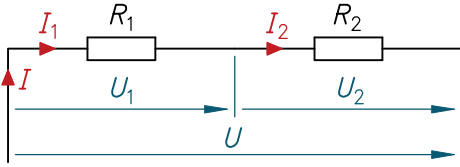


### 3 Schaltung von Widerständen

connection of resistances

#### 3.1 Reihenschaltung von Widerständen



$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots$$

Serien- oder Hintereinanderschaltung

#### 2. Kirchhoffsches Gesetz (Maschenregel, $\Sigma U = 0$ ):

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

$$U_1 = U - U_2 - \dots$$

$$U = I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots$$

$$U = I \cdot (R_1 + R_2 + \dots)$$

Maschenregel:

$$U_1 + U_2 + U_3 - U = 0$$

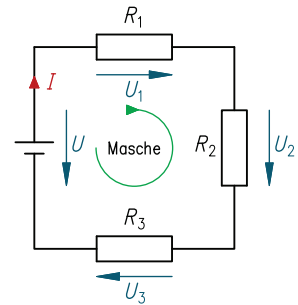
In einer Masche ist die Summe der Spannungen gleich Null!

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

$$R_1 = R - R_2 - \dots$$

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

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots$$

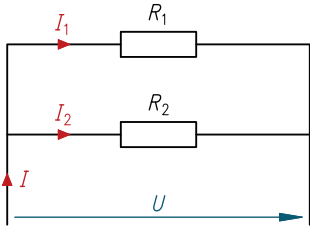


Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U$	Elektrische Spannung, Gesamtspannung	V
$U_1, U_2, U_3$	Teilspannungen	V
$I$	Elektrische Stromstärke	A
$I_1, I_2$	Teilströme	A
$R$	Elektrischer Gesamt-, Ersatzwiderstand	$\Omega$
$R_1, R_2, R_3$	Teilwiderstände	$\Omega$
$\Sigma$	Summenzeichen (griech.: Sigma)	

# 3 Schaltung von Widerständen

connection of resistances

## 3.2 Parallelschaltung von Widerständen



$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

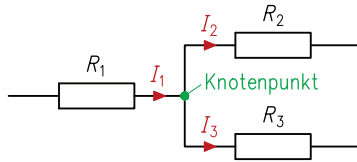
$$I_1 = I - I_2 - \dots$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots$$

Nebeneinanderschaltung

### 1. Kirchhoffsches Gesetz (Knotenpunktregel, $\Sigma I = 0$ , $\Sigma I_{zu} = \Sigma I_{ab}$ )

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$



Bei einem Stromknoten ist die Summe der zufließenden und der abfließenden Ströme gleich Null!

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_2} - \dots$$

$$G = G_1 + G_2 + \dots$$

$$G_1 = G - G_2 - \dots$$

Für zwei Widerstände gilt:

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

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

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{R_2}$$

$$R_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{I_1}$$

$$R_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2}$$

$$I_1 = \frac{I_2 \cdot G_1}{G_2}$$

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot G_2}{G_1}$$

$$G_1 = \frac{I_2 \cdot G_2}{I_1}$$

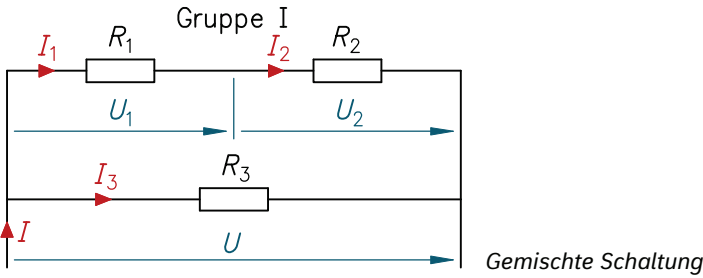
$$G_2 = \frac{I_1 \cdot G_1}{I_2}$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U$	Elektrische Spannung	V
$U_1, U_2$	Teilspannungen	V
$I$	Elektrische Stromstärke	A
$I_1, I_2, I_3$	Teilströme	A
$R$	Elektrischer Gesamt-, Ersatzwiderstand	$\Omega$
$R_1, R_2, R_3$	Teilwiderstände	$\Omega$
$G$	Elektrischer Leitwert	S, 1/ $\Omega$
$G_1, G_2$	Teilleitwerte	S, 1/ $\Omega$
$\Sigma$	Summenzeichen	-
$\Sigma I_{zu}$	Summe der zufließenden Ströme	A
$\Sigma I_{ab}$	Summe der abfließenden Ströme	A

