Formelsammlung Elektrotechnik im Technischen Gymnasium Baden-Württemberg 10-10-29

Inhaltsverzeichnis

Ladung....2
Spannung....2
Potenzial....2
Strom....2
Ohmsches Gesetz....3
Reihenschaltung....3
Parallelschaltung....3
Knoten- und Maschenregel....4
Widerstand und Temperatur....4
Leistung....4
Arbeit....4
Wirkungsgrad....4
Spannungsteiler....5
Brückenschaltung....5
Spule....6
Einschaltvorgang bei Spulen....6
Elektrostatisches Feld....7
Kondensator....7
Ladungsvorgang beim Kondensator....8
Wechselstrom....9
Zeigerdarstellung....9
Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand R)....10
Kapazität im Wechselstromkreis....11
Induktivität im Wechselstromkreis....11
Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und XL (induktiver Blindwiderstand)....12
Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und XC (kapazitiver Blindwiderstand)....13
Reihenschaltung R, XL und XC (RLC - Reihenschwingkreis)....14
Parallelschaltung R und XL....15
Parallelschaltung R und XC....16
Parallelschaltung R, XL und XC (RLC - Parallelschwingkreis)....17
Äquivalente Schaltungen....18
Blindleistungs-Kompensation....18
Siebschaltungen (passive Filter)....19
RC- und LR-Tiefpässe....20
CR- und RL-Hochpässe....20
Dreiphasiger Wechselstrom....21
Symmetrisches Dreiphasensystem....22
Verkettetes Dreiphasensystem....23
Digitaltechnik (Begriffe)....24
Zahlensysteme....24
Schaltalgebra (Verknüpfungsregeln)....25
Schaltnetze....27
Spezielle Schaltnetze (Addierer, Multiplexer, Komparator)....27
Codes....30
spezielle Bauteile (Takt, Monoflop, Treiber, Pull-Up, Pull-Down)....31
Speicher (Flipflops)....32
Impulsdiagramme (Zeitablaufdiagramme)....32
Schaltwerke....33
Zustandsdiagramm....33
Spezielle Schaltwerke (Zähler, Speicher, Schieberegister)....34
Programmierbare Logik....35
KV-Diagramme....36
Schaltzustände eines NPN-Transistors....38
Zehnerpotenzen....39
E-Reihen von Widerständen....39

Ladung

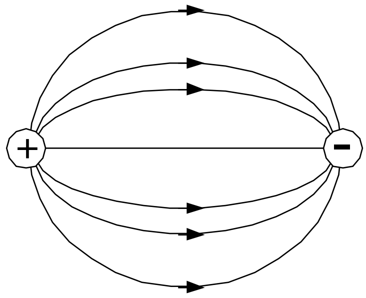
Als Ursache für messbare physikalische Erscheinungen (Kräfte, Licht...) wird in der Elektrotechnik eine Größe „**elektrische Ladung**" mit nebenstehenden Eigenschaften definiert

$$\boxed{Q = N \cdot e}$$

$[Q] = C = As$

e	Elementarladung (kleinstmögliche Ladung
N	Anzahl der Ladungsträger

- 2 Arten (positiv und negativ)
- gleichartige Ladungen stoßen sich ab, ungleichartige ziehen sich an
- Ladung ist übertragbar
- im Raum zwischen Ladungen wirken Kräfte auf Ladungen, die durch ein „elektrischen Feld" erklärt werden



Spannung

$$\text{Elektrische Spannung} = \frac{\text{Arbeit beim Transport der Ladung}}{\text{Ladungsmenge}}$$

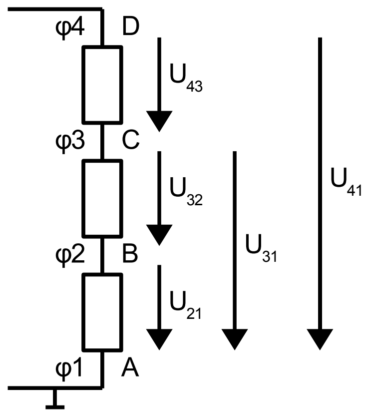
$$\boxed{U = \frac{W}{Q}} \qquad [U] = V = \frac{Ws}{As}$$

Die Spannung ist eine wichtige elektrotechnische Grundgröße, die als „Nennspannung" über den Einsatz von Geräten entscheidet.

Potenzial

Elektrisches Potenzial φ: Spannungsangabe bezogen auf einen Bezugspunkt (oft Schaltungsmasse)

→ Spannung eine Potenzialdifferenz: $\boxed{U_{21} = \varphi 2 - \varphi 1}$



φ1 = 0V

φ2 = 2V, φ3=5V, U_{41} = 10V.

U_{21} = φ2 - φ1 = 2V – 0V = 2V
U_{32} = φ3 - φ2 = 5V – 2V = 3V
U_{31} = φ3 - φ1 = 5V – 0V = 5V
U_{41} = 10V = φ4 – φ1 → φ4 = 10V weil φ1 = 0V
U_{43} = φ4 – φ3 = 10V – 5V = 5V

Am Widerstand liegt eine Spannung von 5V an.
Am Punkt D beträgt das Potential 10V.

Strom

Unter einer elektrischen Strömung („Strom") versteht man einen Transport von Ladungsträgern.

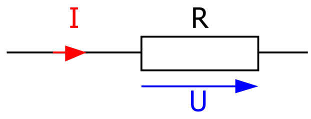
$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Ladungsmenge}}{\text{Zeit}}$$

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

$\boxed{I = \frac{dQ}{dt}}$ Wechselspannung

$[I] = A = \frac{As}{s}$

Ohmsches Gesetz



U	elektrische Spannung	[V]
R	ohmscher Widerstand	[Ω]
I	elektrischer Strom	[A]

$$\boxed{U = R \cdot I}$$

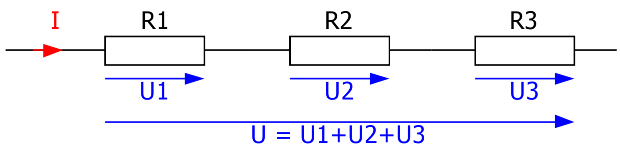
l	Leiterlänge	[m]
A	Leiterquerschnitt	[mm^2]
ρ	spezifischer Widerstand	[$\Omega \cdot mm^2/m$]
γ	spezifischer Leitwert (auch χ)	[$m/\Omega \cdot mm^2$]

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

Kupfer: $\varrho_{Cu} = 17{,}8 \cdot 10^{-5} \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Reihenschaltung

U	Gesamtspannung
U1, U2, U3	Teilspannungen
R	Gesamtwiderstand
R1, R2, R3	Einzelwiderstände



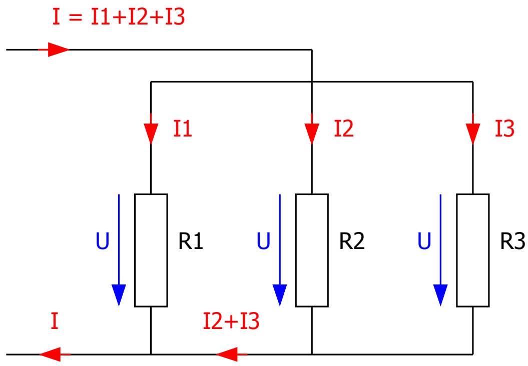
Durch jeden Widerstand fließt der selbe Strom I

$$\boxed{U = U1+U2+U3} \qquad \boxed{R = R1+R2+R3}$$

Parallelschaltung

I	Gesamtstrom
I1, I2, I3	Teilströme
R	Gesamtwiderstand
R1, R2, R3	Einzelwiderstände

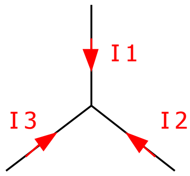
An jedem Widerstand liegt die selbe Spannung U



$$\boxed{I = I1+I2+I3} \qquad \boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}}$$

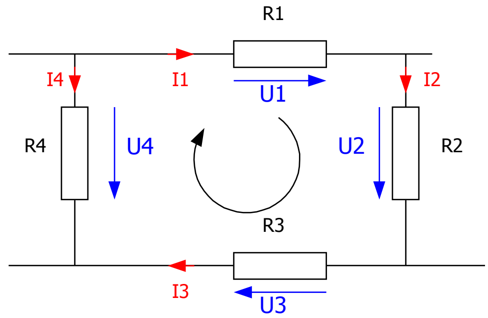
Knoten- und Maschenregel

Knotenregel



$$\boxed{I_1 + I_2 + I_3 + \dots = 0}$$

Maschenregel



$$\boxed{U1 + U2 + U3 - U4 = 0}$$

Widerstand und Temperatur

ΔR	= Widerstandsänderung	[Ω]
α	= Temperaturbeiwert	[-]
R_K	= Kaltwiderstand	
R_W	= Warmwiderstand	
$\Delta \vartheta$	= Temperaturänderung	[K]

$$\boxed{\Delta R = \alpha \cdot \Delta \vartheta \cdot R_K}$$

$$\boxed{R_W = R_K + \Delta R}$$

Leistung

P = elektrische Leistung

$$\boxed{P = U \cdot I} \quad \boxed{P = I^2 \cdot R} \quad \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

$$[P] = V \cdot A = W$$

Arbeit

W = elektrische Arbeit
t = Zeit

$$\boxed{W = P \cdot t}$$

$$[W] = V \cdot As = Ws = J$$

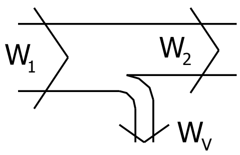
Wirkungsgrad

W_1 = zugeführte Arbeit (Energie)
W_2 = abgegebene Arbeit (Energie)
W_V = Verluste

$P_{1,2,V}$ = entsprechende (Leistung)

η = Wirkungsgrad

η_1, η_2 = Einzelwirkungsgrade



$$\boxed{W_V = W_1 - W_2}$$

$$\boxed{P_V = P_1 - P_2}$$

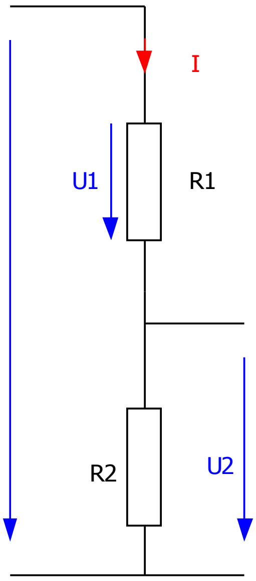
$$\boxed{\eta = \frac{W_2}{W_1}}$$

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

$$\boxed{\eta = \eta_1 \cdot \eta_2}$$

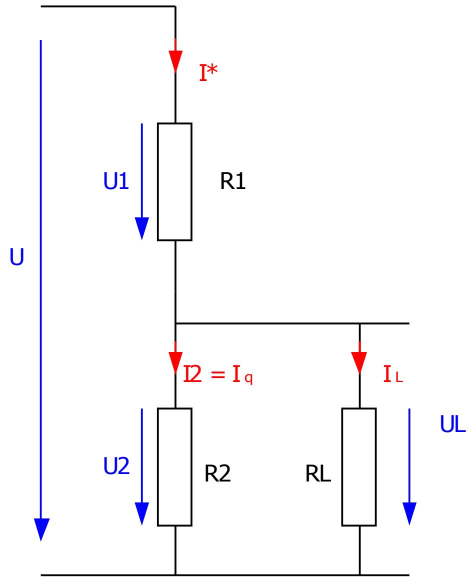
Spannungsteiler

unbelastet (Reihenschaltung)



$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$$

belastet (Gruppenschaltung)

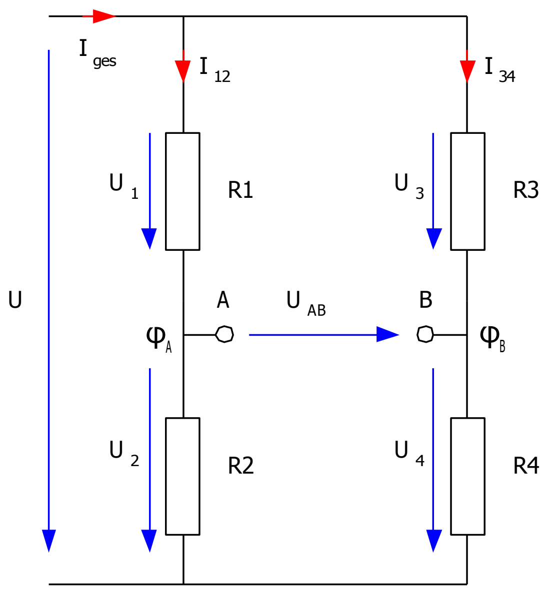


$$U_2 = \frac{R_{2L}}{R_1 + R_{2L}} \cdot U$$

$$R_{2L} = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

Iq	=	Querstrom
RL	=	Lastwiderstand
R_{2L}	=	Ersatzwiderstand für R2 und RL

Brückenschaltung



$$U_{AB} = U_2 - U_4$$

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

wenn: **U_{AB} = 0** (Abgleich)

$$\Rightarrow \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Spule

Das Material in dem die magnetischen Feldlinien verlaufen, beeinflusst die Induktivität.

A = vom Feld durchsetzte Fläche (Spulenquerschnitt)

$\mu_0 \triangleq 1{,}257 \cdot 10^{-6} \dfrac{Vs}{Am}$ Feldkonstante des magnetischen Feldes

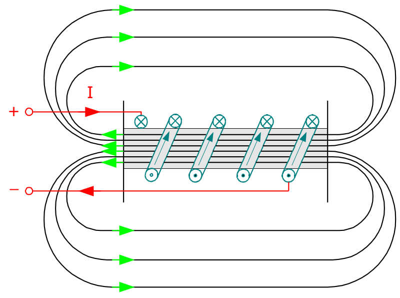
$\mu_r \triangleq$ Permeabilitätszahl

μ_r (Eisen) 200...6000

μ_r (Elektroblech) 500...7000

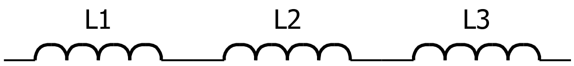
μ_r (Supermalloy) 100 000...

