[redacted] Mathe

Kartesische $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$

$d\vec{s} = \vec{e}_x\,dx + \vec{e}_y\,dy + \vec{e}_z\,dz \qquad dV = dx\,dy\,dz$

Vektoroperationen

$\nabla f = \operatorname{grad} f = \frac{\partial f}{\partial x}\vec{e}_x + \frac{\partial f}{\partial y}\vec{e}_y + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{e}_z$

$\nabla \cdot \vec{f} = \operatorname{div}\vec{f} = \frac{\partial f_x}{\partial x} + \frac{\partial f_y}{\partial y} + \frac{\partial f_z}{\partial z}$

$\nabla \times \vec{f},$

$\operatorname{rot}\vec{f} = \left(\frac{\partial f_z}{\partial y} - \frac{\partial f_y}{\partial z}\right)\vec{e}_x + \left(\frac{\partial f_x}{\partial z} - \frac{\partial f_z}{\partial x}\right)\vec{e}_y + \left(\frac{\partial f_y}{\partial x} - \frac{\partial f_x}{\partial y}\right)\vec{e}_z$

$\nabla \cdot \nabla f = \operatorname{div}\operatorname{grad} f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$

Zylinder $\vec{e}_\rho, \vec{e}_\phi, \vec{e}_z$

$d\vec{s} = \vec{e}_\rho\,d\rho + \vec{e}_\phi\,\rho\,d\phi + \vec{e}_z\,dz \qquad dV = \rho\,d\rho\,d\phi\,dz$

$0 \le \rho < \infty$, $0 \le \phi < 2\pi$, $-\infty < z < \infty$

$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho\cos\phi \\ \rho\sin\phi \\ z \end{pmatrix} \qquad \rho = \sqrt{x^2+y^2}$

$\sin\phi = \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} \qquad \cos\phi = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$

$\vec{e}_x = \vec{e}_\rho\cos\phi - \vec{e}_\phi\sin\phi \qquad \vec{e}_\rho = \vec{e}_x\cos\phi + \vec{e}_y\sin\phi$

$\vec{e}_y = \vec{e}_\rho\sin\phi + \vec{e}_\phi\cos\phi \qquad \vec{e}_\phi = -\vec{e}_x\sin\phi + \vec{e}_y\cos\phi$

Kugel $\vec{e}_r, \vec{e}_\Theta, \vec{e}_\phi$

$d\vec{s} = \vec{e}_r\,dr + \vec{e}_\Theta\,r\,d\Theta + \vec{e}_\phi\,r\sin\Theta\,d\phi \qquad dV = r^2\sin\Theta\,dr\,d\Theta\,d\phi$

$0 \le r < \infty$, $0 \le \Theta \le \pi$, $0 \le \phi < 2\pi$

$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r\sin\Theta\cos\phi \\ r\sin\Theta\sin\phi \\ r\cos\Theta \end{pmatrix} \qquad r = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$

$\vec{e}_x = \vec{e}_r\sin\Theta\cos\phi + \vec{e}_\Theta\cos\Theta\cos\phi - \vec{e}_\phi\sin\phi$

$\vec{e}_y = \vec{e}_r\sin\Theta\sin\phi + \vec{e}_\Theta\cos\Theta\sin\phi + \vec{e}_\phi\cos\phi$

$\vec{e}_z = \vec{e}_r\cos\Theta - \vec{e}_\Theta\sin\Theta$

$\vec{e}_r = \vec{e}_x\sin\Theta\cos\phi + \vec{e}_y\sin\Theta\sin\phi + \vec{e}_z\cos\Theta$

$\vec{e}_\Theta = \vec{e}_x\cos\Theta\cos\phi + \vec{e}_y\cos\Theta\sin\phi - \vec{e}_z\sin\Theta$

$\vec{e}_\phi = -\vec{e}_x\sin\phi + \vec{e}_y\cos\phi$

$P = \frac{W}{t} = F v$

Winkelgeschw. $v = \omega r = \frac{2\pi r}{T} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{r}$

Mech. Drehmoment $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad W_{12} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_q\,d\vec{s}$

