Formelsammlung NuS I

Jean Mégret

5. Februar 2019

1 Elektrostatik

Elementarladung	e	$+1.602 \cdot 10^{-19}$	As
Dielektrizitätskonst.	ε_0	$8.854 \cdot 10^{-12}$	$\frac{As}{Vm}$
Magn. Permeabilität	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\frac{Vs}{Am}$
Ruhemasse Elektron	$m_{0,e}$	$9.1094 \cdot 10^{-31}$	kg
Ruhemasse Proton	$m_{0,p}$	$1.6726 \cdot 10^{-27}$	kg
Lichtgeschwindigkeit	$c_{Vak.}$	$2.99792 \cdot 10^{8}$	$\frac{m}{s}$

1.1 Ladungsdichten

- *Linienladungsdichte:* $\lambda = \frac{dQ}{dl} = \left[\frac{As}{m}\right], Q = \int_l \lambda dl$
- *Flächenladungsdichte:* $\sigma = \frac{dQ}{dA} = \left[\frac{As}{m^2}\right], Q = \iint_A \sigma dA$
- *Raumladungsdichte:* $\rho = \frac{dQ}{dV} = \left[\frac{As}{m^3}\right], Q = \iiint_V \rho dV$

1.2 Grundlagern

- **Coulomb Kraft:** $\vec{F_c} = q \cdot \vec{E}$
- **E-Feld einer Punktladung:** $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} \cdot \vec{e_r} \quad [\frac{V}{m}]$
- **Kraft mehre. zweier Ladungen:** $\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{e_r} \quad [N]$
- **E-Feld Punktldgn:** $\vec{E}(\vec{r_p}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \sum_k \frac{Q_k}{|\vec{r_p}-\vec{r_k}|^2}\frac{\vec{r_p}-\vec{r_k}}{|\vec{r_p}-\vec{r_k}|}$
- **E-Feld ∞-langer Leiter:** $E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda}{r_\perp}$
- **Spannung, Innen-/Aussenleiter:** $\vec{E}(\rho) = \frac{Q}{2\pi\varepsilon l}\frac{1}{\rho}\vec{e_\rho}$
  $U = \int_{r_1}^{r_2} \vec{E}(\rho)d\vec{\rho} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Q}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot l}\frac{1}{\rho}d\rho = \frac{Q}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot l}\ln\left|\frac{r_2}{r_1}\right|$
- **Elektr. Flussdichte** $\vec{D}(\vec{r}) = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \vec{E}(\vec{r}) = \varepsilon \cdot \vec{E}(\vec{r}) \quad [\frac{As}{m^2}]$

1.2.1 Arbeit & Potential (1-33)

$W_{P_1 \to P_2} = -\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{s}$ weg-unabhängig

$W_e = -Q\int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = Q(\varphi(P_2) - \varphi(P_1)) = -U_{12}Q$

$\to [W] = Ws = J, [P] = \frac{J}{s} = W$

Potential:
Oftmals $P_{ref} = \infty$

$\varphi(P_1) = \frac{W(P_{ref} \to P_1)}{Q_1} = -\int_{P_{ref}}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad [V]$

1.2.2 Spannung

$U_{12} = \varphi(P_1) - \varphi(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{W_{12}}{Q}\ (\int_{tiefpot}^{hohrenpot})$

1.3 Das Gauss'sche Gesetz (1-45)

$$\Psi = \oiint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \iiint_{V_A} \rho \cdot dV = Q_{eff} \to Q_{eff} = D \cdot A_{eff}$$

E-Feldlinien von idealen Leitern, stehen senkrecht auf der Oberfläche.

