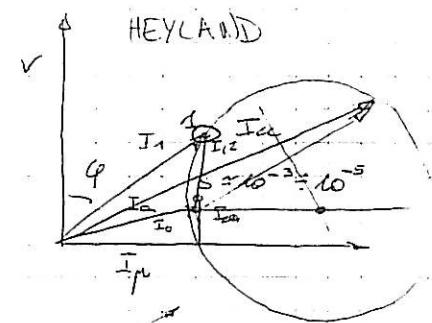
Convenzione: $P_{odd} = \frac{0,5}{100} P_0 \left(\frac{I}{I_m} \right)^2$ (avete anche scale armoniche)

P_R

$$\frac{P_m}{P_{J,\text{rot}}}$$

P_m

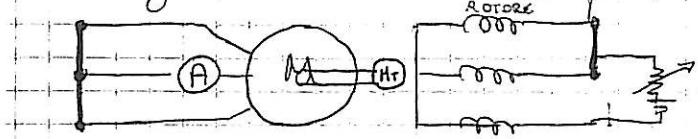
⇒ dal rapporto calcolo γ



Mezzo, 10-11-99

MOTORE A ROTORE AVVOLTO

voglio volutamente le perdite addizionali di statora.



Masce lungo il
rotore una distr.
di f.m.m.

Le perdite addizionali sono sui rotore, statora,
scendi due coppioni le testate.

Usa un alimentatore DC con regolazione della I,
cerà masce lungo statora una f.m.m. ferme
rispetto al rotore.

↳ Farci girare il rotore un motore tarato per
ottenere le f.m.m. da ruotino come in realtà.

↳ Allora giri corrente in statora regolando la I
di rotore ferme ad avere I_m all' statora.

Le f.m.m. che nasce è parmente di quelle che
nascerebbe nel sistema trifase e ruotando il
rotore ottengi effetto finale!

Abbiamo perdite meccaniche che traos facendo
ruotare servono a excitare il rotore.

TROVA IN CORTO (a rotore bloccato, $s=1$)

$\hookrightarrow V_m = 30\%$ V_m Si blocca meccanicamente il rotore e misurando $C \approx 10\% C_m$ tensione, corrente e potenza assorbite.

in carico simmetrico, ma il circuito non è lineare, quindi bisognerebbe fare la misura a tensione nominale, evitando però un eccessivo riscaldamento (anche se $I = 5 \div 7 I_m$)

\hookrightarrow Per una det. più corretta sarebbe di effettuare una misura con $I \approx I_m$ (ma si evita)

Speciamente con rotore ad aquilli sarebbe da modificare la posizione angolare del rotore in un passoolare: si blocca il rotore in una posizione intermedia tra il max e minimo oppure si fa la media di più misure col rotore in posizioni diverse.

$$P_{oc} = (R_1 + R_{12})I_{ac}^2 + P_{Fe}^{loss} + P_{Im} = 0 \quad \text{per } I_m$$

Dalle letture di V, I, P si ricavano $R_1 + R_{12}$ (con R_{12} in g-vez in eccesso per pot. dissipato nel ferro del rotore), componenti della Z_{ac} (R_{eq}, X_{eq}, I_{ac}). Poi si riportano alla temperatura voluta e alla tensione nominale:

$$Z_{20^\circ} = \frac{V}{\sqrt{3} I} \quad R_{eq} = \frac{P}{3I^2} = R_1 + R_{12} \quad X_{eq} = \sqrt{Z_{20^\circ}^2 - R_{eq}^2} = (X_1 + X_{12})$$

$$Z_{75^\circ} = Z_{20^\circ} \cdot K_t$$

$$I_{ac} = \frac{V}{\sqrt{3} Z_{75^\circ}} \quad \cos \varphi_{ac} = \frac{R_{eq75^\circ}}{|Z|_{75^\circ}}$$

Dalle misure di resistenza: $R_{120^\circ}, R_{20^\circ}$

$$\Rightarrow R_{1220^\circ} = R_{eq} - R_1 \quad \Rightarrow R_{1275^\circ} = a^2 K_t \cdot R_2$$

Dai dati della prova a vuoto e a rotore bloccato si costruisce il diagramma circolare che può essere semplificato (Heyland)

• più corretto (Ossanna)

\hookrightarrow Scegliendo una scala per le correnti I (A/cm) si definisce anche una scala per le potenze P [W/cm] = $\sqrt{3} V_m [I]$. \oplus

Dal diagramma poi si possono ricavare $I_1, I_{12}, \cos \varphi_{12}$.

\hookrightarrow MA: M e S non sono attendibili se ricavati dal diagramma e per questo si usano metodi algebrici

\oplus Si trova anche la scala $C = \frac{[P]}{1,03 \text{ m}_s} \left[\frac{\text{Kg m}}{\text{cm}} \right]$

Per conoscere meglio il funzionamento a regime si misurano vari valori con l'ausilio di un freno e si calcolano vari parametri, tra cui s e m .

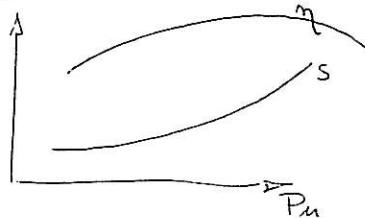
Ese:

	I	$\cos\varphi \Rightarrow P_{\text{ass}} = \sqrt{3} VI \cos\varphi$	$P_{\text{Fe}} = P_o - P_{\text{maz}} + P_J$	$P_J = 3 R_{12} I^2$	$P_{\text{add}} = \frac{0,05}{100} P_m \left(\frac{I}{I_m}\right)^2$
1	400	0,829	226,9	2,51	6,62
2	300	0,857	169,2	"	3,75
3	200	0,805	105,9	"	1,67

$P_{\text{rest}} / \text{totale}$

	$P_{\text{rest}} = P_{\text{ass}} - P_{\text{Fe}} - P_J - P_{\text{add}}$	$P_{\text{rest}} = 3 R_{12} I^2$	$P_{\text{maz}} \text{ cost}$	$P_{\text{utile}} = P_{\text{rest}} - P_{\text{rest}} - P_m$	M	$S = \frac{P_{\text{J}}}{P_{\text{rest}}} = \frac{3 R_{12} I^2}{3 R_{12} I^2 - S}$
1	216,7	11	1,25	204,45	90,1	5,07%
2	162,9	5,9	1,25	"	92,5	"
3	101,5	2,3	1,25	"	"	2,27%

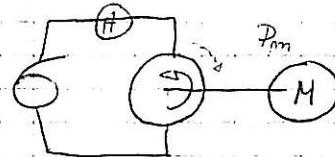
I valori calcolati poi si diagrammano:



Metodo a scorrimento 2:

se rot. bloccato $s=1$; $s=2$ quando ruota al contrario
rispetto al campo magnetico, bisogna forzare
variate alimentaz. e un
motore. Alim. a N ridotta \Rightarrow C' è un
ridotto.

E' difficile individuare P_e e P_J
con gabbia chiusa.



$$s=2 \Rightarrow R_{12} \frac{1-s}{s} = -\frac{R_{12}}{2} \Leftarrow \text{c'è ass. di potenza}$$

e confrontare una R complessiva $\frac{R_{12}}{2} \Rightarrow$ la parte elettrica
che è metà di quella vera.

\hookrightarrow le perdite sono maggiori perché essendo f delle f.m.m.
 $= 100\text{Hz}$ l'effetto Joule aumenta 6 Joule.

Ma il motore fornisce pot. che è compresa P_e
perdite Joule che non si conoscono (di rot.).

$$P_e = P_{Js,at} + P_{add,s} + \frac{P_{J,rot}}{2}$$

Hp: P_J non risentirà
del cambiamento
di frequenza

$$P_m = (P_{mecc}) + P_{as} + \frac{P_{J,rot}}{2}$$

\bigcirc = noti

Per conoscere P_{mecc} serve un motore tarato.
Facendo la differenza:

$$P_e - P_m = P_{Js} - P_{mecc} + P_{as} - P_{as}$$

Per det. P_{as} con rotore a gabbia (non si può fare l'alim.
in continuo sulla gabbia) si apre il motore, si tolga
gli scudi e il rotore. "Prova a rotore sfilato".

\hookrightarrow Ora non c'è più il circuito magnetico, se alim.
con 3fase riesce ad ottenere I_m otterrei
 P_{as} (avendo rimontato gli scudi dei cuscinetti che sono
sedile delle P_{as} maggiori).

\hookrightarrow Alla fine restano note P_e e P_{as} .

N.B. L'errore di uno strumento servirebbe usato sempre
su tutte le prove viene annullato dalla differenza:
si hanno misure CORRETTE.

Non è un metodo da consigliare in sede di
collauda, ma ha senso in sede di sviluppo.

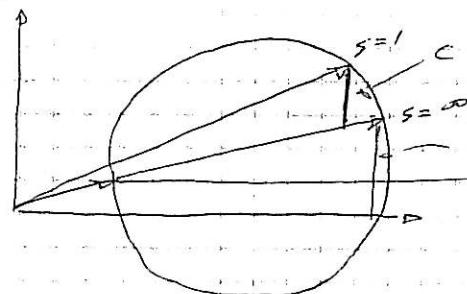
Sono presenti anche perdite $P_{e,pa}$ ai campi
armonici.

Rilievo delle caratteristiche di copia del variazione delle velocità (interesse pratico).

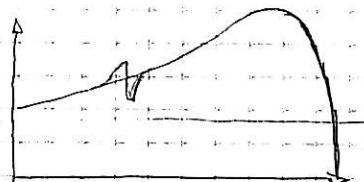
↳ Dal diag. circolare:
(con H.P. di linearità)

Si rileva una C che sarebbe di spunto.

MA: nella realtà la C di spunto è più alta e dovrebbe indicare una misura in A.T.



(con un freno adeguato e un'alimentazione spunto si può fare la C misure spettivamente (non do pare in fatto)).



↳ Evitare gli insabbiamenti in sede costruttiva per non rischiare imponentamenti.

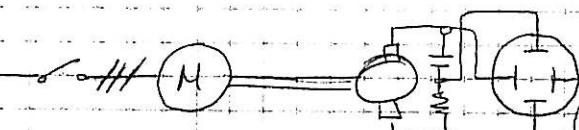
Per rilevare B e C → metodo di accelerazione:

$$C_m = (r + \frac{J}{dt} \frac{dw}{dt}) \quad \text{se } C_2 \text{ trascurabile}$$

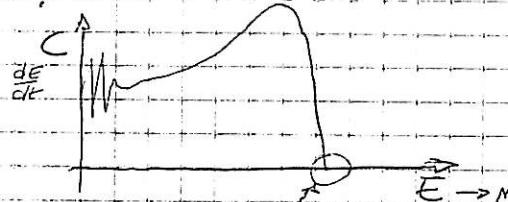
(motore avviato a vuoto)

$$C_m = \frac{J}{dt} \frac{dw}{dt} \quad \text{determinando accelerazione } \frac{dw}{dt} \text{ si trova } B \text{ e } C_m.$$

Si usa una dinamica tachimetrica



① Se si ha un oscilloscopio analogico:
tratta rappresentazione X/Y



sulle scale sulla verticale
si realizza un circuito
che fa la derivata di E

c'sono molti elementi di
disturbo:

tutte le perdite sono amplificate dalla derivazione

È un buon sistema qualitativo

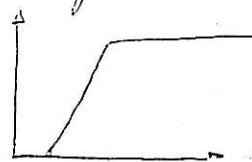
Per avere valori quantitativamente validi
servirebbe il J.

↳ OPPURE: si usa lo C_{max} del diag. circolare per tarare il sistema. Ma c'è sempre un

rischio di stima.

② Se si usa un oscilloscopio digitale:

La tensione in uscita delle dinamico.



Il tempo di campionamento
è da frazioni di sec ad
aluni sec. → buon campionamento.

Dal vettore dei valori campionati traco l'asse
del grafico, facendo $E_{m1} - E_m$ trovo la
derivata che fruisce l'asse delle ordinate.

MA: non è facile da realizzare e si ottengono
valori non molto vicini dovuti al rumore e
facendo la derivata ha problemi.

→ Sarebbe meglio usare oscilloscopi a basso rumore
o a "sovra campionamento" (Hi-RES)

Se si campiona a $f = 5 \div 10$ f necessarie quindi
i campioni memorizzati nel vettore
accessibile sono la media dei valori
campionati. In questo modo si contribuisce
ben alla pulizia di registrazione.

MA: Se in un convertitore a 8 bit (sistema)
si ha un valore a metà tra
il scatto di livello e la del
rumore facendo la media si
può ottenere una stima che
è a metà strada tra i codici.



→ Hi-Res: si aumenta la risoluzione riducendo
il rumore e attivando i livelli intermedi
dei codici disponibili → segnale + pulito
e derivato migliore.

Altro vantaggio è che non servono circuiti
desivatori.

Potrebbero essere usati dei filtri passa-basso

Esempio: Motore $f = 50\text{Hz}$ $P = 200\text{ KW}$

$n = 950 \text{ giri}$ $U_m = 380\text{V}$ $V = 420\text{V}$ $I_m = 380\text{A}$

N.B. Motore da 380 visto a 400: aumentano la P

Motore da 400 visto a 380: c'è diminuzione
di C del 10% che può essere problematica.

Se le gabbie adesso è dotata di "soft starte" che riduce la V in partenza per ridurre il I di spunto, ma non permette la partenza a carico.

Prova a ruota

Alim. a V variabile $V = 380 \div 400V$ e decrescente poi fino a $120V$ (30%) per scaricare le perdite.

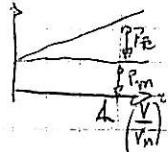
$I_o = 36,8A \rightarrow$ misurato con macchina un po' frena come se avesse carico.

$$P \rightarrow P_m = -1,25 \text{ kW} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{valori robusti a } V_m \text{ riavvati dal} \\ \text{grafico su scala quadratica} \\ \text{realizzato con più misure} \end{array} \right.$$

$$P_{Fe} = 2,51 \text{ kW}$$

$$t_0 = 20^\circ C \quad R_1 = 0,0115 \Omega/\text{fase}$$

$$R_2 = 0,029 \Omega/\text{fase}$$



Essendo questo un rotore avvolto (si è misurato R_2) si deve calcolare rapporto:

- apre il rotore e lo blocca
- alimenta statorc $V = 380V = V_m$
- misure tra fasi rotorie $\rightarrow 425$

$$\frac{V_1}{V_2} = 0,894 \quad \begin{array}{r} 425 \\ 425,5 \\ 425,1 \\ 425,9 \end{array}$$

$$V_2 = 380V \quad V'_1 = 336,6$$

alimenta rotore

$$\frac{337}{335,8} \Rightarrow \frac{V'_1}{V'_2} = 0,885$$

essendo la macchina grossa è modesto ($\approx 1\%$).

La stima migliore del rapporto α è

$$\alpha = \sqrt{\frac{V'_1}{V'_2}} = 0,89$$

$$\text{e rapporto dei 2: } \frac{V'_1}{V'_2} \cdot \frac{V_2}{V_1} = 1 - \delta \Rightarrow \delta = 1\%$$

L'errore commesso nella stima è $< 1\%$, quindi si potrebbe fare diag. circolare semplificato.

• Prova a rotore bloccato:
alimenta con $20 \div 30\%$ V_m

$$P = 18,6 \text{ kW} \quad V_{(\text{media})} = 120V \quad I = 420A$$

Sarebbe conveniente spostare il rotore e fare più misure per considerare il valore minimo delle C per dare garanzie (questo poiché la car. magnetica può dipendere dalla posizione).

Trava devoluti del circuito:

$$Z, R_{eq} \rightarrow X K e R_{eq75^\circ} \rightarrow R_{eq75^\circ} X \rightarrow Z_{75^\circ}$$

$$Z = \frac{120}{0,3} = 0,165 \Omega \quad X = 0,161 \Omega$$

$$R_g = \frac{18600}{3 \cdot 420^2} = 0,0351 \Omega \quad K = 1,216$$

$$R_{eq75^\circ} = 0,0427 \Omega$$

$$Z_{75^\circ} = 0,167 \Omega \quad \cos \varphi = 0,256$$

$$I_{cc} = 1314 \text{ A}$$

Soluzione del circuito:

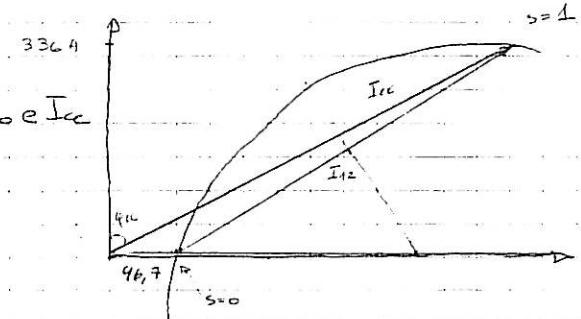
① Diag. circolare:

scalo scalo andando a guardare I_a e I_{12}

$$I_a = \frac{P_{Fe}}{V_3 V} = 3,81 \quad [I] = 50 \text{ A/cm}$$

$$[P] = 32,9 \text{ KW/cm}$$

$$C = \frac{32,9}{1,03 \text{ ms}} \text{ Kgm/cm} = 31,9 \text{ Kgm/cm}$$



Il p.t.o a $s=2$ non è molto diverso da quello a $s=1$, quindi $I_{s=2}$ è come I_a .

$\Rightarrow Z_i$ è considerabile pari a quella a rot bloccato

Lm, 15-11-99

Dal diag. costruito si prendono: I_1 , $\cos \varphi$, I_{12}
per fare i conti. $V = 380 \text{ V}$

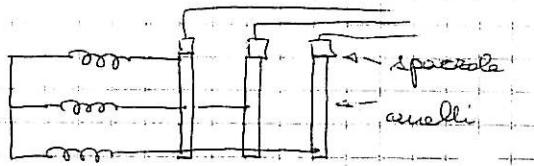
I_1	$\cos \varphi$	I_{12}	$P_a [\text{kw}]$	P_{Fe}	P_J	P_{add}	P_{rot}	P_m	$3R_{12}I_1^2$
400	0,829	262	226,8	2,51	6,62	1,05	216,7	1,25	11
300	0,857	265	168,2	2,51	3,75	0,59	162,4	1,25	5,9
200	0,805	1,65	105,9	2,51	1,67	0,25	101,5	1,25	2,3

$$R = 13,3 \text{ m}\Omega \quad P_{stat} = 3R_{12}I_1^2 \quad P_{add} = 0,5 \cdot 10^{-2} \left[\frac{I}{I_m} \right]^2$$

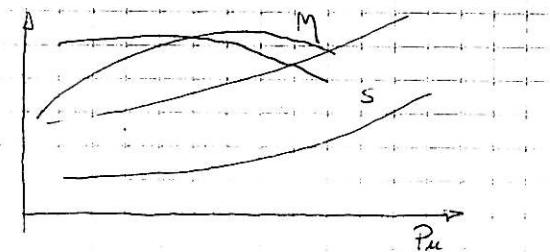
$$P_{rot} = 216,7 = P_a - P_{Fe} - P_J$$

$$R_{12} = 29 \cdot 10^{-3} \cdot 1,215 \cdot a^2 = 28 \text{ m}\Omega$$

Sono da tenere conto anche le
dissipazioni relative potenze
dissipate. Se c'è un relé adatto
non c'è bisogno.



P_m	M	$i \cdot s = P_d$
204,5	80,1	5,07%
38	92,5	2,27%

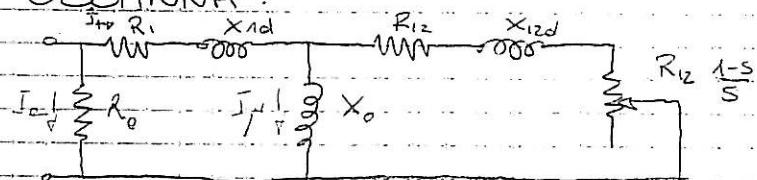


e diaframmati: M , S , $\cos\varphi$, I_m

Problemi per R_{12} : Si usa la R_{12} della prova di corto
dove si è scorporato la R , ma si paga
peso.
Si esegue la prova con un freno

• Con $|Z_0| > |Z_{accl}|$

OSSANNA:



$$X_0 = j2,27$$

$$R_{125} = 0,0139 \text{ m}\Omega$$

$$R_{1275} = 0,028 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{accl} = 0,167$$

$$X = 0,161$$

$$X_{1d} = j0,081 \quad X_{12d} = 0,080$$

Essendo che qui l'unico parametro è s obbligo
si ricavano I , P e andando a ritorno

$$Z_{12} = \frac{0,028}{0,15} = 0,56 + j0,480 \quad \text{con } s = 0,15$$

$$\begin{aligned} Y_{12} &= 1,75 - j0,25 \\ Y &= -j0,4505 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} Y_0 &= Y + Y_{12} = 1,75 - j0,163 \\ Z_E &= 0,4944 + j10,195 \end{aligned} \right.$$

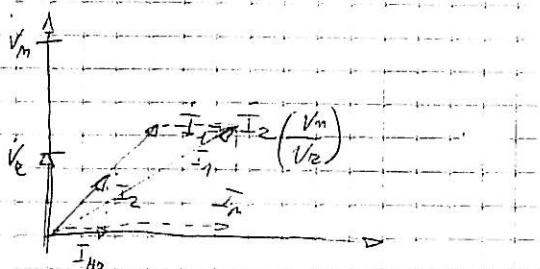
$$\begin{aligned} \left| Z \right| &= 0,578 \quad \Rightarrow I = 379,2 \text{ A} \\ &\text{e } Z = 0,508 + j0,276 \end{aligned}$$

$$P_a = 219,2 + 2 + 2,51 = 2422,7$$

il sistema è semplice
anche se un po' complesso
all'inizio.

$$\rightarrow P_d = P_m \left(\frac{V_m}{V_e} \right)^2 \quad (\text{Ridotto})$$

$$I_m = I_{m2} \left(\frac{V_m}{V_e} \right)^2$$



Ma per vedere la non linearità
si usa la prova a vettori a pieno

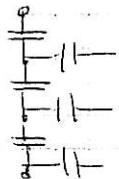
tensione, ma si rischia di avere $I_p >$ quella calcolata con il rapporto.

Ma il rapporto tra la pot. attiva \Rightarrow si prevede la I_p delle prove e da I_1 , si appurano l'incremento trovando la I_1 che tiene conto della (I_p) non linearità. E' un sistema che è meglio di niente.

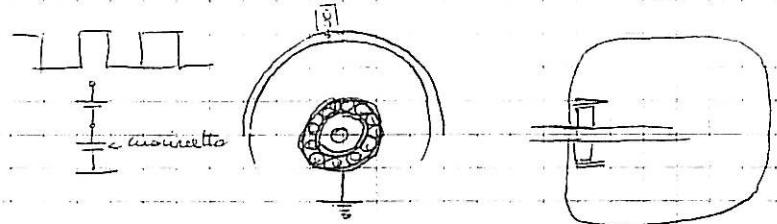
• MOTORI IN C.C.

- Ad elevate frequenze (convertitori PWM) la corrente passa negli accoppiamenti capacitivi dove c'è una distribuzione che dipende dalle dim. delle cap. derivate

Per vedere tutta la tensione sulle spire iniziali in condizione di commutazione, quindi l'andamento si trova in una condizione anomala.



