

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/63
21.10.1953.

G. Sacerdoti: IL CALCOLO DEL VOLANO PER L'ECCITAZIONE
DI UN SINCROTRONE.-

M. 26
21/10/57

RELAZIONE - IL CALCOLO DEL VOLANO PER L'ECCITAZIONE DI UN
SYNCHROTRONE SECONDO LO SCHEMA DI Fig.I

a) Introduzione : L'alimentazione di un sincrotrone si può effettuare in due modi: o con condensatori (choke coil o no), metodo il cui costo è determinato quasi esclusivamente dall'energia immagazzinata nella gap, cioè indipendente dalla frequenza, o con volano. Il costo di questo ultimo sistema di alimentazione è sensibile alla frequenza di ripetizione degli elettroni. Per una determinata forma della curva di eccitazione $I(t)$ (I corrente di eccitazione del magnete, t tempo) il dilatarla nel tempo per un dato magnete significa diminuire la potenza dell'alternatore trifase a p poli che alimenta il magnete, quasi proporzionalmente alla frequenza di ripetizione del ciclo. Per inciso già da ora faremo presente come questo circuito richiede particolare attenzione nei circuiti di protezione del magnete e richiede il motore e il generatore dello schema di fig.I sopra dimensionate per le situazioni pericolose che si vengono a provocare se i comandi degli ignitron non funzionano o se in essi si generano archi. Anche e soprattutto il magnete deve essere protetto adeguatamente.

b) Funzionamento dello schema di alimentazione al volano. Il sistema di fig.I funziona sommariamente così : la tensione trifase del generatore in figura con un sistema di ignitron periodicamente invertono e staccano i collegamenti tra magnete e generatore. La corrente prima si riversa nel magnete e si scarica poi nel generatore che funziona

alternativamente così da motore.

Altrove esaminerò il circuito con maggiore precisione e esaminerò i guasti possibili per potere stabilire i sistemi di protezione e le prove che devono sopportare le varie componenti del sistema di alimentazione.

Nei prossimi paragrafi esamineremo con quale criterio si può dimensionare il volano nel caso il motore sia un motore sincrono e nel caso in cui sia asincrono. In altra nota stabilirò le dimensioni del generatore trifase e il numero di polarità e delle fasi necessarie sia in considerazione delle caratteristiche degli ignitron sia in vista del costo del generatore sia in base a criteri di sicurezza per le massi volanti (volano) in gioco.

c) Dimensionamento del volano nel caso in cui il motore sia sincrono.

In prima approssimazione possiamo schematizzare il magnete con una induttanza pura.

Posto di conoscere I_{max} è determinata la V della relazione :

$$\frac{\tau V}{L} = I_{max} \quad V = \frac{I_{max} L}{\tau} \quad (1)$$

$$\text{Risulterà pure :} \quad P = \frac{I_{max}^2 L}{\tau} = \frac{E}{\tau} \quad (2)$$

V = tensione di eccitazione del magnete

τ = tempo di salita della corrente

L = induttanza del magnete

I_{max} = corrente massima di eccitazione del magnete

P = potenza del generatore trifase media erogata durante la salita

E = energia massima nella gap.

La coppia applicata alla sezione A A' avrà durante la fase in cui il magnete si carica, un andamento pressochè lineare crescente e avrà un valore positivo, (coppia frenante il volano). Durante la fase di scarica avrà un valore negativo pressochè lineare decrescente durante tutto il periodo e un valore medio di pressochè uguale al modulo che si aveva nella fase di carica: le differenze dei moduli sono dovute alle perdite nel magnete ignitron e generatore trifase. Il valore efficace della potenza fornita durante una fase del generatore trifase è molto maggiore del valore della potenza media da esso fornita: da cui

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1} \ll 1$$

Nel tratto di riposo C (coppia in A A') rimane ≈ 0

Questo che è stato detto per quel che riguarda la coppia è vero se si fa l'ipotesi che la tensione raddrizzata sia costante, che le perdite nel sistema magnete, ignitron trifase, siano costanti o trascurabili nel tratto di carica, scarica e ripresa del magnete e che la ω (velocità angolare dell'albero) rimanga costante.

I problemi che si presentano nel caso di un'alimentazione di questo tipo sono i seguenti :

- 1) Data la curva di eccitazione $I(t)$ del magnete (I = corrente di eccitazione) e determinata la V di alimentazione e quindi la potenza dell'alimentatore, determinare in base agli ignitroni esistenti il circuito di alimentazione.
- 2) Risolvere il sistema di comando degli ignitron, studiare il sistema di protezione del magnete e del generatore sincrono: questo ultimo deve sopportare correnti due volte superiore a quella di regime per il periodo di due o tre cicli per il caso in cui il comando di inversione degli ignitron non funzioni. Inoltre deve avere un'induttanza suffi-

ciente a sopportare il corto circuito per la durata di due o tre periodi nel caso scocchi un arco in un ignitro e si prolunghi per tale periodo (gli archi pongono in c.c. due fasi) ecc. Per il magnete valgono considerazioni analoghe.