Die Permeabilitätszahl steigt zunächst mit zunehmender Feldstärke und und nimmt bei hohen Feldstärken wieder ab.



$$\boxed{L \approx \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}}$$

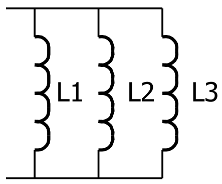
Reihenschaltung von Spulen



$$\boxed{L = L1 + L2 + L3}$$

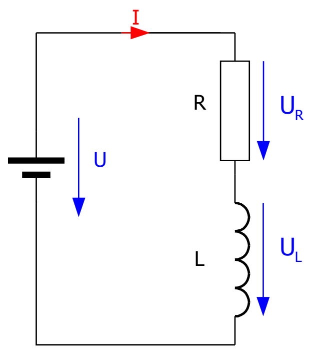
$$[L] = \frac{V \cdot s}{A} = 1H\,(\text{Henry})$$

Parallelschaltung von Spulen



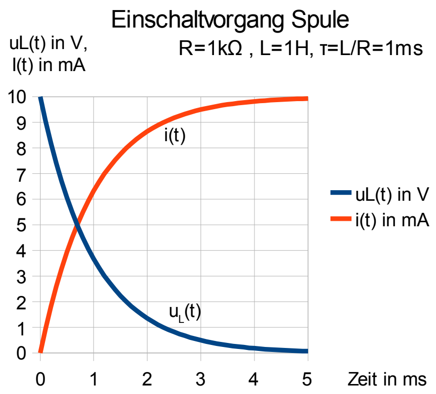
$$\boxed{\frac{1}{L} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3}}$$

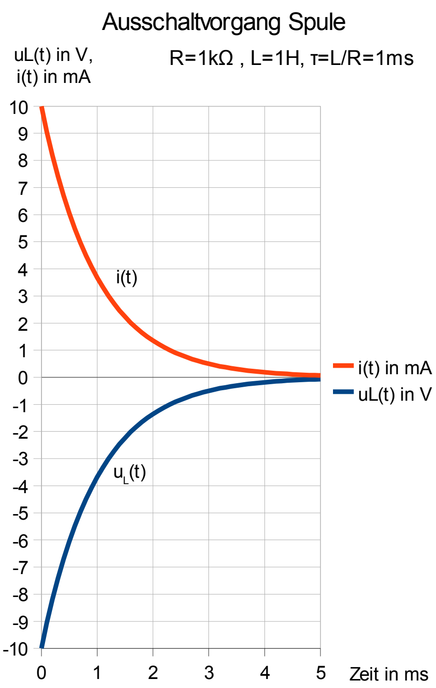
Einschaltvorgang bei Spulen



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

$\tau \triangleq$ Zeitkonstante des RL-Gliedes





Formeln Einschaltvorgang:

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

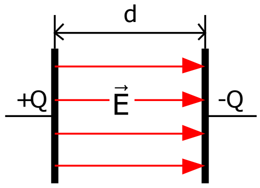
$$\boxed{u_R(t) = U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$$

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

Elektrostatisches Feld

Die einfachste Form bildet sich zwischen zwei parallelen Platten

E = elektrische Feldstärke
d = Plattenabstand



$$\boxed{U = E \cdot d}$$

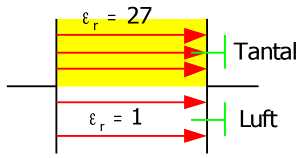
Die Kapazität eines Kondensators beschreibt den Zusammenhang zwischen gespeicherter Ladung Q und der Spannung U

C = Kapazität

$$\boxed{C = \frac{Q}{U}} \qquad [C] = \frac{A \cdot s}{V} = 1\,F\,(\text{Farad})$$

Kondensator

Das Material zwischen den Platten beeinflusst die Kapazität.



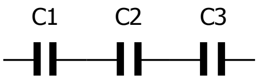
A = Plattenfläche einer Platte

$\varepsilon_0 = 0{,}885 \cdot 10^{-11} \frac{As}{V}$ Feldkonstante des el. Feldes

$\varepsilon_r \triangleq$ relative Dielektrizitätszahl
$\varepsilon_r\,(\text{Luft}) \approx 1$
$\varepsilon_r\,(\text{dest. Wasser}) \approx 80$
$\varepsilon_r\,(\text{Tantal}) \approx 27$

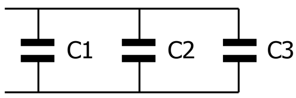
$$\boxed{C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}}$$

Reihenschaltung von Kondensatoren



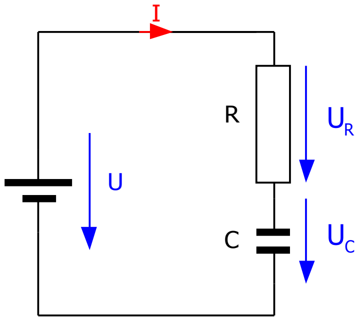
$$\boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}}$$

Parallelschaltung von Kondensatoren



$$\boxed{C = C1 + C2 + C3}$$

Ladungsvorgang beim Kondensator



$$\tau = R \cdot C$$

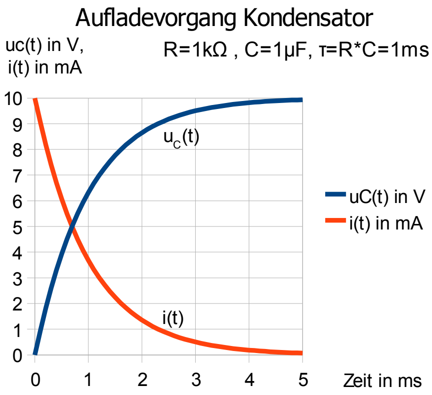
$\tau \triangleq$ Zeitkonstante des RC-Glied

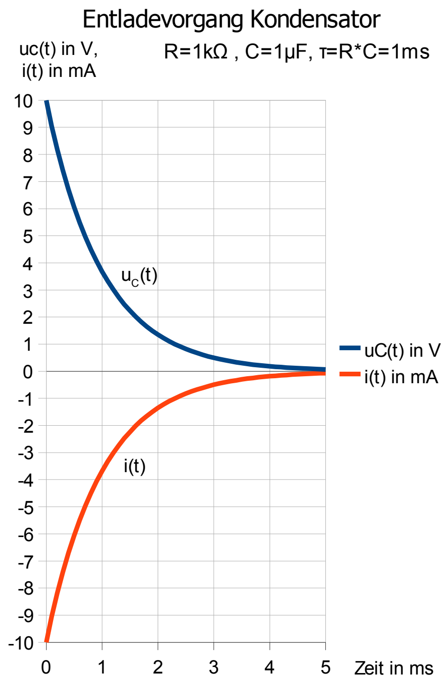
Formeln Aufladung:

$$u_R(t) = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

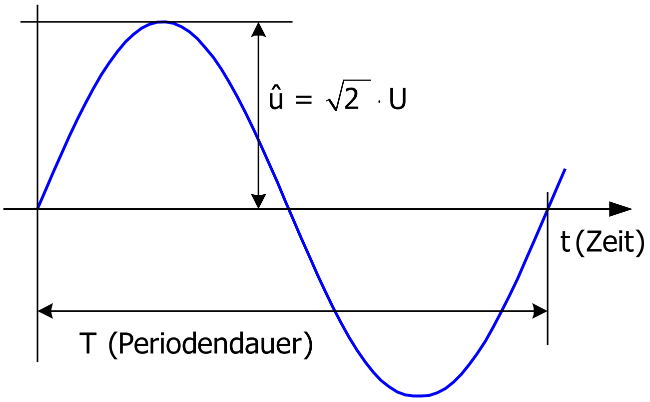
$$u_C(t) = U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

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





Wechselstrom



f (Frequenz) [Hz]

$T = \frac{1}{f}$ [s]

$\hat{u} \triangleq$ Scheitelwert bzw. Amplitude

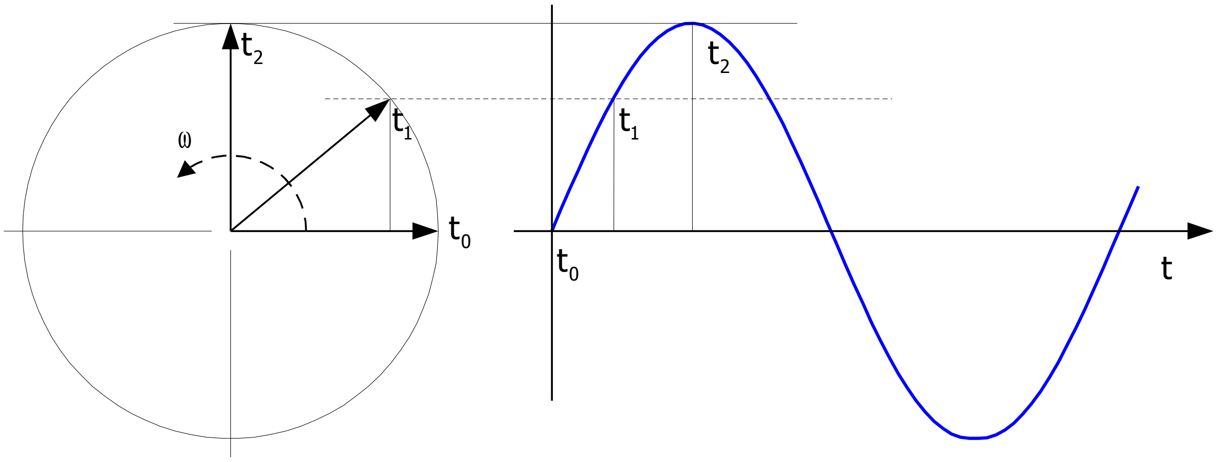
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \triangleq$ Kreisfrequenz [Hz]

$U = U_{eff}$ (Effektivwert)

Zeigerdarstellung

Sinusförmige Wechselgrößen können durch einen (im Gegenuhrzeigersinn) drehenden Zeiger dargestellt werden.

Die Zeigerlänge entspricht dem Scheitelwert die Drehfrequenz der Kreisfrequenz der Wechselgröße.

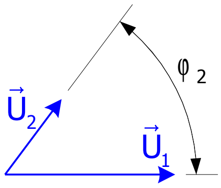


mit diesem rotierenden Zeiger können die Augenblickswerte für jeden Zeitpunkt ermittelt werden.

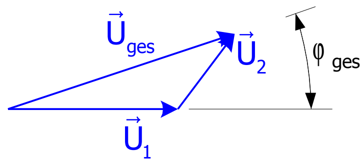
In der Praxis sind jedoch häufig die zeitunabhängigen Effektivwerte von Bedeutung. Sie lassen sich durch nicht rotierende Zeiger darstellen. Die Zeigerlänge entspricht dann dem Effektivwert der Wechselgröße - der Winkel entspricht der Phasenverschiebung gegenüber einem (meist willkürlich gewählten) . Zeitnullpunkt.

Mit diesen Zeigern lassen sich elektrische Wechselgrößen (Spannungen, Ströme und Leistungen) die gegeneinander phasenverschoben sind, leicht addieren und subtrahieren.Voraussetzung ist, dass die zu verknüpfenden Größen sinusförmig sind und die gleiche Frequenz haben.

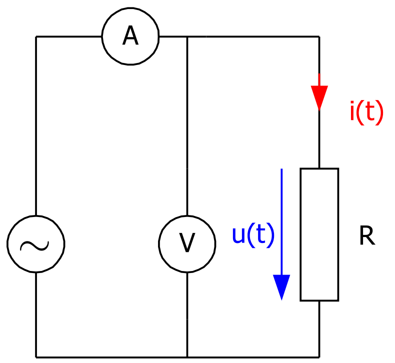
Beispiel (grafische Addition durch Zeigerverschiebung)

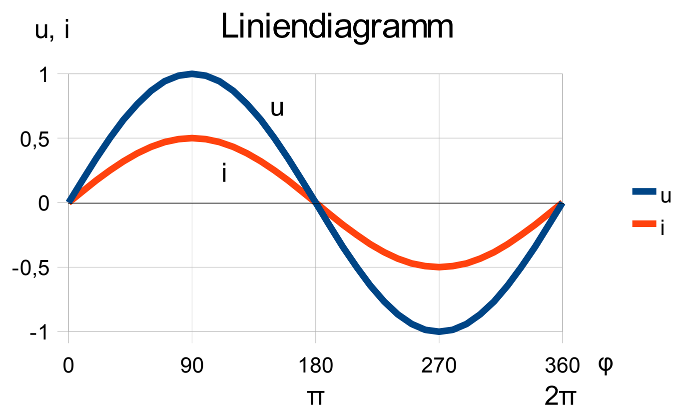


$\vec{U}_{ges} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2$



Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand R)



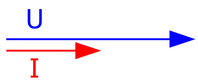


$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \hat{u} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

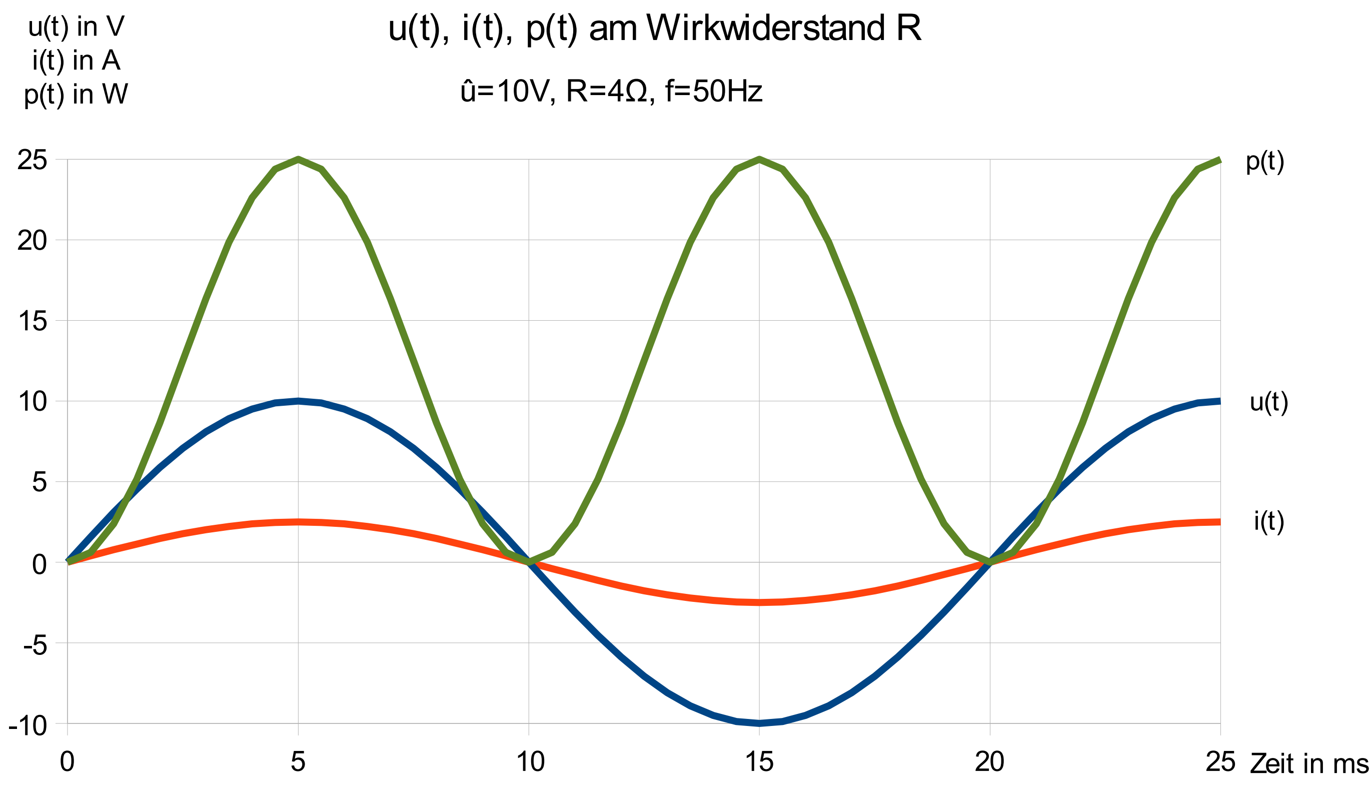
$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{\hat{u}}{R} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$$

Strom und Spannung sind „in Phase"
(gemeinsame Nulldurchgänge).

Zeiger (Effektivwerte)



Beispiel:

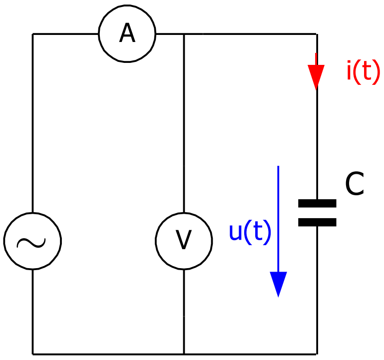


Strom, Spannung und Leistungsschwingung am Widerstand

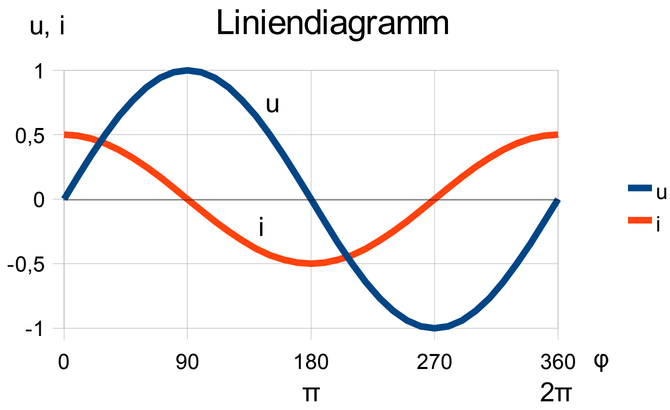
Kapazität im Wechselstromkreis

X_C kapazitiver Blindwiderstand

$$\boxed{X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}}$$



$$\boxed{u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)}$$



Strom und Spannung sind „phasenverschoben“ (der Strom verläuft 90° „**vor**eilend“).

