Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE
LUZERN

Technik & Architektur
FH Zentralschweiz

Der direkteste Weg zur richtigen Formel

Die Formelsammlung für Elektro-Fachpersonen

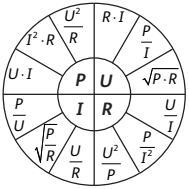
Der direkteste Weg für alle Elektrofachpersonen

Gebäudetechnik ist die gute Wahl, wenn Sie Gebäude gestalten und funktionsfähig machen wollen. Als Ingenieur oder Ingenieurin der Gebäudetechnik stellen Sie sicher, dass Gebäude effizient betrieben werden und ihre Energie selber nachhaltig produzieren.

Das praxisorientierte, innovative und interdisziplinäre Studium der Hochschule Luzern – Technik & Architektur ist das einzige Gebäudetechnik-Studium der Schweiz. Bei uns studieren Sie zusammen mit Architekten, Innenarchitektinnen und Bauingenieuren realitätsnah an konkreten Projekten. Sie nutzen das europaweit einzigartige Labor für Gebäudetechnik. Wir legen Wert darauf, dass die Ausbildung dem entspricht, was die Gebäudetechnik-Branche heute und morgen braucht.

Für Berufsmaturandinnen und Berufsmaturanden sowie erfahrene Praktikerinnen und Praktiker. Mehr Informationen und Anmeldung: **www.hslu.ch/gebaeudetechnik**

Grundlagen und Gleichstrom (DC=Direct Current)



P	Leistung	W
U	Spannung	V
I	Stromstärke	A
R	Widerstand	Ω

Ohmsches Gesetz

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

U	Spannung	V
R	Widerstand	Ω
I	Stromstärke	A

Stromdichte

$J = \frac{I}{A}$ $\quad A = \frac{I}{J}$ $\quad I = A \cdot J$ $\quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ $\quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$

J	Stromdichte	A/mm²
I	Stromstärke	A
A	Leiterquerschnitt	mm²
d	Leiterdurchmesser	mm

Widerstand eines Leiters

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

Widerstand einer Leitung:
Leitungslänge mal 2 (Hin- und Rückleiter)

R	Leiterwiderstand	Ω
ρ	spez. Widerstand (ρ_{cu} = 0,0178 Ω mm²/m bei 20°C)	Ω mm²/m
l	Leiterlänge	m
A	Leiterquerschnitt	mm²

Temperatureinfluss auf den Widerstand

$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$ $\quad R_1 = \frac{R_2}{(1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)}$

$\Delta R = R_2 - R_1$ $\quad \Delta R = R_1 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$

$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ $\quad \Delta\vartheta = \frac{\Delta R}{\alpha \cdot R_1}$

$\alpha = \frac{\Delta R}{\Delta\vartheta \cdot R_1}$

R_1	Anfangswiderstand bei ϑ_1	Ω
R_2	Endwiderstand	Ω
ΔR	Widerstandsänderung	Ω
α	Temperaturkoeffizient (α_{cu} = 0,004 1/K bei ϑ_1)	1/K
$\Delta\vartheta$	Temperaturänderung	K
ϑ_1	Anfangstemperatur (Referenztemp. für ϑ_1: 20°C)	°C
ϑ_2	Endtemperatur	°C

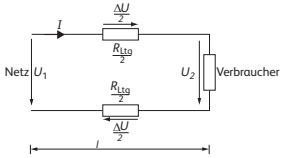
Leistung bei Änderung der Spannung bzw. der Stromstärke

$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = P_1 \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2$ $\quad P_1 = P_2 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$

$I_2 = I_1 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$ $\quad U_2 = U_1 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$

P_1	Leistung vor der Änderung	W
P_2	Leistung nach der Änderung	W
U_1	Spannung vor der Änderung	V
U_2	Spannung nach der Änderung	V
I_1	Stromstärke vor der Änderung	A
I_2	Stromstärke nach der Änderung	A

Spannungsfall an Leitungen



$$\Delta U = U_1 - U_2 \qquad \Delta U = R_{Ltg} \cdot I \qquad R_{Ltg} = \frac{\Delta U}{I}$$

$$R_{Ltg} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A} \qquad A = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{R_{Ltg}} \qquad l = \frac{R_{Ltg} \cdot A}{\rho \cdot 2}$$

