Kraftwirkung zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern

$|\vec{F}|=|\vec{F_1}|=|\vec{F_2}|=\frac{\mu}{2\pi}\frac{|I_1|*|I_2|*l}{\rho}$ gleiche Richtung ziehen sich an, gegengerichtet Abstoßung

Permeabilität

$\mu=\mu_0*\mu_r$

μ_0 Magnetische Feldkonstante $=4\pi\,10^{-7}\frac{Vs}{Am}$

μ_r Permeabilitätszahl, relative Permeabilität. Ohne Einheit Vakuum $\mu_r=1$, Materie $\mu_r\neq 1$

Reale und ideale Stromverteilung

- Volumenstrom Stromdichte $J(\vec{r})=\frac{dI}{dA}$ 2- dimensionale Verteilung
- Flächenstrom Flächenstromdichte $J_F(\vec{r})=\frac{dI}{db}$ Strom innerhalb Fläche über deren Breite b verteilt
- Linienstrom Strom I = const – Strom innerhalb linienförmiger Geometrie auf einen Punkt verteilt

Magnetische Flussdichte

$B=\lim_{l_2*l\to 0}\frac{|\vec{F}|}{|I_2*l|}$ Einheit $\frac{Vs}{m^2}=T$ Tesla

$\rightarrow$ Kraftwirkung auf Leiter mit I, l (Betrag) $|\vec{F}|=(I*l)*B$

Magnetische Induktion eines geraden Linienstromes I $\vec{B}(\rho)=\frac{\mu}{2\pi}*\frac{I}{\rho}*\vec{e_\varphi}$

Def: Richtung: Rechtsschraube zur Stromrichtung – Vektorfeld
Bei Überlagerung: Superposition

Lorenzkraft Lorenzkraft $\vec{F}=\vec{F_L}=Q*\vec{v}\times\vec{B}$ Bahnradius $r=\frac{m*v_o}{Q*B}$

Wirkung: Zwingt Teilchen auf eine Kreisbahn, keine Änderung der Geschwindigkeit und der kinetischen Energie! Schreibweisen:
$\vec{F_L}=V*\vec{J}\times\vec{B}$ über Stromdichte $\vec{F_L}=Q*\vec{v_D}\times\vec{B}$ über Drift der Elektronen

Magnetische Feldstärke

$\vec{H}=\frac{\vec{B}}{\mu}$ Materialunabhängige Größe

Elektrische Durchflutung

$\Theta=\oint_{C_0}\vec{H}*d\vec{s}$

Integration längs einer geschlossenen Kontur (Umlauf), magnetische Feldlinien immer geschlossen.

Durchflutungsgesetz, insgesamt umschlossener Strom $\Theta=\oint_{C_0}\vec{H}*d\vec{s}=\sum_I I_i=I_{ges}$

Umlaufrichtung des Integrationsweges def. Flächennormale: Vorzeichen: Rechtsschraube

Magnetischer Fluß $\Phi_m=\int_A\vec{B}*d\vec{A}=n*I$ magn. Fluß durch geschl. Hüllfläche: ~ $\Phi_m=\oint_{A_0}\vec{B}*d\vec{A}=0$

Integration über eine Fläche

$L=\frac{\Psi}{I}\quad \Psi=n*\Phi\quad L=\frac{n*\Phi}{I}$

Magnetisches Dipol Moment

$\vec{m}=I*\vec{A}$ Orientierung $\vec{A}$ techn. Stromr. Flächennormale Rechtsschr

Magnetisierung

$\vec{M}=\frac{\vec{m}}{V}$ mit $\vec{m}$ magn. gesamt Dipolmoment, V = Volumen des magn. Materials

mit $|\vec{M}|=\frac{|\vec{m}|}{V}=\frac{I*A}{V}=\frac{I*A}{l*A}=\frac{I}{l}=J_F$ mit A Querschnittsfläche, l = Länge

Magnetisierung $\vec{M}=(\mu_r-1)*\vec{H}=\chi*\vec{H}\quad \chi=(\mu_r-1)$ magnetische Suszeptibilität

Lange Zylinderspule

$\Psi_m=L*I$ mit $L=\mu_o\mu_r*\frac{n^2A}{l}$ Induktivität der Spule Einheit $\frac{Vs}{A}$=H Henry

Grenzbedinungen für magnetische Materialien / Brechungsgesetz

$\tan(\alpha_2)=\frac{\mu_{r2}}{\mu_{r1}}*\tan(\alpha_1)$

Parallel zur Grenzfläche Tangentialkomponenten (parallel zur Grenzfläche)

$H_{t1}=H_{t2}$ Feldstärke stetig $\frac{B_{t1}}{\mu_1}=\frac{B_{t2}}{\mu_2}$ Induktion springt

Normalkomponenten (senktrecht zur Grenzfläche)

$B_{n1}=B_{n2}$ Induktion stetig $\mu_1*H_{n1}=\mu_2*H_{n2}$ Feldstärke springt

Übersicht statische elektrische und magnetische Felder GEA 6-11

Induktion

$-e*\overrightarrow{E_Q}=\overrightarrow{F_C}=-\overrightarrow{F_L}=-(-e)(\vec{v}\times\vec{B})\rightarrow\overrightarrow{E_{Qi}}=-\vec{v}\times\vec{B}\rightarrow$ Ausserhalb d. Leiters $U_{ab}=\int_a^b \overrightarrow{E_{QA}}*d\vec{s}=U_{ind}$