1.4 Kondensator (1-61)

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\oiint_A \vec{D} \cdot d\vec{A}}{\int_s \vec{E} \cdot d\vec{s}} = \frac{\oiint_A \sigma dA}{\int_s \vec{E} \cdot d\vec{s}} \quad [F] = [\frac{As}{V}]$$

Einfache Kondensatorentladung: $U = U_0 e^{\frac{-t}{RC}}$

- **Plattenkondensator:**
  $E = \frac{D}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Q}{\varepsilon A}, \quad U = Ed \to C = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon A}{d}$

  Das Feld einer Platte ist $E/2$
- **Kugel(schalen)kondensator: (1-62)(1-73)**
  $U_{ab} = \int_{r_i}^{r_a} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\int_{r_i}^{r_a}\frac{1}{r^2}dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\frac{r_a - r_i}{r_a r_i} = \frac{Q}{C} \to C = 4\pi\varepsilon\frac{r_i r_a}{r_a - r_i}$
- **Vielschichtenkondensator aus n Platten:**
  $C_{ges} = (2n-1)C$
- **Zylinderkondensator**
  $C = \frac{Q}{\int_{R1}^{R2}\frac{Q}{2\pi l\varepsilon r dr}} = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln\frac{R_2}{R_1}}$

  Für unendlich dünne Platten: $D = \sigma/2$

1.5 Energie im E-Feld (1-70)(1-72)

$$W_e = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2 = \iiint_V \frac{1}{2}\vec{E} \cdot \vec{D}dV$$

2 Elektr., stationäres Strömungsfeld

2.1 Strom

$I = \frac{dQ}{dt} = \iint_A \vec{J} \cdot d\vec{A} \simeq \pm J \cdot A, \quad [I] = A, \quad J = \frac{dI}{dA}, \quad [J] = \frac{A}{m^2}$

Stat. Strömungsfeld, wenn I konst.: $\oiint_A \vec{J} \cdot d\vec{A} = 0$ (1-86)

- **Spezifische Leitfähigkeit:**
  Driftgeschw. $\vec{v}_{Drift} = -\mu_e\vec{E}$ wobei μ_e = "Beweglichkeit"
  $\vec{J} = \vec{V}_{Drift}\rho = \vec{v}nq = \underbrace{-\rho\mu_e}_{\kappa}\vec{E},$
  $\kappa = (\mu_- q_- + \mu_+ q_+)$ =spez.Leitf., $[\kappa] = \frac{A}{Vm} = \frac{1}{\Omega m}$
- **Spez. Widerstand:** $\rho_R = \frac{1}{\kappa}, \ [\rho_R] = \Omega m = \frac{Vm}{A} = \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot 10^6$
- **Temperaturabhängigkeit:**
  $\rho_R(T) = \rho_{R,20°C}(1 + \alpha(T - 20°C))$
  $R(T) = R_{20°C}(1 + \alpha\Delta T)$
- **Ohmsches Gesetzt:** $\boxed{U = R \cdot I}$, $[R] = \frac{V}{A} = \Omega$
  $\vec{J} = \kappa\vec{E}, \quad R = \frac{U}{I} = \frac{l}{\kappa A} = \frac{\rho_R l}{A} = \frac{\int_S \vec{E} \cdot d\vec{s}}{\kappa \iint_A \vec{E} \cdot d\vec{A}}$
- **Leitwert:** $\boxed{G = \frac{1}{R}}$ $[G] = \frac{A}{V} = S$ (Siemens)
- **Faraday'sche Gesetz:** $m = \frac{A_r u}{ze}Q = \frac{A_r u}{ze}It = \frac{A_r It}{z \cdot 96.47}\frac{mg}{As}$

2.2 Sprungstellen bei Materialübergängen (1-99)

- *Normalkomponenten.:* $\boxed{J_{n1} = J_{n2}}$, $\boxed{\kappa_1 E_{n1} = \kappa_2 E_{n2}}$

  Die Normalkomponente der Stromdichte ist stetig.
- *Tangentialkomp.:* $\boxed{E_{t1} = E_{t2}}$, $\boxed{\frac{J_{t1}}{J_{t2}} = \frac{\kappa_1}{\kappa_2} = \frac{tan(\alpha_1)}{tan(\alpha_2)}}$

  α_i = Winkel zur Flächennormale, Die Tangentialkomponente des E-Feldes ist stetig.

