

Elektrotechnik

Formelsammlung

Andreas Zimmer

SS 98

Inhaltsverzeichnis

1. Gleichstrom

1.1	Stromstärke und elektr. Ladung	5
1.2	Spannung	5
1.3	Ohmsches Gesetz	5
1.4	Energie, Arbeit und Leistung	5
1.5	Wirkungsgrad.....	5
1.6	Stromdichte.....	6
1.7	Widerstand und Leitwert	6
1.8	Einheitswiderstand und Einheitsleitwert	6
1.9	Leiterwiderstand	6
1.10	Temperaturabhängigkeit von Widerständen	6
1.11	Reihenschaltungen von Widerständen.....	7
1.12	Parallelschaltungen von Widerständen	7
1.13	Knotenregel (1. Kirchhoffsches Gesetz).....	7
1.14	Maschenregel (2. Kirchhoffsches Gesetz)	7
1.15	Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern	7
1.16	Meßbereichserweiterung von Strommessern.....	7
1.17	Reihenschaltung von gleichen Spannungsquellen.....	8
1.18	Parallelschaltung von gleichen Spannungsquellen	8
1.19	Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für Teile eines Stromkreises	8
1.20	Spannungsabfall und Spannungsverlust.....	8
1.21	Innerer Spannungsabfall in Spannungsquellen.....	8
1.22	Leistungsanpassung, Maximum wenn $R_a = R_i$	9
1.23	Berechnung der Urspannung und des inneren Widerstandes einer Stromquelle	9
1.24	Vorschaltwiderstand eines Verbrauchers	9
1.25	Spannungsteiler.....	9
1.26	Wheatstonesche Meßbrücke	9

2. Elektrisches Feld, Kondensatoren

2.1	Coulomb'sches Gesetz.....	10
2.2	Elektrische Feldstärke	10
2.3	Elektrische Verschiebungsdichte.....	10
2.4	Ladung des Kondensators.....	10
2.5	Kapazität des Kondensators.....	10
2.6	Reihenschaltung von Kondensatoren.....	11
2.7	Parallelschaltung von Kondensatoren	11
2.8	Energieinhalt von Kondensatoren	11

3.	Magnetisches Feld	
3.1	Magnetischer Fluß (Magnetischer Strom)	12
3.2	Magnetische Induktion / Flußdichte	12
3.3	Magnetische Durchflutung (Magnetische Spannung)	12
3.4	Magnetische Feldstärke	12
3.5	Magnetischer Widerstand	12
3.6	Magnetischer Leitwert.....	13
3.7	Eisen im Magnetfeld	13
3.8	Der magnetische Kreis mit Eisenkern und Luftspalt.....	13
3.9	Allgemeines Induktionsgesetz	14
3.10	Anwendung Induktionsgesetz – Bewegung eines Leiters im Magnetfeld	14
3.11	Selbstinduktion	14
3.12	Reihenschaltung von Spulen.....	14
3.13	Parallelschaltung von Spulen	14
3.14	Energieinhalt des magnetischen Feldes einer Spule	14
4.	Wechselstrom	
4.1	Funktionsgleichungen des Wechselstroms	15
4.2	Frequenz.....	15
4.3	Drehzahl	15
4.4	Kreisfrequenz.....	15
4.5	Effektivwerte der Spannung und der Stromstärke.....	15
4.6	Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis	16
4.7	Induktiver Widerstand im Wechselstromkreis	16
4.8	Kapazitiver Widerstand im Wechselstromkreis	16
4.9	Reihenschaltung Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand (R, L) - Drossel	16
4.10	Reihenschaltung Wirkwiderstand, kapazitiver Blindwiderstand (R, C).....	17
4.11	Parallelschaltung Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand (R, L)	17
4.12	Parallelschaltung Wirkwiderstand, kapazitiver Blindwiderstand (R, C).....	17
4.13	Reihenschaltung Schwingkreis (R, L, C)	18
4.14	Parallelschaltung Schwingkreis (R, L, C)	19
4.15	Energieinhalt von Schwingkreisen.....	19
4.16	Leistung bei Phasengleichheit.....	20
4.17	Leistung bei Phasenverschiebung.....	20
4.18	Leistungsfaktor	20
4.19	Verbesserung des Leistungsfaktor	20

5.	Drehstrom	
5.1	Sternschaltung.....	21
5.2	Dreieckschaltung	21
5.3	Leistung des Dreiphasen Stromes	21
6.	Transformator	
6.1	Transformator Wechselstrom	22
6.2	Unbelasteter Fall, Leerlauf - Transformator Wechselstrom	22
6.3	Belasteter Fall, ideal - Transformator Wechselstrom	22
6.4	Leistung - Transformator Wechselstrom	23
6.5	Wirkungsgrad - Transformator Wechselstrom.....	23
6.6	Kurzschlußspannung - Transformator Wechselstrom	23
6.7	Transformator Drehstrom	23
7.	Sonstiges	
7.1	Wärmeenergie, -arbeit.....	24
7.2	Winkelfunktionen	24

1. Gleichstrom

1.1 Stromstärke und elektr. Ladung

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$Q = I \cdot t$$

I : Stromstärke [A] A : Ampere
Q : Ladungsmenge / Elektrizitätsmenge [A · s = C] C : Coulomb
t : Zeit [s] s : Sekunde

1.2 Spannung

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

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

U : Klemmspannung [V = W / A] V : Volt
Q : Ladungsmenge / Elektrizitätsmenge [A · s = C] C : Coulomb
W : elektr. Arbeit / Stromarbeit [V · A · s = N · m = J = W · s]
P : elektr. Leistung [V · A = W = J / s = N · m / s] W : Watt

