Note le caratteristiche come le uso nel caso di un trafo?

le caratteristiche ci servono per calcolare la P_{fe} e le correnti a vuoto.

$$\text{le } P_{fe} = \int_{Vol} P_{fe_{spec.}}(B)\, dA\, dl \rightarrow \sum P_{fe_{spec}}(B)\, \Delta V =$$

$$= P_{col_{spec}} V_{col} \cdot N_c + P_{fe_{spec}} V_{gioghi} \cdot N_g$$

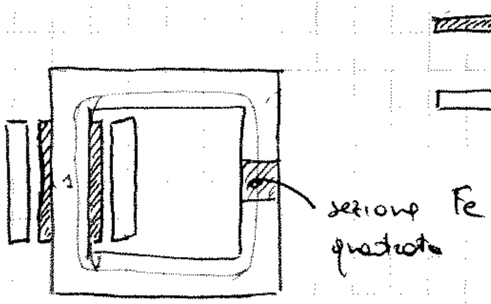
N_c: numero colonne
N_g: numero gioghi

Peculiarizzazioni (è la potenza apparente assorbita a vuoto).

$$A_{Fe} = A_{Fe\,spec}(B_c)\, V_{col}\, N_c + A_{Fe\,spec}(B_g)\, V_g\, N_g$$

le perdite del ferro sono maggiori rispetto a quelle del giogo di Epstein.

Come capire induttanza di dispersione e resistenza a partire dalle dimensioni

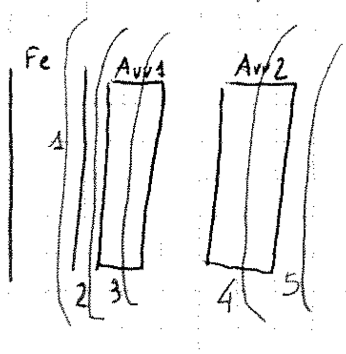


ϕ principale se concatena $N_{1x} \neq N_1$ e $N_{2x} \neq N_2$, ma con $N_{1x}/N_{2x} = N_1/N_2$

Supponiamo $\mu_{Fe} \to \infty$ e giunti perfetti

$N_1 I_1 = N_2 I_2$

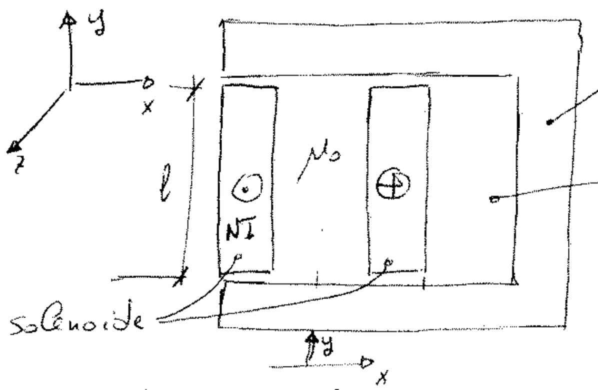
- linee di flusso principale non ci interessano troppo (linea 1)
- linea 2 passa tra fe e avvolgimento 1: principale ma non esiste

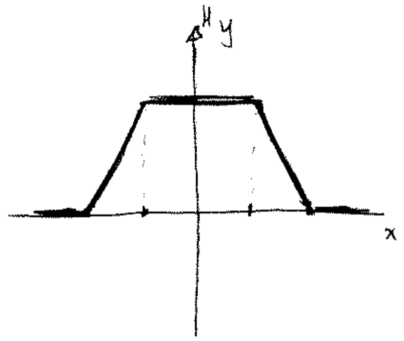


- linea 3 esiste. Concatena $N_{1x} I_1 < N_1 I_1$ e $N_2 I_2$. E' flusso disperso!!
- linea 4 concatena $N_{2x} I_2 < N_2 I_2$ è flusso di disperso
- linea 5 non esiste

$$\text{Energia}_{magn.} = \frac{1}{2} L_{disp} I^2 = \int_{vol} \frac{1}{2} B H\, dV$$

Costruiamoci un circuito magnetico.



