

Inhaltsverzeichnis

1 Energietechnik	3
2 Grundlagen Elektrotechnik	4
Ladung Q , Strom I , Spannung U , Arbeit W , Leistung P , Widerstand R	4
Widerstand	5
Reihenschaltung	5
Innenwiderstand R_i einer Spannungsquelle	6
Parallelschaltung	6
Knoten- und Maschenregel	6
Spannungsteiler	7
Brückenschaltung	7
Dioden und LEDs	8
Kondensator	9
Durchflutung	10
Induktion	10
Spule	11
Motor: Ersatzschaltbild und Kennlinien	12
Motor Leistungsbilanz	12
Transistor und Transistorschaltungen	13
PWM-Signal, Tastgrad	13
Transistor-Brückenschaltung	14
Tiefsetzsteller	14
Hochsetzsteller	14
Operationsverstärker	15
Wechselstrom	18
Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand R)	18
Kapazität im Wechselstromkreis	19
Induktivität im Wechselstromkreis	19
Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und X_L (induktiver Blindwiderstand)	20
Parallelschaltung R und X_L	21
Parallelschaltung R und X_C	22
Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und X_C (kapazitiver Blindwiderstand)	23
Blindleistungs-Kompensation	24
Siebschaltungen (passive Filter)	25
RC- und LR-Tiefpässe	26
CR- und RL-Hochpässe	26
Dreiphasiger Wechselstrom, Drehstrom	27
Betriebswerte von Drehstromasynchronmotoren (DASM)	28
Drehstrom-Asynchronmotor DASM	29
Symbole der Elektrotechnik	30
Symbole der RI-Fließtechnik	30
Betriebsmittelkennzeichnung nach DIN EN 81346-2 (Auszug)	31
Normreihen von Widerständen	32
3 Steuerungstechnik	33
Digitaltechnik Symbole und Schaltalgebra	33
Variablen mit elementaren Datentypen	34
Schlüsselwörter für die Variablendeklarationen (Lokaldaten)	34
Bistabile Speicher	34
Flankenauswertung	35
Vergleicher	35
Übertragungsfunktion	35
Zeitgeber	36
Ablaufsprache	37
Schrittketten: Grundregeln	39
Codes	39

4 Mathematische Grundformeln	40
Zehnerpotenzen.....	40
Umrechnungen.....	40
Flächen- und Volumenberechnungen.....	41
Winkelfunktionen.....	41
5 Physikalische Grundformeln und Einheiten	42
Physikalische Formeln.....	42
Einheiten.....	42

Zahlenangaben und Tabellenwerte ohne Gewähr!

Danke an Herrn Tritschler für die zu Verfügung gestellte Tabellen der SPS

Fehler und Ergänzungswünsche schicken Sie bitte an: bub@ces.karlsruhe.de

1 Energietechnik

1.1 Erster Hauptsatz der Wärmelehre

allgemein

$$Q + W = \Delta U$$

Isobarer Prozess ($p = \text{konst.}$)

$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

Isochorer Prozess ($V = \text{konst.}$)

$$Q = c_v \cdot m \cdot \Delta T$$

Isothermer Prozess ($T = \text{konst.}$)

$$Q = -W$$

Adiabater Prozess

$$Q = 0$$

Kreisprozess

$$\Sigma Q + \Sigma W = 0$$

Q: ausgetauschte Wärmemenge in J

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ t SKE} = 2,93 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

q: ausgetauschte spezifische Wärmemenge in kJ/kg

W: Arbeit in J

w: spezifische Arbeit in kJ/kg

U: Innere Energie

T: absolute Temperatur in K ($273 \text{ K} \Leftrightarrow 0 \text{ }^\circ\text{C}$)

c_p : spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck

$$\text{in } \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

c_v : spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$$\text{in } \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

q: ausgetauschte spezifische Wärmemenge in kJ/kg

1.3 Zustandsänderungen idealer Gase

Allgemeine Gasgleichung

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.} \quad p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T$$

Isobarer Prozess

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad W_{12} = -p \cdot \Delta V$$

Isochorer Prozess

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad W_{12} = 0$$

Isothermer Prozess

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$W_{12} = -m \cdot R_i \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = -m \cdot R_i \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$

p: Druck

V: Volumen

m: Masse

R_i : spezifische Gaskonstante in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

W_{12} : verrichtete Arbeit bei Zustandsänderung von 1 nach 2

κ : Adiabatenexponent; $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$

Gas	c_p	c_v	R_i
Kohlendioxid	0,844	0,655	0,189
Luft	1,005	0,718	0,287
Sauerstoff	0,917	0,658	0,260
Stickstoff	1,038	0,741	0,297

Adiabater Prozess

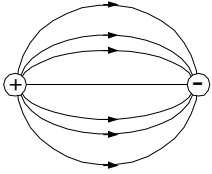
$$p \cdot V^\kappa = \text{konst.} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1}$$

$$W_{12} = -\frac{m \cdot R_i}{1-\kappa} \cdot (T_2 - T_1) = -\frac{m \cdot R_i \cdot T_1}{1-\kappa} \cdot \left[\left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{\kappa-1} - 1 \right] = -\frac{m \cdot R_i \cdot T_1}{1-\kappa} \cdot \left[\left[\frac{p_2}{p_1} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

1.4 Thermischer Wirkungsgrad: $\eta_{th} = 1 - \frac{|Q_{ab}|}{Q_{zu}} = \frac{W_{nutz}}{Q_{zu}}$

2 Grundlagen Elektrotechnik

Ladung Q, Strom I, Spannung U, Arbeit W, Leistung P, Widerstand R



- 2 Arten von Ladungen (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 „elektrisches Feld“ erklärt werden

Ladung, Ladungsmenge

$$Q = N \cdot e$$

1 e entspricht $-1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

e Elementarladung (kleinstmögliche Ladung)
 N Anzahl der Ladungsträger
 Q Ladung in As = C (Coulomb)

Stromstärke

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

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

bei Gleichspannung, bei Wechselspannung

I Stromstärke in A (Ampere)
 Q Ladungsmenge in As
 t Zeit in s

Spannung
 = Arbeit beim Transport der Ladung pro Ladungsmenge

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

U Spannung in V (Volt)
 Q Ladungsmenge in As
 W Arbeit in Js

Spannung
 = Potenzialdifferenz

$$U_{12} = \varphi_2 - \varphi_1$$

φ Potenzial in V bezogen auf Bezugspunkt, (oft Schaltungsmasse)

Elektrische Energie, Energiemenge, Arbeit (engl. Work)

$$W = P \cdot t \quad W = U \cdot Q$$

P Leistung in W (Watt)
 t Zeit in s
 1 Ws = 1 VAs = 1 J

Elektrische Leistung (engl. Power)

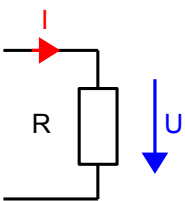
$$P = \frac{W}{t} \quad P = U \cdot I$$

Leistung am Widerstand

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

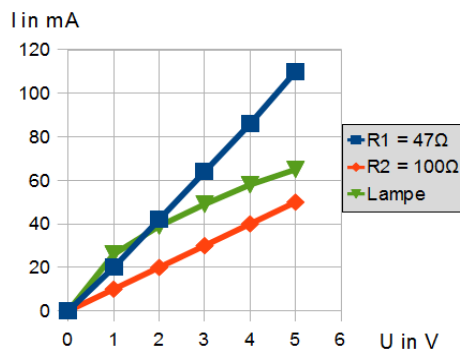
R Widerstand in Ω

Widerstand R



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

R Widerstand in Ω
 U Spannung in V
 I Strom in A



Für R1 und R2 gilt: R= Konstant
 R1 und R2 sind lineare Widerstände.

$$\frac{U}{I} = \text{Konst} \quad \text{Ohm'sches Gesetz}$$

Die Lampe besitzt einen nichtlinearen Widerstand.

Widerstand

Leitungswiderstand

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

l Leiterlänge in m
 A Leiterquerschnitt in mm²
 ρ spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Material	Spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Kupfer	0,0178
Stahl	0,13
Aluminium	0,028
Gold	0,0244
Kohle	40

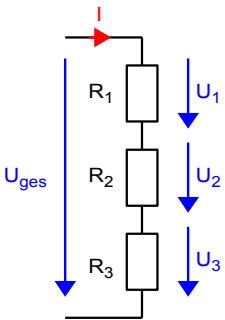
Temperaturabhängiger Widerstand

$$\Delta R = \alpha \cdot \Delta T \cdot R_K$$

$$R_W = R_K + \Delta R$$

ΔR Widerstandsänderung in Ω
 α Temperaturbeiwert $\frac{1}{\text{K}}$
 R_K Kaltwiderstand in Ω
 R_W Warmwiderstand in Ω
 ΔT Temperaturdifferenz in K

Reihenschaltung



$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3$$

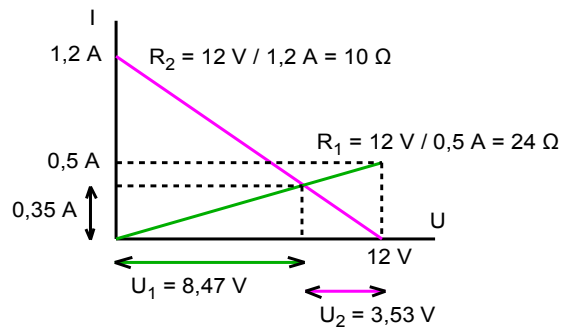
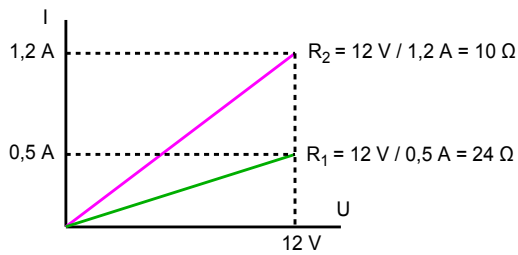
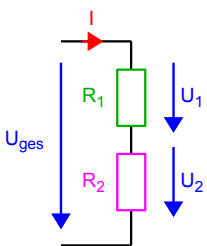
$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 + P_3$$

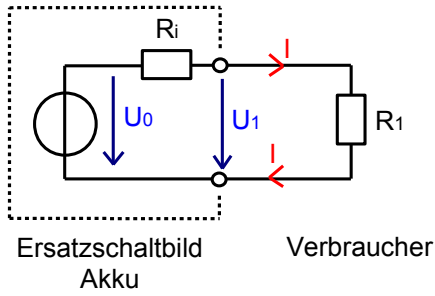
U Gesamtspannung
 U₁, U₂, U₃ Teilspannungen
 R Gesamtwiderstand
 R₁, R₂, R₃ Einzelwiderstände

Durch jeden Widerstand fließt der selbe Strom I

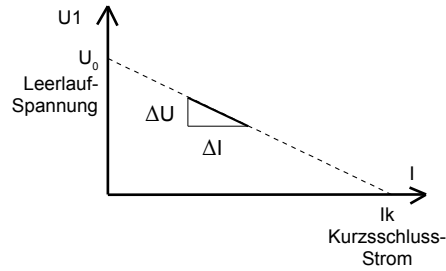
Grafische Ermittlung der Größen



Innenwiderstand Ri einer Spannungsquelle



$$I = \frac{U_0}{R_i + R_1}$$



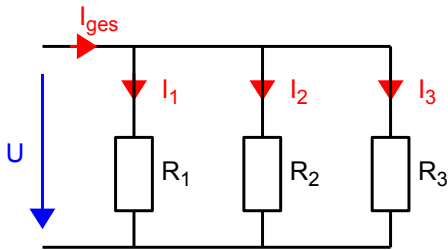
- I Laststrom
- Ri Innenwiderstand der Spannungsquelle
- R1 Widerstand des angeschlossenen Verbrauchers
- U1 Spannung an den Anschluss-Klemmen
- U0 Leerlauf-Spannung Spannung der idealen Spannungsquelle

Leistungsanpassung: R1 erhält die maximale Leistung bei $R_1 = R_i$

$$R_i = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \right|$$

$$R_i = \frac{U_0}{I_k}$$

Parallelschaltung



$$U_{ges} = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3$$

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

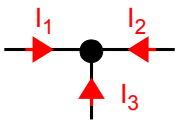
$$P_{ges} = P_1 + P_2 + P_3$$

- I_{ges} Gesamtstrom
- I₁, I₂, I₃ Teilströme
- R_{ges} Gesamtwiderstand
- R₁, R₂, R₃ Einzelwiderstände

An jedem Widerstand liegt dieselbe Spannung U

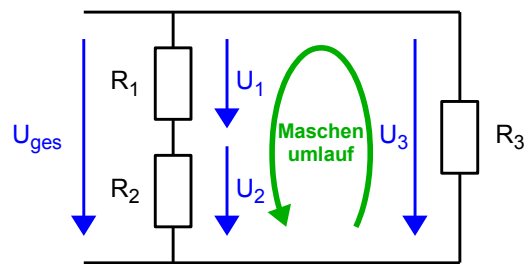
Knoten- und Maschenregel

Knotenregel



$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

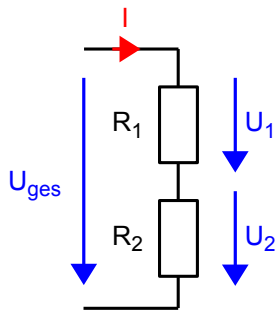
Maschenregel



$$U_1 + U_2 - U_3 = 0$$

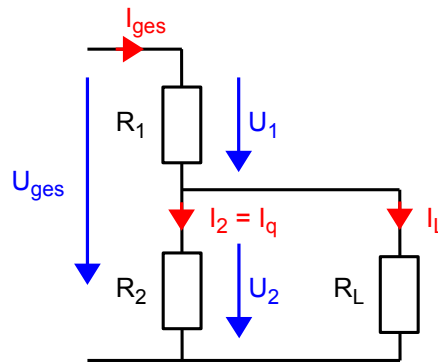
Spannungsteiler

unbelastet (Reihenschaltung)



$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{ges}$$

belastet (Gruppenschaltung)



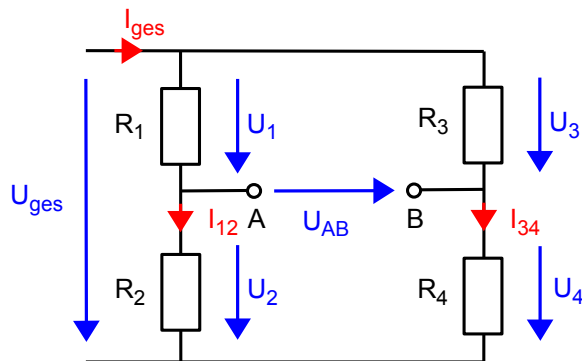
$$U_2 = \frac{R_{2L}}{R_1 + R_{2L}} \cdot U_{ges}$$