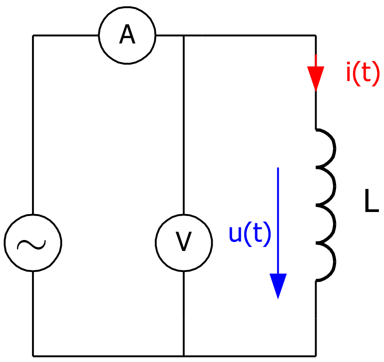
Zeiger (Effektivwerte):

$$\boxed{i(t) = \frac{\hat{u}}{X_C} \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \frac{\pi}{2})}$$

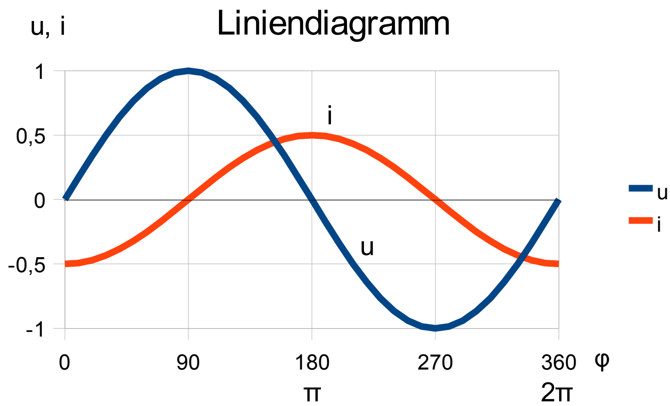
Induktivität im Wechselstromkreis

X_L Induktiver Blindwiderstand

$$\boxed{X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

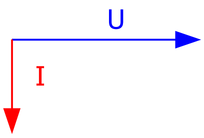


$$\boxed{u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)}$$



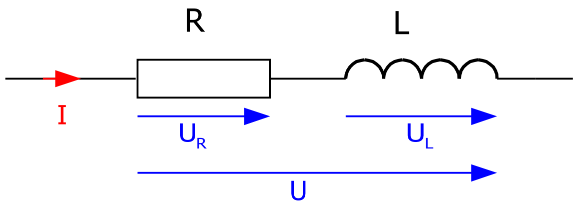
Strom und Spannung sind „phasenverschoben“ (der Strom verläuft 90° „**nach**eilend“).

Zeiger (Effektivwerte):



$$\boxed{i(t) = \frac{\hat{u}}{X_L} \cdot \sin(2\pi f \cdot t - \frac{\pi}{2})}$$

Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und X_L (induktiver Blindwiderstand)



X_L　Induktiver Blindwiderstand　$[X_L] = \Omega$

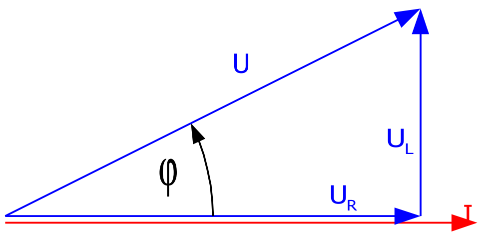
$$\boxed{X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

Z　Scheinwiderstand　$[Z] = \Omega$

U　Gesamtspannung

I　Strom

Spannungsdreieck



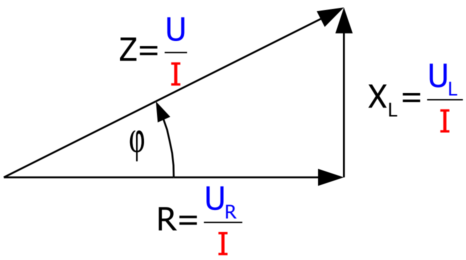
$$\boxed{\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L} \qquad \boxed{U_R = U \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{U^2 = U_R^{\,2} + U_L^{\,2}} \qquad \boxed{U_L = U \cdot \sin\varphi}$$

$$\boxed{U = \sqrt{U_R^{\,2} + U_L^{\,2}}} \qquad \boxed{U_R = I \cdot R}$$

$$\boxed{U_L = I \cdot X_L}$$

Widerstandsdreieck



Normierung mit I (ähnliches Dreieck)

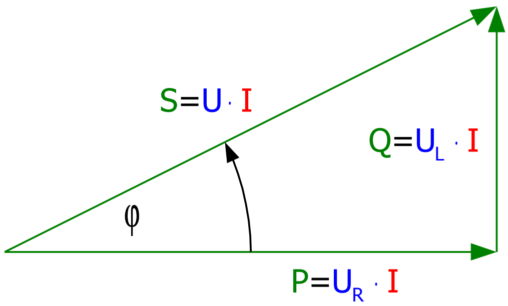
$$\boxed{\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L} \qquad \boxed{R = Z \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{Z^2 = R^2 + X_L^{\,2}} \qquad \boxed{X_L = Z \cdot \sin\varphi}$$

$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + X_L^{\,2}}} \qquad \boxed{Z = \frac{U}{I}}$$

$\cos\varphi$ = Wirkleistungsfaktor

Leistungsdreieck



Normierung mit 1/I (ähnliches Dreieck)

$$\boxed{\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}_L} \qquad \boxed{P = S \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{S^2 = P^2 + Q_L^{\,2}} \qquad \boxed{Q_L = S \cdot \sin\varphi}$$

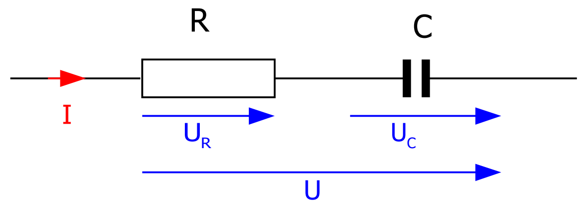
$$\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q_L^{\,2}}} \qquad \boxed{S = U \cdot I}$$

S　Scheinleistung　$[S] = V \cdot A$

P　Wirkleistung　$[P] = W$

Q　Blindleistung　$[Q] = var$

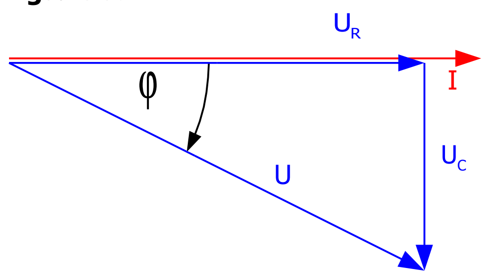
Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und X_C (kapazitiver Blindwiderstand)



X_C Kapazitiver Blindwiderstand $[X_C] = \Omega$

$$\boxed{X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}}$$

Spannungsdreieck



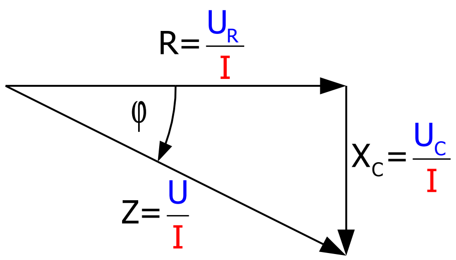
$$\boxed{\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C} \qquad \boxed{U_R = U \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{U^2 = U_R^{\,2} + U_C^{\,2}} \qquad \boxed{U_C = U \cdot \sin\varphi}$$

$$\boxed{U = \sqrt{U_R^{\,2} + U_C^{\,2}}} \qquad \boxed{U_R = I \cdot R}$$

$$\boxed{U_C = I \cdot X_C}$$

Widerstandsdreieck

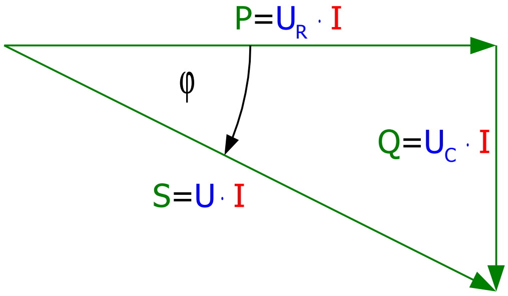


$$\boxed{\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_C} \qquad \boxed{R = Z \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{Z^2 = R^2 + X_C^{\,2}} \qquad \boxed{X_C = Z \cdot \sin\varphi}$$

$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + X_C^{\,2}}} \qquad \boxed{Z = \frac{U}{I}}$$

Leistungsdreieck

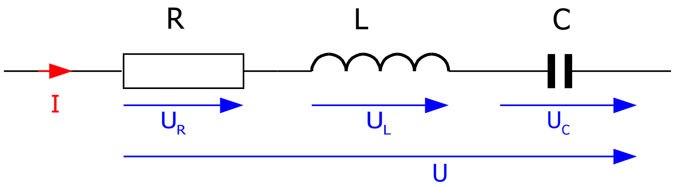


$$\boxed{\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}_C} \qquad \boxed{P = S \cdot \cos\varphi}$$

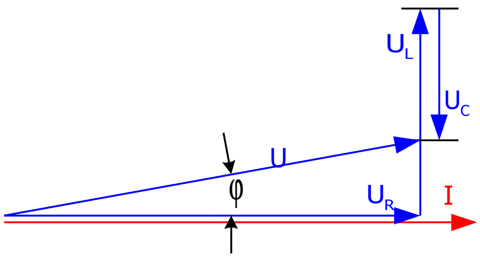
$$\boxed{S^2 = P^2 + Q_C^{\,2}} \qquad \boxed{Q_C = S \cdot \sin\varphi}$$

$$\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q_C^{\,2}}} \qquad \boxed{S = U \cdot I}$$

Reihenschaltung R, X_L und X_C (RLC - Reihenschwingkreis)



Spannungsdreieck



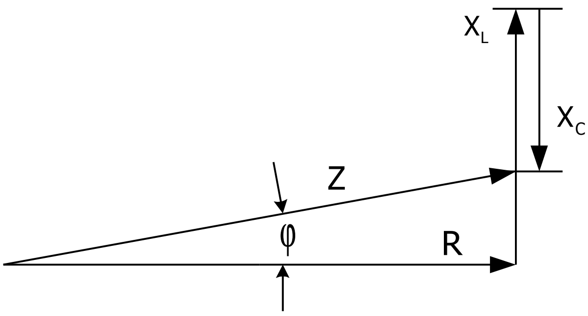
$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

$$U^2 = U_R^{\,2} + (U_L - U_C)^2$$

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

$$U_R = U \cdot \cos\varphi$$

Widerstandsdreieck



$$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L + \vec{X}_C$$

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

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

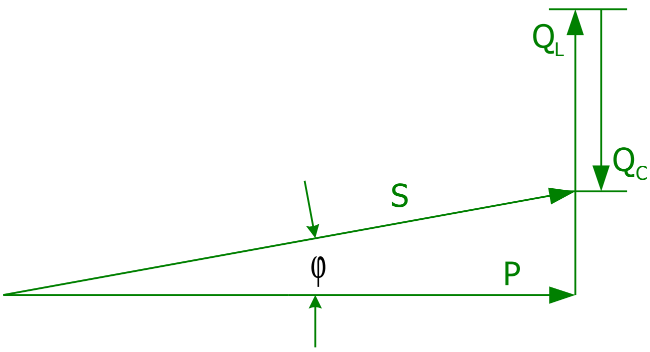
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

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

$$X = Z \cdot \cos\varphi$$

Leistungsdreieck



$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}_L + \vec{Q}_C$$

$$S^2 = P^2 + (Q_L - Q_C)^2$$

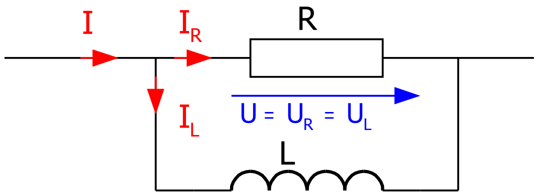
$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

$$S = U \cdot I$$

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

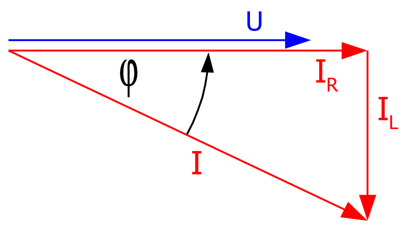
$$Q = S \cdot \sin\varphi$$

Parallelschaltung R und X_L



L	Induktivität
I_L	Spulenstrom (Blindstrom)
I_R	Wirkstrom
I	Gesamtstrom
U	Gesamtspannung
Z	Scheinwiderstand

Zeigerdiagramm der **Ströme**

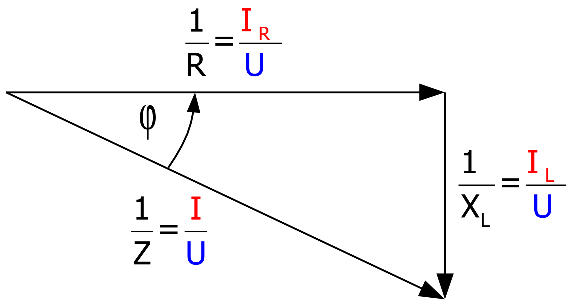


$$\boxed{\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L} \qquad \boxed{I_R = I \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{I^2 = I_R^2 + I_L^2} \qquad \boxed{I_L = I \cdot \sin\varphi}$$

$$\boxed{I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}} \qquad \boxed{I_R = \frac{U}{R}} \qquad \boxed{I_L = \frac{U}{X_L}}$$

Leitwertsdreieck



Normierung mit 1/U (ähnliches Dreieck)

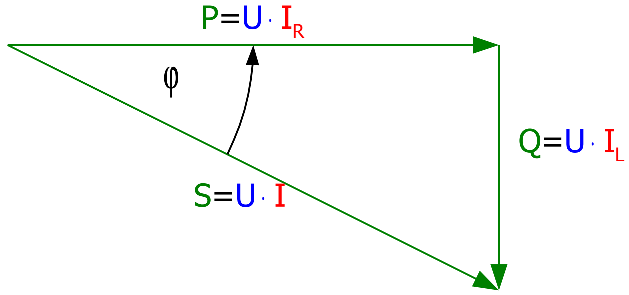
$$\boxed{\frac{1}{\vec{Z}} = \frac{1}{\vec{R}} + \frac{1}{\vec{X}_L}} \qquad \boxed{\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}}$$

$$\boxed{\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}}} \qquad \boxed{\frac{1}{Z} = \frac{I}{U}}$$

$$\boxed{\cos\varphi = \frac{Z}{R}} \qquad \boxed{\sin\varphi = \frac{Z}{X_L}}$$

$$\text{Leitwert} = \frac{1}{\text{Widerstand}}$$

Leistungsdreieck

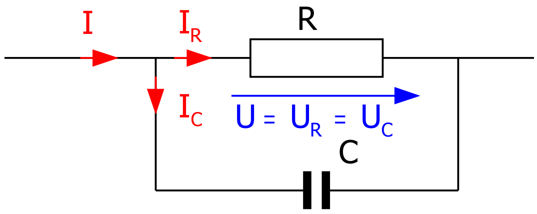


$$\boxed{\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}_L} \qquad \boxed{P = S \cdot \cos\varphi}$$

$$\boxed{S^2 = P^2 + Q_L^2} \qquad \boxed{Q_L = S \cdot \sin\varphi}$$

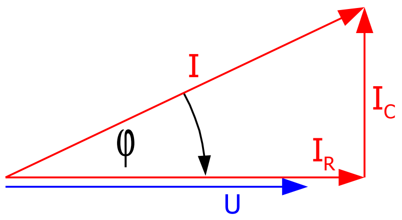
$$\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}} \qquad \boxed{S = U \cdot I}$$