- 3) Stabilire dal valore di $P(c)$ le dimensioni del volano e del motore sincrono (o asincrono) affinché sulla rete non si abbiano sensibili perturbazioni alla variazione della potenza richiesta e affinché non si abbiano oscillazioni pericolose del motore sincrono (o asincrono).

A quest'ultimo scopo in un secondo tempo bisognerà studiare le oscillazioni pendolari dell'albero che porta generatore volano e motore sollecitato a torsione sia fare un esame dei fenomeni di instabilità a cui danno luogo le forze centrifughe.

La curva delle coppie in funzione del tempo (sezione A A') sarà allora quella di Fig.2 .

$$[C_1 - C_2] \omega T + C_0 T_0 \omega = \text{Energia dissipata per ciclo} \quad (3)$$

$T =$ periodo di ripetizione del ciclo.

Il valore medio della coppia C_1 [$\approx C_2$] è legata all'energia massima immagazzinata nella gap dalla relazione

$$C_1 \omega T = E$$

e cioè

$$C_1 = \frac{E}{\omega T} \quad (4)$$

La velocità di rotazione ω_0 dell'albero è data da :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$$

$f =$ frequenza di rete

$2 p =$ numero poli dell'alternatore

Legata ad ω è la forma del volano per via delle forze centrifughe.

L'equazioni che reggono il moto del motore sincrono sono : (Si trascurano le oscillazioni torsionali).

$$I \omega' = \frac{E_0 V_0 \sin \delta}{X \omega} - c(t) \quad (5)$$

$$\delta = - \int_0^t (\omega - \omega_0) dt p + \delta_0 \quad (6)$$

I = momento d'inerzia del volano

E_0 = tensione di eccitazione a vuoto del motore sincrono

V_0 = tensione di alimentazione del motore sincrono

X = reattanza sincrona del motore

δ = angolo di sfasamento tra E_0 e V_0

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$$

La espressione $\frac{E_0 V_0 \sin \delta}{X}$ ci da la potenza richiesta alla rete. Esaminiamo ora il valore delle equazioni scritte.

Il termine $\frac{E_0 V_0 \sin \delta}{X \omega}$ non è esatto per due ragioni : la prima è che essendo il fenomeno non stazionario non ha senso a priori usare il termine X reattanza sincrona, perchè bisognerebbe esaminare come le variazioni della corrente I dello statore sono seguite dalle corrispondenti variazioni del flusso di eccitazione; inoltre se il rotore non è liscio bisognerebbe fare intervenire un termine correttivo in cui interviene la differenza della reattanza trasversale e quella longitudinale moltiplicato per un termine del tipo $K \sin 2\delta$ ($K = \text{cost}$).

Trascuriamo anche gli attriti e la resistenza del motore sincrono.

Potere dedurre dalla (5) e dalla (6) informazioni sulla massa del volano è cosa difficile. Se ammettiamo come in modo molto approssimato è, che la regolazione sia del tutto voluta al volano, ammettendo quindi di trascurare completamente nella (5) il termine $\frac{E_0 V_0 \sin \delta}{X \omega}$ (7)

$$X \omega$$

rispetto a $\mathcal{J}\omega'$, potremo ottenere qualche risultato utile. Fisicamente trascurare il termine (7) vuol dire che il motore è piccolo. Sotto tale ipotesi abbiamo che :

$$\omega' = \frac{2c_1}{\mathcal{J}} \tau \quad (8)$$

$$\omega_2 = \omega_1(0) + \frac{c_1}{\mathcal{J}} \tau \quad (9)$$

enquindi con semplici passaggi risulterà (Vedi nota I)

$$\delta_2 - \delta_1 = \frac{c}{\mathcal{J}} \frac{\tau^2}{3} p \quad (10)$$

(I) - Sarà infatti durante il periodo in cui è crescente

$$\omega(0) = \omega_2(t) - \frac{c_1}{\mathcal{J}} \frac{t^2}{2}$$

$$\omega(0)t + \frac{c_1}{\mathcal{J}} \frac{t^3}{3} + \delta(0) = \delta(t)$$

$$\omega(\tau) = \omega(0) + \frac{c_1}{\mathcal{J}} \tau$$

$$\delta(\tau) = \delta(0) + \omega(0)\tau + \frac{c_1}{\mathcal{J}} \frac{\tau^3}{3}$$

Durante il periodo decrescente se il moto è periodico risulterà :

$$\omega(0) = \omega(\tau) - \frac{c_1}{\mathcal{J}} \tau$$

$$\delta(0) = \delta(\tau) + \omega(\tau)\tau - \frac{c_1 \tau^2}{\mathcal{J}3}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \delta(0) - \delta(\tau) &= \omega(\tau)\tau - \frac{c_1 \tau^2}{\mathcal{J}3} \\ \delta(\tau) - \delta(0) &= \omega(0)\tau + \frac{c_1 \tau^3}{\mathcal{J}3} \end{aligned} \right.$$

e quindi dovrà risultare :

$$\omega(0) - \omega(\tau) = -\frac{c_1}{\mathcal{J}} \tau$$

$$\omega(\tau) - \omega(0) = \frac{c_1}{\mathcal{J}} \tau$$

da cui si vede la validità della (10)

$$\begin{aligned} \delta(\tau) - \delta(0) &= [\omega(0) - \omega(\tau)]\tau + 2 \frac{c_1 \tau^2}{\mathcal{J}} = \\ &= -\frac{c_1 \tau^2}{\mathcal{J}} + 2 \frac{c_1 \tau^2}{\mathcal{J}} = \frac{1}{3} \frac{c_1 \tau^2}{\mathcal{J}} \end{aligned}$$