2.3 Energie und Leistung (1-102)

$W_e = \int_0^t P(\tau)d\tau$ und $P(t) = \frac{dW_e}{dt}$

$P = UI = I^2R = U^2/R$

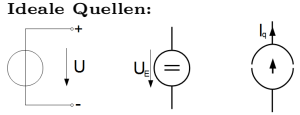
Verlustleistungsdichte: $p_V = \frac{dP}{dV} = \vec{E} \cdot \vec{J}$

$P = \iiint_V p_V dV = \iiint_V \vec{E} \cdot \vec{J}dV$

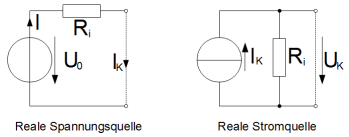
3 DC-Netzwerke

3.1 Spannungs- und Stromquellen

- **Ideale Quellen:**



- **Reale Stromquelle** Leerlaufspannung: $U_0 = R_i \cdot I_0$
- **Reale Spannungsquelle** Kurzschlussstrom: $I_K = \frac{U_0}{R_i}$



Umwandlung: $_{[U-Quelle]}\ U_0 = R_i \cdot I_0\ _{[I-Quelle]}$

- **Kirchhoff'sche Maschenregel:** $\sum_{Masche} U_k = 0$
- **Kirchhoff'sche Knotenregel:** $\sum_{Knoten} I_k = 0$
- **Leistungsanpassung**
  Die Leistung wird maximiert, wenn gilt: $\boxed{R_L = R_i}$

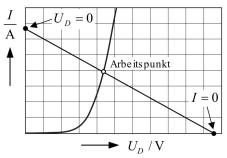
Wechselwirkung Quelle $\Leftrightarrow$ Verbraucher

- Gleichmässige Energieabgabe ist nur bei identischen Quellen möglich.
- Leistungsabgabe von zusammengeschalteten Spannungsquellen ist unterschiedlich, wenn sie über versch. R_i oder U_L verfügen.
- Quellen können zu *Verbrauchern* werden.

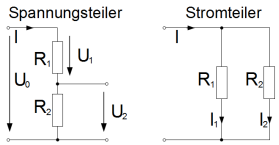
3.2 Einfache Netzwerkberechnungen

[R] Seriell:	$R_{ges} = \sum_{k=1}^{n} R_k$	
[R] Parallel:	$\frac{1}{R_{ges}} = \sum_{k=1}^{n}\frac{1}{R_k}$	$n = 2 \to R_{ges} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
[C] Seriell:	$\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{k=1}^{n}\frac{1}{C_k}$	$n = 2 \to C_{ges} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$
[C] Parallel:	$C_{ges} = \sum_{k=1}^{n} C_k$	
[L] Seriell:	$L_{ges} = \sum_{k=1}^{n} L_k$	
[L] Parallel:	$\frac{1}{L_{ges}} = \sum_{k=1}^{n}\frac{1}{L_k}$	$n = 2 \to L_{ges} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

3.3 Diode Kennlinie



3.4 Spannungs-/Stromteiler



$U_2 = U\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ $\quad I_2 = I\frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Belasteter Spannungsteiler:

$$R_2' = \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L} \to \frac{U_2}{U} = \frac{R_2'}{R_1 + R_2'} = \frac{R_2 R_L}{R_1(R_2 + R_L) + R_2 R_L}$$

3.5 Wirkungsgrad

$\eta = \frac{P_L}{P_{ges}} \cdot 100\% = \frac{I^2 R_L}{I^2(R_i + R_L)} \cdot 100\% = \frac{R_L/R_i}{1 + R_L/R_i} \cdot 100\%$

Umgeformt (1-140): $\eta = \left(1 - \frac{I}{I_{max}}\right) \cdot 100\%$

Bei der Leistungsanpassung beträgt der Wirkungsgrad 50%.

