GdS Übungsskript

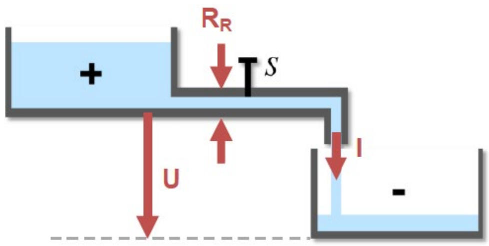
SoSe 2022

Wenn dir diese Zusammenfassung geholfen hat und du mir dabei helfen möchtest, noch mehr Zeit und Energie in weitere Skripte zu investieren, würde ich mich sehr über deine Unterstützung freuen.

Inhaltsverzeichnis

0. Übung

Wasseranalogie



U ist die Spannung (der Höhenunterschied)
I der Strom/Stromstärke (die eigentliche Durchflussmenge)
R_R ein Widerstand
S ein Ein/Aus-Schalter
Da die + und − Pole der technischen Stromrichtung entsprechen, „fließen" hier die Elektronen (das Wasser) vom + zum − Pol.

Übersicht

- Coloumbsches Gesetz: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q_1 Q_2}{r^2}\vec{e_r}$
- Elektrische Energie: $W = Q \cdot U$
- Potenzielle Energie: $E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h$
- Ohm'sches Gesetz: $U = R \cdot I$
- Elektrische Leistung: $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R}$

1. Übung

Übersicht

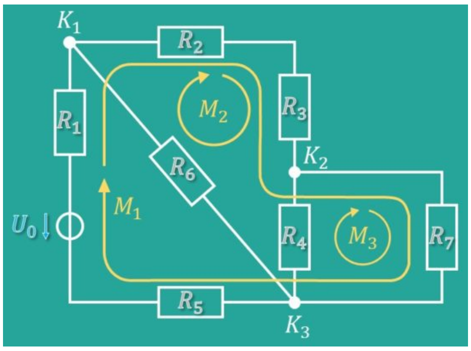
- Oberfläche: $A = \pi r^2 = \frac{\pi}{4} d^2$
- Strömungsgeschwindigkeit: $v = \frac{I}{e \cdot n \cdot A}$
- Spezifischer Widerstand: $R = \frac{\varrho_{Atom} \cdot l}{A}$
- Reihenschaltung: $R_{ges} = \sum_{k=1}^{n} R_k$
- Parallelschaltung: $\frac{1}{R_{ges}} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{R_k} \quad \Leftrightarrow \quad R_{ges} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{R_k}}$

  Bei zwei Widerständen: $R_{ges} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

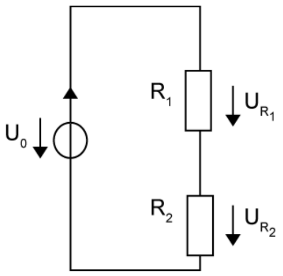
2. Übung

Kirchhoff'sche Regeln

- Die Summe aller Ströme an einem Knoten muss 0 sein, da der Knoten ansonsten ein „Ladungsspeicher/-erzeuger“ wäre, was physikalisch nicht möglich ist.
- Da Summe aller Spannungen in einer Masche muss 0 sein, da gemäß dem Energieerhaltungsssatz (in einem geschlossenen System) die Energie am Ende der Energie am Anfang entsprechen muss.
  Eine Parallelschaltung gilt als ein Stromkabel für eine Masche, da die parallelen Schaltungen voneinander abhängig sind.