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

R_L Lastwiderstand

R_{2L} Ersatzwiderstand für R_2 und R_L

Brückenschaltung

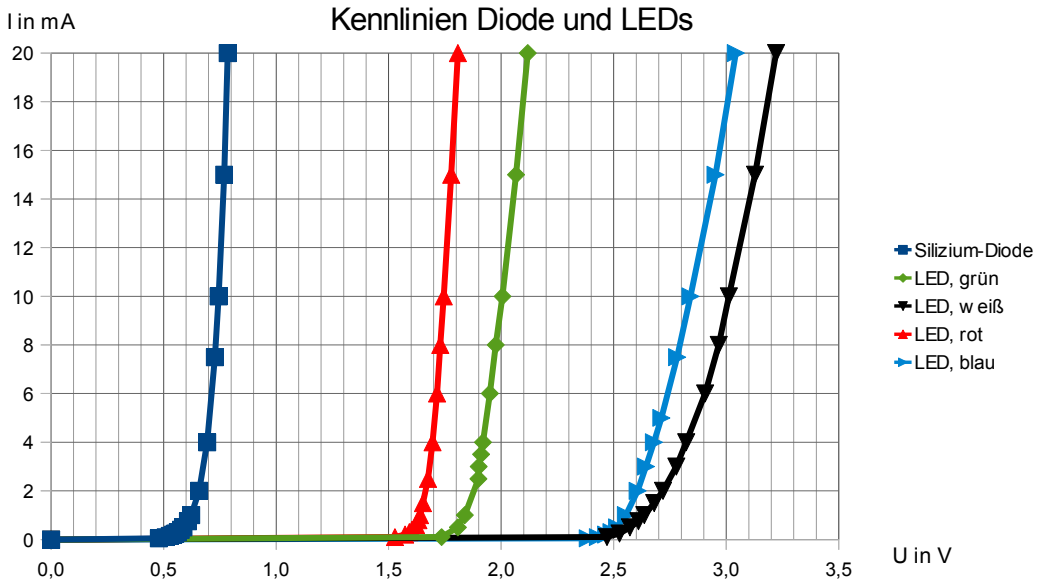
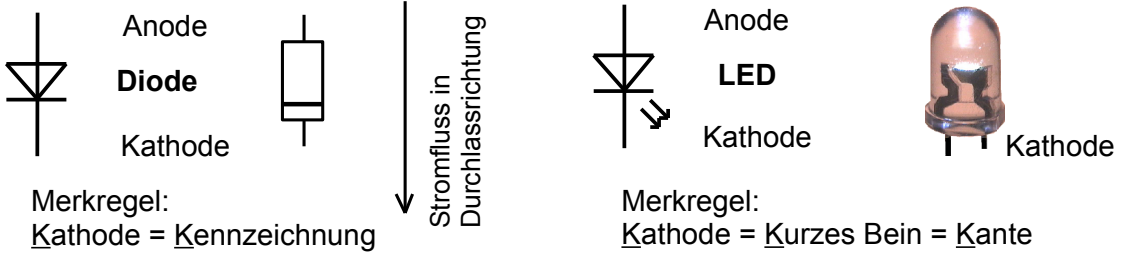


$$U_{AB} = U_2 - U_4$$

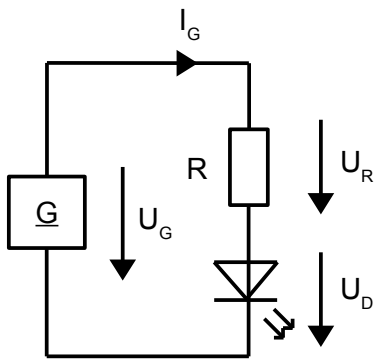
wenn: $U_{AB} = 0$ (Abgleich)

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

Dioden und LEDs

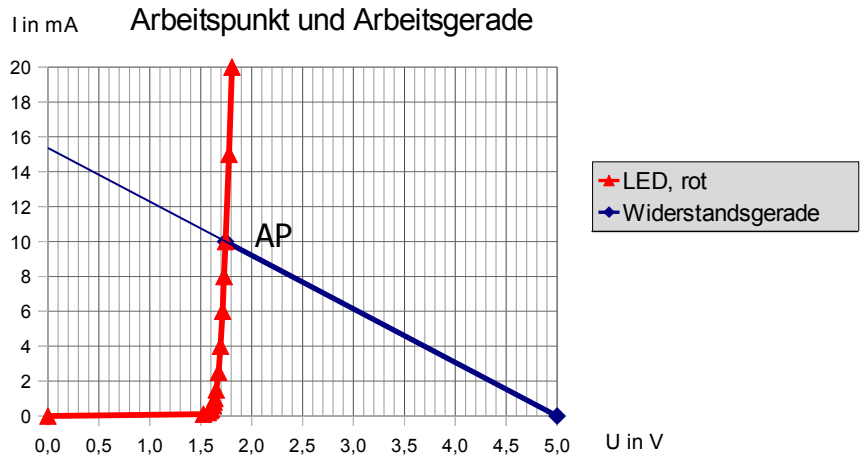


Arbeitspunkt und Arbeitsgerade



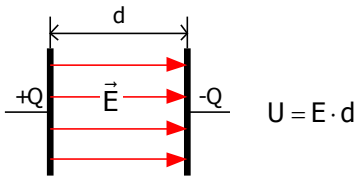
$$R = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$$

(Kehrwert des Betrags der Steigung der Arbeitsgeraden)



vergl. Reihenschaltung

Kondensator

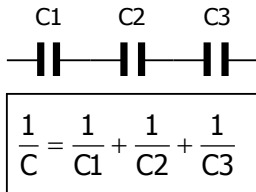


$$C = \frac{Q}{U}$$

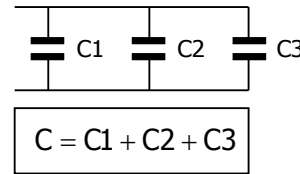
$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

- d Plattenabstand in m
- C Kapazität in F (Farad) = As/V
- Q Ladungsmenge in As = Cb (Coulomb)
- U Spannung in V
- ϵ_0 Feldkonstante $\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11} \frac{As}{Vm}$
- A Plattenfläche in m²
- ϵ_r Dielektrizitätskonstante
- ϵ_r (Luft) ≈ 1
- ϵ_r (dest. Wasser) ≈ 80
- ϵ_r (Isolation Unterwasserkabel) $\approx 2,4$

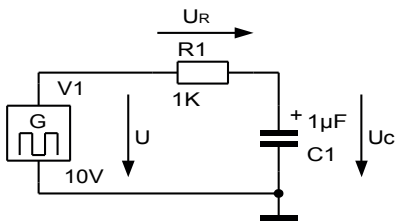
Reihenschaltung von Kondensatoren



Parallelschaltung von Kondensatoren



Auf- und Entladung

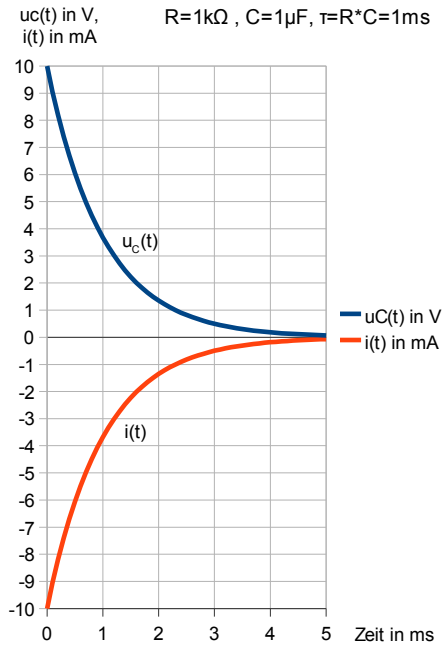


$$\tau = R \cdot C$$

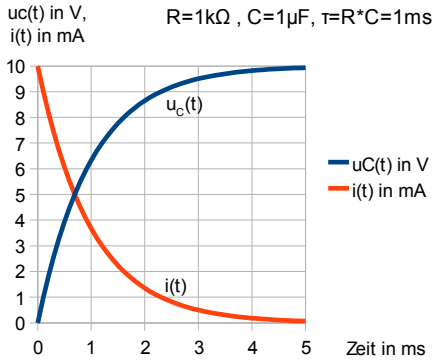
$$I_C = C \cdot \frac{\Delta U_C}{\Delta t}$$

- τ Zeitkonstante in s
- R Widerstand in Ω
- C Kapazität in F

Entladevorgang Kondensator



Aufladevorgang Kondensator



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

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

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

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

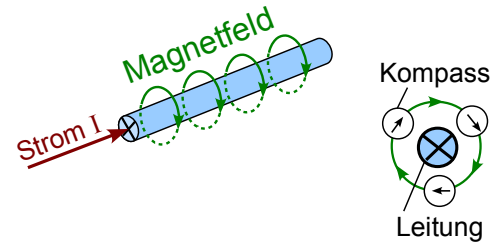
$$I(t) = -\frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Durchflutung

Ein elektrischer Strom erzeugt ein Magnetfeld dessen Feldlinien ringförmig um den Leiter verlaufen.

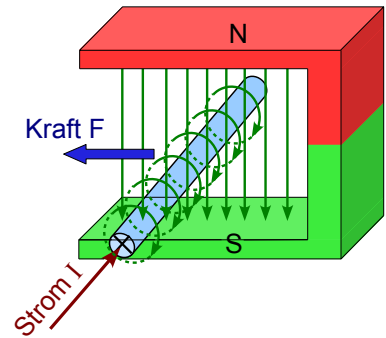
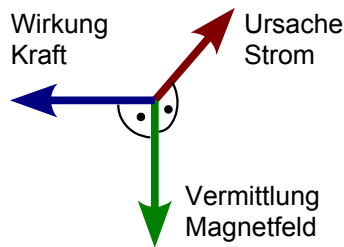
Rechte Handregel:

- Daumen zeigt in Stromrichtung
- Finger zeigen im Magnetfeldrichtung
- Kreuz: Strom fließt nach hinten (Merkregel: Pfeilende)
- Punkt: Strom fließt nach vorne (Merkregel: Pfeilspitze)



Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld

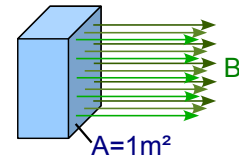
- Ursache Strom (Daumen nach hinten)
- Vermittlung Magnetfeld (Zeigefinger nach unten)
- Wirkung Kraft (Mittelfinger nach links)



Flussdichte

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

- B magnetische Flussdichte in Vs/m² = T
- Φ magnetischer Fluss in Vs
- A Querschnittsfläche in m²



Induktion

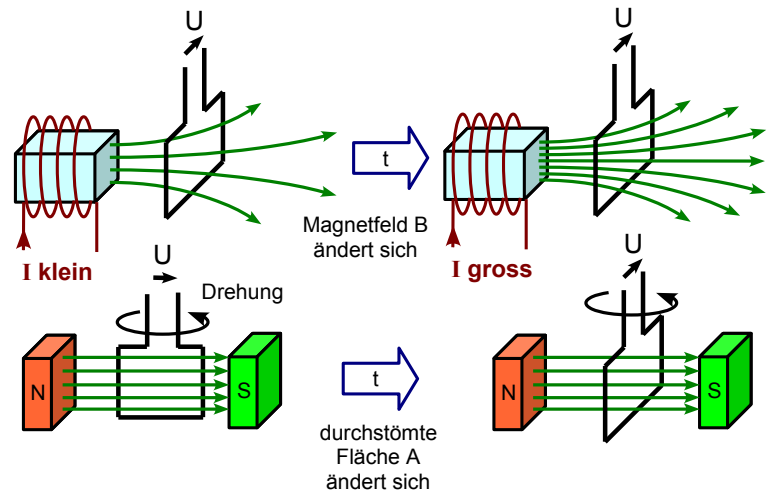
$$U_{\text{induziert}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

mit

$$\Phi = B \cdot A$$

vom Magnetfeld durchströmte Fläche A ändert sich

Magnetfeld B ändert sich

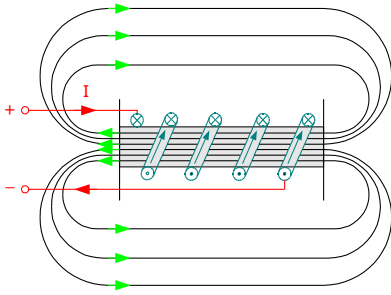


- U_{induziert} induzierte Spannung in V
- N Windungszahl
- ΔΦ Flussänderung in Vs
- Δt Zeitdauer der Flussänderung in s
- ΔI Stromänderung in A
- Δt Zeitdauer der Stromänderung in s
- i Stromänderung in A/s

Selbstinduktion

$$U_{\text{ind}} = L \cdot \dot{i} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

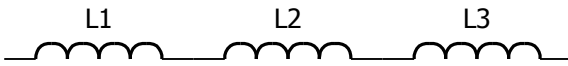
Spule



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

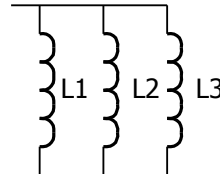
L Induktivität in H = $\frac{V \cdot s}{A}$ (Henry)
 A vom Feld durchsetzte Fläche (Querschnitt)
 μ_0 Feldkonstante des magnetischen Feldes
 $\mu_0 \hat{=} 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$
 $\mu_r \hat{=} \text{Permeabilitätszahl}$
 $\mu_r(\text{Eisen}) 200 \dots 6000$
 $\mu_r(\text{Elektroblech}) 500 \dots 7000$

Reihenschaltung von Spulen



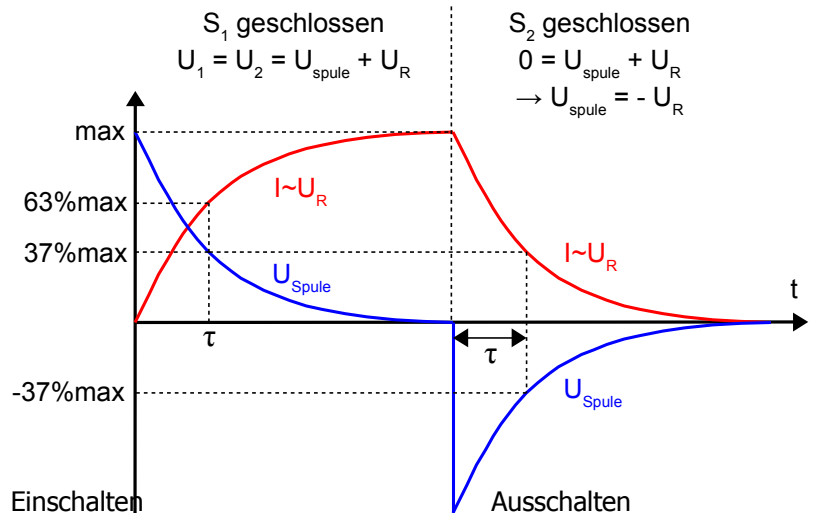
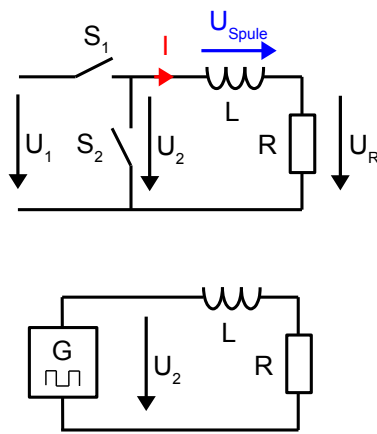
$$L = L1 + L2 + L3$$

Parallelschaltung von Spulen



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

Spule an Rechteckspannung



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

Selbstinduktion $U_L = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \cdot i$

$U_R(t) = U_{max} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$I(t) = \frac{U_{max}}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$U_{Spule}(t) = U_{max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

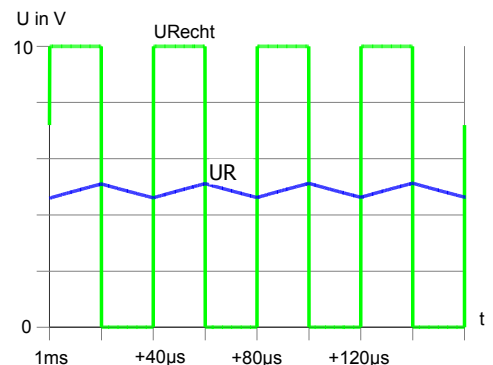
$U_R(t) = U_{max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

$I(t) = I_{start} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

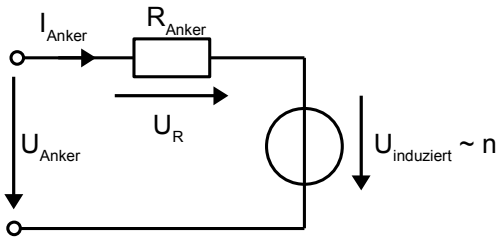
$U_{Spule}(t) = -U_{max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

Impulszeit $t_i \ll \tau$

eingeschwungener Zustand!