3.6 Widerstandsmessung (1-131)

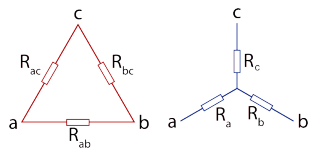
- **Mit korrekter Spannungsmessung:**
  $R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - U_V/R_V} = \frac{U_V R_V}{I_A R_V - U_V}$
- **Mit korrekter Strommessung:**
  $R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V - R_A I_A}{I_A}$

3.7 Superpositionsprinzip

Für jede Quelle das Netzwerk analysieren, die Anderen ausschalten, Resultate addieren.

- Spannungsquellen $\to$ Kurzschliessen (schliessen)
- Stromquellen $\to$ Leerlauf (offen lassen)

3.8 Stern-Dreieck-Transformation



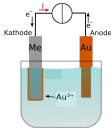
$\underline{R}_{AB} = \frac{\underline{R}_A\underline{R}_B + \underline{R}_B\underline{R}_C + \underline{R}_A\underline{R}_C}{\underline{R}_C}$ $\quad \underline{R}_A = \frac{\underline{R}_{AC}\underline{R}_{AB}}{\underline{R}_{AC} + \underline{R}_{AB} + \underline{R}_{BC}}$

$\underline{R}_{AC} = \frac{\underline{R}_A\underline{R}_B + \underline{R}_B\underline{R}_C + \underline{R}_A\underline{R}_C}{\underline{R}_B}$ $\quad \underline{R}_B = \frac{\underline{R}_{AB}\underline{R}_{BC}}{\underline{R}_{AC} + \underline{R}_{AB} + \underline{R}_{BC}}$

$\underline{R}_{BC} = \frac{\underline{R}_A\underline{R}_B + \underline{R}_B\underline{R}_C + \underline{R}_A\underline{R}_C}{\underline{R}_A}$ $\quad \underline{R}_C = \frac{\underline{R}_{AC}\underline{R}_{BC}}{\underline{R}_{AC} + \underline{R}_{AB} + \underline{R}_{BC}}$

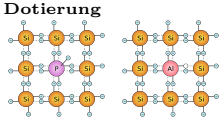
Falls die Widersätnde gleich sind, gilt: $R_{Dreieck} = 3R_{Stern}$

Galvanisierung



$N_{Au} = \#$ *Goldionen*
z = *chemische Wertigkeit*
e = *Elementarladung*
$Q = z \cdot e \cdot N_{Au}$
$I = \frac{Q}{t} = \frac{z \cdot e \cdot N_{Au}}{t}, \quad J = \frac{I}{A}, \quad t = \frac{z \cdot e \cdot N_{Au}}{I}$
t := Zeit, bis Goldio. an Metall angelagert

Dotierung

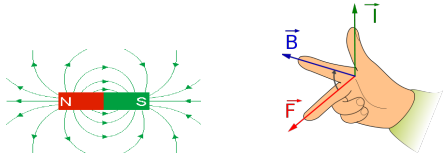


N-Dotierung *P-Dotierung*

N-Dot: mehr Valenz-/freie Elektronen desto höhere Leitfähigkeit, Donator
$\vec{J} = n \cdot q \cdot \vec{v_s}$
n = *Dotierungsdichte (wieviel Ato/cm^3)*
$q = \pm e$ *(+ bei P, - bei Al)*
$\vec{v_s}$ = *Geschw. der Ladungsträger*

4 Magnetostatik

- **Magnetfeld:** Feldlinien von N nach S (innen S → N) Magnetfelder sind immer geschlossen.