1.3 Ohmsches Gesetz

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = I \cdot R$$

R : Widerstand [Ω = V / A] Ω : Ohm
I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
U : Spannung [V = A · Ω] V : Volt

1.4 Energie, Arbeit und Leistung

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

$$W = P \cdot t$$

$$W = U \cdot Q$$

$$P = U \cdot I = \frac{W}{t}$$
$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

U : Klemmspannung [V = W / A] V : Volt
I : Stromstärke [A] A : Ampere
t : Zeit [s] s : Sekunde
W : elektr. Arbeit / Stromarbeit [V · A · s = N · m = J = W · s]
P : elektr. Leistung [V · A = W = J / s = N · m / s] W : Watt

1.5 Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

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

$$\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2$$

P_{ab} : abgegebene Leistung [V · A = W = J / s = N · m / s] W : Watt
 P_{zu} : zugeführte Leistung [V · A = W = J / s = N · m / s] W : Watt
 P_V : Verlustleistung [V · A = W = J / s = N · m / s] W : Watt
 η : Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P}{P_{ges}} = \frac{R_a \cdot I^2}{(R_i + R_a) \cdot I^2} = \frac{R_a}{R_i \cdot \left(1 + \frac{R_a}{R_i}\right)} = \frac{\frac{R_a}{R_i}}{1 + \frac{R_a}{R_i}}$$

1.6 Stromdichte

$$S = \frac{I}{A}$$

S : Stromdichte [A / mm²]
 I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
 A : Querschnitt des Drahtes [mm²] A = d² · π / 4

1.7 Widerstand und Leitwert

$$G = \frac{1}{R}$$

R : Widerstand [Ω = V / A] Ω : Ohm
 G : Leitwert [S = 1 / Ω] S : Siemens

$$R = \frac{1}{G}$$

1.8 Einheitswiderstand und Einheitsleitwert

$$\rho = \frac{1}{\kappa}$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho}$$

	Einheitswiderstand	Einheitsleitwert	Temperaturkoeff.
	$\rho \cdot 10^{-6}$ [Ω · m]	$\kappa \cdot 10^6$ [S / m]	α_{20} [1 / K]
Silber	0,016	62,5	0,0041
Kupfer	0,01786	56	0,0039
Aluminium	0,02857	35	0,004

1.9 Leiterwiderstand

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$$R = \frac{l}{\kappa \cdot A}$$

R : Leiterwiderstand [Ω = V / A] Ω : Ohm
 l : Länge des Drahtes [m] m : Meter
 A : Querschnitt des Drahtes [mm²] A = d² · π / 4

1.10 Temperaturabhängigkeit von Widerständen

$$\Delta R = \alpha_{20} \cdot \Delta \vartheta \cdot R_{20}$$

$$R_{\vartheta} = R_{20} + \Delta R$$

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta \vartheta)$$

$$\Delta \vartheta = \frac{R_{\vartheta} - R_{20}}{\alpha_{20} \cdot R_{20}}$$

$$A = \frac{\rho \cdot l}{R_{20}} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta \vartheta)$$

ΔR : Widerstandsänderung [Ω = V / A] Ω : Ohm
 R_ϑ : Warmwiderstand [Ω = V / A] Ω : Ohm
 R₂₀ : Kaltwiderstand bei 20 °C [Ω = V / A] Ω : Ohm
 α₂₀ : Temperaturkoeffizient [1 / K] K : Kelvin
 Δϑ : Temperaturdifferenz [K]
 A : Querschnitt bei gleichem Widerstand, aber bei anderer Temperatur
 l : Länge des Drahtes [m] m : Meter

1.11 Reihenschaltungen von Widerständen

$$R_{\text{ers}} = R_1 + R_2 + R_3$$

R_{ers} : Ersatzwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

I : Stromstärke

[$A = V / \Omega$] A : Ampere

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

U : Spannung

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt

1.12 Parallelschaltungen von Widerständen

$$\frac{1}{R_{\text{ers}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

R_{ers} : Ersatzwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

I : Stromstärke

[$A = V / \Omega$] A : Ampere

$$R_{\text{ers}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

U : Spannung

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

1.13 Knotenregel (1. Kirchhoffsches Gesetz)

$$\sum I_{\text{zu}} = \sum I_{\text{ab}}$$

$\sum I_{\text{zu}}$: Summe der zufließenden Ströme

$\sum I_{\text{ab}}$: Summe der abfließenden Ströme

1.14 Maschenregel (2. Kirchhoffsches Gesetz)

$$\sum U_{\text{erz}} = \sum U_{\text{verb}}$$

$\sum U_{\text{erz}}$: Summe der Erzeugerspannungen

$\sum U_{\text{verb}}$: Summe der Verbraucherspannungen

1.15 Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern

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

R_V : Vorschaltwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

R_M : Meßwerkwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

n : Erweiterungszahl des Meßbereichs z.B. $n = 250 \text{ V} / 10 \text{ V} = 25$

1.16 Meßbereichserweiterung von Strommessern

$$R_n = \frac{R_m}{n - 1}$$

R_n : Nebenwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

R_m : Meßwerkwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

$$n = \frac{I}{I_m}$$

n : Faktor Meßbereichserweiterung

I : zu messende Stromstärke

[$A = V / \Omega$] A : Ampere

I_m : Meßwerkstrom

[$A = V / \Omega$] A : Ampere

$$I_n = I - I_m$$

I_n : Strom im Nebenwiderstand

[$A = V / \Omega$] A : Ampere

1.17 Reihenschaltung von gleichen Spannungsquellen

$$I = \frac{n \cdot E}{R_a + n \cdot R_i}$$

E : Ursprungung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 n : Anzahl gleicher Spannungsquellen
 I : Stromstärke im Stromkreis $[A = V / \Omega]$ A : Ampere

