

1 Grundbegriffe

Elektron, der kleinste Ladungsträger

e_0 Elementarladung, kleinste Ladungsmenge in As $e_0 = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{As}$

Spannung

U elektrische Spannung in V
 Q elektrische Ladung in As
 W elektrische Arbeit in Js oder J $U = \frac{W}{Q}$

Stromstärke, definiert als Änderung der Ladungsmenge in der Zeit

I Stromstärke in A
 dQ Ladungsmenge in As
 dt Zeitdifferenz $I = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q}$

Stromdichte

S Stromdichte in A/mm²
 I Stromstärke in A
 A Querschnittsfläche in mm² $S = \frac{I}{A}$

Ohmsches Gesetz

R Widerstand in Ω (Ohm)
 U Spannung in V
 I Stromstärke in A $R = \frac{U}{I}$

Leitwert

G Leitwert in S (Siemens)
 R Widerstand in Ω (Ohm) $G = \frac{1}{R}$

Widerstand eines Drahtes

R Widerstand in Ω (Ohm)
 ρ spezifischer Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
 l Länge in m
 A Querschnitt in mm²
 κ Leitfähigkeit in S/m $R = \frac{\rho l}{A} = \frac{l}{\kappa A} \quad \kappa = \frac{1}{\rho}$

Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen

ϑ aktuelle Temperatur in $^{\circ}\text{C}$
 ϑ_0 Bezugstemperatur, meistens 20°C
 R_{ϑ} Widerstand bei der Temperatur ϑ in Ω
 R_{ϑ_0} Widerstand bei der Bezugstemperatur in Ω
 α Temperaturkoeffizient, in $1/\text{K}$ $R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0} [1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0)]$

2 Der Gleichstromkreis

2.1 Kirchhoffsche Gesetze

Knotenregel oder

1. Kirchhoffsches Gesetz

In den Knoten fließende Ströme werden positiv, herausfließende Ströme negativ gerechnet.

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Maschenregel oder

2. Kirchhoffsches Gesetz

Spannungspfeile, die im Umlaufsinn gerichtet sind, werden positiv, die gegen den Umlaufsinn gerichteten negativ gerechnet.

$$U - U_4 - U_3 - U_1 = 0$$

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0$$

Elektrotechnik

Der Gleichstromkreis

2.2 Schaltung von Widerständen

Reihen-Schaltung, Serien-Schaltung

$$R_K \quad \text{Einzelwiderstände in } \Omega$$

$$R_{\text{ges}} \quad \text{Ersatzwiderstand der Schaltung in } \Omega \quad R_{\text{ges}} = \sum_{k=1}^n R_k$$

Parallel-Schaltung

$$R_k \quad \text{Einzelwiderstände in } \Omega$$

$$R_{\text{ges}} \quad \text{Ersatzwiderstand der Schaltung in } \Omega \quad \frac{1}{R_{\text{ges}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

$$G_k \quad \text{Einzel-Leitwerte in S}$$

$$G_{\text{ges}} \quad \text{Ersatz-Leitwert der Schaltung in S} \quad G_{\text{ges}} = \sum_{k=1}^n G_k$$

Stern-Dreieck-Umwandlung

$$R_i \quad \text{Stern-Widerstände}$$

$$R_{ij} \quad \text{Dreieckswiderstände}$$

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}$$

Dreieck-Stern-Umwandlung

$$R_i \quad \text{Stern-Widerstände}$$

$$R_{ij} \quad \text{Dreieckswiderstände Dreiecksschaltung}$$

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{31} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Erweiterung des Messbereichs. Bei Spannungsmessgeräten wird ein Vorwiderstand, bei Strommessgeräten ein Nebenwiderstand geschaltet.