Geometrie

Zylinder - Mantel: $2\pi r l$

- Volumen: $\pi r^2 l$

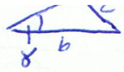
Kugel - Oberfläche: $4\pi r^2$

- Volumen: $\frac{4}{3}\pi r^3$

Trigonometrie

$\sin = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypothenuse}} \qquad \tan = \frac{\sin}{\cos}$

$\cos = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypothenuse}}$



$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$

Skalarprodukt: $\vec{a}\cdot\vec{b} = |a|\cdot|b|\cdot\cos\alpha$

$\boxed{r_{AQ} = r_A - r_Q}$

Kreuzprodukt: $|\vec{a}\times\vec{b}| = |a|\cdot|b|\cdot|\sin\alpha|$

$\vec{a}\times[\vec{b}\times\vec{c}] = \vec{b}(\vec{a}\cdot\vec{c}) - \vec{c}(\vec{a}\cdot\vec{b})$

Einheiten & Konstanten

$\varepsilon_0 = 8{,}854\cdot 10^{-12}\frac{As}{Vm}$

$[E] = \frac{V}{m} = \frac{N}{C} \qquad [Q] = C = [\Psi]$

$[D] = [P] = [\sigma_e] = \frac{C}{m^2} \qquad [I] = A$ (el. Polarisation)

$[U] = [\varphi] = V = \frac{J}{C} \qquad [\sigma] = \frac{1}{\Omega m}$

$[C] = F = \frac{C}{V} \qquad [J] = \frac{A}{m^2}$

Beweglichkeit: $[\mu] = \frac{m^2}{Vs}$

Flächenstromdichte: $[J_A] = \frac{A}{m}$

$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\frac{Vs}{Am}$

$[B] = T = \frac{Vs}{m^2} \qquad [\vec{A}_m] = \frac{Vs}{m}$

$[H] = [M] = [J_A] = \frac{A}{m} \qquad [\phi_m] = A$ (magn. Erregung)

$[\Phi] = Wb = Vs \qquad [L] = H = \frac{Wb}{A} = \frac{Vs}{A}$

Durchflutung: $[\Theta] = A \qquad [R_m] = \frac{1}{\Omega s} = \frac{1}{H}$

magn. Spannung: $[V_m] = A$

magn. Polarisation $[J] = \frac{Vs}{m^2}$ magn. Leitwert: $[\Lambda] = H = \Omega s$

$E_{max,Luft} = 2\frac{MV}{m} \qquad W_{el,E\text{-}stat,max} = 77{,}7\frac{Ws}{m^3}$

$B_{max,Labormagnet} = 20T$ (typisch $1{,}5T$) $\qquad W_{m,m\text{-}stat,max} = 160\cdot 10^6\frac{Ws}{m^3}$

$\sigma_{Cu} = 59\cdot 10^6\frac{1}{\Omega m}$

Elektrostatik Quelle ⊕ → ⊖ Senke

E-Felder

Pktladung: $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\cdot\frac{\vec{r}_{AQ}}{r_{AQ}^3}$

Linienladung: $\vec{E} = \frac{q_L}{2\pi\varepsilon}\cdot\frac{1}{\rho}\vec{e}_\rho$

Winkelkondensator: $\vec{E} = -\frac{U}{\alpha\rho}\vec{e}_\phi$

Potentiale

$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\cdot\frac{1}{r}$

$\varphi = \frac{q_L}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)$

$\varphi = U\cdot\left(\frac{\phi}{\alpha}\right)$

$\oint\vec{E}\,d\vec{s} = 0$

$\operatorname{rot}\vec{E} = 0$

$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$

$\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$

$\varepsilon_r = 1 + \chi_e$

$\vec{F}_q = \vec{E}q$

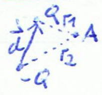
$\Psi = \iint_A \vec{D}\,d\vec{A} \qquad \oiint_H \vec{D}\,d\vec{A} = Q_{ein} = \iiint_V \rho_e\,dV \qquad \operatorname{div}\vec{D} = \rho_e$