1.18 Parallelschaltung von gleichen Spannungsquellen

$$R = R_a + \frac{R_i}{n}$$

$$I = \frac{E}{R_a + \frac{R_i}{n}}$$

R_i : innere Widerstand $[\Omega = V / A]$ Ω : Ohm
 R_a : äußere Widerstand $[\Omega = V / A]$ Ω : Ohm
 E : Ursprungung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 n : Anzahl der gleichen Spannungsquellen
 I : Gesamtstrom $[A = V / \Omega]$ A : Ampere

Ersatzschaltung für Spannungsquellen besteht aus E und R_i

1.19 Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für Teile eines Stromkreises

$$\begin{aligned}
 U &= U_1 + U_2 + U_3 \\
 &= IR_1 + IR_2 + IR_3 \\
 &= IR_{\text{ers}}
 \end{aligned}$$

U : Gesamtspannung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt

1.20 Spannungsabfall und Spannungsverlust

$$U_V = I \cdot R_L$$

$$U_V = I \cdot \rho \cdot \frac{2 \cdot L}{A}$$

$$U_n = U - U_V$$

U_V : Spannungsverlust $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 U_n : Nutzspannung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 U : Klemmspannung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 I : Stromstärke $[A = V / \Omega]$ A : Ampere
 L : Länge der Leitung $[m]$ m : Meter
 R_L : Leitungswiderstand $[\Omega = V / A]$ Ω : Ohm
 ρ : Einheitswiderstand $[\Omega \cdot m]$

1.21 Innerer Spannungsabfall in Spannungsquellen

$$U = E - I \cdot R_i$$

$$I = \frac{E}{R_a + R_i}$$

$$E = I \cdot R_a + I \cdot R_i$$

U_V : Spannungsverlust $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 U_n : Nutzspannung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 U : Klemmspannung $[V = A \cdot \Omega]$ V : Volt
 I : Stromstärke $[A = V / \Omega]$ A : Ampere
 L : Länge der Leitung $[m]$ m : Meter
 R_L : Leitungswiderstand $[\Omega = V / A]$ Ω : Ohm
 ρ : Einheitswiderstand $[\Omega \cdot m]$

Leerlauf der Spannungsquelle $R_a \rightarrow \infty$; $I = 0$

Kurzschluß der Spannungsquelle $R_a = 0$; $P = 0$

1.22 Leistungsanpassung, Maximum wenn $R_a = R_i$

$$P = U \cdot I = U_0^2 \cdot \frac{R_a}{(R_a + R_i)^2}$$

U_0 : Ursprungung

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt

1.23 Berechnung der Ursprungung und des inneren Widerstandes einer Stromquelle

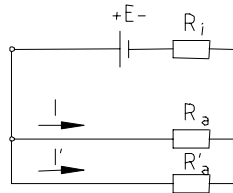
$$E = I \cdot R_a + I \cdot R_i$$

$$E = I' \cdot R'_a + I' \cdot R_i$$

$$R_i = \frac{I' \cdot R'_a - I \cdot R_a}{I - I'}$$

E : Ursprungung

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt



1.24 Vorschaltwiderstand eines Verbrauchers

$$R_v = \frac{U - U_n}{I}$$

R_v : Vorschaltwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

U : verfügbare Netzspannung

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt

U_n : Nennspannung des Verbrauchers

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt

1.25 Spannungsteiler

$$R_1 = (1 - k) \cdot R$$

$$R_2 = k \cdot R$$

$$\frac{U_3}{U} = \frac{k}{1 + \frac{R}{R_3} \cdot k \cdot (1 - k)}$$

R_1 : oberer Teil des Spannungsteilers

R_2 : unterer Teil des Spannungsteilers

R_3 : Verbraucherwiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

R : Schiebewiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

U : Gesamtspannung

[$V = A \cdot \Omega$] V : Volt

k : $k = 0 \Rightarrow$ keine Spannung, $k = 1 \Rightarrow$ volle Spannung

1.26 Wheatstonesche Meßbrücke

$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

R_x : unbekannter Widerstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

R_N : Normalwiderstand, Vergleichswiderstand

[$\Omega = V / A$] Ω : Ohm

R_1 : erster Teil des Widerstandes vom Spannungsteiler

R_2 : zweiter Teil des Widerstandes vom Spannungsteiler

L_1 : erster Teil des Drahtes vom Spannungsteiler

L_2 : zweiter Teil des Drahtes vom Spannungsteiler

2. Elektrisches Feld, Kondensatoren

2.1 Coulomb'sches Gesetz

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2}$$

F :	Anziehungs- bzw. Abstoßkraft	[N]	
Q_1, Q_2 :	Punktladungen	[A s = C]	C : Coulomb
r :	Abstand zwischen den Ladungen	[m]	
ϵ_0 :	Influenzkonstante des Vakuums	[A s / Vm]	
	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$		

2.2 Elektrische Feldstärke

$$E = \frac{F}{Q}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

F :	Anziehungs- bzw. Abstoßkraft	[N]	
Q :	elektr. Ladung	[A s = C]	C : Coulomb
E :	elektr. Feldstärke	[N / A s = V / m]	
U :	Spannung	[V]	
d :	Feldlinienlänge / Abstand zwischen Kondensatorplatten	[m]	

2.3 Elektrische Verschiebungsdichte

$$D = \frac{Q}{A}$$

$$D = \epsilon \cdot E$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

D :	Verschiebungsdichte	[A s / m ²]	
Q :	elektr. Ladung	[A s = C]	C : Coulomb
A :	Feldquerschnitt / Fläche Kondensatorplatten	[m ²]	
E :	elektr. Feldstärke	[N / A s = V / m]	
ϵ :	Dielektrizitätskonstante	[A s / Vm]	
ϵ_0 :	Influenzkonstante des Vakuums	[A s / Vm]	
	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$		
ϵ_r :	relative Dielektrizitätskonstante (Luft = 1, Hartpapier = 3, Glimmer = 7)		