Si hanno oscillazioni di velocità di ampiezza massima $\frac{c}{J} \hat{\tau}$ e oscillazioni di angolo $\Delta\delta$ la cui ampiezza massima è data dalla (10). Se immaginiamo che queste oscillazioni avvengano intorno al punto δ_0 e $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$ (δ_0 angolo per cui il motore fornisce la potenza media dissipata) L'ampiezza di queste oscillazioni sarà data da :

$$|\Delta\omega|_{\max} = \frac{1}{2} \frac{c}{J} \hat{\tau}$$

$$|\Delta\delta|_{\max} = \frac{1}{2} \frac{c}{J} \frac{\hat{\tau}^2}{3} p$$

$$\begin{cases} \delta_{\max} = \delta_0 + \Delta\delta \\ \delta_{\min} = \delta_0 - \Delta\delta \end{cases}$$

$$\omega_{\max} = \frac{2\pi f}{p} + \Delta\omega$$

$$\omega_{\min} = \frac{2\pi f}{p} - \Delta\omega$$

Noi sappiamo che affinché il motore non dia luogo a fenomeni di instabilità, deve essere :

$$\delta_0 + \Delta\delta < \frac{\pi}{2} \quad (II)$$

Se il comando di qualche ignitre non funziona si ha che $\hat{\tau}$ può anche diventare $\hat{\tau}^* = 1,5$ (dopo interviene la protezione) da cui può diventare circa $3\Delta\delta$. Da cui la (II) diventa :

$$\delta_0 + 3\Delta\delta \leq \frac{\pi}{2} \quad (II')$$

Dobbiamo inoltre limitare gli equilibri di potenza assorbita durante le oscillazioni pendolari.

Dovrà risultare quindi :

$$\frac{P(\delta_0 - \Delta\delta)}{P(\delta_0 + \Delta\delta)} > \frac{1}{k} \quad (I2)$$

Dato δ_0 possiamo determinare certamente un $\Delta\delta$ per cui la (I2)

e la (II) possono venir soddisfatte. Se poniamo $\delta_0 = 2\Delta\delta$ (ammettendo che la (I2) sia soddisfatta per $K = 2 \div 3$) otteniamo dalla (II) ricordando la (I0)

$$\frac{E}{\omega r} \frac{1}{J} \frac{r^2}{3} p \leq \frac{\pi}{10}$$

$$J \geq \frac{3,3}{\pi} p \frac{E r}{\omega} \quad (I3)$$

Esempio numerico. Se $\delta_0 = 2\Delta\delta$ $f = 50$ Hz ($f =$ frequenza di rete) risulterà per la (I1') e la (I3)

$$\frac{1}{3} \omega^2 J \geq \frac{5}{\pi^2} p^2 \omega \quad E = 3,3 f r \quad E = 165 E r$$

$$\frac{1}{2} \omega^2 J = \text{energia immagazzinata nel volano.}$$

$$\text{Se } r = 0,2 \quad E \text{ volano} = 33 \quad E \text{ gap.}$$

Se per il sincrotrone valgono i seguenti dati :

$$h = \text{altezza gap} = 0,1 \text{ m}$$

$$l = \text{larghezza gap} = 0,21 \text{ m}$$

$$\alpha = \text{scarpa polare} = 71^\circ$$

$$R = \text{raggiosincrotrone} = 3,33 \text{ m.}$$

$$B_{\text{max}} = \text{induzione magnetica massima nella gap} = 10.000 \text{ gauss}$$

$$N = \text{numero di spire di eccitazione}$$

$$a = \text{altezza finestra rame} = 0,26$$

$$b = \text{larghezza finestra rame} = 0,13 \text{ m.}$$

$$Acc = \text{area di un conduttore} = 228 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\oint_{\nu}}{\oint_{\tau}} = 0,5$$

Otteniamo (Nota 2)

(2) - Le grandezze elencate sopra valide per un tipo di eccitazione del tipo di fig.4 sono state calcolate corrispondentemente anche per una eccitazione sinusoidale anche per una eccitazione a frequenza

Amperespire massime di eccitazione = 79.600 Amper

I_{\max} = 6.600 Amper

I_{eff} per eccitazione del tipo di fig.4 che passa per il magnete =

$$= \sqrt{\frac{0,4}{1,5}} I_{\max} = 3400 \text{ Amper}$$

I_{eff} per eccitazione del tipo di fig.4 che passa per un initron, se

l'eccitazione trifase = 1.140 amper

$$E_{\text{gap}} = \frac{2 \times 2\pi + l h B^2}{\mu} = 6,9 \cdot 10^5 \text{ joule (energia massima gap)}$$

L = induttanza magnete = $13,5 \cdot 10^{-3}$ henry

$$V_{\text{ecc}} \text{ per ecc del tipo fig.4} = \frac{2E}{I_{\max} \tau} = 1050 \text{ Volt}$$

Quindi $\frac{1}{2} \omega^2 J$ del volume sarà di $35 \cdot 10^6$ Joule (per calther vi è una energia di 210 joule)

Prima di terminare sarà bene fare un esame dell'angolo di sfasamento tra I e V di eccitazione del motore al variare del carico.