$U_{12} = \int_{P_1}^{P_2}\vec{E}\,d\vec{s} = \varphi_1 - \varphi_2 \qquad \varphi_1 = \varphi_0 - \int_{P_0}^{P_1}\vec{E}\,d\vec{s}$

$\vec{E} = -\operatorname{grad}\varphi$ Poisson: $\Delta\varphi = -\frac{\rho_e}{\varepsilon}$ Laplace: $\Delta\varphi = 0$

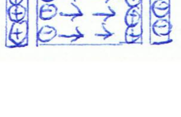
$w_e = \frac{W}{V} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}DE = \frac{1}{2}\frac{D^2}{\varepsilon} \qquad \vec{D} = \varepsilon\vec{E}$

Dipol



$\vec{M} = \underbrace{Q\vec{d}}_{\vec{p}}\times\vec{E} \qquad \varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

d: Vektor von ⊖ zu ⊕



$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dV}$

$q_L = \frac{dQ}{ds}$

$\sigma_e = \frac{dQ}{dA}$

$\rho_e = \frac{dQ}{\ldots}$

Kapazität

$C = \frac{Q}{U} = \frac{\oiint_A \vec{D}\,d\vec{A}}{\int_1^2 \vec{E}\,d\vec{s}}$

$W_C = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

Parallelschaltung: $C_{ges} = \sum_{i=1}^{n} C_i$

Serienschaltung: $\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}$

Plattenkondensator: $C = \varepsilon\frac{A}{d}$, $E = \frac{U}{d}$

Kugelkondensator: $C = 4\pi\varepsilon\frac{r_a\cdot r_i}{r_a - r_i}$

Zylinderkondensator: $C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}$

Geschichtetes Dielektrikum

Parallel zum Feld: $E = \frac{U}{d} = \text{const}$ wie Parallelschaltung

Senkrecht zum Feld: $D = \frac{Q}{A} = \text{const}$ wie Serienschaltung

~~Winkel-Kondensator:~~ $\cancel{C = \frac{\varepsilon l}{\alpha}\ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_0}\right)}$

Kugel im ∞: $C = 4\pi\varepsilon r$

Zwei Zylinder: $C = \frac{\pi\varepsilon l}{\ln\left(\frac{s}{2r} + \sqrt{\frac{s^2}{4r^2} - 1}\right)}$

Zylinder über ... 2x ...

$$\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\Big|_{\sigma_e=0} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}\Big|_{J_{A\perp}=0}$$

Stetigkeiten:
- E: tangential
- D: normal
- J: normal
- H: tangential
- B: normal

$D_{1n} - D_{2n} = \sigma_e$

$H_{1t} - H_{2t} = J_{A\perp}$

Im Vakuum gilt:

$\operatorname{rot}\vec H = \frac{\partial \vec D}{\partial t}$

$\operatorname{rot}\vec E = -\frac{\partial \vec B}{\partial t}$

$\operatorname{div}\vec B = 0$

$\operatorname{div}\vec D = 0$

$\vec B = \mu_0 \vec H$

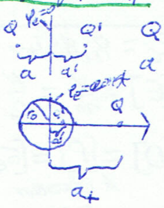
$\vec D = \varepsilon_0 \vec E$ $\quad \varepsilon_r = 1$

$\vec J = 0$ $\quad \mu_r = 1$

Spiegelungsprinzip (an leitenden Elementen)

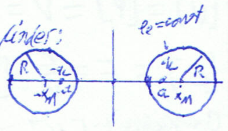
Ebene: $Q' = -Q$, $a = a'$

Kugel: $Q' = -Q\,\frac{r_0}{d_+}$, $a' = \frac{r_0^2}{d_+}$



Zylinder: $a^2 + R^2 = x_M^2$

beschreibt Äquipotentialkreise



Randbedingungen
- Kein Spiegelladung im Lösungsgebiet
- vorgegebene Potentiale und Ladungen
- endliche Feldstärke (endliche Ladung, nicht unbelegt Anzahl)
- vollst. Spiegelung aller Ladungen an allen Spiegelelementen führt zu einem φ und verletzt keine anderen Randbedingungen