2.4 Ladung des Kondensators

$$Q = D \cdot A$$

$$Q = \epsilon \cdot E \cdot A$$

$$Q = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \cdot U$$

$$Q = C \cdot U$$

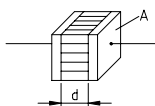
D :	Verschiebungsdichte	[A s / m ²]	
Q :	elektr. Ladung	[A s = C]	C : Coulomb
A :	Feldquerschnitt / Fläche Kondensatorplatten	[m ²]	
E :	elektr. Feldstärke	[N / A s = V / m]	
ϵ :	Dielektrizitätskonstante	[A s / Vm]	
C :	Kapazität des Kondensators	[F = A s / V]	F : Farad

2.5 Kapazität des Kondensators

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

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

C :	Kapazität des Kondensators	[F = A s / V]	F : Farad
Q :	elektr. Ladung	[A s = C]	C : Coulomb
U :	Spannung	[V]	
A :	Feldquerschnitt / Fläche Kondensatorplatten	[m ²]	
ϵ :	Dielektrizitätskonstante	[A s / Vm]	
d :	Feldlinienlänge / Abstand zwischen Kondensatorplatten	[m]	



2.6 Reihenschaltung von Kondensatoren

$$\frac{1}{C_{\text{ers}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

C_{ers} : Ersatzkapazität [F = As / V] F : Farad

$$C_{\text{ers}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

2.7 Parallelschaltung von Kondensatoren

$$C_{\text{ers}} = C_1 + C_2 + C_3$$

C_{ers} : Ersatzkapazität [F = As / V] F : Farad

2.8 Energieinhalt von Kondensatoren

$$W_{\text{elektr.}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2$$

$W_{\text{elektr.}}$: Energieinhalt von Kondensatoren [V·A·s = N·m = J = W·s]

C : Kapazität des Kondensators [F = As / V] F : Farad

U : Ursprung [V]

3. Magnetisches Feld

- Indifferenzzone ⇒ magnetisch unwirksame Stelle in der Mitte zwischen den beiden Polen
- magnetische Influenz ⇒ Weicheisen wird in der Nähe eines Magnets selbst magnetisch
- Permeabilität ⇒ Durchlässigkeit von Feldlinie durch einen Stoff
- Uhrzeigerregel ⇒ Für einen in Richtung des Stromes blickender Beobachter verlaufen die Feldlinie im Uhrzeigersinn.
 ⇒ Ein auf eine Spulenöffnung blickender Beobachter steht vor einem Südpol, wenn der Strom die Spule im Uhrzeigersinn umfließt.

3.1 Magnetischer Fluß (Magnetischer Strom)

$$\Phi = B \cdot A$$

$$\Phi = \frac{I \cdot N}{R_m}$$

- Φ : Magnetfluß [Wb = Vs] Wb: Weber
- B : magnetische Induktion / Flußdichte [T = Wb / m²] T : Tesla
- A : Querschnittsfläche [m²]
- R_m : Magnetischer Widerstand [A / Wb]
- I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
- N : Windungszahl

3.2 Magnetische Induktion / Flußdichte

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

$$B = \mu \cdot H$$

- B : Magnetische Induktion / Flußdichte [T = Wb / m²] T : Tesla
- Φ : Magnetfluß [Wb = Vs] Wb: Weber
- A : Querschnittsfläche [m²]
- μ : Permeabilität [Vs / Am = Wb / Am]
- H : Magnetische Feldstärke [A / m]

3.3 Magnetische Durchflutung (Magnetische Spannung)

$$\Theta = I \cdot N$$

- Θ : Magnetische Durchflutung [A] AW: Amperewindungen
- I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
- N : Windungszahl

3.4 Magnetische Feldstärke

$$H = \frac{\Theta}{s}$$

- H : Magnetische Feldstärke [A / m]
- Θ : Magnetische Durchflutung [A] AW: Amperewindungen
- s : mittlere Feldlinienlänge [m]

3.5 Magnetischer Widerstand

$$R_m = \frac{I \cdot N}{\Phi}$$

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{s}{A}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

- R_m : Magnetischer Widerstand [A / Wb]
- I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
- N : Windungszahl
- Φ : Magnetfluß [Wb = Vs] Wb: Weber
- s : Länge des Leiters [m]
- μ : Permeabilität [Vs / Am = Wb / Am]
- μ_0 : Induktionskonstante [Wb / Am] $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} = 4\pi \cdot 10^{-7}$
- μ_r : relative Permeabilität Luft = 1

3.6 Magnetischer Leitwert

$$\Lambda = \frac{1}{R_m} = \frac{\Phi}{I \cdot N}$$

$$\Lambda = \mu \cdot \frac{A}{s}$$

Λ : Magnetischer Leitwert	[H = Wb / A]	H: Henry
R_m : Magnetischer Widerstand	[A / Wb]	
I : Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
N : Windungszahl		
Φ : Magnetfluß	[Wb = Vs]	Wb: Weber
s : Länge des Leiters	[m]	
A : Querschnittsfläche	[m ²]	
μ : Permeabilität	[Vs / Am = Wb / Am]	

3.7 Eisen im Magnetfeld

$$\mu_0 = \tan \varphi = \frac{B}{H}$$

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

μ_0 : Induktionskonstante	[Wb / Am]	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} = 4\pi \cdot 10^{-7}$
μ_r : relative Permeabilität	Luft = 1	
B : Magnetische Induktion / Flußdichte	[T = Wb / m ²]	T : Tesla
H : Magnetische Feldstärke	[A / m]	