- *Mag. Flussdichte eines Leiters:* $\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{\rho}$, $[T] = [\frac{Vs}{m^2}]$
  ρ Abstand zum Leiter
- *Mag. Feldstärke eines Leiters:* $\vec{H} = \frac{1}{\mu_0}\vec{B} = \frac{I}{2\pi}\frac{1}{\rho}\cdot\vec{e}_\varphi$, $[H] = \frac{A}{m}$
- *Lorenzkraft (1-180):* $\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B} = I\vec{l}\times\vec{B}$
- *F auf Ladung (1-183):* $\vec{F}_L = Q\cdot\vec{v}\times\vec{B}$ $\quad \vec{F} = Q\cdot(\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B})$

Analogie: Elektrisch, Magnetisch (1-209)

Grösse	Elektrisch	Magnetisch
Leitfähigkeit	κ	μ
Widerstand	$R = \frac{1}{\kappa\cdot A}$	$R_m = \frac{1}{\mu\cdot A}$
Spannung	$U_{12} = \int_{P_1}^{P_2}\vec{E}\cdot d\vec{s}$	$V_{m12} = \int_{P_1}^{P_2}\vec{H}\cdot d\vec{s}$ $= R_{m12}\cdot\Phi_{12}$
Strom/Fluss	$I = \iint_A \vec{J}\cdot d\vec{A}$ $= \iint_A \vec{E}\cdot d\vec{A}$	$\Phi = \iint_A \vec{B}\cdot d\vec{A}$ $= \mu\iint_A \vec{H}\cdot d\vec{A}$
Ohm. Gesetzt	$U = R\cdot I$	$V_m = R_m\cdot\Phi$
Maschengl.	$U_0 = \sum_{Masche} U_M$	$\Theta = \sum_{Masche} V_m$
Knotengl.	$\sum_{Knoten} I = 0$	$\sum_{Knoten}\Phi = 0$

Feldgrössen	Elektrisch	Magnetisch
Intensität/Wirkung(Kraft)	$\vec{E}$	$\vec{B} = \mu\vec{H}$
Quantität/Ursache(Ladung)	$\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$	$\vec{H}$

4.1 Oersted'sches Gesetz (Durchfl.satz)(1-187)

$$N\cdot I = I_{eff} = \iint_A \vec{J}\cdot d\vec{A} = \Theta = \oint_{\partial A}\vec{H}\cdot d\vec{s} = \sum_k H_k l_k$$

Θ Durchflutung, N Windungszahl
Prinzip gilt insbesondere für $N = 1$, sprich Einzelne Leiter

4.2 Verschiedene magnetische Komponenten

- **∞-langer Leiter (1-189):**
  $\vec{H}(\rho) = \vec{e}_\varphi\cdot\frac{I}{2\pi}\begin{cases}\rho/R^2 & \rho\le R\\ 1/\rho & \rho\ge R\end{cases}$
- **Toroidspule (1-190):**
  $NI = \Theta = \int_0^{2\pi}\vec{e}_\varphi H_\varphi\rho d\varphi = 2\pi\rho H_\varphi(\rho) \to \vec{H} = \frac{NI}{2\pi\rho}\vec{e}_\varphi$
- **Reluktanzmodell:** $H = \frac{NI}{l}\vec{e}_x$

4.3 Reluktanzmodell (1-206)

- **Magn. Spannung:** $V_m = \int_{P_1}^{P_2}\vec{H}\cdot d\vec{s} = \Theta = NI$ $\quad [\Theta] = A$
- **Magn. Strom:** $\Phi = \iint_A \vec{B}\cdot d\vec{A}$, $\quad [\Phi] = Vs = Wb$ (Weber)
- **Magn. Widerstand:** $R_m = \frac{l}{\mu A}$, $\quad [R_m] = \frac{1}{H} = \frac{A}{Vs}$
- **Magnetische spezifische Leitfähigkeit:** μ
- **Magnetischer Leitwert:** $\Lambda_m = \frac{1}{R_m}$, $\quad [\Lambda_m] = \frac{Vs}{A}$
- **Ohm'sches Gesetz:** $V_m = R_m\Phi$, $\quad [V_m] = A$