ΔU	Spannungsfall	V
U_1	Netzspannung	V
U_2	Verbraucherspannung	V
R_{Ltg}	Leitungswiderstand	Ω
I	Leiterstrom	A
ρ	spez. Widerstand	Ω mm²/m
	(ρ_{Cu} = 0,0178 Ω mm²/m bei 20°C)	
l	Leitungslänge	m
A	Leiterquerschnitt	mm²

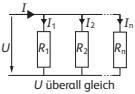
Schaltungen von Widerständen

Parallelschaltung

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad R_1 = \frac{R_2 \cdot R}{R_2 - R}$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}} \qquad R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_2} - \ldots - \frac{1}{R_n}}$$

$$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$$



U überall gleich

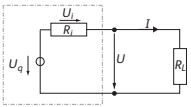
R	Gesamtwiderstand	Ω
	R_1, R_2 … R_n Einzelwiderstände	Ω
U	Gesamtspannung	V
	U_1, U_2 … U_n Teilspannungen	V
I	Gesamtstrom	A
	I_1, I_2 … I_n Teilströme	A

Serienschaltung

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n \qquad U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$$

I überall gleich

Belastete Spannungsquelle

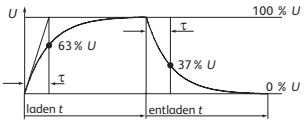


$$U = U_q - U_i = U_q - I \cdot R_i \qquad R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{U_q - U}{I}$$

U	Klemmenspannung	V
U_q	Quellenspannung (Leerlaufspannung)	V
I	Laststrom	A
R_i	Innenwiderstand	Ω
U_i	innerer Spannungsfall	V
I_K	Kurzschlussstrom	A

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_L} \qquad I_K = \frac{U_q}{R_i}$$

Laden und Entladen eines Kondensators



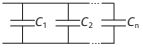
τ	Zeitkonstante	s
C	Kapazität	F
R	Widerstand	Ω
t	Lade- und Entladedauer	s

$$\tau = R \cdot C \qquad R = \frac{\tau}{C} \qquad C = \frac{\tau}{R} \qquad t \approx 5 \cdot \tau \qquad \tau \approx \frac{t}{5}$$

Schaltungen von Kondensatoren

C	Gesamtkapazität	F
$C_1, C_2 \ldots C_n$	Einzelkapazitäten	F

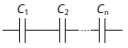
Parallelschaltung



$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$$

Serienschaltung

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$



$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}}$$

Elektrische Arbeit (Wirkenergie)

$$W = P \cdot t \qquad P = \frac{W}{t} \qquad t = \frac{W}{P}$$

W	elektrische Arbeit, Energie	Ws
P	Leistung	W
t	Zeit	s

Leistungsmessung mit Hilfe eines Zählers

$$P = \frac{3600 \cdot n}{C_Z \cdot t} \qquad t = \frac{3600 \cdot n}{C_Z \cdot P} \qquad n = \frac{P \cdot C_Z \cdot t}{3600}$$

P	Leistung	kW
n	Anzahl Ankerumdrehungen oder Impulse in der Zeit t	…
C_z	Zählerkonstante	1/kWh
t	Zeit	s

Energiekosten

$$K = \frac{T \cdot W}{100} = \frac{T \cdot P \cdot t}{100}$$

K	Energiekosten	Fr.
T	Arbeitspreis (Tarif)	Rp/kWh
W	Energie	kWh
P	Leistung	kW
t	Zeit	h

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \qquad P_1 = \frac{P_2}{\eta} \qquad P_2 = P_1 \cdot \eta$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \ldots \cdot \eta_n \qquad P_V = P_1 - P_2$$

η	Wirkungsgrad (Leistungsverhältnis)	…
	$\eta_1, \eta_2 \ldots \eta_n$ Einzelwirkungsgrade	…
P_1	aufgenommene Leistung	W
P_2	abgegebene Leistung (Nennleistung)	W
P_V	Verlustleistung	W

Mechanische Leistung

$$P = \frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{t} \qquad m = \frac{P \cdot t}{g \cdot \Delta h} \qquad \Delta h = \frac{P \cdot t}{g \cdot m}$$

$$t = \frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{P}$$

m	Masse	kg
g	Erdbeschleunigung 9,81 m/s²	
Δh	Höhendifferenz	m
t	Zeit	s
P	mechanische Leistung	W

Elektrowärme

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\vartheta}{t \cdot \zeta} \qquad t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\vartheta}{P \cdot \zeta} \qquad m = \frac{t \cdot P \cdot \zeta}{c \cdot \Delta\vartheta}$$

$$\zeta = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\vartheta}{t \cdot P} \qquad \Delta\vartheta = \frac{t \cdot P \cdot \zeta}{m \cdot c} \qquad Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