$$R_M \quad \text{Widerstand des Messgerätes}$$

$$n \quad \text{Messbereichsverhältnis}$$

$$U_M \quad \text{maximale Spannung am Spannungsmessgerät}$$

$$I_M \quad \text{maximale Spannung am Strommessgerät}$$

$$U_1 \quad \text{zu messende maximale Spannung}$$

$$I_1 \quad \text{zu messender maximaler Strom}$$

$$R_N \quad \text{Nebenwiderstand für das Strommessgerät}$$

$$R_V \quad \text{Vorwiderstand für das Spannungsmessgerät}$$

$$n = \frac{U_1}{U_M}$$

$$R_V = R_M(n - 1)$$

$$n = \frac{I_1}{I_M} \quad R_N = \frac{R_M}{n - 1}$$

Spannungsquelle

$$R_i \quad \text{Innenwiderstand der Spannungsquelle}$$

$$R_a \quad \text{Widerstand eines Verbrauchers}$$

$$U_q \quad \text{Quellspannung}$$

$$U_k \quad \text{Klemmspannung}$$

$$I_K \quad \text{Kurzschlussstrom}$$

$$U_K = U_q - I R_i$$

$$U_K = I R_a$$

$$I_K = \frac{U_q}{R_i} \quad R_i = -\frac{dU}{dI}$$

Kombination von zwei Spannungsquellen, Reihenschaltung

$$U_q \quad \text{Quellspannung der Kombination}$$

$$U_1, U_2 \quad \text{Quellspannungen der einzelnen Quellen}$$

$$R_1, R_2 \quad \text{Innenwiderstände der einzelnen Quellen}$$

$$U_q = U_1 + U_2$$

$$R_i = R_1 + R_2$$

$$I_K = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_q}{R_i}$$

Parallelschaltung von zwei Spannungsquellen

I_K Kurzschlussstrom
 R_i Innenwiderstand der Kombination

$$U_q = \frac{U_1 R_2 + U_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

$$I_K = \frac{U_1 R_2 + U_2 R_1}{R_1 \cdot R_2}$$

$$R_i = \frac{U_q}{I_K} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

2.3 Energie, Leistung, Wirkungsgrad

Fließt durch einen Widerstand ein Strom, so wird am Widerstand Energie und Leistung umgesetzt.

U Spannung am Widerstand in V
 I Strom durch den Widerstand in A
 t Zeit, in der der Strom fließt in s
 W elektrische Energie, die am Widerstand umgewandelt wird, in Ws
 P elektrische Leistung, die am Widerstand verbraucht wird, in W

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = R \cdot I^2$$

Leistungsanpassung

Ein Verbraucher nimmt maximale Leistung auf, wenn der Innenwiderstand der Spannungsquelle und der Verbraucherwiderstand gleich sind.

$$R_a = R_i$$

Wirkungsgrad

W_N Nutzenergie in Ws
 W_{zu} zugeführte Energie in Ws
 P_N Nutzleistung in W
 P_{zu} zugeführte Leistung in W
 P_V Verlustleistung in W
 η Wirkungsgrad, oft in Prozent angegeben

$$\eta = \frac{W_N}{W_{zu}} = \frac{P_N}{P_{zu}} \leq 100\%$$

$$P_V = P_{zu} - P_N$$

3 Das Elektrische Feld

3.1 Grundgrößen

Elektrische Feldkonstante, dieser Wert gilt im Vakuum

ϵ_0 elektrische Feldkonstante in As/Vm

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

Coulombsches Gesetz, Kräfte zwischen zwei Ladungen

q_1 Ladung 1 in As
 q_2 Ladung 2 in As
 r_{12} Abstand zwischen den Ladungen
 F_{12} Betrag der Kraft zwischen den Ladungen in N

$$F_{12} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

Elektrische Feldstärke

q Probeladung in As
 \vec{F} Kraft auf die Probeladung qN
 \vec{E} elektrische Feldstärke in V/m

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

Potenzial im Punkt B, definiert als Linienintegral von einem Punkt mit Feldstärke $E = 0$, also im ∞

\vec{E} elektrische Feldstärke in V/m
 s Weg der Integration
 B Endpunkt der Integration
 φ Potenzial in V

$$\varphi_B = - \int_{\infty}^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Elektrotechnik