3.8 Der magnetische Kreis mit Eisenkern und Luftspalt

$$\Theta = H_E \cdot s_E + H_L \cdot s_L$$

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \\ &= \frac{B_E \cdot s_E}{\mu_0 \cdot \mu_r} + \frac{B_L \cdot s_L}{\mu_0} \\ &= \frac{B}{\mu_0} \cdot \left(s_L + \frac{s_E}{\mu_r} \right) \end{aligned}$$

μ_0 : Induktionskonstante	[Wb / Am]	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} = 4\pi \cdot 10^{-7}$
μ_r : relative Permeabilität	Luft = 1	
B : Magnetische Induktion / Flußdichte	[T = Wb / m ²]	T : Tesla
H : Magnetische Feldstärke	[A / m]	
H_E : Feldstärke im Eisen	[A / m]	
H_L : Feldstärke im Luftspalt	[A / m]	
s_E : mittlere Feldlinienlänge im Eisen	[m]	
s_L : mittlere Feldlinienlänge im Luftspalt	[m]	

3.9 Allgemeines Induktionsgesetz

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot N$$

E : Ursprung [V]
 $\Delta \Phi$: Flußänderung [Wb = Vs] Wb: Weber
 Δt : Zeit der Flußänderung [s]
 N : Windungszahl
 $\Delta \Phi / \Delta t$: Änderungsgeschwindigkeit des Magnetflusses

3.10 Anwendung Induktionsgesetz – Bewegung eines Leiters im Magnetfeld

$$E = B \cdot s \cdot v \cdot N$$

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B \cdot s \cdot v$$

E : Ursprung [V]
 B : Magnetische Induktion / Flußdichte [T = Wb / m²] T : Tesla
 s : wirksame Leiterlänge [m]
 v : Geschwindigkeit der Bewegung
 N : Windungszahl

3.11 Selbstinduktion

Selbstinduktion ⇒ In den Windungen der Spule tritt eine Induktionsspannung durch *Öffnen* oder *Schließen* des Stromkreises oder durch *Verstärken* oder *Schwächen* des Stromes hervor.

$$L = N^2 \cdot \Lambda$$

$$L = N^2 \cdot \mu \cdot \frac{A}{s}$$

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$$

$$E = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

E : Selbstinduktionsspannung [V]
 L : Induktivität der Spule [H = Vs / A] H: Henry
 N : Windungszahl
 Λ : Magnetischer Leitwert [H = Wb / A] H: Henry
 μ : Permeabilität [Vs / Am = Wb / Am]
 A : Querschnittsfläche [m²]
 s : wirksame Leiterlänge [m]
 Φ : Magnetfluß [Wb = Vs] Wb: Weber
 I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
 ΔI : Stromänderung [A]
 Δt : Zeitdauer der Änderung [s]

3.12 Reihenschaltung von Spulen

$$L_{\text{ers}} = L_1 + L_2 + L_3$$

L_{ers} : Ersatzinduktivität der Spule [H = Vs / A] H: Henry

3.13 Parallelschaltung von Spulen

$$\frac{1}{L_{\text{ers}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

L_{ers} : Ersatzinduktivität der Spule [H = Vs / A] H: Henry

$$L_{\text{ers}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

3.14 Energieinhalt des magnetischen Feldes einer Spule

$$W_{\text{magn.}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$W_{\text{magn.}}$: Energie [V · A · s = N · m = J = W · s]
 L : Induktivität der Spule [Vs / A = H]
 I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere

4. Wechselstrom

Wechselstrom \Rightarrow Wird durch Drehen einer Spule im ruhenden Magnetfeld erzeugt.

4.1 Funktionsgleichungen des Wechselstroms

$$u = \hat{u} \cdot \sin \omega t$$

$$i = \hat{i} \cdot \sin \omega t$$

$$\alpha = \omega t$$

u :	Augenblickswert der Spannung	[V]	
i :	Augenblickswert der Stromstärke	[A]	
\hat{u} :	Scheitelwert der Wechselspannung	[m ²]	$u = \hat{u}$ bei $\alpha = 90^\circ$
\hat{i} :	Scheitelwert der Stromstärke		
α :	Drehwinkel	[°]	RAD
ω :	Winkelgeschwindigkeit	[1 / s]	
t :	Zeit	[s]	

4.2 Frequenz

$$f = \frac{1}{T}$$

f :	Frequenz	[Hz = 1 / s]	Hz : Hertz (50 Hz)
T :	Periode	[s]	(1 / 50 s)

4.3 Drehzahl

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n :	Drehzahl pro Minute	[1 / min]	
f :	Frequenz	[Hz = 1 / s]	Hz : Hertz
p :	Anzahl der Polpaare		

4.4 Kreisfrequenz

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

ω :	Kreisfrequenz / Winkelgeschw.	[1 / s]	
f :	Frequenz	[Hz = 1 / s]	
T :	Periode	[s]	

4.5 Effektivwerte der Spannung und der Stromstärke

Die Stromstärke und Spannung des Gleichstromes, der die gleiche Wirkung wie der Wechselstrom hat, nennt man die effektive Stromstärke (I) bzw. effektive Spannung (U) des Wechselstromes.

