Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/26
7.7.1953.

G. Sacerdoti: STUDIO DI LARGA MASSIMA DEL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DELLE BOBINE DI ECCITAZIONE DI UN SIN CROTRONE.-

M/6 7/7/53 **Relazione N°30**

STUDIO DI LARGA MASSIMA DEL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DELLE BOBINE DI ECCI+ TAZIONE DI UN SINCROTRONE. (I dati numerici si riferiscono al sincrotrone di Wilson).

Introduzione.

Le bobine di eccitazione occupano una sezione quadrata, forma che permette a parità di larghezza dell'intraferro il minimo volume di ferro.

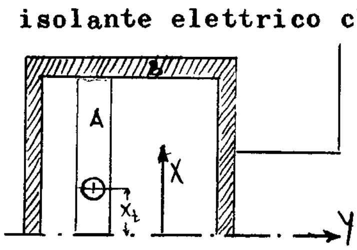
Il raffreddamento ha soprattutto importanza nella parte interna delle bobine (cioè circondata dal C). Nella parte esterna la diminuzione della densità di corrente rende meno grave ed urgente la verifica della sovratemperatura.

Il raffreddamento viene ottenuto mediante tubicini ottenuti direttamente entro il conduttore di rame, ove il rame ha spessore da permetterlo, oppure si tratta di tubicini indipendenti ove il rame avesse spessori tali da non permettere tale lavorazione. Si deve notare che i canali di raffreddamento ottenuti direttamente nella piastra di rame sono più efficaci.

Nei calcoli che svolgeremo seguiremo il seguente ordine: 1) Studio della propagazione del calore nel rame; 2) Determinazione approssimata della sovratemperatura massima (rispetto la temperatura dell'acqua) considerando che la dissipazione di calore è diversa da punto a punto nel rame; 3) Determinazione della quantità d'acqua occorrente a smaltire tutto il calore; 4) Determinazione della temperatura dei condotti a contatto col rame, rispetto la temperatura media dell'acqua; 5) Calcolo della pressione dell'acqua all'entrata immaginando i condotti in parallelo (sia quelli raffreddanti la bobina all'interno che all'esterno del C) e della potenza richiesta alle pompe di raffreddamento.

I°) Studio della propagazione del calore nel rame.-

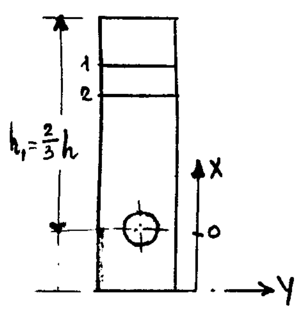
Tra il ferro ed il rame, per ragioni di sicurezza, c'è un forte strato di isolante elettrico che immaginiamo isolante anche dal punto di vista termico.



Condideriamo un conduttore A. Immaginiamo che nel conduttore la temperatura sia solo funzione di X (vedi fig.1) e che al livello del condotto d'acqua si abbia una temperatura T uniforme per tutto il conduttore alla coordinata X_t (cioè come se al condotto cilindrico ne avessimo sostituito uno rettangolare che taglia il conduttore completamente lungo una linea X=cost.).

In prima approssimazionea abbiamo perciò ammesso che il calore non si propaghi tra conduttori adiacenti. Potremo ritenere lecita questa approssimazione solo conoscendo le caratteristiche dell'isolante tra i due conduttori adiacenti e la distribuzione della dissipazione.

In un conduttore sappiamo che in larghissima approssimazione si può ritenere l'energia dissipata in calore non essere funzione di X



Riportiamo la sezione di un conduttore nella fig.2. Riferendoci ad essa abbiamo detta Q l'energia dissipata per unità di volume/sec

$$\Delta y\, dx \times Q \times 1\,m = \frac{dT_1}{dx} K\, \Delta y \cdot 1\,m - \frac{dT_2}{dx} K\, 1\,m \cdot \Delta y$$

K = coefficiente di conduttività del rame

T = temperatura

Otteniamo:

$$T = -\frac{Q}{2K}x^2 + C_1 x + C_2$$

Le condizioni iniziali sono:

per $x = 0$ $\quad T = T_a$

per $x = h_1$ $\quad \frac{dT}{dx} = 0$ (strato coibente in B (fig.2))

da cui

$$C_2 = T_a \quad ; \quad C_1 = \frac{Qh}{K}$$

onde

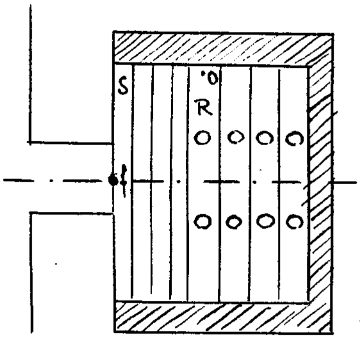
$$T(h) - T_a = \frac{Qh^2}{2K}$$

nel rame è:

$$K = \frac{427 \cdot 9{,}8 \cdot 250}{3600} \quad \text{Joule/sec m C}$$

II°) Determinazione di T_{max}

Nel caso di Wilson Q cambia per via delle correnti parassite col variare della posizione del conduttore; però ove aumenta Q diminuisce h. Riferendoci allo schema di Wilson è evidente che due potrenno essere i conduttori ove è massima la $T(h) - T_a$.