- L'isolamento tra le 2 ghiere sui cuscinetti (dentro o grasso) se si fa con un trasformatore rapido si ha ripartizione delle tensioni sulle sup. del grasso e si rischia di avere perforazioni dello strato di grasso \Rightarrow scarico



In poco tempo queste possono fare fuori i cuscinetti. Ci possono essere anche disturbi in frequenza.

Si potrebbero attenuare questi problemi aumentando la ripetizione dei fronti e mettendo in uscita dell'inverter un filtro.

- Se il campo delle variazioni di frequenza è ampio ci possono essere surriscaldamenti perché la ventola è alimentata a f. costante.

$E = K \phi m$ aumentando $f \Rightarrow m^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \phi \uparrow$ a $E = \text{cost}$
(Le perdite non sono dette che diminuiscono)
e si usa meno il circuito magnetico

Si può pensare di tirare su la tensione con ϕ , C uguali.

MA: se alimenta a $f < f_0$ $E \downarrow$ e quindi a $E = \text{cost}$ si trova ϕ molto maggiore.

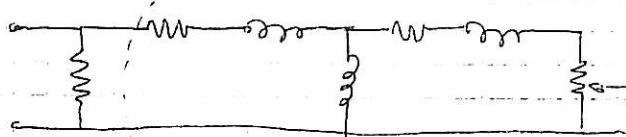
Gli inverter adattano la tensione in uscita con le variazioni di f .

\Rightarrow c'è la necessità di calare E con f .

NUOVALENTE ASINCRONI

Con Ossanna:

↳ contributo perdite
modesto rispetto
alle magnet.



$$R_{12} \frac{1-i}{s}$$

$$S = \text{opp. chiavi totale}$$

Per motori asincroni con risoluzione grafica:

$$D = \frac{2(1-S)}{S + 2^2} \frac{V_1}{2X_1} \quad \begin{array}{l} \text{tensione} \\ \text{stato} = E \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Per circ.} \\ \text{a dx} \end{array} \right\}$$

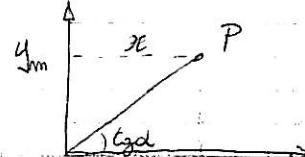
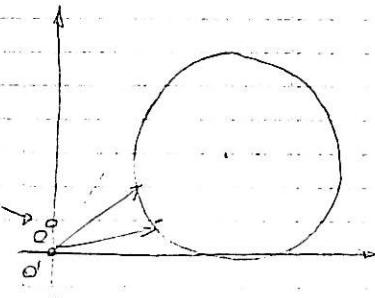
$$X_m = \frac{1+S}{S + 2^2} \frac{E}{2X_1}$$

$$Y_m = \frac{2S}{S + 2^2} \frac{E}{2X_1}$$

$$\Sigma = \frac{R_1}{X_1}$$

$$X_1 = X_{1d} + X_{0d}$$

Con passo
a dx si
sposta il polo



$$\tan d = \frac{y_m}{x_m}$$

Il centro ore è su una retta inclinata:

$$\frac{Y_m}{X_m} = \frac{2\Sigma}{1+S} \approx 2\Sigma = 2 \frac{R_1}{X_1} = \frac{2R_1 \cdot I_0}{E} = \tan d$$

e si calcola con misure di resistenze
• Prove a vuoto.

Ripetendosi alla risoluzione semplificata l'errore
che si commette:

$$\eta = \Theta \left[\frac{1}{2} + \left(\frac{R_1}{X_{1d} + X_{0d}} \right)^2 \right]$$

Per motori grossi: a pieno carico $S \approx 1$: e
quindi basta realizzare un'analisi
solo dell'ultimo tratto della circ.

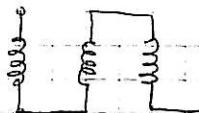
↳ Servirebbe un grande puro



Mart, 16-11-99

- Si deve fare una verifica sulla giusta disposizione delle polarità, si esegue con una barretta di ferro dolce (o bussola).

↳ Ma deve esserci magn. residuo.



- Tutti i trasferri devono essere uguali: Per si verifica con un calibro.

- Macchine di tipo laminato: carcasse in laminazioni

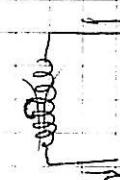
↳ permettono il ristabilimento del regime

- Se ho 2 spire in corto: $L = \frac{N^2}{R}$

c'è una f.e.m. indotta

→ corrente che tende a ridurre la causa che la genera

↳ è come un T di trasf. on azione suonatore che dipende dall'accoppiamento ed è più importante di una semplice diminuzione del n. di spire.

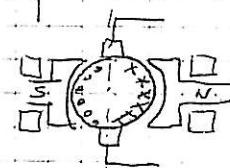


- Per scoprire il corso delle 2 spire: l'assorbimento di corrente è molto maggiore della sola corrente di magnetizzazione.

↳ Questo si vede solo con f.alternati e quindi serve ovvero le macchine laminate funziona in c.c.

- Va curata la posizione dell' ASSE NEUTRO per minimizzare lo scintillio delle spazzole (IMPORTANTE!)

↳ Si può per funzionare come gen. eccitando e cercando il max delle tens. in uscita: si sono separati i conduttori di una f.e.m. e di quelli di segno opposto.



↳ MA: serve una elevata sensibilità, quindi è una tecnica poco usata.

OPPURE

↳ Si cerca una f.e.m. indotta per via trasformatrice introducendo a mezz'arco feduna una perturbazione nell'eccitazione (OFF-ON-OFF) ↳ ΔΦ → f.e.m. ind. che cambia segno quando si passa dall'influenza di una via all'altra spostando il rotore a mano.

Usando uno str. magnetoelettrico (a centrali magnezi), anche un multimetro.

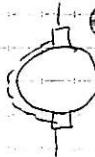
OPPURE: sfruttando la assimmetria nelle macchine nuove o smagnetizzate (avendo alimentato facendo diversi cicli sempre più piccoli \rightarrow)

L'asse neutro è anche asse di simmetria magnetica se le macchine sono smagnetizzate non c'è interazione tra indotto ed eccitazione (che non c'è).

Se le spazzole sono fuori asse nasce una forza che tende a far partire la macchina perché c'è una interazione.

Si girano le spazzole fino ad ottenere che il rotore si metta in moto.

Se la macchina è per V alto e le spazzole scintillano è possibile ovvero una scarica lungo il rotore che mette in moto la macchina.



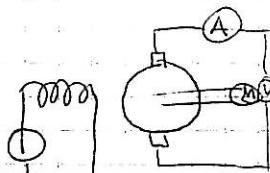
Prova a ruota

Possono essere più di una perché la macchina può essere specificata per vel. diverse.

P_m e P_{ee} da ricavare.

Rilievo delle caratteristiche a ruota:

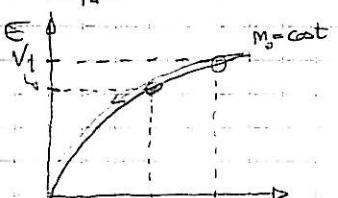
si collega l'eccitazione della m. e la si alimenta con ecc. e parte con batteria (per corrente costante)



Se funziona come gen. fornisce P_m e P_{ee} .

Usando un motore tarato:

eccito e metto in moto con questo $\Rightarrow P_{ee}$ assorbito è $= P_m$.



OPPURE:

Sia che la macchina sia gen o motore la faccio andare come motore facendole girare da sola (a ruota)

\rightarrow Si prende la linea dell'avve.

$\therefore V = E + RI \approx E$ (perché a ruota $I = \text{piccolo}$)

Forisco V_i e agisco nell'ecc. controllando la vel.

di rotazione (ma cambia $\phi \rightarrow C$! attenzione!)

↳ la coppia di spunto fa assegnare I elevata, quindi si regola con un reostato.

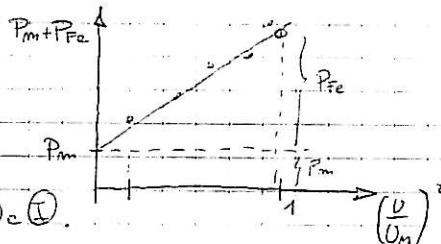
Porto la macchina a m giri che si desidera:

regolando alim. andando ad aumentare V e aumentando ecc. (per restare a $m = m_0$)

V	P_{min}	P_{Fe}	P_m

↳ Serve regolazione monotona: ecc. di più la macchina corre meno, mentre con V la macchina accelera, quindi la difficoltà è difficile procedere con regolazione monotona (salendo solo o scendendo solo con ecc.).

Poi si rilevano P_{Fe} e P_m che è sempre costante.



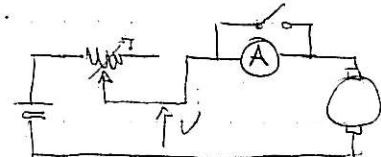
↳ Si grafica con scala quadratica

↳ P è dato da $V \times I$ con misure (V, I) .

• E' bene uscire prima e dare V dopo.

• Lo va fatto in modo controllato.

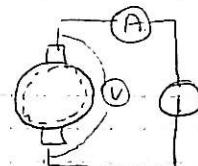
↳ L'(A) è bene inserirlo in II momento
→ aprire un contatto (è una sluit con (m))



• Misura di resistenza → R_f

↳ Problemi sul rotore che ha delle vie interne e cui si eccede solo con le spazzole ⇒ misura su queste:

$$R = \frac{V}{I}$$

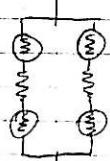


MA: le spazzole sono non-lineari e così include nella misura la res. delle spazzole per quelle det. I (e in genere sovastimata).

↳ si potrebbero togliere le spazzole e mettere del rame segnato, ma non conviene

⇒ Si misura sulla canella del collettore così si trova una R dell'indotta migliore.

MA: le spazzole possono intervenire in modo inaspettato, infatti se le vie hanno R basse le res. dei contatti spartiscono la corrente in modo diverso.



↳ Sarebbe giusto fare la media delle I .

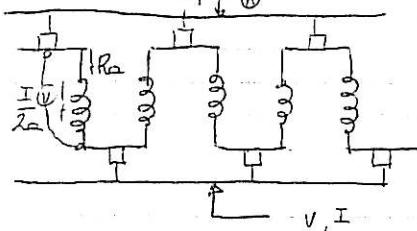
Oppure: si può cercare di mettere le vie in serie

N.B. In servizio comunque non ci sono molti problemi di ripartizione delle correnti: δ diff. è < 10%.

Con più vie in //:

se le spazzole non influenzano la ripartizione

$$V = R_a \cdot \frac{I}{2a}$$



$$2a = 2p$$

$$\Rightarrow \frac{V}{I} = \frac{R_a}{2a} < \text{Res single via } R_a$$

se sollevo tutte le spazzole si passa ad un. elettrico da ondulato (togli le molla che premano sulle spazzole).

Si formano 2 vie: con res. a R_a :

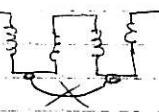
$$V = a R_a \cdot \frac{I}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{I} = a R_a \quad \text{cioè} \quad \frac{a R_a \cdot 2a}{2} = a^2 R_a$$

quindi per avere una migliore misura di res. feci così, poi divido per a^2 e trovo la resistenza cercata.

$$\text{Poché: } \frac{V}{I_{\text{serie}}} / \frac{V}{I_{//}} = a^2 \Rightarrow \frac{V}{I_{//}} = \frac{V}{I_{\text{serie}}} / a^2$$

MA: non si connettono 2 camelle!! perché le sono già saldate.



Per controllare l'esistenza dei col. equipot. si vede se le R tra 2 camelle (un semiasse polare) e quelle tra 2 p.ti diametrali.

Generalmente il funzionamento dello macchinario è legato all'azionamento e ai suoi circuiti.

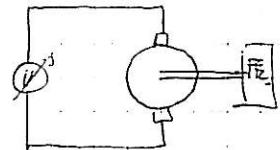
Det. CURVE CARATTERISTICHE: p. 112

Dalle curve caratteristiche si pesano V , I , perdite

(1) MEIOP \rightarrow Vanno ricavate $n = \text{cost}$ \rightarrow generatori
DIRETTO \rightarrow $V = \text{cost}$ \rightarrow motori

simulando il funzionamento su vari carichi (es. batterie; inverter che alimenta qualcosa, ecc.)

Nei motori serve un freno,
magari a recuperio.

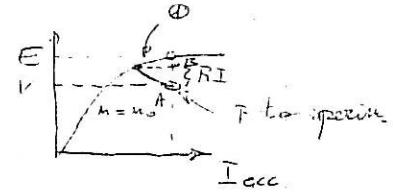


↳ adattato al tipo di macchina.

Se motore è lento serve un moltiplicatore di
giri a M. moto (molto costoso) per adattarlo
al freno eletromagnetico.

II METODO INDIRETTO

In genere si vuole in Hp. di linearità
generatore partendo dalla car. di eccitazione.



Serve almeno 1 p.t.o a carico nominale.
con ecc. cost. a $M = M_0 = \text{cost.}$

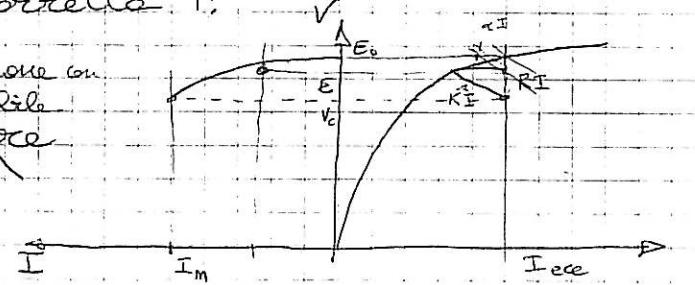
$$V = E + RI \quad \rightarrow \text{con } V + RI \text{ non arrivo allo } E \text{ che mi aspetto con quelle eq.}$$

↳ la reazione di indotto mi ha fatto trovare
una ecc. <.

↳ TVCS l'eccitazione. forse in ① e posso trovare
che $I_{\text{exc}} - I_{\text{exc}1} \equiv \alpha I$ e per i carichi
alti lo stima è corretto.

$$A - ① \equiv I \Rightarrow \text{costruzione su } I \text{ variabile}$$

con seg. // vuol a trovare
il triangolo con il lato
pari a metà di prima
↳ si è trovato la V
in uscita.

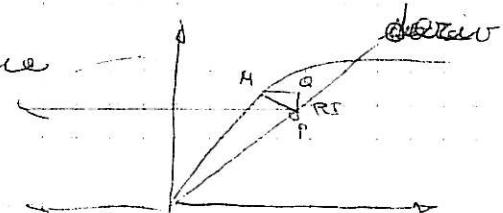


$$M_S = \frac{60}{f}$$

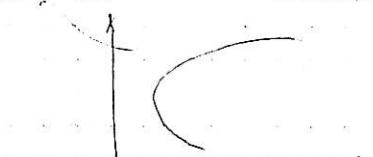
In continuo servono dei reostati a filo
per dissipare la potenza.

Lun, 22-11-99

A variazione del circ. di eccitazione
si hanno car. diverse



↳ A partire da un punto
conosciuto si ottengono freno
a corrente differente andando
a guardare lo spostamento del
triangolo (es. $I_a \rightarrow \text{HP metà}$)

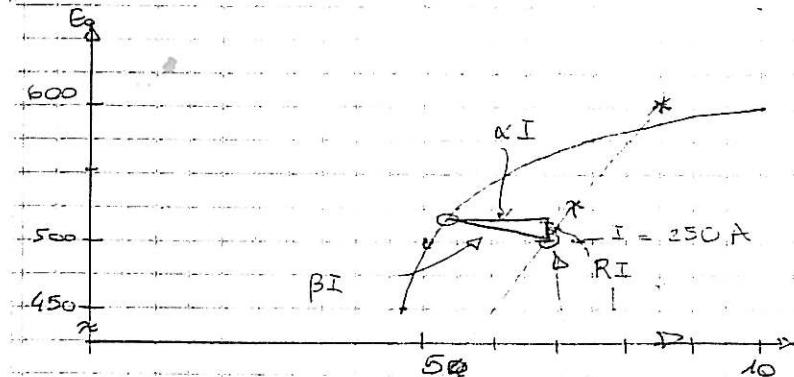


es: 130 KW 500 V 300 giri

m	V	I_{exc} g
900	450	4,59
500	4,85	
520	5,160	
540	6,50	
560	7,40	

ecc. ind.

m	V	I_{exc}
900	580	8,50
"	600	10,0



$$R_{ecc} = 70,0 \Omega$$

$$R_{ind} = 0,0327 \Omega$$

$$I = 250 \text{ A}$$

$$V = 500 \text{ V}$$

$$I_{ecc} = 7,14 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} V = 600 \text{ V} &\rightarrow 8,57 \text{ A} & \text{p.t.o a} \\ 400 \text{ V} &\rightarrow 5,71 \text{ A} & \left. \begin{array}{l} \text{fetta carico} \\ \text{di carico} \end{array} \right\} \end{aligned}$$

Aggiungendo la caduta $\Delta V = 8,17 \text{ V}$ troverei una f.c.e.m. che va come se la reazione d'ind. fosse indebolita.

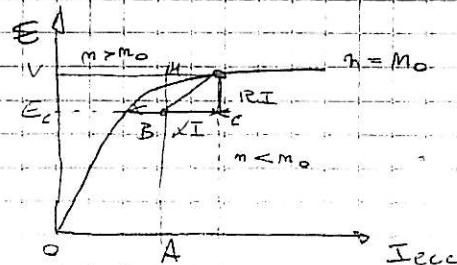
Sapendo che $B_I = 3 \text{ cm}$ per 250 A , trovo che per $B_I = 1,5 \text{ cm}$ $\rightarrow 125 \text{ A}$ e identifico le caratteristiche di carico.

Per i motori la variazione da vuoto a carico comporta riduzione di velocità \rightarrow si devono vedere le caratteristiche meccaniche.

Deve essere noto gli elementi elettrici (R , reazione di indotto) trovandosi almeno un p.t.o a carico trattando il mot. come generatore det. α .

$$V \approx \text{cost} \rightarrow V = RI + E_e$$

Hip. dispongo della car. a vuoto
conosco B e R



A carico si taglia R_I (f.c.e.m.) e si come.

La reazione è diminuita \rightarrow si trova $\alpha \propto I$ (nota I , I misurata).

\rightarrow Non si torna sulla caratteristica meccanica togliendo la reazione d'indotto \rightarrow questo perché la car. a vuoto era per $m = m_0$ e qui si trova su un'altra car.

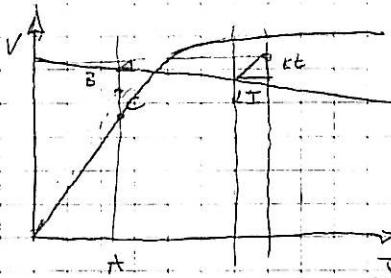
\rightarrow Prendendo AB e AM: $m = \frac{m_0}{AM} \cdot AB$
e quindi la meccanica non più piatta.

In pratica: V tensione di alimentazione del motore a vuoto. A carico come dinamo tra B misurando E_c , $I_{ecc} = 0 \text{ A}$. Portandosi orizzontalmente da B in C trova d I e conoscendo anche I calcola d. Da $m = \frac{AB}{AM} \cdot m_0$ scopre la nuova velocità.

• Per eccitazione serie:

gestendo la macchina senza carico (\approx piccola) le vel.:

$$M = \frac{m_0 \cdot A_C}{AB} \rightarrow \text{met. va in perza se non controllato.}$$



• In conclusione si calca il m :

P_{re} , P_m (possono essere \neq per giri \neq), P_f

↳ se $V = DC$ ottenuta roddirizzando non c'è reostato

• se c'è reostato si considerano anche le perdite

$P_{odd} \rightarrow 0,5\% / 1\%$ se macchina compensata a mezzo

Sparante: trattate come el. non lineare e cui conduttori sono considerati costanti (si cerca di bypassare il più possibile) $\approx 0,3 V$

↳ metalgrafite, carbone (meglio x commutazione)

Il m è poi graficato.

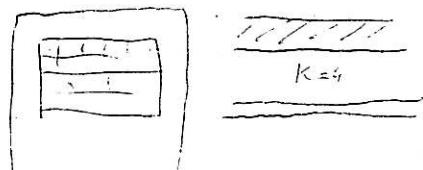
MACCHINE SINCRONE p. 124

↳ tafie grosse, generalmente sono generatori.
Raffreddamento: ad idrogeno

Sono motori di lancio.

Le tensioni in uscita non sono mai elevatissime.

Isoleamento: la cost dielettrica ≥ 4
quindi con un po' d'aria
c'è un campo dovuto
che sfida sull'aria



↳ tutta la parte esterna dell'avvolgimento è metallizzata
cortocircuitando l'aria.

$Z_m = \frac{V^2}{P} \rightarrow$ le V basse e P elevate, quindi
 Z_m è molto bassa perciò
è difficile fare prove alimentando
dall'esterno.

\Rightarrow sono carichi difficili

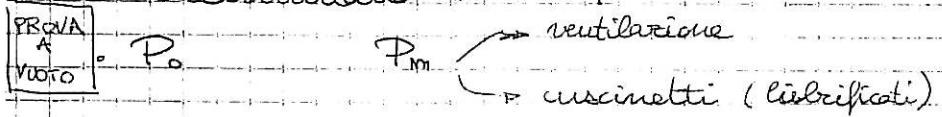
$$S = 200 \text{ MVA} \quad 20 \text{ KV} \rightarrow I_n \approx 7200 \text{ A} \quad Z_m = 1,32 \Omega \quad \text{N.B. 25-11}$$

$$\hookrightarrow S = 7000 \text{ mm}^2$$

ci può essere una caduta di tensione vuoto/carico del $20 \div 30\% V_m$.

Le correnti devono ridurre connessioni appropriate con sbarre e comportano campi magnetici.

Si determinano:

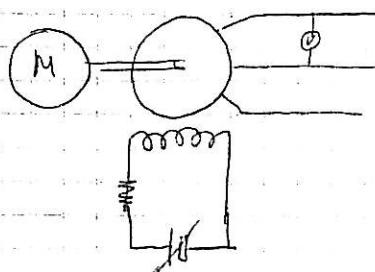
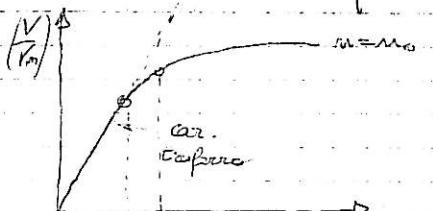


P_{fe} P_{add}

Serve un'eccitatrice che influenza sul calcolo del M .

caratt. a vuoto per $m = M_0$

di traferro: grandezza non saturo

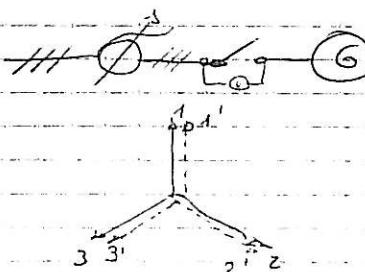


Si trascina con motore primo e si usa una shunt per misura di I_{ec}

D) Un motore tarato possa avere direttamente P_m e P_{fe} , da f. m. con e senza eccitazione.

2) Se non si ha un motore tarato si usa un motore normale per l'avviamento e poi si fa funzionare B in sincrone come motore facendo così assorbire P_m . Se cambia B tensione si sposta lungo la caratteristica (come macchine DC).

N.B. Il generatore deve essere ~~connesso in parallelo~~, quindi si deve chiudere l'interruttore quando B muovendo finisce una terza di (10 KV) valore uguale e in fase con la terza del regolatore (muovendo eccitaz.).



