

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/4
2.4.1953.

F. Amman: GRUPPO MAGNETE ED ECCITAZIONE. PRIMO PROGETTO
DI MASSIMA.-

M/1

GRUPPO MAGNETE ED ECCITAZIONE

PRIMO PROGETTO DI MASSIMA

La forma definitiva del magnete non é stata ancora scelta, come pure non si é ancora decisa la posizione delle bobine di eccitazione nell'interno di esso.

Facendo riferimento a quanto é già stato fatto in America (MIT e Cornell in specie) si arriverebbe ad un peso complessivo di circa 40 tonnellate di ferro.

I calcoli relativi alle bobine di eccitazione sono stati condotti facendo l'ipotesi che l'energia magnetica accumulata per ciclo é uguale a quella accumulata nel traferro (15 x α 7 cm. ; il fattore α , che comparirà in diverse espressioni in seguito, facilita l'estensione di questi primi calcoli ad una gap di altezza diversa da 7 cm.; ciò naturalmente vale solo in prima approssimazione, in quanto variando il rapporto altezza-larghezza varia anche la percentuale di flusso utile, ciò di cui non si é tenuto conto) maggiorata del 50% (a Brookhaven : bobine con ritorno all'esterno dei poli, induzione max 14.000 gauss: maggiorazione del 29% ; a Cornell: bobine solo all'interno del magnete, induzione massima 10.000 gauss: maggiorazione dell' 82%).

Si ha allora:

- Potenza magnetizzante $Q \cong \alpha \times 9.900 \text{ kVAr}$
- amperspire (valore max) $NI_M = \alpha \times 55.700 \text{ Asp}$
- amperspire (valore efficace) $NI_{eff} = \alpha \times 39.400 \text{ Asp}$

Il valore reale di NI sarà un po' maggiore di quello calcolato, perché una parte del flusso avrà un percorso più lungo della distanza tra i poli; d'altronde in prima approssimazione é inutile tener conto di un fattore di maggiorazione che sarà dell'ordine, al di più, di qualche percento. Per compensare questo errore ci si é tenuti a bassi valori nella densità di corrente ammissibile nei conduttori. Il valore della densità di corrente dipende soprattutto dal sistema

di raffreddamento; nel sincrotrone di Brookhaven (come pure in quello progettato da Wilson) si arriva a valori di circa $4,5 \text{ A/mm}^2$. Pur contando sulla possibilità del raffreddamento ad acqua nell'interno dei conduttori, in questo calcolo conviene mettere in conto, pessimisticamente, un valore assai minore: $3,5 \text{ A/mm}^2$.

L'area netta di rame nell'interno del magnete risulta:

$$A_{\text{netta}} = 11.300 \text{ mm}^2$$

Flusso concatenato (maggiorato del 50%) $\phi = 2.84 \text{ Wb}$

La scelta della tensione (a cui é legata quella del numero di spire) é libera ed in prima approssimazione il suo valore non influisce sul costo della macchina.

Fissato in $N = 16$ il numero di spire, si ottiene per la tensione e per la corrente:

Tensione (valore efficace) : $V = 4040 \text{ V}$

Corrente (valore efficace) : $I = \alpha \times 2460 \text{ A}$

Bobine di alimentazione : conduttore rettangolare $10 \times 75 \text{ mm}$
con foro di $\phi 5 \text{ mm}$ per il passaggio dell'acqua di raffreddamento

Sezione netta di una spira : 730 mm^2 (densità di corrente A/mm^2
 $\alpha \times 3.45$

Isolamento per spira : 2 mm (pessimistico)

Supposto di dividere le 16 spire in due gruppi di otto ciascuno, l'ingombro di un gruppo sarà: $112 \times 80 \text{ mm}$.

Seguendo quanto é stato fatto da Kerst e sarà fatto da Wilson, si é pensato di fare dei quattro quadranti del magnete, quattro gruppi separati, alimentati in serie, disponendo le bobine di ritorno all'esterno dei poli. Per il calcolo del peso del rame abbiamo introdotto un fattore due per tener conto delle connessioni alle estremità di ogni quadrante tra bobine interne e bobine esterne (pessimistico).

Peso rame : 5,2 tonnellate

Perdite nel rame (con maggiorazione del 10% per perdite
addizionali) : $\alpha \times 163 \text{ kW}$

Perdite nel ferro : circa 10 kW

Barre di connessione condensatori - magneti : (distanza circa 30m)
 sezione rame : 1.000 mm ; barre 50 x 20 mm
 perdite : $\alpha^2 \times 7,6$ kW
 peso rame : 535 kg.