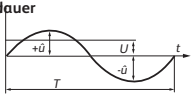
P	Leistung	kW
m	Masse	kg
c	Spezifische Wärmekapazität (c_{H2O} = 4,19 kJ/kgK)	kJ/kgK
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K
t	Zeit	s
ζ	Wärmenutzungsgrad	…
Q	Wärmemenge	kJ

Wechselstrom (AC=Alternating Current)

Effektiv- und Scheitelwert

$$\hat{I} = \sqrt{2} \cdot I \qquad I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}} \qquad \hat{u} = \sqrt{2} \cdot U \qquad U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

Frequenz und Periodendauer



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

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

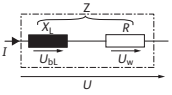
I	Effektivwert der Stromstärke	A
$\hat{I}$	Scheitelwert der Stromstärke	A
U	Effektivwert der Spannung	V
$\hat{u}$	Scheitelwert der Spannung	V
$\sqrt{2}$	Scheitelfaktor 1,414	
f	Frequenz	Hz
T	Periodendauer	s
ω	Kreisfrequenz	1/s

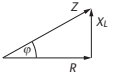
Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{U_{bC}}{I} \qquad C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C}$$

X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
f	Frequenz	Hz
C	Kapazität	F
U_{bC}	kapazitive Blindspannung	V
I	Stromstärke	A

Widerstandsdreieck einer Spule





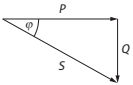
$$Z = \frac{U}{I} \qquad R = \frac{U_w}{I} \qquad X_L = \frac{U_{bL}}{I}$$

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

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

X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
R	Wirkwiderstand	Ω
Z	Scheinwiderstand	Ω
U_{bL}	induktive Blindspannung	V
U_w	Wirkspannung	V
U	Gesamtspannung	V
I	Stromstärke	A
φ	Phasenverschiebungswinkel	°

Wechselstromleistung



S	Scheinleistung	VA
P	Wirkleistung	W
Q	Blindleistung	var
$\cos\varphi$	Leistungsfaktor	…
$\sin\varphi$	Blindleistungsfaktor	…
I	Stromstärke	A
U	Spannung	V

Leistungsfaktor

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

Blindleistungsfaktor

$$\sin\varphi = \frac{Q}{S}$$

Scheinleistung

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

$$S = U \cdot I$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Wirkleistung

$$P = S \cdot \cos\varphi$$

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

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

Blindleistung

$$Q = S \cdot \sin\varphi$$

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

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

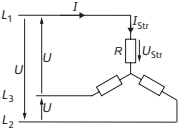
Induktiver Blindwiderstand

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \frac{U_{bL}}{I} \qquad L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
f	Frequenz	Hz
L	Induktivität	H
U_{bL}	induktive Blindspannung	V
I	Stromstärke	A

Drehstrom

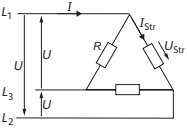
Sternschaltung



$$U_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad U = \sqrt{3} \cdot U_{Str} \qquad I = I_{Str}$$

I	Leiterstrom	A
I_{Str}	Strangstrom	A
U	Leiterspannung (= Netzspannung)	V
U_{Str}	Strangspannung	V
R	Strangwiderstand	Ω
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor 1,73	

Dreieckschaltung



$$I = \sqrt{3} \cdot I_{Str} \qquad I_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}} \qquad U = U_{Str}$$

$$R = \frac{U_{Str}}{I_{Str}} \qquad I_{Str} = \frac{U_{Str}}{R} \qquad I_{Str} = \frac{U_{Str}}{R}$$

Drehstromleistung symmetrische Belastung

S	Scheinleistung	VA
P	Wirkleistung	W
P_Δ	Wirkleistung bei Dreieckschaltung	W
P_Y	Wirkleistung bei Sternschaltung	W
Q	Blindleistung	var
cos φ	Leistungsfaktor	…
sin φ	Blindleistungsfaktor	…
I	Leiterstrom	A
U	Leiterspannung	V
R	Strangwiderstand	Ω
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor 1,73	

Scheinleistung

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{Q}{\sin\varphi}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \qquad U = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot I} \qquad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Wirkleistung

$$P = S \cdot \cos\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} \qquad P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi$$