Lo inserendo un O su ciascuna fase in // con l'interruttore si deve chiudere quando segnali tutti zero.

Se si cambia ora l'eccitazione ~~dopo~~ aumentare o diminuire la f.m. unita, con scambio di corrente limitata dall'impedimento interno. (sottoacc. \rightarrow motore; sovraacc. \rightarrow gen)

Le perdite ora le posso misurare dalla pot assorbita dalla rete

\hookrightarrow MA: non è detto che ci sia un

regime univoco di correnti che permette di rimanere in rete con la rete \rightarrow ci possono essere contributi sensibili dovuti al carico.

N.B. \hookrightarrow Quindi si regola l'exc. per avere I_{ass} minimo. In modo da non avere più scambio di potenza reattiva (si regola il $\cos\phi$ con eccitazione).

\hookrightarrow Ora ho quindi le P_m e P_{fe} .

Se si regola la tensione si usa un meccanismo di extrapolazione su base quadratico.

Ora volto trovare P_m e P_{fe} si possono trovare anche P_x e P_y (magari usando 2 macchine che si scambiano potenza).

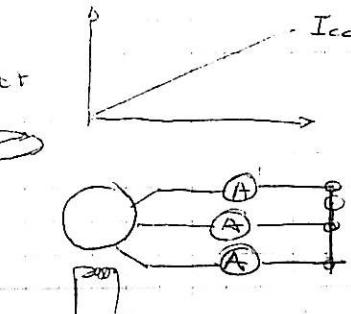
\hookrightarrow Ovviamente si considerano anche i cescinetti.

Per fare misura servono cescinetti si usa il **METODO CALORIMETRICO**.

Per le caratteristiche di c.tor c.tor trifase con TA



\hookrightarrow serve isolamento



La balizzazione della reazione d'indotto rispetto ai poli dipende dai carichi:

\hookrightarrow carico ind: reazione tende a smagnetizzare carico cap: \rightarrow a ridurr. (autoeccitazione)

Qui l'unico parametro che si vede è solo X_d perché l'asse di reaz. è sull'asse diretta

\hookrightarrow smagnetizza \rightarrow caratteristica lineare

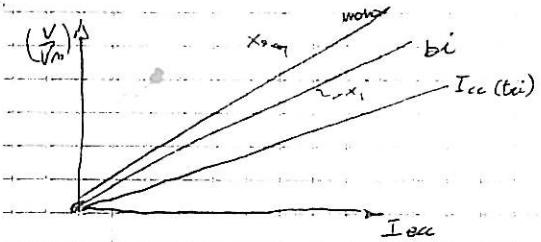
Non ci sono regimi transitori.

N.B. Con eccitaz. robusta (V_m) si ha $I_m \approx 0$ al max 2 I_m quindi si hanno correnti molto ridotte rispetto al trasf.

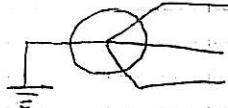
\hookrightarrow MA: con variazione brusca si ha restante sub-transitorio legato alle gabbie.

Con corto:

bifase; monofase: correnti maggiori con vibrazioni.



Il corto monofase
se CS a terra è un
conduttore di corrente
scarsa si possono
avere $I_g = 3 \div 4 I_{at}$

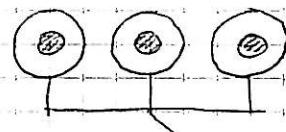


quindi si eviterebbe sfondamento del parco di laminazioni.

↳ Per cui sono da evitare le condizioni previste
mettendo il CS a terra.

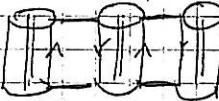
↳ Se B si deve fare si inserisce un'impedenza
sul neutro.

Il trifase è difficile che accada nelle macchine e
per evitare si realizza costruzione a "fasi
separate" → si riducono anche i
campi magnetici esterni.

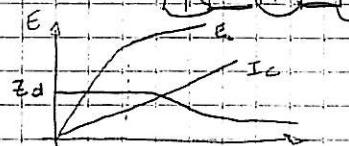


↳ messa a terra dello schermo → ferma
campo di

↳ introducendo $i = e$ contraria sullo
schermo saldato i 3 insieme
i flussi generati sommano $i \approx 90\% I_{cor}$ → riduce il
(ma ci sono perdite) campo magnetico
al 5%



↳ X_s (Reattanza sincrona) e X_{sd}
è ricavato prende funzione
nella zona iniziale.



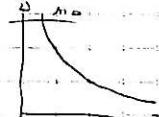
↳ MA! così si presuppone l'associazione
ad un flusso. Ma in effetti anche se
all'interno c'è un flusso di
dispersione l'effetto fondamentale di riduzione
della corrente è dovuto alla forte reazione
d'indotto allineata con l'asse diretto.

↳ Un carico attivo si ha spostamento della
reazione d'indotto, quindi non è giusto
fare la somma. Si devono scomporre
reazione e reattanza di dispersione.

↳ Le tecniche di rallentamento (iniziali) sono buone (migliori)

↳ porto la macchina a $n > n_0$ e poi la faccio
andare disattivata facendole assorbire Pm

$$C_m = C_e + J \frac{dw}{dt} \quad \frac{dw}{dt} = - \frac{C_e}{J}$$



Eccitando la P_S e poi anche P_I .

Le P_S sono le meno sensibili alle velocità perché α cala con E e quindi $I = \text{cost}$ anche se la velocità diminuisce.

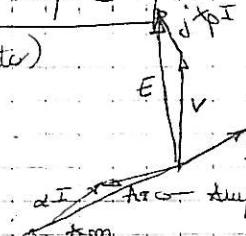
⊕ Separazione X_S e reatt. di dispersione:

• Macchina isotropa:

↳ Le amperspire risultanti (ecc + reaz indotta)

quindi da α e X_P , le caratt. a vuoto riesce a trovare A_m per avere l'eccitazione necessaria.

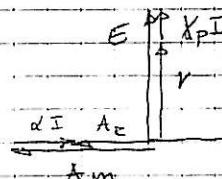
$$\text{Caratt a vuoto} = 0$$



Farendo associazione corrente puramente reattiva si può trattare tutto con legami scalari.

↳ si usa il diagramma di Pötier.

→ X_P (potier)
(con un carico induttivo.)



Avere $\alpha = 0$. magnetizzante serve eccitazione molto elevata perché circuiti saturati e flussi dispersi elevati. → situazione diversa dall'esercizio quindi la reattanza è di tipo particolare.

Si usa la var. a vuoto, 1 punto a $I < 0$ ($\approx 90\% I_m$) e 1 a $V/V_m = 0$ per $I < 0$.

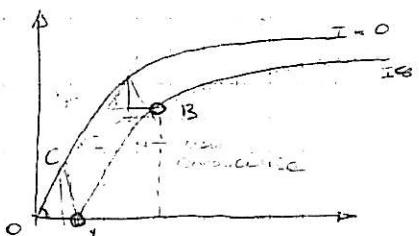
↳ Aggiungendo $X_P I$ si arriva sulla curva a vuoto, ma anche se so da dove parte lo il problema delle sanguinazioni che tira indietro l'eccitazione.

↳ Per avere tutti i dati considero il triangolo OAC di cui conoscere l'angolo $C\hat{O}A$ e lo riporto fino a B dando una det. univoca.

$\begin{cases} \text{car a vuoto} \\ \text{ar di c.t.} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{ar di c.t.} \\ \text{c.t. - c.t.} \end{cases}$

Ex: I_{ar}	E/E_m	I_{ar}/I_m
50	0,42	0,38
100	0,84	0,76
150	1,07	1,14
175	1,15	
200	1,20	
225	1,23	
250	1,25	

farendo il rapporto trovo X_S .



Usando il metodo di separazione:

$$\frac{V}{V_m} = 0,9 \quad \frac{I}{I_m} = 0,7 = i \quad I_{ecc} = 230 \text{ A}$$

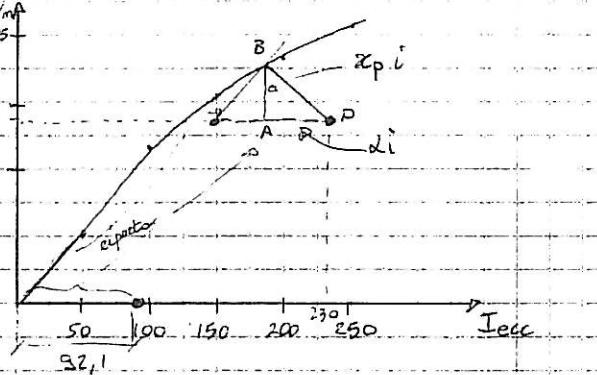
(phase a $\cos\phi = 0$)

Si deve trovare α_p su asse x .

$$I_{ecc} = 82,1 \text{ A} \quad \text{che dà in c.t.c.} \approx 70^\circ$$

$$AB = 1,11 - 0,9 = 0,21$$

$$AP = 67 \text{ A}$$



$$\Rightarrow 0,2 = x_p \cdot 0,7 \Rightarrow x_p = 0,3 \quad (\text{numero puro})$$

$$\frac{x}{x_m} = 67 \text{ A} \Rightarrow x = \frac{67}{0,7} = 95,7 \text{ A} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{carico d'indotto,} \\ \text{riflesso sul c.c. di} \\ \text{eccitazione.} \end{array}$$

• REATTANZE E COSTANTI DI TEMPO p. 135 Merc, 24-11-99

• Un quanto a piena tensione in regime, la corrente che è solo maggiore della nominale. C'è il problema dei transitori e subtransitori.

• Reazione d'indotto è sensibile al carico ed è diretta lungo l'asse diretto se puramente reattivo.

Nella prova in corto si trova una reattanza diretta perché la resistenza è trascurabile, anche nelle macchine anisotropiche.

• Come faccio a tirar fuori la reattanza in quadratura?

X_s diretta = reattanza vista dai morsetti con alimentazione trif. sim.

Se la f.m.m. si piazza in quadratura si trova la reatt. in quadratura.

Questo capito in sincronismo con flusso costante ed il flusso manca (variazione del rapporto). Induce f.e.m. in prime istanze nelle gabbie sincrotroniche che sono in corto, l'origine del per le cui ammulla la variazione. Il flusso entra nei poli e tende a fare lo stesso cose sugli avvolgimenti di eccitazione \Rightarrow nuova regime.

In queste fasi transitorie o: meglio
- subtransitorie (int. gabbie)

- transitorio (ow. eccitaz.)

La X_s è più bassa a $V = \text{cost}$ $I \neq$

Per $\text{C} \gg X_q$ prevale lo galleggiamento.

Questo sub-trans. dura qualche ciclo.

$$X'' = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \times 5 \Rightarrow \text{corrente ab. } 1,2 \text{ o } 12 \text{ A}_{\text{m}} (\text{es})$$

E' anche poco rispetto ad altre macchine
(trasf. di grande potenza).

Il transitorio dura di più, nell'ordine dei secondi.

N.B. Facendo una prova in c.to c.to si fa anche una prova di tenuta meccanica (tenendo conto degli sforzi elettroдинamici).

NORMA: si deve considerare anche lo scattante inverso, mai alimentato a tensione inversa rispetto al ~~verso~~ di rotazione.

Il trans. dura di più, nell'ordine dei secondi.

Normalmente l'interruttore apre nella fase transitoria, quindi con correnti $\approx 2 I_{\text{m}}$.

Se lo il rotore che ruota in senso contrario al campo si hanno gli effetti subtransitori.

$\hookrightarrow X_1 \approx X_{\text{sub}}$ perché gli effetti sono gli stessi.

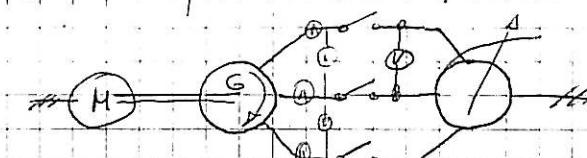
E' possibile dare una caratterizzazione pratica di questi effetti dovuti alle correnti di reazione.

\hookrightarrow Per avere una car. di sul c.trans serve una registrazione.

Metodo a piccolo scorrimento p. 143 $\rightarrow X_q$

\hookrightarrow è bene che il motore di cui sia esigente in modo da ottenere lo scorrimento minore del normale ($\leq 17\%$). Si devono curare le fasi del p.to di vista delle sequenze.

Ciudendo gli interruttori (rotore disaccoppiato) si vede uno scorrimento molto lento e i poli slittano rispetto al campo (diretto) di statore.



Cioè, anche se in leggero transitorio, si ha spostamento del circuito magnetico rispetto all'asse diretto e all'asse intersolare.

↳ L'obiettivo è di trovare X_d , X_q : se X_d trovata dalle bratt. disparece poco da questa caratt. ($\approx 3\%$) va bene, altrimenti avrebbe somma di effetti trans. e a regime che non va bene.

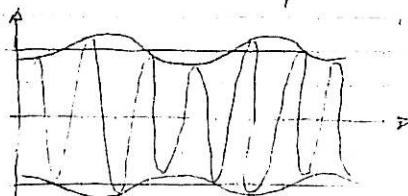
Alimentazione ridotta (20-30%) in modo da avere corri modeste.

↳ Con riferito alle az. si è sicuramente nel tratto lineare quindi trovo una X_s non statica che va bene.

$$\text{es: } V_{dc} = 0,3 \quad x = 1 \quad i = 0,3 \Rightarrow \text{serve } p = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \approx 10\%$$

Servono TA e TV: gli strumenti di rilevazione "ballano" perché si vede una R variabile, quindi si vedono min ass con asse d e max con asse q.

↳ i è a 50Hz, ma viene modulato. Se s è piccolo le variazioni sono piccole, nel caso siano grandi serve una registrazione.



↳ Il TA deve essere chiuso su una R per restare nella prestazione e non fatti saltare l'oscilloscopio!

N.B. Anche la tensione balla, ma è in quadratura con la corrente ($i_{max} \rightarrow \theta_{min}$). Dato che il regolatore è sempre piccolo rispetto a B macchina fa impeditendo non trascurabile e quindi c'è calore.
L'az. $i_{min} \rightarrow$ perdita di carica $\rightarrow B_{max}$ e viceversa.

↳ Asse quadrati: $i_{max} \rightarrow \theta_{max}$
diretto: $i_{min} \rightarrow \theta_{min}$

I minimi però non sono tutti uguali perché se c'è N del magnetismo residuo quando ci sono poli dello stesso senso opposti a chi senso questo si ha un effetto che aiuta o contrasta la corrente \rightarrow faccio la media dei 2 minimi.

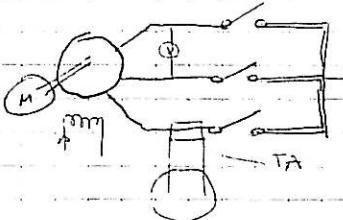
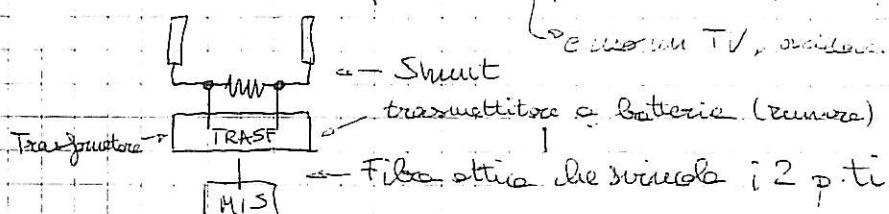
↳ Posso altrimenti smagnetizzare la macchina.

Per ricavare X_d e X_q : eccita la macchina a tensione ridotta, questo va bene per parametri elettrici ma non è più critico per sollecitazioni elettrodinamiche.

↳ Si fa onto 3F per c.tor. con sbarrere.



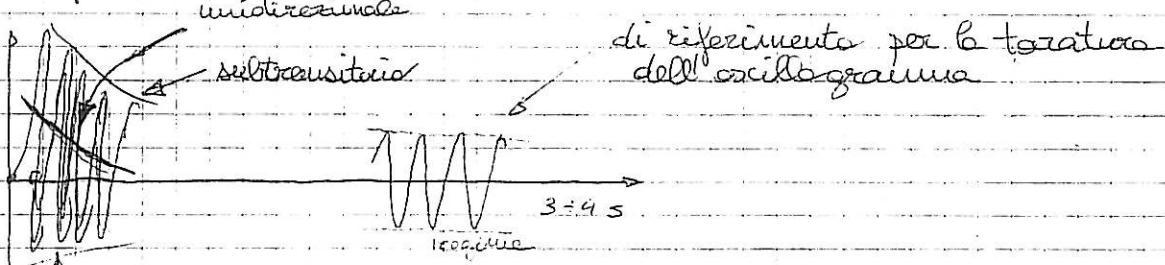
Per vedere come va la corrente serve la registrazione, per la tensione uso uno shunt e così evito il TA che rendrebbe un transitorio pericoloso per l'oscilloscopio.



→ Sistema di sicurezza per misure di potenza.

Accorgimenti: avendo un corto 3F metta i 3 poli dovrebbero dividere insieme (evitando il 2F prima), riferendosi al ciclo e riducendo la dispersione dei tempi di manovra dalla norma la chiusura deve avvenire entro 15° elettrici $= \frac{10\text{ ms}}{360} \cdot 15 = 8,33 \cdot 10^{-5}$ s

La realizzazione del sistema di chiusura è critica e deve essere fatta per garantire la riproducibilità. E' un CHIUDITORE dove le cause di interruzione di un interruttore non servono, ma se ridotte, molto rafforzate (INTERRUTTORI A VUOTO).



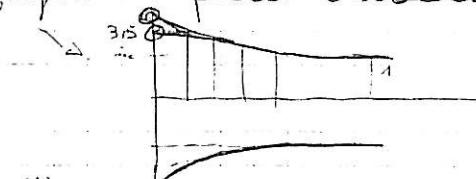
Siccome un int. chiude solo la unidirezionalità mutava ulteriormente la necessità di chiudere dei 3 poli insieme.

- Gablio : T' cost. tempo basso \approx centesimi di secondi

- Eccitar : T' cost. tempo maggiore \approx secondi

In sol. trans. si fanno i 2 mulieppi, se ne fa la media e su un altro grafico riporta i valori riferiti alla linea media

Estraggo I_c di regime ;
 I_c (fase transitoria)



La corrente che decade : $I_c^1 - I_c^2$ (1)

I_c^2 (corrente connessiva iniziale) $\rightarrow I_c^2 - I_c^1$ (2)

Le 2 correnti (1) e (2) stessa decadenza in modo esponenziale (perdendo con velocità grossa vale la teoria).

Se uso la curva logaritmica ricavo una retta
avendo preso le correnti - val. a regime

zona con 2 cost. di tempo attive e il modello
non ha più andamento rettilineo.

In ist. 0 devo sommare corrente a reg.
più quella iniziale.

↳ Si cerca $i_{\max}(0)$:

$$\begin{array}{c} 1' \text{ (reg)} \\ 3,7 \text{ (i(0))} \\ \hline 1,4 \\ 6,1 \end{array} \Rightarrow X'$$

e tensione nominale

Da qui posso ricavare anche le cost di tempo.

↳ Se modellino isotropo il tutto vale per asse diretto.

Se trans. interessa asse in quadratura la reazione
non può esserci.

Lun, 29-11-99

es: $V_m = 500 \text{ V}$ $I_m = 300 \text{ A}$ $P = 150 \text{ KVA}$ Gen. sincrono

$$Z_m = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 300} = 0,962 \Omega$$

N.B.: Il corto monofase e bifase vanno estinti prima possibile
per evitare riscaldamenti sulle gabbie che non
vengono controllate.

VEDI GRAFICI seguenti.

Ice dopo il corto si accende e poi torna nell'
eccitatrice a segno pos.

Lo flusso statorico induce f.a.m. sull'eccitazione
che produce correnti opposte che si sovrappongono
per riportare tutto a posto.

A regime Ice è come all'inizio.

L'oscillazione è a 50Hz. di valori non trascurabili.

Nelle macchine a R sensibile tensione correnti
di corto circuito non molto sinusoidali, ovviamente sono
cicli di armoniche.

↳ Per effetto delle reazioni del circ. di eccitazione
e delle gabbie se si ha una chiusura trifase
ovviamente quando si chiude su uno 0 di
tensione non si possono evitare i transitori
nelle altre due fasi.

↳ Nella corrente c'è una componente unidirezionale

1.4

 $\frac{V}{V_n}$

1.0

0.5

220V

0

0 50 100

50

100

I

[A]

I_{ec}

150

MADE IN GERMANY

①

I_{cc}I_n

c.c. monofase

c.c. bifase

c.c. trifase

I_{ep} = 155 Ariscaldamento
sulle pelli' e

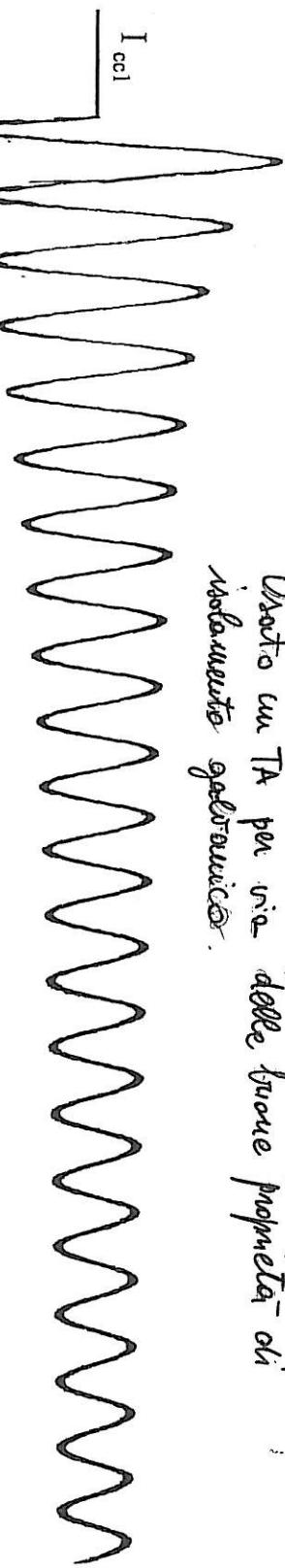
"vitra"

Oscillografo elettromagnetico:

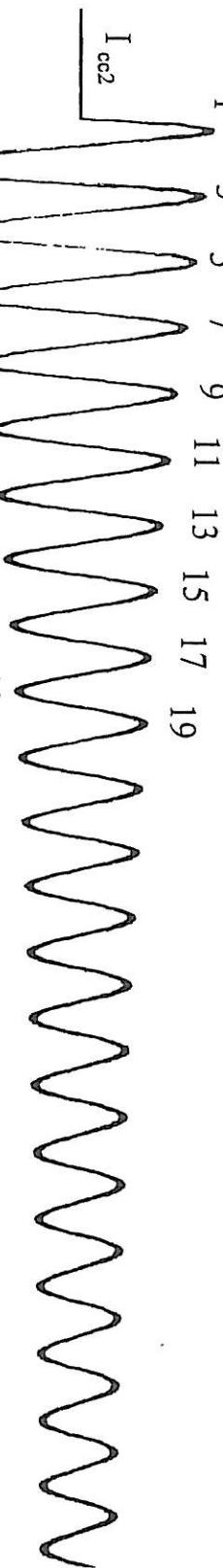
CORPO TRIFASE: ($a \approx 220V \approx 44\% V_u$) \rightarrow sufficiente per trarre X^1 e X^2 senza dover prelievare.