4.4 Magnetische Polarisation(1-199)

Magnetische Polarisation: $\vec{J}_m = \mu_0\mu_r\vec{H} - \mu_0\vec{H}$
Magnetisierung: $\vec{M} = \mu_r\vec{H} - \vec{H}$
Diamagnetismus: Materialien, die das B-Feld schwächen, $\mu_r < 1$
Paramagnetismus: Materialien, die das B-Feld leicht stärken, $\mu_r > 1$
Ferromagnetismus: Nebenan die Hysteresekurve eines Ferrit Materials *Remanenz:* oberer Schnittpunkt mit y-Achse, $\mu_r >> 1$, μ_r nicht konstant
Dauermagnete: Ferromagnetische Stoffe im Remanenzzustand.

4.5 Sprungstellen bei Materialübergängen (1-205)

- *Normalkomponenten:* $B_{n1} = B_{n2}$, $\frac{H_{n1}}{H_{n2}} = \frac{\tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_1)}$
- *Tangentialkomp.:* $H_{t1} = H_{t2}$, $\frac{B_{t1}}{B_{t2}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\tan(\alpha_1)}{\tan(\alpha_2)}$

4.6 Induktivität (1-211)

$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = \frac{N^2}{R_m}$, $\quad [L] = \frac{Vs}{A} = H$ (Henry)

- **A_L-Wert:** $L = N^2 A_L = N^2\Lambda_m$, $\quad A_L = \Lambda_m = \frac{1}{R_m} = [nH]$
- **Generell:** $L\cdot I = N\cdot\oiint\vec{B}\cdot d\vec{A} \simeq NB\cdot A$
- **Toroidspule:** $L = \frac{\Phi}{I} = \frac{N\Phi_A}{I} = N^2\frac{\mu H}{2\pi}\ln\left(\frac{r_{aussen}}{r_{innen}}\right) = \mu\cdot\frac{A\cdot N^2}{l}$
- **Luftspalt:** $L = N^2\frac{\mu_0\mu_{rel}A}{l_m\mu_{rel}d} \approx N^2\frac{\mu_0 A}{d}$ $\quad d$ Spaltgrösse
- **Kraft Magnetfeld:** $F_A = \frac{B^2}{2\mu_0}A$

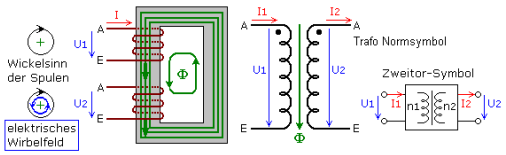
4.7 Induktion und Selbstinduktion(1-249)

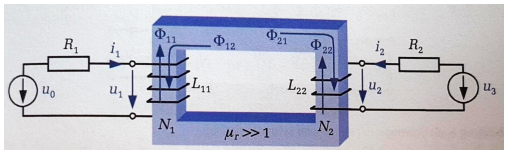
- **Induktionsgesetz:** $(u =)\oint_s\vec{E}\cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}\iint_A\vec{B}\cdot d\vec{A}$
  Fluss gemäss rechte Hand Regel durch Kontur s zählen
  Für N windungen: $u = -N\frac{d\Phi}{dt}$
- **Selbstinduktion:** $u_L(t) = L\frac{di_L}{dt}$ (vgl. $i_C = C\frac{du_C}{dt}$)
- **Energie:** $W_m = W_L = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\Phi I = \iiint_V\frac{1}{2}\vec{B}\cdot\vec{H}dV$