### 3 Schaltung von Widerständen

connection of resistances

#### 3.3 Gruppenschaltung von Widerständen



$$R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$

$$R_1 = R_1 + R_2$$

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

$$I = I_1 + I_3$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{U}{R_1}$$

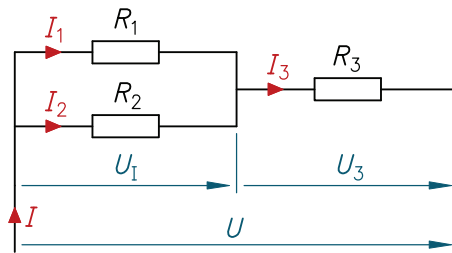
$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$U = I \cdot R$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

Gruppe I



$$R = R_1 + R_3$$

$$R_1 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

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

$$I = I_1 + I_2 = I_3$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_1}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3}$$

$$U = I \cdot R$$

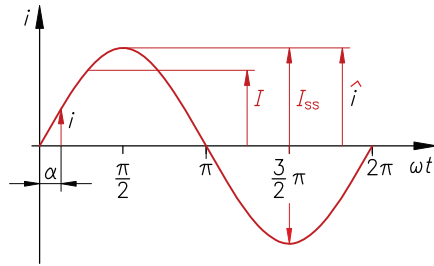
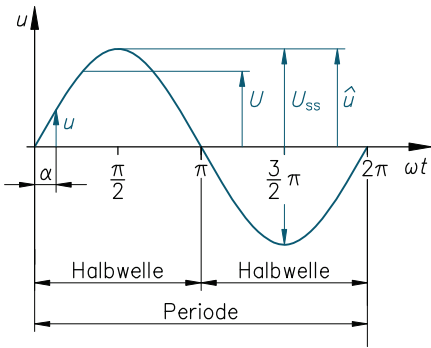
$$U_1 = I \cdot R_1$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U, U_1 \dots U_3$	Elektrische Spannung	V
$U_1$	Gruppenspannung	V
$I$	Elektrische Stromstärke	A
$I_1 \dots I_3$	Teilströme	A
$R$	Elektrischer Gesamt-, Ersatzwiderstand	$\Omega$
$R_1$	Elektrischer Widerstand, Gruppe I	$\Omega$
$R_1 \dots R_3$	Teilwiderstände	$\Omega$

# 14 Wechselstromgrundlagen

## basics of alternating current



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

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

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

**Hinweis:**

Bei der Eingabe von  $\alpha$  die Einstellung des Taschenrechners beachten!

Wenn  $n$  nicht in 1/min sondern in 1/s vorliegt, teilen durch 60 weglassen.

**Zeitwert einer Wechselstromgröße**

$$u = \hat{u} \cdot \sin \alpha$$

$$i = \hat{i} \cdot \sin \alpha$$

**Effektiv- und Scheitelwert** (Gilt nur bei sinusförmigen Werten)

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$U = 0,707 \cdot U_{\max}$$

$$U_{\max} = U \cdot \sqrt{2}$$

$$U_{ss} = 2 \cdot U_{\max}$$

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$I = 0,707 \cdot I_{\max}$$

$$I_{\max} = I \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{ss} = 2 \cdot I_{\max}$$