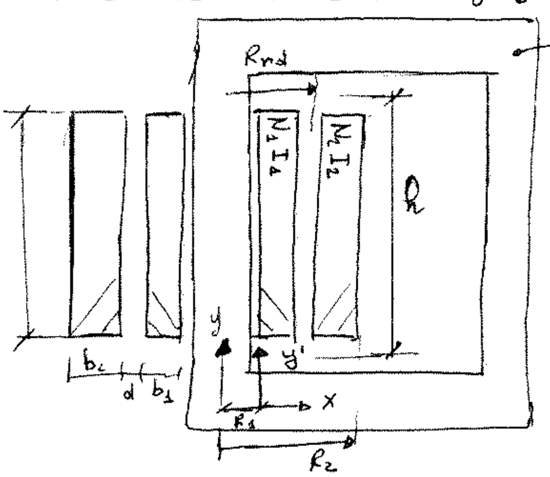


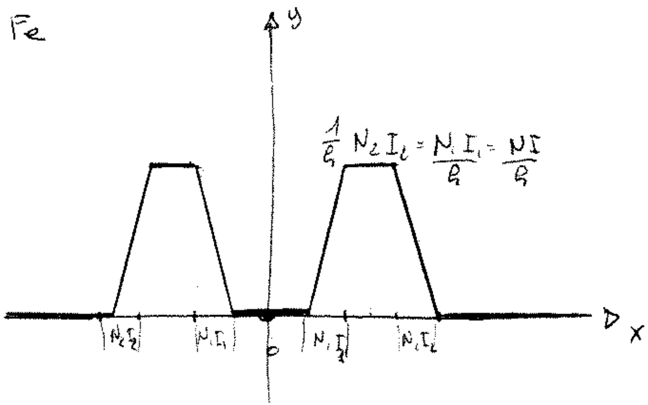
All'interno del solenoide il campo magnetico sarà uniforme. $(\bar{H} = \bar{H}_y)$

$$\bar{H}_y = \frac{NI}{l}$$

Fuori dal solenoide in aria $\bar{H} = 0$

Ora vediamo cosa accade nella colonna del trafo.





Cambiamo il sistema di riferimento da xy a xy'

Se $0 < x < b_1$ $\qquad H_y(x) = \frac{NI}{b_1 h} x \qquad B_y(x) = \mu_0 \frac{NI}{b_1 h} x$

Definiamo $y' - y = R_1$

$$E_{magn} = \frac{\mu_0}{2} \int_0^{b_1} \frac{N^2 I^2}{b_1^2 h^2} x^2 (R_1 + x)\, h \cdot 2\pi \, dx =$$

$$= \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N_1^2 I^2 2\pi}{h\, b_1^2} \int_0^{b_1} x^2 (R_1 + x) dx = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 I^2 2\pi}{h} \left[b_1 \frac{1}{3} \left(R_1 + \frac{3}{4} b_1 \right) \right]$$

definiamo $R_{m1} = R_1 + \frac{b_1}{2}$

$$W_{magn} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 I^2 2\pi}{h} \frac{b_1}{3} \left(R_{m1} + \frac{b_1}{4} \right)$$

Nei trasformatori risulta abitualmente che $\frac{b_1}{4} \ll R_{m1}$.

Quindi si ha che $W_{magn} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 I^2 2\pi}{h} \frac{b_1}{3} R_{m1}$

W_{magn} è l'energia magnetica nel cilindro cavo di altezza h e raggio interno R_1 e raggio esterno $R_1 + b_1$.

Se $\underline{b_1 < x < b_1 + d}$ $\qquad H_y = \frac{NI}{h}$

$$W_m = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{N^2 I^2}{h^2} \pi \left[(R_2 - b^2)^2 - (R_1 + b_1)^2 \right] h =$$

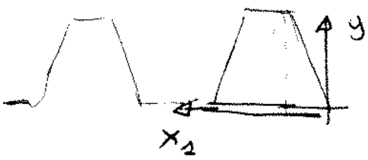
$$= \frac{1}{2}\mu_0 \frac{N^2 I^2}{h^2} \pi \left[R_{md}\, d \right] h\, 2 \cdot h, \qquad R_{md} = \frac{R_1 + b_1 + R_2 - b_2}{2}$$

Quindi si ha che

$$W_m = \mu_0 \frac{N^2 I^2}{h} \pi R_{md}\, d$$

Se $\underline{b_1 + d < x < R_2 - R_1 = b_1 + d + b_2}$

Creiamo un nuovo sistema di riferimento



$$x_1 = 0 \Rightarrow x = b_1 + d + b_2$$

$$x = b_1 + d + b_2 - x_1$$

$$H_y(x_1) = \frac{(NI)}{b_2\, h} x_1$$

$$W_{magn} = \frac{1}{2}\mu_0 \int_0^{b_2} \frac{(NI)^2}{h^2 b_2^2} x_1^2 \cdot 2\pi (R_2 - x_1) h\, dx_1 = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{(NI)^2}{h} 2\pi \frac{b_2}{3} \cancel{b_2} b_2 \frac{1}{3} \Big($$