Das Elektrische Feld

Potenzial einer Punktladung, Elektrisches Feld einer Punktladung

Q Punktladung in As
 r Abstand von der Punktladung in m

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Spannung, Potenzial-Differenz zwischen zwei Punkten

φ Potenzial in V
 \vec{E} elektrische Feldstärke in V/m
 U Spannung in V

$$U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A$$

$$U_{AB} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Elektrischer Fluss, elektrische Flussdichte

ϵ_0 elektrische Feldkonstante in As/Vm
 r Abstand von der Ladung in m
 E Betrag der Feldstärke in V/m
 ψ elektrischer Fluss in As
 D elektrische Flussdichte in As/m²

$$\Psi = 4\pi\epsilon_0 r^2 E$$

$$\psi = \oint \vec{D} d\vec{A} = \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$D = \epsilon_0 E$$

Elektrische Flussdichte in einem Dielektrikum

ϵ_0 elektrische Feldkonstante in As/Vm
 ϵ_r Permittivitätszahl (Materialkonstante) des Dielektrikums
 E Betrag der Feldstärke in V/m
 D elektrische Flussdichte in As/m²

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

3.2 Kondensatoren

3.2.1 Kapazität

Kapazität eines Kondensators

Q im Kondensator gespeicherte Ladung in As
 U Spannung am Kondensator in V
 C Kapazität in F (Farad)

$$C = \frac{Q}{U}$$

Energie im Kondensator

Q im Kondensator gespeicherte Ladung in As
 U Spannung am Kondensator in V
 C Kapazität in F (Farad)
 W Energie in Js

$$W = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2$$

Spezielle Kondensatoren

ϵ_0 elektrische Feldkonstante in As/Vm
 ϵ_r Permittivitätszahl des Materials im Kondensator
 C Kapazität in F (Farad)

Plattenkondensator A Fläche einer Platte in m²
 d Abstand der Platten in m

$$C_{PI} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Blockkondensator n Anzahl der Platten
 A Fläche einer Platte in m²
 d Abstand der Platten in m

$$C_{Block} = (n-1) \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Kugelkondensator r_1 Innenradius
 r_2 Außenradius

$$C_K = 4\pi\epsilon_0 \epsilon_r \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

Zylinderkondensator, Beispiel Koaxialkabel L Länge in m
 r_1 Innenradius
 r_2 Außenradius

$$C_Z = 2\pi\epsilon_0 \epsilon_r \frac{L}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

3.2.2 Schaltungen mit Kondensatoren

Reihenschaltung

C_{ges} Gesamtkapazität der Schaltung
 C_i einzelne Kapazitäten

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

Parallelschaltung

C_{ges} Gesamtkapazität der Schaltung
 C_i einzelne Kapazitäten

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

Laden eines Kondensators über einen Vorwiderstand

R Vorwiderstand in Ω
 C Kapazität in F
 t Ladezeit in s
 U angelegte Spannung in V
 u_C Spannung am Kondensator in V
 i Ladestrom in A
 τ Zeitkonstante in s

$$u_C = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$i = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

Entladen eines Kondensators

R Parallelwiderstand in Ω
 C Kapazität in F
 t Entladezeit in s
 U Ausgangsspannung am Kondensator in V
 u_C momentane Spannung am Kondensator in V
 i Entladestrom in A, entgegengesetztes Vorzeichen zum Ladestrom
 τ Zeitkonstante in s

$$u_C = U e^{-\frac{t}{RC}} = U e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$i = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

4 Das Magnetische Feld

4.1 Grundgrößen

Magnetische Feldkonstante, dieser Wert gilt im Vakuum

μ_0 magnetische Feldkonstante in Vs/Am

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

Durchflutung. Ist gleich der Summe der von einer Feldlinie eingeschlossenen Ströme

I Stromstärke in A
 Θ Durchflutung in A

$$\Theta = \sum_{i=1}^n I_i$$

Durchflutungsgesetz

s Weg im Feld in m
 I Stromstärke in A
 H magnetische Feldstärke in A/m

$$\oint \vec{H} d\vec{s} = \sum_{i=1}^n I_i$$

Feld um einen stromführenden Leiter

I Stromstärke in A
 r Abstand vom Leiter in m
 H magnetische Feldstärke in A/m

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Feld im Inneren einer Ringspule