Ricapitolando i dati di maggior interesse:

peso ferro circa 40 tonn.
 peso rame 5,75 tonn. (comprese le connessioni)
 perdite rame $\alpha^2 \times 170$ kW
 perdite ferro circa 10 kW
 perdite totali circa $\alpha^2 \times 180$ kW

Un calcolo sommario relativo al raffreddamento partendo dall'ipotesi di un'alimentazione in parallelo nei 128 tronchi di bobina (per ogni quadrante 16 interni al magneti e 16 esterni), ha portato ai seguenti risultati:

sovratemperatura media ammessa 5 °C
 portata di acqua $\alpha^2 \times 8$ l/sec
 prevalenza della pompa circa 50 m_{H₂O}
 potenza della pompa circa 7 + 8 kW

Nel circuito dell'acqua di raffreddamento va previsto un depuratore per mantenere alta la resistività dell'acqua.

E C C I T A Z I O N E

Dato il valore della frequenza (20 p/sec) si é esclusa la soluzione, adottata tra l'altro al California Technology Institute, di alimentazione con generatore, accoppiato ad un volano, e sistema di raddrizzatori comandati a griglia interposto tra il generatore ed il magnete. Si pensa quindi di ricorrere ad un circuito risonante (magnete e una batteria di condensatori) alimentato in parallelo da un generatore; questo generatore deve fornire una potenza reale di circa $\alpha^2 \times 180$ kW (corrispondenti alle perdite nel circuito), ma dovrà essere dimensionato per una potenza apparente ben maggiore; basta infatti una variazione di temperatura, che cambi il valore della capacità dei condensatori o una variazione nella frequenza, per provocare la richiesta di forti potenze reattive da parte del circuito risonante al generatore.

La necessità di avere una frequenza assolutamente costante esige un generatore indipendente dalla rete: si pensa quindi ad un complesso così costituito: rete - raddrizzatori statici - motore a c.c. con regolazione di velocità tipo Ward-Leonard (dinamo tachimetrica sull'asse del motore-generatore con regolazione elettronica della tensione di entrata al motore) - generatore monofase a 20 p/sec. Il costo di questo gruppo, secondo le indicazioni dell'ing. Lotti dell'Ansaldo S. Giorgio, ascenderebbe a circa 35 milioni di Lire.

Caratteristiche del circuito risonante:

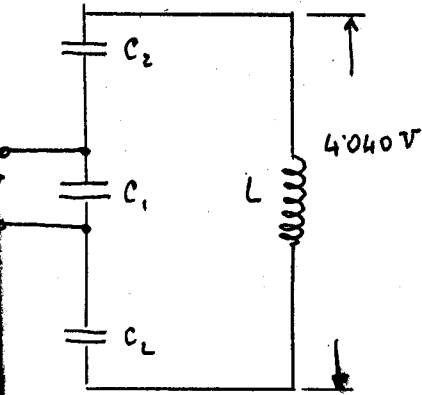
$$\text{Resistenze} \quad R = 0,028 \quad \Omega$$

$$\text{Induttanza} \quad L = 13 \quad \text{m h}$$

$$\text{Capacità} \quad C = \frac{L}{\omega^2 L^2 - R^2} = \alpha \times 4.890 \quad \mu \text{ F}$$

$$\text{Energia immagazzinata per ciclo} \quad W = \alpha \quad 79.500 \quad \text{Joule}$$

Dato che non sarebbe economico un generatore di potenza relativamente bassa con una tensione di circa 4.000 V, si é pensato ad un innalzatore di tensione capacitivo, secondo lo schema più avanti segnato:



in questo caso le capacità assumono i seguenti valori (calcolati non tenendo conto delle perdite nei condensatori) :

$$C_1 = \alpha \times 19.650 \mu F \quad \text{a } 1.000 \text{ V}$$

$$C_2 = \alpha \times 12.900 \mu F \quad \text{a } 1.520 \text{ V}$$

La tensione che deve essere fornita dal generatore viene così portata a 1.000 V.

Per migliorare le condizioni all'iniezione, venne richiesta una deformazione della forma del campo, per valori di questo fino a circa, 100 gauss, tale da ridurne la pendenza ad $\frac{1}{5}$ di quella della sinusoide corrispondente.

A questo proposito è bene notare che per valori dell'induzione dell'ordine di 1 Wb/m^2 , con un traferro di 7 cm., la curva B - H è praticamente una retta, con uno scostamento dell'ordine dell'1%.

L'induttanza L è quindi costante e, se la tensione è sinusoidale, tale è anche la corrente.

Sono ora allo studio alcuni metodi per ottenere la riduzione del campo voluta.

Pisa, 2 aprile 1953

(F. Amman)