**Kreisfrequenz**

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

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

**Drehwinkel**

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t$$

$$\alpha = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$$

$$\alpha = \omega \cdot t$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U$	Effektivwert der Wechselspannung	} V
$U_{\max}, \hat{u}$	Scheitelwert, Maximalwert der Wechselspannung	
$U_{ss}$	Spannung von Spitze zu Spitze	
$u$	Augenblicks- oder Zeitwert der Wechselspannung	
$I$	Effektivwert des Wechselstroms	} A
$I_{\max}, \hat{i}$	Scheitelwert, Maximalwert des Wechselstroms	
$I_{ss}$	Strom von Spitze zu Spitze	
$i$	Augenblicks- oder Zeitwert des Wechselstroms	
$f$	Frequenz	Hz, s <sup>-1</sup>
$T$	Periodendauer	s
$p$	Polpaarzahl	–
$n$	Umdrehungsfrequenz	1/min
$\omega$	Kreisfrequenz	s <sup>-1</sup>
$\alpha$	Drehwinkel im Bogenmaß	rad
$t$	Zeit	s

# 15 Induktivität

inductance

## 15.2 Induktivität an Gleichspannung

### Zeitkonstante

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

### Einschaltmoment $t_1$

$$u_L = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

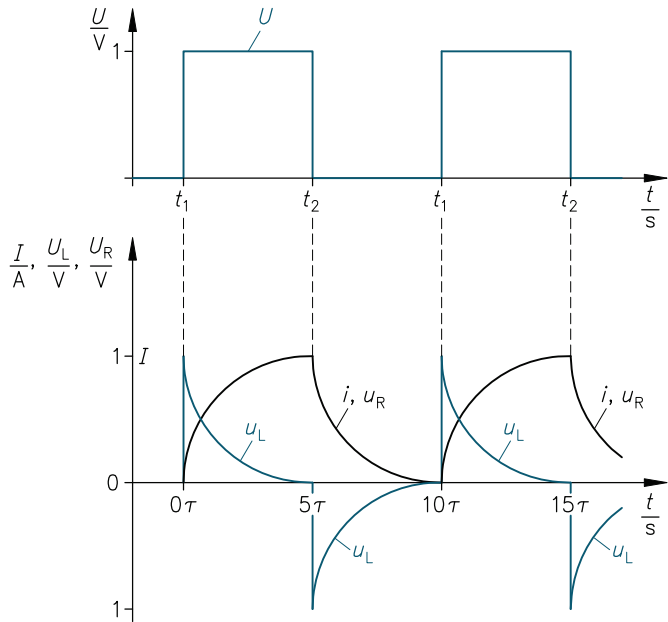
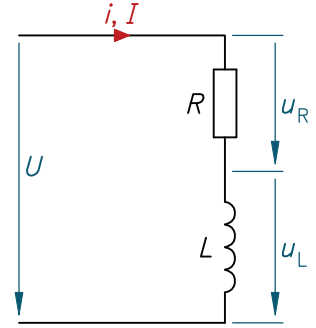
$$i = I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

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

### Ausschaltmoment $t_2$

$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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



Zeichen	Bedeutung	Einheit
$\tau$	Zeitkonstante	s
$L$	Induktivität	H, Vs/A, $\Omega$ s
$R$	Wirkwiderstand des Stromkreises	$\Omega$
$U$	Betrag der angelegten Gleichspannung	V
$u_R, u_L$	Augenblickswert der Teilspannung	V
$i$	Augenblickswert des Stromes	A
$I, i_{\max}$	Höchstwert des Gleichstromes	A
$t$	Zeit (nach dem Schaltvorgang $t_1$ und $t_2$ )	s
$e$	Eulersche Zahl 2,71828	–

