

9. Magnetische Kreise

9.1. magnetische Spannung

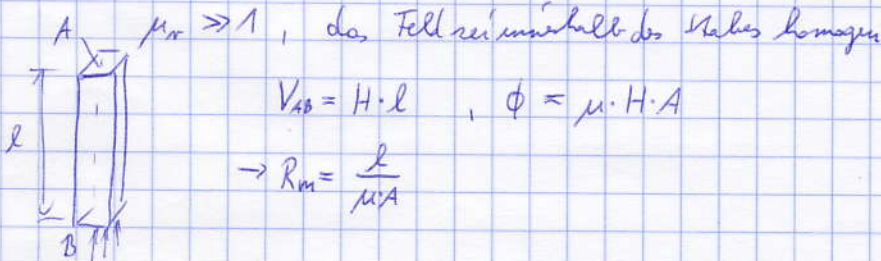
$$V_{AB} = \int_A^B H(\vec{s}) d\vec{s}$$

$$[V_{AB}] = 1A$$

9.2. magnetischer Widerstand

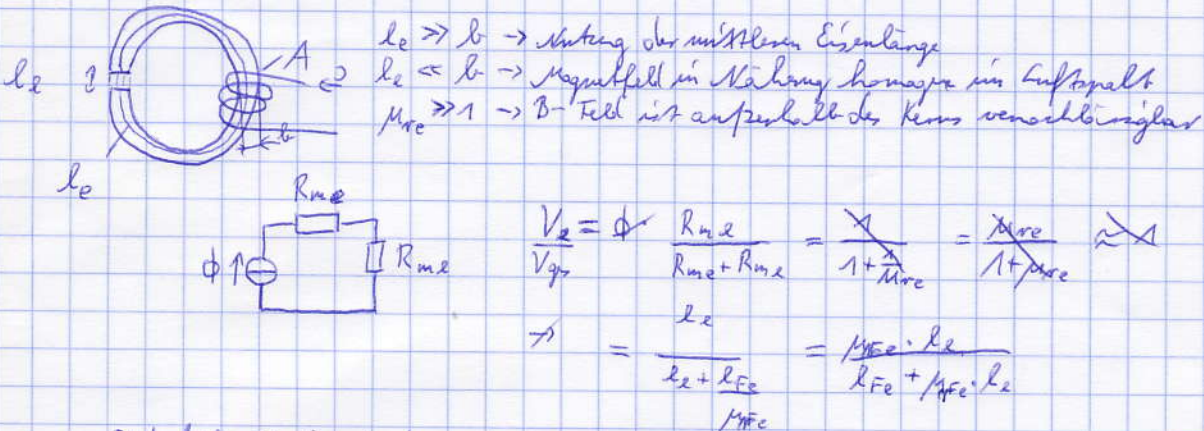
$$R_{m} = V_{AB} / \Phi \quad [R_m] = 1A/Vs$$

Beispiel: magnetischer Widerstand eines langen ferromagnetischen Stabes der Länge l



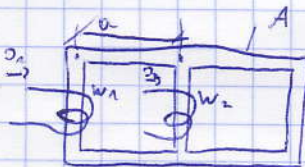
9.3. Ersatzhaltungen magnetischer Kreise

Ringkernspule mit Luftspalt

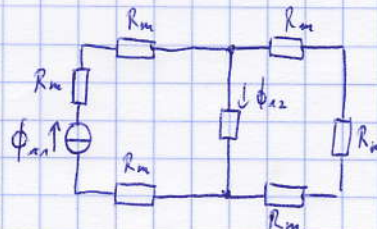


Induktivität der Anordnung:

$$H = \mathcal{J} \cdot w / l_e \quad \Psi = \mathcal{J} w^2 \frac{\mu_0 A}{l_e} \quad \rightarrow L = \Psi / \mathcal{J} = w^2 / R_m$$



$$1) \mathcal{J}_2 = 0$$



$$L_1 = \frac{w_1^2}{3R_m + R_m || 3R_m} \quad \text{mit } R_m = \frac{l_e}{\mu A}$$

$$L_1 = w_1 \frac{\Phi_1}{\mathcal{J}_1}$$

$$M_{21} = \frac{w_2 \Phi_{12}}{\mathcal{J}_1} = w_2 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{\Phi_1}{\mathcal{J}_1} = \frac{w_2 \cdot 3}{w_1 \cdot 4} L_1 = \frac{3 w_1 w_2}{4(3R_m + R_m || 3R_m)}$$

10. Energie und Kraft

$$u(t) = L \frac{di}{dt}$$

$$w(t) = w(0) + \int_0^t u(t') \cdot i(t') dt' = w(0) + L \int_{i(0)}^{i(t)} i(t') \cdot \frac{di(t')}{dt'} dt'$$

$$w(t) = w(0) + \frac{1}{2} L (i^2(t) - i^2(0))$$

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

Prinzip der virtuellen Verschiebung

Ansatz: Energieerhaltung

$$dW_{\text{el}} = dW_{\text{mech}} + dW_{\text{mag}}$$

$$dW_{\text{mech}} = F ds$$

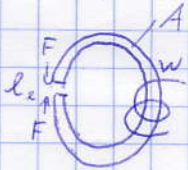
$$dW_{\text{el}} = u i dt$$

$$dW_{\text{mag}} = d\left(\frac{L i^2}{2}\right)$$

Ansatz: i sei konstant, $M=0 \Rightarrow dW_{\text{el}}=0$

$$F ds = \frac{i^2}{2} dL \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{F = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{ds}}}$$

Beispiel: Kraftwirkung auf die Grenzflächen des Luftspalts einer Spule mit Luftspalt



$$R_m = \frac{1}{\mu_0} \left(\mu_e \frac{l_e}{\mu_0 \mu_e A} + \frac{l_a}{A} \right)$$

$$R_m = \frac{1}{\mu_0 A} \left(\frac{l_e}{\mu_e} + l_a \right)$$

$$L = \frac{w^2 \mu_0 A}{\frac{l_e}{\mu_e} + l_a}$$

$$-F = \frac{\partial}{\partial l_a} \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$\frac{dL}{dl_a} = - \frac{w^2 \mu_0 A}{\left(\frac{l_e}{\mu_e} + l_a \right)^2}$$

$$\rightarrow F = \frac{J^2 w \mu_0 A}{2 \left(\frac{l_e}{\mu_e} + l_a \right)^2}$$