$\vec J = -e n_e \vec v = \frac{1}{2}\frac{e^2 n_e \tau}{m_e}\vec E \qquad \vec J = \sigma\vec E = \frac{\vec E}{\rho} \qquad \vec J = \frac{\sigma}{\varepsilon}\vec D$

$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad I = \iint_A \vec J\, d\vec A \qquad I = \frac{\sigma}{\varepsilon} Q$

Beweglichkeit: $\vec v = \mu \vec E$

$\sigma = \mu e n_e = \frac{1}{\rho}$

$p_{el} = \frac{P_{el,\Delta V}}{\Delta V} = \vec J \vec E$

Kontinuitätsgleichung: $\operatorname{div}\left(\vec J + \underbrace{\frac{\partial \vec D}{\partial t}}_{\text{im stationären Fall } 0}\right) = 0$

Flächenstromdichte $\vec J_A = \sigma_e \vec v$ $\quad [J_A] = \frac{A}{m}$

$R = \frac{l}{\sigma A} \qquad J = \frac{dI}{dA}$

$\oint_H \left(\vec J + \frac{\partial \vec D}{\partial t}\right) d\vec A = 0$

Duale Struktur: $R = \frac{\varepsilon}{\sigma}\cdot\frac{1}{C}$

Relaxationszeit

$Q(t) = Q_0 \exp\left(-\frac{\sigma}{\varepsilon}\cdot t\right)$ mit $\tau = \frac{\varepsilon}{\sigma} = RC$

Auf Leitern gilt: $D_n = \varepsilon E_n = \sigma_e$

Ladungserhaltungssatz: $\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \operatorname{div}\vec J = 0$

Dielektrische Absorption: $\rho_e(\vec r) = \vec J(\vec r)\operatorname{grad}\frac{\varepsilon(\vec r)}{\sigma(\vec r)}$

$\frac{d}{dt}\iiint_V \rho_e\, dV + \oint_H \vec J\, d\vec A = 0$

Strom durch Flächen: $I_{ges} = \underbrace{I}_{\text{Driftstrom}} + \underbrace{\frac{d\Psi}{dt}}_{\text{Verschiebungsstrom}} = 0$

Stromdichte erzeugt Driftstrom

$\frac{dQ}{dt} + I = 0$

Kugel mit Raumladung: $\vec v = \omega\rho\,\vec e_\varphi = \omega r \sin\Theta\,\vec e_\varphi$

$\vec J = \rho_e \vec v$

Magnetostatik

3-Finger-Regel (Rechte Hand!!): Daumen: Positive Ladungsträger; Z-Finger: B-Feld; M-Finger: Lorentzkraft

$\vec B = \mu \vec H$

N S

Linienstrom:

außen: $\vec H = \frac{I}{2\pi r}\vec e_\varphi$, $\quad \vec B = \frac{\mu I}{2\pi r}\vec e_\varphi$

innen: $\vec H = \frac{I r}{2\pi a^2}\vec e_\varphi$, $\quad \vec B = \frac{\mu I r}{2\pi a^2}\vec e_\varphi$

Abstoßung: $\leftarrow \otimes \quad \odot \rightarrow$

Anziehung: $\otimes \rightarrow \leftarrow \otimes$

Kräfte

$\vec F_{ges} = q(\vec E + \vec v \times \vec B)$ $\qquad I \Rightarrow H$, $B \Rightarrow F_m$

$\vec F_m = q(\vec v \times \vec B) \qquad d\vec F_m = I(d\vec s \times \vec B)$

$\vec F_m = I(\Delta\vec l \times \vec B)$

$\vec F_m = \Delta V(\vec J \times \vec B)$

$\Delta V = A\cdot\Delta l$

Durchflutungsgesetz

$\operatorname{rot}\vec H = \vec J + \frac{\partial \vec D}{\partial t}$

$\oint_C \vec H\, d\vec s = I_{ein} = \iint_A \left(\vec J + \underbrace{\frac{\partial \vec D}{\partial t}}_{\text{im stat. Fall } 0}\right) d\vec A$

$\Phi = \iint_A \vec B\, d\vec A \qquad \oint_H \vec B\, d\vec A = 0 \qquad \operatorname{div}\vec B = 0$

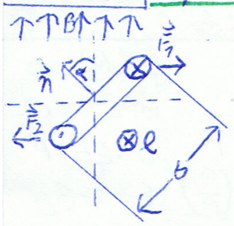
B-Feldlinien sind immer geschlossen!