Sufficiente per trarre X^1 e X^2 senza dover prelievare.
Usato un TA per via delle buone proprietà di
risoluzione galvanica.

FASE 1: I_{cc1}



FASE 2: I_{cc2}



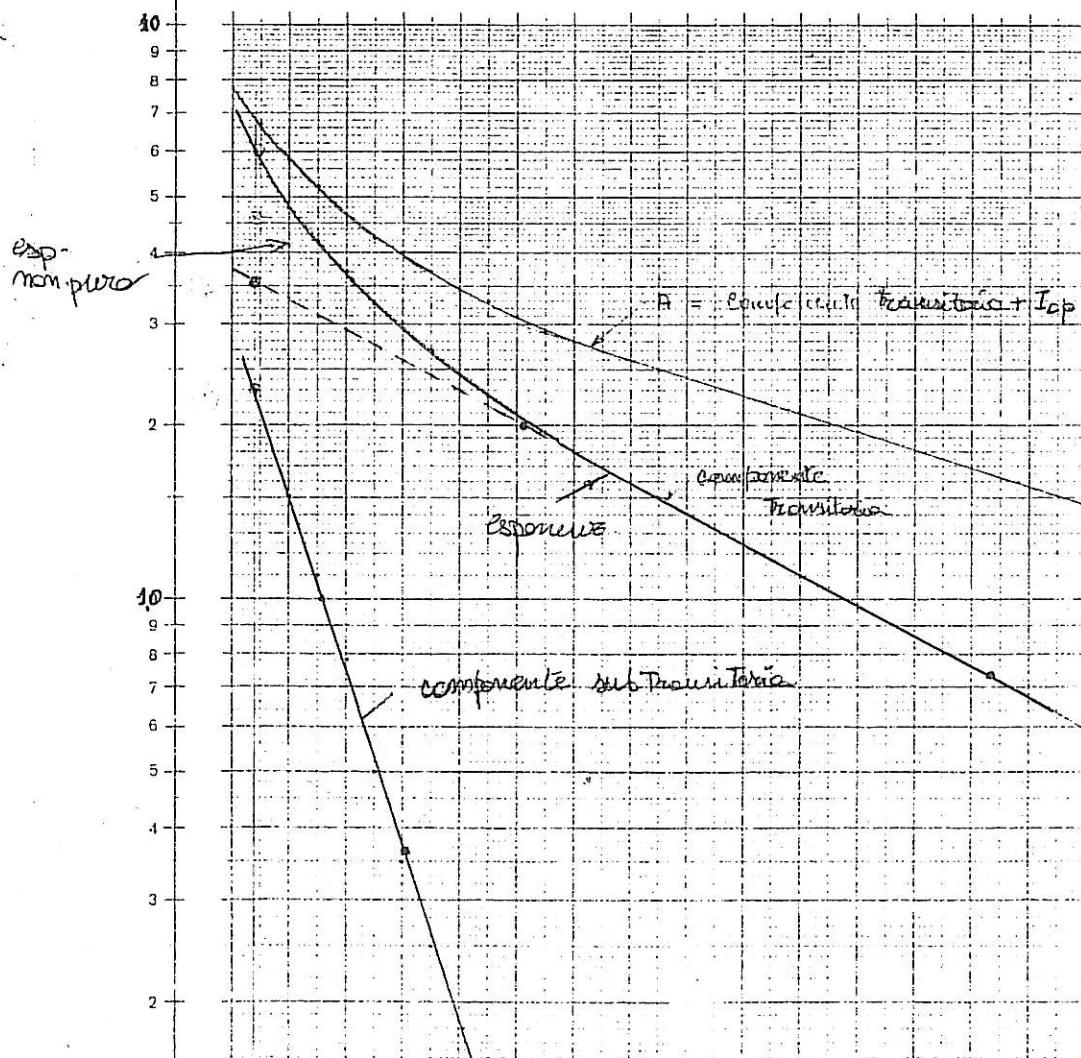
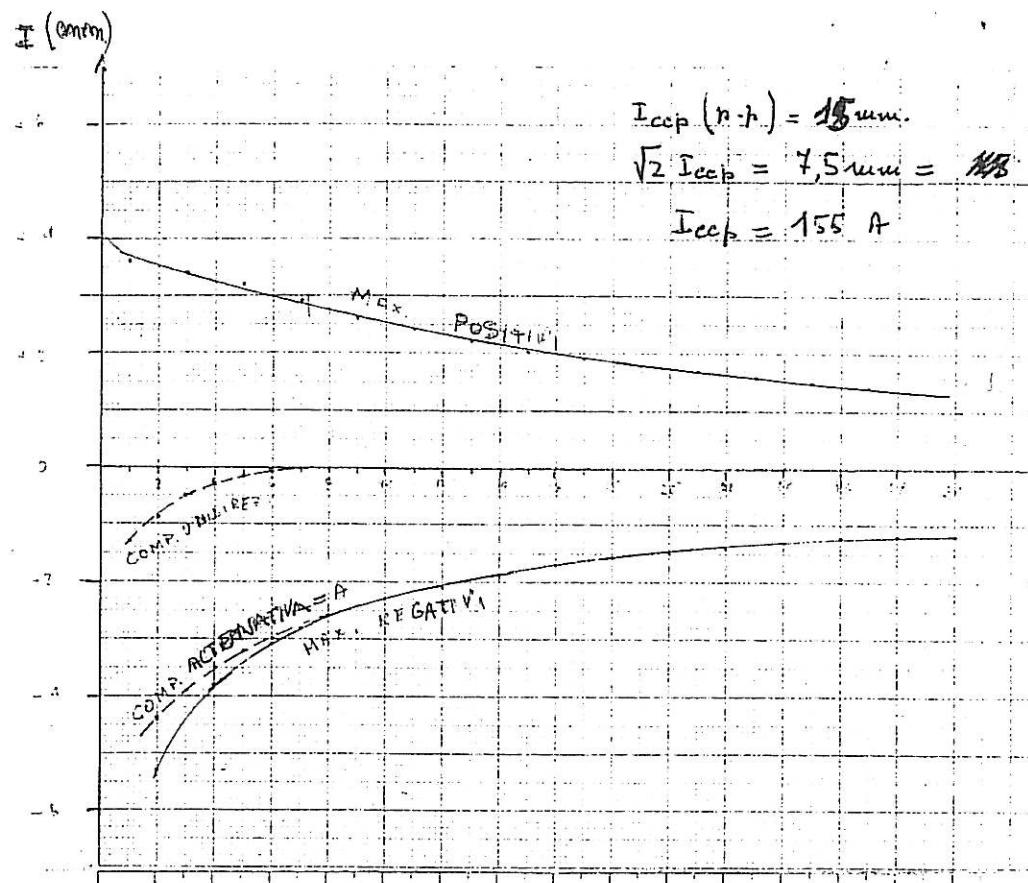
↑
svolamenti asimmetrici più rilevante, ma
tendono alla simmetria con
l'annullamento delle componenti
sinusoidali.

\bar{I}_{ecc} :

I_{ecc}

\hookrightarrow con "slant" riferendo la tensione

(3)



che tende a far cessare il transitorio con una legge legata allo statorice.

Se la comp. unidirezionale c'è, è dovuta a f.m.u. continua che induce sul rotore componenti a 50 Hz. → Lo statorice se è diverso vede comp. a 50 Hz e fa girare correnti a 100 Hz su rot...

→ In una macchina grossa all'aumentare del m. di armonica aumenta X → e quindi le armoniche vengono un po' trascurate.

MA: dove c'è R non trascurabile e Z non cresce con m. armoniche e questo comporta la presenza completa delle armoniche.

Un TA che generalmente lavora a $0,1 \div 0,2$ T quando vede le comp. unidirezionali può andare in saturazione e distorcere le forme d'onda.

↳ MA: se registrano tutte e 3 le fasi sicuramente almeno 1 fase con comp. unidirezionale che non è importante e posso avere la lettura.

Qui siamo noi questi problemi.

Sul grafico delle correnti di c.t.c. c.t.c. (2):

Si numerano i max e min.

grafico con carta num o EXCEL. (3)

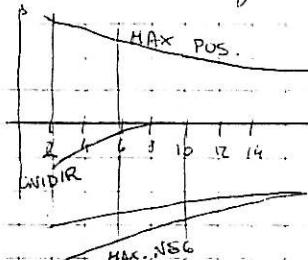
(I_{ac}) $(I_c - I_a)$ $(I_a - I_c)$
unidirezionale. (casuale) che va tolta

Vedendo come va a regime si fa la trattativa dell'oscilloscopio.

→ Dal picco si ricava il valore efficace:

$$\text{P.P.} \rightarrow 9 \\ \text{P.T.} \rightarrow 4,5$$

Si riportano i p.ti sul grafico e ricava gli intervalli.



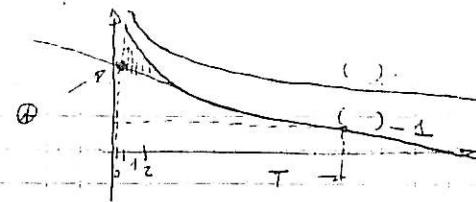
→ Per ricavare l'unidir.

traccia delle vert.

e individua i p.ti di Max.

	HAX	MIN
1	4,67	2,693
3	4,4	4,5
5	4,06	6,4
7	3,67	8,74
9	3,2	10,3
11		
12	2,67	

Ripetito il grafico rispetto alla comp. unidirezionale
su carta semi-logaritmica



Su questa scala non va
molto a 0; ma si vede che
c'è una parte rettilinea la
quale rappresenta la comp.
transitoria

↳ Si deve vedere il suo valore
nel p.to 0 di chiusura:
cioè non la 0 della scala,
ma a metà scala tra questo
e primo aux negativo

↳ siccome 1 cm \rightarrow 1 ciclo
deve essere nel I quarto del primo ciclo

② è il vero valore della comp. transitoria (che decade) $3,6 \rightarrow 713$

$$X_d' = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 713} = 0,178 \Omega$$

Si può anche ricavare la costante di tempo.

$$(A) \rightarrow 2,3 I_m = 1063 \text{ A} \Rightarrow X_d'' = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 1063} = 0,119 \Omega$$

Quindi X'' è quello che tiene conto di tutto, regime
permanente compreso.

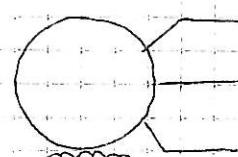
Vantaggio: si ricava la X e T rendendo il fenomeno
simile a quello reale.

MA: non si provano gli sforzi elettrodinamici ($\approx 15\%$)

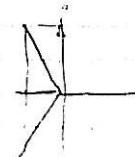
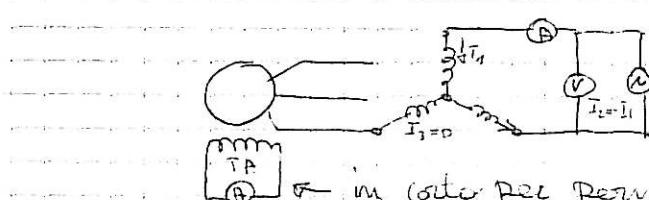
In questo sistema non si trova la reattiva in
quadratura, quindi si cercano le informazioni
tramiti metodi statici.

MISURA DELLE X_d' e X_d'' CON METODI STATICI p. 146

A macchina ferma si mette in
corte l'eccitazione (senza alim. in
continua).



↳ La f.e.m. che nasce dal corso già con
il rotore, quindi si cerca di ottenere
f.m.m. ferme e rotore fermo, ma
la f.m.m. deve varicare nel tempo.



in corto per permettere le variazioni
di reazione.

Alimentazione in alternata a 50Hz. (monofase)

La f.m.m. che nasce nella macchina ha la stessa distribuzione che appartiene al trifase: ferma nello spazio ma pulsante nel tempo \rightarrow si sono ricreate le cond. di regime in modo relativo. La distrib. può essere sia d che in quadrato e si deve capire come è.

In corto c'è lo stesso tipo di reazione.

Si realizza "in analogia" MA: dove siamo?

Ruotando il rotore si cerca la pos. dove lo f.m.m.

- è max \rightarrow asse diretto
- è min \rightarrow asse quadrature

\rightarrow è più difficile girare l'albero

Si ricava X_d'' e X_q'' : $X'' = \frac{V}{2I}$ (che è quella di 2 fasi)

Se metto in corto le 2 fasi sotto ho: $X'' = \frac{2V}{3I}$

C'è il problema dell'alimentazione.

perché con alim. bassa si ha 2 basse e correnti molto elevate.

Attenzione: fare lo provo in fretta perché non si può controllare le spolice.

N.B. Lo X_q' non si trova perché in trans. reagisce l'ecc. e siccome su tale asse non c'è: $X_q' = X_q$

N.B. Se non si riesce a muovere il rotore si usa un altro metodo.

• DALTON - CAMERON p. 147

Lo subcattauore varia con l'angolo transitorio.

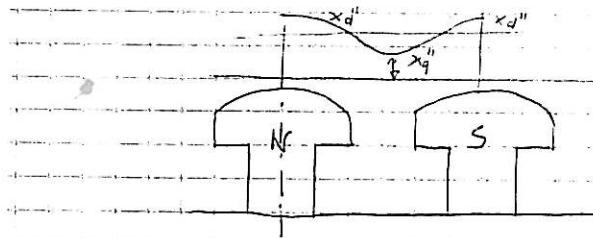
Si fa una misura alimentando 1 fase, ϕ_{00} (w_w), (w_u) e avendo commutatori che danno sin con un passo fisso (120°).

\rightarrow Se l'aud. è sim. trovo 3 p.t. da cui ricavo i valori medio, max, min.

MA: essendo in fase subtransitorie ci si riferisce alla f.e.c.
 \Rightarrow lo \times a cui comincia I meggiore si riferisce all'asse diretto

• lo \times a cui comincia I min \Rightarrow asse quadrature

Mar, 30-11-99



• rotore fermo
c.t.o - c.t.o

$$X_d'' = \omega \cdot L_d \quad X'' = \omega L_d \left[\frac{1 + \cos 2\theta}{2} \right] + \omega \left[\frac{L_q'' - L_d''}{2} \right] \cos 2\theta$$

$$X_q'' = \omega L_q \quad \Rightarrow X'' = M + K \cos 2\theta = A \quad (\text{I effettivo})$$

Cambio le fasi, alimentato, leggo e divido per 2:

$$B = M + K \cos (2\theta + 120^\circ)$$

$$C = M + K \cos (2\theta + 240^\circ)$$

$$A + B + C = 3M + K \left[\sum \cos \theta \right] \quad \text{sime le 3 termini sfar di } 120^\circ$$

$$\Rightarrow M = \frac{A + B + C}{3}$$

$$A^2 + B^2 + C^2 = 3M^2 + K^2 \left[\sum \cos^2 \theta \right] + 2MK \left[\sum \cos \theta \right]$$

$$\Rightarrow A^2 + B^2 + C^2 = 3M^2 + K^2 \frac{3}{2} \Rightarrow K = \pm \sqrt{\frac{2}{3} (A^2 + B^2 + C^2 - 3M^2)}$$

Fatte le 3 misure si può considerare anche la corrente nel circ di eccitazione: $I_{ex1}, I_{ex2}, I_{ex3}$ (correnti indotte dalle f.m.m. pulsanti dello statore).

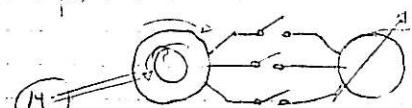
\hookrightarrow Le me saranno i più grande e uno minore:
con lo maggiore era più vicino all'asse diretto
(c'è flusso magg. = corr. maggiore).

Da qui si considera quale delle tre prove era
più vicina all'asse diretto senza aver
girato il rotore.

Essendo un fenomeno trans. reso permanente non
si può dire niente sulle cost. del tempo.

• Misura delle reatt. alla seq. inversa. (Alim. molto bassa)

④ Applicazione di alimentazione con 2 fasi rovesciate e motore che fa girare il rotore nel sensa sbagli.



\hookrightarrow Ci sono tutti i meccanismi tipici del
subtransitorio (f.e.m., elevate correnti):
e X_i è la media delle X_d'' e X_q''

$\hookrightarrow |X_i| \approx 10\% Z_m$ assorbe correnti molto elevate

E' misura infestata da armoniche: ma la reattanza fa da filtro e migliora le cose

- Perché $f_{min} = 100\text{Hz}$ su stat \rightarrow ecc a 100Hz su rot
- \rightarrow induce f.e.m. a 150Hz su stat \rightarrow ecc ...

La X_i è tipicamente considerata nel corto circuito bifase

Faccio corto bifase e posso tracciare le caratteristiche di I_{ABm}

$$I_1 = 0 \quad I_3 = -I_2 = I \quad E_2 = E_3$$

$$I_i = \frac{I_1 + \alpha^2 \frac{I_2}{3} + \alpha \frac{I_3}{3}}{3} = \alpha^2 \frac{I_2}{3} - \alpha \frac{I_2}{3} = \frac{(\alpha^2 - \alpha)I}{3}$$

$$E_i = \frac{E_1 + \alpha^2 E_2 + \alpha E_3}{3} = \frac{E_1 + \alpha^2 E_2 + \alpha E_2}{3} = \frac{E_1 + (\alpha^2 + \alpha)E_2}{3}$$

$$I_i = -j \frac{\sqrt{3} I}{3} \quad E_i = \frac{j V}{3}$$

$$(1) X_i = \frac{E_i}{I_i} = \frac{j V/3}{-j \frac{V}{3}} = \frac{V}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{-j \frac{V}{3}} = j \frac{V}{\sqrt{3}}$$

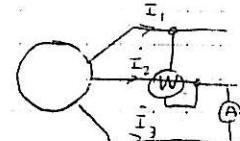
— sarebbe una Z_i ed è sensibile
alla $\text{Re}(Z_i)$ sia significativa in queste prove
perché ci sono molte perdite.

- (B) \rightarrow Ricerca la parte reale inserendo un (W):

$$W = V \times I = 3E_i \times j\sqrt{3} I_i = 3\sqrt{3} X_i I_i^2 = 3\sqrt{3} X_i \frac{V^2}{R_i}$$

e fa riferimento a X_i perché ha fatto una inserzione strana del (W):

$$\Rightarrow W = \sqrt{3} X_i I^2 \quad \Rightarrow (2) |X_i| = \frac{W}{\sqrt{3} I^2}$$



Facendo $R_i = \sqrt{X_{i1}^2 - X_{i2}^2}$ si hanno valori strani, quindi questo lettura è solo un metodo indipendente per stimare le X_i , ma la R_i trovata non ha valori validi per lo scopo.

Usando un D-o-T-RMS si vedono tutte le armoniche allo stesso con un (A) e quindi quello che si trova è buono perché entrambi gli strumenti fanno misura pesando le armoniche.

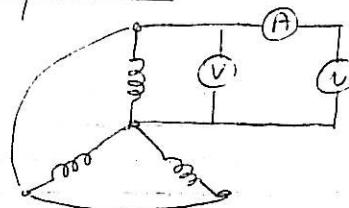
Con il (W) se le 2 armoniche di V e I non sono correlate questo non le vede, quindi i 2 risultati non sono comparabili.

c'è una incertezza abbastanza grossa ma questo non è importante perché sono valori tenuti di conto solo nel quanto.

- Misura della reattanza alle seq. zero

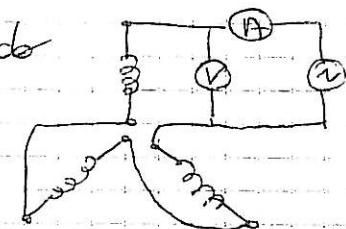
↳ Faccio girare la macchina alimentabile rispetto al centro stella.

↳ Imp. estremamente bassa.
 $(= 0,5 \times '')$



↳ Qui si misurano 3 imp. in // quindi ho valori molto piccoli → serve adim. molto bassa.

- Se metto le 3 fasi in serie potendo aprire il centro stella:
ho misura valori un po' più grandi (che è media!), ma ho sempre valori piccoli



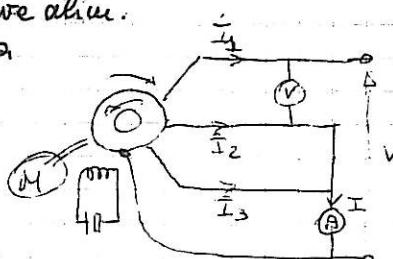
- Quindi allora fare centri non serve alim. altro tipo di beta: esterno.

$$I_1 = 0, I_2 + I_3 = I$$

$$E_2 = E_3 = 0$$

$$I_o = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{I}{3}$$

$$E_o = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} = \frac{V}{3} \xrightarrow{\text{lettura}} Z_o = \frac{V}{I}$$



N.B. In questo caso ho tutte e 3 le componenti:
Ed, Id, Ei, Ii

↳ Essendo Z_o piccola si cerca sempre di non collegare il CS a terra, e meno che non si metta in mezzo una impedenza.

- Questi schemi non dicono niente altre che freq. industriali e poco sulle condizioni di funzionamento:

· aspetto termico (può risciacquare)

· aspetto dielettrico (capacità di tollerare

sorratezioni e fluttuazioni della rete, comprendendo anche la capacità isolante)

- Per provare gli isolamenti delle catene di isolatori si fanno test su basi statistiche Mettendo a prova le loro caratteristiche.

↳ sui trasf. non si può fare.

• Prove di routine:

- su reti: a radiofrequenze
- su macchine: termiche, dielettriche

↳ in condizioni di normale funz. aspettando che vada in regime. I regolatori, carico, altri elementi devono essere progettati per regime in mezzo adeguato. → l'incertezza deve essere della macchina e non solo del c.c. di alim.

p.155

• PROVE TERMICHE

I materiali isolanti hanno base organica (carta, olio).

- ↳ Classe A : 105°C (durata di vita di $20 \div 30$ anni)
- " F : 155°C (resine epoxidiche)] motori
- " H : 180°C

Si fissa la tensione di perforazione: $\log D = a + \frac{b}{T}$

e si estrapola poi i punti che non vengono misurati



Influiscono: ambiente, contributi dovuti al carico delle perdite nell'olio.

Avremmo che i salti termici siano significativi, d'importante e che siano cost. al variare della temp. ambiente (dipendente dalla situazione in cui si trova il trasf.).

Merco, 1-12-94

• PROVA TERMICA

• creare un carico che generi la cond. termica?

• aspettare che vada a regime

• ovvero con andamento delle temp.