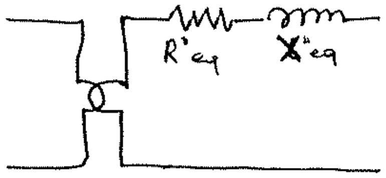
$$R_2 - \frac{3}{4} b_2 \Big) = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{(NI)^2\, 2\pi}{h} \frac{b_2}{3} R_{m2}$$

Ora sommo tutte le W_{magn} trovate

$$W_{m\,tot} = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{(NI)^2}{h} \cdot 2\pi \left[R_{m1} \frac{b_1}{3} + R_{md}\, d + R_{m2} \frac{b_2}{3} \right] = \frac{1}{2} L I^2$$

$$L_{disp} = \mu_0 \frac{N^2}{h} 2\pi \left[R_{m1} \frac{b_1}{3} + R_{md}\, d + R_{m2} \frac{b_2}{3} \right] = \frac{N^2}{R_{eq}}$$

Il circuito equivalente con l'induttanza di dispersione sarà:



$$L''_{eq} = L_{disp}\Big|_{N=N_2}$$

$$X''_{eq} = \omega L''_{eq}$$

Che cosa è h?

Posso dire che h è l'altezza del solenoide considero il campo magnetico uniforme, ma non ~~ovunque~~ considero la distanza solenoide giogo

Posso anche dire che h è la distanza tra i due gioghi, in questo caso ~~[illegible]~~ che il campo è uniforme ovunque.

Una soluzione corretta può essere inserire un altezza intermedia..

h_{min}: lunghezza degli avvolgimenti (tra le estremità di rame)

h_{max}: lunghezza delle colonne

$$h_{min} < h < h_{max} \quad .. \quad h = \frac{h_{min}}{1 + \frac{b_1 + b_2 + d}{\pi\, h_{min}}} \quad \text{verificando che } h < h_{max}$$

Se viene $h > h_{max}$ saturo con h_{max} !!!

Ragioniamo sui raggi **medi**. Abbiamo visto che l'espressione di L_{disp} è approssimata sia per il valore di h sia perché abbiamo trascurato alcuni parametri.

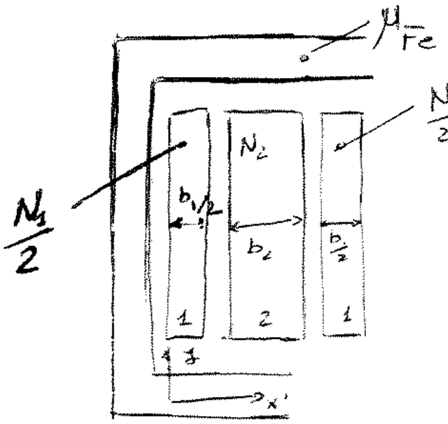
Sicuramente $R_{m1} < R_{md} < R_{m2}$ consideriamo un raggio medio tra l'interno dell'avvolgimento 1 e l'esterno dell'avvolgimento 1

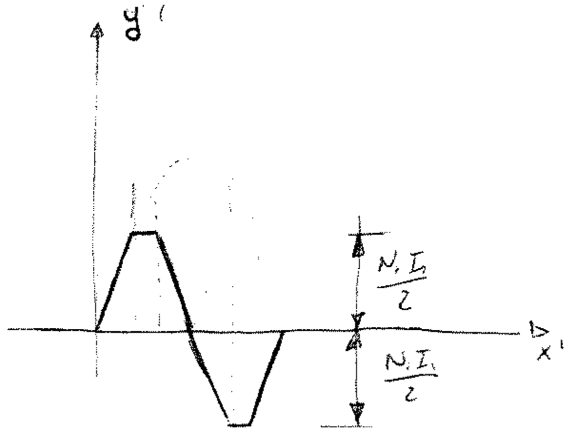
$$R_m = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

$$L_{disp} = \mu_0 \frac{N^2}{h} 2\pi R_m \left(\frac{b_1}{3} + d + \frac{b_2}{3} \right)$$

Se L_{disp} è troppo elevata come posso ridurla?