Parallelschaltung R und X_C



C	Kapazität
I_C	Kondensatorstrom (Blindstrom)
I_R	Wirkstrom
I	Gesamtstrom
U	Gesamtspannung

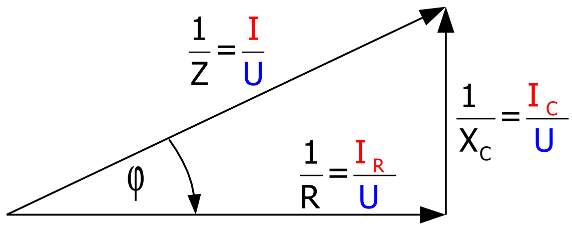
Zeigerdiagramm der **Ströme**



$$\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_C \qquad I_R = I \cdot \cos\varphi$$

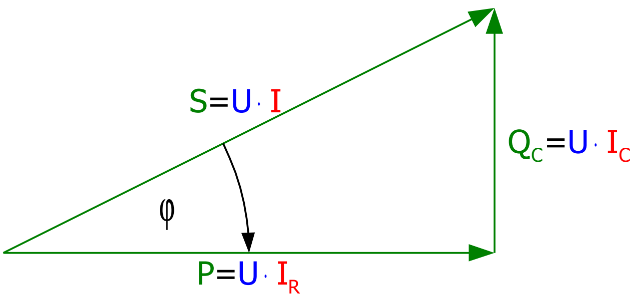
$$I^2 = I_R^2 + I_C^2 \qquad I_C = I \cdot \sin\varphi$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \qquad I_R = \frac{U}{R} \qquad I_C = \frac{U}{X_C}$$



$$\frac{1}{\vec{Z}} = \frac{1}{\vec{R}} + \frac{1}{\vec{X}_C} \qquad \frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}$$

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



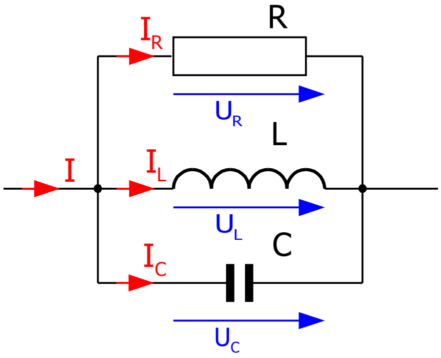
$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}_L \qquad P = S \cdot \cos\varphi$$

$$S^2 = P^2 + Q_L^2 \qquad Q_L = S \cdot \sin\varphi$$

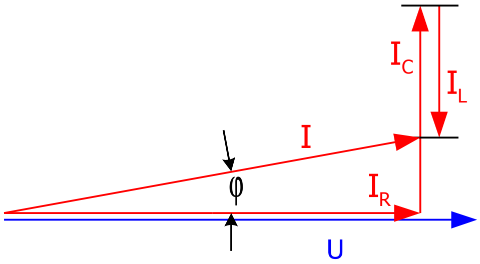
$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \qquad S = U \cdot I$$

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{Z} \cdot \sin\varphi \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{Z} \cdot \cos\varphi$$

Parallelschaltung R, X_L und X_C (RLC - Parallelschwingkreis)



Abhängig von der Frequenz kann die Schaltung induktiv, kapazitiv oder als ohmscher Widerstand wirken.



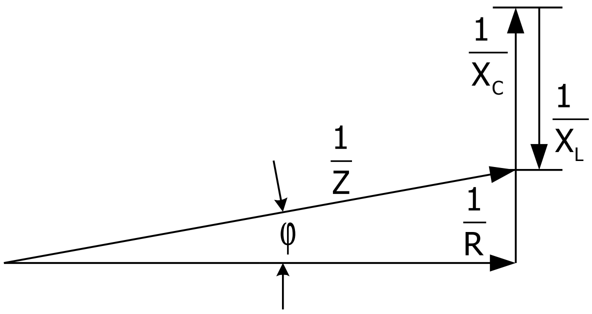
$\vec{U} = \vec{U}_R = \vec{U}_L = \vec{U}_C$ gemeinsame Spannung

$$\boxed{\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C}$$

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

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

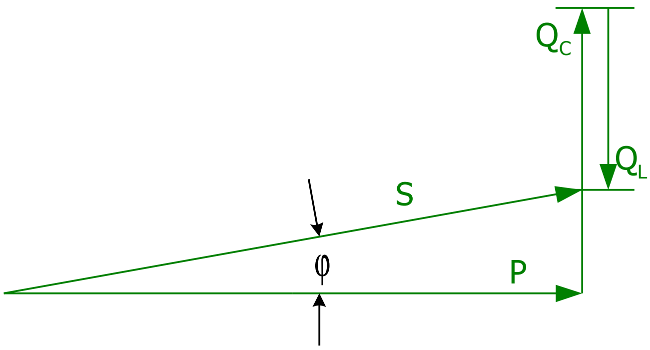
$$\boxed{I_R = I \cdot \cos\varphi}$$



$$\boxed{\frac{1}{\vec{Z}} = \frac{1}{\vec{R}} + \frac{1}{\vec{X}_L} + \frac{1}{\vec{X}_C}}$$

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

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

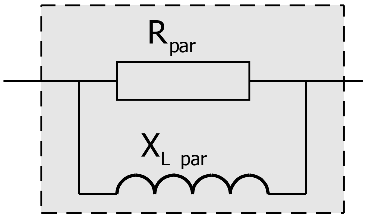


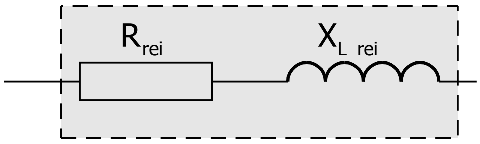
Formeln s. Reihenschaltung RLC.

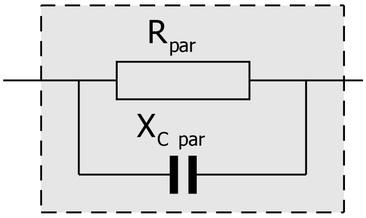
Induktive und kapazitive Blindleistung sind um 180° phasenverschoben → sie kompensieren sich (wenn $Q_C = Q_L$ → vollständige Kompensation).

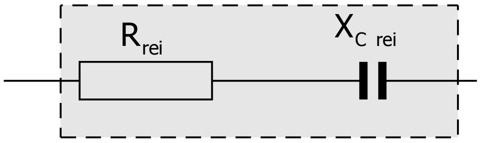
Die Scheinleistung S ist eine reine Rechengröße die nicht direkt gemessen werden kann.

Äquivalente Schaltungen









Reihen und Parallelschaltung sind nur dann elektrisch gleichwertig, wenn ihre Scheinwiderstände in Betrag und Phasenlage übereinstimmen!

$Z_{par} = Z_{rei}$ und $\varphi_{par} = \varphi_{rei}$

→ die Umrechnung ist immer nur für eine bestimmte Frequenz zulässig.

$Z_{par}^{2} = Z_{rei}^{2} = \boxed{Z^2 = R_{rei} \cdot R_{par}}$

$\boxed{Z^2 = X_{L\,rei} \cdot X_{L\,par}}$

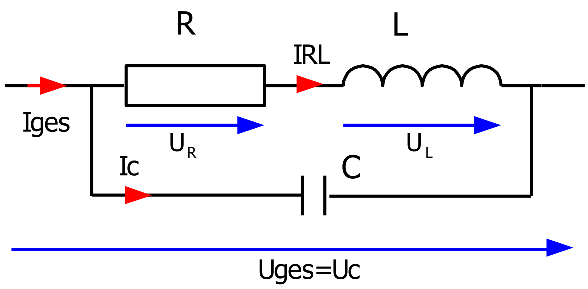
$\boxed{Z^2 = X_{C\,rei} \cdot X_{C\,par}}$

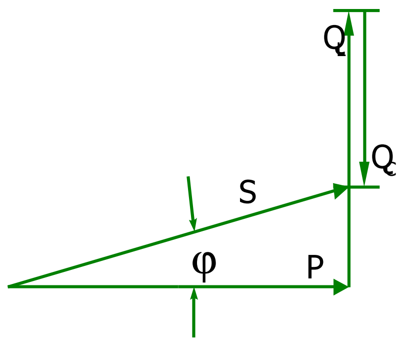
Schaltungsumwandlungen könne die Berechnung der Werte für Z_{ges}, U_{ges} oder I_{ges} erleichtern

→ zur Bestimmung Teilgrößen (I_n, U_n ...) in bestimmten Leitungsabschnitten muss in die ursprüngliche Schaltung zurück gewandelt werden.

Blindleistungs-Kompensation

Leistungsfaktor $\cos\varphi = \frac{P}{S}$, wobei φ der Winkel zwischen Uges und Iges ist



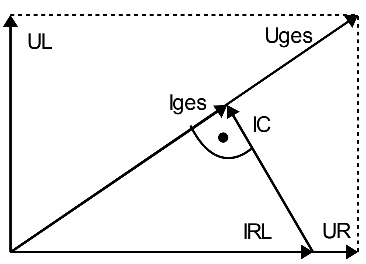


$$S^2 = P^2 + (Q_L - Q_C)^2$$

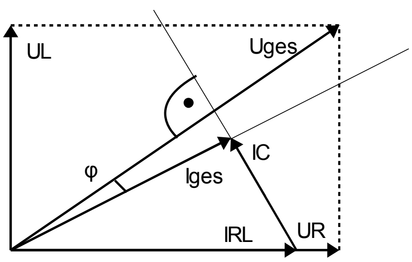
wobei (P=P1+P2+...), (QC=QC1+QC2+...), (QL=QL1+QL2+...)

Vollständige Kompensation

$Q_C = Q_L$
S = P
cosφ=1
Z = R.



Teilweise Kompensation



Siebschaltungen (passive Filter)

Grenzfrequenz:

Die Grenze zwischen Durchlass- und Sperrbereich ist durch die Grenzfrequenz festgelegt.

bei $f = f_g$ gilt :

$$U_a = \frac{U_e}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot U_e$$

$U_R = U_C$ bzw. $U_L = U_R$

$R = X_C$ bzw. $X_L = R$

$$P_a = \frac{P_e}{2}$$

Amplitudengang

Die Ausgangsspannung Ua ist in Abhängigkeit von der Frequenz stets kleiner (oder gleich) der Eingangsspannung Ue.

Das Verhältnis Ua/Ue wird als Amplitudengang bezeichnet.

$$\frac{U_a}{U_e} = \text{Amplitudengang} = f(\text{Frequenz})$$

Phasengang

Die Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgangsspannung ist ebenfalls frequenzabhängig und wird als Phasengang bezeichnet.

$$\measuredangle U_a, U_e = \text{Phasengang} = f(\text{Frequenz})$$

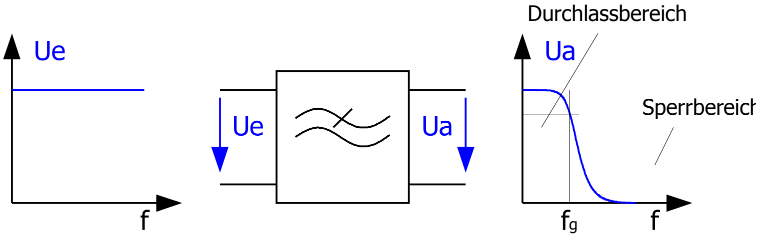
Verstärkungsmaß

Die Dämpfung (Verstärkung) der Eingangsspannung wird oft im Verstärkungsmaß **a** angegeben.

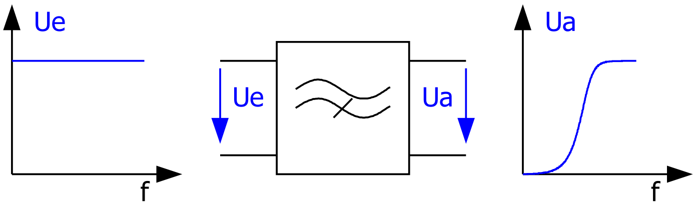
$$a = \left|\frac{U_a}{U_e}\right|_{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{U_a}{U_e}\right)$$

$$[a] = \text{dB (Dezibel)}$$

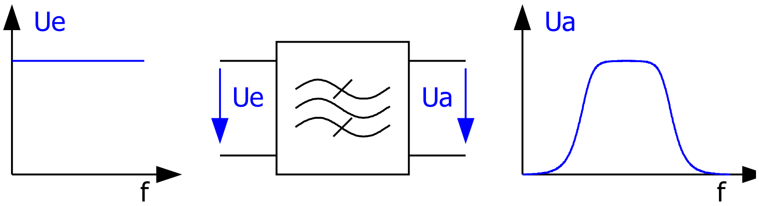
Tiefpass



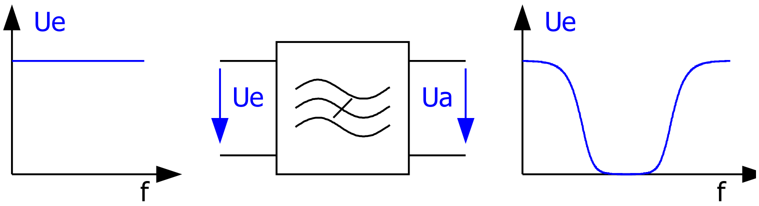
Hochpass



Bandpass



Bandsperre



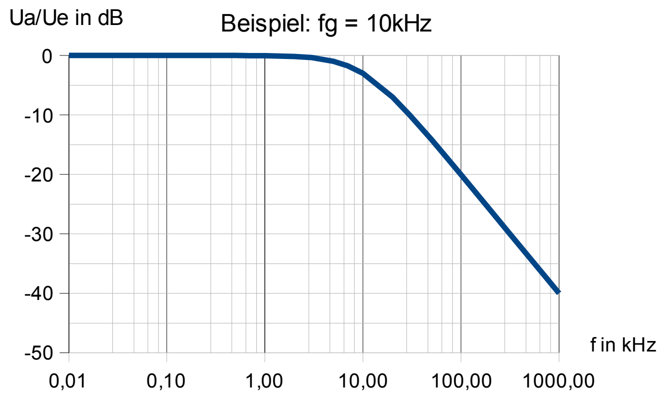
Beispiele:

$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ Verstärkung $\Rightarrow \left|\frac{U_a}{U_e}\right|_{dB} = 20 \cdot \log(0{,}707) = -3\text{dB}$ (Dezibel)

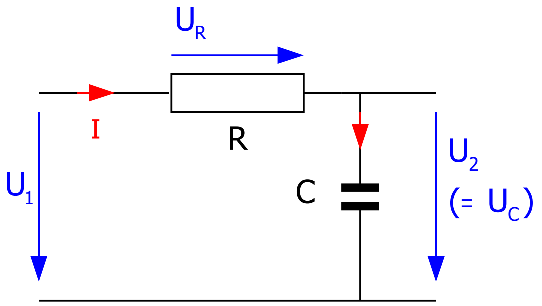
$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{10}$ Verstärkung $\Rightarrow \left|\frac{U_a}{U_e}\right|_{dB} = 20 \cdot \log(0{,}1) = -20\text{dB}$ (Dezibel)