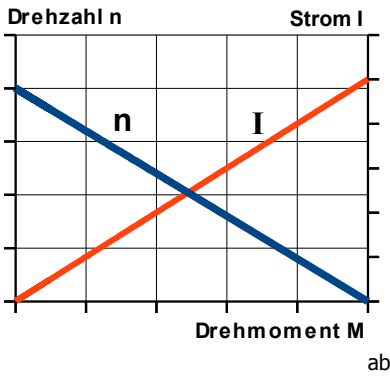
Motor: Ersatzschaltbild und Kennlinien



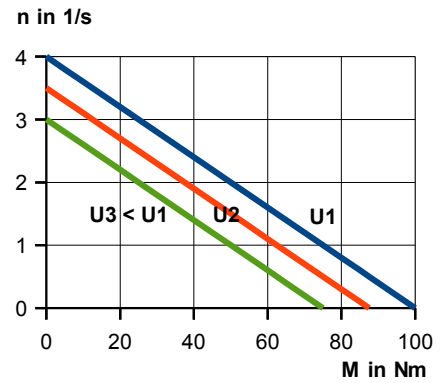
$$\frac{U_{\text{induziert}}}{n} = \text{konst}$$

$$U_{\text{Anker}} = U_R + U_{\text{induziert}}$$

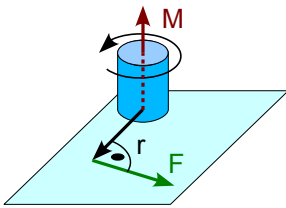
- U_{Anker} Spannung am Motoranker
- I_{Anker} Stromaufnahme des Motors in A
- R_{Anker} Ankerwiderstand in Ω
- n Drehzahl des Motors in 1/s
- $U_{\text{induziert}}$ im Motor induzierte Spannung in V



$$\frac{M_{\text{ab}}}{I_{\text{Anker}}} = \text{konst}$$



Drehmoment



$$M = F \cdot r$$

$$P_{\text{mech}} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = F \cdot v$$

$$P_{\text{mech}} = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M$$

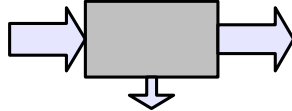
- M Drehmoment in Nm
- F Kraft in N
- r Radius in m
- P_{mech} Mechanische Leistung in $W = Nm/s$
- ΔW Arbeit in Nm
- ω Winkelgeschwindigkeit in 1/s
- n Drehzahl in 1/s
- v Geschwindigkeit in m/s mit F in Bewegungsrichtung

Mechanische Leistung

Motor Leistungsbilanz

zugeführte Leistung

$$P_{\text{zu}} = P_{\text{elekt}} = U_{\text{Anker}} \cdot I_{\text{Anker}}$$



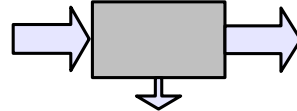
Wärmeverluste

$$P_{\text{verlust}} = U_R \cdot I_{\text{Anker}}$$

$$P_{\text{verlust}} = I_{\text{Anker}}^2 \cdot R_{\text{Anker}}$$

Mechanische Leistung

$$P_{\text{mech}} = \omega \cdot M_{\text{mech}}$$



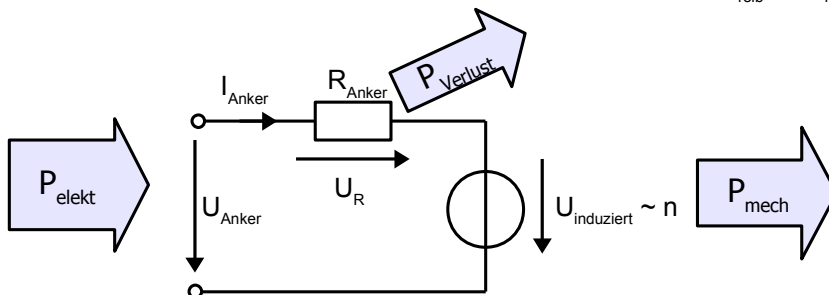
vom Motor abgegebene Leistung

$$P_{\text{ab}} = \omega \cdot M_{\text{ab}}$$

Mechanische Verluste (Lager, Bürsten,...), hervorgerufen durch Reibungsmoment M_{Reib}

$$M_{\text{mech}} = M_{\text{reib}} + M_{\text{ab}}$$

wenn $M_{\text{reib}} \ll M_{\text{mech}}$ dann: $M_{\text{mech}} \approx M_{\text{ab}}$ und $P_{\text{mech}} \approx P_{\text{ab}}$



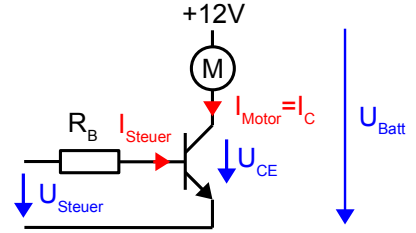
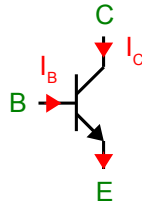
Transistor und Transistorschaltungen

Transistor-Art und -Bezeichnungen Schaltzeichen Schaltungsbeispiel

Bipolar-Transistor

- B Basis
- E Emitter
- C Kollektor

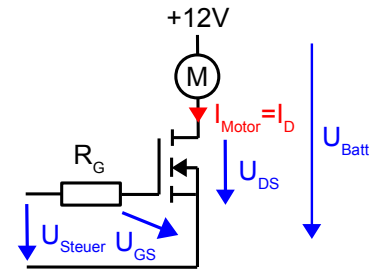
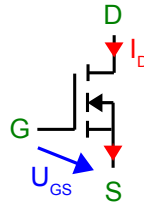
Basisstrom I_B steuert
Kollektorstrom I_C wird gesteuert



Feldeffekt-Transistor, hier MOSFET

- G Gate
- D Drain
- S Source

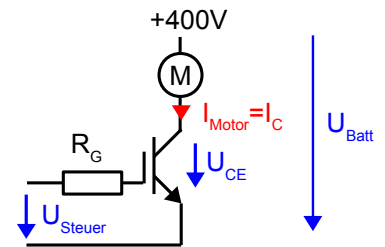
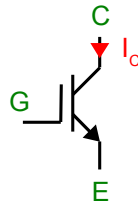
Gate-Source-Spannung U_{GS} steuert
Drainstrom I_D wird gesteuert



IGBT (insulated-gate bipolar transistor)

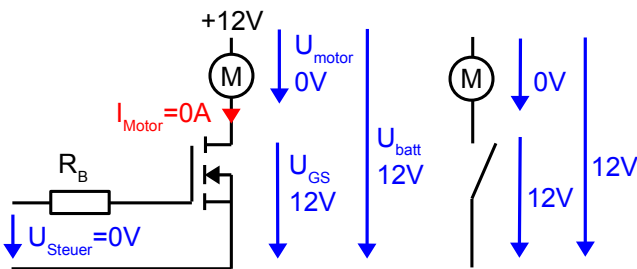
- G Gate
- E Emitter
- C Kollektor

Gate-Emitter-Spannung U_{GE} steuert
Drainstrom I_D wird gesteuert

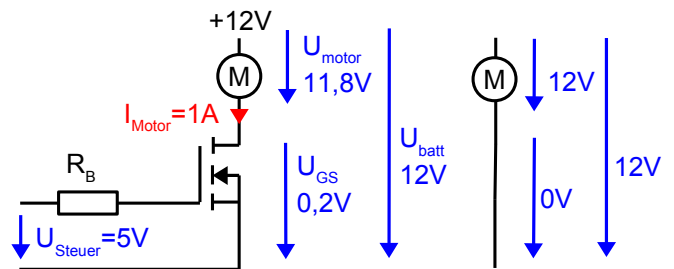


Schaltzustände beim Transistor

Transistor sperrt (wie Schalter offen)



Transistor leitet (wie Schalter geschlossen)



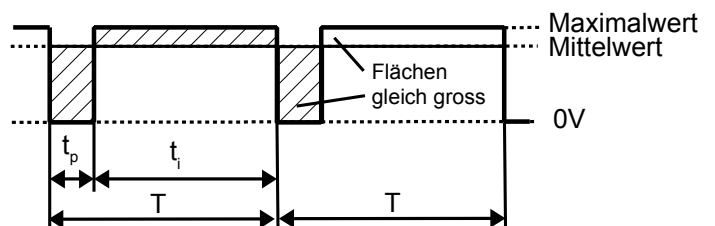
PWM-Signal, Tastgrad

- T Periodendauer
- t_i Impulszeit
- t_p Pausenzeit
- f Frequenz

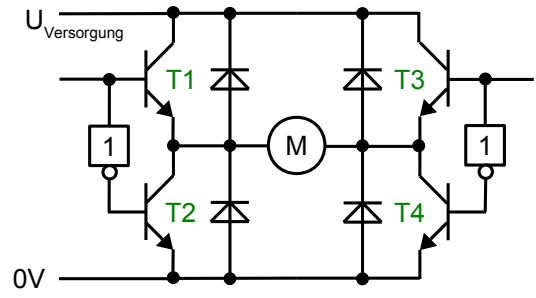
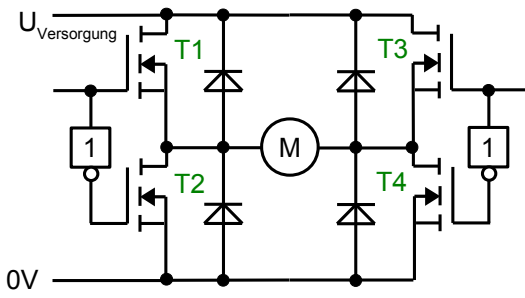
$$\text{Tastgrad} = \frac{t_i}{T} = \frac{U_{\text{Mittelwert}}}{U_{\text{Maximalwert}}}$$

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

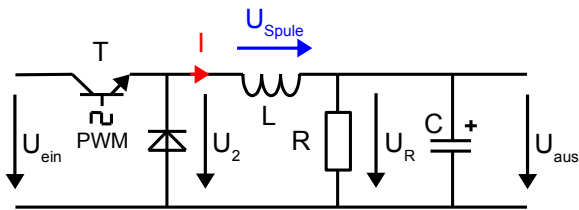
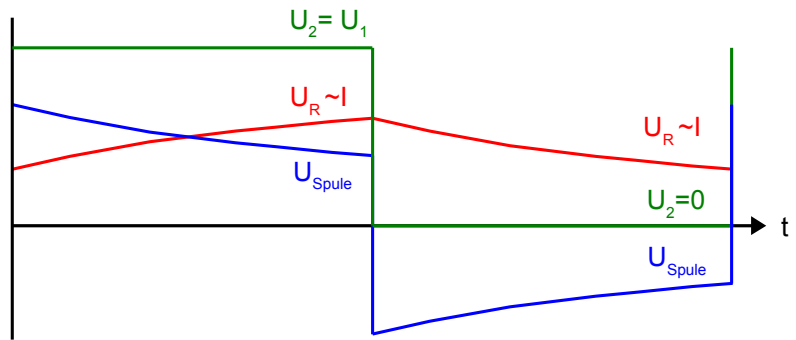
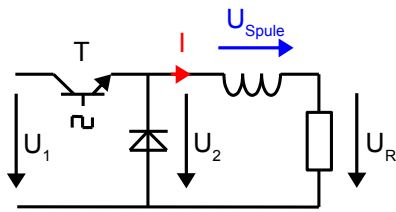
$$\text{Tastgrad} = \frac{t_i}{T} = \left(\frac{U_{\text{Effektivwert}}}{U_{\text{Maximalwert}}} \right)^2$$



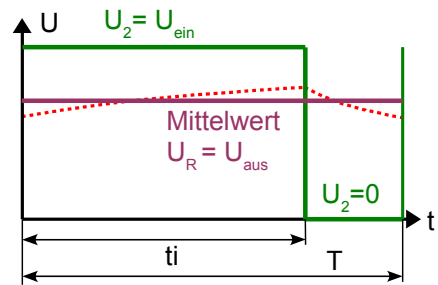
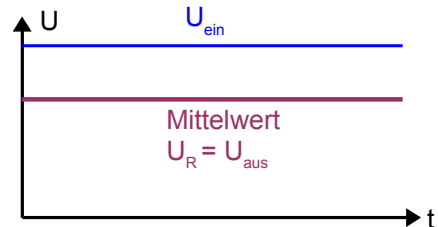
Transistor-Brückenschaltung



