

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/71

13.11.1953.

G. Sacerdoti: DETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI DEL  
CHOKE-COIL DI MINIMO COSTO PER UNA ALIMENTAZIONE  
DEL TIBURTINO III°.-

M-30  
605

DETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI DEL CHOKE COIL DI  
MINIMO COSTO PER UNA ALIMENTAZIONE DEL TIBURTINO III°

Introduzione.-

Il choke coil serve ad impedire un innalzamento di tensione ai capi del motore a corrente continua che interviene nell'alimentazione del sincrotrone secondo lo schema di Fig.1 (Vedi relazione Vanarutto).

Data l'induttanza del choke coil si determinano le dimensioni di queste che permettono la massima economia nella costruzione della bobina, si determina il costo del banco di condensatori che fornisce la corrente oscillante nella bobina. Si ha così una curva del costo del sistema di protezione del motore a c.c. in funzione dell'induttanza offerta dal choke coil.

I parametri obbligati che intervengono nel dimensionamento del choke coil sono  $B_{sat}$  del ferro, L induttanza prefissata, I corrente massima negli avvolgimenti. Vi sono inoltre altri parametri liberi: la densità di corrente ed il numero di spire per esempio; La forma delle colonne (del ferro); la forma della finestra del rame converrà farle rispettivamente tonda e quadrate (ragionamenti elementari che non sto a riportare portano a queste conclusioni). Noi manterremo nei calcoli la finestra del ferro quadrata, ricordando che se fosse tonda si avrebbe una maggiore economia nel rame.

Se nell'induttanza non passa una componente alternata troppo forte di corrente, si può pensare di servircene come filtro magnetico delle particelle che escono dal sincrotrone essendo il tempo di passaggio delle particelle entro la gap del choke coil molto piccolo ed essendo  $B(t)$  all'uscita del fascetto dal sincrotrone vicino ad un massimo e quindi molto poco variabile (B) nel tempo. Per questo, e per ridurre le perdite per correnti parassite e per evitare di mettere un banco di condensatori di troppo forte potenza, noi imponremo che la componente alternata che passa nell'induttanza sia minore di 1/10 della componente continua, il che vuol dire fissiamo già ora il valore della induttanza del choke coil nota quella del sincrotrone nel valore  $L_{c.c.} = 10 L_s$ .

Imporremo la sezione del ferro quadrata e un intraferro libero per porre una camera di vuoto sempre in vista dell'utilizzazione dell'apparato come fil-

tre di particelle. Studieremo anche la possibilità di mettere bobine di correzione per rendere uniforme il campo magnetico all'entrata: nella gap lasciata libera porremo dei sistemi di riferimento per verificare il parallelismo delle facce dei lamierini. Eventualmente si può prevedere di mettere dei poli molto più ristretti di ferro che stiamo all'oscillare della corrente sempre vicino alla saturazione in modo da rendere il campo magnetico ancora più uniforme nel tempo al passaggio degli elettroni.

In un secondo tempo noi prenderemo in considerazione la possibilità di eseguire il choke coil in aria.

#### Dimensionamento del choke coil.-

Per il sincrotrone Tiburtino III° la corrente massima che passa nell'avvolgimento (gap = 8 cm) è di

$$3\ 000\ \text{Ampère} = I_{\text{max}}\ \text{continue} + \frac{1}{10} I_{\text{max}}\ \text{alternato.}$$

Dovrà risultare per le solite leggi dell'elettricità (vedi relazione Canarutto)

$$NI = h H = \frac{h B_i}{\mu_0} = \frac{R K B}{\mu_0} \quad h = \frac{N I}{B_{\text{sat}} K \mu_0} \quad (1)$$

Inoltre sarà

$$\frac{N^2 A \mu_0}{h K} = L \quad (2)$$

Risulterà dalla (1) e dalla (2) la (3) tenendo conto che il ferro non deve saturare

$$N A \geq \frac{L I}{B_{\text{sat}}} \quad (3)$$

I simboli usati sono qui descritti;

N è numero spire choke coil

I = corrente massima che passa nel traferro

B<sub>Fe</sub> = induzione nel ferro

μ<sub>0</sub> = permeabilità magnetica nell'aria

h = altezza gap

H = campo magnetico nel traferro

K = B<sub>i</sub>/B<sub>Fe</sub>

A = area sezione ferro

B<sub>i</sub> = induzione nell'intraferro

Calcolo del choke coil di minimo costo.

Risultano valide le seguenti relazioni almeno in prima approssimazione

$$I/\sigma = S_c \quad (4) \qquad A = L I/B \text{ sat } N \quad (5)$$

$$l_{cu} = 4 \sqrt{\frac{IL}{B_{\text{sat}} N}} + 2 \sqrt{\frac{NI}{\sigma}} \quad (6)$$

$$L_{cu} = N l_{cu} \quad (7)$$

$$CO_{cu} = \left[ 4 \sqrt{\frac{IL}{B_{\text{sat}} N}} + 2 \sqrt{\frac{NI}{\sigma}} \right] N \delta_{cu} \frac{I}{\sigma} C_{cu} \quad (8)$$

$$l_{Fe} = 4 \left[ \sqrt{\frac{IL}{B_{\text{sat}} N}} + \sqrt{\frac{IN}{\sigma}} \right] \quad (9)$$

$$C_{Fe} = 4 \left[ \sqrt{\frac{IL}{B_{\text{sat}} N}} + \sqrt{\frac{IN}{\sigma}} \right] \frac{IL}{B_{\text{sat}} N} \delta_{Fe} C_{Fe} \quad (10)$$

$$R_{cu} = \frac{\rho}{S_c} = \rho \frac{4 \sqrt{\frac{IL}{B_{\text{sat}} N}} + 2 \sqrt{\frac{NI}{\sigma}}}{N} \quad (11)$$

$$P_{cu} = I^2 \rho \frac{4 \sqrt{\frac{IL}{B_{\text{sat}} N}} + 2 \sqrt{\frac{NI}{\sigma}}}{N} \quad 365.12.60.60 \quad (12)$$