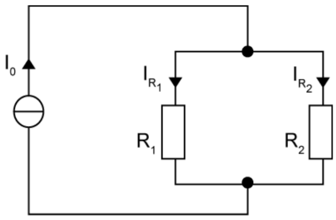


Aufgabe 2.3 - Spannungsteiler



- $U_0 = I_0 \cdot R_{ges} \rightarrow I_0 = \frac{U_0}{R_{ges}}$
- $U_n = U_0 \cdot \frac{R_n}{R_{ges}} \Rightarrow \frac{U_n}{U_0} = \frac{R_n}{R_{ges}}$

Aufgabe 2.4 - Stromteiler



In diesem Fall (nur bei 2 Widerständen!):

- $R_{ges} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
- $U_1 = I_1 \cdot R_1 = U_0 \Rightarrow I_1 \cdot R_1 = I_0 \cdot R_{ges}$
- $I_1 = I_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
- $I_2 = I_0 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Übersicht

- Maschenregel: $\sum_{k}^{n} U_k = 0$
- Knotenregel: $\sum_{k}^{n} I_k = 0$
- Spannungsteiler: $\frac{U_1}{U_0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
- Stromteiler: $\frac{I_1}{I_0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

3. Übung

Übersicht

- Überlagerungssatz:
  1. Jede Quelle einzeln betrachten
     - Alle anderen Stromquellen sind im Leerlauf ($I = 0$)
     - Alle anderen Spannungsquellen haben einen Kurzschluss ($U = 0$)
  2. Überlagern (Addition) der Teilergebnisse
- Intuitives Lösen von Widerstandsnetzwerken
  - Kirchhoff'sche Regeln (Maschen- und Knotenregel)
  - Parallel- und Reihenschaltungsregeln
  - Spannungs- und Stromteiler

Vorlesung

Lineare Differentialgleichung (DGL)

Eine lineare DGL 1. Ordnung (mit konstanten Koeffizienten) ist von der Form:

$$y'(t) + \alpha \cdot y(t) = f(t)$$

Die DGL heißt homogen, wenn $f(t) = 0$, andernfalls inhomogen. Die entsprechende homogene DGL lautet also:

$$y'(t) + \alpha \cdot y(t) = 0$$

Differentialgleichungen zur Beschreibung von Schaltvorgängen

Vorgehensweise:

1. Aufstellen der Netzwerkgleichungen (in Abhängigkeit von t), z. B. Konten- oder Maschenregel
2. Einsetzen der Bauelementegleichungen (s. unten, z. B. Spule, Kondensator, etc.)
3. Differentialgleichung aufstellen
4. Lösen der Differentialgleichung über t

3 Phasen:

1. Ausgangszustand - Zustand vor dem Schaltvorgang
2. Ausgleichsvorgang - Eigentlicher Schaltvorgang
3. Endzustand - Zustand nach dem Schaltvorgang

Homogene Lösung ($t \geq t_0$): Übergang vom Ausgangs- in den Endzustand
Partikuläre Lösung ($t \to \infty$): Zustand nach dem Schaltvorgang
DGL = Homogene Lösung + Partikuläre Lösung