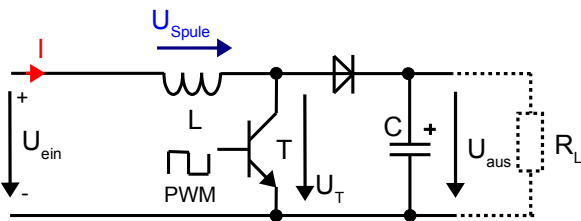
Tiefsetzsteller



Eingangsgleichspannung Ausgangsgleichspannung

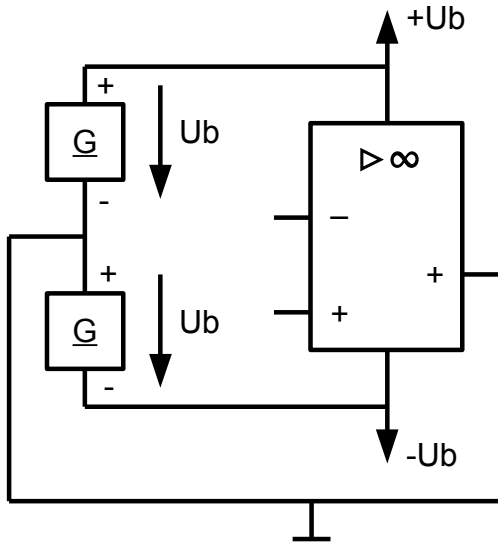


Hochsetzsteller



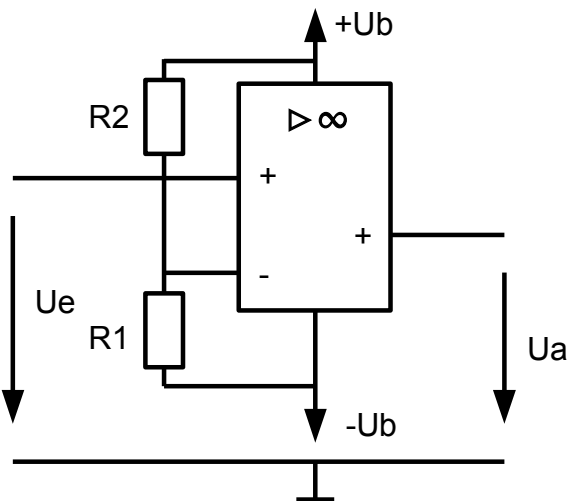
Operationsverstärker

Spannungsversorgung des Operationsverstärkers



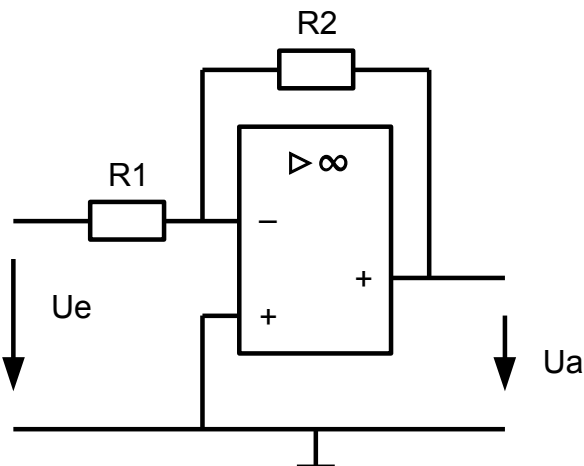
Für Abituraufgaben im TG Mechatronik gilt:
 In allen dargestellten Schaltungen besitzt der Operationsverstärker die links abgebildete symmetrische Spannungsversorgung mit +/-Ub

nicht invertierender Komparator



Komparator: Vergleich mit einer Schaltschwelle
 Schaltschwelle wird mit dem Spannungsteiler R2, R1 eingestellt.
 invertierender Komparator:
 Eingänge + und - vertauschen

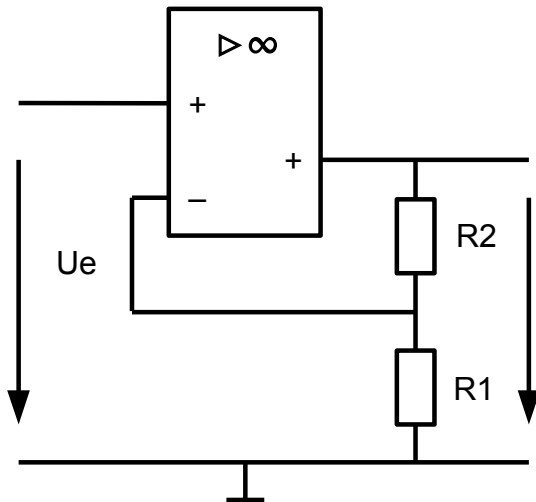
invertierender Verstärker



$$v_u = \frac{U_a}{U_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Spannungsverstärkungsfaktor

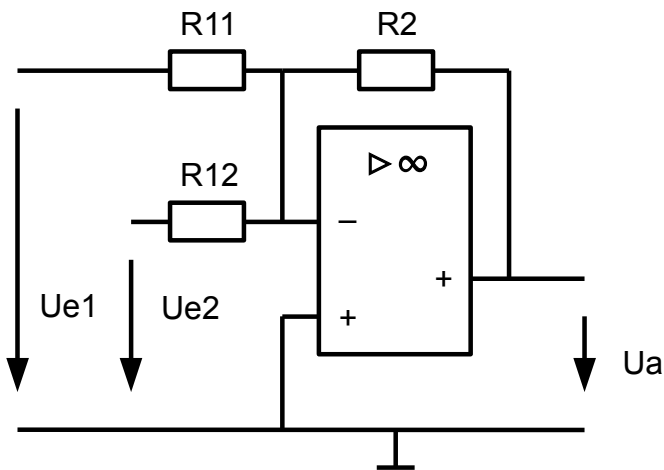
nicht invertierender Verstärker



$$v_u = \frac{U_a}{U_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

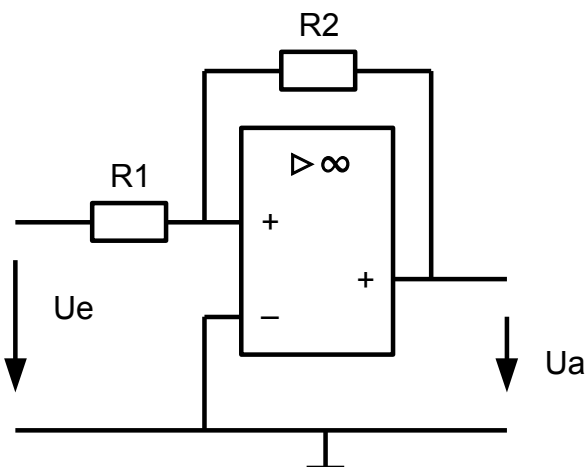
Spannungsverstärkungsfaktor

invertierender Summierverstärker



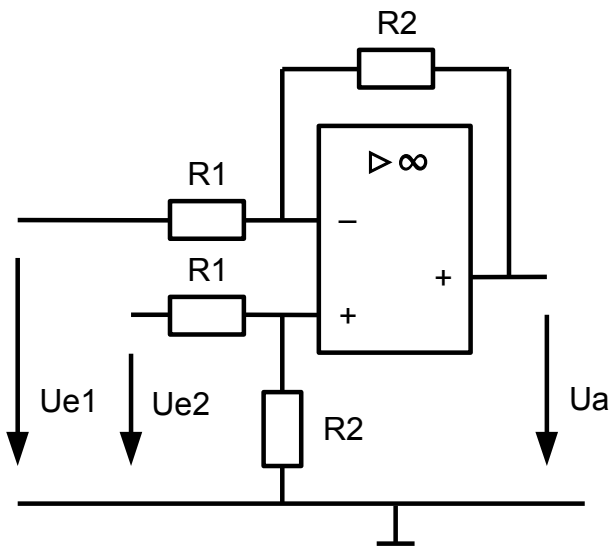
$$U_a = -\left(\frac{R_2}{R_{11}} \cdot U_{e1} + \frac{R_2}{R_{12}} \cdot U_{e2}\right)$$

nicht invertierender Schwellwertschalter mit Hysterese (Schmitt-Trigger)



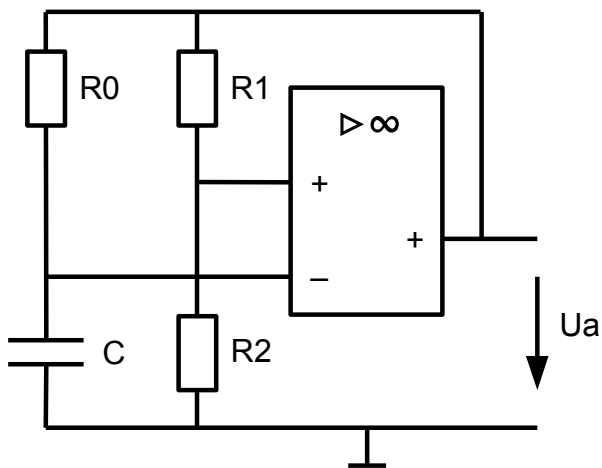
$$\frac{U_{e_{\text{Kipp}}}}{U_{a_{\text{max}}}} = \frac{R_1}{R_2}$$

Differenzverstärker



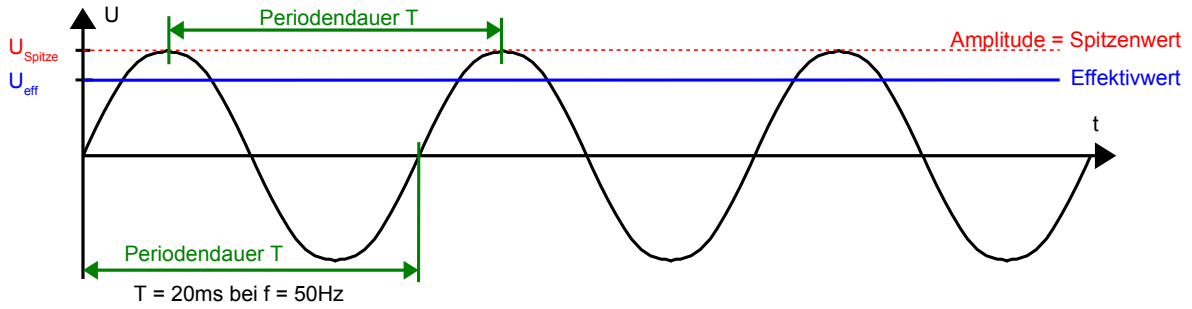
$$U_a = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{e2} - U_{e1})$$

Rechteckgenerator



$$f = \frac{1}{2 \cdot R_0 \cdot C \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

Wechselstrom



Frequenz
Periodendauer

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

f Frequenz in Hz = $\frac{1}{s}$
T Periodendauer in s

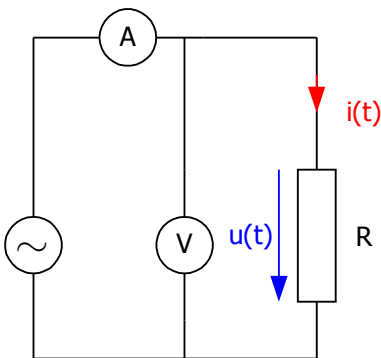
Effektivwert bei sinusförmigen Wechselgrößen

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{Spitze}}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{Spitze}}}{\sqrt{2}}$$

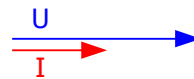
U_{eff} Effektivwert der Wechselspannung in V
 U_{Spitze} Spitzenwert der Wechselspannung in V
 I_{eff} Effektivwert des Wechselstroms in A
 I_{Spitze} Spitzenwert des Wechselstroms in A

Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand R)



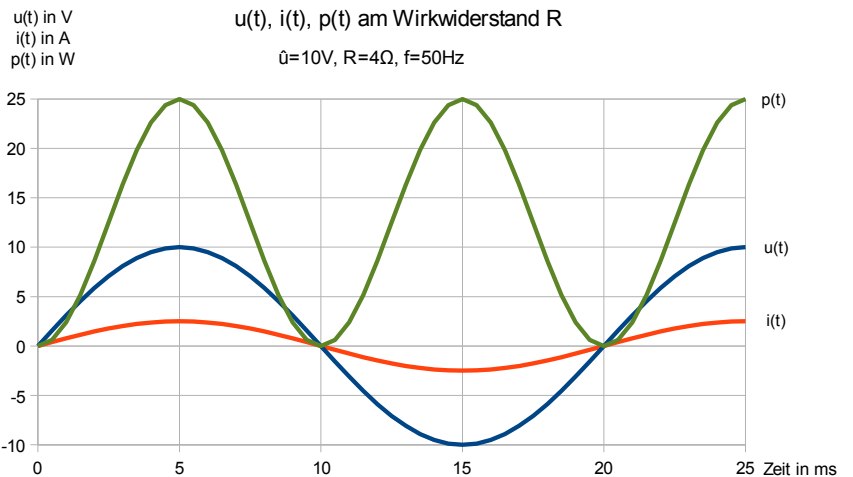
Strom und Spannung sind „in Phase“
(gemeinsame Nulldurchgänge).

Zeiger



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

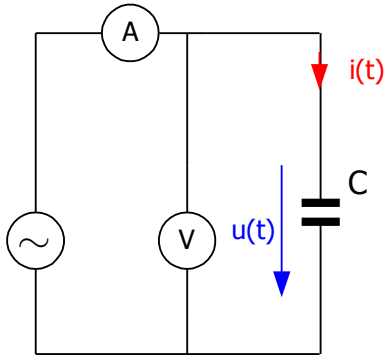
$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{\hat{u}}{R} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$$



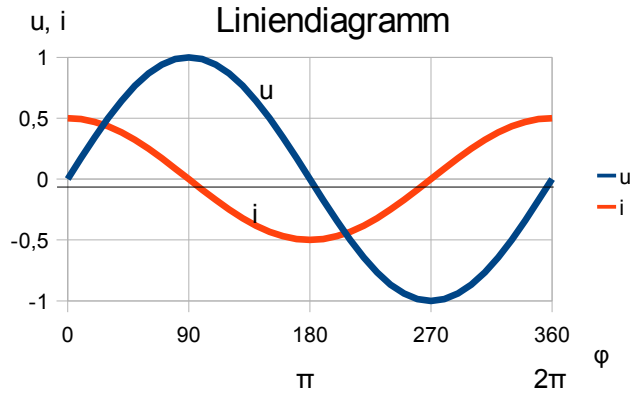
Kapazität im Wechselstromkreis

X_C kapazitiver Blindwiderstand

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

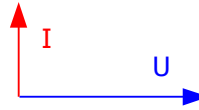


$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$$



Strom und Spannung sind „phasenverschoben“ (der Strom verläuft 90° „voreilend“).

Zeiger (Effektivwerte):

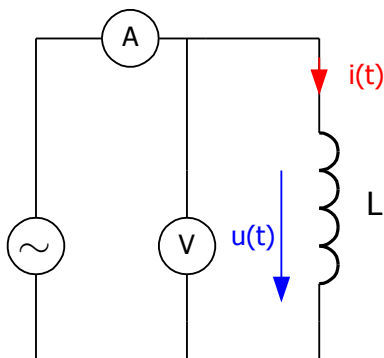


$$i(t) = \frac{\hat{u}}{X_C} \cdot \sin\left(2\pi f \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

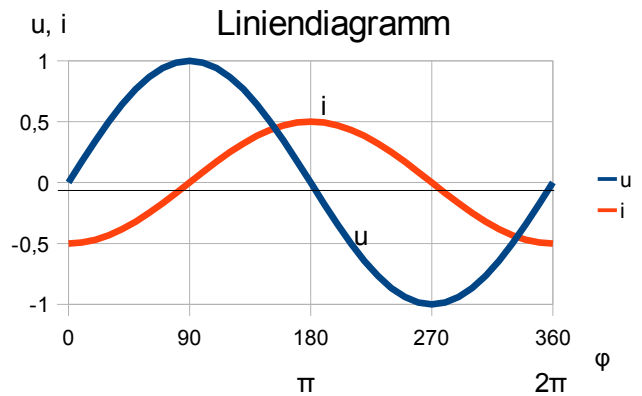
Induktivität im Wechselstromkreis

X_L Induktiver Blindwiderstand

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

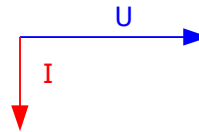


$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$$



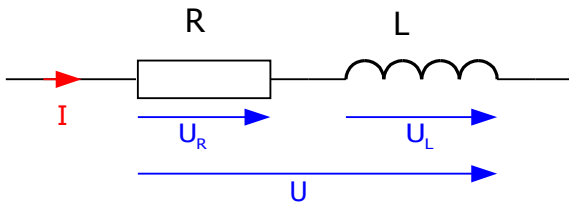
Strom und Spannung sind „phasenverschoben“ (der Strom verläuft 90° „nacheilend“).