Diamagnetismus
- Jeder Stoff ist Diamagnetisch
- Von beiden Polen abgestoßen
- kein permanentes magn. Moment
- $|\vec B| = \mu_0|\vec H| - |\vec J|$ (schwächt ges. Feld)
- $\chi_m < 0 \quad \mu_r \lessapprox 1$

$\mu_r = 1 + \chi_m$

Paramagnetismus
- permanentes magn. Moment
- Von beiden Polen angezogen
- $\vec B = \mu_0 \vec H + \vec J$ (verstärkt Gesamtfeld)
- $\chi_m > 0 \quad \mu_r \gtrapprox 1$

Magn. Moment



$\vec L = \vec m \times \vec B$ mit $\vec m = I A \vec n$

$\vec L = \vec b \times \vec F_1 = -\vec b \times \vec F_2$

$F_1 = F_2 = I l B$

Spule, K Windungen: $\vec m = K I A \vec n$, $\quad \vec L = \vec m \times \vec B$

Potential

φ_m: Skalares magn. Potential

strömungsfreies Gebiet:

$\vec H = -\operatorname{grad}\varphi_m \qquad \Delta\varphi_m = 0$

$\vec A_m$: Magn. Vektorpotential

$\vec B = \operatorname{rot}\vec A_m$

Coulomb-Eichung: $\operatorname{div}\vec A_m = 0$

Lorentz-Eichung:

$\operatorname{div}\vec A_m + \mu\cdot\varepsilon\cdot\frac{\partial\varphi}{\partial t} = 0$

$\vec B$ bei bekanntem $\vec A_m$ eindeutig festgelegt

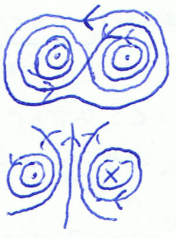
$\vec A_m$ bei bekanntem $\vec B$ bis auf Quellenanteil grad Ψ bestimmt

$\vec J = \frac{1}{\mu}\operatorname{rot}\vec B \qquad \mu\cdot\vec J = -\Delta\vec A_m$

Magn. Spannung: $V_{m12} = \int_{P_1}^{P_2} \vec H\, d\vec s$ (wegabhängig) $\quad$ Umlaufspannung: $\oint_C \vec H\, d\vec s = \Theta_{tot}$

Durchflutung: $\Theta_{tot} = \iint_A \vec J_{tot}\, d\vec A = \iint_A \left(\vec J + \frac{\partial \vec D}{\partial t}\right) d\vec A = \frac{d\Psi}{dt} + I$

"ohmsches Gesetz": $\Theta = \phi\cdot R_m \qquad \Lambda = \frac{1}{R_m}$



$I_1 \upuparrows I_2$

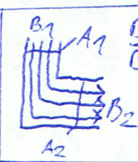
$I_1 \uparrow\downarrow I_2$

Spulen

Zyl.-Spule: $H_i = N\frac{I}{l} \qquad B_i = \mu_0 N \frac{I}{l}$

Toroid-Spule: $H = \frac{N I}{2\pi r_m} \qquad B = \frac{\mu N I}{2\pi r_m}$

$r_m = \frac{r_i + r_a}{2}$

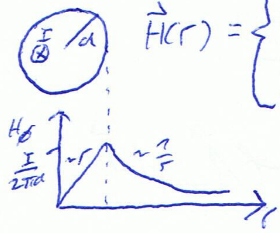


$\frac{B_1}{B_2} = \frac{A_2}{A_1}$

$\Phi = \iint \vec B\, d\vec A = \oint \vec A_m\, d\vec s$

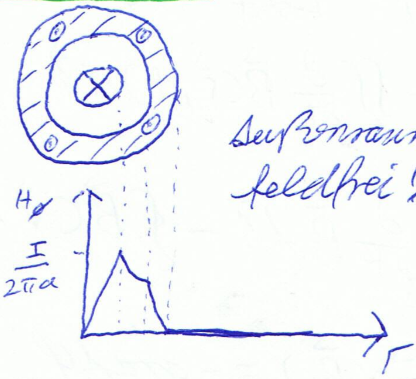
[redacted]