Induktionsgesetz $U_{ind}=-B*\frac{dA}{dt}=-d\frac{\Phi_m}{dt}$

Lenz'sche Regel : Jedes induzierte elektrische Feld ist so gerichtet, dass es seiner Ursache **entgegenwirkt.**

Induktionsgesetz allgemeine Form $\oint_{C_0}\vec{E}*d\vec{s}=-\frac{d}{dt}\int_A\vec{B}*d\vec{A}$

Modifikation der Kirchhoff'schen Maschenregel $\sum_i U_I \text{Masche}=-d\frac{\Phi_m}{dt}=u_{ind}(t)$

Energieinhalt des magnetischen Feldes $W_m=\frac{1}{2}BH*V$

Energiedichte des magn. Feldes $w_m=\frac{W_m}{V}=\frac{1}{2}B*H=\frac{1}{2}|\vec{B}|*|\vec{H}|$

Vollständiges Gleichungssystem	der Elektrodynamik
Maxwell I – Durchflutungsgesetz	$\oint_{C_0} \vec{H}\, d\vec{s} = i = \underbrace{\int_A \vec{j}\, d\vec{A}}_{\text{Leitungsstrom}} + \underbrace{\frac{d}{dt}\int_A \vec{D}\, d\vec{A}}_{\text{Verschiebungsstrom (Bsp: Kondensator)}}$
Maxwell II - Induktionsgesetz	$\oint_{C_0} \vec{E} * d\vec{s} = -\frac{d}{dt}\int_A \vec{B} * d\vec{A}$
Maxwell III – Quellenfreiheit	$\oint_{A_0} \vec{B}\, d\vec{A} = 0$
Maxwell IV - Quellen	$\oint_{A_0} \vec{D}\, d\vec{A} = Q = \underbrace{\int_V \rho\, dV}_{\text{Raumladung}}$
Materialgleichungen	$\underbrace{\vec{j} = \kappa * \vec{E}}_{\text{leitend}}\ \underbrace{\vec{D} = \epsilon * \vec{E}}_{\text{dielektrisch}}\ \underbrace{\vec{B} = \mu * \vec{H}}_{\text{magnetisch}}$

Strom- Spannungsverhalten

Kondensator $i_c(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(C * u_c) = C * \frac{dU_c}{dt} \rightarrow u_c(t) = \frac{1}{C}\int i_c(t)\, dt \qquad W_{el} = \frac{1}{2} C * u_c^2 = \frac{1}{2} Q * u_c$

Spule $u_l(t) = -U_{ind} = d\,\frac{\Psi_m}{dt} = \frac{d}{dt}(L * i_L) = L * \frac{di_L}{dt} \rightarrow i_L(t) = \frac{1}{L}\int u_L(t)\, dt \qquad W_m = \frac{1}{2} C * u^2 = \frac{1}{2} \Psi_m * i_L$

Gekoppelte Spulen

$M = K * \sqrt{L_1 * L_2}$ mit K Koppelfaktor, $L_1\, L_2$ Selbstinduktivität, M Gegeninduktivität

$M > 0$ positive Kopplung Ψ in gleicher Richtung $M < 0$ negative Kopplung Ψ *entgegengesetzt*

Transformator, Beschriftung: Strom fliesst beim Vierpol immer oben rein

$\ddot{U} = \pm\frac{n_1}{n_2} = \pm\frac{u_1}{u_2} \mp \frac{i_2}{i_1}$ Eingangswiderstand $R_e = \frac{u_e}{i_e}$ Ausgangswiderstand $R_a = \frac{u_a}{i_a}$

Leistungsanpassung

$R_L = R_i$ oder Übertrager $\ddot{u} = \sqrt{\frac{R_i}{R_L}}$ Kenndaten der Ersatzquelle $U^* = \frac{U_0}{\ddot{u}} \quad R_i^* = \frac{R_i}{\ddot{u}^2}$

R-C- Reihenschaltung Einschalten

Maschengleichung $u_c + R * I = u_0$, dann entweder Formel Spannung/ Strom am Kondensator einfügen und DGL lösen. Andere Formel durch einsetzen der anderen Bedingung in die bereits gelöste, dann ableiten oder integrieren gibt Strom / Spannung.

Zeitkonstante $\tau = RC \qquad u_c(t) = U_0(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}) \qquad i_c(t) = \frac{U_0}{R} * e^{\frac{-t}{\tau}}$ GEA 8-5a

R-L- Reihenschaltung Einschalten

Maschengleichung $u_L + R * I = u_0$, dann entweder Formel Spannung/ Strom an der Spule einfügen und DGL lösen. Andere Formel durch einsetzen der anderen Bedingung in die bereits gelöste, dann ableiten oder integrieren gibt Strom / Spannung.

Zeitkonstante $\tau = \frac{L}{R} \qquad i_L(t) = \frac{U_0}{R}(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}) \qquad u_L(t) = U_0 * e^{\frac{-t}{\tau}}$ GEA 8-5b