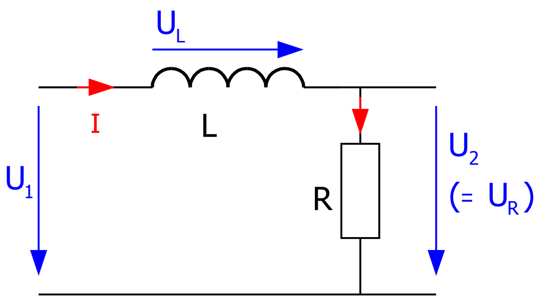
Tiefpass: Verstärkung in dB

Beispiel: fg = 10kHz



RC- und LR-Tiefpässe

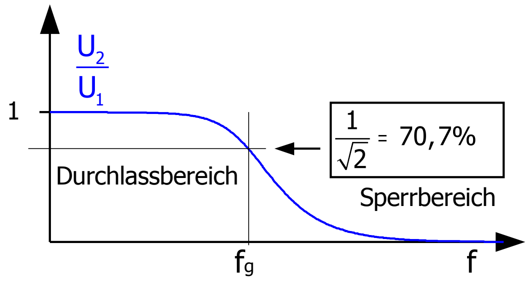




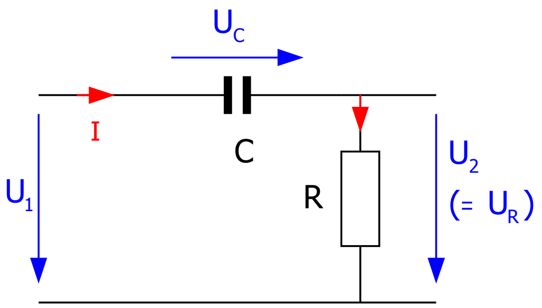
Grenzfrequenz

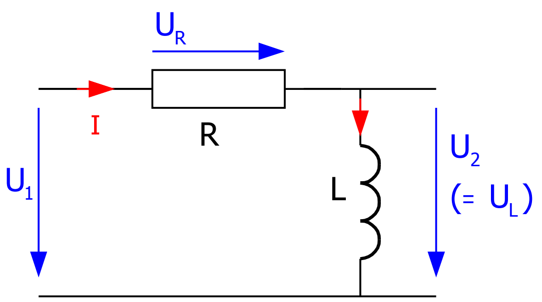
$$f_G = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad \text{(RC-Tiefpass)}$$

$$f_G = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{R}} \quad \text{(RL-Tiefpass)}$$



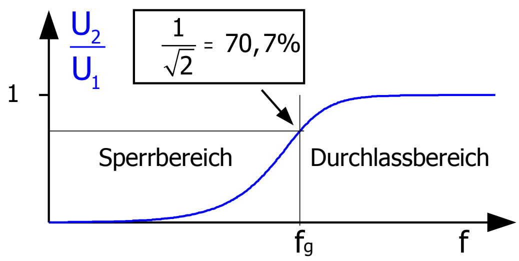
CR- und RL-Hochpässe



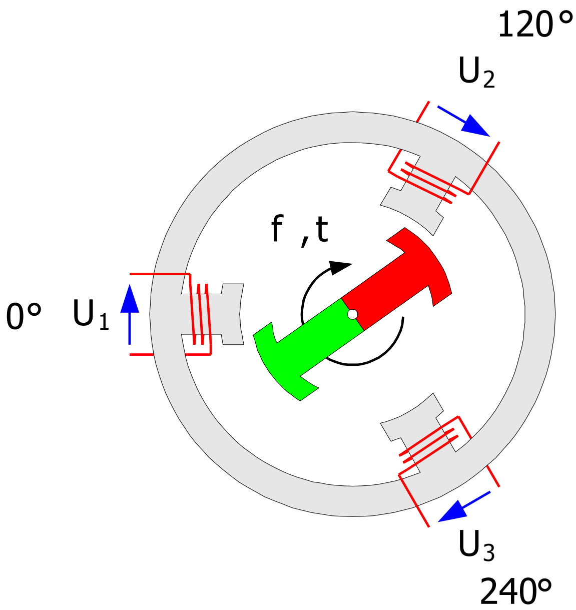


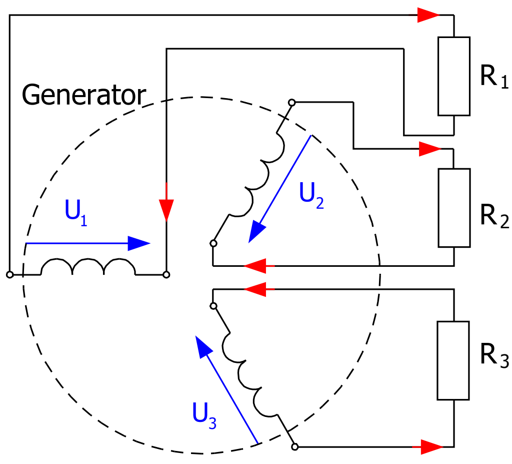
$$f_G = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad \text{(RC-Hochpass)}$$

$$f_G = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{R}} \quad \text{(RL-Hochpass)}$$



Dreiphasiger Wechselstrom



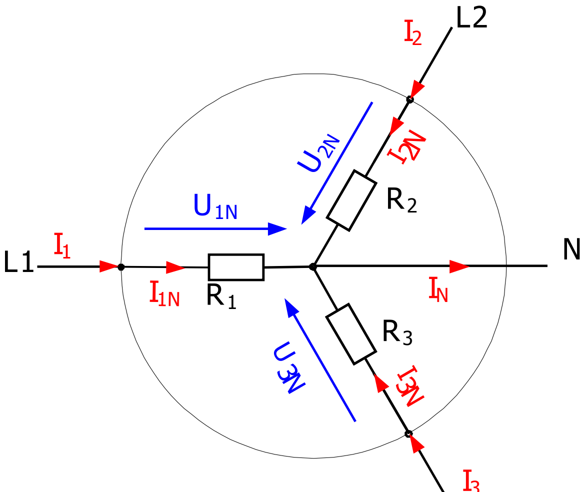


unverkettetes Dreiphasensystem

Das unverkettete Dreiphasensystem benötigt für die Energieübertragung bis zum Verbraucher 6 Leitungen

Sternschaltung:

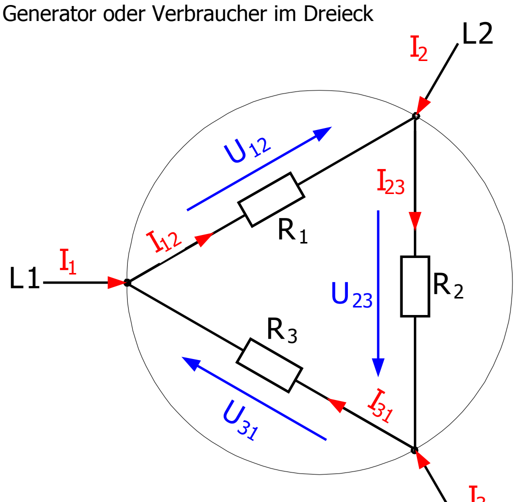
Verschalten (verketten)
von Generator oder Verbraucher im Stern



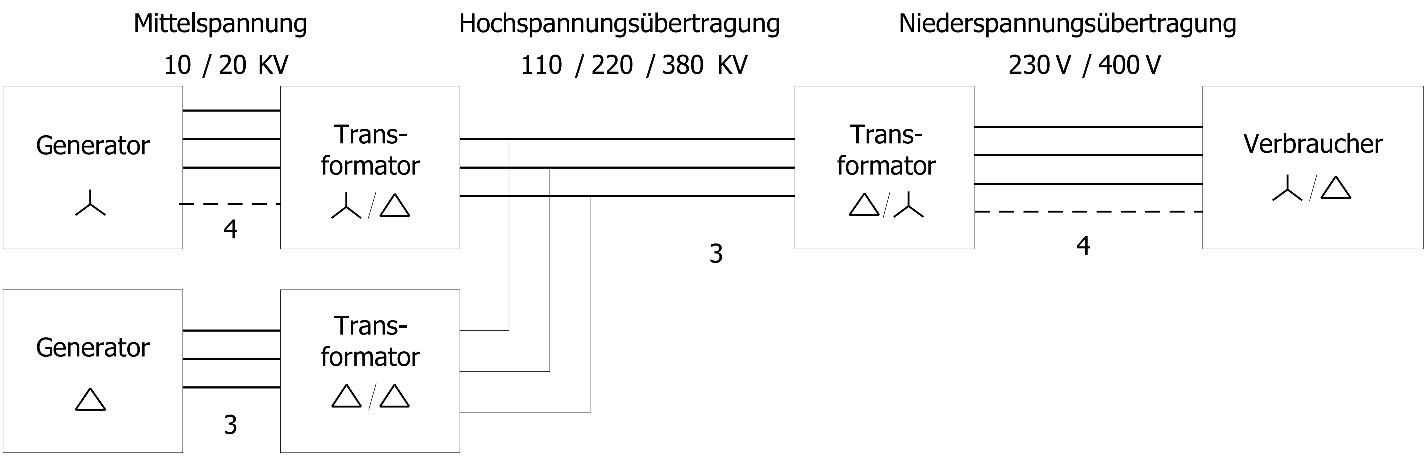
In Sternschaltung werden vom Generator bis zum Verbraucher 4 Leitungen benötigt

Dreieckschaltung:

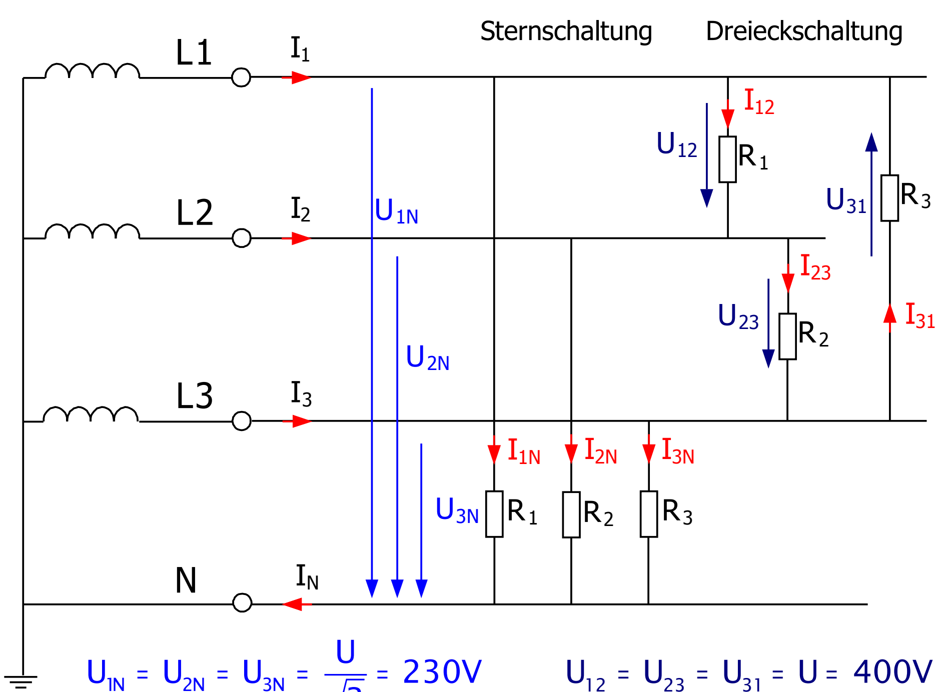
Verschalten (verketten)
von Generator oder Verbraucher im Dreieck

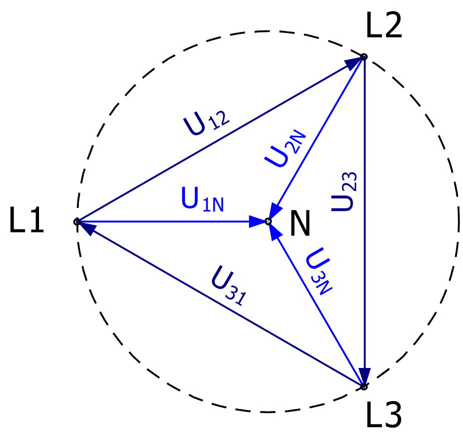


In Dreieckschaltung werden vom Generator bis zum Verbraucher 3 Leitungen benötigt



Symmetrisches Dreiphasensystem

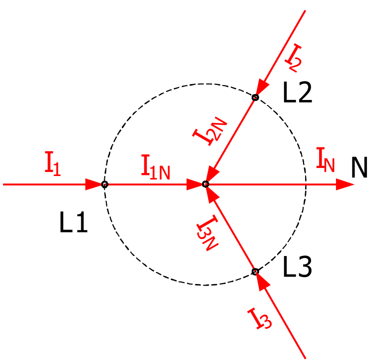




Schaltungstechnische Verkettung der Spannungen

$$U_{1N} = U_{2N} = U_{3N} = \frac{U}{\sqrt{3}} = 230V \qquad U_{12} = U_{23} = U_{31} = U = 400V$$

Ströme in der Sternschaltung

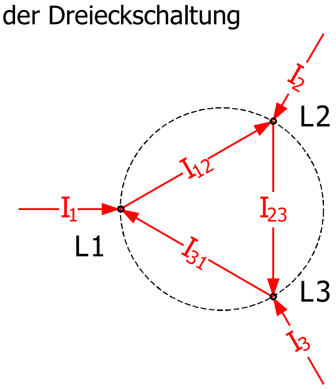


$$\vec{I}_{1N} = \vec{I}_1$$
$$\vec{I}_{2N} = \vec{I}_2$$
$$\vec{I}_{3N} = \vec{I}_3$$
$$\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

I_{1N}, I_{2N}, I_{3N} ≙ Strangströme

I_1, I_2, I_3 ≙ (Außen-)Leiterströme

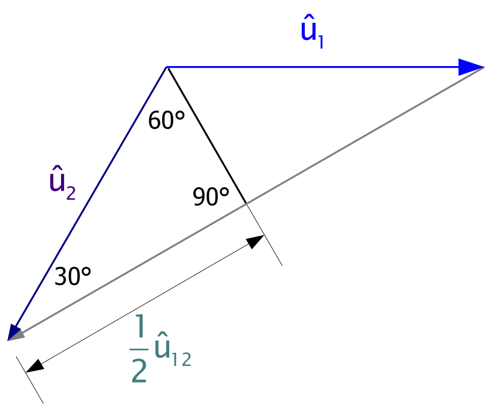
Ströme in der Dreieckschaltung



$$\vec{I}_1 = \vec{I}_{12} - \vec{I}_{31}$$
$$\vec{I}_2 = \vec{I}_{23} - \vec{I}_{12}$$
$$\vec{I}_3 = \vec{I}_{31} - \vec{I}_{23}$$

Bei symmetrischer Belastung gilt (analog zu den Spannungen) für die Ströme: $I_1 = I_2 = I_3 = \sqrt{3} \cdot I_{Str}$