Se V e E_0 sono uguali in modulo e $\delta_0 = 30^\circ$, $\Delta\delta = 15^\circ$

φ per $\delta = \delta_0$ è 15° φ a massimo carico sarà 22°

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{\text{sen } 45}{\text{sen } 15} \quad (\text{Vedi Fig.5})$$

25 Hz: sono elencate qui sotto le grandezze che in tale eccitazione sono differenti da quelle sopra elencate.

$$I_{\text{eff}} = 4727$$

$$G_{\text{eff}} \sin = 2,07$$

$$V_{\text{eff}} \sin H 225 = 10.800 \text{ Volt}$$

$$V_{\text{eff}} \text{ con chotre coil H 225} = 5 050 \text{ Hz.}$$

Si potranno esaminare il variare del costo dell'impianto e dell'energia presa dalla rete al variare di S_0 e fare un computo sommario del minimo costo.

Come si vede il valore di J dipende dai coefficienti di sicurezza assunti.

Il valore dell'energia del volano non dipende dal numero dei poli.

La massa del volano non dipende, se sfruttata al massimo la resistenza del materiale, della velocità angolare. In realtà varierà notevolmente perchè trattandosi di piccole dimensioni non si presta ad una dispersione che sfrutti al massimo la resistenza del materiale (raggi troppo grandi e masse troppo piccole).

La pressione centrifuga infatti è data da : $\omega^2 R \rho$

ρ = densità del materiale ω = velocità angolare

R = Raggio dell'anello

Se si ha un anello la cui massa è concentrata al raggio R .

A = area di una sezione dell'anello

$$\frac{\omega^2 R \rho \cdot R \cdot A}{A} = \rho$$

σ = resistenza ammessa per il materiale

quindi abbiamo $\omega^2 R^2 = \text{cost}$ (13)

Da cui essendo $\frac{1}{2} \omega^2 J = \frac{1}{2} m \omega^2 R^2 = \text{Energia del volano.}$

Se vale la (13) risulterà $m = \text{cost}$ indipendentemente da .

Se $\omega = 50$ p/sec $\sigma = 250$ Kg/mq $R_{\text{max}} = 0,732$ m.

In tal caso a titolo indicativo per immagazzinare $3,5 \cdot 10^7$ Joule si otterrebbe col criterio precedente un volume di 144 dm^3 di ferro ossia 1200 Kg. di ferro.

d) Calcolo del volano per lo schema di Fig. I ove si abbia un motore asincrono.

Il motore asincrono fornisce una certa potenza media per supplire le perdite che si hanno nel sistema con uno scorrimento $s = \frac{\omega_s - \omega_f}{\omega_s} = S_0$

ω_s = velocità di sincronismo

ω_f = velocità del rotore.

Se facciamo l'ipotesi che già abbiamo fatto nel paragrafo precedente che cioè $J\omega$ è coppia di reazione esercitata dal volano sia della coppia esercitata dal motore agli effetti della regolazione degli scorrimenti abbiamo :

$$\frac{\omega_f - \omega_m}{\frac{2\pi f}{p}} = \frac{C_r \tau}{J \cdot 2 \cdot \frac{2\pi f}{p}} = \Delta s \quad (14)$$

Δs = variazione dello scorrimento

ω_m = può essere la velocità massima o la minima essendo per ipotesi le oscillazioni massime degli scorrimenti simmetriche rispetto s_0 ,
(scorrimento corrispondente a ω_f)

Risulterà :

$$s_{\max} = s_0 + \Delta s \quad s_{\min} = s_0 - \Delta s$$

s_{\max} = massimo scorrimento

s_{\min} = minimo scorrimento.

Le condizioni a cui devono soddisfare s_{\max} e s_{\min} devono essere le seguenti :

- 1) Non dar luogo a sfasamenti troppo forti tra corrente e tensione di rete (specie per $s = s_{\max}$ ove I è più forte). Possiamo per esempio imporre che $\cos \psi$ si mantenga maggiore di 0,7.
- 2) Far sì che la potenza fornita dalla rete non abbia a subire troppo forti modulazioni al variare di esse s . Ad esempio possiamo porre che $\frac{\Delta P}{P}$ sia minore di 1/5.