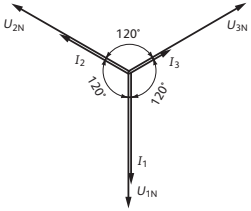
Blindleistung

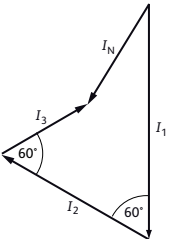
$$Q = S \cdot \sin\varphi = \sqrt{S^2 - P^2} \qquad Q = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \sin\varphi$$

Wirkleistung von ohmschen Verbrauchern

$$P_Y = \frac{U^2}{R} \qquad P_\Delta = 3 \cdot \frac{U^2}{R} \qquad P_\Delta = 3 \cdot P_Y$$

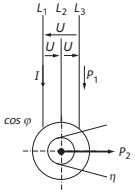
Konstruktion Neutralleiterstrom
(unsymmetrisch ohmsch belastet)





Verbraucher

Drehstrommotoren



$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta$$

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$$

η	Wirkungsgrad	…
P_1	aufgenommene Leistung	W
P_2	abgegebene Leistung (Nennleistung)	W
cos φ	Leistungsfaktor	…
I	Leiterstrom	A
U	Leiterspannung	V
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor 1,73	

Drehstrommotoren, Drehfelddrehzahl und Schlupf

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \qquad p = \frac{60 \cdot f}{n_s} \qquad f = \frac{p \cdot n_s}{60}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\,\% \qquad n = n_s \left(1 - \frac{s}{100\,\%}\right)$$

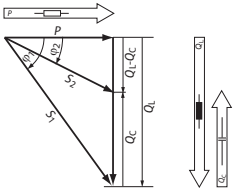
f	Frequenz	Hz
n	asynchrone Drehzahl (Läuferdrehzahl)	1/min
n_s	synchrone Drehzahl (Drehfelddrehzahl)	1/min
p	Polpaarzahl	…
s	Schlupf	%

Transformator (verlustlos)

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

$\ddot{u}$	Übersetzungsverhältnis	…
U_1	Eingangsspannung	V
U_2	Ausgangsspannung	V
I_1	Primärstrom	A
I_2	Sekundärstrom	A
N_1	Primärwindungszahl	…
N_2	Sekundärwindungszahl	…

Kompensation (Leistungsfaktorverbesserung)



$\cos\varphi \rightarrow \varphi \rightarrow \tan\varphi$

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

$C = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}$

$\tan\varphi_1 = \frac{Q_L}{P}$

$\tan\varphi_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}$

Q_C	kapazitive Blindleistung	var
Q_L	induktive Blindleistung	var
P	Wirkleistung	W
S_1	Scheinleistung unkompensiert	VA
S_2	Scheinleistung kompensiert	VA
$\cos\varphi_1$	Leistungsfaktor unkompensiert	…
$\cos\varphi_2$	Leistungsfaktor kompensiert	…
C	Kompensations-Kondensator	F
U	Spannung	V
f	Frequenz	Hz

Beleuchtungstechnik

$\Phi_N = E_m \cdot A \qquad E_m = \frac{\Phi_N}{A}$

$\Phi_N = n \cdot \Phi_L \cdot \eta_B$

Planung für Neuanlagen

$n = \frac{E_m \cdot A \cdot p_v}{\Phi_L \cdot \eta_B} \qquad E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta_B}{A \cdot p_v}$

$\eta_v = \frac{\Phi_L}{P} \qquad \eta_B = \eta_R \cdot \eta_{Lo} \qquad W_F = \frac{1}{p_v}$

Φ_N	Nutzlichtstrom	lm
E_m	mittlere Beleuchtungsstärke	lx
A	Fläche	m²
n	Anzahl Lampen	…
Φ_L	Lichtstrom einer Lampe	lm
η_B	Beleuchtungswirkungsgrad	…
p_v	Planungsfaktor	…
η_v	Lichtausbeute	lm/W
P	Leistung einer Lampe	W
η_R	Raumwirkungsgrad	…
η_{Lo}	Leuchten-Betriebswirkungsgrad	…
W_F	Wartungsfaktor	…

www.hslu.ch/gee

Der direkteste Weg um Gebäude effizienter zu machen

Gebäudetechnik, das richtige Studium für Elektro-Fachpersonen, die Ingenieurinnen und Ingenieure werden wollen. Vollzeit oder berufsbegleitend.
Bestellen Sie die Formelsammlung:
www.hslu.ch/formelsammlung

05-2016, 10'000 Ex.