Zeiger (Effektivwerte):



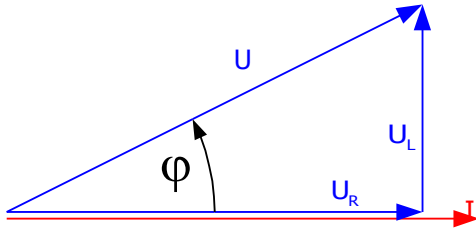
$$i(t) = \frac{\hat{u}}{X_L} \cdot \sin\left(2\pi f \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und XL (induktiver Blindwiderstand)



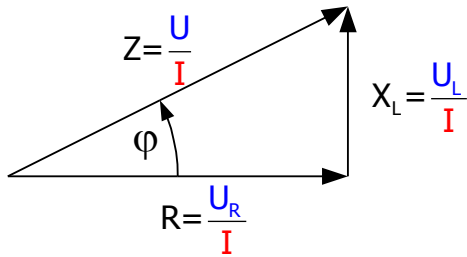
X_L Induktiver Blindwiderstand $[X_L] = \Omega$
 $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
 Z Scheinwiderstand $[Z] = \Omega$
 U Gesamtspannung
 I Strom

Spannungsdreieck



$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L$	$U_R = U \cdot \cos \varphi$
$U^2 = U_R^2 + U_L^2$	$U_L = U \cdot \sin \varphi$
$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$	$U_R = I \cdot R$
	$U_L = I \cdot X_L$

Widerstandsdreieck

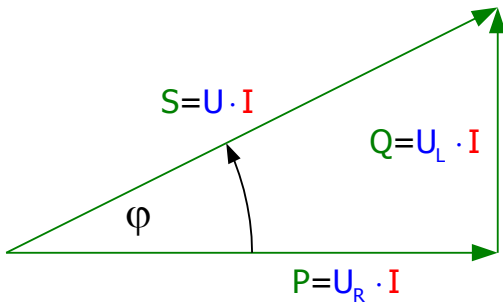


Normierung mit I (ähnliches Dreieck)

$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L$	$R = Z \cdot \cos \varphi$
$Z^2 = R^2 + X_L^2$	$X_L = Z \cdot \sin \varphi$
$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	$Z = \frac{U}{I}$

$\cos \varphi = \text{Wirkleistungsfaktor}$

Leistungsdreieck

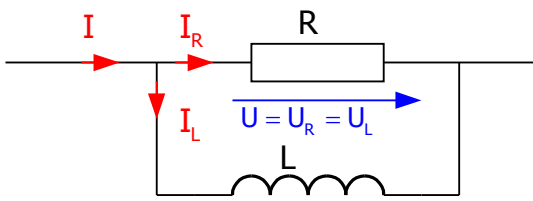


Normierung mit 1/I (ähnliches Dreieck)

$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}_L$	$P = S \cdot \cos \varphi$
$S^2 = P^2 + Q_L^2$	$Q_L = S \cdot \sin \varphi$
$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$	$S = U \cdot I$

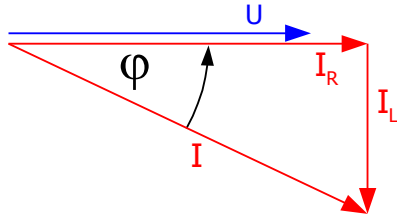
S Scheinleistung $[S] = V \cdot A$
 P Wirkleistung $[P] = W$
 Q Blindleistung $[Q] = \text{var}$

Parallelschaltung R und XL



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

Zeigerdiagramm der Ströme



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

$$I_R = I \cdot \cos \varphi$$

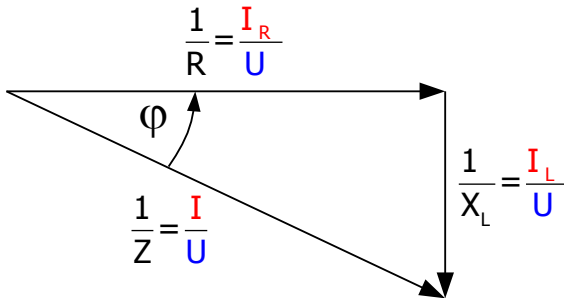
$$I^2 = I_R^2 + I_L^2$$

$$I_L = I \cdot \sin \varphi$$

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

$$I_R = \frac{U}{R} \quad I_L = \frac{U}{X_L}$$

Leitwertsdreieck



$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

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

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

$$\frac{1}{Z} = \frac{I}{U}$$

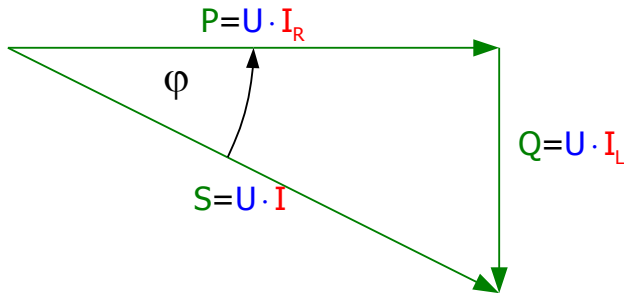
$$\text{Leitwert} = \frac{1}{\text{Widerstand}}$$

Normierung mit 1/U (ähnliches Dreieck)

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

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

Leistungsdreieck



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

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

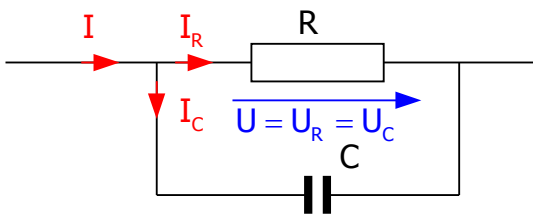
$$S^2 = P^2 + Q_C^2$$

$$Q_L = S \cdot \sin \varphi$$

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

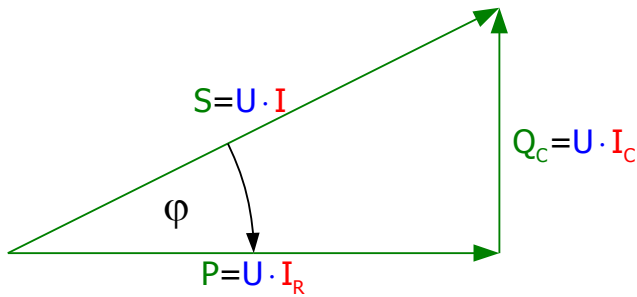
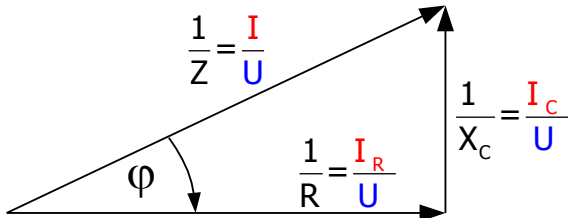
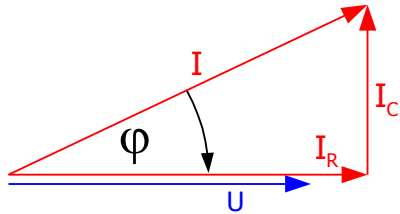
$$S = U \cdot I$$

Parallelschaltung R und XC



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

Zeigerdiagramm der Ströme



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

$$I_R = I \cdot \cos \varphi$$

$$I^2 = I_R^2 + I_C^2$$

$$I_C = I \cdot \sin \varphi$$

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

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

$$I_C = \frac{U}{X_C}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_C}$$

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

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

$$\frac{1}{Z} = \frac{I}{U}$$

$$\frac{1}{X_C} = \frac{1}{Z} \cdot \sin \varphi$$

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

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

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

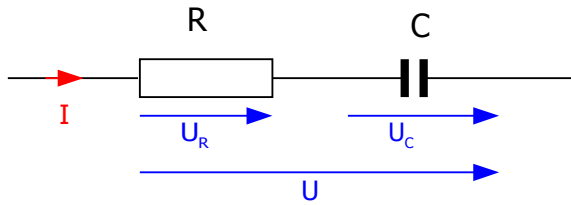
$$S^2 = P^2 + Q_C^2$$

$$Q_L = S \cdot \sin \varphi$$

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

$$S = U \cdot I$$

Reihenschaltung R (Wirkwiderstand) und XC (kapazitiver Blindwiderstand)



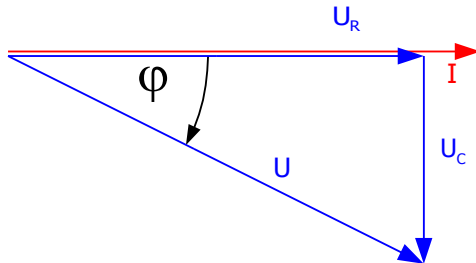
X_C

Kapazitiver Blindwiderstand

$[X_C] = \Omega$

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

Spannungsdreieck



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

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

$$U^2 = U_R^2 + U_C^2$$

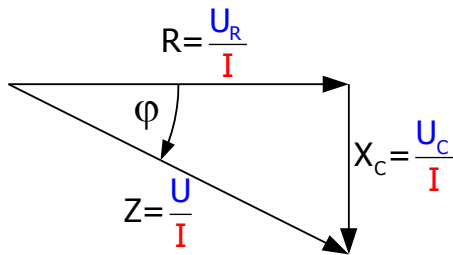
$$U_C = U \cdot \sin \varphi$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

$$U_R = I \cdot R$$

$$U_C = I \cdot X_C$$

Widerstandsdreieck



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

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

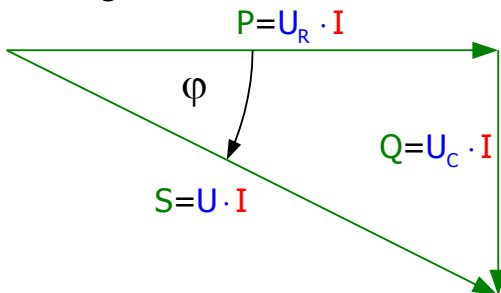
$$Z^2 = R^2 + X_C^2$$

$$X_C = Z \cdot \sin \varphi$$

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

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

Leistungsdreieck



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

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

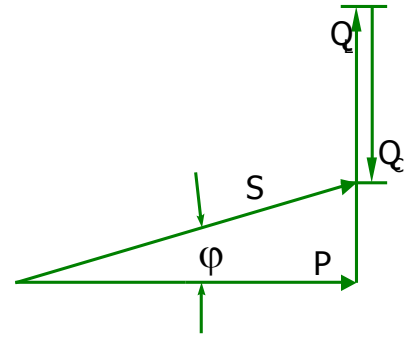
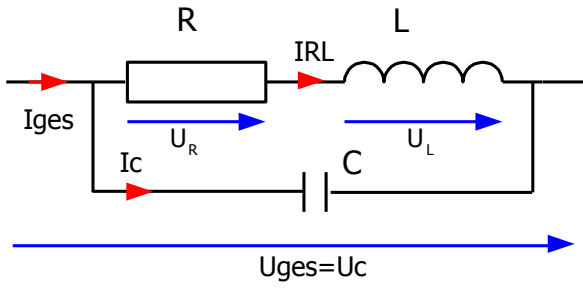
$$S^2 = P^2 + Q_C^2$$

$$Q_C = S \cdot \sin \varphi$$

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

$$S = U \cdot I$$

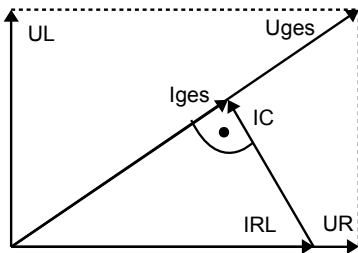
Blindleistungs-Kompensation



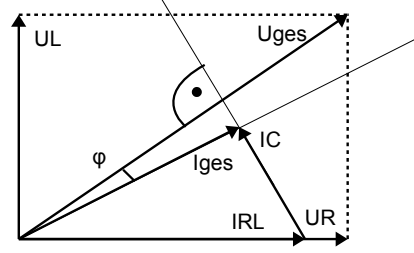
$$S^2 = P^2 + (Q_L - Q_C)^2 \quad \text{wobei } (P=P1+P2+...), (Q_C=Q_C1+Q_C2+...), (Q_L=Q_L1+Q_L2+...)$$

Vollständige Kompensation

$Q_C = Q_L$
 $S = P$
 $\cos\phi = 1$
 $Z = R$



Teilweise Kompensation



Wirkleistung
 Blindleistung
 Scheinleistung

$$P = U_R \cdot I_R$$

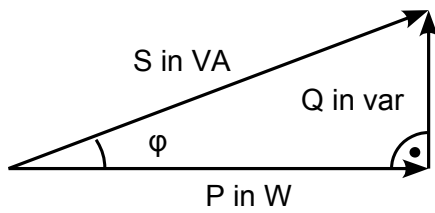
$$Q_C = U_C \cdot I_C$$

$$Q_L = U_L \cdot I_L$$

$$S = U_{ges} \cdot I_{ges}$$

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

$$\cos(\phi) = \frac{P}{S} = 0..1_{\text{induktiv/kapazitiv}}$$



P Wirkleistung in W
 U_R, I_R Spannung und Strom am Widerstand
 Q_C, Q_L Blindleistungen in var
 U_C, I_C Spannung und Strom am Kondensator
 U_L, I_L Spannung und Strom an der Spule
S Scheinleistung in VA
 U_{ges}, I_{ges} Gesamtspannung und Gesamtstrom an einer Schaltung aus R,L,C
 $\cos(\phi)$ Leistungsfaktor, Verschiebungsfaktor
 ϕ Phasenverschiebungswinkel zwischen U_{ges} und I_{ges}
 ϕ Winkel zwischen S und P

Siebschaltungen (passive Filter)

Grenzfrequenz:

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

bei $f = f_g$ gilt :

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

$$U_R = U_C \quad \text{bzw.} \quad U_L = U_R$$

$$R = X_C \quad \text{bzw.} \quad X_L = R$$

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

Amplitudengang

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

Das Verhältnis U_a/U_e 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.