# 18 Kondensator

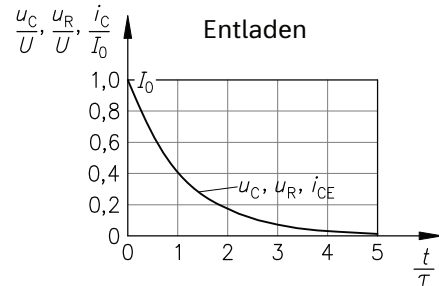
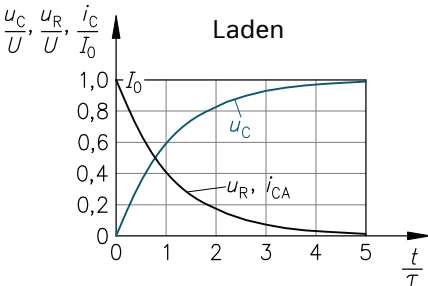
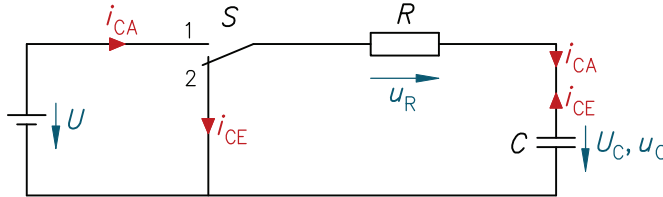
capacitor

## 18.2 Ladung und Entladung eines Kondensators

### Zeitkonstante

$$\tau = R \cdot C$$

Nach einer Zeitkonstanten  $\tau$  ist  $U_C \approx 63\%$  von  $U$ . Nach  $t = 5 \cdot \tau$  ist ungefähr die volle Ladespannung des Kondensators erreicht.



$t = 0$ , Umschaltung von 2  $\rightarrow$  1

$$I_0 = \frac{U}{R}$$

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

$$i_{CA} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t = -\tau \cdot \ln\left(\frac{i_{CA}}{I_0}\right)$$

$t = 0$ , Umschaltung von 1  $\rightarrow$  2

$$I_0 = \frac{U_C}{R}$$

$$u_C = U_C \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t = -\tau \cdot \ln\left(\frac{u_C}{U_C}\right)$$

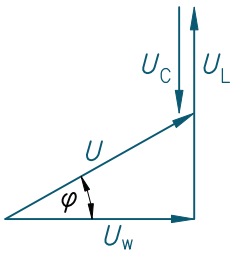
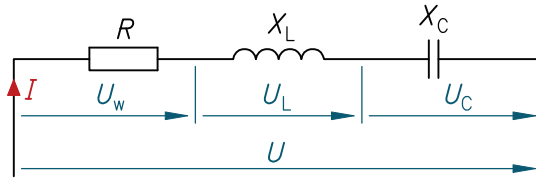
$$i_{CE} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t = -\tau \cdot \ln\left(\frac{i_{CE}}{I_0}\right)$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$C$	Elektrische Kapazität	F, (A · s)/V, s/Ω
$R$	Wirkwiderstand	Ω
$\tau$	Zeitkonstante	s
$U$	Elektrische Spannung der Quelle	V
$u_C$	Momentanwert der Kondensatorspannung	V
$i_{CA}$	Momentanwert des Kondensatorstromes bei der Aufladung	A
$i_{CE}$	Momentanwert des Kondensatorstromes bei der Entladung	A
$I_0$	Anfangswert des Stromes	A
$U_C$	Höchstwert der Kondensatorspannung	V
$u_R$	Spannung am Widerstand	V
$e$	Eulersche Zahl 2,71828	–
$t$	zeitlicher Moment zu dem ein bestimmter Ladezustand herrscht	s

# 19 Schaltung von Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand

connection of effective resistance, inductive and capacitive reactance

## 19.1 Reihenschaltung (Schaltung mit induktivem Verhalten, $U_L > U_C, X_L > X_C$ )



$$U = \sqrt{U_w^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{U_w}{U}$$

$$U = \frac{U_w}{\cos \varphi}$$

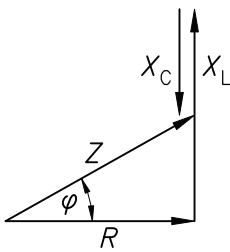
$$U_w = U \cdot \cos \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{U_L - U_C}{U}$$

$$\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_w}$$

$$U_w = \sqrt{U^2 - (U_L - U_C)^2}$$

$$U_L = \sqrt{U^2 - U_w^2} + U_C \quad U_C = U_L - \sqrt{U^2 - U_w^2}$$



$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

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

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

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

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z}$$

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

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

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

### Anmerkung:

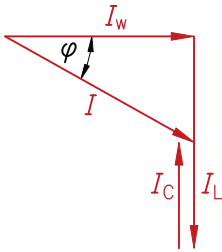
Bei Schaltungen mit kapazitivem Verhalten sind  $U_L$  mit  $U_C$  und  $X_L$  mit  $X_C$  in den Klammern zu vertauschen!