I_{12}, I_{23}, I_{31} ≙ Strangströme



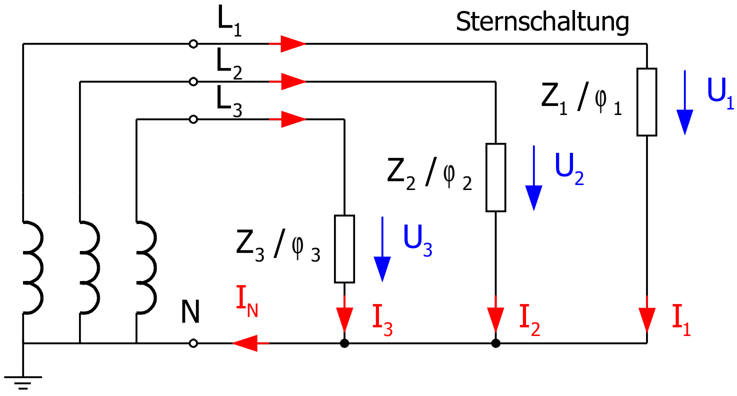
$$\frac{1}{2}\hat{u}_{12}$$

Verkettungsfaktor

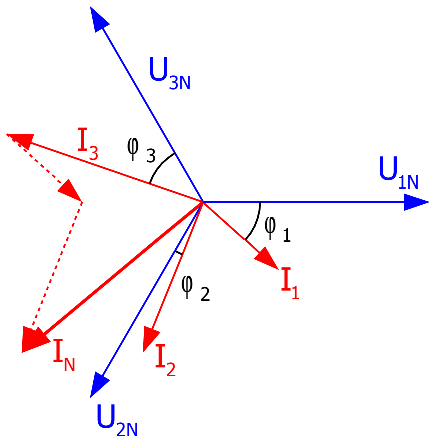
$$\cos 30^\circ = \frac{1}{2}\sqrt{3} = \frac{\frac{1}{2}\hat{u}_{12}}{\hat{u}_2} \Rightarrow \sqrt{3} = \frac{\hat{u}_{12}}{\hat{u}_2} = \frac{U_{12}}{U_2}$$

$$\boxed{U_{\curlywedge} = \frac{U_{\triangle}}{\sqrt{3}}} \qquad 230V = \frac{400V}{\sqrt{3}}$$

Verkettetes Dreiphasensystem

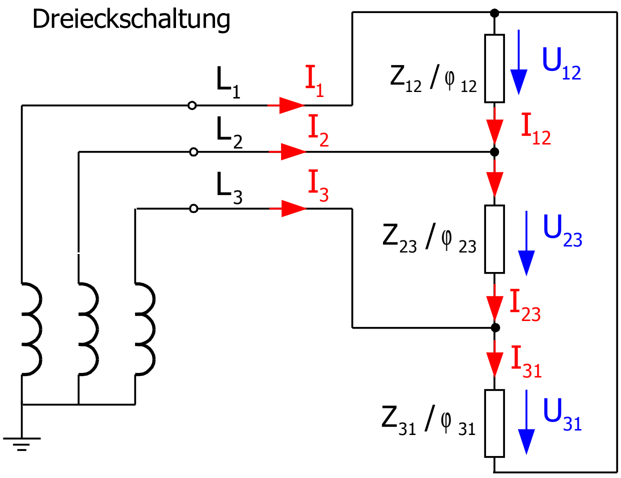


Beispiel:

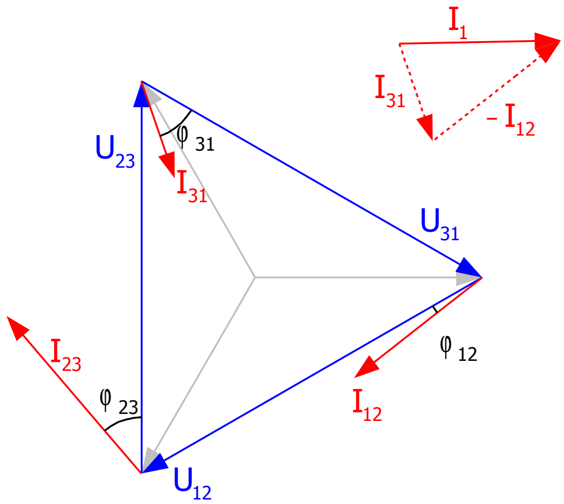


- Durch Verkettung der drei Systeme werden 2 (Rück-)Leitungen eingespart.
- Sternpunkt von Generator (Quelle) und Verbraucher werden durch den Neutralleiter verbunden
- Zwischen den Außenleitern (L1,L2,L3) entstehen eine verkettete Spannungen (U12, U23 und U31)
- Die verketteten Spannungen sind untereinander ebenfalls 120° phasenverschoben.

$$u_{12}(t) = \sqrt{3} \cdot \hat{u}_1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f - \frac{\pi}{6}) \qquad U_{12} = \sqrt{3} \cdot U_1$$



Beispiel:



Digitaltechnik (Begriffe)

Schaltalgebra (auch boolesche Algebra)	Liefert die mathematischen Grundlagen der Digitaltechnik. Sie beschreibt das Verhalten von Funktionen mit binären Variablen
Schaltfunktionen (logische Funktionen)	Diese Gleichungen dienen der mathematischen Beschreibung digitaler Schaltungen
KV-Tafeln (Karnaugh und Veitch)	Grafisches Hilfsmittel, das zur Minimierung von Schaltfunktionen benutzt wird und nach den Erfindern benannt wurde
Gatter (Verknüpfungsbausteine)	Digitaler Schaltkreis, in dem eine logische Verknüpfung zwischen Ein- und Ausgangssignal stattfindet.
Schaltnetze (kombinatorische Schaltung)	Schaltungen, die kein Speicherverhalten aufweisen (abgesehen von Laufzeiteffekten zeigen diese Schaltungen kein Zeitverhalten).
Schaltwerke	Schaltungen mit Speichern (Flipflops) (Zeitverhalten)

Zahlensysteme

Die Anzahl der Zeichen (Zeichenvorrat) und das Bildungsgesetz (Codierung) bestimmen ein Zahlensystem.

Das „übliche" dezimale Zahlensystem basiert auf 10 unterschiedlichen Zeichen (Ziffern 0...9) – man spricht von der Basis 10 – und hat folgendes Bildungsgesetz:

$$N = \sum_{i=0}^{n} a_i \cdot 10^i$$

Dualzahlen haben „nur" 2 unterschiedliche Zeichen (0, 1) → die Basis ist 2:

$$N = \sum_{i=0}^{n} a_i \cdot 2^i$$

Das Hexadezimalsystem (Sedezimalsystem) unterscheidet 16 verschiedne Zeichen (0, 1, 2, ...9, A, B, C, D, E, F) → die Basis ist 16:

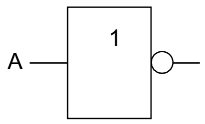
$$N = \sum_{i=0}^{n} a_i \cdot 16^i$$

Zur eindeutigen Identifizierung ist es (bei der Verwendung unterschiedlicher Zahlensysteme) notwendig, dass diese gekennzeichnet werden!

1010b (Dualzahl – binär)	auch:	1010_{bin}
1010d (Dezimalzahl – dezimal)		1010_{dez}
1010h (Hexadezimalzahl – hex..)		1010_{hex}

Schaltalgebra (Verknüpfungsregeln)

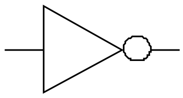
NOT (Negation)



Y = !A
Y = NOT A
Y = /A
$Y = \overline{A}$
$Y = \neg A$

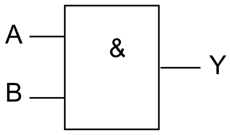
A	Y
0	1
1	0

auch zulässig:



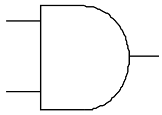
Negation / Complement

AND (Konjunktion)



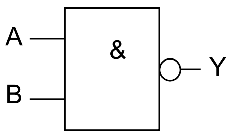
Y = A & B
Y = A AND B
$Y = A \cdot B$
$Y = A \wedge B$

B	A	Y
X	0	0
0	X	0
1	1	1



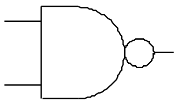
Eine UND Verknüpfung ist dann (und nur dann) high, wenn alle Eingänge high sind.

NAND

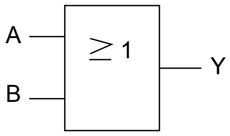


Y = !(A & B)
Y = NOT(A AND B)
$Y = /(A \cdot B)$
$Y = \overline{A \wedge B}$

B	A	Y
0	X	1
X	0	1
1	1	0

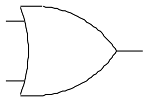


OR (Disjunktion)



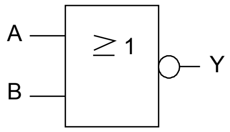
Y = A + B
Y = A OR B
Y = A + B (nicht in ABEL)
$Y = A \vee B$

B	A	Y
0	0	0
X	1	1
1	X	1



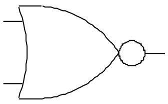
Eine ODER Verknüpfung ist dann (und nur dann) low, wenn alle Eingänge low sind

NOR

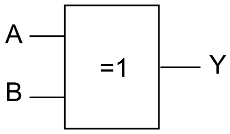


Y = !(A + B)
Y = NOT (A AND B)
Y = /(A + B)
$Y = \overline{A \vee B}$

B	A	Y
0	0	1
X	1	0
1	X	0

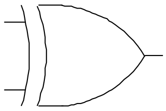


XOR (Antivalenz)

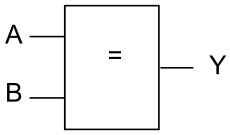


Y = A $ B
Y = A XOR B
Y = A/B + /AB
$Y = A \oplus B$

B	A	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

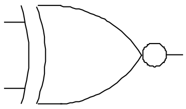


XNOR (Äquivalenz)



Y = A !$ B
Y = A XNOR B
Y = AB + /A/B
$Y = \overline{A \oplus B}$

B	A	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



UND / ODER / NAND / NOR	Verknüpfungen können beliebig viele Eingänge haben.
XOR und NXOR	... nur 2 Eingänge.

Regeln für zwei und mehr Variablen

(AND $\triangleq$ · / OR $\triangleq$ + / NOT $\triangleq$!)

Vertauschbarkeit (Kommutatives Gesetz)

A · B · C = A · C · B = C · A · B = ...
A + B + C = A + C + B = C + A + B = ...

die Reihenfolge ist beliebig!

Vereinigung (Assoziatives Gesetz / Verbindung)

A · (B · C) = (A · C) · B = C · A · B = ...
A + (B + C) = (A + C) + B = C + A + B = ...

Größen, die durch gleiche Operation verknüpft sind können durch Klammern beliebig zusammengefasst werden

Verteilung, Auflösung (Distributives Gesetz)

Eine gemeinsame Variable kann ausgeklammert werden (sowohl bei AND als auch bei OR)

(A · B) + (A · C) = A · (B + C)

Wenn **keine** Klammern gesetzt sind, gilt: AND vor OR

(A · B) + (A · C) = A·B + A·C

Absorptionsgesetze

A + A · B	=	A
A · (A + B)	=	A
A · (!A + B)	=	A · B
A + !A · B	=	A + B
(A · B) + (A · !B)	=	A
(A + B) · (A + !B)	=	A

Priorität (Reihenfolge der Verknüpfungen))

Sind keine Klammern gesetzt gilt folgende Reihenfolge:

1. Negation (NOT)
2. Konjunktion (AND)
3. Disjunktion (OR)

Negationsregel (de Morgan)

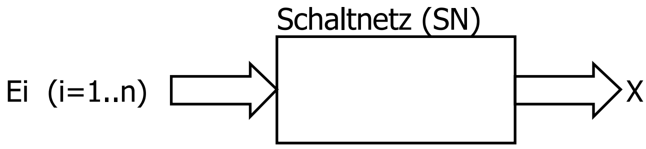
Eine NAND-Verknüpfung kann durch eine OR-Verknüpfung ersetzt werden, wenn alle Eingänge negiert werden.

!(A · B · C) = !A + !B + !C
!(A + B + C) = !A · !B · !C

Dasselbe gilt entsprechend für NOR

Schaltnetze

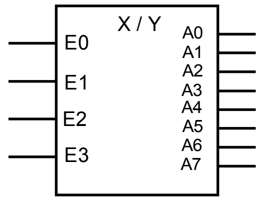
Definition Schaltnetz: Der Ausgang ist eine direkte und unverzögerte Funktion der Eingänge:
X= f(Ei) ⇒ Das Eingangsmuster Ei legt direkt den Ausgang fest.



Ausgangsvariable von Schaltnetzen werden häufig „kombinatorische Ausgänge“ genannt.

Schaltnetze werden mit Funktionstabellen beschriebenen

Eine Funktionstabelle berücksichtigt alle möglichen Kombinationen der Eingangsvariablen (E0...E3) und enthält in den entsprechenden Spalten für die Ausgänge die zugehörigen Werte der Ausgangsvariablen (A0...A7).



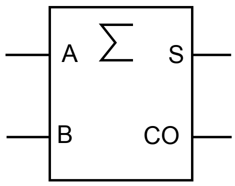
n Eingangsgrößen ergeben 2^n mögliche Eingangskombinationen

Spezielle Schaltnetze (Addierer, Multiplexer, Komparator)

Addierer:

Werden zwei Dualzahlen addiert, dann wir die unterste Stelle über einen Halbaddierer, alle folgenden Stellen müssen einen Übertrag berücksichtigen und brauchen einen Volladdierer.

Halbaddierer



CO ≙ Carry OUT

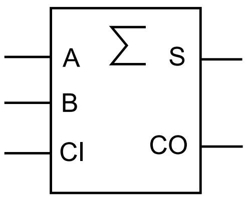
A	B	CO	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Input:
S1, S0:Summanden

Output:

CO Übertrag für nächste Stelle (höhere Wertigkeit)
S Summe (gleiche Wertigkeit)

Volladdierer



CI ≙ Carry IN

CI	A	B	CO	S
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

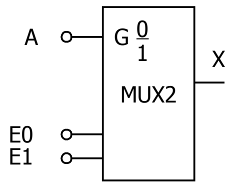
Input:
S1, S0 Summanden
CI carry = Übertrag

Output:

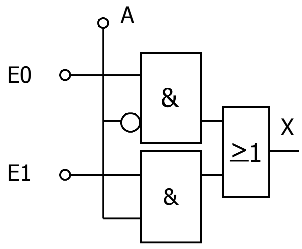
CO Übertrag für nächste Stelle höhere Wertigkeit

S Summe gleiche Wertigkeit

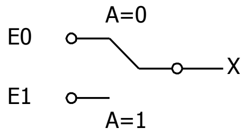
Multiplexer



MUX2-1 (Blockschaltbild)

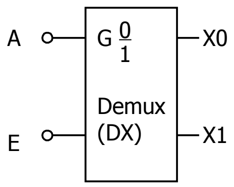


aufgelöste Darstellung

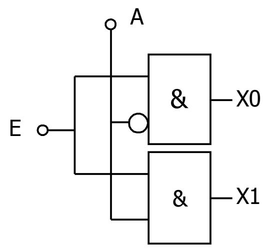


Schalteräquivalent

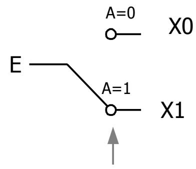
Demultiplexer



DX1-2 (Blockschaltbild)

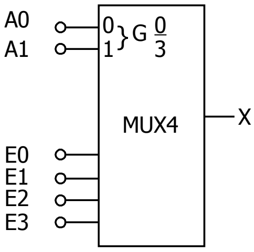


aufgelöste Darstellung

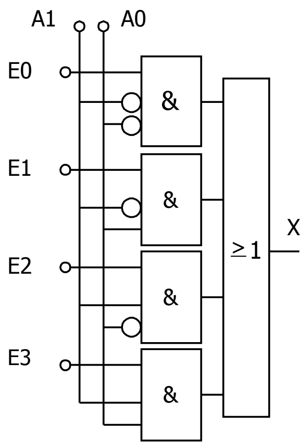


Schalterstellung mit A

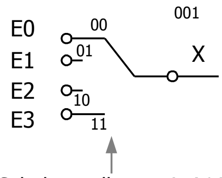
MUX 4-1



MUX4-1 (Blockschaltbild)