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

Verstärkungsmaß

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

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

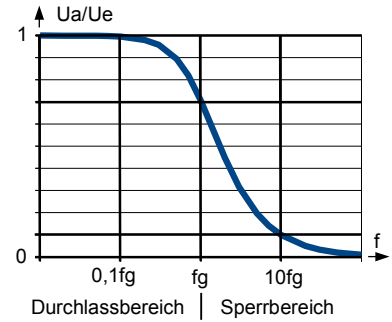
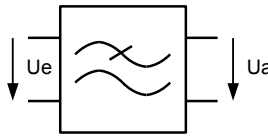
[a] = dB (Dezibel)

Beispiele:

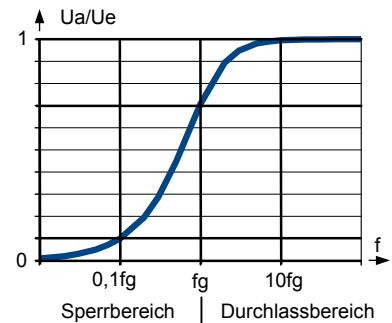
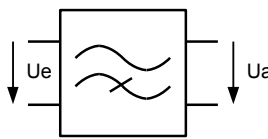
$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{Verstärkung} \Rightarrow \left| \frac{U_a}{U_e} \right|_{\text{dB}} = 20 \cdot \log(0,707) = -3\text{dB (Dezibel)}$$

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

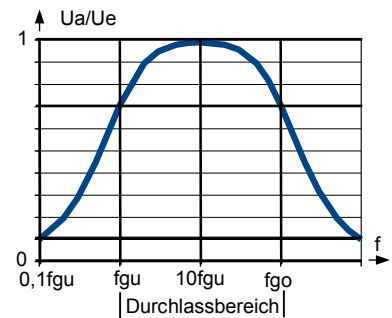
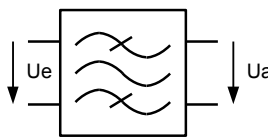
Tiefpass



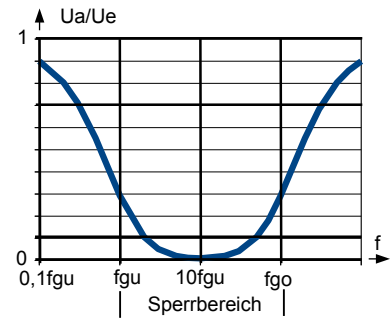
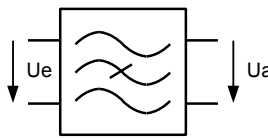
Hochpass



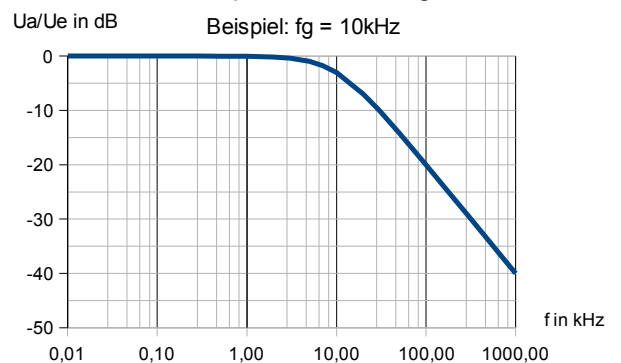
Bandpass



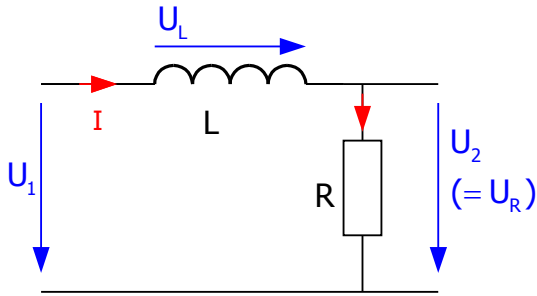
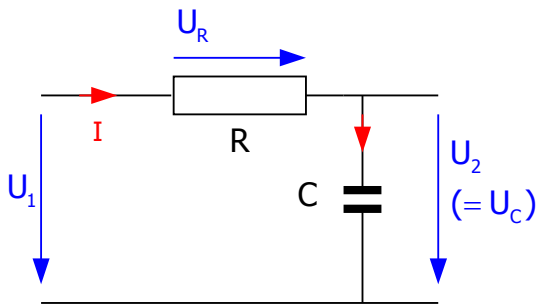
Bandsperr



Tiefpass: Verstärkung in dB



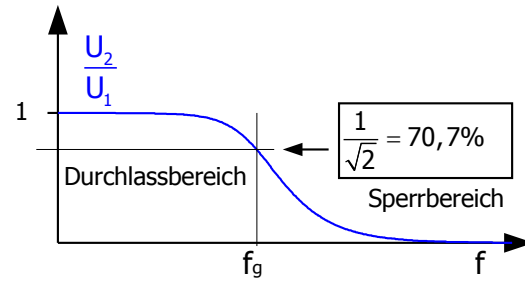
RC- und LR-Tiefpässe



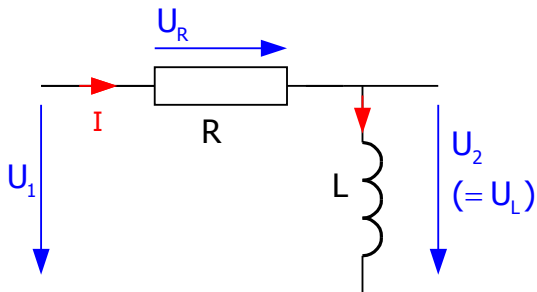
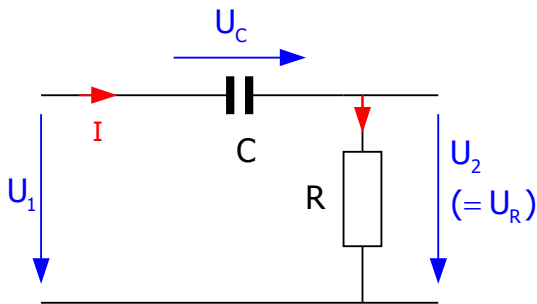
Grenzfrequenz

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

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

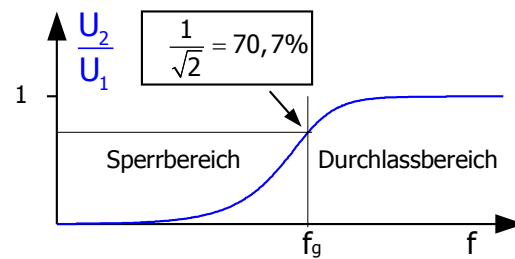


CR- und RL-Hochpässe

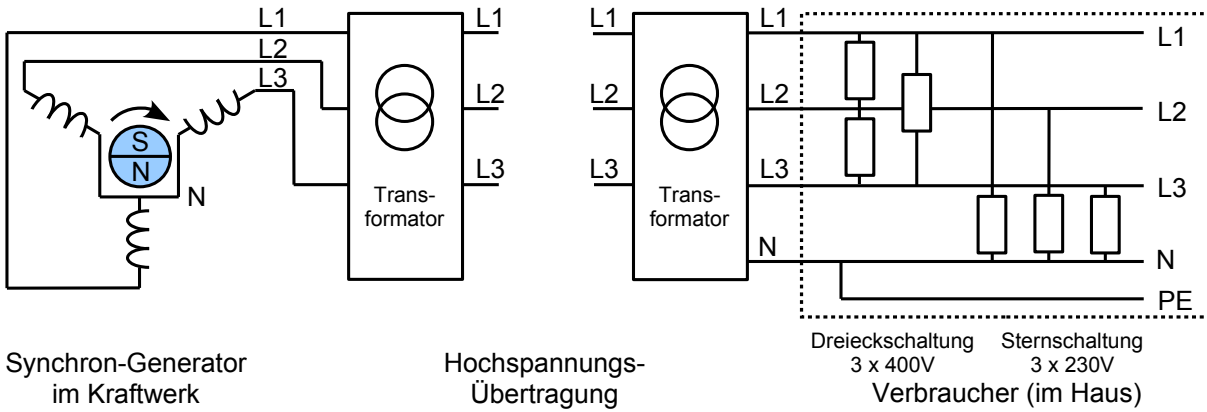


$$f_G = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (\text{RC-Hochpass})$$

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



Dreiphasiger Wechselstrom, Drehstrom

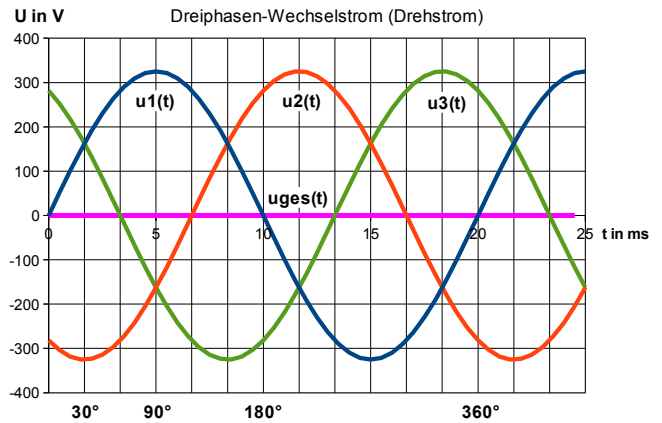
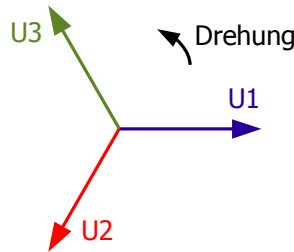


Synchron-Generator im Kraftwerk

Hochspannungs-Übertragung

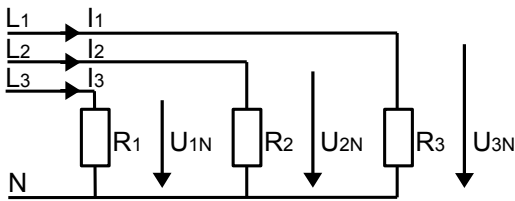
Dreieckschaltung 3 x 400V
Sternschaltung 3 x 230V
Verbraucher (im Haus)

3 Phasen mit 120° Phasenverschiebung
zu jedem Zeitpunkt gilt: $u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) = 0$



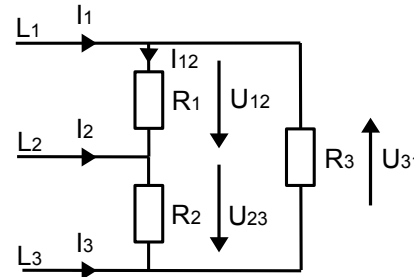
Sternschaltung

Verbraucher zwischen Phase und Nulleiter geschaltet
Spannung am Verbraucher im Haushalt: 230V



Dreieckschaltung

Verbraucher zwischen zwei Phasen geschaltet
Spannung am Verbraucher im Haushalt: 400V



Strangstrom

$$I_{12} = \frac{I_1}{\sqrt{3}}$$

$$U_{\text{Stern}} = \frac{U_{\text{Dreieck}}}{\sqrt{3}}$$

$$P_{\text{Stern}} = \frac{P_{\text{Dreieck}}}{3}$$

$$P_{\text{ges}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

$$S_{\text{ges}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

U_{Stern} Spannung in Sternschaltung (zwischen Phase L und Nulleiter N)
 U_{1N}, U_{2N}, U_{3N}

U_{Dreieck} Spannung in Dreieckschaltung (zwischen 2 Phasen)
 U_{12}, U_{23}, U_{31}

P_{Stern} Leistung in Sternschaltung in W

P_{Dreieck} Leistung in Dreieckschaltung in W

P_{ges} Gesamte Wirkleistung in W

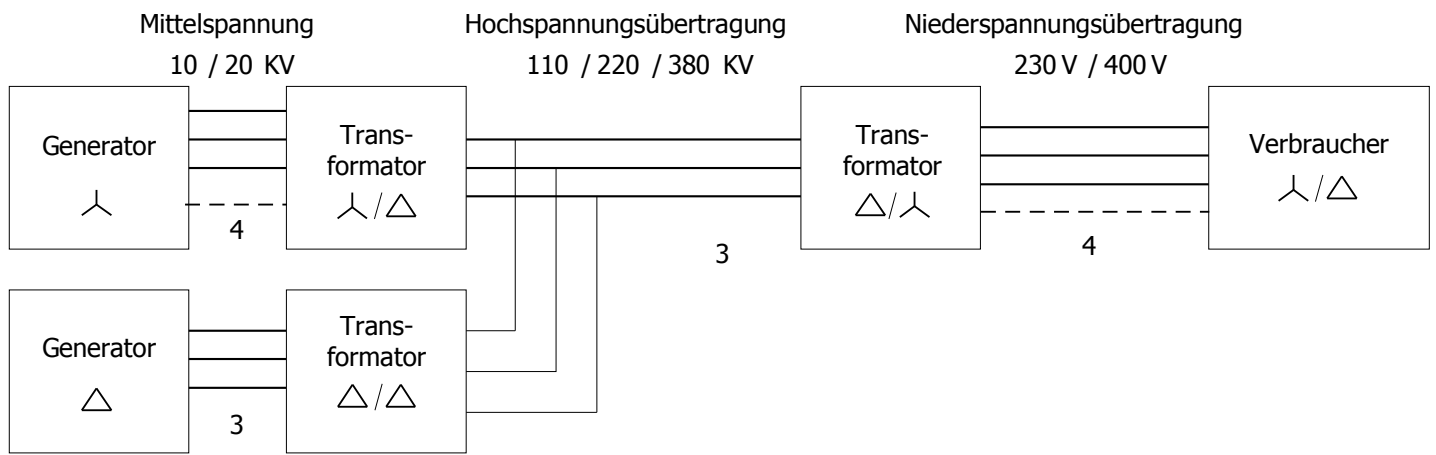
S_{ges} Gesamte Scheinleistung in VA

U Leiterspannung (U_{12}, U_{23}, U_{31}) zwischen den Außenleitern

I Außenleiterstrom I_1, I_2, I_3

$\cos(\varphi)$ Leistungsfaktor

φ Phasenverschiebungswinkel zwischen U und I

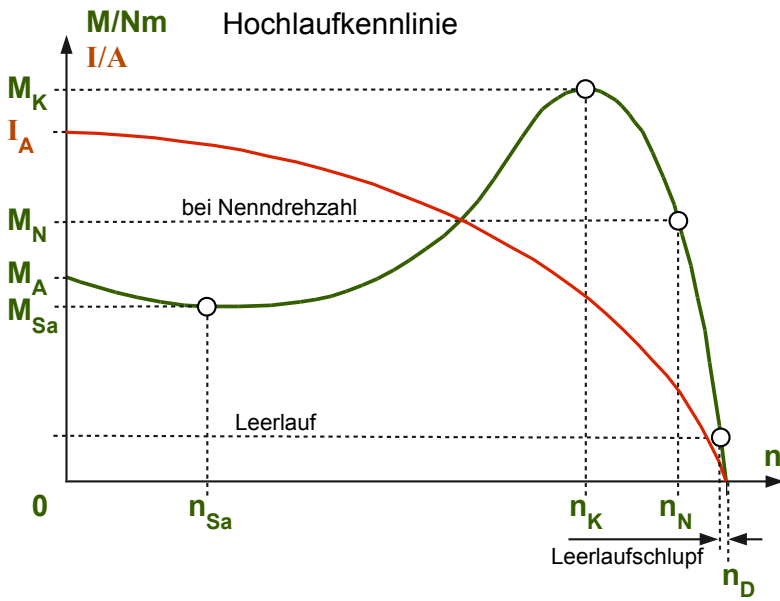


Betriebswerte von Drehstromasynchronmotoren (DASM)