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U$	Klemmenspannung	V
$U_w$	Wirkspannung	V
$U_L$	Blindspannung induktiv	V
$U_C$	Blindspannung kapazitiv	V
$I$	Scheinstrom, Gesamtstrom	A
$Z$	Scheinwiderstand	$\Omega$
$R$	Wirkwiderstand	$\Omega$
$X_L$	Induktiver Blindwiderstand	$\Omega$
$X_C$	Kapazitiver Blindwiderstand	$\Omega$
$\cos \varphi$	Wirkleistungsfaktor	-
$\sin \varphi$	Blindleistungsfaktor	-
$\tan \varphi$	Verlustfaktor	-

# 19 Schaltung von Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand

connection of effective resistance, inductive and capacitive reactance

## 19.2 Parallelschaltung von Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand (Schaltung mit induktivem Verhalten, $I_L > I_C, B_L > B_C$ )

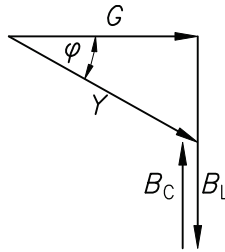


$$I^2 = I_w^2 + (I_L - I_C)^2$$

$$I_L = \sqrt{I^2 - I_w^2} + I_C$$

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I}$$

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



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

$$I_C = I_L - \sqrt{I^2 - I_w^2}$$

$$I = \frac{I_w}{\cos \varphi}$$

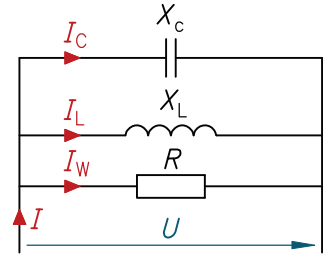
$$I = \frac{U}{Z}$$

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

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

$$\left(\frac{1}{Z}\right)^2 = \left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X}\right)^2$$

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}$$



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

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

$$\tan \varphi = \frac{I_L - I_C}{I_w}$$

$$Y^2 = G^2 + (B_L - B_C)^2$$

$$I_w = I \cdot \cos \varphi$$

$$U = I \cdot Z$$

$$G = \frac{1}{R} \quad B_L = \frac{1}{X_L} \quad B_C = \frac{1}{X_C}$$

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

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

### Anmerkung:

Bei Schaltungen mit kapazitivem Verhalten sind  $I_L$  mit  $I_C$  und  $B_L$  mit  $B_C$  in den Klammern zu vertauschen!

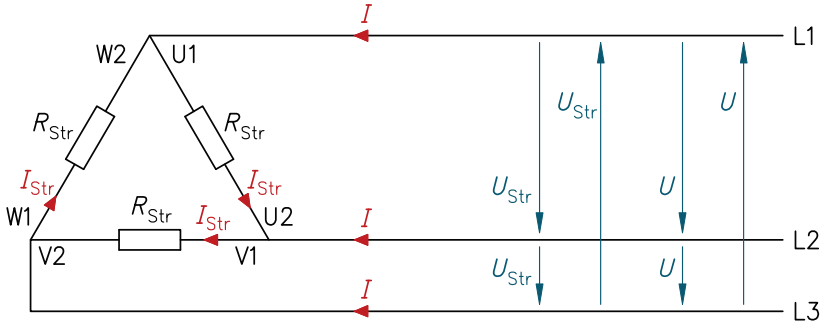
Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U$	Elektrische Spannung	V
$I$	Scheinstrom, Gesamtstrom	A
$I_w$	Wirkstrom	A
$I_L, I_C$	Induktiver, Kapazitiver Blindstrom	A
$Z$	Scheinwiderstand	$\Omega$
$R$	Wirkwiderstand	$\Omega$
$X$	Blindwiderstand	$\Omega$
$X_L, X_C$	Induktiver, Kapazitiver Blindwiderstand	$\Omega$
$Y$	Scheinleitwert	S
$G$	Wirkleitwert	S
$B_L, B_C$	Induktiver, Kapazitiver Blindleitwert	S
$\cos \varphi$	Wirkleistungsfaktor	-
$\sin \varphi$	Blindleistungsfaktor	-
$\tan \varphi$	Verlustfaktor	-