Linienstrom



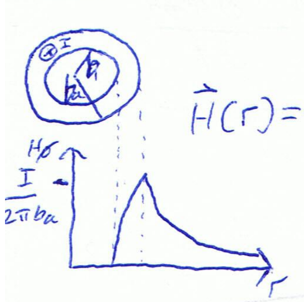
$$\vec{H}(r) = \begin{cases} I \cdot \frac{r}{2\pi a^2} \vec{e}_\phi & r < a \\ I \cdot \frac{1}{2\pi r} \vec{e}_\phi & r \geq a \end{cases}$$

Koaxialkabel



Außenraum feldfrei!

Hohlzylinder



$$\vec{H}(r) = \begin{cases} 0 & r \leq b_i \\ \frac{I}{2\pi r} \cdot \frac{r^2 - b_i^2}{b_a^2 - b_i^2} e_\phi & b_i < r < b_a \\ \frac{I}{2\pi r} \vec{e}_\phi & r \geq b_a \end{cases}$$

Eindringtiefe: $d_0 = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu}}$

Transformatorgleichungen:

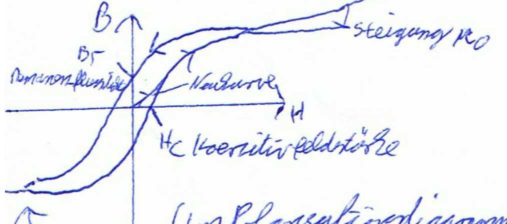
$$u_1(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2(t) = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \qquad M = L_{12} = L_{21}$$

Magnetisierung

$\vec{M} = \frac{\vec{J}}{\mu_0}$

$\mu_r = 1 + \chi_m$



(Im Polarisationsdiagramm [J] Steigung 0)

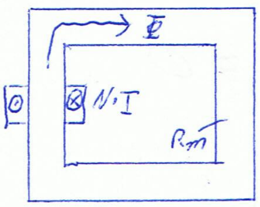
Gegeninduktivität

Φ_{Kj} — erzeugt von Spule j durchsetzt Spule K

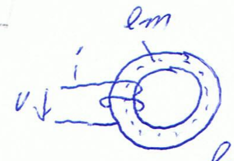
Neumannsche Formel:

$$L_{Kj} = \frac{\Phi_{Kj}}{i_j} = \frac{\mu}{4\pi} \oint_{C_K} \oint_{C_j} \frac{d\vec{s}_j \cdot d\vec{s}_K}{r_{Kj}}$$

Induktivität



$$L = \frac{N^2}{R_m}$$



$$R_m = \frac{l_m}{\mu A}$$

Spulen allg.: $L = \mu_0 N^2 \frac{A}{l}$

Serienschaltung: $C_{ges} = \sum_{r=1}^{N} L_r$

Parallelschaltung: $\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{r=1}^{N} \frac{1}{L_r}$

Biot-Savart

(Nur in kartesischen Koordinaten!)

$$\vec{A}_{m,A} = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_{V_Q} \frac{\vec{J}_Q}{r_{AQ}} dV_Q$$

$$d\vec{B}_A = \frac{\mu \cdot I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}_{AQ}}{r_{AQ}^3} \qquad d\vec{B}_A = \frac{\mu \cdot I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{e}_{AQ}}{r_{AQ}^2}$$

$$d\vec{H}_A = \frac{I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}_{AQ}}{r_{AQ}^3} \qquad d\vec{H}_A = \frac{I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{e}_{AQ}}{r_{AQ}^2}$$