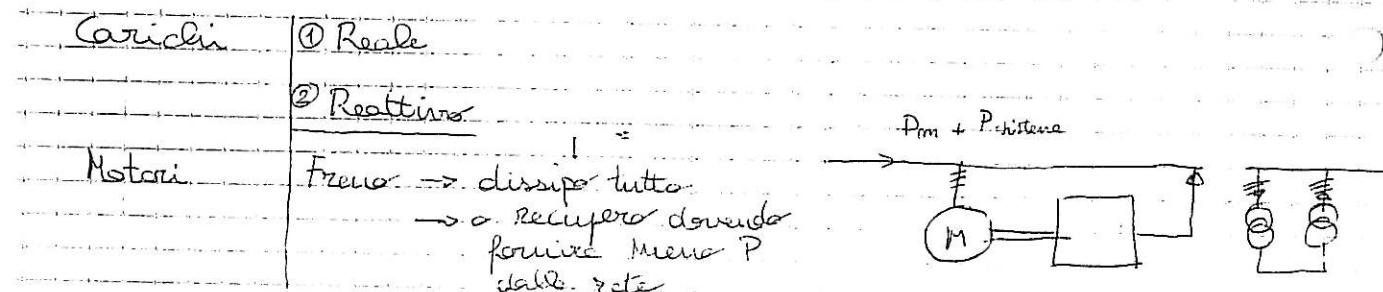
↳ a noi interessa trovare il p.to più caldo che di solito è difficile da misurare perché di solito non è agibile

↳ trovare altri metodi per avere quest'inf. ad esempio la temp.: media dell'omologato

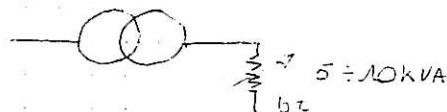
Prob: creare il carico? problema energetico

• problema di potenza disponibile

Per evitare un motore breve per forza elettrica che è
freni



Trasformatori con carico reale
(reostati)

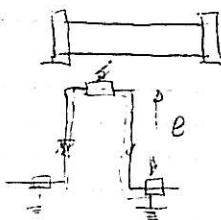


Problemi di temperature. Coperti all'ambiente non sono da trascurare, specialmente se si hanno orridi stagioni.

Per elevate potenze si usano reostati ad acqua anche se la temperatura varia, si hanno carichi che ballano.

Se ne ricicla di H_2O ed evitare che ballino perché non è bene misura sviluppo di gas negli elettrodi $\Rightarrow t_{max} = 60^\circ - 70^\circ$ con rincalzo di 0,3 C/m KW

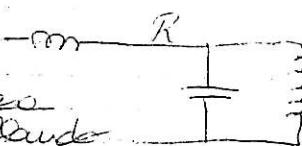
Nelle prove di isolamento si usa resistenze col acqua (usando antigelo), non hanno buona precisione ma possono evitare lo scarico.



② Dalla rete non si può prelevare tutto P per aritare Q altrettanto.

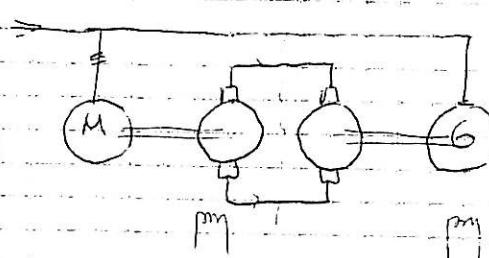
La parte associata a poteri perché Q è calcolato mediamente nel mese.

Si usano condensatori. Introducendo uno C si ha risonanza e resta solo $P = R$, quindi controllando I riesce a regolare C l'ampiezza della tensione molto bassa.



• Recupero:

se ho 4 macchine della stessa taglia posso provare a guadagnare

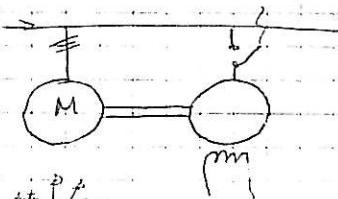


Qui però le perdite 4 volte > di quelle di uno
macchinario in prova.

Il blocco di dx può essere cambiato con un invertitore,
ma è op. delicata perché questo va sbattuto
di volta in volta.

Il blocco di sx può essere sostituito da un addizionatore.

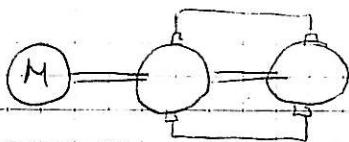
Se voglio usare un generatore per
rimettere in rete: metto un
sincrono (tens. regolabile). Questo
però non può essere messo subito in
rete, infatti questo perde dei giri
e farebbe un accoppiamento con vettori spostati



↳ Per recuperare i giri faccio girare il rotore
in senso contrario a quello del rotore

↳ MA: servono collegamenti striscianti ad angoli.
È difficile da costruire ma permette un recupero di
potenza molto grossa.

Per macchine in continuo non esistono limiti
di frequenze, quindi si può fare un
coppia accoppiamento fornendo pot.
per via meccanica o per via
elettrica



Metodo a carico equivalente (per trasf in olio)

P_{Fe} ($V = V_m$) 2 kW 7 entrambe finiscono nell'

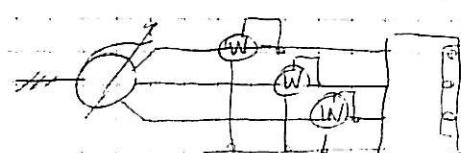
$P_{car} \rightarrow P_7 \rightarrow 75^\circ$ 6 kV 7 olio. Hp: dissipare lo pot. di riferim.

Se dissipo tutte le perdite nel Cu overi temp. > me alla
fine per l'olio sarebbe la stessa cosa.

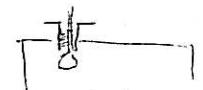
↳ Metto il trasf. in cortocircuito (P.s a regime), per avere
 P_{car} elettrico ammirevole:

$$Reg I^2 = P_{Fe} + P_{car} \quad Reg I_m^2 = P_{car}$$

$$+ I = I_m \sqrt{\frac{P_{Fe} + P_{car}}{P_{car}}} \approx 1,15 I_m$$



Per misurare lo temp. serve un "porzette"
termometrica riempita con olio



↳ Regime: $\Delta t < 1^\circ C / 1 h \times 4 \text{ ore olio}$
osservazione (norma)

N.B.

A regime con l'olio leggo la temperatura, poi il risultato è dato dal salto termico tra olio e ambiente.

Se l'avvolgimento è troppo caldo scendo con $\Delta T = P_{scatenato}$ e l'olio lentamente si raffredda e anche l'avvolgimento ($T^* = 10-20 \text{ min}$). Dopo un'ora misuro la temp. in una condizione diversa, quindi la temp. che trovo è un po' più bassa di quella che troverei con olio alla temp. di prima.

Si deve correggere la temp. che trovo tenendo conto delle zid. delle temp. olio passando da P_{norm} a $P_{ridotte}$. $\rightarrow \theta_A = \theta_A' - \theta_0' + \theta_0$

MA: queste prove ^(termiche) non hanno tolleranza, perché sono drastiche

STRUMENTI DI RILEVAZIONE DELLA TEMPERATURA

Termometro a mercurio è quello più preciso.

In teoria si dovrebbe correggere la diff. di temperatura tra colonna e bulbo.

Oggi si usano SENSORI di temperatura, i più usati sono a Resistenza:

un filo molto sottile con $R = 100 \Omega$ ohm metallo puro con coeff. olt. var. della temp. è $4 \text{ m}^{-1}/\text{C}$

Non sono molto sensibili; la protezione introduce una costante di tempo.

Per CO: plastica che assicura il coeff. di temperatura, e' inerte.

MA: collegamenti problematici perché introducono una res. con errore sistematico

Forniscono il senso con 3 o 4 fili così le z. dei colleg. vanno in serie o res. diverse:

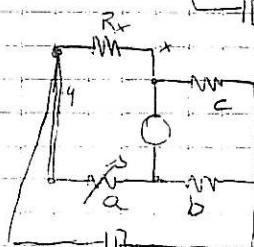
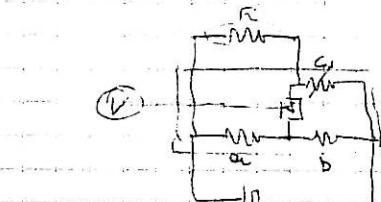
$$c(a+y) = b(R_x+x)$$

$$\Rightarrow R_x+x = \frac{c}{b}(a+y) \Rightarrow \text{se } c=b$$

$$\Rightarrow R_x+x = a+y \quad \text{se } x=y$$

$$\Rightarrow R_x = a \Rightarrow a = R_x \quad \text{e leggo sul reg. olio il valore di } R_x$$

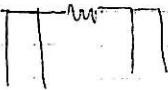
quindi l'importante è che i collegamenti abbiano la stessa resistenza.



Lm, 6-12-99

Oltreiore metodo è usare 4 fili e un multimetra-
ma ci possono essere problemi di autoriscaldamento

$\hookrightarrow i = 1 \div 5 \text{ mA} \Rightarrow P_{\text{diss}} = 25 \cdot 10^{-4} \text{ W}$



La schermatura dei fili serve per formare campi elettrici a 50Hz, ma non quelli magnetici.

Le misure di temperatura possono interessare un numero elevato di punti

\hookrightarrow multiplexer convinte su una unica unità di misura.
Problemi sui contatti che devono essere creati (sui relé).

I sensori a resistenza sono i più stabili, ma pongono problemi di sensibilità.

• **TERMISTORI**: la temperatura induce resistenze di grandezza sensibile

\rightarrow non sono metallici, solo ossidi metallici (non del tutto stabili), che godono di elevata sensibilità ($\approx K^{-2}$).

Hanno coeff. di temp. negativo (NTC) o pos (PTC)
def. a 25°C come DR specifico nell'intorno di 25°C
con variazione del 1% \rightarrow le variazioni

Si possono vedere anche con un clinometro,
quindi la sensibilità spinto richiede
strumenti meno pregiati

• Collegamenti

Semplificando l'installazione, è basta soffiantato
i PE 100.

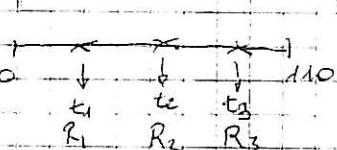
Svantaggio: sono instabili a temp., elevate oltre
ogni parte delle loro caratteristiche.

I modelli hanno leggi non lineari: $R_t = R_0 e^{\frac{b}{T}(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$

\hookrightarrow Si può far tazare su 3 punti

Da legge di Steinhardt-Hart:

$$\frac{1}{R} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$



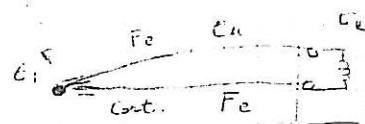
si risolve un sistema di 3 eq e 3 incognite e si ricavano A, B, C.

↳ Si approssima l'ambiente effettivo a $\pm 0,2^\circ\text{C}$ che è molto buono.

Vanno invecchiati per ridurre il coeff. di invecchiamento mentre sono in uso.

• **TERMOCUPPIE:** Sono molto flessibili

↳ Basate su Effetto Seebeck; i due materiali sono uniti in testa con una unione forte ed isolati tra loro.



I limiti di temperatura sono legati alla resistenza dell'isolaia.

↳ Da d.d. term. nasce una f.e.m. $E = K(t_1 - t_2)$ + circa $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Sensitività: ↳ Misura delicata con strumenti di grande sensibilità per via della E limitata.

L'indicazione ottenuta è una Δt tra lo strumento e l'oggetto della misura, quindi per misura di term., si deve trovare un rif. a zero e correggere per la term. dello strumento.

↳ Alternative sono Pt100 o termistori che danno la t .

Non si deve assorbire corrente nello strumento per evitare caduta sui fili \Rightarrow potenziometro

↳ o multimetro, ma deve essere molto piccolo con $i = 10^{-10} \text{ A}$.

Per vedere $0,1^\circ\text{C}$ serve una risoluzione di μV (spinto).

↳ Pt, Ti vanno molto bene.

Dopo 10 cm si usano cori di compensazione che permettono di avere tensioni elevate con fatti simili ai fili originali. Le corse termoelettriche sono simili.

Per il riferimento:

• a 0 gradi con termostati dove la temperatura è tenuta bassa con effetto Peltier.

o

• per una pista di pane si monta un termistore che fornisce la term. di ref. per un alettiatore unico e Δt dalla termocoppia.

La termocoppia è sempre silenziosa.

↳ Trasforma energia termica in elettrica, E_{term}  $\rightarrow E_{\text{el}}$.
Quindi essendo ottime possono essere usate come dispositivi attivi di protezione.

Essendo sorgenti di P.E. M. Bassa per di più, richiedono misure molto precise \rightarrow i disturbi creano problemi.

↳ P.E. m. continua: accoppiamenti magnetici problematici che possono essere ridotti tramite un filtro passa-basso con banda pass $\approx 1\text{Hz}$.

Oppure: con scleromotore e multimetri che convergono secondo i cicli di linea integrando.

La termocoppia può essere inserita in tensione (es. 20V di mdc comune su cicalandi i fili) quindi ci si deve pensare per la misura del campo.

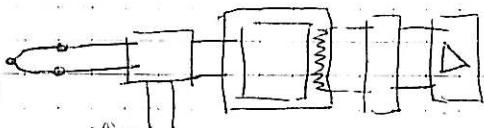
↳ Separatori galvanici con amplificatori (DC)

② ed elevatori di segnale x conversione A/D

① alimentazione trasf. col alto

freq., amplificatore debilitato con guadagno ≈ 1000 ($1\text{mV} \rightarrow 1\text{V}$)

Serve 1 protezione per canale \Rightarrow costa di più protezione e ordinamento della termocoppia.



Riassumendo:

• PE 100: non molto

• Termocoppie: flessibili, ma servono riferimento, protezione dai disturbi

• Termistori: $+150 \pm 50$ hanno migliori prestazioni / prezzi; ma hanno il m.d. dell' instabilità.

• Si può misurare anche la radiazione infrarossa emessa con termocamere.

↳ Ma i fosfori ad infrazero danno segnali spuri anche al buio (DARK CURRENT) per questo si deve abbassare l'energia dei fosfori raffreddandoli.

↳ Serve un riferimento per fare un confronto perché è difficile identificare le tempeste solari.

1. ° TERMOCOLORI: reversibili e irreversibili

↳ vanno messe in parti normalmente non accessibili

• controllano una macchina in servizio per dare prove delle temp. non raggiunte.

• Per misure in tensione di temperatura:

↳ si usa la variazione di resistenza con misura in DC

• $R \rightarrow t_1$ a regime a vuoto (spule) (a freddo)

• $R' \rightarrow t_2$ a regime a carico subito dopo aver staccato tutto (a calore)

⇒ dalla ΔR misuro le Δt .

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1) \quad \text{a vuoto}$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2) \quad \text{a carico} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\frac{1}{2} + t_1}{\frac{1}{2} + t_2} \Rightarrow t_2 = \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{2} + t_1 \right) - \frac{1}{2}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{2} + t_1 \right) - \left(\frac{1}{2} + t_1 \right)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \left(\frac{1}{d} + t_1 \right) \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1} \right) \quad : \text{udi}$$

Eventuali errori del termometro vengono attenuati, se ci sono errori sistematici questi influiscono sulla differenza.

- diminuire errori sistematici

- non cambiare scale per evitare di falsare le misure

- B. R è fortemente variabile nel tempo perché il trasf. da regime si raffredda.

↳ la misura deve $30s = 1m \Rightarrow$ il valore misurato di t è minore della reale

⇒ Si fa una misura e poi si fanno altre letture per 15 ± 30 m alternate di $2-5$ m.

↳ La curva $t = \alpha \ln x + \beta$

↳ estrapola B. $t(0)$

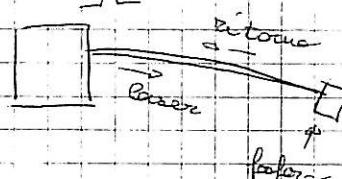
o traccia i p.ti su carta semilogaritmica

Considero B. $t(s)$ valido, sia per le Δt che B.t.

MA: ci sono le cost. di tempo dell'acquaglimento e dell'elio che sono diverse, quindi non posso andare avanti per più di 30 minuti.

N.B. Nelle macchine grosse si può mettere una sonda in una cora, metallizzando la zona la schermare (da effetto corona) per i potenziali e ci posso mettere anche una sonda per il servizio.

- Si usano anche fibre ottiche con la base a stato solido e posteriore di ritorno in emissione legata al decadimento del campo del raggio laser.
→ Il segnale di risposta è proporzionale allo temp.



Mart, 7-12-99

- Il sensore perché non disturbri la misura deve:
 - essere in intimo contatto con la parte su cui eseguire la misura
 - essere schermato in modo adeguato ma non eccessivo, se ne deve tenere conto.

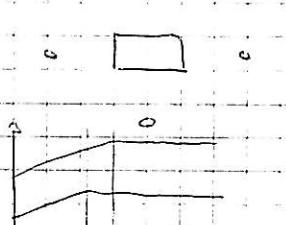
La temperatura dell'ambiente è importante e va tenuta presente per aggiungerci il Δt dato dalla prova.

→ Si deve considerare la disposizione del misurando nell'ambiente di misura, cercando che l'aria riesca ad essere a tutto alla stessa temperatura.

Il salto termico rispetto all'ambiente deve restare uguale. → Leggi t. macchina e t. ambiente.

→ MA: la cost. di tempo della macchina è molto maggiore di quella del termometro, quindi variazioni di temp. sul termometro non vengono seguite subito dalla macchina.

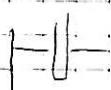
↳ Si deve cambiare la cost. d. tempo del termometro facendole pari a quella della macchina.



↳ Immagazzinando in un contenitore con H₂O o elio:

$$T = \frac{cv}{ks}$$

$$k \approx 10 \text{ W}/\text{°C}$$



$$P_{dt} = K S \Omega_{dt} + c_p d\theta$$

A regime $P_{dt} = K S \Omega_{dt}$ $\Rightarrow \Omega_H = \frac{P}{K S}$

con $\theta = \Omega_H (1 - e^{-t/T})$ come legge

$$T = \frac{c_p}{P} \cdot \Omega_H$$

Essendo $\frac{P}{K S}$ in genere poco variabile tra diversi

tipi di macchine, Ω_H ideale $\Rightarrow T$ è simile per macchine diverse anche di taglia differente [≈ 4 ore]

- Ancora avendo 2 misure $t_1, \theta_1, t_2, \theta_2$ dalla legge esponenziale potrei ricavare Ω_H e T senza dover perdere troppo tempo.

\hookrightarrow ma non è un sistema stabile perché non è vero che la macchina sia un sistema omogeneo isotropo \rightarrow si sbaglia Ω_H che non dovrebbe essere sparato.

\hookrightarrow la prova andrebbe bene nella parte finale della prova risparmiando le 4 ore finali quando la variazione deve essere \leq di 3 gradi all'ora.

$$\theta_i = \Omega_H (1 - e^{-t_i/T}) \Rightarrow \theta_i - \Omega_H = -\Omega_H e^{-t_i/T}$$

$$\theta_{i+1} = \Omega_H (1 - e^{-t_{i+1}/T}) \Rightarrow \theta_{i+1} - \Omega_H = -\Omega_H e^{-t_{i+1}/T} - e^{-t_i/T}$$

\rightarrow Le letture devono essere fatte ad intervalli regolari ($\approx e^{-t/T}$ resta una cost. ignota)

$$\theta_{i+1} - \theta_i = \frac{\Omega_H \cdot e^{-\frac{t_i}{T}}}{\Omega_H - \Omega_i} [e^{-\frac{t_{i+1}}{T}} - 1] \quad \text{Per trovare } \Omega_H: \text{ estrapolo}$$

$$(\theta_{i+1} - \theta_i) = (\Omega_H - \Omega_i) \cdot k$$

\hookrightarrow c'è proporzionalità tra AB e CB

e c'è una retta che unisce i

2 p.ti. Si prendono quindi 4 o

5 misure \rightarrow unisco i punti

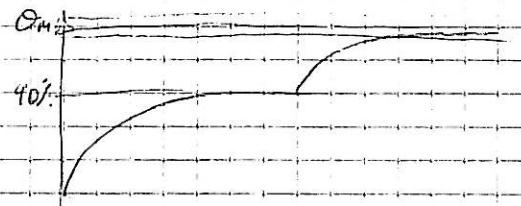
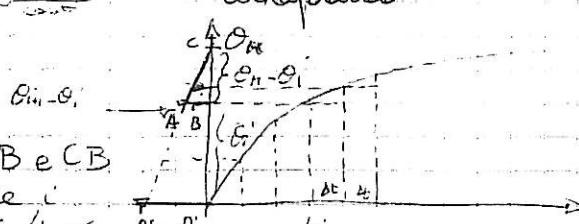
ed estrapolo Ω_H col metodo dei minimi quadrati

MA: deve valere l'H.P. che il sistema evolve con θ maggiore

Faccendo la prova con:

90% regime di notte

10% regime la mattina seguente



Si guadagna tempo perché si arriva a regime sempre con lo stesso cost. di tempo, ma l'occhio che segue la misura è un termometro assoluto e quindi entra nelle bande valide prima.

• Carico equivalente (Riepilogo):

Mette nell'individuamento tutte le perdite che poi biammo nell'olio (per macchine in olio)

Questo provv non può essere eseguito per macchine a secco perché il fluido termovettore è l'aria che scambia calore peggio e non ha una temp. limite diretta (indiretta → perdite se l'aria è molto calda l'individuamento sta bruciando). Inoltre l'individuamento fa più fatica a scambiare le perdite (c'è anche lo resino).

• Metodi alternativi: (per macchine a secco)

① Circolazione per 2 macchine

② Carico simulato (prima accese delle parti)

(2): si scalda il nucleo alimentando con aria in bt finale il nucleo va a regime (a vuoto) → Pre

↳ Misura R a freddo e poi a vuoto; l'air. di bt (AT) che si è scaldata per riflusso dal nucleo calda ha una sovratens. $\left\{ \begin{array}{l} \theta_{CAT} = 2^\circ \div 3^\circ \text{ (a regime)} \\ \theta_{bt} = 15^\circ \div 20^\circ \end{array} \right.$

Ora si mette in moto la macchina con l'm funziono. Le perdite giuste con nucleo caldo, si aspetta che vada a regime regolandosi sulla del nucleo (che è la >). A regime si stacca tutto e si misura la O col metodo di variazione di res. → θ_{CAT} e θ_{bt} (maggiori delle O.)

$$\Rightarrow \text{La sovratens. legge: } O = \theta_{CAT} \left[1 + \left(\frac{\theta_{bt}}{\theta_{CAT}} \right)^{1,25} \right]^{0,8}$$

a limiti contrattuali
(da norme)

termine correttivo
significativo più per le bt che AT.

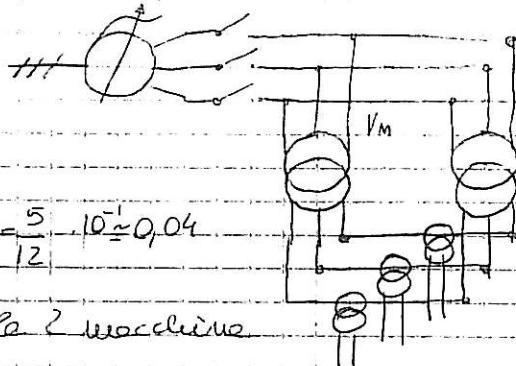
③ Metodo a circolazione (o a recupero):

↳ Per 2 macchine in olio o a secco.

Se le macchine sono uguali dovrebbero avere il ragg. di trasf. regola e quindi le posso

Collegare.

Nella realtà ci sarà una $i = \frac{\Delta V}{2 Z_{cc}}$



Se $\Delta V = 5 \cdot 10^{-3}$

$$Z_{cc} = 0,06 \Rightarrow i = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^{-1} = 0,04$$

→ le i_{cc} è modesto se le 2 macchine sono uguali.

Per far circolare I_m lascio una macchina sulla presa centrale, sposto il rapporto con $\Delta V = 5\%$ sulla seconda macchina, ma questa non basta per arrivare a fare I_m.

→ Prendo un trasformatore booster (simile a TA) → devo iniettare in serie al circuito?

$$\Delta b = 2 Z_{cc} = 2 V_{cc}$$

Quindi con $V_{cc} = 6\%$ serve un booster che esige 12%. Se mi aiuta con le prese (i?)