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

I :	Effektivwert der Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U :	Effektivwert der Spannung	[V = A \cdot Ω]	V : Volt
\hat{i} :	Scheitelwert der Stromstärke		
\hat{u} :	Scheitelwert der Wechselspannung	[m ²]	

4.6 Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis

$$Z = R = \frac{U}{I}$$

I : Effektivwert der Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Effektivwert der Spannung	[V = A·Ω]	V : Volt
Z : Scheinwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
R : Wirkwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm

4.7 Induktiver Widerstand im Wechselstromkreis

Die Selbstinduktion ist die Ursache der Phasenverschiebung (φ = 90°) zwischen Stromstärke und Spannung.
Die Spannung eilt der Stromstärke voraus.

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$B_L = \frac{1}{\omega \cdot L}$$

X _L : induktiver Blindwiderstand	[Ω = Wb / As = V / A]	Ω : Ohm
B _L : induktiver Blindleitwert	[S = 1 / Ω = As / Wb]	S : Siemens
L : Induktivität der Spule	[Vs / A = H]	
ω : Kreisfrequenz / Winkelgeschw.	[1 / s]	

4.8 Kapazitiver Widerstand im Wechselstromkreis

Bei rein kapazitiver Belastung des Wechselstromkreises ist die Phasenverschiebung φ = 90° zwischen Strom- und Spannungswelle, wobei der Strom der Spannung vorausseilt.

$$B_C = \omega \cdot C$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

X _C : kapazitiver Blindwiderstand	[Ω = Vs / As = V / A]	Ω : Ohm
B _C : kapazitiver Blindleitwert	[S = 1 / Ω = As / Vs]	S : Siemens
C : Kapazität des Kondensators	[F = As / V]	F : Farad
ω : Kreisfrequenz / Winkelgeschw.	[1 / s]	

4.9 Reihenschaltung Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand (R, L) - Drossel

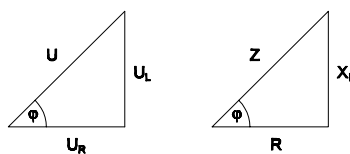
$$U = I \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U}$$

$$\tan \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{U_L}{U_R}$$

I : Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Spannung	[V = A·Ω]	V : Volt
Z : Scheinwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
R : Wirkwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
X _L : induktiver Blindwiderstand	[Ω = Wb / As = V / A]	Ω : Ohm
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	



4.10 Reihenschaltung Wirkwiderstand, kapazitiver Blindwiderstand (R, C)

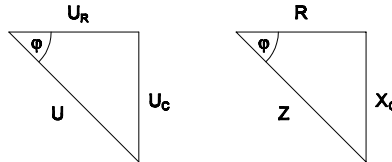
$$U = I \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U}$$

$$\tan \varphi = \frac{-X_C}{R} = \frac{-U_C}{U_R}$$

I : Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Spannung	[V = A · Ω]	V : Volt
Z : Scheinwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
R : Wirkwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
X _C : kapazitiver Blindwiderstand	[Ω = Vs / As = V / A]	Ω : Ohm
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	



4.11 Parallelschaltung Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand (R, L)

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2}$$

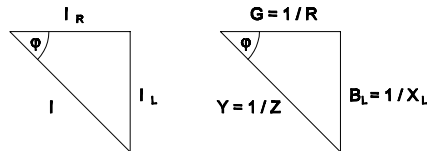
$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

$$\sin \varphi = \frac{I_L}{I} = \frac{Z}{X_L}$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}}}$$

I : Gesamtstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
Z : Scheinwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
Y : Scheinleitwert	[S = 1 / Ω]	S : Siemens
R : Wirkwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
X _L : induktiver Blindwiderstand	[Ω = Wb / As = V / A]	Ω : Ohm
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	
I _R : Wirkstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
I _L : induktive Blindstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere



4.12 Parallelschaltung Wirkwiderstand, kapazitiver Blindwiderstand (R, C)

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2}$$

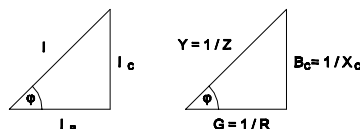
$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

$$\sin \varphi = \frac{I_C}{I} = \frac{Z}{X_C}$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}}}$$

I : Gesamtstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
Z : Scheinwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
Y : Scheinleitwert	[S = 1 / Ω]	S : Siemens
R : Wirkwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
X _C : kapazitiver Blindwiderstand	[Ω = Vs / As = V / A]	Ω : Ohm
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	
I _R : Wirkstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
I _C : kapazitive Blindstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere



4.13 Reihenschaltung Schwingkreis (R, L, C)

$$U = I \cdot \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

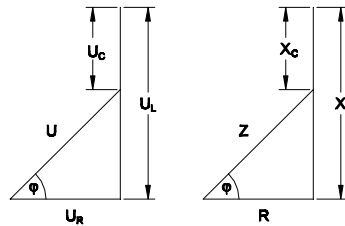
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

I : Stromstärke [A = V / Ω] A : Ampere
 U : Spannung [V = A · Ω] V : Volt
 Z : Scheinwiderstand [Ω = V / A] Ω : Ohm
 R : Wirkwiderstand [Ω = V / A] Ω : Ohm
 X_L : induktiver Blindwiderstand [Ω = Wb / As = V / A] Ω : Ohm
 X_C : kapazitiver Blindwiderstand [Ω = Vs / As = V / A] Ω : Ohm
 φ : Phasenverschiebungswinkel [°]



X_L > X_C ⇒ induktiven Charakter, Ersatzschaltbild besteht aus R und L
 X_C > X_L ⇒ kapazitiven Charakter, Ersatzschaltbild besteht aus R und C
 X_L = X_C ⇒ Resonanzfall, Phasenverschiebungswinkel φ = 0°, X = X_L + X_C = 0, Z = R

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

f₀ : Resonanzfrequenz [Hz = 1 / s] Hz : Hertz
 ω₀ : Resonanzwinkelgeschwindigkeit [1 / s]
 L : Induktivität der Spule [Vs / A = H] H : Henry
 C : Kapazität des Kondensators [F = As / V] F : Farad