## 23 Drehstrom

three-phase current

### 23.2 Dreieckschaltung (symmetrisch-ohmsche Belastung, $\cos \varphi = 1$ )



$$I = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Str}}$$

$$I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{Str}} = \frac{U_{\text{Str}}}{R_{\text{Str}}}$$

$$U = U_{\text{Str}}$$

$$U_{\text{Str}} = I_{\text{Str}} \cdot R_{\text{Str}}$$

$$P_{\text{Str}} = U_{\text{Str}} \cdot I_{\text{Str}}$$

$$U_{\text{Str}} = \frac{P_{\text{Str}}}{I_{\text{Str}}}$$

$$I_{\text{Str}} = \frac{P_{\text{Str}}}{U_{\text{Str}}}$$

$$P = 3 \cdot P_{\text{Str}}$$

$$P = 3 \cdot U_{\text{Str}} \cdot I_{\text{Str}}$$

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

$$U = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$W = P \cdot t$$

$$W = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot t$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U$	Außenleiterspannung	V
$U_{\text{Str}}$	Strangspannung	V
$I$	Außenleiterstrom	A
$I_{\text{Str}}$	Strangstrom	A
$R_{\text{Str}}$	Strangwiderstand	$\Omega$
$P_{\text{Str}}$	Strangleistung	W
$P$	Gesamtwirkleistung	W
$W$	Elektrische Arbeit	Wh
$t$	Zeit	h

### 23.3 Leistung des Drehstroms (symmetrische gemischte Belastung, $\varphi \neq 0$ )

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

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

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

## 24 Transformatoren

### transformers

### 24.3 Spartransformator

$$S_B = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot S_D \quad \text{bei } U_2 < U_1$$

$$S_B = \frac{U_2 - U_1}{U_2} \cdot S_D \quad \text{bei } U_2 > U_1$$

$$S_D = U_2 \cdot I_2$$

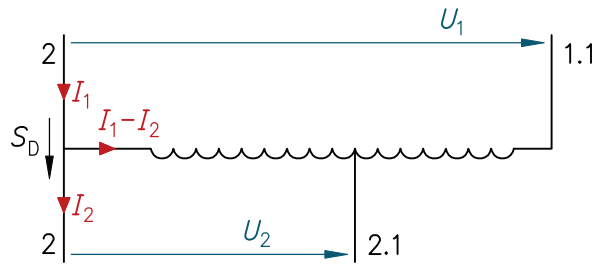
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$U_1 = \frac{U_2 \cdot N_1}{N_2}$$

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot N_2}{N_1}$$

$$N_1 = \frac{U_1 \cdot N_2}{U_2}$$

$$N_2 = \frac{U_2 \cdot N_1}{U_1}$$



Zeichen	Bedeutung	Einheit	Zeichen	Bedeutung	Einheit
$U_1$	Eingangsspannung	V	$N_1$	Windungszahl der Eingangsseite	-
$U_2$	Ausgangsspannung	V	$N_2$	Windungszahl der Ausgangsseite	-
$I_1$	Eingangsstrom	A	$S_B$	Bauleistung	VA
$I_2$	Ausgangsstrom	A	$S_D$	Durchgangsleistung	VA

### 24.4 Parallelschalten von Transformatoren

#### Lastverteilung bei gleichen Kurzschlussspannungen

$$S_1 = \Sigma S \cdot \frac{S_{N1}}{\Sigma S_N}$$

$$S_2 = \Sigma S \cdot \frac{S_{N2}}{\Sigma S_N}$$

$$S_3 = \Sigma S \cdot \frac{S_{N3}}{\Sigma S_N}$$

#### Lastverteilung bei ungleichen Kurzschlussspannungen

$$u_k = \frac{\Sigma S_N}{\frac{S_{N1}}{u_{K1}} + \frac{S_{N2}}{u_{K2}} + \frac{S_{N3}}{u_{K3}}}$$

Bestimmung der Lastanteile, wenn kein Transformator überlastet werden soll.