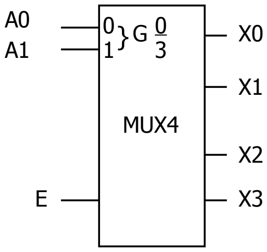
aufgelöste Darstellung



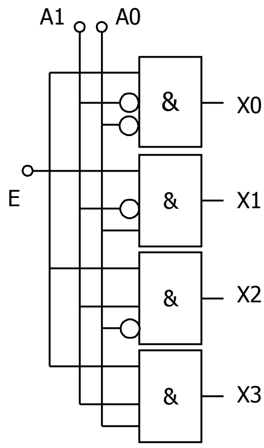
Schalterstellung mit A1A0

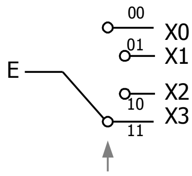
Schalteräquivalent

DX 1-4



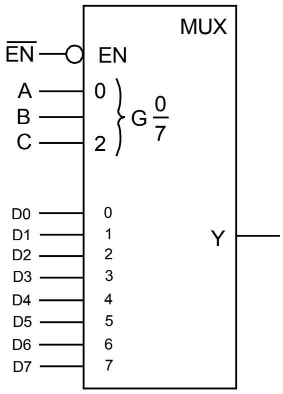
DX1-4 (Blockschaltbild)





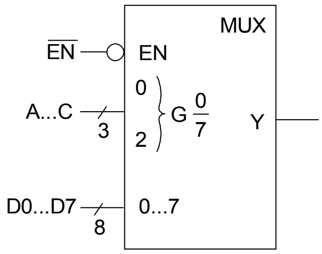
Schalterstellung mit A1A0

MUX 8-1



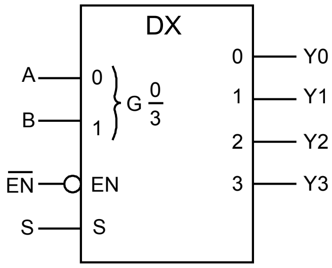
C	B	A	/EN	Y
X	X	X	1	0
0	0	0	0	D0
0	0	1	0	D1
0	1	0	0	D2
0	1	1	0	D3
1	0	0	0	D4
1	0	1	0	D5
1	1	0	0	D6
1	1	1	0	D7

verkürzte Schreibweise



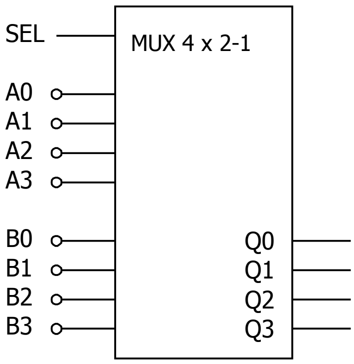
Adress- und Datenleitungen können auch zusammengefasst werden

Demultiplexer DX 1-4
(mit Enable)



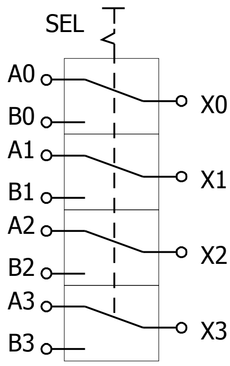
A	B	/EN	Y0	Y1	Y2	Y3
X	X	1	0	0	0	0
0	0	0	S	0	0	0
0	1	0	0	S	0	0
1	0	0	0	0	S	0
1	1	0	0	0	0	S

Mehrfachmultiplexer

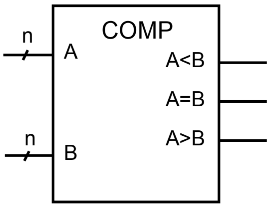


in diesem Fall sind 4 MUX2-1 in einem Gehäuse untergebracht.

Die Steuerleitungen sind zusammen geschaltet.



Komparator



Beispiel: n=2, A und B werden als Dualzahlen interpretiert
A2: Wertigkeit 2   A1: Wertigkeit 1

dezimal		dual		dual				
A	B	A2	A1	B2	B1	A<B	A=B	A>B
0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0
0	2	0	0	1	0	1	0	0
0	3	0	0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0
1	2	0	1	1	0	1	0	0
1	3	0	1	1	1	1	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	1
usw.								

Codes

Dual- Code (8-4-2-1-Code)

Dezimal	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Gray- Code

	keine Gewichtung			
HEX	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	1
3	0	0	1	0
4	0	1	1	0
5	0	1	1	1
6	0	1	0	1
7	0	1	0	0
8	1	1	0	0
9	1	1	0	1
A	1	1	1	1
B	1	1	1	0
C	1	0	1	0
D	1	0	1	1
E	1	0	0	1
F	1	0	0	0

Johnson- Code

	keine Gewichtung				
Ziffer	E	D	C	B	A
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	0
8	1	1	0	0	0
9	1	0	0	0	0

BCD- Codes / 4-Bit Codes

(Binär Codierte Dezimalzahl)

Dez.	BCD
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

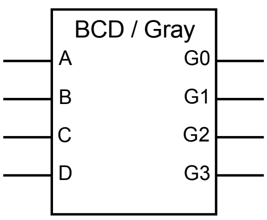
Ziffern > 9 sind nicht definiert

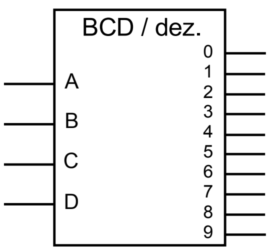
Dez.	BCD
...	
10	0001 0000
11	0001 0001
12	0001 0010

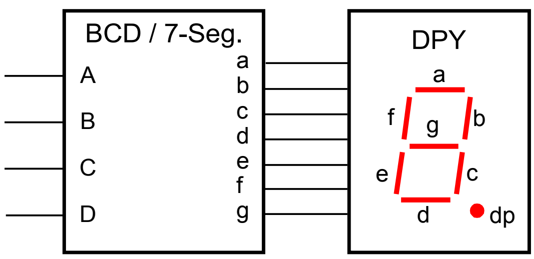
Dez.	BCD
...	
123	0001 0010 0011
456	0100 0101 0110

Spezielle Umcodierer

Umcodierer mit 7-Segmentanzeige

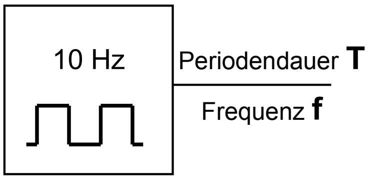






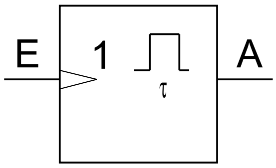
spezielle Bauteile (Takt, Monoflop, Treiber, Pull-Up, Pull-Down)

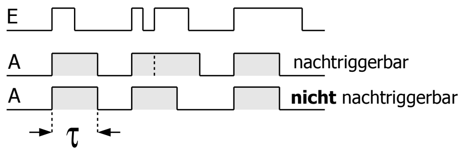
Takt(generator)



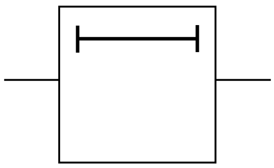
$$f = \frac{\text{Anzahl der Impulse}}{1\,\text{Sekunde}}$$

Monoflop

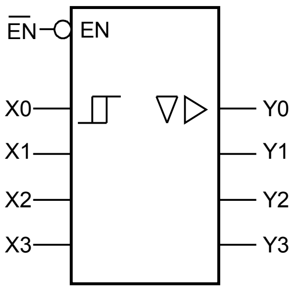


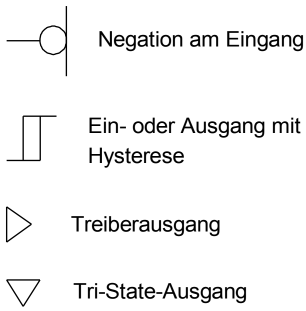


Verzögerungselement

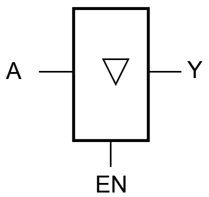


Bustreiber





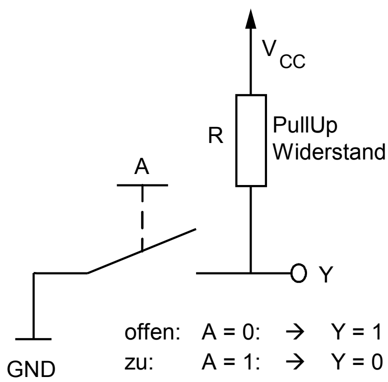
Tristate

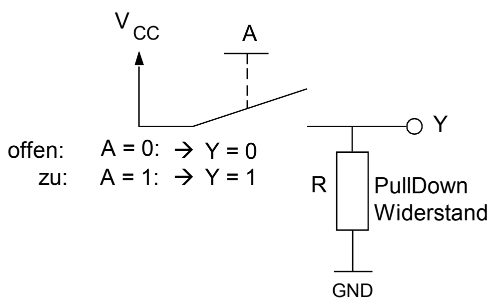


EN	A	Y
0	0	Z
0	1	Z
1	0	0
1	1	1

Z ≙ hochohmig

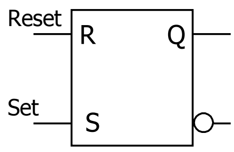
Pull Up / Down





Speicher (Flipflops)

RS-FlipFlop (statisch)



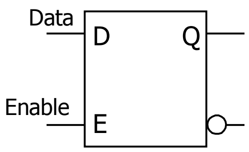
Zustandsfolgetabelle

S	R	Q^n	Q^{n+1}	
0	0	0	0	speichern
0	0	1	1	
0	1	0	0	Reset (R)
0	1	1	0	
1	0	0	1	Set (S)
1	0	1	1	
1	1	?	?	nicht sinnvoll

$Q^{n+1} = (Q^n \,\&\, !R \;+\; !R \,\&\, S)$

$Q^{n+1} = S + \;!R\& \, Q^n$ (Minimalform)

Daten-Latch (statisch)

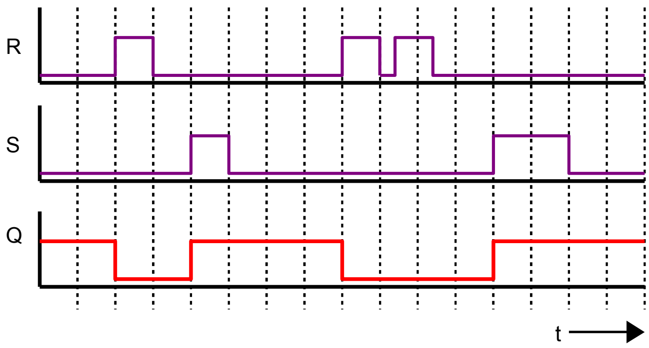


E	D	Q^n	Q^{n+1}	
0	X	0	0	keine Änderung
0	X	1	1	
1	0	0	0	0 speichern
1	0	1	0	
1	1	0	1	1 speichern
1	1	1	1	

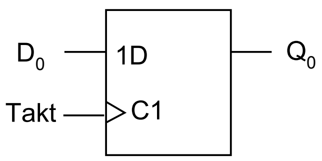
Impulsdiagramme (Zeitablaufdiagramme)

Tabellen stellen den Zusammenhang digitaler Variablen statisch dar, also ohne Rücksicht auf eine konkret zeitlich ablaufende Situation.

Zeitliche Abläufe werden mit Impulsdiagrammen dargestellt und veranschaulicht. Im Beispiel unten wird das Verhalten eines RS-FF dargestellt,welches mit Q=1 anfänglich gesetzt ist und dann mehreren Setz- und Rücksetz-Vorgängen unterworfen wird.



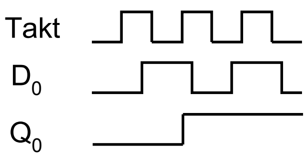
D-Flip-Flop (dynamisch)



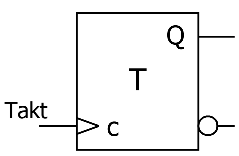
C	D	Q^{n+1}
1	X	Q^n
0	X	Q^n
pos	0	0
pos	1	1
neg	X	Q^n

pos ≙ positive Taktflanke
neg ≙ negative Taktflanke

Impulsdiagramm



T-Flip-Flop (dynamisch)

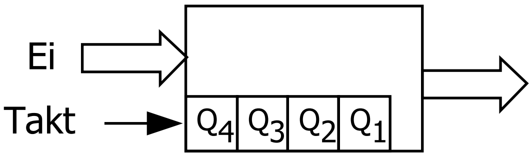


C	T	Q^{n+1}
1	X	Q^n
0	X	Q^n
pos	0	1
pos	1	0
neg	X	Q^n

Ein Toggle FF entsteht aus dem D-FF durch Rückkopplung der negierten Ausgangs auf den Dateneingang D.

Schaltwerke

Definition Schaltwerk: Der Ausgang ist eine Funktion der Eingänge und von im Schaltwerk gespeicherten Speichervariabeln X = f(Ei , Qj) .

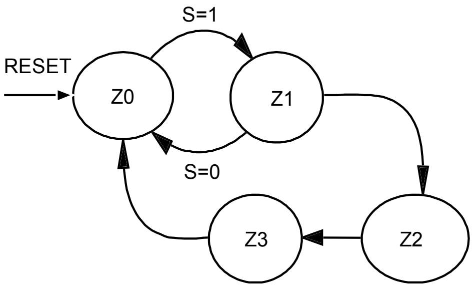


X = f(Ei , Qj)   j=1..s

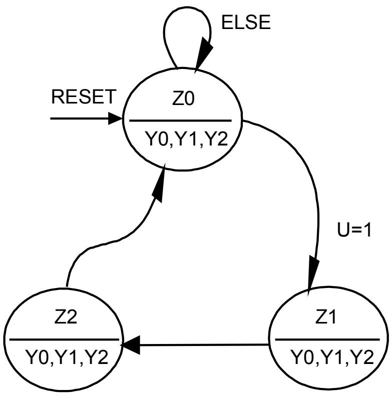
Der Takt definiert die Zeitpunkte, zu denen sich die Speichervariablen (Zustände) ändern können.

Zustandsdiagramm

Zustandsdiagramme beschreiben das Verhalten von Schaltwerken



- wenn es sich offensichtlich um ein getaktetes Schaltwerk handelt, kann die Angabe des Taktes als Übergangskriterium entfallen.
- Zusätzliche Übergangsbedingungen müssen angegeben werden



die Angabe von Ausgabewerten (Y0, Y1...) in einem Zustand werden durch einen (Unter-)Strich vom Zustandsnamen getrennt

(die „else“ - Angabe

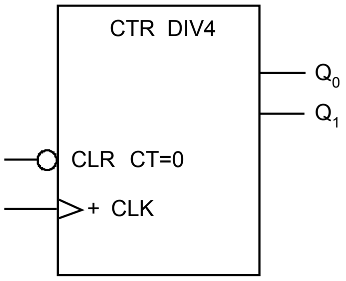
... kann entfallen).