Güte:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{X_L \cdot I}{R \cdot I}$$

$$Q = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

4.14 Parallelschaltung Schwingkreis (R, L, C)

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$$

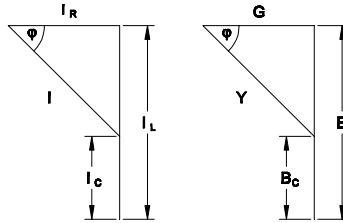
$$Z = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

$$U = \frac{I}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{G}{Y}$$

$$\sin \varphi = \frac{I_L - I_C}{I} = \frac{B_L - B_C}{Y}$$

I : Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Spannung	[V = A · Ω]	V : Volt
Z : Scheinwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
R : Wirkwiderstand	[Ω = V / A]	Ω : Ohm
X _L : induktiver Blindwiderstand	[Ω = Wb / As = V / A]	Ω : Ohm
X _C : kapazitiver Blindwiderstand	[Ω = Vs / As = V / A]	Ω : Ohm
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	



X _L > X _C	⇒	kapazitiven Charakter, Ersatzschaltbild besteht aus R und C
X _C > X _L	⇒	induktiven Charakter, Ersatzschaltbild besteht aus R und L
X _L = X _C	⇒	Resonanzfall, Phasenverschiebungswinkel φ = 0°, X = X _L + X _C = 0, Z = R

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

f ₀ : Resonanzfrequenz	[Hz = 1 / s]	Hz : Hertz
ω ₀ : Resonanzwinkelgeschwindigkeit	[1 / s]	
L : Induktivität der Spule	[Vs / A = H]	H : Henry
C : Kapazität des Kondensators	[F = As / V]	F : Farad

Güte:

$$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

4.15 Energieinhalt von Schwingkreisen

$$E_{el} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

$$E_{magn} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$$E_{magn} = E_{el}$$

I : Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Spannung	[V = A · Ω]	V : Volt
L : Induktivität der Spule	[Vs / A = H]	H : Henry
C : Kapazität des Kondensators	[F = As / V]	F : Farad
E _{el} : elektrische Energie	[V · A · s = N · m = J = W · s]	
E _{magn} : magnetische Energie	[V · A · s = N · m = J = W · s]	

4.16 Leistung bei Phasengleichheit

Phasengleichheit ist gegeben, wenn der Wechselstromkreis nur mit einem Wirkwiderstand belastet ist.

$$P = U \cdot I$$

I : Effektivstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Effektivspannung	[V = A · Ω]	V : Volt
P : Wirkleistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt

4.17 Leistung bei Phasenverschiebung

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$S = U \cdot I$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

I : Effektivstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Effektivspannung	[V = A · Ω]	V : Volt
P : Wirkleistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt
S : Scheinleistung	[V · A]	VA : Voltampere
Q : Blindleistung	[var]	var : Voltampere reaktiv
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	

4.18 Leistungsfaktor

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

cos φ : Leistungsfaktor	[°]	
P : Wirkleistung	[W]	W : Watt
S : Scheinleistung	[V · A]	VA : Voltampere

cos φ = 1	φ = 0°	P = S
cos φ < 1	0° < φ < 90°	P < S
cos φ = 0	φ = 90°	P = 0

4.19 Verbesserung des Leistungsfaktor

Zur Verbesserung des Leistungsfaktors wird parallel (Reihe) zum Verbraucher ein Kondensator als Phasenschieber geschaltet.

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$Q_C = U \cdot I_C = \frac{U^2}{X_C} = I_C^2 \cdot X_C$$

$$C_{\text{Para}} = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}$$

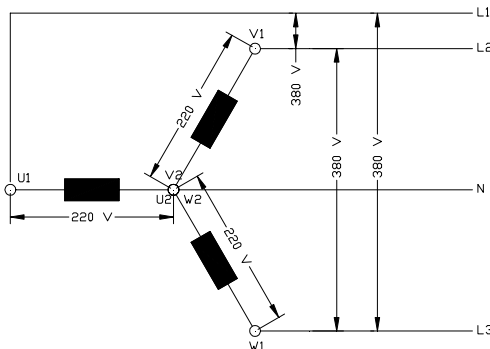
$$C_{\text{Reihe}} = \frac{I_C^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Q_C}$$

Q _C : Blindleistung Kondensator	[var]	var : Voltampere reaktiv
P : Wirkleistung	[W]	W : Watt
φ ₁ : Phasenverschiebungswinkel vor der Kompensation	[°]	
φ ₂ : Phasenverschiebungswinkel nach der Kompensation	[°]	
C _{Para} : Kapazität Parallelkompensation	[F = As / V]	F : Farad
C _{Reihe} : Kapazität Reihenkompensation	[F = As / V]	F : Farad

5. Drehstrom

Drehstrom \Rightarrow Dreiphasiger Wechselstrom entsteht, wenn man je um 120° gegeneinander versetzte Spulen in einem homogenen Magnetfeld dreht. Dadurch entstehen drei gleich große sinusförmige Spannungen (u, v, w). Die Summe der drei Augenblicksspannungen ist zu jedem Zeitpunkt gleich Null, daher kann man die drei Induktionsspulen zusammenschließen, ohne daß ein Kurzschluß entsteht.