Bauelemente

Widerstand - R

Kondensator (Kapazität) - C

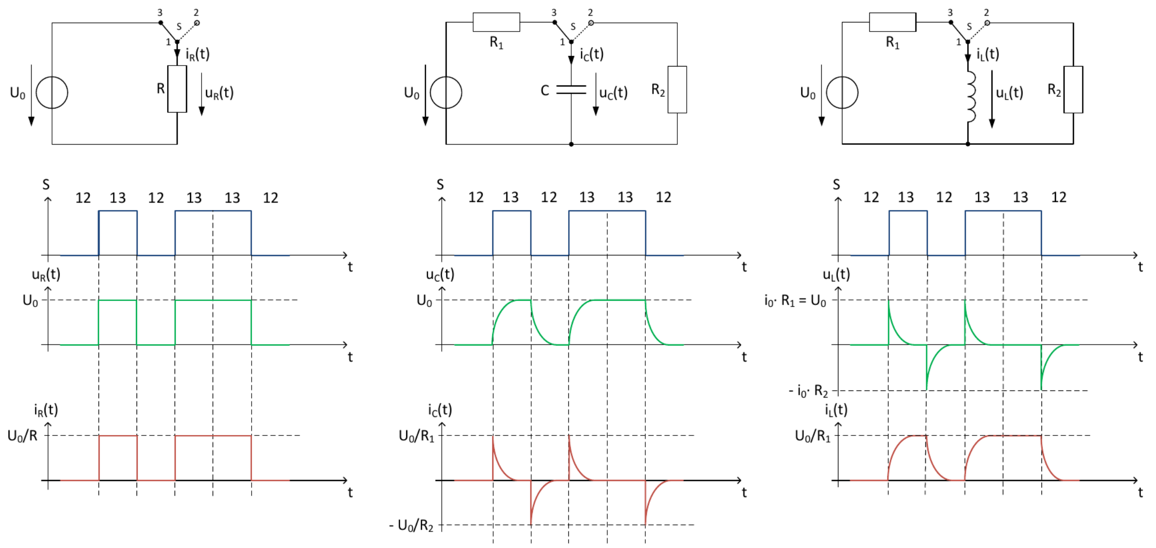
- Energiespeicher (von elektrischen Ladungen)
- Kapazität: $C = \dfrac{Q}{U} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \dfrac{A}{d}$
- Gespeicherte Energie: $W = \dfrac{1}{2} C U^2 = \dfrac{1}{2} U Q$
- Reihenschaltung: $\dfrac{1}{C_{ges}} = \sum\limits_{k=1}^{n} \dfrac{1}{C_k}$
- Parallelschaltung: $C_{ges} = \sum\limits_{k=1}^{n} C_k$
- Induzierter Strom: $i_c(t) = C \cdot u_c'(t)$
  $\Rightarrow$ Bei Gleichspannung ist ein Kondensator (eine Kapazität) ein unendlich großer Widerstand (= Leerlauf).

Spule (Induktivität) - L

- Energiespeicher in Form eines Magnetfelds
- Gespeicherte Energie: $W = \dfrac{1}{2} L \cdot I^2$
- Reihenschaltung: $L_{ges} = \sum\limits_{k=1}^{n} L_k$
- Parallelschaltung: $\dfrac{1}{L_{ges}} = \sum\limits_{k=1}^{n} \dfrac{1}{L_k}$
- Induzierte Spannung: $u_L(t) = L \cdot i_L'(t)$ [Einheit: $1H$ (Henry) $= 1 \dfrac{Vs}{A} = 1\Omega s$]
  $\Rightarrow$ Bei Gleichstrom ist eine Spule (eine Induktivität) ein Kurzschluss.

4. und 5. Übung

Schaltnetzwerke



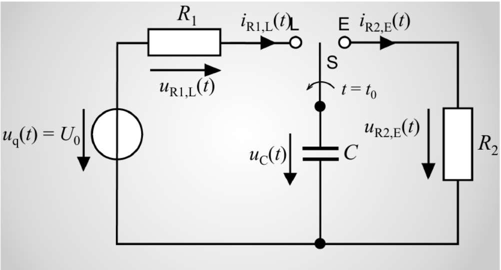
<u>Achtung</u>: R_1, R_2 notwendig, sonst I bzw. U gegen unendlich

Kondensator (RC-Netzwerk)

- Schaltung:

Hier:
$R_1 \neq R_2$

Für Herleitung relevant…



- geg.: $u_q(t)$, R_1, R_2, C
- ges.: zeitlicher Verlauf der Spannung $u_C(t)$

S… Schalter
L… Laden
E… Entladen

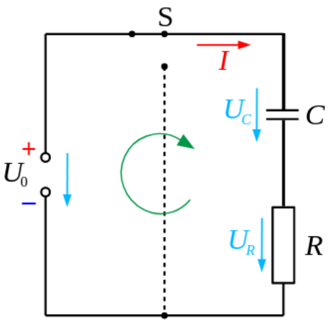
- Maschengleichung ($t \geq t_0$): $u_{R1,L}(t) + u_C(t) = u_q(t)$
- Bauelementegleichungen: $u_{R1,L}(t) = R_1 \cdot i_{R1,L}(t)$ und $i_{R1,L}(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$
- Einsetzen $R_1 \cdot i_{R1,L}(t) + u_C(t) = u_q(t)$

$$R_1 C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = u_q(t)$$

- Somit $\boxed{\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{R_1 C} u_C(t) = \frac{1}{R_1 C} u_q(t)}$