O il più vicino alla gap dei conduttori grossi (R) o il più vicino alla gap dei conduttori sottili ($\mathcal{S}$) (Fig.3). I punti ove maggiore è il pericolo del sovrariscaldamento è quello vicino all'isolante. Quindi la verifica si impone solo nel caso di R per il punto r e nel caso di $\mathcal{S}$ per il punto f.

La densità di corrente media negli avvolgimenti è: $10^6 \frac{5.90}{\sqrt{2}} = 4.18\ 10^6$ A/mq

$\varrho = \frac{1}{55} \cdot 10^{-6}\ \Omega$ metro ; $h = 0{,}05$ m

Riferendosi ai valori delle perdite di Faucault della relazione di Wilson abbiamo per (R) una perdita addizionale specifica di 611·600 Watt/m³

e per (S) una perdita di 344·000 Watt/m³ Q = perdite specifiche nel conduttore più distante dalla gap

$$\left[Q\left((1^2+2^2+3^2+4^2)2 + \frac{4\frac{1}{2}^2}{4} + \frac{5^2}{4} + \frac{5\frac{1}{2}^2}{4} + \frac{6^2}{4}\right) \cdot \frac{\pi r}{2} \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}0125 = \frac{50\cdot000}{4} \right]$$

Le perdite ohmiche resistive sono date da

$$\frac{(4{,}18)^2\ (10^6)^2\ 10^{-6}}{55} = 320.000 \text{ Watt/m}^3$$

Queste perdite vanno sommate (vedi nota 1). Le perdite specifiche per i due segmenti di avvolgimento (R) e (S) sono rispettivamente $\simeq$ 940·000 Watt/m³ e 650·000

Se si assume la superficie mantenuta dall'acqua a temperatura T_a distante $\frac{1}{3}h$ dalla mezzaria come in quello R (forse per ragioni di fabbricazione) e ad $\frac{1}{2{,}7}h$ come in quello S (forse la donut richiede una maggiore protezione dal calore) si ottiene rispettivamente:

Nota 1.- Infatti i lavori mutui delle due sistribuzioni di correnti sono nulli ove si trascuri il contributo dato dallo skin effect dal contributo della corrente della spira stessa . Detto u_i la distribuzione di corrente uniforme ($\mathrm{rot}\, u_i \neq 0$) senza lo skin. Detta u_2 la distribuzione di corrente dovuta allo skin ($\mathrm{div}\, u_2 = 0$) e ($u_2 \times \vec{n} = 0$ su S superficie di contorno) allora sarà

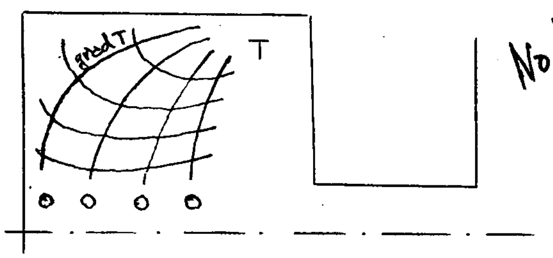
$$\int_V u_1 \times u_2\, dv = \int \mathrm{grad}\, V_1 \times u_2\, dv = \int_S V\, u_2 \times \vec{n}\, dS - \int V \times \mathrm{div}\, u\, dv = 0$$

da cui $$\int (u_1 + u_2)^2\, dV = \int u_1^2\, dv + \int u_2^2\, dv$$

$$T_R - T(a) = \frac{360 \cdot 000}{\frac{250 \cdot 9{,}8 \cdot 427}{3600}} \; \frac{1}{2}\left(\frac{0{,}05}{3} \cdot 2\right)^2 = 15^\circ \qquad (R)$$

$$T(o) - T(a) = \frac{650 \cdot 000}{\frac{250 \cdot 9{,}8 \cdot 427}{3600}} \cdot \left(\frac{0{,}05}{2{,}7}\right)^2 \frac{1}{2} = \frac{6500 \cdot 0{,}09}{\frac{10 \cdot 9{,}8 \cdot 427}{360}} = \frac{3{,}6\,6500 \cdot 0{,}09}{4170} = 0{,}356 \qquad (S)$$

Queste temperature sono calcolate per eccesso essendo che una parte del calore si propaga dai conduttori più caldi a quelli adiacenti più freddi e questo flusso può essere notevole specie per il conduttore (R). Se $K = \frac{427 \cdot 9{,}8 \cdot 350}{3600}$ Joule/sec/mc invece di $\frac{427 \cdot 9{,}8 \cdot 250}{3600}$ allora si riducono i valori trovati di ΔT del rapporto $\frac{250}{350}$. L'andamento delle linee di flusso del calore sarà come in fig.4



No!! l. Soc

III°) Determinazione della quantità d'acqua occorrente a smaltire tutto il calore.

