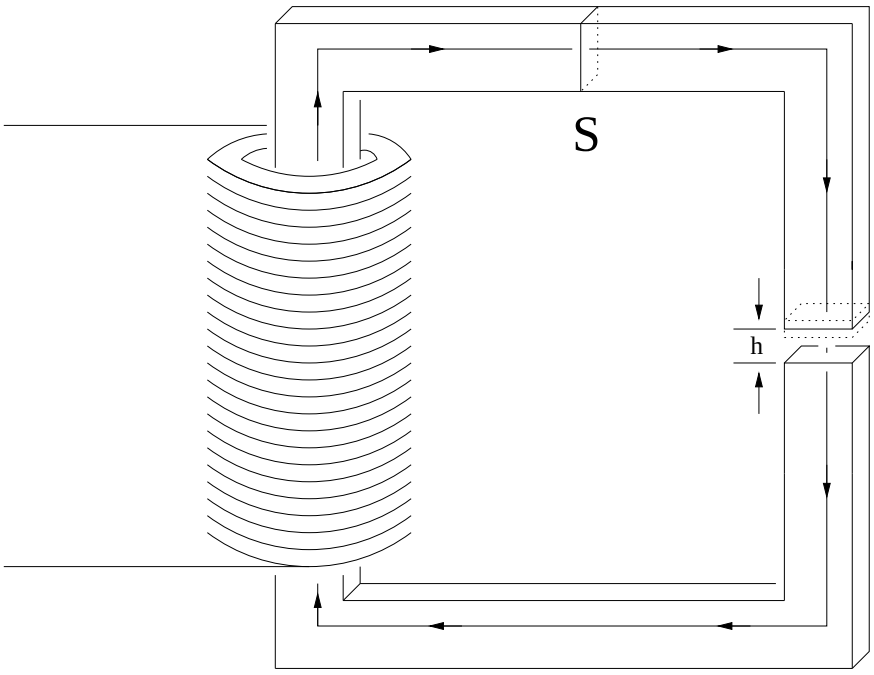
Circuiti magnetici

Dato un toroide in materiale ferromagnetico, di lunghezza L e permeabilità magnetica relativa k_m , su cui sono avvolte N spire percorse da corrente I , il campo magnetico rimane per lo piú "confinato" all'interno del toroide, in cui la permeabilità magnetica è molto superiore che nel vuoto (o nell'aria); per tale motivo applicando la legge di Ampère si trova che il campo magnetico è dato da:

$$B = \mu_0 k_m H = \frac{\mu_0 k_m N I}{L}$$

La determinazione del campo magnetico viene complicata nel caso in cui il toroide non si richiuda completamente, ma esista una piccola regione in cui le linee chiuse del campo magnetico devono attraversare uno strato d'aria, di spessore h come schematizzato in figura, chiamato traferro.



In tal caso per determinare B è necessario utilizzare la proprietà del campo magnetico di non presentare "cariche magnetiche" isolate, per cui il flusso di B attraverso qualsiasi superficie chiusa è nullo. Scegliendo quindi una superficie chiusa a forma di parallelepipedo, in cui una faccia si trova all'interno del ferro ed una in aria come mostrato in figura, si ha che il flusso del campo magnetico (entrante per una faccia del parallelepipedo ed uscente per l'altra) è uguale per entrambe le facce. Ciò si applica alla superficie di qualsiasi sezione del giogo in ferro ortogonale rispetto al campo magnetico; nel caso in cui il

giogo abbia sezione costante S lungo tutta la sua lunghezza L si può allora concludere che il campo B è costante lungo tutto il percorso chiuso mostrato in figura. Il campo magnetizzante H nel ferro (H_f) o in aria (H_a) si può determinare dalle relazioni

$$H_f = \frac{B}{\mu_0 k_m} \quad ; \quad H_a = \frac{B}{\mu_0}$$

e quindi la sua circuitazione è data da

$$\Gamma(H) = H_f L + H_a h = \frac{B}{\mu_0 k_m} L + \frac{B}{\mu_0} h$$

Da questa relazione e dalla legge di Ampère si può quindi ricavare il campo B :

$$B = \frac{\Gamma(H)}{\frac{L}{\mu_0 k_m} + \frac{h}{\mu_0}} = \frac{NI}{\frac{L}{\mu_0 k_m} + \frac{h}{\mu_0}}$$

Nel caso in cui la sezione non sia uniforme lungo il giogo, bisogna ricordare che è costante il flusso Φ del campo B e non il campo stesso; nel caso in cui il giogo sia composto da vari tratti con sezioni S_i e permeabilità magnetiche relative k_i la legge diventa quindi:

$$\phi(B) = \frac{NI}{\sum_i \frac{L_i}{\mu_0 k_i S_i}}$$

Tale legge, nota come "legge di Hopkinson", viene scritta nella forma

$$\phi(B) = \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{R}}$$

per analogia con la legge di Ohm

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Al posto della forza elettromotrice $\mathcal{E}$ si trova infatti la "forza magnetomotrice" $\mathcal{M} = NI$, al posto della corrente I si trova il flusso del campo magnetico $\Phi(B)$ e al posto della resistenza R si trova la "riluttanza"

$$\mathcal{R} = \sum_i \frac{L_i}{\mu_0 k_i S_i}$$

la cui espressione è a sua volta del tutto analoga all'espressione della resistenza per un sistema di conduttori in serie:

$$R = \sum_i \frac{\rho_i L_i}{S_i}$$

La riluttanza complessiva è infatti data dalla somma della riluttanza di ciascun tratto del "circuito magnetico", in cui al posto della resistività ρ si trova il reciproco della permeabilità magnetica $1/(\mu_0 k_m)$.