1) Metodo avv. concentrico doppio





La distanza tra gli avvolgimenti è pari a **d**

Il primo pezzo è identico alla concentrico semplice. Il secondo invece è negativo.

Calcolo ~~in~~ L_{disp} del 1° concentrico semplice e gli sommo quello del 2° concentrico semplice.

<u>Concentrico semplice vicino alla colonna:</u>

$$L_{disp_V} = \mu_0 \frac{N^2}{4} \cdot 2\pi \frac{1}{h} R_{m_V} \left(\frac{b_1}{6} + d + \frac{b_2}{6}\right)$$

<u>Concentrico semplice lontano dalla colonna</u>

$$L_{disp_L} = \mu_0 \frac{N^2}{4} \cdot 2\pi \frac{1}{h} R_{m_L} \left(\frac{b_1}{6} + d + \frac{b_2}{6}\right)$$

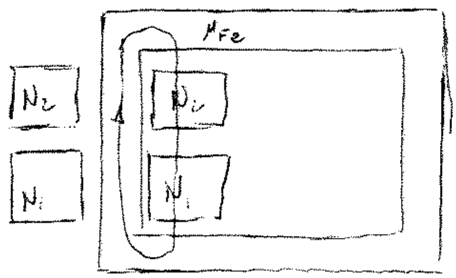
raggio medio del concentrico semplice

$$L_{disp} = L_{disp_V} + L_{disp_L} = 2\mu_0 \frac{N^2}{4} \cdot 2\pi \frac{1}{h} \left(\frac{b_1}{6} + d + \frac{b_2}{6}\right)\left(\frac{R_{m_V} + R_{m_L}}{2}\right) =$$

$$\cancel{2}\mu_0 \frac{N^2}{\cancel{4}\,2} \cdot 2\pi \frac{1}{h} R_m \left(\frac{b_1}{6} + d + \frac{b_2}{6}\right) \simeq \frac{1}{2} L_{disp} \text{ del concentrico semplice}$$

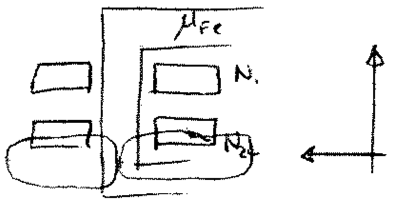
Una bassa L_{disp} fa aumentare le correnti di circolazione a vuoto dei trasformatori.

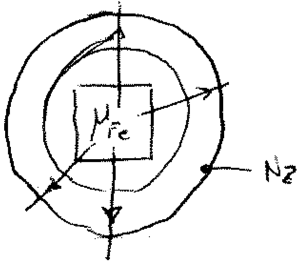
2) avvolgimento a strati sovrapposti (**a** tamburo)



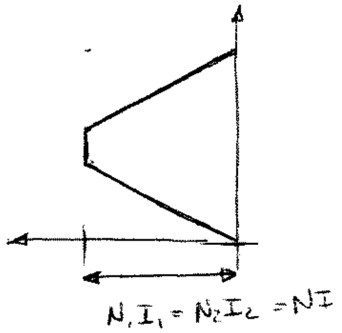
La linea di flusso disperso non esiste (come rappresentata in figura).

Quindi il flusso disperso avrà un altro andamento (vedi figura)





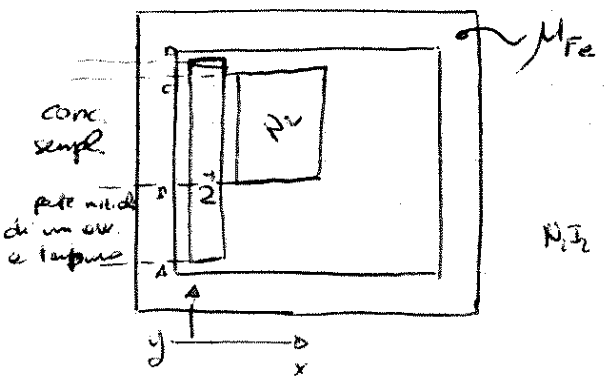
L'andamento delle linee di campo è completamente diverso da quello precedente.