La formula che dà il valore della potenza che l'asse del motore trasmette al volano (si immagina che il rendimento del motore sia sufficiente per poter trascurare le differenze tra potenza di rete e potenza trasmessa in prossimità almeno di s_0 : in realtà si potrebbe addirittura sostituire

ad (1-s) semplicemente I e considerando così la potenza assorbita dal motore) è la seguente :

$$P_m = q \frac{(1-s) E_0^2 R}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} \quad (15)$$

P_m = potenza del motore

s = scorrimento del motore

E_0 = tensione applicata

R = resistenza equivalente del motore

X = induttanza del motore

q = numero delle fasi

~~$$\frac{R}{X} = \cot \varphi_{cc}$$~~

La variazione di potenza al variare di Δs sarà data da (differenziando la 15)

$$\Delta P = -\Delta s \frac{E_0^2 R}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} - \frac{(1-s) E_0^2 R}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} \left[\frac{-\frac{R^2}{s^2} + X^2}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} \right] \Delta s =$$

$$= -\Delta s \frac{E_0^2 R}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} \frac{(1-s)}{(1-s)} - \frac{(1-s) E_0^2 R}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} \frac{\left[-\frac{R^2}{s^2} + X^2 \right]}{\frac{R^2}{s} + X^2 s} \Delta s$$

$$\Delta P = -\Delta s P_m \frac{1}{1-s} - \Delta s P_m \left[\frac{-\frac{1}{s^2} + \frac{1}{(\cot \varphi_{cc})^2}}{\cot^2 \varphi_{cc} + \frac{1}{s}} \right]$$

$$\left| \frac{\Delta P}{P_m} \right| = \frac{\Delta s}{1-s} + \Delta s \frac{-\frac{1}{s^2} + \frac{1}{\cot^2 \varphi_{cc}}}{\cot^2 \varphi_{cc} + \frac{1}{s}} \quad (16)$$

$\frac{\Delta P}{P_m}$ deve risultare minore di $\frac{1}{k}$ con k per esempio maggiore di 5 per soddisfare alla condizione 2.

Dalla condizione 1 possiamo stabilire le seguenti limitazioni.

Consideriamo (Fig. 5) il diagramma circolare del motore.

Chiamiamo I_r = la corrente di regime per $s = s_0$; chiamiamo

I_m = la corrente magnetizzante. Se poniamo che valga la relazione

(per i simboli vedi Fig.5)

$$\alpha_1 \approx \alpha_2 \quad \text{ove} \quad \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{I_{\mu}}{I_r}$$

(P in figura indica le condizioni di regime), possiamo scrivere :

$$\gamma = \alpha + \alpha_0$$

Se poniamo che γ sia abbastanza piccolo per cui a $\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma$ o almeno
calcoli
 del 30% (questi dati servono ad avere solo dati indicativi) abbiamo che:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{\gamma}{\Delta s} \operatorname{tg} (\alpha + \alpha_0) \Delta s &\approx \frac{4\gamma}{\gamma_0} \leq \frac{2.1}{\operatorname{sen} 2(\alpha + \alpha_0)_{\min}} \Delta s \frac{x}{R} \leq \\ &\leq \frac{1}{\operatorname{sen} 2(\alpha + \alpha_0)_{\min}} \Delta s \operatorname{tg} \gamma_{cc} \leq K \end{aligned} \quad (17)$$

sen γ_{\min} significa il valore minimo che questa espressione assume nell'intervallo

$$\gamma_0 + 4\gamma \quad \text{e} \quad \gamma_0 - 4\gamma$$

K è stabilito in modo che una variazione di 4γ non porti a sfasamenti nocivi tra corrente e tensioni di rete.

Se per esempio $\cos \gamma = \cos (\alpha + \alpha_0) = 0,8$ $s = 5\%$
 $\gamma_{cc} = 68^\circ$ $\operatorname{cot} 68^\circ = 0,4$ la (15) e la (17) si riducono alle seguenti esp disuguaglianze :

$$\frac{\Delta s}{0,95} + \Delta s \frac{[-400 + 6,3]}{20 + 6,3} \leq \frac{1}{5} \quad (18)$$

$$\frac{2 \Delta s}{0,2 \times 0,4} \leq \frac{0,37}{1}$$

ove $1/5$ rappresenta il massimo squilibrio di energia che ci è consentito dalla Società fornitrice di elettricità: $0,37/1$ è la variazione relativa della tangente che ci consente di mantenere il $\cos \gamma$ maggiore di $0,7$ quando $\cos \gamma = 0,8$; $0,2$ è un valore minore del valore minimo di $\operatorname{sen}^2 \gamma$ quando

cos γ non scenda a meno di 0,7. Se (18) si riducono a

$$\approx 14 \Delta s \leq \frac{1}{5}$$

$$\Delta s \leq \frac{1}{30}$$

la prima è più restrittiva :

$$\Delta s \leq \frac{1}{70} \quad \text{per} \quad K = 5$$

Per $K = 7$ avremo ottenuto circa $\Delta s \leq \frac{1}{100}$

Ricordando la (14) si ottiene :

$$\frac{c \gamma}{J \cdot 2 \cdot \frac{2\pi f}{p}} \leq \frac{1}{70}$$

$$J \geq 70 p \cdot \frac{c \gamma}{4\pi f} \quad (19)$$

e ricordando che è

$$c \frac{2\pi f}{p} \gamma = E_{\text{gap}}$$

la (19) si riduce :

$$J \geq 70 p \frac{\cancel{\gamma} E_{\text{gap}} p}{4\pi f \quad 2\pi f \cancel{\gamma}}$$