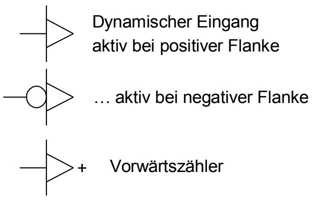
Codierte Zustandsübergangstabelle (Codierte Zustandsfolgetabelle)

n			n+1	
U	Q1	Q0	Q1	Q0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
x	0	1	1	0
x	1	0	0	0

Spezielle Schaltwerke (Zähler, Speicher, Schieberegister)

Zähler (Blockschaltbild)

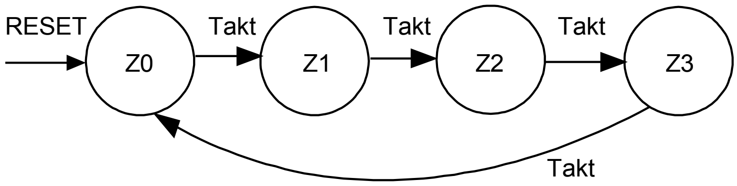




CTR *m* Zähler mit *m* Bits / Zykluslänge = 2^m

CTR DIV *m* Zähler mit Zykluslänge *m*

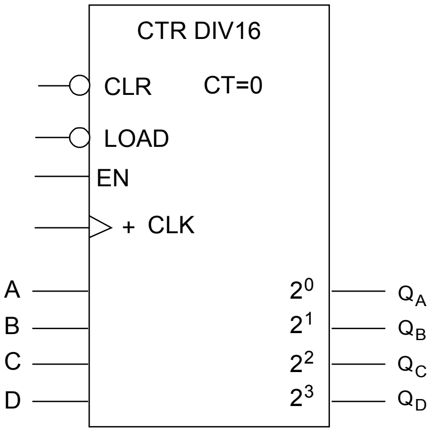
Zustandsdiagramm (für den 2-Bit Zähler)



Zustandscodierung

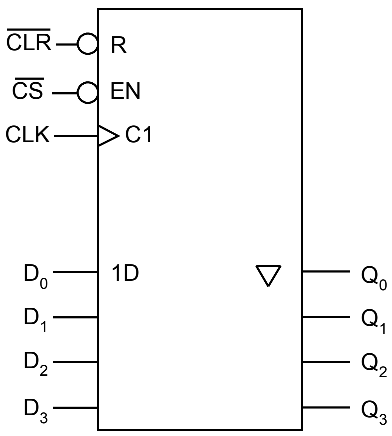
Zustand	Codierung (Kennzeichnungder Zustände) Q1	Q0
Z0	0	0
Z1	0	1
Z2	1	0
Z3	1	1

Zähler (4-Bit)



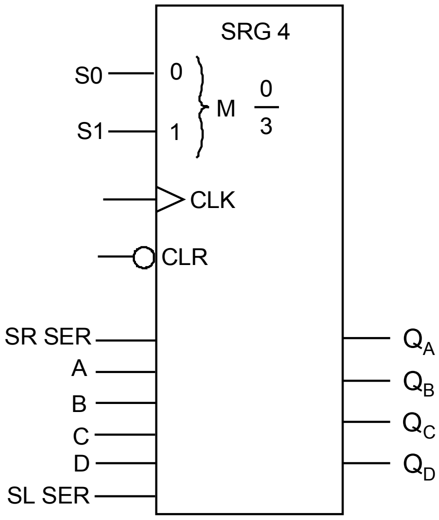
- CTR ≙ Zähler
- DIV 16 ≙ 16 verschiedene binäre Zustände
- Vorwärtszähler (+)
- EN = 1 und die positive Taktflanke führen zum nächsten Zählzustand
- Mit /LOAD kann ein Anfangszustand geladen werden

Speicherregister



- 4-Bit Speicherregister (4 flankengesteuerte D-Flipflops)
- Paralleles Einlesen mit der positiven Taktflanke (Wenn der Baustein ausgewählt ist (EN = 0), werden mit der ansteigenden Flanke des Takt-Signals die an den Eingängen D_0 ... D_3 anstehenden Daten übernommen).
- Mit einem 0-Signal am R (/CLR)-Eingang kann das Register gelöscht werden.
- EN (/CS) ermöglicht es, die Ausgänge in Tri-State zu schalten (EN=1) oder den Speicherinhalt auszulesen (EN=0)

Schieberegister



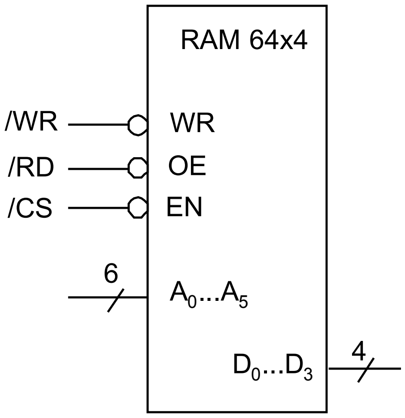
- 4-Bit Schieberegister
- Links- Rechtsbetrieb:

Mode	S1	S0	Funktion
0	0	0	-
1	0	1	rechts
2	1	0	links
3	1	1	parallele Eingabe

- mit serieller Eingabe
- paralleler Ausgabe
- Vorwärtsschieben mit der positiven Taktflanke und der Möglichkeit, das gesamte Register zu löschen

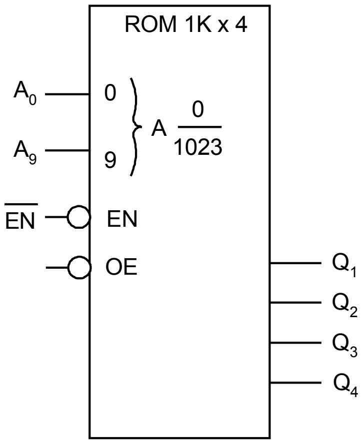
Speicher (ROM / RAM)

RAM



Schreib- Lesespeicher mit 64 x 4 Bit

ROM

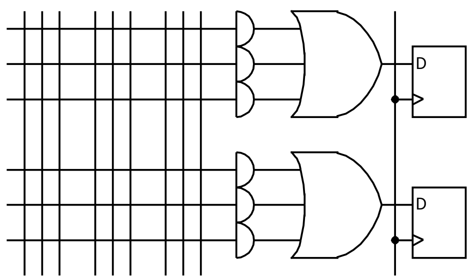


- Read Only Memory
- mit den Adressen 0 ... 1023
- einer Wortbreite von 4 Bit
- und einem Freigabeeingang

Programmierbare Logik

PLDs (Progammable Logic Device) bestehen aus einer programmierbaren UND / ODER – Matrix, mit deren Hilfe man eine DNF bilden kann. Dieser Matrix sind D-FFs nachgeschaltet, deren Ausgänge wieder in die Matrix zurückgeführt werden.

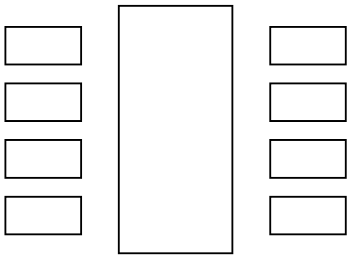
Durch diese Rückkopplung können Zustandsmaschinen (Zähler, Register...) realisiert werden.



CPLDs (Complex PLD) bestehen aus vielen PLD-Blöcken, die

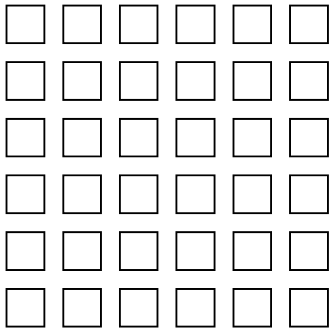
über eine Busstruktur miteinander verbunden sind.
(Bsp. >6000 Gates / ca. 300 Regs)

Sie eignen sich besonders zur Implementierung von schneller kombinatorischer Logik (Schaltnetzen) und sequentieller Logik (Schaltwerken).



FPGAs (Flied Programmable Gate Array) bestehen aus vielen kleinen Logikzellen (Funktionseinheiten), die über ein Netzwerk von Verbindungsleitungen miteinander verbunden sind.
(Bsp. >50 000 Logicblocks mit je 4 Ffs)

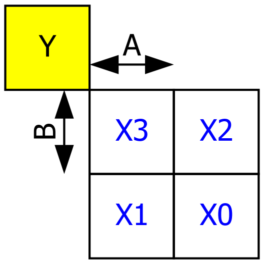
Geeignet für Anwendungen mit weniger Logik – dafür aber mehr Speicherbedarf – arithmetische Funktionen mit breiten Datenpfaden.



KV-Diagramme

KV-Tafeln sind Funktionstabellen, die matrixförmig so aufgebaut sind, dass zwei horizontale bzw. vertikal benachbarte Felder sich nur im Wert einer Variablen unterscheiden.

Nr.	B	A	Y
0	0	0	X0
1	0	1	X1
2	1	0	X2
3	1	1	X3

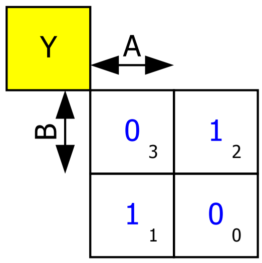


Die Kennzeichnung der einzelnen Plätze erfolgt durch Angabe der Variablen außerhalb der Tafel. Der Inhalt des Platzes (0, 1 oder X) stellt den Funktionswert der Ausgangsgröße der betreffenden Kombination dar.

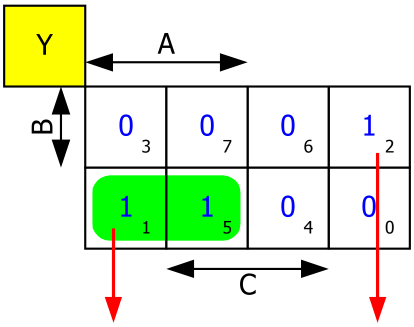
Beispiel (XOR)

Für jede Ausgangsvariable ist ein getrenntes Diagramm erforderlich wobei die Kennzeichnung des entsprechenden Ausgangs in der linken oberen Ecke erfolgt.

Nr.	B	A	Y
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0



Platz-Nr.	C	B	A	Y (Bsp.)
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	1	0



Y = (A · !B) + (!A · B · !C)

Die Vereinfachung geht von benachbarten Plätzen aus.

Benachbart sind alle Felder, die sich nur im Wert einer Variablen unterscheiden.

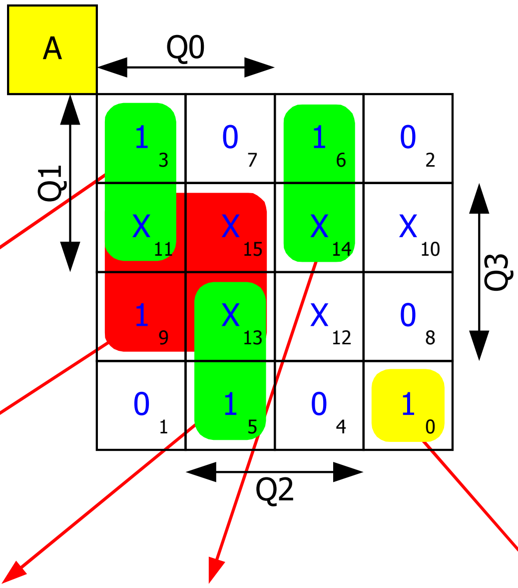
Es können 2er- 4er- 8er- und 16er Felder zusammengefasst werden.

Bei einem 2er Block entfällt eine Variable.
Bei einem 4er Block entfallen zwei Variable.
Bei einem 8er Block entfallen drei Variable.

Nicht immer sind alle möglichen Kombinationen einer Funktionstabelle eindeutig festgelegt.

Im KV-Diagramm wurden die fehlenden Kombinationen durch „Xen" (Don't care Positions) ersetzt.

Nr.	Q3	Q2	Q1	Q0	A
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	X
11	1	0	1	1	X
12	1	1	0	0	X
13	1	1	0	1	X
14	1	1	1	0	X
15	1	1	1	1	X



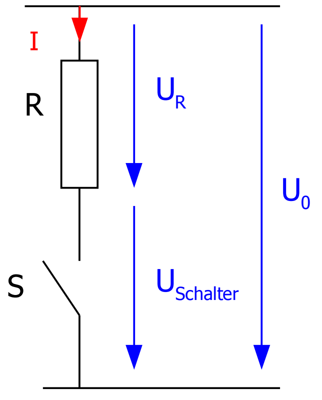
A = (Q0 · Q1 · !Q2) + (Q0 · Q3) + (Q0 · !Q1 · Q2) + (!Q0 · Q1 · Q2) + (!Q0 · !Q1 · !Q2 · !Q3)

Schaltzustände eines NPN-Transistors

Schaltzustände eines idealen Schalters

AUS → Schalter geöffnet (kein Strom)

EIN → Schalter geschlossen (der Strom wird durch den Widerstand begrenzt)

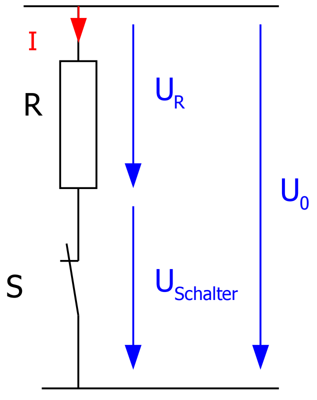


offener Schalter:

$I = 0A$

$\Rightarrow U_R = 0V$

$\Rightarrow U_{Schalter} = U_0$



geschlossener Schalter:

$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_0}{R}$

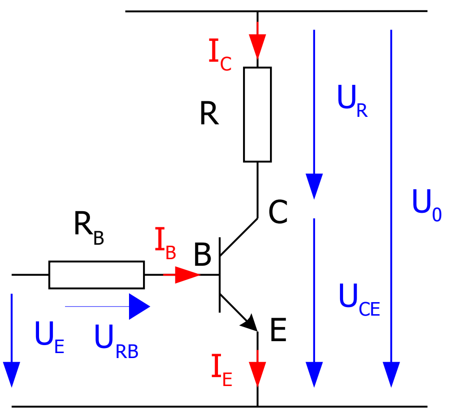
$\Rightarrow U_{Schalter} = 0V$

AUS bei der Transistorschaltung:

wenn $U_E = 0V$ → $U_{BE} = 0V$ und $I_B = 0A$

→ $I_C \approx 0A$

→ $U_{CE} = U_0$



EIN bei der Transistorschaltung:

wenn $U_E \geq 0{,}7V$ → $U_{BE} \approx 0{,}7V$

→ Transistor leitet

Transistor durchgeschaltet: $I_C = \frac{U_0 - U_{CEsat}}{R}$

→ Ic wird durch R bestimmt

Minimal notwendiger Basisstrom: $I_B = \frac{I_C}{B}$

Übersteuerung: $I_{Bü} = ü \cdot I_B$

ü: Übersteuerungsfaktor (ü ≈ 2...6)

$U_{RB} = U_E - U_{BE}$

$R_B = \frac{U_{RB}}{I_{Bü}}$

Wenn der Kollektorstrom I_C nicht mehr durch den Basisstrom I_B sondern nur noch durch den Widerstand R und die Spannung U_0 bestimmt wird, spricht man von „Übersteuerung".

Den entsprechenden Wert nennt man Übersteuerungsfaktor **ü**

Maximal zulässige Verlustleistung
$P_{tot} \approx U_{CE} \bullet I_C$

Zehnerpotenzen

Symbol	Name	Wert		
P	Peta	10^{15}	1.000.000.000.000.000	Billiarde
T	Tera	10^{12}	1.000.000.000.000	Billion
G	Giga	10^{9}	1.000.000.000	Milliarde
M	Mega	10^{6}	1.000.000	Million
k	Kilo	10^{3}	1.000	Tausend
h	Hekto	10^{2}	100	Hundert
da	Deka	10^{1}	10	Zehn
		10^{0}	1	Eins
d	Dezi	10^{-1}	0,1	Zehntel
c	Zenti	10^{-2}	0,01	Hundertstel
m	Milli	10^{-3}	0,001	Tausendstel
µ	Mikro	10^{-6}	0,000.001	Millionstel
n	Nano	10^{-9}	0,000.000.001	Milliardstel
p	Piko	10^{-12}	0,000.000.000.001	Billionstel
f	Femto	10^{-15}	0,000.000.000.000.001	Billiardstel

E-Reihen von Widerständen

E3	**E6**	**E12**	**E24**
1,0	1,0	1,0	1,0
			1,1
		1,2	1,2
			1,3
	1,5	1,5	1,5
			1,6
		1,8	1,8
			2,0
2,2	2,2	2,2	2,2
			2,4
		2,7	2,7
			3,0
	3,3	3,3	3,3
			3,6
		3,9	3,9
			4,3
4,7	4,7	4,7	4,7
			5,1
		5,6	5,6
			6,2
	6,8	6,8	6,8
			7,5
		8,2	8,2
			9,1