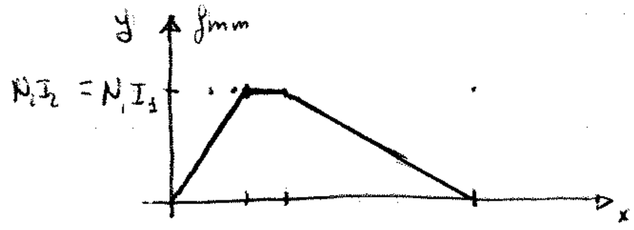
Vedi slide

Quando le linee di campo si avvicinano al ferro l'andamento cambia - h diventa quindi difficilmente definibile.

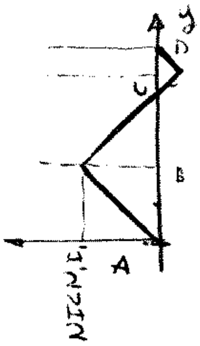
Consideriamo un trasformatore fatto come in figura:



Questo trasf è un concentrico semplice fatto male.

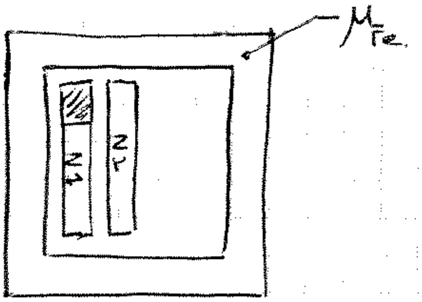


Tra le sezioni A e B l'avvolgimento sembra una parte di un avvolgimento a tamburo. È quindi ragionevole che io abbia una distrib. di Fmm lungo l'asse y.



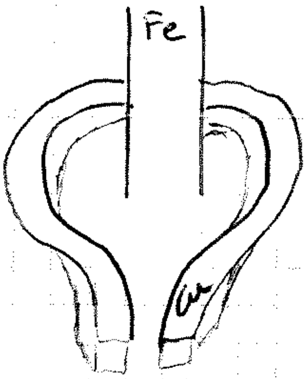
In questo caso il campo è tra i due gioghi, ~~non~~ e radiale.

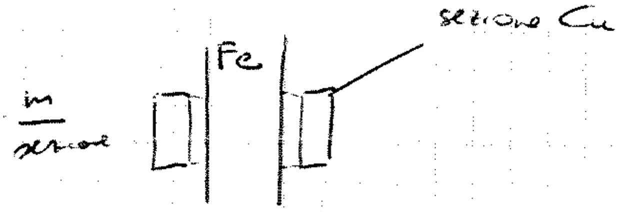
Nessuno fa dei trasformatori così. Il problema salta fuori se si ha trasf con delle prese (cioè con V regolabile).



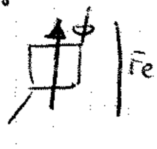
La presenza di un regolatore nel trafo produce delle dissimmetrie che influiscono sulle induttanze di dispersione.

Dobbiamo analizzare la resistenza equivalente del trafo. Il $\phi_{dispersione}$ è di tipo sinusoidale e $f = 50\,Hz$. Il flusso di dispersione attraversa i conduttori. (con la nascita di correnti parassite). Le correnti parassite si devono chiudere nel rame.

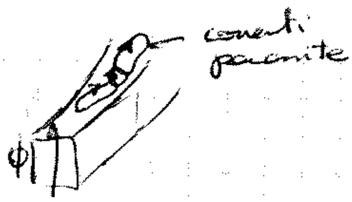




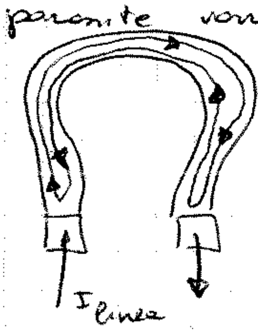
Dobbiamo capire l'andamento del flusso disperso se consideriamo avvolgimenti concentrici il flusso sarà così



Di conseguenza le correnti parassite vanno opposte a ϕ.



$\Rightarrow$



Le correnti parassite si sommano alla corrente di linea. Quindi è effetto delle correnti parassite nel rame dovute ai flussi dispersi è la non uniforme distribuzione di I_{linea}.

$1A$ 1Ω → $2A$, $1A$ 1Ω $\qquad$ $1{,}5A$ 1Ω → $2A$, $0{,}5A$ 1Ω $\Rightarrow$ 0,5 W sono dovuti a perdite conseguenti alla distribuzione non uniforme delle correnti

$P_d = 2\,W$ $\qquad$ $P_d = 1{,}5^2 + 0{,}5^2 = 2{,}5\,W$