L'energia del volano si riduce a

$$\frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{70}{4} E_{\text{gap}} = 18 E_{\text{gap}}$$

Se $K = 7$

Energia volano = 25 E_{gap}

Da quel che si è visto risulta che per un motore sincrono, qualora si voglia ottenere un $\Delta P/P = 2 - 3$, rimanendo entro i limiti di stabilità del motore è necessario dimensionare un volano di energia uguale 33 volte l'energia dell'intraferro; per un motore asincrono, per un motore asincrono per mantenere $\Delta P/P$ minore di 1/5 invece è necessario un volano di energia uguale 18 volte l'energia della gap, senza peraltro che si abbiano variazioni dell'angolo di fase tra corrente e tensione diretta rete troppo forti. Da ciò è facile rilevare come un motore asincrono sia da preferirsi ad un motore sincrono.

Sommario e Conclusioni In a) si è esaminato in generale il problema economico dell'alimentazione della magneti di un elettrosincrotrone. In b) si è esaminato il funzionamento per lo schema di alimentazione con volano.

In c) si è esaminato come si calcola il volano nel caso in cui vi sia un motore sincrono calettato sull'asse del volano. Fatto un esame delle equazioni che reggono le oscillazioni pendolari intorno alla posizione di equilibrio si è trovato che approssimativamente risulta

$$\Delta S = \frac{1}{2} \frac{C}{S} \frac{r^2}{3} P \quad \Delta \omega = \frac{1}{2} \frac{C}{S} \tau$$

Imponendo delle limitazioni a ΔS si è trovato un limite inferiore per energia che deve essere immagazzinata dal volano in funzione dell'energia immagazzinata nella gap. Per $f = 50$ Hz e $P = 0,2$ sec quando $S_0 = 2\Delta S$ e con un coefficiente di sicurezza 3 ($S_0 + 3\Delta S < \frac{\pi}{2}$) si ottiene (gli equilibri di potenza risultano del 20% circa) $E_{vol.} = 33 E_{gap}$.

In d) si è esaminato come si calcola il volano nel caso in cui il motore calettato sul suo asse sia sincrono. Usando le formule trovate in c) imponendo limitazioni nelle variazioni di potenza e nella variazione

dell'angolo di fase rispettivamente dell'ordine di $1/5$ nel primo caso e imponendo che così si mantenga maggiore di 0,7 per la seconda condizione si è ottenute $E_{vol} = 18 E_{gap}$.

La discussione fatta in questa relazione, nella quale si è tenuto conto delle dimensioni del volano e delle variazioni della potenza fornita dalla rete, porta alla conclusione che il motore asincrono è senz'altro più indicato del motore sincrono.