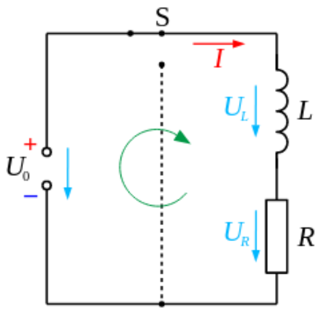
Lineare Differentialgleichung mit konstanten Koeffizienten 1. Ordnung

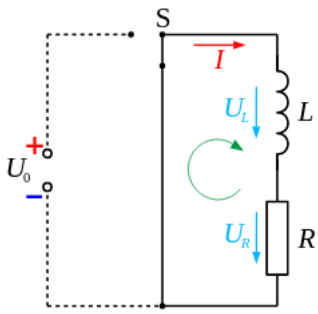
- Wenn es sich bei den Ableitungen um zeitliche Ableitungen handelt, wird anstelle $y'(t)$ häufig $\frac{dy(t)}{dt}$ geschrieben.



- Für $t \to \infty$: C ist Leerlauf ($I_C = 0$)
- Für $t \to 0$: C ist Kurzschluss ($R_C = 0$)
- Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$
- $u_C(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}\right) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{RC}}\right)$
- $i_C(t) = C \cdot u_C'(t)$ (Laut Leifiphysik: $i_C(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t-t_0}{RC}}$)
- $u_R(t) = R \cdot i_C(t)$

Spule (RL-Netzwerk)





- Für $t \to \infty$: L ist Kurzschluss ($R_L = 0$)
- Für $t \to 0$: L ist Leerlauf ($I_L = 0$)
- Zeitkonstante $\tau = \frac{L}{R}$
- $i_L(t) = \frac{U_0}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}\right) = \frac{U_0}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{(t-t_0)R}{L}}\right)$
- 2. Formel aus der VL?? - TODO: $i_L(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}$
- $u_L(t) = L \cdot i_L'(t)$ (Laut Leifiphysik: $u_L(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{(t-t_0)R}{L}}$)
- $u_R(t) = R \cdot i_L(t)$

Zusammenfassung

	$t = t_0$	$t \to \infty$ (eingeschwungen)
Kondensator	Kurzschluss	Leerlauf
Spule	Leerlauf	Kurzschluss

	$u(t)$	$i(t)$	τ
Kondensator	$u_C(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}\right)$	$i_C(t) = C \cdot u'_C(t)$	$\tau = R \cdot C$
Spule	$u_L(t) = L \cdot i'_L(t)$	$i_L(t) = \frac{U_0}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}\right)$	$\tau = \frac{L}{R}$

6. Übung

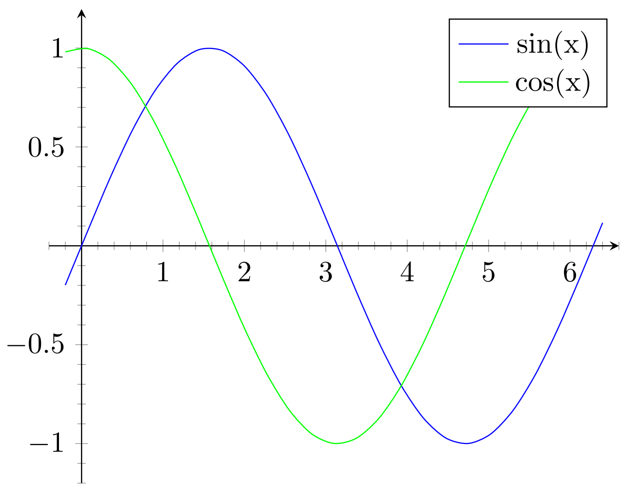
Im Schaltkreis je nach Zeitpunkt die Kondensatoren und Spulen strikt als Leerlauf oder Kurzschluss betrachten, wenn nicht explizit nach $i_{C,L}$ oder $u_{C,L}$ gefragt ist.