Betriebsdaten von DASM (Käfigläufermotoren) bei 50 Hz / 400 V						
Baugröße	P_N in kW	n_N in $\frac{1}{\text{min}}$	I_N in A	M_N in Nm	η in %	$\frac{M_A}{M_N}$
Drehfelddrehzahl $n_f = 3000 \frac{1}{\text{min}}$						
63	0,25	2765	0,68	0,86	66	2,3
71	0,55	2800	1,3	1,9	71	2,3
80	0,75	2850	1,7	2,5	74	2,4
80	1,1	2850	2,6	3,7	77	2,4
90S	1,5	2860	3,4	5	77	2,5
90L	2,2	2860	4,6	7,4	82	2,8
100L	3	2895	6,1	9,8	83	2,4
112L	4	2895	7,8	13	84	2,4
132S	5,5	2825	10,6	18	85	2,2
Drehfelddrehzahl $n_f = 1500 \frac{1}{\text{min}}$						
71	0,25	1325	0,75	1,8	62	1,7
80	0,55	1400	1,4	3,7	71	2,3
80	0,75	1400	1,8	5,1	74	2,5
90S	1,1	1410	2,6	7,5	75	2,1
90L	1,5	1405	3,5	10	75	2,2
100L	2,1	1415	4,9	15	79	2,2
100L	3	1415	6,4	20	81	2,7
112M	4	1435	8,7	27	83	2,9
132S	5,5	1450	11,1	36	84	2,2

Drehstrom-Asynchronmotor DASM

Hochlaufkennlinie M(n)



- M Drehmoment in Nm
- n Läuferdrehzahl in 1/s
- M_N Nennmoment, Bemessungsmoment
- n_N Nenndrehzahl, Bemessungsdrehzahl
- M_A Anlaufmoment
- M_K Kippmoment
- n_K Kippdrehzahl
- M_{Sa} Sattelmoment
- n_{Sa} Satteldrehzahl
- n_D Drehfeldfrequenz

$$n_D = \frac{f}{p} \qquad n = f \cdot \frac{(1-s)}{p}$$

$$s = \frac{n_D - n}{n_D} \qquad n_s = n_D - n$$

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

$$M = \frac{P_{mech}}{2 \cdot \pi \cdot n} \qquad M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K}}$$

- f Frequenz der Motorspannung in 1/s
- p Polpaarzahl
- n_D Drehfeldfrequenz in 1/s
- n Läuferdrehzahl in 1/s
- n_s Schlupfdrehzahl
- s Schlupf (Angabe manchmal in %)
- s_K Kippschlupf
- P_{el} Leistungsaufnahme in W
- U Leiterspannung in V
- I Außenleiterstrom in A
- $\cos \varphi$ Leistungsfaktor
- M Drehmoment in Nm

Typenschildangaben

3 ~
50 Hz
230/400 V

xx/yy A
1410 min⁻¹
5 kW

$\cos \varphi$ 0,75

Bemessungswerte = Nennwerte

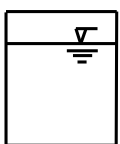
- Drehstrommotor
- Bemessungsfrequenz
- kleinerer Wert darf max. an der Motorspule anliegen, U_{Motor} in Δ 230V , in Y 400V
- Bemessungsstrom in A
- Bemessungsdrehzahl in 1/min
- Abgegebene mechanische Leistung im Bemessungsbetrieb
- Leistungsfaktor im Bemessungsbetrieb

Symbole der Elektrotechnik

Schalten	Taster 	Schalter 	Schließerkontakt 	Öffnerkontakt 	Umschalter
Anzeigen Dioden	Anzeigelampe 	Lampe 	LED 	Diode 	Schottky-Diode
Widerstände	Widerstand 	Veränderbarer Widerstand 	Widerstand mit Schleifkontakt 	PTC Kaltleiter 	NTC Heißeiter
	Spule 	Kondensator 	Kondensator mit Polung 	Batterieelement, Akku 	Masse, Erde
	Sicherung 	Solarzelle 	Relais 	Relais mit Kontakt 	N-Kanal-IGFET
Quellen	ideale Spannungsquelle 	Ideale Stromquelle 	Signalgenerator Gleichspannung 	Signalgenerator Wechselspannung 	Umlaufender Generator
Messgeräte	Spannungsmesser, Voltmeter 	Strommesser, Amperemeter 	Leistungsmesser, Wattmeter 	Leistungsfaktor-Messgerät 	Energiemesser, Wattstundenzähler
Umsetzer	Analog/Digital-Umsetzer, n Bit 		Digital/Analog-Umsetzer, n Bit 		
	Komparator, Schwellwertschalter 		Schmitt-Trigger, Zweipunktregler 		

Symbole der RI-Fließtechnik

Behälter mit Flüssigkeit



Motor



Heizung / Wärmetauscher



Pumpe



Rührer



Kompressor



Druckluftantrieb



Ventil



Niveauangabe



Messstelle



Hauptflussrichtung



Betriebsmittelkennzeichnung nach DIN EN 81346-2 (Auszug)

Kennbuchstabe	Beispiel	Zweck oder Aufgabe
B	Messumformer, Mikrophon, Bewegungswächter, Photozelle, Grenzwertschalter, Positionsschalter, Sensor, Überstromschutzrelais, Wächter, Videokamera	Umwandeln einer Eingangsvariablen (physikalische Eigenschaft, Zustand oder Ereignis) in ein zur Weiterverarbeitung bestimmtes Signal
C	Kondensator	Speichern von Material, Energie oder Information
E	Beleuchtung, Lampe, Heizung, Warmwasserspeicher	Liefern von Strahlungsenergie oder Wärmeenergie
F	Sicherungen, Motorschutzschalter, Leistungsschalter, Fehlerstromschutzschalter	Direkt (selbsttätig) einen Energiefluss, Signale, Personal oder Ausrüstungen vor gefährlichen oder unerwünschten Zuständen schützen.
G	Akku, Drehstromgenerator, Batterie, Gleichrichter, Solarzelle, Brennstoffzelle, Ventilator, Hebezeug, Fördereinrichtung	Initiiert einen Energie- oder Materialfluss. Erzeugen von Signalen als Informationsträger oder Referenzquelle; Produzieren einer neuen Materialart oder eines neuen Produktes
H	Meldeleuchten	Anzeige von Betriebszuständen
K	Hilfsschütz, Hilfsrelais, Zeitrelais, Spannungsregler, Transistor, Automatisierungsgerät, Optokoppler, Steuerventil, Auslöser	Verarbeiten (Empfang, Verarbeitung, Bereitstellung) von Signalen oder Informationen (ausgenommen Objekte für Schutzzwecke, siehe Kennbuchstabe B oder F)
M	Motor, Antriebsspule, Antrieb, Aktor, Verbrennungsmotor, Turbine, Hubmagnet, Stellantrieb	Bereitstellung von mechanischer Energie (mechanische Dreh- oder Linearbewegung) zu Antriebszwecken
P	Anzeige, Hupe, LED, Lautsprecher, Voltmeter, Amperemeter, Wattmeter, Leistungsfaktoranzeiger, Ereigniszähler, Wirkleistungszähler, Blindleistungszähler	Darstellung von Information
Q	Leistungsschalter, Schütz, Trennschalter, Leistungstransistor, Lasttrennschalter	Kontrolliertes Schalten oder Variieren eines Energie-, oder Signalflusses oder Materialflusses
R	Diode, Drossel, Widerstand, Zenerdiode	Begrenzung oder Stabilisierung von Bewegung oder Fluss von Energie, Information oder Material
S	Steuerschalter, Wahlschalter, Taster	Umwandeln einer manuellen Betätigung in ein zur Weiterverarbeitung bestimmtes Signal
T	Ladegerät, Netzgerät, Gleichrichter, Verstärker, Frequenzwandler, Transformator, Wechselrichter	Umwandeln von Energie unter Beibehaltung der Energieart; Umwandeln eines bestehenden Signals unter Beibehaltung des Informationsgehalts;
W	Kabel, Leiter, Datenbus, Lichtwellenleiter,	Leiten oder Führen von Energie, Signalen oder Materialien oder Produkten von einem Ort zu einem anderen
X	Trenn- und Steckverbindung, Steckdose	Verbinden von Objekten

Normreihen von Widerständen

E6 (20%)	E12 (10%)	E24 (5%)	E48 (2%)	E96 (1%)			
1	1	1	1	1 1,02 1,05 1,07			
			1,1	1,1	1,1 1,13 1,15 1,18		
				1,2	1,2	1,21 1,24 1,27 1,3 1,33 1,37	
		1,3			1,3	1,33 1,37 1,4 1,43	
			1,5		1,5	1,47 1,5 1,54 1,58	
					1,6	1,6	1,62 1,65 1,69 1,74
	1,8	1,8				1,78 1,82 1,87 1,91 1,96 2	
		2				2	1,96 2 2,05 2,1
				2,2	2,2	2,15	2,15 2,21 2,26 2,32
						2,4	2,37
		2,7	2,61				2,61 2,67 2,74 2,8
			2,7		2,7		2,74 2,8 2,87 2,94
	3				3	2,87 2,94 3,01 3,09 3,16 3,24	

E6 (20%)	E12 (10%)	E24 (5%)	E48 (2%)	E96 (1%)		
3,3	3,3	3,3	3,32	3,32 3,4 3,48 3,57		
			3,6	3,6	3,65 3,74 3,83 3,92	
				3,9	3,9	3,83 4,02 4,12 4,22 4,32
		4,3			4,3	4,22 4,42 4,53 4,64
			4,7		4,7	4,64 4,87 4,99 5,11 5,23
					5,1	5,1
	5,6	5,6				5,62 5,76 5,9 6,04 6,19 6,34
		6,2				6,2
				6,8	6,8	6,81 6,98 7,15 7,32
					7,5	7,5
		8,2	8,2			7,87 8,06 8,25 8,45 8,66 8,87
			9,1			9,1

Variablen mit elementaren Datentypen

Datentyp	Schlüsselwort IEC 63113-3	Informations- breite	Kennung
Bit	BOOL	1 Bit	X *)
Byte	BYTE	8 Bit	B
Wort	WORD	16 Bit	W
Doppelwort	DWORD	32 Bit	D

*) SIMATIC STEP 7 nur bei DB





Schlüsselwörter für die Variablendeklarationen (Lokaldaten)

Schlüsselwörter	IEC	STEP 7
Input	VAR_INPUT	IN
Output	VAR_OUTPUT	OUT
In-Output	VAR_IN_OUT	IN_OUT
Statische	VAR	STAT
Temporäre	VAR_TEMP	TEMP

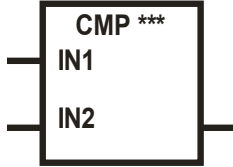
Bistabile Speicher

Speicherfunktion	IEC	STEP 7
Speicher mit vorrangigem Rücksetzen 	Speicheroperand 	Speicheroperand
Speicher mit vorrangigem Setzen 		Speicheroperand
SET-BOX (S-Anschluss eines Speichers)		
RESET-BOX (R-Anschluss eines Speichers)		

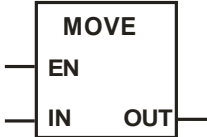
Flankenbewertung

Flankenbewertung	IEC	STEP 7
Positive Flanke (R: Rise = steigen)	Instanz 	Instanz 
Negative Flanke (F: Fall = fallen)	Instanz 	Instanz 

Vergleicher

(***) Vergleichsfunktionen (CMP)		Symbol
Vergleich auf gleich	==I ==R	
Vergleich auf ungleich	<>I <>R	
Vergleich auf größer	>I >R	
Vergleich auf größer oder gleich	>=I >=R	
Vergleich auf kleiner	<I <R	
Vergleich auf kleiner oder gleich	<=I <=R	
Integer (I) Ganzzahlen Real (R) Gleitpunktzahl Eingänge: IN1 Eingang 1 INTEGER / REAL IN2 Eingang 2 INTEGER / REAL Ausgang: BOOL		

Übertragungsfunktion

MOVE	Symbol
Operanden und Variablen mit elementaren Datentypen zu transferieren	
Eingänge: EN BOOL IN BYTE, WORD, DWORD Ausgang: OUT BYTE, WORD, DWORD	

Zeitgeber

Zeitgeber, Timer nach IEC-Darstellung, Step 7-Timer nicht mehr verwenden	
Impuls TP	
	<p>TP (Timer Pulse) Instanzname</p>
Einschaltverzögerung TON	
	<p>TON (Timer - ON delay) Instanzname</p>
Ausschaltverzögerung TOF	
	<p>TOF (Timer - OFF delay) Instanzname</p>
Beschreibung	
<p>IN : Start-Bit (BOOL) PT : Zeitvorgabe (TIME)</p> <p>Q : Zeitstatus-Bit (BOOL) ET: Aktueller Zeitwert Typ -(Time)</p>	<p>Zeitvorgabe: Tag(d)-Std(h)-Min(m)-Sek(s)-Millisek(ms) Zeitbereich: (32 Bit – DWORD) 1ms bis 24d 20h 31m 23s 647ms</p> <p>Zeitvorgabe PT: T# (Bsp.: T#2m15s)</p>

Ablaufsprache

Die Bestandteile einer Ablaufsteuerung gliedern sich in drei Teile:

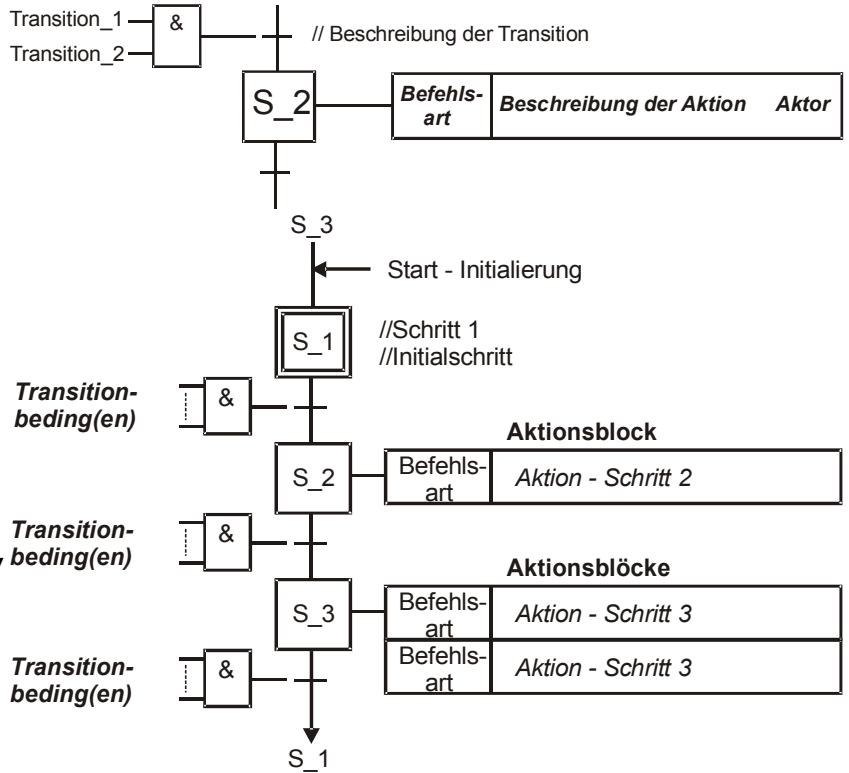
- Ablaufkette
- Transitionsbedingungen (Weiterschaltbedingungen)
- Aktionen (Befehlsausgabe)