Se $V_m = 400 \Rightarrow V_{booster} = 48V \rightarrow 20V$ delle prese
→ 28V del booster

Con $i_{cc} = I_m$ le 2 macchine non funziona nello stesso modo e si può decidere il verso della corrente

→ La macchina in prova va mantenuta in presa centrale prelevando solo le perdite P_{fe} o rid. nominale, dal regolatore arrivano le P_J

→ Ho ricreato le cond. di funzionamento con P_{fe} e P_J.

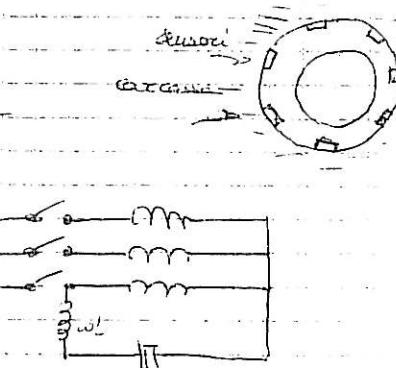
In questo modo si possono provare macchine grosse.

Così facendo la parte con I maggiore una volta che trova che le variazioni di temperatura si sono arrestate posso considerarla in regime con tutta la macchina.

La la carcassa e i laminerini di statore possono essere presi come indicatore della parte della macchina che va a regime con I maggiore, da qui si ricava un'evidenza sperimentale valida come prova (legale).

• Si può misurare G R con macchine funzionante (in tensione)

→ Una vol. separa le successive di f.e.d. continue della alternatore.



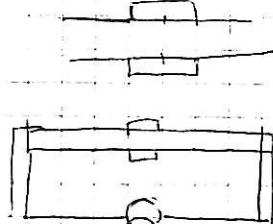
Per fare questo si possono usare i TV come filtro.

- Componenti con scarse perdite:

Le sbarre delle stazioni sono tubi che vengono raccordati con morse di sezione considerabile per diminuirne il R. R. ed evitare sovraccarichi.

Le correnti sono molto elevate su un circuito con R trascurabile e X molto elevata con ϕ molto grande.

↳ Il trasformatore da stazione deve essere a 1t e i elevato di grosse dim.



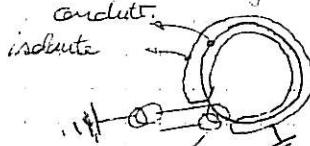
MA: per misurare la tens. sulla morse si deve tener conto che non ci devono essere gradienti significativi, per evitare gli effetti di riscaldamento della ferita o la parte della morse o viceversa.

- Nei cori a canna quadrata si panno 2 sedi di perdite: conduttori ($R I^2$), perdite dielettriche.

$$\text{es: } S = 620 \text{ mm}^2 \quad V_m = 20 \text{ KV} \quad V = 13,8 \text{ V} \quad I_m = 1000 \text{ A}$$

↳ $P = 13,8 \cdot 10^6 \text{ W} \rightarrow$ si realizzano circuiti "sintetici" con le I separate.

La guaina è messa a terra da una parte sola (per evitare che con 2 parti si avrebbe tensione).



↳ Dando tensione con un trasf. a parte siccome si vede solo una capacità c'è solo corrente capacitiva. Si dimostra il loro funzionamento con V tanta ma I trascurabile o viceversa.



L'ambiente influenza sulla capacità di riscaldamento dei contatti

Zum, 13-12-99

$$\rightarrow \Delta t \leq 35^\circ \text{C} \text{ aria}$$

Se si è tirati e convenienti usare contatti argutati $\rightarrow \Delta t \leq 65^\circ \text{C}$

- Per elementi diversi dalla macchina si deve chiudere l'ambiente per evitare influenze esterne.

PROVE DI ISOLAMENTO

→ Verifica del comportamento dielettrico in oscillazioni normali e quelle anomale → sovraccorrenti sovratensioni

→ Interessano anche le prove di EMC

Ci si riferisce alla V_m , si devono tenere precise:

oscillazioni della tensione → Prevalere su

↳ si def. U_m : max livelli di V a cui la macchina può funzionare per sempre per isolamento

↳ per livelli intermedi è fornito sempre l'isolamento dei livelli standard

↳ circa $\approx 20\% V_m$ in più

$$\begin{cases} 10 \rightarrow 12 \\ 15 \rightarrow 17,5 \\ 20 \rightarrow 24 \\ 30 \rightarrow 36 \end{cases}$$

Sovratensioni

① Sostenute → f. di rete

② Manovre

③ Eventi atmosferici

④ durante a guasti, cost. tempi grandi rispetto ai cicli (8 sec) → il caro bruci con le corri. e non con la stellata, non è tragico, finché non si presenta un secondo guasto prima dell'esaurirsi del transitorio precedente

⑤ Si hanno oscillazioni a f. dipendenti da L e C delle reti (vedi guasto Km). Ci sono molti tipi e servono modelli adeguati, quindi è difficile decidere come si simulano i vari aspetti (KHz ÷ decine KHz)

⑥ il fulmine si comporta come un generatore di corrente (ad impulso) $\approx 20\text{ kA}$ in media (arriva anche a 100 kA) con durata $\approx \mu\text{s} \rightarrow 300\text{ m}$

↳ serve modello appropriato a costanti distribuite tenendo conto delle impedenze car.

$$L = Z_0 = \sqrt{\frac{C}{L}} = \sqrt{300 \cdot 100} \approx 300\text{ m}$$

↳ Si hanno sovratensioni $\approx 6 \cdot 10^6 \text{ V} - 6 \text{ MV}$ in media, che non possono essere assorbiti senza danni, rimedi:

↳ fine di guardie

• sfioratori (su catene isolatori)

Le protezioni devono agire per salvare la macchina.

Per sopportare le scariche si cerca uno via di mezzo facendo in modo che se ci sono, vengano all'esterno scaricatori. I scaricatori aumentano isolamento della macchina e reti. \rightarrow allontanare un degli scaricatori.

Prove: $U_m = 24 \text{ KV}$ $U_{fl} = 50 \text{ KV}$ $U_L = 125 \text{ KV}$ LIGHTNING
 \hookrightarrow freq. ind. (BIL) \hookrightarrow freq. a impulso (FDLHNE)

Le componenti in freq. dell'impulso a 1/5 sono superiori a 150 Hz \rightarrow il ruolo dei par. μF e μH cambia radicalmente dove predominano le reti delle capacità di cui non si sa niente (in un ciclo ci sono 4 μs).

• Nei livelli medio, bassi, la tensione di scarica dipende poco dalla sua forma, quindi si assume di poter similitare tutto a 50 Hz, ma così si hanno valori di tensione estremi, (24 concatenati \rightarrow 50 V verso terra). Queste si usano per provare le manovre.

\hookrightarrow Il risultato non cambia.

• Per $V > 130 \text{ KV}$ Non è più vero che la tensione di scarico è la stessa per tutte le forme d'onda, per questo ci si riferisce a:

U_m U_{fl} U_L U_s (switching)

\hookrightarrow L'isolamento su distanze $\approx m$ dipende dalla forma d'onda!

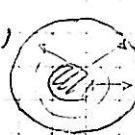
• Se si sostituisce una tensione con un'altra la cosa cambia, quindi si deve stare attenti.

• Le prove sui cavi (dopo posa) si fanno con U_{dc} per problemi di alimentazione, ma i risultati non sono identici, infatti si hanno
E che comanda in AC, P che comanda in DC.

\hookrightarrow es: Condutore: con E^+ \rightarrow P^+ iniziale,

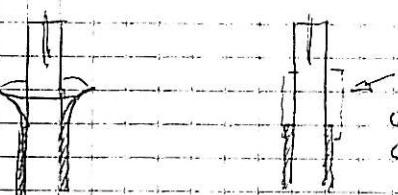
quindi per $Z^+ \Rightarrow T^+ \rightarrow P^+$ e J^+
quindi mi trovo tempi

superiore sulla sfera che non sul cavo perché P non è conosciuto



\hookrightarrow tra DC e AC non c'è lo stesso effetto

Sul campo:



sono 2 metodi per misurare
il campo di tensione,
ma valori provati in
AC e DC in modo diverso
(e solo in una mola)

N.B. Isolatore in una cabina = 25 kV perché c'è
determinato dalla tensione più PROVATA, non
quella nominale.

N.B. Si prova nelle varie condizioni, ma bisogna
tenere conto che ci possono essere effetti
indesiderati.

• Come viene realizzata dei sistemi di diagnostica
che permettono di analizzare e risalire in
tutti i campi sedi di probabile scarica.

• Regole generali:

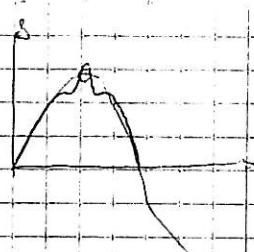
- Rigidità dielettrica: 30 kV/cm (inizio)

↳ è valore medio che dipende dalla distanza, geometrica,
densità aria, umidità ($\rightarrow 5 \text{ kV/cm} \times \text{aria}$)

- Tempi formazione della scarica è molto breve (μs),
quindi si deve stare attenti con le prove
di onda.

↳ Interesse VALORE DI CRESTA

↳ per si fornisce il valore
efficace equivalente = $V_{crest} / \sqrt{2}$

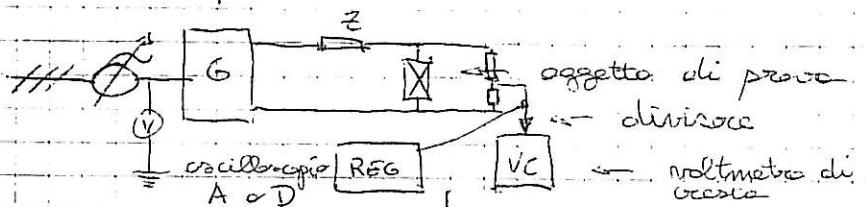


MA: l'importante è che lo strumento misuri il valore
di cresta

- Si usano onda in prova con forma non perfetta.

onda prova $\approx (5 \div 10)\%$
onda sin

- Schema prova secondo IEC:



Servizio: (in AT)

- taratura periodica degli strumenti { SIT, CESI }
- rifiducibilità

Per AC non problema perché c'è già stata un lavoro per i TIV (servizio per la fatturazione dell'energia)

Per DC.

Per DC taratura si usa l'aria come silettettrico.

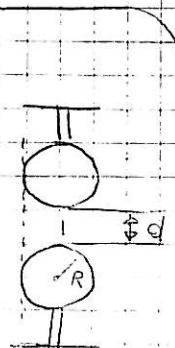
→ verifico

(USATO CON VOLTAZIONE)

• Sistema "Spinterometro a sfera":

si esegue una campagna di misure a distanze crescenti.
Il campo non è uniforme, ma:
- è semplice allinearla
- campo abbastanza uniforme
se: $d \leq R$

↳ sfera ha raggio R



↳ la tensione di utilizzo cresce con il raggio della sfera

$$D = 100 \text{ cm} \rightarrow d_{\max} = 50 \text{ cm} \\ V_{\max} = 1000 \text{ kV}$$

• si è realizzata una grossa campagna di misure con R vari e diverse d :

↳ tabella dove si ha $V_{\text{sfera}} = f(D, d, \pm)$

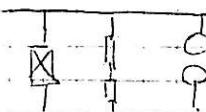
per $d \leq R/2$ → non impodo

per $d \geq R/2$ le 2 curve si dividono (diff. $\approx 37\%$)

incertezza $= \pm 3\%$ (valido in genere per A.T.)

Dalla tabella si legge la dist. della spinterometro

↳ salvo con V finché non scatta sulla sfera.



→ Si usa G: spinterometro come campionio.

per fare la taratura di un ① su I o II

↳ MA: - è laboriosa

- non totalmente efficace

- l'oggetto subisce tutte le scariche

- serve "area di rispetto" attorno allo spinterometro

E' un sistema dove non si può molto lavorare, ora si usano sistemi elettronici.

N.B.: Serve per tarare, ma non è un sistema di misura, mentre la norma dice di fare la misura direttamente ai morsetti di prova.

Mar, 14-12-99

Il problema della polarità è legato alle diverse curve

Applicando V_{dc} nasce nelle vicinanze dello spinterometro un campo costante, così polvere e altri vengono attratti dal campo. Quando si attaccano particelle queste aumentano il campo e si formano catene.

↳ Si dovrebbe condizionare il sistema scaricando più volte per pulire le sferre

Quindi non si usa in DC.

• Si introduce una R di protezione ($< M_R$) che evita danneggiamenti a ciò che è a ex.

Le sferre hanno un eg. elettrico capacitivo, quindi se ho R troppo grande mi trovo:
- tensione su C minore di quella d'ingresso.
- una cost. di tempo dell'interruttore abbastanza elevata, quindi con tensione $\approx 10^{-10}$ o gradino ho $i = 100 \mu A$ e la tensione non arriva allo spinterometro. Scrivibile quindi diminuire R per permettere al sistema di seguire la tensione.

Tutti i componenti per AT hanno dimensioni grandi perché la tensione si fa sia negli elementi interni che esterni.

↳ C'è una induttanza importante che amplifica la tensione innessa sullo spinterometro. ($20 \div 30 \Omega$)

• Serve una correzione per condizioni atmosferiche: se densità aria prelevata è diversa tra molti punti, se è bassa il campo compiuto



È maggiore. Quindi la tensione di scarico V_s aumenta con S^* \Rightarrow se S^* è più difficile che scarichi.

$$\hookrightarrow S = f\left(\frac{P}{T}\right) \quad \rightarrow \text{Densità di riferimento} \\ \hookrightarrow \text{a cui sono gravitati gli id. esterni} \quad S = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \\ \text{a } P = 760 \text{ mmHg (101,3 kPa)} \\ \text{e } T = 293 \text{ (20°C)}$$

$$\text{es: con } P = 770 \text{ mmHg} \quad \Rightarrow \quad S = \frac{770}{760} \cdot \frac{293}{292} \approx 1,02$$

$$\text{quindi con } V_s = 250 \text{ KV} \quad \Rightarrow \quad V_{sd} = 255 \text{ KV}$$

In genere le installazioni fanno secondo le norme varie belle per $h < 1000 \text{ m}$, altrimenti servono delle correzioni.

C. Il vapore d'acqua è elettronegativo ed inhibisce il processo di scarico.

\hookrightarrow Con tanta H_2O aumenta la V_s , quindi serve un valore di riferimento: 11 g/m^3 (miduta di Hanleter)

Anche l'oggetto in prova è visto come uno (capacitor) quindi prima della scarica si ha il \parallel di 2 C .

\hookrightarrow Se il trasf. eroga una corrente capacitiva se ha un aumento di tensione sull'induttanza quindi con un carico capacitivo importante si possono avere $2:3:5:7$ di caduta in più.

\hookrightarrow autocapacitazione su alternatore I_a che fa aumentare la tensione e lo fa scoppiare.

• Trasf. "Monster": se si rompe si sta ferma un anno, se c'è un guasto la corrente deve essere almeno 1 A perché altrimenti l'ago è instabile e se si spegne il trasf. riparte a funzionare dal max di tensione involontariamente.

\hookrightarrow Le capacità presenti comportano la nascita di transitori che possono portare a valori troppo elevati.

Quindi serve una I_a elevata per evitare un'instabilità, poi si apre il circuito nel momento buono.

Quando faccio una prova con tensione ridotta < 1500
 è corretto è quello manuale nel corte e
 l'interruttore non apre (usato solo nella zona alta)

↳ Servirebbero più trasf. per le varie tensioni

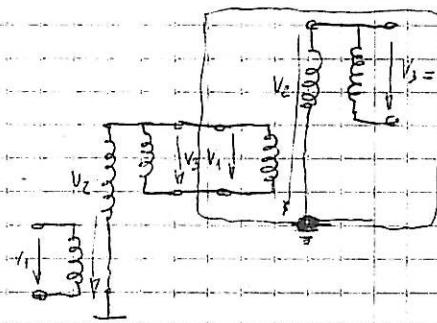
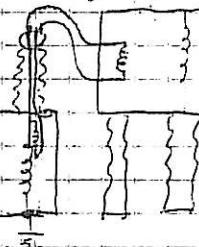
⇒ Si usano + trasf. di taglio ridotto: sol es.
 per avere 1 MV usc. 2 trasf. da 500 KV ola
 convertire in serie a 1.

↳ Usi macchine a 3 avvolgimenti:

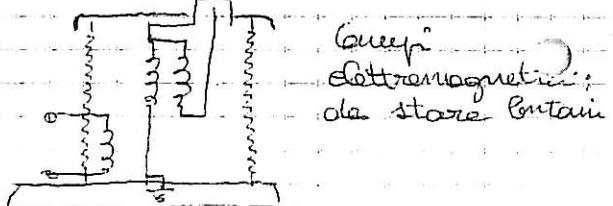
$$V_2 = 500 \text{ KV}$$

$$V_1 = 5 \text{ KV}$$

- Da esterno:
 cassa metallica
 passante parallelo



• Da interno: non serve più
 il passante parallelo si fa un cilindro
 a filo di vetro (isolante)



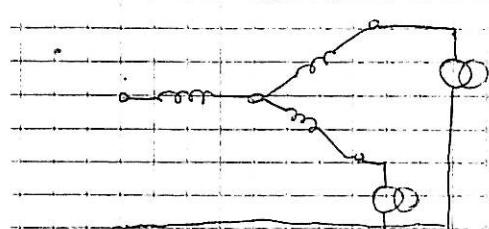
↳ sono impilati (2800 KV al max)
 (ogni due che stanno tutti
 uguali. (V_m , I_m , P_m)

3 in serie: $3V_m$, $I_m \Rightarrow 3V_m I_m$: il punto di ingresso della P è solo sulla prima unità,
 quindi la prima macchina
 dovrebbe erogare solo $I_m/3$ ⇔ dovrebbe succedere 3 in

↳ c'è limite di potere stabilito dalla zona che
 viene alimentata ⇒ è meglio avere 2 in 1 + 1 in
 serie

Dato che il carico è sost. capacitivo si può riferire
 con la $1/\omega$ del trasf e induttori con attuatori pneumatici.

Schemi:



• La tensione a carico non si
 distribuisce uniformemente sulle varie
 unità.

• In transitorio si hanno strane
 distribuz. di tensione
 ↳ non si cercano scariche ripetute.

Si potrebbe introdurre uno R, questo fa da T
 filtro RC (con carico C) che addolcisce il gradino,
 ma se C è grande R non basta mai.

↳ Il problema è maggiore quanto più è critico
 il gradino.

• Il divisorio:

- TV per livelli medi/bassi \Rightarrow vantaggio di essere trasf. induttivi, precisioni spinte.

\hookrightarrow MA: sono specificati un 6 concatenato V_{MA} si usano a $V/V\sqrt{3}$ (+20%).

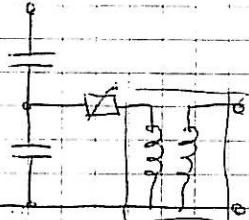
costo meno di \hookrightarrow ($b, V=220KV$ con $I=1.050KV$) è molto alto quello "ad hoc" ma perché è sottoposta a sovratensione, e deve avere + spazio tenere d'impulso.

- per livelli superiori si usano TVC:
trasf. misti con 2C e un trasf.

\hookrightarrow MA: è difficile tirare fuori potenza e quindi sono accordati a 50Hz.

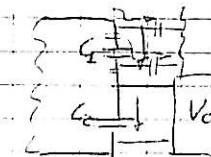
Hanno un gran carico capacitivo.

• Non si possono usare per misure.



Per fare misure:

esistono capacità parassite con un muro e quindi se ne va lontano, si trova una cap. equivalente inferiore.



Vanno fatte varie prove per determinare il "coeff. di sensibilità" e poterli usare anche con C piccole.

N.B. Si deve tenere conto:

• taratura \Rightarrow in effetti di prossimità.

• resistenze / condensatori hanno coeff. di temperatura
lo si può compensare mettendo C in serie.

• taratura è effettuata a tensione bassa \Rightarrow problema di linearità alle alte tensioni

• se incertezza $e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + \dots}$ si considerano non date dalla somma e quindi sono un po' minori, ma si deve controllare la componente maggiore

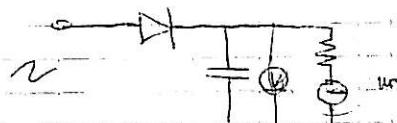
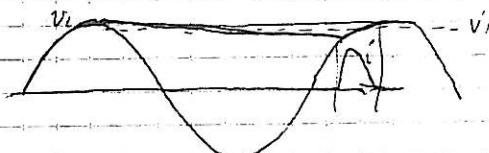
Lun, 20-12-99

La spintoraddrizzatore o spira roba bene per controlli, ma non per misure.

• problemi di stabilità nel tempo

\hookrightarrow tarature dilazionate nel tempo.

- Per realizzare un $\langle V \rangle$ di cresto:



Se il $\langle V \rangle$ è per DC \Rightarrow indica il valore medio, minore del valore di cresto.

$$T \text{ (periodo)} \xrightarrow{\text{carica}} Q = I_m \cdot T = \frac{V_m}{R_f} \leftarrow \text{carica media}$$

$$Q = CV \quad (\text{riflette}) \quad \Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{V_m}{RC_f} \quad \varepsilon = \frac{\Delta V}{V_m} = \frac{1}{2f \cdot RC_f}$$

\Rightarrow La V_m subisce di $1/2 \Delta V$ che è un valore sistematico che dipende da RC_f .

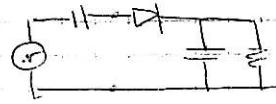
\hookrightarrow L'incertezza di misura $< 3\%$ \Rightarrow Sappendo che il divisore dà un certo errore si cerca di minimizzare questo.

Il diodo in realtà ha R diretta e inversa, ma non crea molti problemi.

\bullet RC_f non deve essere troppo grande per evitare che il carico non si scarichi più perché altrimenti con variazioni di tensione il $\langle V \rangle$ non sia segnabile.

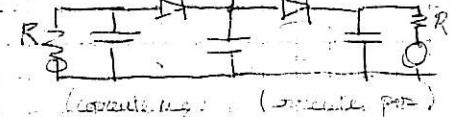
- Con questo si vede solo il secondo polo positivo.

Attaccando ad un divisore capacitivo il $\langle V \rangle$ segue per un po' e poi basta perché assorba solo una corrente unidirezionale, quindi non è adatto a questo divisore se non compresa contiene una rete in qualche modo corrente di segno opposto.



\hookrightarrow Buono perché con multimeter

per estrarre i poli si vedono entrambi. Per sembrare.



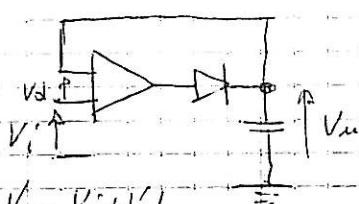
(corretto) (caso p.e.)

Di solito è usato un operazionale:

$$V_u = V_d \cdot A$$

$$V_d = \frac{V_o}{A} \Rightarrow V_o = V_i + \frac{V_o}{A}$$

e con A elevato non ho V_i e trovo $V_u = V_d$.



TIPI DI PROVE

1). Con tensione applicata

↳ Si cerca la tensione di scarico applicando una rampa per avere una crescita graduale.
Se si prova un isolatore va usato anche un capo percorso da corrente che produce un campo che sembra il servizio.