Hierbei ist als gesamte Kurzschlussspannung die kleinste  $u_k$  aller Transformatoren in die Formeln einzusetzen.

#### Lastanteile

$$S_1 = S_{N1} \cdot \frac{u_k}{u_{K1}} \cdot \frac{\Sigma S}{\Sigma S_N}$$

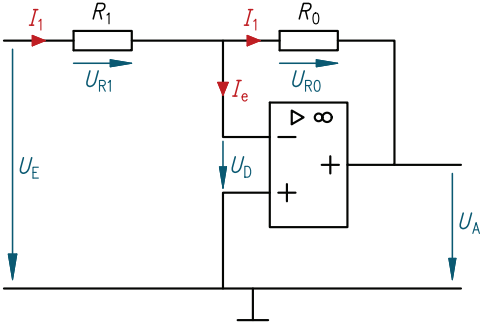
$$S_2 = S_{N2} \cdot \frac{u_k}{u_{K2}} \cdot \frac{\Sigma S}{\Sigma S_N}$$

$$S_3 = S_{N3} \cdot \frac{u_k}{u_{K3}} \cdot \frac{\Sigma S}{\Sigma S_N}$$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$S_1, S_2, S_3$	Lastabgabe der einzelnen Transformatoren	VA
$S_{N1}, S_{N2}, S_{N3}$	Bemessungsleistung der Transformatoren	VA
$\Sigma S_N$	Summe der Bemessungsleistungen aller Transformatoren	VA
$\Sigma S$	Summe der Verbraucherleistung	VA
$u_k$	Resultierende relative Kurzschlussspannung	%
$u_{K1}, u_{K2}, u_{K3}$	Relative Kurzschlussspannung aller Transformatoren	%

30.8 **Operationsverstärker – Grundsaltungen**

30.8.1 **Invertierender Verstärker**



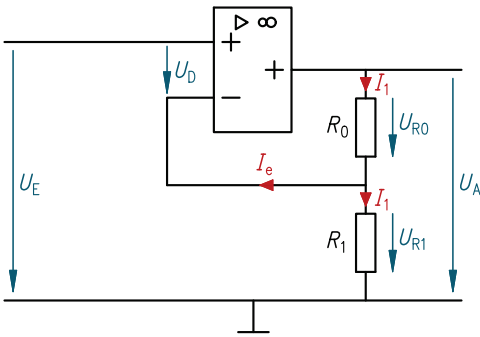
$$I_e \approx 0 \quad U_D \approx 0$$

$$U_E \approx U_{R1} \quad U_A = -U_{R0}$$

$$V_U = -\frac{U_A}{U_E} = \frac{U_{R0}}{U_{R1}} = \frac{R_0}{R_1}$$

$$U_A = -\frac{R_0}{R_1} \cdot U_E$$

30.8.2 **Nichtinvertierender Verstärker**



$$I_e \approx 0 \quad U_D \approx 0$$

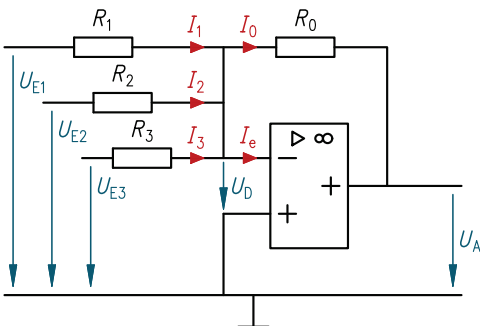
$$U_E \approx U_{R1} \quad U_A = U_{R0} + U_{R1}$$

$$V_U = \frac{U_A}{U_E} = \frac{U_{R0} + U_{R1}}{U_{R1}} = \frac{U_{R0}}{U_{R1}} + 1$$