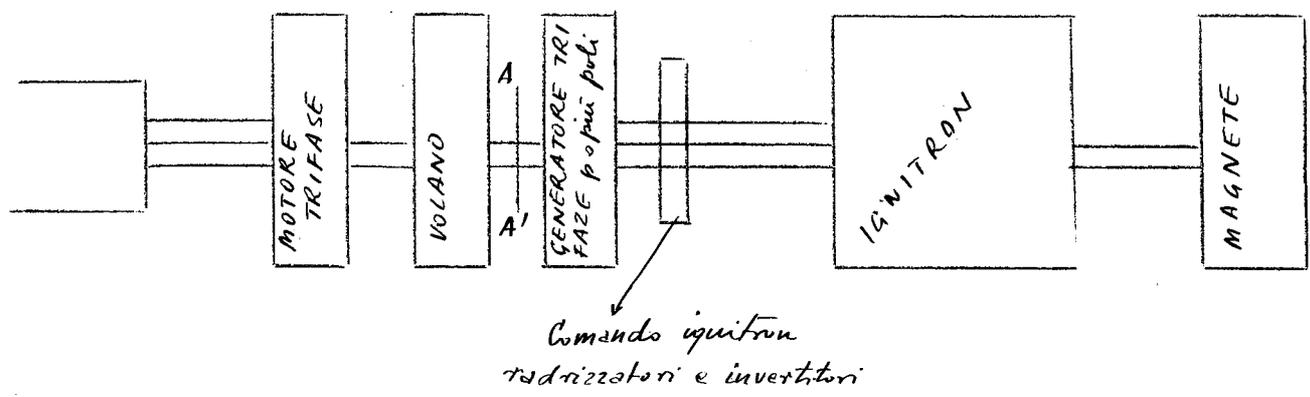


FIG. 1

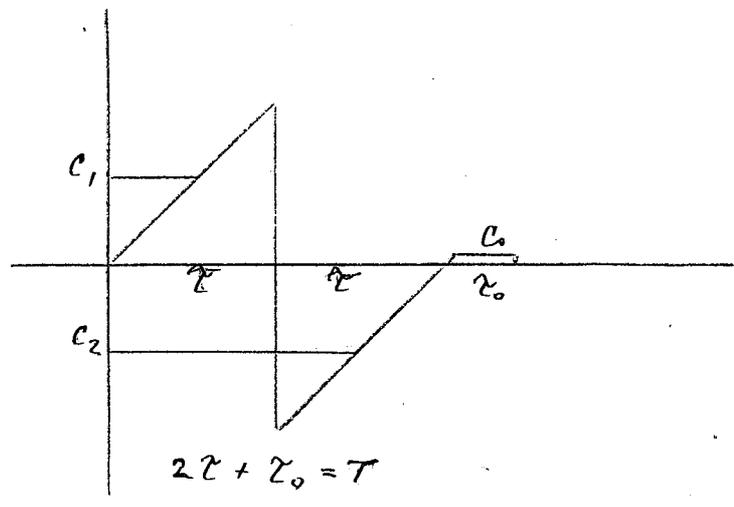


FIG. 2

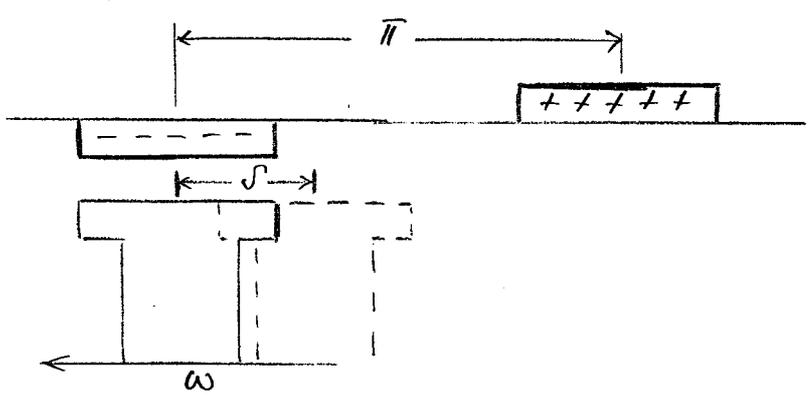


FIG. 3

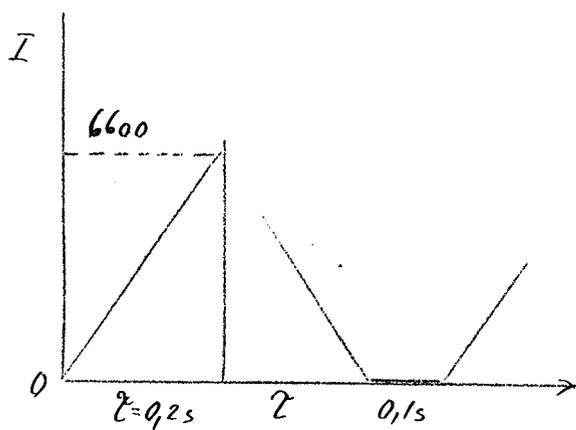


FIG. 4

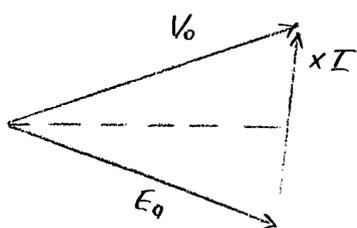


FIG. 5

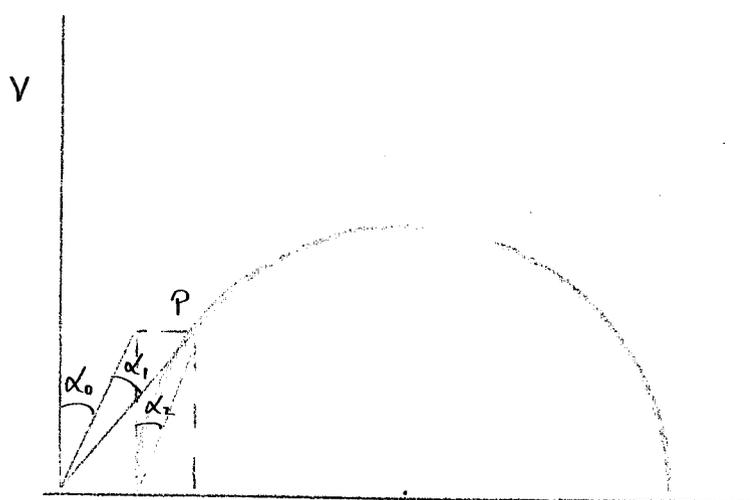
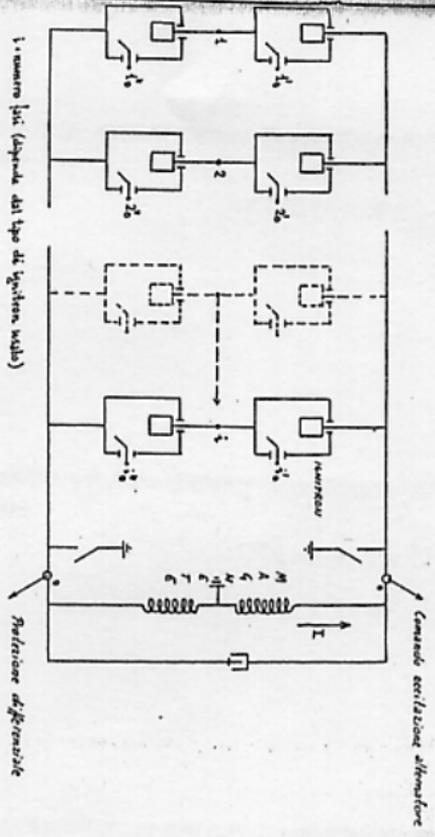
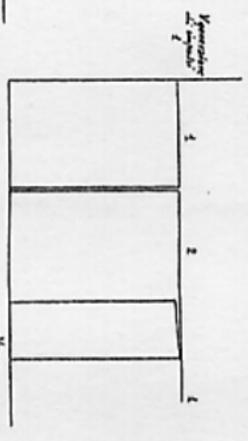
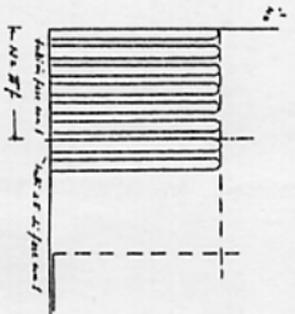