4.8 Bewegungsinduktion

- **Spannung über Spule:** Wenn sich die Spule bewegt, gilt nach dem Induktionsgesetz: $U_s = N\cdot\frac{d\Phi}{dt}$
  Dies vereinfacht sich zu: $U_s = l_s\cdot B\cdot v$ mit l_s: Leiterlänge im B-Feld, v: Geschwindigkeit mit der sich die Spule über den Kern bewegt.
- **Induziertes E-Feld** $\vec{E}_i = \vec{v}\times\vec{B} \to u_{ind} = \int_{l(t)}\vec{E}_i\cdot d\vec{s}$
  $\to u_{ind} \simeq l_{eff}(t)\cdot B\cdot v$,
  $l_{eff}(t)$ Länge des Leiters im Magnetfeld wo $\vec{v}\perp\vec{B}$
- **Veränderliche Fläche** $u_{ind} \simeq \pm B\cdot\frac{d}{dt}(A(t))$

4.9 Transformatoren





Index ϕ_{21} 2=Durchsetze Spule 1=Erregende Spule

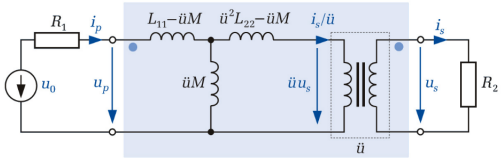
Gegeninduktivität $L_{12} = N_1\cdot\frac{\phi_{12}}{i_2} \simeq L_{21} = M$

Selbstinduktivität $L_{11} = N_1\cdot\frac{\phi_1}{i_1} \simeq {N_1}^2\mu\cdot\frac{A}{l} = \frac{N_1^2}{R_m}$

Spannungskoppelung

$$\begin{cases} u_1 = L_{11}\frac{d}{dt}i_1 - M\frac{d}{dt}i_2 \\ u_2 = L_{22}\frac{d}{dt}i_2 - M\frac{d}{dt}i_1\end{cases} \to \begin{cases} u_1 = [L_{11}-M]\frac{d}{dt}i_1 - M\frac{d}{dt}(i_2-i_1) \\ u_2 = [L_{22}-M]\frac{d}{dt}i_2 - M\frac{d}{dt}(i_1-i_2)\end{cases}$$

Ersatzschaltbild

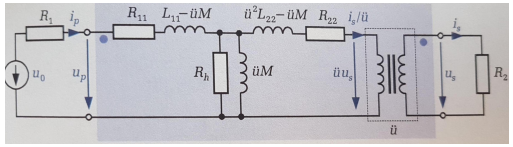


Koppelfaktor $k_{21} = \frac{\phi_{21}}{\phi_{11}}, k_{12} = \frac{\phi_{12}}{\phi_{22}} \to k = \frac{M}{\sqrt{L_{11}L_{22}}}$

Übersetzungsverhältniss $\pm\ddot{u} = \frac{u_p}{u_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{i_s}{i_p}$

$+$ Falls ϕ_1 und ϕ_2 entgegengesetzt fliessen, sonst $-$

4.10 nicht-idealer Übertrager



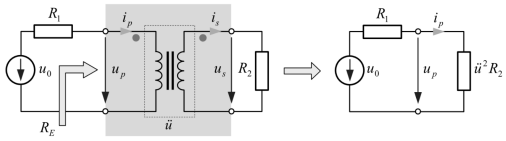
1. Kupfermaterial in den Windungen: R_{11}, R_{22}
2. Reluktanzverlust ($\mu_r \neq \infty$): $\ddot{u}M$
3. Streuung: Streuinduktivitäten, L_{s1}, L_{s2}

Vereinfachende Annahmen:

- **Verlustfrei:** $R_{11} = R_{22} = 0$ $\qquad R_h = \infty$
- **Streufrei:** $L_{11} - \ddot{u}M = 0$ $\qquad \ddot{u}^2L_{22} - \ddot{u}M = 0$
- **Kern ideal:** $R_m = \infty$ $\qquad \ddot{u}M = 0$

Koppelfaktor: $k = \frac{M}{\sqrt{L_{11}L_{22}}}$

Widerstandstransformation
R_L hinter Transformator $\Rightarrow R_L = \frac{u_p}{i_p} = \ddot{u}u_s\cdot\frac{\ddot{u}}{i_s} = \ddot{u}^2\cdot R$ ohne Transformator