S_1 Anfangsschritt (Initialschritt) ist doppelt umrandet

S_2 Jeder Schritt hat eine Nummer

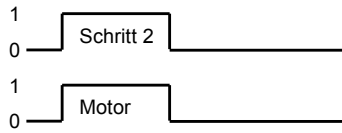
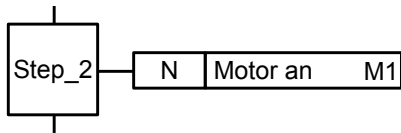
† An der Wirkungslinie werden Übergangsbedingungen (Transitionen) angegeben

Rechts neben dem Schritt wird die Befehlsart, die Aktion und der Ausführende (Aktor angegeben)



Befehlsart	Bedeutung	Beschreibung
N	nicht speichernd (Non-stored)	Aktor erhält "1"-Signal, solange der Schritt aktiv ist
S	Gespeichert (Set stored)	Aktor wird auf "1"-Signal gesetzt bis zu einem RESET
R	Rücksetzen (Reset stored)	Aktor wird auf "0"-Signal zurückgesetzt
L T# ...	Zeitbegrenzt (time Limited)	Aktor wird für eine bestimmte Zeit aktiviert, solange der Schritt gesetzt ist
D T# ...	Zeitverzögert (time Delayed)	Aktor wird nach einer bestimmten Zeit aktiviert, solange der Schritt aktiv ist
LS T# ...	Zeitbegrenzt u. gespeichert (time Limited and Stored)	Aktor wird für eine bestimmte Zeit aktiviert, auch wenn der Schritt deaktiviert wird
DS T# ...	Zeitverzögert u. gespeichert (Delayed and Stored)	Aktor wird nach einer bestimmten Zeit aktiviert, sofern der Schritt noch aktiv ist und bleibt aktiviert bis zu einem RESET
SD T# ...	Gespeichert u. zeitverzögert (Stored und Delayed)	Aktor wird nach einer bestimmten Zeit aktiviert, auch wenn der Schritt deaktiviert wird. Der Aktor bleibt aktiviert bis zu einem RESET
NC	Nicht speichernd mit Zusatzbedingung (Non Control)	Aktor ist aktiv, solange der Schritt aktiv und die Zusatzbedingung erfüllt ist
SC	Speichern mit Zusatzbedingung (Saved Control)	Aktor wird auf "1"-Signal gesetzt, wenn der Schritt aktiv und die Zusatzbedingung erfüllt ist.
RC	Rücksetzen mit Zusatzbedingung (Reset Control)	Aktor wird auf "0"-Signal zurückgesetzt, wenn der Schritt aktiv und die Zusatzbedingung erfüllt ist.

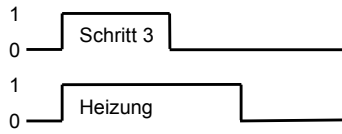
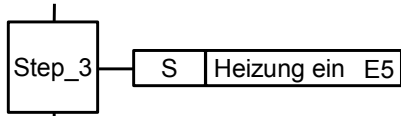
N-Befehl (Nicht speichernd)



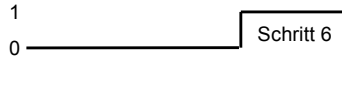
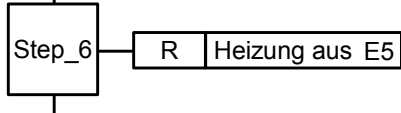
Motor ist an, solange der Schritt aktiv ist

S-Befehl (Setzen, speichernd)

R-Befehl (Rücksetzen, speichernd)

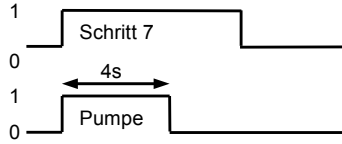
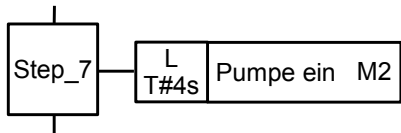


Heizung wird eingeschaltet und bleibt an bis zu einem Reset



Heizung zu Beginn des Schritts ausschalten

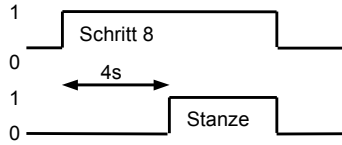
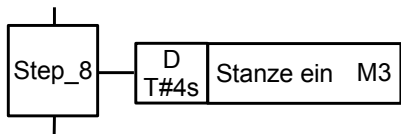
L-Befehl (zeitbegrenzt, Limited)



Ist Schritt 7 kürzer als 4s, geht die Pumpe aus

Pumpe wird für bestimmte Zeit aktiviert, solange der Schritt aktiv ist

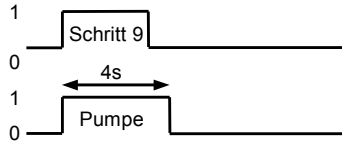
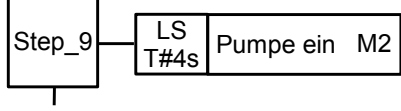
D-Befehl (zeitverzögert, Delayed)



Schritt 8 muss länger als 4s sein, sonst wird der Zylinder nicht angesteuert.

Stanze wird zeitverzögert aktiviert, solange der Schritt aktiv ist.

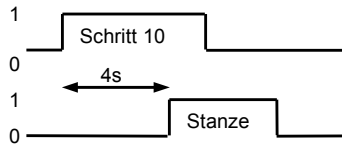
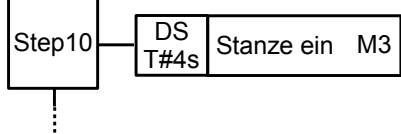
LS-Befehl (zeitbegrenzt, speichernd Limited, Stored)



Pumpe bleibt 4s an, obwohl Schritt 9 kürzer ist

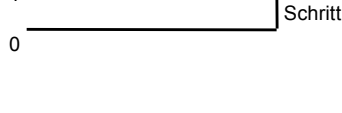
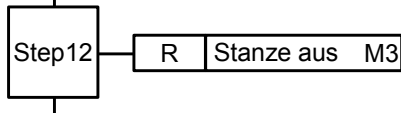
Pumpe wird für bestimmte Zeit aktiviert, auch wenn der Schritt deaktiviert wurde

DS-Befehl (zeitverzögert, speichernd Delayed, Stored)

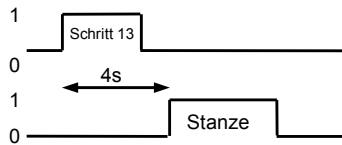
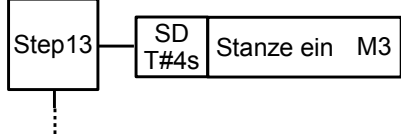


Schritt 10 muss länger als 4s sein, sonst wird der Zylinder nicht angesteuert.

Stanze wird zeitverzögert aktiviert, sofern der Schritt aktiv noch ist und wird deaktiviert mit Reset.

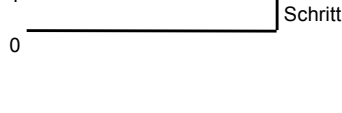
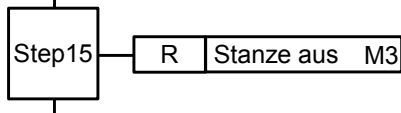


SD-Befehl (speichernd, zeitverzögert Stored, Delayed)



Schritt 13 kann kürzer als 4s sein, Stanze wird trotzdem zeitverzögert angesteuert.

Stanze wird zeitverzögert aktiviert, auch wenn der Schritt deaktiviert wurde und wird deaktiviert mit Reset.



Schrittketten: Grundregeln

- Beim Setzen eines Schrittes wird dieser aktiv geschaltet, die Variable hat den Wert true, die zugeordnete Aktion wird ausgeführt
- Rücksetzen eines Schrittes schaltet diesen inaktiv, die Variable hat den Wert false, die zugeordnete Aktion wird nicht ausgeführt
- Bei der Aktivierung einer Schrittfolge wird der Initialschritt und nur dieser gesetzt
- Alle anderen Schritte werden gesetzt, wenn der vorhergehende Schritt aktiv und die Weiterschaltbedingung (Transition) erfüllt ist.
- Ein Schritt wird zurückgesetzt, wenn der nachfolgende Schritt gesetzt wird.

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

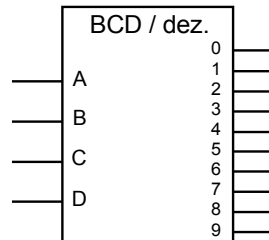
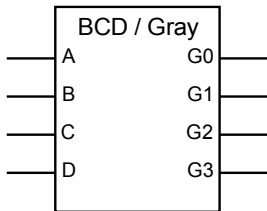
	keine Gewichtung			
HEX	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	1
3	0	0	1	0
4	0	1	1	0
5	0	1	1	1
6	0	1	0	1
7	0	1	0	0
8	1	1	0	0
9	1	1	0	1
A	1	1	1	1
B	1	1	1	0
C	1	0	1	0
D	1	0	1	1
E	1	0	0	1
F	1	0	0	0

BCD- Codes / 4-Bit Codes

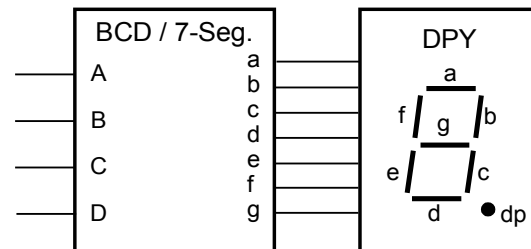
Dez.	BCD
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

Ziffern > 9 sind nicht definiert

Spezielle Umcodierer



Umcodierer mit 7-Segmentanzeige



4 Mathematische Grundformeln

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

Umrechnungen

1 Jahr = 365 Tage = 8760 Stunden

1 Stunde = 60 min = 3600 Sekunden

Flächen- und Volumenberechnungen

Kreisfläche

$$A = \pi \cdot r^2$$

Kreisumfang

$$U = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Dreiecksfläche

$$A = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h$$

Trapezfläche

$$A = \frac{1}{2} \cdot (a + c) \cdot h$$

Kegel

$$M = \pi \cdot r \cdot s$$

$$O = \pi \cdot r^2 + \pi \cdot r \cdot s$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Kegelstumpf

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2)$$

Pyramide

$$O = G + M$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot G \cdot h$$

Zylinder

$$O = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

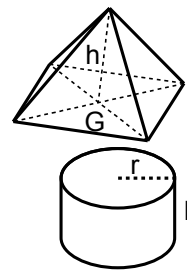
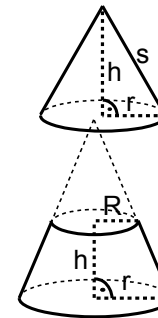
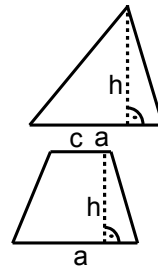
$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Kugel

$$O = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

A Fläche in m²
 r Kreisradius in m
 U Umfang in m
 M Mantelfläche in m²
 O Oberfläche in m²
 V Volumen in m³



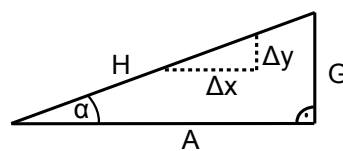
G Grundfläche in m²
 M Summe der Dreiecksflächen

Winkelfunktionen

$$\sin(\alpha) = \frac{G}{H}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{A}{H}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{G}{A} = m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

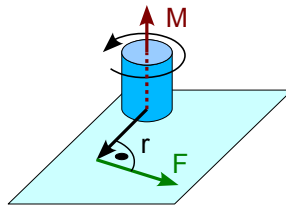


H Hypotenuse
 A Ankathete
 G Gegenkathete
 α Winkel zwischen A und H
 m Steigung

5 Physikalische Grundformeln und Einheiten

Physikalische Formeln

gleichförmige Bewegung	$v = \frac{s}{t}$	v	Geschwindigkeit in $\frac{m}{s}$
beschleunigte Bewegung	$a = \frac{v}{t}$ $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	s	zurückgelegter Weg in m
Arbeit	$W = F \cdot s$	t	Zeit in s
Leistung	$P = \frac{W}{t}$	a	Beschleunigung in $\frac{m}{s^2}$
Drehmoment	$P = F \cdot v = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M$ $M = F \cdot r$	W	Arbeit in J = Nm = Ws
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$	F	Kraft in N
Druck	$p = \frac{F}{A}$	P	Leistung in W = Nm/s
Dichte	$\rho = \frac{m}{V}$	M	Drehmoment in Nm
		ω	Winkelgeschwindigkeit in $\frac{1}{s}$
		n	Drehzahl in $\frac{1}{s}$
		r	Radius in m
		p	Druck in $\frac{N}{m^2}$
			1 bar = 10^5 Pa = $10^5 \frac{N}{m^2}$
		ρ	Dichte in $\frac{kg}{m^3}$
		A	Fläche in m ²
		m	Masse in kg
		V	Volumen in m ³



Einheiten

SI-Basiseinheiten			
Name	Einheit	Symbol	Einheitenzeichen
Länge	Meter	l	m
Masse	Kilogramm	m	kg
Zeit	Sekunde	t	s
Stromstärke	Ampere	I	A
Temperatur	Kelvin	T	K
Stoffmenge	Mol	N	mol
Lichtstärke	Candela	I _v	cd

abgeleitete SI-Einheiten				
Name	Einheit	Einheitenzeichen	in anderen SI-Einheiten	in Basiseinheiten
Frequenz	Hertz	Hz		s ⁻¹
Kraft	Newton	N	J/m	m·kg·s ⁻²
Druck	Pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ·kg·s ⁻²
Energie, Arbeit, Wärmemenge	Joule	J	Nm; Ws	m ² ·kg·s ⁻²
Leistung	Watt	W	J/s; VA	m ² ·kg·s ⁻³
elektrische Ladung	Coulomb	C		A·s
elektrische Spannung	Volt	V	W/A; J/C	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹
elektrische Kapazität	Farad	F	C/V	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ²
elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	V/A	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻²
elektrischer Leitwert	Siemens	S	1/Ω	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ³ ·A ²
magnetischer Fluss	Weber	Wb	Vs	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻¹
magnetische Flussdichte	Tesla	T	Wb/m ²	kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Induktivität	Henry	H	Wb/A	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻²
Celsius-Temperatur	Grad Celsius	°C		K