$$\frac{U_{R0}}{U_{R1}} = \frac{R_0}{R_1} \quad V_U = \frac{R_0}{R_1} + 1$$

$$U_A = \left(\frac{R_0}{R_1} + 1\right) U_E$$

30.8.3 **Summierverstärker (Addierer)**



$$I_1 = \frac{U_{E1}}{R_1} \quad I_0 = \frac{U_A}{R_0}$$

$$I_2 = \frac{U_{E2}}{R_2} \quad I_e \approx 0$$

$$I_3 = \frac{U_{E3}}{R_3} \quad U_D \approx 0$$

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

$$-\frac{U_A}{R_0} = \frac{U_{E1}}{R_1} + \frac{U_{E2}}{R_2} + \frac{U_{E3}}{R_3}$$

$$U_A = -R_0 \left( \frac{U_{E1}}{R_1} + \frac{U_{E2}}{R_2} + \frac{U_{E3}}{R_3} \right)$$

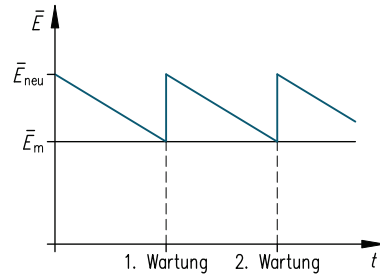
# 33 Licht- und Beleuchtungstechnik

light engineering

Für die Planung gilt:

$\bar{E} \geq \bar{E}_m$  muss jederzeit eingehalten werden!

$$\bar{E}_{neu} = \frac{\bar{E}_m}{WF}$$



Ablauf des Wirkungsgradverfahrens:

1. Mindestwert für die mittlere Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m$ bestimmen	$\bar{E}_m$
Tätigkeiten im Raum bestimmen $\bar{E}_m$ , Vorgaben siehe DIN EN 12464-1 oder technische Regeln für Arbeitsstätten ASR 3.4	
2. Lichtstrom <b>einer</b> Lampe $\Phi_0$ bestimmen	$\Phi_0$
z. B. aus Datenblatt der Lampe, ggf. befinden sich mehrere Lampen in einer Leuchte, dennoch zunächst mit Lampe weiterrechnen	
3. Raumwirkungsgrad $\eta_R$ bestimmen, dazu:	$\eta_R$
3.1 Berechnung des Raumindex $k = \frac{l \cdot b}{h_{eff} \cdot (l + b)} \quad \text{mit} \quad h_{eff} = h_R - h_L - h_A$	
3.2 Reflexionsgrad $\rho$ der Wände, Decke und Boden anhand der Farbe bestimmen Tabellen im Tabellenbuch nutzen!	
3.3 Raumwirkungsgrad $\eta_R$ bestimmen Tabellen im Tabellenbuch nutzen, benötigt werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lichtverteilung der Leuchte</li> <li>• Reflexionsgrade <math>\rho</math></li> <li>• Raumindex <math>k</math></li> </ul>	
4. Leuchten-Betriebswirkungsgrad $\eta_{LB}$ bestimmen	$\eta_{LB}$
Ist abhängig vom Leuchtentyp, siehe Tabellenbuch oder Datenblatt	
5. Beleuchtungswirkungsgrad $\eta_B$ berechnen	$\eta_B$
$\eta_B = \eta_R \cdot \eta_{LB}$	
6. Wartungsfaktor WF (MF) festlegen (Kehrwert des Planungsfaktors $p$ )	WF
Festlegung über Pauschalwerte oder individuelle Berechnung Pauschalwerte nach Verschmutzungsgrad: kaum: WF = 0,8; normal: WF = 0,67; erhöht: WF = 0,57; stark: WF = 0,5	
7. Benötigte Anzahl der Lampen berechnen	$n$
$n = \frac{\bar{E}_m \cdot l \cdot b}{\Phi_0 \cdot \eta_B \cdot WF}$ Achtung: In einer Leuchte können mehrere Lampen installiert sein!	