Il condotto in cui l'acqua si risdalda di più a parità di portata è quello ricavato nella piattina (R). La quantità di calore da asportare per secondo sarà data per l'acqua di questo conduttore da

$$\frac{Q}{427} \; \frac{V_c}{9{,}8} \; \frac{\text{Calorie}}{\text{sec}} = \frac{360'000 \cdot 0{,}0125}{427 \cdot 9{,}8} \cdot 0{,}05 \cdot \frac{\pi \cdot 3{,}75}{2} = 0{,}845 \; \frac{\text{cal}}{\text{sec}}$$

V_c = volume del conduttore

Se la temperatura di cui si permette si riscaldi la acqua dall'entrata all'uscita è di 16° la portata per secondo sarà data da:

$$\frac{0{,}845}{16} \; \frac{\text{litri}}{\text{sec}} = 0{,}053 \text{ litri/sec.}$$

Essendo il diametro del condotto = 6,25 mm, la velocità media dell'acqua =

$$= \frac{0{,}053}{(3{,}125)^2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4} \cdot 10} = \frac{0{,}053}{30{,}64 \cdot 10^{-4} \cdot 10} = 1{,}73 \text{ m/sec.}$$

IV°) Determinazione della temperatura delle pareti dei condotti.-

Per avere un dato sulla sovratemperatura della parete del rame rispetto l'acqua mi porrò nelle condizioni più pessimistiche. $\left(T_{co} - (T_a + 16)\right)$

Immagino che lo scambio (tra parete ed acqua) avvenga tutto quando l'acqua ha raggiunto la sua temperatura massima., = T entrata + 15°. La temperatura del rame che costituisce le pareti del condotto sarà certo minore di T entrata + 15° + + Δ T. ΔT calcolata come segue:

$$f \cdot \Delta T\, S = Q \frac{cal}{h} = 0{,}845 \cdot 3600$$ S= superficie interna del tubo

ove f è espresso dalla formula (vedi Colombo)

$$f = 9 \cdot 10^{-8}\, 0{,}54 \sqrt[4]{\frac{(1000)^3 (1{,}73)^3 (3600)^3}{(107/3600 \cdot 10^{-6})^3\, 0{,}00625}} = 9\, 10^{-8} \times \sqrt[4]{\left(\frac{\gamma u}{\eta}\right)^3 / d} = 9.500$$

essendo $\gamma = 1000$ $u = 1{,}73$ $\eta = 107/3600\ 10^{-6}$ $d = 0{,}00625$

$$9500 \cdot \frac{3{,}75\pi}{2} \cdot 10^{-3}\ 6{,}25\, \Delta T = 2860$$

$$\Delta T\ 9{,}5 \cdot 3{,}75 \cdot 3{,}14\ \pi^2\ 6{,}25 = 5270 \qquad \Delta T = \frac{8{,}2^\circ}{3{,}14} = 2^\circ{,}60$$

V°) <u>Calcolo della pressione necessaria alla circolazione del liquido e della pressione delle pompe.-</u>

Per il calcolo della pressione (il regime è turbolento R (numero di Reinolds) $> 100'000$) applico la formula di Flamant

$$J = k V^{7/4} D^{-5/4}$$

J = perdita di pressione in metri di acqua per metro di condotto.

V = velocità dell'acqua; nel nostro caso = 1,73

D = diametro del condotto; nel nostro caso = 0,00625

k = coefficiente sperimentale per il rame = 0,0006

$$\Delta p = \frac{\pi r}{2} \cdot J\, (1+\beta)$$

β serve a tener conto di eventuali perdite dovute a gomiti che eventualmente si trovano all'estremità dei condotti il cui valore può essere determinato solo conoscendo in dettaglio l'andamento delle condotte.

coi numeri risulta

$$J = \frac{0{,}0006\ 2{,}64}{1{,}76 \cdot 10^{-3}} = 0{,}9$$

$$\Delta p = \frac{\pi\ 3{,}75}{2}\ 0{,}9\,(1+\beta) = 5{,}3\,(1+\beta)\ m/acqua$$

Ponendo $\beta = 0{,}415$ $\Delta p = 7{,}5$ metri d'acqua

Per calcolare la potenza $\underbrace{}_{}$fornita dalle pompe basta scrivere:

Potenza = $N \cdot \Delta p \cdot P$ ove N = numero dei condotti

P = portata di un singolo condotto

Δ p = pressione

$N \cdot 7500 \cdot 0{,}053 \cdot 10^{-3} = N\,0{,}4\ \mathrm{Kgm/sec}$

$\simeq N \cdot 4$ Watt

Nel caso di Wilson N = 4 x 30 = 120

Quindi

Potenza = 480 Watt.

Giancarlo Sacerdoti

—— o ——