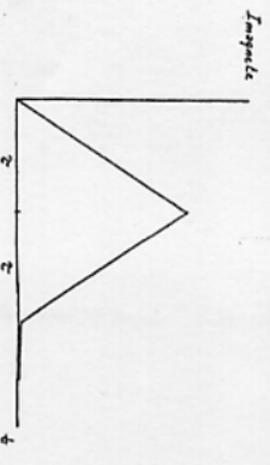
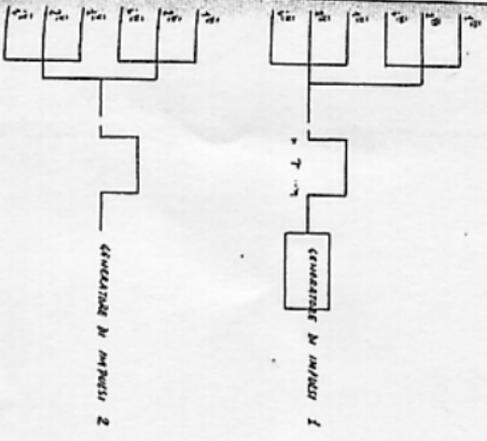
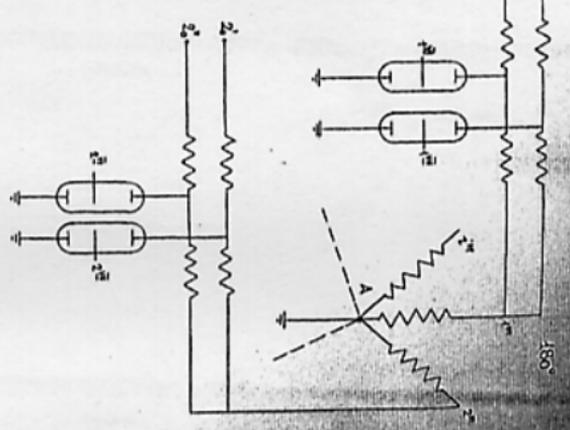
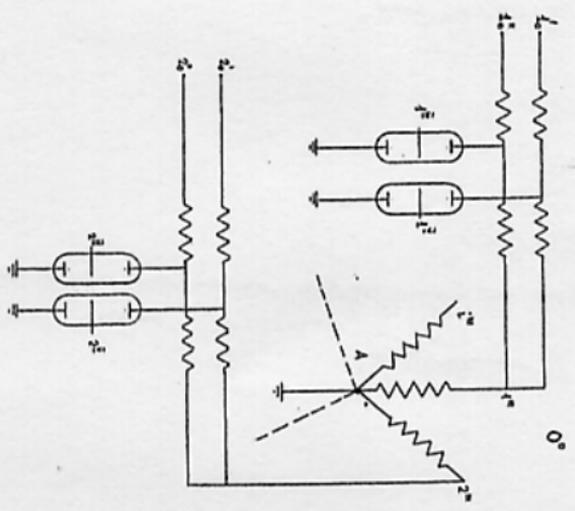
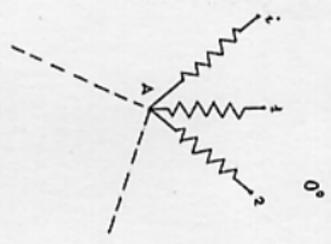


FIG. 6



1: numero fasi (seguida dal tipo di sistema mobile)



INFN DEL CNR - SEZ. ACCELERATORE

CIRCUITO DI ALIMENTAZIONE DEL

MAGNETE CON IZMITRON

SCHIZZO PRODUZIONE

PROG:	DATA:	SCALE:
MACRODOTI	21.10.1953.	—
DISE:	NR:	ROSSI
STRONCH	MA-23E	