$$d\vec{H}_A = \frac{1}{4\pi} \frac{\vec{J}_Q \times \vec{r}_{AQ}}{r_{AQ}^3} \qquad d\vec{H}_A = \frac{1}{4\pi} \frac{\vec{J}_Q \times \vec{e}_{AQ}}{r_{AQ}^2}$$

$$\vec{B}_A = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_{V_Q} \vec{J}_Q \times \frac{\vec{r}_{AQ}}{r_{AQ}^3} dV_Q \qquad \vec{B}_A = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_{V_Q} \vec{J}_Q \times \frac{\vec{e}_{AQ}}{r_{AQ}} dV_Q$$

$$\Phi = \iint_A \vec{B}\, d\vec{A} = \oint_C \vec{A}_m\, d\vec{s}$$

Spule:

$\Phi(t) = L \cdot i(t)$

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

verketteter Fluss: $\Psi = \sum_{r=1}^{N} \Phi_r$

$[\Psi] = Vs \qquad L = \frac{\Psi}{i}$

Feldlinien (Eine Feldlinie ist die Raumkurve, welche durchlaufen wird, wenn stets in Richtung der zugehörigen vektoriellen Größe fortgeschritten wird.)

DGLS: 3D: $\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y} = \frac{dz}{E_z}$ 2D: $\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y}$

Induktion

$\vec{E}_i = \vec{v} \times \vec{B}$ $\vec{E}_i = -\vec{E}_{stat}$ $U_i = -\dfrac{d\Phi(t)}{dt}$ $\operatorname{rot} \vec{E} = -\dfrac{\partial}{\partial t}\vec{B}$

$U_i = \oint_C \vec{E}\, d\vec{s} = -\iint_A \dfrac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t)\, d\vec{A}$ $\oint_C \vec{E}_i\, d\vec{s} = -\dfrac{d\Phi(t)}{dt}$

$\oint_C \vec{E}\, d\vec{s} = -\iint_A \dfrac{\partial}{\partial t} \vec{B}\, d\vec{A} - \oint_C \vec{B}(\vec{v} \times d\vec{s})$ $\Phi = \iint_A \operatorname{rot} \vec{A}_m\, d\vec{A}$

$\vec{E} + \dfrac{\partial \vec{A}_m}{\partial t} - (\vec{v} \times \vec{B}) = -\operatorname{grad} \varphi$ bei $\vec{v} = 0$ $\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \dfrac{\partial \vec{A}_m}{\partial t}$

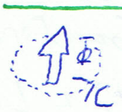
Energie

Spule: $W_m(t) = \frac{1}{2} i^2(t) L$

$dW_m = \dfrac{dW_m}{V} = H\mu\, dH = H\, dB$

$W_m = \mu \dfrac{H^2}{2} = \dfrac{B \cdot H}{2} = \dfrac{B^2}{2\mu}$

Vorzeichen



$-\dfrac{d\Phi}{dt} = \dots$ $+$ $U \uparrow\uparrow C$ $-$ $U \uparrow\downarrow C$

Maxwellsche Gleichungen

Durchflutungsgesetz: $\oint_C \vec{H}\, d\vec{s} = \iint_A \left(\vec{J} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right) d\vec{A}$ $\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Induktionsgesetz: $\oint_C \vec{E}\, d\vec{s} = -\dfrac{d}{dt} \iint_A \vec{B}\, d\vec{A}$ $\operatorname{rot} \vec{E} = -\dfrac{d\vec{B}}{dt}$

Gaußscher Satz der Elektrostatik: $\oiint_H \vec{D}\, d\vec{A} = \iiint_V \varrho_e\, dV$ $\operatorname{div} \vec{D} = \varrho_e$

Satz von der Quellenfreiheit des $\vec{B}$-Feldes: $\oiint_H \vec{B}\, d\vec{A} = 0$ $\operatorname{div} \vec{B} = 0$

Phänomenologische Materialgleichungen: $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ $\vec{B} = \mu \vec{H}$ $\vec{J} = \sigma \vec{E}$

Kontinuitätsgleichung: $\operatorname{rot} \vec{H} = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$

$$\frac{\partial \varrho_e}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{J} = 0$$