I Stromstärke in A
 N Anzahl der Windungen
 r mittlerer Radius in m
 H magnetische Feldstärke in A/m

$$H = \frac{IN}{2\pi r}$$

Elektrotechnik

Das Magnetische Feld

Feld im Inneren einer langen Zylinderspule

I	Stromstärke in A		$H = \frac{NI}{l}$
N	Anzahl der Windungen		
l	Länge der Spule		

Feld im Inneren einer kurzen Zylinderspule

I	Stromstärke in A		$H_{\text{Mitte}} = \frac{NI}{\sqrt{l^2 + d^2}}$
N	Anzahl der Windungen		
l	Länge der Spule		
d	Durchmesser der Spulenwicklung		$H_{\text{Rand}} = \frac{NI}{2\sqrt{l^2 + d^2}}$
H_{Mitte}	Feld in der Mitte der Spule in A/m		
H_{Rand}	Feld am Rand der Spule in A/m		

Feld eines Kreisstromes in einem Punkt P

I	Stromstärke in A		$H = \frac{I}{2R}$
R	Radius des Kreisstromes in m	P liegt im Zentrum	
l	Abstand vom Zentrum des Kreisstromes in m	P liegt auf der auf der Mittelachse	$H = \frac{IR^2}{2(\sqrt{R^2 + l^2})^3}$

Biot-Savartsches Gesetz, dient zur Berechnung eines Magnetfeldes in einem Punkt P bei beliebig geformtem Leiter

I	Stromstärke in A		$dH = \frac{I \cdot ds}{4\pi r^2} \sin \alpha$
ds	Leiterelement der Länge ds in m		
r	Abstand des Punktes P vom Leiterelement ds		
α	Winkel zwischen ds und Richtung zu P		
dH	ds		

Magnetischer Fluss, Gesamtheit der Feldlinien, die von einer Leiterschleife eingeschlossen sind

$\int u dt$	Spannungsstoß in Vs	$\phi = \int u dt$
Φ	magnetischer Fluss in Vs oder Wb (Weber)	

Magnetische Flussdichte

Φ	magnetischer Fluss in Vs	$B = \frac{\phi}{A_n}$
A_n	vom Fluss durchsetzte Fläche in m^2	
B	magnetische Flussdichte in Vs/ m^2 oder in T (Tesla)	

Flussdichte und Feldstärke in Materie

μ_0	magnetische Feldkonstante in Vs/Am	$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$
μ_r	relative Permeabilität	
H	magnetische Feldstärke in A/m	
B	magnetische Flussdichte in Vs/ m^2 oder in T (Tesla)	

4.2 Kräfte im Magnetfeld

4.2.1 Kräfte auf Ladungen

Lorentzkraft, Kraft auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld

q	Ladung in As	$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$
v	Geschwindigkeit in m/s	
B	magnetische Flussdichte in T	$F_L = qvB \cdot \sin \varphi$
φ	Winkel zwischen dem Vektor der Geschwindigkeit und dem Vektor der Flussdichte	
F_L	Lorentzkraft in N	

Kreisbahn eines Elektrons im Magnetfeld

m	Masse des Elektrons in kg	$r = \frac{mv}{e_0 B}$
v	Geschwindigkeit in m/s	
e_0	Ladung des Elektrons (Elementarladung) in As	
B	magnetische Flussdichte in T	
r	Radius der Kreisbahn in m	

Hall Effekt, Folge der Lorentzkraft

R_H	Hall-Koeffizient in m^3/As , Materialkonstante	$U_H = R_H \cdot \frac{IB}{b}$
I	Strom durch die Hallsonde in A	
B	magnetische Flussdichte in T	
b	Breite der Hallsonde (in Richtung von B) in m	