• Sulle macchine (MT)

ex: Trasf. di media

Dalla norma:

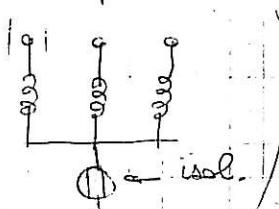
• verifica isolamento tra avvolgimenti I e II:

si collegano i morsetti di I alimentandoli, al II mettendoli a terra; così verifica anche il cortocircuito in maniera.

In teoria la corrente si deve chiudere solo tramite le capacità.

Sarà un isolamento uniforme, anche per CS

• Per AT: isolamento graduato: è maggiore verso l'esterno



2). Con tensione indotta

NORMA: ↳ usando una V doppia di quella che dovrebbe DIXIT essere applicata

Alimentazione trifase, si usa una frequenza maggiore perché $E = 4,44 \cdot f \cdot \phi_m \cdot N$

$$\Rightarrow E_N = 4,44 \cdot f_N \cdot \phi_{N\perp} \cdot N$$

$$2E_N = 4,44 (\frac{f}{f_N} \cdot \phi_{N\perp}) \cdot N \rightarrow \text{da } \frac{f}{f_N} \leq \phi_{N\perp} \text{ e posso fare la misura senza saturare il ferro}$$

E' una buona prova perché sollecita tutte le parti della macchina; basta per rilevare spira in corso che fa muovere il campo magnetizzante elevato.

In genere si alimenta al catod a V minore.

La f è limitata superiormente per non avere un ϕ_m troppo basso. ($f \approx 150 \text{ Hz}$)

Se non si vede cambiare f : uso un asincrono a rotore ruotato con alimentazione trifase con campo contrario al senso del rotore.

Oppure: si accoppiano 2 macchine rotanti con numero di poli diversi.

N.B. Le prove si fanno a f. industriale, ma le temute e il progetto varia fatti per l'impulso.

Se l'oggetto è per estremo va fatta la prova sotto pioggia con H_2O che l'arriva a 45° , per controllata, circa 2 mm/min.

PROVE A IMPULSO (transitorio unidirezionale)

Impulso normalizzato: $1,2 / 50 \mu s$

Durata T_1 — T_2 tempo d'equivalenza

La tensione deve essere registrata

Durata: $T_1 = 1,67 \cdot$ intervallo tra ($0,3V_c = 0,9V_c$)

$$V_t = KV_M (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

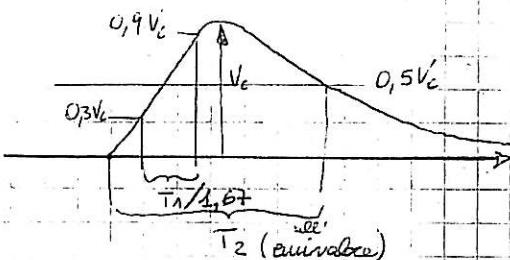
Equivalenza T_2 : tempo tra 0 e $0,5V_c$

Tolleranze:

sulla cresta $V_c = \pm 3\%$

$$T_1 = \pm 30\% \quad \begin{array}{l} 0,84 \\ (V=1,2) \\ 1,56 \end{array}$$

$$T_2 = \pm 20\% \quad \begin{array}{l} 60 \\ 40 \end{array}$$



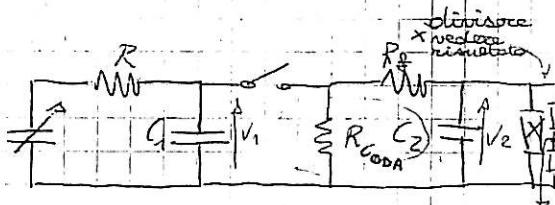
Per le alte tensioni si generano impulsi che simulano le manovre: (dai 220 KV in su) $250 / 2500 \mu s$

SCHEMI: gli impulsi

Si producono con Gaudi di condensatori, il circuito base:

• Circuito di Marx

C_2 può non esserci se l'oggetto di prova ha già uno C elevato, quindi ogni volta il circuito deve essere adattato.



Si carica C_1 , chiudendo l'interruttore.

Se $R_{fronte} \ll R_{CODA} \Rightarrow$ si carica C_2 e V_2 dipende

da relazione $C_2 \ll C_1 \Rightarrow C_2 \ll C_1 \rightarrow$ la differenza di t.

L'andamento esp. ha una cost di tempo data dalle serie dei 2 cond.

$$T = R_f \left(\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \right) \approx 0,4 \text{ sec} \quad 1 \gg C_2$$

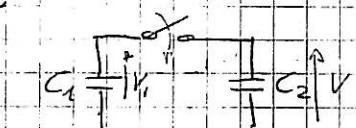
Tenendo ora conto anche di R_c : $T = R_c (C_1 + C_2) \approx 70 \mu\text{sec}$
($R_c \gg R_f$)

dove μsec è l'inevitabile, ma si va in genere fino al 30%.

\Rightarrow Si devono aggiustare R_f , C_2 per ogni pomo diverso!

Rendimento di tensione dell'apparato:

Se C_1 ha V_1 , dividendo la $Q = C_1 V_1$ va



$$\text{e } Q = (C_1 + C_2)V$$

$$\Rightarrow C_1 V_1 = (C_1 + C_2)V \Rightarrow \frac{V}{V_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

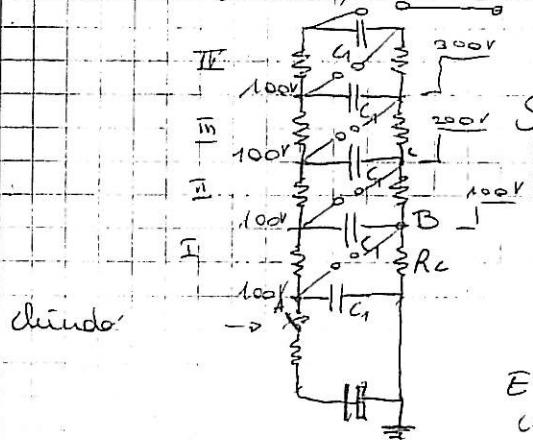
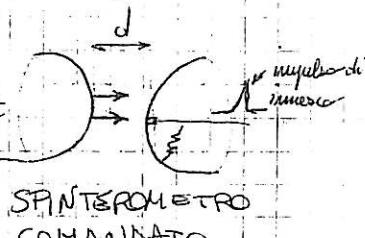
quindi dipendentemente dalla C dell'oggetto cambia la tensione che si può ottenere.

Tutti gli elementi sono molto grandi.

- Ci può essere una batteria di condensatori caricati in parallelo e poi immessi nel circuito in serie in tempi molto brevi:

L'interruttore non può essere eletromechanico ma è composto da piccoli spinterometri a sfere che vengono avvicinati per ottenere il scarico (tempi brevi, camp quasi uniforme).

\Rightarrow Oggi: un elettrodo (anode, catoda) innesta la scarica con un impulso di TRIGGER (con $d \geq 10\% - 20\%$ dist. della tensione di scarica) perché spruzza cariche libere, luce ultravioletta



Se scarica il T anello ($R_c C_1$) il pot del p.t.a. passa in B, da B a C

\Rightarrow Si passa dal II alle serie con un temp odotto che dura fino a quando l'ultimo scarica.

E' come un unico cond. che ha C_f con n -esimo di quello di ciascun C_1 .

R non troppo alte per non limitare troppo la corrente.

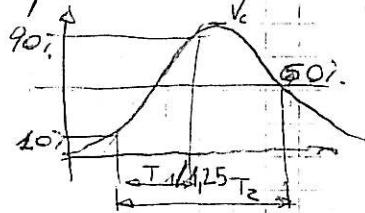
Se metto in coda i vari anelli posso avere un unico condensatore.

W = $50 \div 400$ kJ che può essere distribuito in tensione e capacità ($+V_m$ e $-C_m$ a vicenda)

I buchi di condensatori possono essere usati anche come generatori di corrente: $8/20 \mu s$

$$T_1 = 1,25 \cdot \text{intervallo tra } (10 \div 30) V_c$$

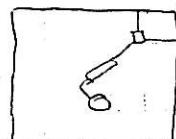
Qui serve meno tensione e più C con tutti i cond. in W.



Tenere conto:

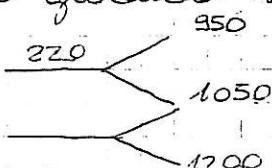
$$\begin{aligned} & V_{imp} \text{ collegate alle } V_m \\ & 20 \text{ KV} \quad \frac{125 \text{ KV}}{125 \text{ KV}} \rightarrow V_L \\ & 380 \text{ KV} \quad \frac{1450 \text{ KV}}{1450 \text{ KV}} \end{aligned}$$

Max, 21-12-99



→ è condizionato anche l'ambiente che deve essere abbastanza grande per garantire isolamento.

C'può essere isolamento più ridotto giocando sugli scaricatori.

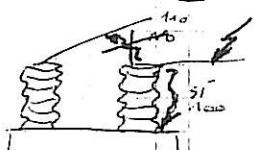


- tenere conto delle distanze tra le fasi nei sistemi trifase

- il sezionatore dovrà avere una tenuta almeno 10% meggiore verso la linea rispetto alla terra in modo che al max scarichi verso terra se è aperto e non sulla linea.

↳ Si deve registrare l'onda: se c'è onda tronca si può dire che il sezionatore ha scaricato.

Se la scarica è solo su un elemento del sezione (ma c'è in coda) e quindi c'è di più di tensione



Possono esserci anche reazioni a metà tra la scarica e la tenuta.

Se l'oggetto è dimensionalmente molto sbagliato ci può essere scarica già sul fronte iniziale.

N.B. Controllare se l'isolamento è:

1. autoprivante

2. non autoprivante (trasf.)

1) Può essere valutato il comportamento della scarica se base statistica più scariche per definire meglio il fenomeno.

↳ siccome viene attivato all'urto dell'aria, serve una presenza di cariche ionizzate (-) → si storce un elettrone dallo ione negativo si moltiplica e in parte vengono assorbiti. Se dettolato + ha una calda + vicina, c'è riduzione campo in B^2 . Quindi influenza la probabilità sulla prova di scarica.

Applicando N impulsi si hanno m scariche $\rightarrow \frac{m}{N}$ = frequenza scarica

$$N = \text{freq. di tenuta} \quad P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{m}{N} = \text{probabilità di scarica}$$

In genere si fanno 20 c.a. impulsi per polarità, per configurazione.

Soltanamente gli isolamenti seguono una gaussiana.

La tensione di scarica dipende dalle caratteristiche degli elettrodi, quindi è questo che si deve riferire come alle car. dell'aria. La gaussiana cambia con queste caratteristiche quindi si usa la caratteristica di Weibull.

La gaussiana va bene medianamente perché venga usata con criterio, cioè si deve vedere se la distrib. è veramente una Gauss tramite una carta delle probabilità: se i punti seguono una linea \Rightarrow è una Gaussiana.

N.B. In genere viene fornito il punto con $P = 50\%$ come dato dell'oggetto. (es: 1000 \rightarrow scarica a 1000 100%)

Quindi si mani gli oggetti sul massimo e per questa si deve conoscere la pendente della curva.

Si considera la DEVIAZIONE STANDARD = σ (scarto quadratico)

$$\sigma = \frac{U_{50\%} - U_{16\%}}{U_{50\%}} \cdot 100\%$$

cioè con $100 = U_{50\%}$, $85 = U_{16\%} \Rightarrow \sigma = 5\%$.

In genere il d.m. è 3.6, minore di quello realizzato per $\sigma = 5\%$.

L 1 37.

SI 67. \rightarrow per mandare

\Rightarrow Si guarda la tensione richiesta, si determina la $U_{50\%}$ e per riferirsi a V_{min} del 10%.

Per isolamenti autoprivanti è richiesto una tenuta di tensione statistica ($U_{11/BILL}$): $P \leq 10\%$

La è accettabile che scarichi, basta che sia con una frequenza limitata.

Ogni prova è fatta con 15 impulsi, la prova è passata se ci sono ≤ 2 scariche. I valori di tensione vanno corretti per la densità dell'aria.

Valori standard: $P = 760 \text{ mmHg}$ e $T = 0^\circ\text{C}$

L'oggetto deve essere non condensante, con elevata umidità si deve alzare la tensione di tenuta.

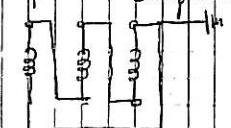
Per trovare il margine di tenuta si ricava i vari punti, li si interpolano con uno retto o si numeri quadrati.

Per trovare la tenuta statistica cerca la σ , prenub U_{50} e calcola $\sigma = U_{50} \approx 1,3\sigma$. Ora controlla se il valore di U ricavato è maggiore del valore fornito. Da qui vedo quanto sia il margine. E' più probabile le seconda tensioni maggiori, ma ho idea del margine.

2) Le prove sono di tenuta convenzionale con solo 3 impulsi (per fase).

Mediamente può essere che un impulso su una base influisca anche sulle altre.

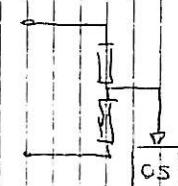
Judicare se un trasf. lo passa
La prova è molto difficile \Rightarrow se c'è una grandezza sensibile al fronte.



Si deve conoscere la forma della tensione e il valore di picco.

L'oscilloscopio A o D su partitore di tensione.

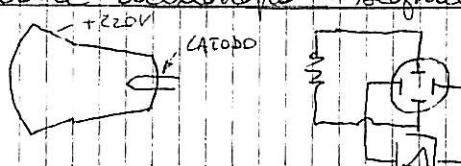
Quelli vecchi avevano TV per schermare sovratensioni non avevano sensibilità spinta per non amplificare i rumori \rightarrow senza amplificatori.



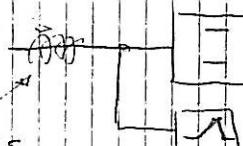
Mee, 22-12-99

Problema di sincronizzazione oscilloscopio - segnale

L'è si cambia il pot. delle grida e si sposta l'amplificatore sulla base dei tempi quando deve partire la registrazione.



Per la sincronizzazione si sposta il gen. di tempo e cambia pot. degli orologie con lo stesso segnale (100-200 μ s).



Al fine di non perdere l'inizio si ritarda il segnale di -100 μ s

L'acorciando sulla E la velocità di proj. è \rightarrow minore, introducendo tali metodi di caro il segnale è rallentato e misure imprecise per 100 ms. (linea di ritardo analogico)

Oggi con l'uso di oscilloscopi digitali ('è il vantaggio di avere un segnale continuo, ma lavorando a campionamento serve una velocità elevata $> 1 \text{ Ms}/\text{s}$ cioè $\approx 100 \text{ Ms}/\text{s}$ (intervalli di $\approx 10 \text{ ms}$) e risoluzione di 8 bit $\rightarrow 1/256 \approx 0,4\%$ e precisione ≈ 3 risoluzioni 10 bit $\rightarrow 1/1024 \approx 0,1\%$]

L'è Pro-trigger: acquisizione segnale solo quando quest'ultimo raggiunge un determinato valore.

Per estrarre la sovrascrittura della memoria contenente i valori interessanti è un segnale che blocca e scrittura sui valori precedenti di tot all'trigger.

I digitali hanno problemi con i rumori e quindi qui devono essere schermati accuratamente.

L'oscilloscopio ha incertezze al massimo del 3% e per questo non è considerato proprio come strumento di misura.

↳ la precisione differisce dalla risoluzione per problemi di linearità integrale e differenziale (amplificazione del singolo gradino).

Non è consentito il trattamento del segnale (filtrarlo, spianarlo, interpolarlo) → devono conservare i dati grezzi.

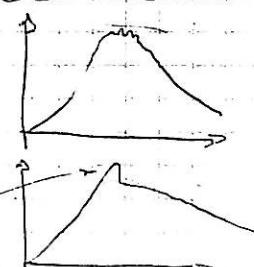
L'oscilloscopio digitale richiede spese minori per le prove dal punto di vista di immagazzinamento dei dati (un floppy da 3,5" contro uno polaroid degli analogici). Dal p.t.o. di vista costruttivo sono più costosi per schermature ed elettronica per elevate frequenze.

Le norme sono fatte da chi conosce gli oscilloscopi analogici.

- In presenza di oscillazione della tensione sulla cresta che valore di cresta si prende?

↳ La norma suggerisce di prendere la curva media dell'oscillazione, ma questo non vale per frequenze molto elevate per Δt troppo piccolo.

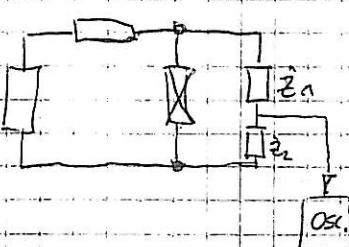
caso peggiore:
il valore medio è minore del
picco.



Attualmente mancano ancora regole precise per questo problema, per ora è l'operatore a decidere quale è la forma d'onda da valutare per studiare i valori ottenuti.

• Il divisorio

↳ deve essere collegato direttamente ai morsetti dell'oggetto in prova.



Cambiando Z_2 si regola il rapporto:

Z_2 minori → aumenta il rapporto

Z_2 maggiore → diminuisce "

In genere in questi oscilloscopi entrano 100÷150 V che non è poco, quindi il divisorio deve essere adatto a tenere milioni di V (quindi grandi dimensioni) e a trasmettere solo pochi.

$U_1 = K U_2$ → qui se si frega sul rapporto si può far vedere ciò che si vuole

Il problema è di ripetute, un transitorio veloce senza che venga troppo deformato.

↳ Sono stabilità delle tolleranze (intervallo in cui è accettato uno scostamento dal valore nominale) e della incertezza delle norme.

↳ E' ammesso per la cresta una incertezza del 3% (\pm), ma non tollerabile anche le incertezze del divisorio, ecc \rightarrow sono necessarie delle tolleranze su tutto.

↳ Tutto il sistema di misura è molto complesso quindi attualmente non si riesce ad evitare oltre il 3% di incertezza, spesso è questione di raggiungere un accordo con chi fa le norme e può validare la garanzia dell'impianto di misura.

↳ Era una norma di consenso (una volta).

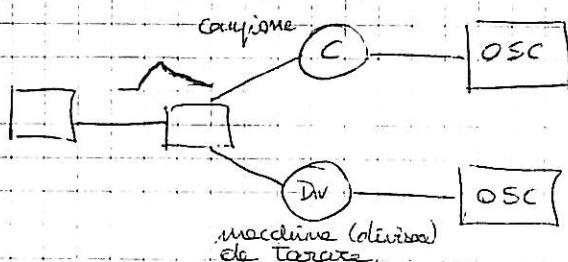
Ora il divisorio deve essere tarato per evitare troppe eccezioni dalle tolleranze.

NORMA :
(incertezza)
 $\pm 3\%$ sul fronte
 $\pm 30\%$ sul valore max)
 $\pm 20\%$ sulla coda
 $\pm 10\%$ sulla base dei tempi

Le tarature sono effettuate dal CEMI con un campione con incertezza $\pm 1\%$.

↳ Almeno $\pm 20\%$ della V_m e quindi il divisorio campione è piccolo \Rightarrow 20% fino a $1MV$ di V_m
 $200KV$ oltre $1MV$.

Schemi di taratura:



\Rightarrow il fattore di scala viene corretto per il rapporto ottenuto dal confronto tra campione e divisorio da tarare.

La correzione è valida se si è nelle tolleranze, ma altrimenti è un problema perché è un errore oltranzista anche dalla forma d'onda e non è generalizzabile per una correzione unica.

↳ Taratura con (2-3) più forme d'onda cambiando fronte e cresta, si cerca di avere il campo di applicazione nominale.

• Oltre alla TARATURA che assicura la RIFERIBILITÀ dove è verificato il fattore di scala, si deve verificare anche la LINEARITÀ (se sono 2 sistemi uguali con 2 divisorii di valori diversi tra i quali viene fatto confronto a differenti valori di tensione) con un accordo tra 2 sistemi molto spinto.

Si deve controllare anche la STABILITÀ nel tempo

- effetti dello temperatura
- stabilità sul lungo termine (considerando la stabilità delle R componenti)

→ Alla fine si conviene che da tutte queste incertezze si trovi la totale:

$$\text{IE} = \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots} \quad (\text{prende solo segno})$$

E' importante avere un pezzo "scassato" che si mangia da solo la maggior parte dell'incertezza totale.

↳ INCERTEZZA: è ammesso che i valori abbiano una distribuzione aleatoria secondo la gaussiana

↳ A volte si prende una dist. di probabilità rettangolare per considerare tutto quello che c'è all'interno → la gaussiana viene troncata.

FINESTRA

↳ La probabilità di avere aperto il valore esatto è al 95%. (fattore di apertura 2)(2G)

10-1-00

Ricorda che le prove non sono convenienti per frequenze superiori a $100 \pm 150\text{Hz}$, questo perché capacità parassite possono portare alla saturazione della molaclina.

Dato che la tenuta è una grandezza statistica serve sempre tenere dei margini e per questo non conviene andare a cercare incertezze più spinte del 3%. tramite circuiti di misura troppo complicati.

N.B. Teniamo presente che la grandezza significativa non è il valore efficace, bensì è il picco in quanto i tempi di scarica sono estremamente ridotti e risulta fondamentale solo il max valore di tensione.

Fortunatamente la taratura del TV si fa al 20% (cioè fino a 40-50 KV per 220KV nominali al max) quindi è possibile trovare un partitore induttivo stabile nel tempo dove la conta è fatta sul numero di spire.

• Quando il campione era per spinterometro si doveva fare una taratura usando un D zeglande C e distanze delle sfera. Ma la tecnica non aveva una base metrologica molto rigorosa, infatti questo non è un vero circuito di misura.

↳ Oggi C e taratura è eseguita per confronto con un altro campione di divisorio.

↳ Si trasferisce il fattore di scala del campione sul divisorio da tarare

$F_s = \frac{1.37V - F_{\text{scamp}}}{V_{\text{ca}}}$

Si devono confrontare anche le forme d'onda registrate per vedere la corrispondenza tenendo conto dell'andamento nel tempo.

Non è consigliato riferirsi a forme d'onda qualsiasi per norma indica di usare una forma $1,2 \pm 3\%$ con fronte più ripido possibile (tipi quadri).

Dal libretto di taratura si controllano le incertezze sulle onde usate, a queste si aggiungono altre incertezze legate a prove eseguite in modo diverso.

Nel libretto di misure quindi vanno sommate le incertezze di taratura, di linearità, di temperatura, di stabilità a lungo termine (la taratura va fatta almeno ogni 5 anni e di questo va tenuto conto nel lungo termine), C. Somma risultante deve essere:

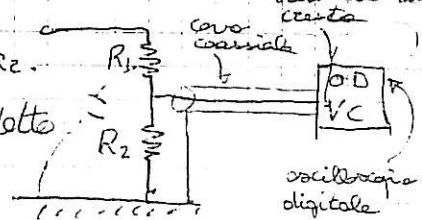
$$|C| = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2} \leq 3\%$$

E' importante evitare incertezze "grossi" che rischiano di influire in modo importante nella incertezza totale. Su queste incide C BT con oscilloscopio, la conversione A/D, ecc. Questo comporta che non è raro essere portati a barare per tenersi entro il 3%; ricordiamo infatti anche il problema di scegliere come picco il valore max o la curva media come suggerito dalla norma.