I simboli usati sono:

$\sigma$  = densità di corrente in Am/mq

$S_c$  = sezione conduttore di rame in mq

$l_{cu}$  = lunghezza media di una spira di rame

$L_{cu}$  = lunghezza avvolgimento di rame

$l_{Fe}$  = lunghezza media del cammino del ferro

$CO_{Fe}$  = costo del ferro dell'induttanza

$CO_{cu}$  = costo del rame dell'induttanza

$C_{cu}$  = costo dell'unità di peso del rame (Kg)

$C_{Fe}$  = costo dell'unità di peso del ferro (Kg)

$\rho_{cu}$  = peso specifico del rame  $\text{Kg/m}^3$  8900

$\rho_{Fe}$  = peso specifico del ferro " 7800

$\rho$  = resistività del rame ohm m  $1/55 \times 10^{-6}$

$P_{cu}$  = potenza dissipata in un anno con ore di utilizzazione in Joule

$I$  = ampère

$B$  = W/mq  $B_{\text{sat}} = 1,3$

$L$  = induttanza del choke coil = 0,198 henry nel caso del choke coil per il Tiburtino III°, 6 KWh =  $L.10$  = costo per KWh

Se l'ammortamento del capitale più gli interessi si valuta equivalente ad 1/8 del capitale stesso l'espressione che ci dà il valore del costo (costo + costo di esercizio equivalente in capitale immobilizzato) sarà data dall'espressione:

$$8900 \cdot 1000 \cdot 3000 \frac{N}{\sigma} \left[ 4 \sqrt{\frac{3000 \cdot 0,148}{1,3 N}} + 2 \sqrt{\frac{N}{\sigma} 3000} + 2800 \cdot 600 \cdot 4 \sqrt{\frac{3000 \cdot 0,148}{1,3 N}} + \sqrt{3000 \frac{N}{\sigma}} \right] - \frac{3000 \cdot 0,148}{1,3 N} + \frac{2 \cdot 365 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 10}{3600 \cdot 1000} 3000 N \sigma \frac{1}{55} 10^{-6} \left[ 4 \sqrt{\frac{0,148 \cdot 3000}{1,3 N}} + 2 \sqrt{3000 \frac{N}{\sigma}} \right]$$

Ponendo  $\sqrt{N} = x$

$\sqrt{\sigma} = y$

si ha un costo complessivo =

$$= 10^5 2280 \frac{x}{y^2} + \frac{x^3}{y^5} 10^9 2310 + 10^9 182,8 \frac{1}{x^3} + 10^9 \frac{1}{xy} 465,6 + y^2 x 1,658 + y x^3 2,034 = F(x,y)$$

I valori di x ed y che rendono minimi questa espressione sono soluzione del sistema

$$\begin{cases} F_y = 0 & (13) \\ F_x = 0 & (14) \end{cases}$$

Questo sistema non è possibile risolverlo perchè è di grado elevato. Si può invece risolvere la prima equazione che diventa biquadratica e calcolare i costi per i punti della (13).

La (13) ha l'espressione seguente

$$x^4 \left[ 2,034 y^2 - \frac{8730 \cdot 10^9}{y^2} \right] + x^2 \left[ y^3 3,316 - \frac{4560}{y} 10^9 \right] - 10^9 465,6 = 0$$

per y = 1000	N immagaz.	$\sigma = 1,00$ A/mm
y = 1220	N = 400	$\sigma = 1,488$ A/mm
y = 1250	N = $\begin{cases} 202 \\ 968 \end{cases}$	$\sigma = 1,562$ "
y = 1300	N = $\begin{cases} 133 \\ 1950 \end{cases}$	$\sigma = 1,69$ "
y = 1410	N = $\begin{cases} 75 \\ 31000 \end{cases}$	$\sigma = 2$ "
y = 1730	N = $\begin{cases} 32 \\ 4500 \end{cases}$	$\sigma = 3$ "
y = 2000	N = $\begin{cases} 20 \\ 4000 \end{cases}$	$\sigma = 4$ "

Il calcolo del costo è stato fatto per  $\sigma = 1,22$  A/mm ; N = 400 spire

Si è trovato:

Costo impianto = 85.000.000, =

Costo consumo = 48.000.000, =

Costo complessivo = 133.000.000

Per  $\sigma = 1,25$ ; N = 202

Costo impianto = f 105.000.000,= Costo complessivo f 137.000.000

Costo consumo = f 32.000.000,=

Per  $\sigma = 1,25$   $N = 960$

Costo impianto = f 94.000.000,= Costo complessivo f 126.000.000

Costo consumo = f 100.000.000,=

Credo che sia inutile esplorare ancora i costi del magnete del choke coil: i due punti delle ramificazioni delle curve implicite  $F_y(x,y)=0$  esaminati indicano costi del choke coil maggiori di quello fornito per i dati d'intersezione dei due rami.

#### Riassunto.

Si è esaminato in 1) il problema del choke coil in generale; in 2) si è impostato il calcolo di minimo costo per il choke coil; in 3) si è esaminata tracciata una soluzione numerica per il caso del sincrotrone Tiburtino III°. I dati ottimi per il numero di spire per la densità sono circa 400-350 spire e  $\sigma = 1,488 \text{ Amp/mm}^2$ .

13 Novembre '59

Giancarlo Sacerdoti

*Giancarlo Sacerdoti*