4.2.2 Kräfte auf Leiter

Kraft auf einen stromführenden Leiter

l	Länge des Leiters im Magnetfeld	$\vec{F} = l \cdot \vec{I} \times \vec{B}$
I	Stromstärke in A	
B	magnetische Flussdichte in T	$F = l I B \sin \varphi$
φ	Winkel zwischen der Richtung des Stromes und dem Vektor der Flussdichte	
F	Kraft auf den Leiter in N	

Kräfte zwischen zwei parallelen Leitern

I_1, I_2	Stromstärken in den Leitern in A	$F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2 \pi d}$
d	Abstand zwischen den Leitern in m	
μ_0	magnetische Feldkonstante in Vs/Am in Vs/Am	
F_{12}	Kraft zwischen den Leitern 1 und 2 in N Fließen die beiden Ströme entgegengesetzt, so stoßen sich die Leiter ab.	

4.3 Materie im Magnetfeld

4.3.1 Definitionen

Relative Permeabilität

B_M	Flussdichte in der Materie in T	$\mu_r = \frac{B_M}{B_0} = \frac{B_M}{\mu_0 H_0}$
B_0	Flussdichte im Vakuum in T	
μ_0	magnetische Feldkonstante in Vs/Am	$B_M = \mu_r \mu_0 H_0$
μ_r	relative Permeabilität, dimensionslos	
H_0	Magnetfeld im Vakuum in A/m	

Magnetische Suszeptibilität

μ_r	relative Permeabilität, dimensionslos	$\chi_M = (\mu_r - 1)$
χ_M	Suszeptibilität, dimensionslos	

Magnetische Polarisation

J	magnetische Polarisation in T	$J = B_M - B_0$
		$J = (\mu_r - 1) B_0$
		$J = \mu_0 M$

Magnetisierung

μ_r	relative Permeabilität, dimensionslos	$M = \chi_M H_0$
χ_M	Suszeptibilität, dimensionslos	
H_0	Magnetfeld im Vakuum in A/m	$M = (\mu_r - 1) H_0$
M	Magnetisierung in A/m	

Elektrotechnik

Das Magnetische Feld

4.3.2 Stoffmagnetismus

μ_r relative Permeabilität, dimensionslos
 χ_M Suszeptibilität, dimensionslos

Diamagnetismus

Magnetische Eigenschaft, die bei allen Stoffen vorhanden ist, aber bei den meisten Stoffen durch andere magnetische Eigenschaften überdeckt wird

$$\begin{aligned}\mu_r &< 1 \\ \chi_M &< 0 \\ -10^{-4} &< \chi_M < -10^{-9}\end{aligned}$$

Paramagnetismus

Die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität ist durch das Curie-Gesetz gegeben.

$$\begin{aligned}\mu_r &> 1 \\ \chi_M &> 0 \\ 10^{-6} &< \chi_M < 10^{-2}\end{aligned}$$

Curie-Gesetz C Curie-Konstante in K
 T Temperatur in K

$$\chi_M = \frac{C}{T}$$

Ferromagnetismus

Wegen des großen Wertes von μ_r in der Elektrotechnik oft verwendete Stoffe. Die Magnetisierungskurve ist eine Hysterese μ_r ist nicht konstant, sondern vom Magnetfeld H und der Vorgeschichte des Materials abhängig.

$$\begin{aligned}\mu_r &\gg 1 \\ \chi_M &\gg 0 \\ \mu_r &> 500\end{aligned}$$

Relative Permeabilität μ_r relative Permeabilität
 Differentielle Permeabilität μ_d differentielle Permeabilität

B Flussdichte in T
 H Magnetfeld in A/m

$$\mu_r = \frac{1}{\mu_0} \frac{B}{H}$$

$$\mu_d = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$$

Ummagnetisierungsverluste, entstehen bei jedem Durchlaufen der Hysterese, bei Wechselfeldern also in jeder Periode

w Verlustenergiedichte in Ws/m³
 H Magnetfeld in A/m
 B Flussdichte in T
 A Fläche der Hysteresekurve

$$w = \oint H dB$$

$$w \hat{=} A_{\text{Hysterese}}$$

Temperaturabhängigkeit, bis zur Curie-Temperatur ist der Stoff ferromagnetisch, oberhalb wird er paramagnetisch