5.1 Sternschaltung



$$U = U_{St} \cdot \sqrt{3}$$

$$I = I_{St}$$

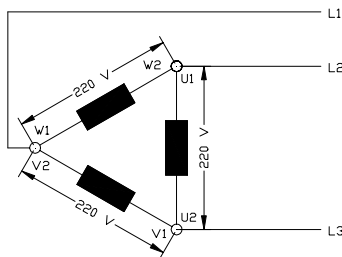
U : Leiterspannung [V] (380 V)

U_{St} : Strangspannung [V] (220 V)

I : Leiterstrom [A]

I_{St} : Strangstrom [A]

5.2 Dreieckschaltung



$$I = I_{St} \cdot \sqrt{3}$$

$$U = U_{St}$$

U : Leiterspannung [V]

U_{St} : Strangspannung [V]

I : Leiterstrom [A]

I_{St} : Strangstrom [A]

5.3 Leistung des Dreiphasen Stromes

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = 3 \cdot P_{St}$$

$$P_{St} = U_{St} \cdot I_{St} \cdot \cos \varphi$$

$$P_{St} = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3}}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$S = 3 \cdot S_{St}$$

$$S_{St} = U_{St} \cdot I_{St}$$

$$S_{St} = \frac{U \cdot I}{\sqrt{3}}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$Q = 3 \cdot Q_{St}$$

$$Q_{St} = U_{St} \cdot I_{St} \cdot \sin \varphi$$

$$Q_{St} = \frac{U \cdot I \cdot \sin \varphi}{\sqrt{3}}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

6. Transformator

Indizes	p :	primär Seite des Transformators
	S :	sekundär Seite des Transformators
	1 :	niedrigere Spannung (Unterspannung), weniger Windungen
	2 :	höhere Spannung (Oberspannung), mehr Windungen
	ges :	Gesamt

6.1 Transformator Wechselstrom

$$\Phi_{\text{ges}} = \frac{\Theta_{\text{ges}}}{R_m}$$

$$\Phi_{\text{ges}} = \Phi_p - \Phi_s$$

$$\Theta_{\text{ges}} = \Theta_p - \Theta_s$$

$$\Theta_p = N_p \cdot I_p$$

$$\Theta_s = N_s \cdot I_s$$

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\ddot{u} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Φ :	Magnetfluß	[Wb = Vs]	Wb: Weber
Θ :	Magnetische Durchflutung	[A]	AW: Amperewindungen
R_m :	Magnetischer Widerstand	[A / Wb]	
I :	Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U :	Spannung	[V = Ω A]	V : Volt
N :	Windungszahl		
\ddot{u} :	Übersetzungsverhältnis		

6.2 Unbelasteter Fall, Leerlauf - Transformator Wechselstrom

Sekundärkreis des Transformators offen, d.h. nicht durch einen Widerstand belastet

$$I_s = 0$$

$$I_p = I_0 = I_{\text{magn}} + I_{\text{Fe}} + I_{\text{Cu}}$$

I_0 :	Leerlaufstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
I_{Fe} :	Eisenverluststromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
I_{Cu} :	Kupferverluststromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
I_{magn} :	Magnetisierungsstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere

6.3 Belasteter Fall, ideal - Transformator Wechselstrom

$$\Theta_p = \Theta_s$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{U_s}{U_p}$$

$$\ddot{u} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} = \frac{N_2^2}{N_1^2}$$

Φ :	Magnetfluß	[Wb = Vs]	Wb: Weber
Θ :	Magnetische Durchflutung	[A]	AW: Amperewindungen
I :	Stromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U :	Spannung	[V = Ω A]	V : Volt
N :	Windungszahl		
\ddot{u} :	Übersetzungsverhältnis		

6.4 Leistung - Transformator Wechselstrom

$$P = U_p \cdot I_p \cdot \cos \varphi_p = U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi_s + P_V$$

$$Q = U_p \cdot I_p \cdot \sin \varphi_p = U_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi_s + P_V$$

$$S = U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s + P_V$$

I : Effektivstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Effektivspannung	[V = A · Ω]	V : Volt
P : Wirkleistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt
S : Scheinleistung	[V · A]	VA : Voltampere
Q : Blindleistung	[var]	var : Voltampere reaktiv
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	

6.5 Wirkungsgrad - Transformator Wechselstrom

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} = \frac{P_s}{P_s + P_V}$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_s + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

P _s : abgegebene Leistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt
P _p : zugeführte Leistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt
P _V : Verlustleistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt
η : Wirkungsgrad		

6.6 Kurzschlußspannung - Transformator Wechselstrom

$$u_K = \frac{U_K}{U_N} \cdot 100 \%$$

u _K : relative Kurzschlußspannung	[%]
U _K : gemessene Kurzschlußspannung	[V]
U _N : Nennspannung	[V]

6.7 Transformator Drehstrom

Übersetzungsverhältnisse wie Transformator Wechselstrom, jedoch Leistung:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p \cdot \cos \varphi_p = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi_s + P_V$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p \cdot \sin \varphi_p = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi_s + P_V$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s + P_V$$

I : Effektivstromstärke	[A = V / Ω]	A : Ampere
U : Effektivspannung	[V = A · Ω]	V : Volt
P : Wirkleistung	[V · A = W = J / s = N · m / s]	W : Watt
S : Scheinleistung	[V · A]	VA : Voltampere
Q : Blindleistung	[var]	var : Voltampere reaktiv
φ : Phasenverschiebungswinkel	[°]	

7. Sonstiges

7.1 Wärmeenergie, -arbeit

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

Q : Wärmeenergie	[J]
m : Masse	[m]
c : spezifische Wärmekapazität	[kJ / kgK]
$\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz	[° oder K]

7.2 Winkelfunktionen

$$\sin \alpha = \frac{\text{GK}}{\text{Hyp}}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{AK}}{\text{Hyp}}$$

$$\tan \vartheta = \frac{\text{GK}}{\text{AK}}$$

GK :	Gegenkathete
AK :	Ankathete
Hyp :	Hypotenuse