Per assicurarsi che il sistema analisi bene il comportamento dovuto ad onda impulsiva imposto conviene vedere quali sono i casi che comportano sicuramente risposte errate.

↳ a quali condizioni R_1/R_2 è il rafforzamento delle tensioni? Quando $i_{R_1} = i_{R_2}$.

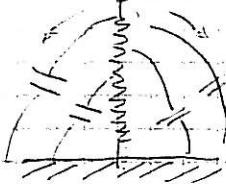
↳ MA: applicando un impulso non è detto che la corrente non segua altri percorsi, specialmente



sul fronte delle tensione che presenta variazioni rapide di corrente.

In percorso alternativo è sicuramente obbligato capacità parassita che non possono essere evitate a causa delle dimensioni estese dell'oggetto (il quale deve tenere una tensione elevata).

La posizione dell'oggetto influenza su queste e quindi c'è una caratteristica aleatoria del fenomeno (per questo nella trattura va tenuto conto e registrata l'ubicazione di prova).

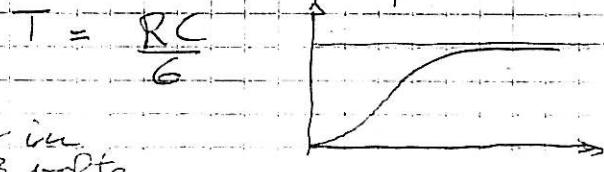


Dato che la C drena corrente per conto loro la distribuzione di questo cambia nel tempo: rimane sul fronte, in nulla o regine.

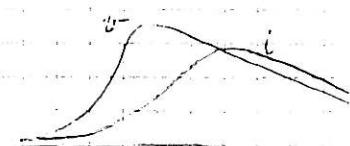
→ $\frac{R_1}{R_2}$ dato nell'ipotesi che $i_{R1} = i_{R2}$ non vale più nel transitorio

→ si deve realizzare un sistema che misuri correttamente col più critico dei criteri; questo è un grosso problema e in pratica tali errori sono molto consistenti.

Questa rete R.C (integratrice che tende a spianare) ha una cost di tempo con H.p. di C uniformemente distribuita



→ Il regime con V a gradino in input si verrebbe dopo 3 volte la sua cost, ma siccome noi non abbiamo tra gradiro e corrente arriva in ritardo quando V sta già scendendo.



Potrei migliorare riducendo la T, $C \approx 20 \text{ pF/m}$ e non si riesce a cambiare molto. R deve essere diminuito ma questo comporta che per rendere trascurabile il drenaggio di corrente capacitivo si deve avere una bobina che assorbe un sacco di corrente.

→ Con una colonna di 8 m: $T = R \cdot 160 \cdot 10^{-12} = 50 \cdot 10^{-9}$ Paodio

→ $R \approx 1875 \Omega$ al max $R = 20 \text{ k}\Omega$,

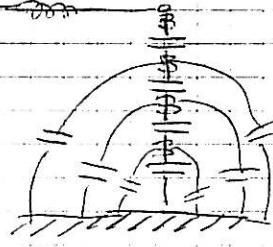
ma generalmente un divisorio ha 5-6 k Ω , e quindi si può usare questo divisorio solo per prove ad impulso, il che risulta poco economico.

→ Inoltre usandolo a $V=20\text{KV}$ → $P = V^2/R = 500\text{KW}$ ed esploderebbe subito.

→ Questi sono divisori molto specializzati e servono solo per illuminazioni, per altre forme d'onda si usa altro.

↳ Per tensione alternata si usano divisori capacitivi.

- divisori capacitivi non possono essere usati con impulsi. Qui anche se le C parassite non rifiuiscono a livello di rete le V_{oC} sarebbero indipendenti complessivamente da V_o e basterebbe fare uno scarico sul posto → riproducibile bene tutte le forme d'onda.



↳ MA: le dimensioni degli oggetti sono sempre grandi (7-8 m) e le induttanze proprie dei collegamenti influiscono.

↳ Il sistema diventa oscillante (altra che indipendente dalla frequenza) e fa da filtro per taglie in basso e in alto.

↳ Il fronte d'onda è ad alte freq, quindi il divisorio ne fa amplificare le oscillazioni.

→ Nei sistemi capacitivi infatti manca la R che arrezzo le oscillazioni, quindi non possono essere usati con impulso.

• Potrei smorzare le oscillazioni con $R > 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$
ma questo va bene per divisori piccoli.

↳ Per grandi dimensioni R e L devono essere spalancato mettendo insieme R e C (DIVISORE DI ZENIT), molto costoso.
Le R devono tenere anche la V elevata.



Vanno bene per alternata e impulso, non controlla ovviamente. Questi sono scelti per avere un solo partitore in laboratorio.

↳ Non basta però con impulsi di manovra che耗
molte più energia.

• È necessario vedere se il divisorio è buono per le prove prima di essere scaricato.

↳ Trovo il fattore di scala K: $V_1 = KV_2$

Per vedere se vale anche in BT:

- faccio esame in frequenza → con oscillatore a f. variabile (sinusoidale) controllo l'uscita e vedo se K è valido (no ho mil').

Il sistema però dovrebbe riportare tutte le componenti armoniche. Ha il vantaggio che misura un regime e possa usare un Osc , basta che arrivi al 1kHz (2kHz).

\Rightarrow l'ideale è avere $K = \text{cost}$, così sono sicuri che riproduce tutto bene.

Se trovi in basso lo problema.

Ma a noi non interessa il dominio in f , quindi dovrà fare un'analisi con FFT.

OPPURE (metodo preferito in ambito industriale)

- faccio esame in tempo: l'unica impresa canonica che va bene è il gradino.

\Rightarrow Ovviamente il tempo di salita non è nullo e si deve stimare quale sia il valore accettabile per ogni sistema ($\leq 1\text{ms}$)

\Rightarrow L'interruttore deve chiudere in modo + secco possibile, ma la nullo interno si stabilisce solo dopo $50\mu\text{s}$.

\Rightarrow L'ideale è avere int. con contatti fragnati in mercurio che si incolla stabilmente.

\Rightarrow Rele al mercurio ($\leq 500\text{V}$) ($4-5\text{ps}$)

Se il generatore ha un'impedenza e sono presenti capacità parassite anche se chiudo in modo secco ho comunque un tempo di salita. Per risolvere il problema ~~dico~~ trovo il gen con una resistenza e uso il relè per chiudere in negativo facendo un corto.

\Rightarrow Anello di tensione.

Se posso visualizzare ingresso e uscita regolando le scale

risco a trovare il comportamento d'illuminio e valutare se l'errore è importante o meno.

\Rightarrow Per trasferire il comp. dinamico al caso desiderato si usa l'integrale di convoluzione.

Dato $f(t) = K V_R (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \Rightarrow$ ottengo $\delta(t)$ in risposta del circuito

comodo con oscilloscopio digitale che fornisce un risultato numerico.

$$M(t) = \int_0^t f'(t) g(t-\tau) d\tau \quad \text{con } g(t) \text{ risposta in O.U.T.}$$

Vediamo: - quanto è modificata la cresta (in genere poco)
la durata del fronte, che in genere viene
soprattutto \rightarrow tolleranza 10%, più critica
di quella sulla cresta.

C'è almeno un ordine di grandezza di differenza
tra i tempi di un divisorio industriale e una
campana.

E' difficile riuscire a vedere il singolo
transitorio con un oscilloscopio analogico,
per questo si cerca di ripetere il fenomeno
con una linea elettromagnetica.

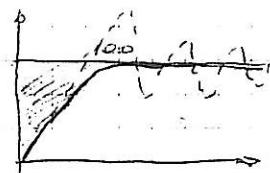
11-1-00

\hookrightarrow Nei digitali in questo modo si può ridurre il
rumore.

• L'integrale di convoluzione:

La risposta a gradino $g(t-\tau)$ si potrebbe tipizzare con
errore su cresta e su fronte.

\hookrightarrow Cost. tempo
caratteristica: $T = \int_0^\infty [1 - g(t)] dt$



i cui valori limite entrano tolleranza (3% cresta; 10% fronte)
sono forniti da particolari abitudini.
 $\Rightarrow T \leq 50 \text{ ms}$

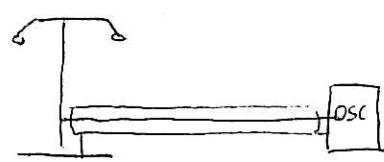
Se la risposta è oscillante T potrebbe essere piccolo ma
le oscillazioni si snanzano molto lentamente, quindi le
arie si annullano a vicenda. Quindi T non è un
parametro esauritivo

\hookrightarrow sovralungazone iniziale
- tempo di arrestamento

Possò riferirmi a T e a questi parametri se:
non voglio calcolare l'integrale perché la funzione
tipizzata
la risposta non mi risulta valida per essere
introdotto nell'integrale.

• Collegamenti col partitore

\hookrightarrow Non sono costi perché dovrà
assumere una certa sicurezza.
In caso schermato, meglio se
cassiale.



Nei cani $v \approx 20 \text{ cm/ms} \rightarrow 5 \text{ ms per fare un metro}$

→ Nei collegamenti di 10 m l'impulso è in ritardo di 50 ms, quindi quando arriva in fondo si hanno situazioni diverse rispetto agli istanti precedenti → è un fenomeno che si propaga

↳ Impedimente $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ (pure reale) di linea e di cavo sono diverse (cavo ha conduttori più vicini $\Rightarrow L < C$), in particolare per un cavo di misura $Z = 50 \pm 75 \Omega$.

La connessione cavo - oscilloscopio provoca riflessioni dell'onda (la i non passa nella R piccola, quindi va tutta su C che si scarica e la tensione sale).

Questo comporta che nei primi 500 ms c'è ~~dell'onda~~ sovrapposizione d'onde, quindi per riprodurre correttamente il fenomeno introduce un'altra $R = 50 \Omega$ in // come se ci fosse una linea di lunghezza infinita (ricorda che questo vede solo onde progressive!) e risolga il problema.

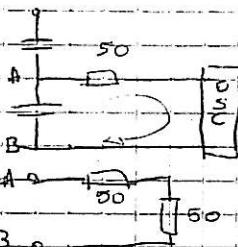
↳ I 50 Ω creano cambiamenti nel divisorio: il rapporto passa da R_1/R_2 a $R_1/(R_2+50)$, ma ~~ma~~ la bassa è sempre limitata inferiormente a 1/50 (endice ottimale).

risolti i problemi di coll.

A volte è fornito dal costruttore un adattatore, ma se è un partitore capacitivo quando lo un gradino questo si scarica velocemente dato che R piccolo.

↳ Per vedere i primi istanti dovrei essere troppo veloce, quindi i transistori veloci me li ricordo.

↳ Se metto i 50 Ω anche in serie in parallelo quando c'è un gradino tra A-B si vede $50 \Omega + 50 \Omega$ (ray. inv.), lungo il cavo passa metà tensione e quando si riflette al ritorno (ra è $1/2 + 1/2$) si vede $50 \Omega + 50 \Omega$. e qui il cavo risulta virtualmente adattato.



↳ Comunque il C si scarica molto meno ≈ 10 s di cost. di tempo e posso vedere anche fenomeni veloci.

N.B. La terminazione va inserita solo su questo partitore, non su quelli oltricci.

• Apparecchio di registrazione: deve essere dotato di garanzie metrologiche

Avere: - precisione molto spinta della deflessione verticale
 - relativamente alla rete
 - se digitale deve campionare in modo tale
 di assicurare il rilevamento dei punti
 a 30% e 30%
 possibilità di conservare i dati grezzi

- almeno 66 M sample / s ma serve realmente campionare almeno a 100 MS/s.
- memoria adatta a tenere tutti i dati
- risoluzione verticale: 8 bit $\frac{1}{256}$, 10 bit per macchine usate per fare confronti (su trasformatori)
- linearità differenziale (gradino): $> 1,2$ e $< 0,8$ rispetto al valore nominale

• Nelle prove sui trasformatori
 es. per 20KV nominale prova a 125KV di tenuta

↳ Il dimensionamento fatto sui 125KV non tiene comunque perché per le componenti d'impulso ad alte frequenze tutto l'avvolgimento è (un insieme di capacità) aperto, quindi sono le C a condurre.

Lo come per il divisore le C derivate drenano corrente, quindi è solo la C di testa che vede la i maggiore.

↳ In transitorio gran parte della tensione cade sulle prime spine; risolve facendo C grandi (derivate) isolando gli avvolgimenti sovrapposti.

MA: per macchine grosse non si può fare.



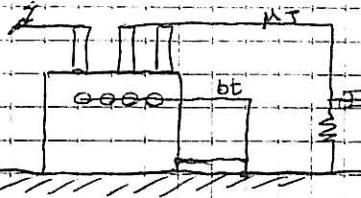
↳ Isolare le prime spine aumenta C ma allontana i conduttori e quindi l'effetto è vanificato.

• Ricorda che nella parte "lenta" del fenomeno le C connazionali a condurre e mi trovo risonanza LC con oscillazioni e riflessioni che possono portare sopra il valore medio in un punto qualsiasi dell'avvolgimento. A transitorio esaurito conducono poi solo G R.

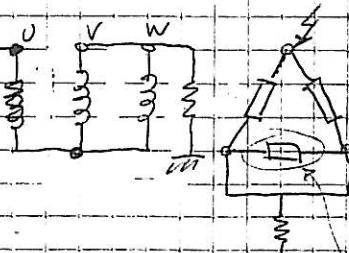
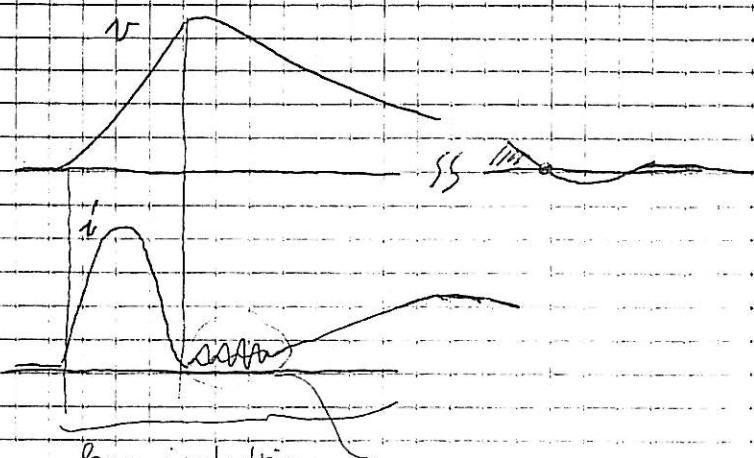
↳ La presenza di 2 fasi C e LC comporta la necessità di mantenere la tenuta in entrambe.

⇒ In pratica: con le prove cerca di assicurare la tenuta (è quindi la integrità delle macchine). La prova è fatta solo con polarità negativa (fumini) per non avere grane sui passanti (che in axis tengono meglio con pol. negativa).

Provavo con 3 impulsori applicati singolarmente su una fase allo scambio, tutto il resto è messo a terra con un unico collegamento (bt); la MT restante è messa a terra con blind.



↳ Registrava la tensione e controllava la corrente nei terminali, che dipende anche dalla connessione



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

$$\phi = \int e dt \quad i = \frac{1}{L} \int$$

fase induttiva
oscillazioni nel trasf. date da L e C

La macchina deve essere un sistema lineare, quindi per sapere come è la macchina (senza rischiare di bruciare) si applica un impulso a metà tensione \rightarrow registro V e I .

$62,5 \text{ KV} \rightarrow 125 \text{ KV}$ Passa a tensione piena e diminuisce la sensibilità dell'oscilloscopio, così ottengo 2 diagrammi sovrapponibili privi di differenze, se c'è anche una minima differenza questo è indice di una spira andata in corto.

Terre multiple, rumori in radiofrequenza e altro influiscono, quindi si deve riuscire a distinguere uno corto da scarica dal resto.

a) Con oscilloscopio digitale esistono requisiti più spinti, ma i confronti risultano più agevoli senza dover avere rapporto 2.

OPPURE

b) \rightarrow Avendo numeri posso fare la trasformata di Fourier di $V(\omega)$ e $I(\omega) \rightarrow V(\omega), I(\omega)$.

$$\hat{Z}(\omega) = \frac{\hat{V}(\omega)}{\hat{I}(\omega)} \quad \hat{Y}(\omega) = \frac{\hat{I}(\omega)}{\hat{V}(\omega)} \quad \text{da cui trovo il comportamento dell'avvolgimento in freq.}$$

Prendo $\hat{Z}(\omega)$ del I impulso a $0,5 V$,

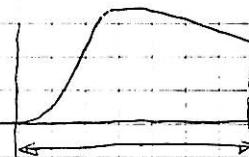
dovrebbe essere identica a quella trovata a piena tensione; dovrebbe essere invariante con la forma d'onda.

Se c'è scarica la linea si modifica, cambiano le freq. di risonanza e il picco si sposta. Se c'è stress che aumenta le perdite dielettriche, ma la struttura tiene se ha solo una diminuzione dei picchi. De questi 2 tipi di risposte si capisce come è andata la prova.

12-1-00

- Il grossso problema delle trasformate qui è la limitata memoria di registrazione che comporta problemi.

Infatti se l'onda campionata è solo una parte di quelle reali si perde: La informazioni altre un certo punto e si introduce un gradino che tronca la curva.



→ introduce notevole contributo armonico artificiale che rovina la bontà del risultato.

Per neutralizzare l'effetto della transizione dovuta alla truncatura si ricorre a FINESTRE moltiplicando i valori campionati per una funzione → c'è alterazione dei dati che non sono più studiati nel loro stato grezzo.

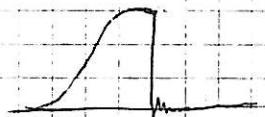
Si usi la stessa finestra sia per le misure a metà sia a piena tensione per mantenere la validità dei confronti.

Siccome le armoniche alle alte frequenze sono tanto piccole da essere mascherate dal rumore, quando eseguo il rapporto $\hat{I}(\omega) / \hat{V}(\omega)$ bisogna doppio il denominatore a maggiore contenuto (doppia) armonico.

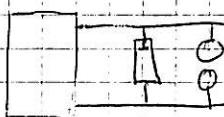
→ In genere si fa per $\hat{V}(\omega)$ che risulta più stabile grazie alla $V(\omega)$ che presenta valori maggiori della $I(\omega)$.

Il limite è $1 \div 2 \text{ MHz}$ (superiore)

- Può esserci la richiesta di provare con un'ONDA TRONCA i trasformatori: si usa un CHOPPER, troncando nella zona del MAX.



→ perché quando c'è una sintermettrice scarica tronca l'onda della sovratensione sulla linea.



E' una prova più pesante perché se arriva un gradino ("negativo") mentre il sistema è oscillante si sovrappone una nuova distribuzione capacitiva e alla fine c'è meccanicamente paradosalmente scarica perché c'è tolta la tensione in modo secca.

Dal fronte dell'onda dipende l'istante di scarica.
E una prova più conveniente perché è un vero gradino e ottengo uno spettro più ampio rispetto a quello dell'impulso normalizzato.

E una prova condivisa con quelli d'onda lunga facendo un impulso all'inizio e uno alla fine della serie.

• PROVE IN CORRENTE:

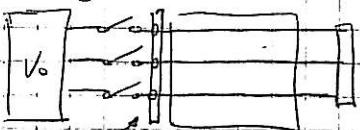
Risponda in modo ideale sulle correnti i fenomeni si presentano meno critici negli ad elevate tensioni.

- * Con NORMA 17-13 è imposto uno scrupolo sui quadri sui limiti di temperatura, ecc. e resistenza a cortocircuito.

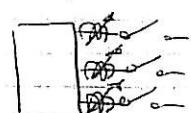
↳ Vanno considerate:

- corrente DINAMICA: picco di corrente che il sistema di sbarre è in grado di tenere senza danneggiarsi e compromettere la tenuta di TRASF.
- corrente TERMICA: livello di corrente che non surriscalda al limite le sbarre entro il tempo di apertura degli interruttori.

La prova si fa in trifase e
casualmente in monofase.



Le potenze sono elevate e molto reattive con cui si fa un corto. quindi: o mi munisco di alternatore dedicato con motore di parco e fornisca la pot. al corto con l'energia cinetica del rotore, buono per dt; oppure regolando la corrente con delle reattanze tenendo la tensione di linea



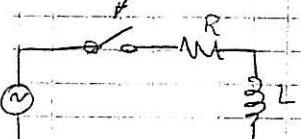
N.B.: Nei trasf. monofasi grossi ci sono densità di corrente $\approx 3 \text{ A/mm}^2$ (indicativamente), mentre in quelli tirati per esercizio interruttivo $\approx 100 \text{ A/mm}^2$

Prova:

- preparazione del circuito
- realizzazione del corto

dispositore

Rapporto corrente dinamica e termica:



- Una volta chiuso sul max di tensione (trasformatore R) la corrente va da 0 e regime sinusoidale subito

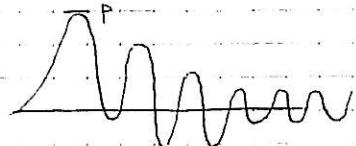
• se chiudo sulla zero di tensione.

$$i = \frac{1}{2} \int e dt \quad \phi = L i \quad e = -\frac{d\phi}{dt} \quad \phi = \int e dt$$

mi trovo una corrente opposta a quella precedente (al max un po' smorzata se considero R).

Quindi a seconda di grande chiude potrei avere un picco
oltre i \sim i regime che non crea problemi termici ma,
ma dal punto di vista dinamico
crea problemi di sollecitazioni

(es: $i_{RMS} = 25KA \Rightarrow i_{MAX} = 35KA \Rightarrow i_{MAXP} \approx 70KA$)



elettrodinamiche.

Per fare una prova solo che tenga conto di entrambi gli aspetti chiudo sulla O di vede vado ovanti per 1s.

Altrimenti faccio 2 prove separate chiudendo sulla O e sul max della tensione.

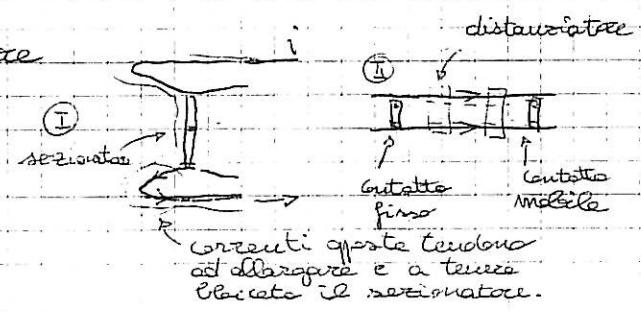
E' una prova cattiva e costosa tutto l'equipaggiamento è tirato per sfruttare l'adiabaticità di prove fatte molto velocemente.

SEZIONATORE è fatto per chiudere in condizione di stress

• Tende a flettere ed aprire

quindi le 2 stelle sono ancorate

Contatti auci e multipli.



Si misura la corrente $\rightarrow TA$, filiere ottiche con convertitore è ricevitore.

I registratori con $20\mu s$ di campionamento possono avere risoluzione molto spinta quindi ha incertezza minima di quella per registratori di impulsi.

• Possono essere usate SONDE DI ROGOSKI, difficili da tarare e con TA giganti ma molto leggere, come tensionometri magnetici.

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

e si integra la e per ottenere la i , ma c'è il rischio di saturazione.

Dunque registro la e e poi si sommano tutti i valori in memoria moltiplicando \times intervallo di campionamento e l'ultimo dover ricorrere ad integratore.