5 Allgemeines

Absoluter Fehler: $F = \Delta x = |x_{ist} - x_{messs}|$
Relativer Fehler: $F_{rel} = \frac{\Delta x}{x_{ist}}\cdot 100\%$

Skalarprodukt: $\vec{a}\cdot\vec{b} = ab\,\vec{e}_a\cdot\vec{e}_b = ab\cos\alpha$

Vektorprodukt: $|\vec{a}\times\vec{b}| = ab\sin\alpha$
Newton: $\vec{F} = m\vec{a}$
Kugel: $V = \frac{4}{3}\pi r^3, A = 4\pi r^2$

Kreis: $A = \pi r^2, U = 2\pi r$, Kurve: $l = \alpha r$
Auftriebskraft $= Fa = \rho_{Luft}Vg$
Karth. Koordinaten: $\vec{e}_\varphi = \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}}(-y\vec{e}_x + x\vec{e}_y)$

	Einheit	Bedeutung
$\vec{B}$	Vs/m^2	Magnetische Flussdichte
C	$As/V = F$	Kapazität
$\vec{D}$	As/m^2	Elektr. Flussdichte, el. Erregung
$\vec{E}$	V/m	Elektrische Feldstärke
G	$1/\Omega = A/V$	Elektr. Leitwert
$\vec{H}$	A/m	Magn. Feldstärke
I	A	Gleichstrom
I_K	A	Kurzschlussstrom
i	A	Zeitabhängiger Strom
$\vec{J}$	A/m^2	(räuml. vert.) Stromdichte
$\vec{J}$	Vs/m^2	Magn. Polarisation
$\vec{J}$	Vsm	Magn. Dipolmoment
k		Koppelfaktor
L	Vs/A	Induktivität
$\vec{M}$	A/m	Magnetisierung
$\vec{m}$	Am^2	Magnetisches Moment
N		Windungszahl
P	$VA = W$	Leistung
$\vec{P}$	As/m^2	Dielektr. Polarisation
$\vec{p}$	Asm	Elektr. Dipolmoment
Q	$As = C$	Ladung, Punktladung
R	$V/A = \Omega$	Ohmscher Widerstand
R_m	A/Vs	Magn. Widerstand
U	V	Gleichspannung
u	V	Zeitlich veränderliche Spannung
ü		Übersetzungsverhältnis
V_m	A	Magnetische Spannung
W	$VAs = J$	Energie
w	WAs/m^3	Energiedichte
Φ	Vs	Magnetischer Fluss
Λ_m	Vs/A	Magnetischer Leitwert
Θ	A	Durchflutung
Ψ	As	Elektr. Fluss
χ		Dielekt. & magn. Suszeptibilität
ε	As/Vm	Dielektrizitätskonstante
ε_r		Dielektrizitätszahl
φ		Phasenwinkel
φ_e	V	Elektrostatisches Potential
η		Wirkungsgrad
κ	A/Vm	Spezifische Leitfähigkeit
λ	As/m	Linienladungsdichte
μ	Vs/Am	Permeabilität
μ_e	m^2/Vs	Beweglichkeit der Ladungsträger
ρ	As/m^3	Raumladungsdichte
ρ_R	Vm/A	Spezifischer Widerstand
σ	As/m^2	Flächenladung
ω	$1/s\cdot 2\pi$	Kreisfrequenz

	Name	Wert		Name	Wert
T	*Tera*	10^{12}	p	*Piko*	10^{-12}
G	*Giga*	10^9	n	*nano*	10^{-9}
M	*Mega*	10^6	μ	*Mikro*	10^{-6}
k	*Kilo*	10^3	m	*Mili*	10^{-3}
h	*Hekto*	10^2	c	*Zenti*	10^{-2}
da	*Deka*	10^1	d	*Dezi*	10^{-1}