C Curie-Konstante in K
 T Temperatur in K
 T_C Curie-Temperatur

$$\chi_M = \frac{C}{T - T_C}$$

4.4 Magnetische Kreise

Magnetische Spannung

I Stromstärke in A
 N Anzahl der stromführenden Leiter
 H Magnetfeld in A/m
 l Weg im Magnetfeld in m
 \mathcal{O} Durchflutung in A
 V Magnetische Spannung in A

$$V = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI$$

$$V = \mathcal{O}$$

Magnetischer Widerstand

l Weg im Magnetfeld in m
 A Querschnittfläche des Materials in m^2
 R_m magnetischer Widerstand in A/Vs

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$$

Unverzweigte Kreise

N Anzahl der Leiter
 I Stromstärke in A
 \mathcal{O} magnetischer Fluss in Vs
 V magnetische Spannung in A

$$\sum V = \mathcal{O} = NI$$

Eisenkern mit Luftspalt

N Anzahl der Leiter
 I Stromstärke in A
 B_E Flussdichte im Eisenkern in T
 l_L Breite des Luftspaltes in m
 l_E mittlere Länge des Eisenkerns in m
 H_E Magnetfeld im Eisenkern in A/m

$$H_E l_E = NI - \frac{B_E}{\mu_0} l_L$$

Verzweigte Kreise, es gelten analog zum elektrischen Kreis Knoten und Maschenregeln

Φ magnetischer Fluss in Wb
 \mathcal{O} Durchflutung in A
 H Magnetfeld in A/m
 l Strecke im Magnetfeld in m

$$\sum_{i=1}^n \phi_i = 0$$

$$\mathcal{O} = \sum_{i=1}^n H_i l_i$$

5 Induktion

5.1 Induktionsgesetz

Allgemeine Gleichung

N Anzahl der Windungen
 B Flussdichte in T
 A_n Normalkomponente der vom Magnetfeld durchsetzten Fläche
 u_{ind} induzierte Spannung in V

$$u_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$u_{ind} = -N \left(A_n \frac{dB}{dt} + B \frac{dA_n}{dt} \right)$$

Bei Rotation einer Leiterschleife im konstanten Magnetfeld, Generatorprinzip

B Flussdichte in T
 A Fläche der Leiterschleife in m^2
 ω Kreisfrequenz in 1/s
 f Frequenz in Hz
 u_{ind} induzierte Spannung in V

$$u_{ind} = B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Bei Änderung des Magnetfeldes und konstanter Fläche, Transformatorprinzip

N Anzahl der Windungen
 B Flussdichte in T
 A vom Magnetfeld durchsetzte Fläche

$$u_{ind} = -NA \frac{dB}{dt}$$

5.2 Induktivität von Spulen

Induktivität einer Spule

Luftspule μ_d differentielle Permeabilität
 N Anzahl der Wicklungen
 A Querschnittsfläche der Spule in m^2
 Spule mit Eisenkern l Länge der Spule in m
 L Induktivität in H (Henry)

$$L = \mu_0 N^2 \frac{A}{l}$$

$$L = \mu_0 \mu_d N^2 \frac{A}{l}$$

Elektrotechnik

Induktion

Reihenschaltung von Spulen

n Anzahl der einzelnen Spulen
 L_i Induktivität der einzelnen Spule in H
 L_{ges} Gesamtinduktivität in H

$$L_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n L_i$$

Parallelschaltung

$$\frac{1}{L_{\text{ges}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i}$$

Energie in einer Spule

L Induktivität der Spule in H
 I Stromstärke in A
 W Energie in Js

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

5.3 Ein- und Ausschaltvorgänge

Einschaltvorgang

U angelegte Spannung in V
 R Ohmscher Widerstand des Kreises in Ω
 t Zeit in s
 L Induktivität der Spule in H
 τ Zeitkonstante in s
 i Stromstärke in A

$$i = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

$$i = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Kurzschließen der Spule

$$i = \frac{U}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$