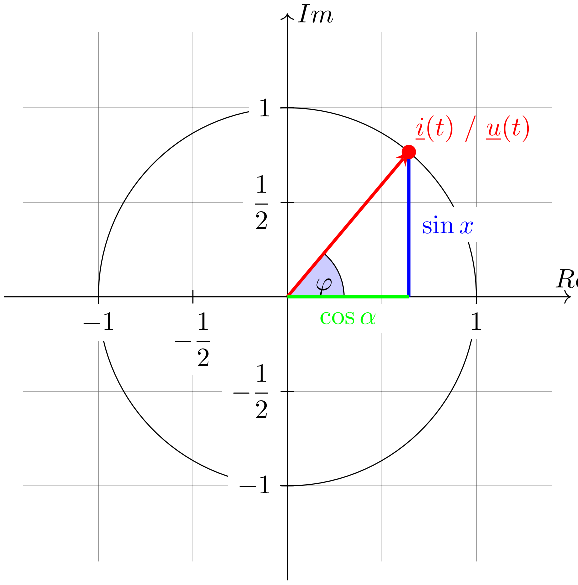
Übersicht - Komplexe Zahlen

- Siehe MatheC1-Skript
- $z = Re + j\,Im$
- $|z| = \sqrt{Re^2 + Im^2}$
- $\arg(z) = \arctan\left(\frac{Im}{Re}\right)$
- Polarkoordinatendarstellung: $z = |z| \cdot (\cos(\arg(z)) + j\,\sin(\arg(z)))$
- Euler'sche Darstellung: $z = |z| \cdot e^{j\,\arg(z)}$

Vorlesung und 7. Übung

Stromstärke und Spannung als imaginäre Zahlen





Der sinusförmige Verlauf einer Wechselspannung lässt sich als imaginäre Zahl auffassen. Dadurch wird es nun möglich die gleichen Formeln für Gleich- und Wechselspannung zu verwenden. Wechselspannung ist dabei einfach ein rotierender Zeiger gegen den Uhrzeigersinn.
Der entsprechende Winkel lässt sich wie folgt berechnen:

- $\varphi = \omega \cdot t$
- Frequenz: $f = \frac{1}{T}$ [Hz], $T =$ Periodendauer
- Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi f$

Sinus und Cosinus lassen sich damit als imaginäre Zahlen darstellen. Da der Buchstabe i schon für die Stromstärke benutzt wird, wird stattdessen j benutzt.

- $j = i = \sqrt{-1} \qquad j^2 = i^2 = -1 \qquad$ (j ist dasgleiche wie i!)
- $\cos(\omega t) = \frac{1}{2}\left(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}\right)$
- $\sin(\omega t) = \frac{1}{2j}\left(e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}\right)$

Damit lassen sich nun auch Stromstärke, Spannung und Widerstand als imaginäre Zahlen darstellen.

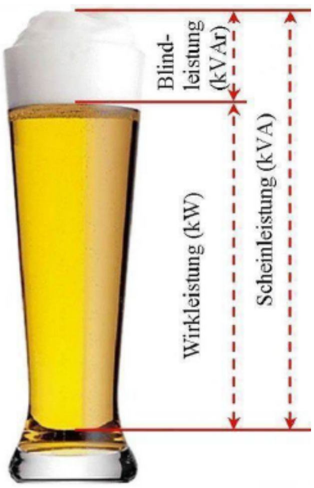
- $\underline{i}(t) = \hat{i} \cdot e^{j(\omega t + \varphi_i)} = \underline{\hat{i}} \cdot e^{j\omega t}$
- $\underline{u}(t) = \hat{u} \cdot e^{j(\omega t + \varphi_u)} = \underline{\hat{u}} \cdot e^{j\omega t}$

Das ˆ steht jeweils für die Amplitude (den maximalen Wert, bspw. $\hat{\sin}(x) = \hat{\cos}(x) = 1$).
$\underline{i}(t)$ und $\underline{u}(t)$ werden jeweils unterstrichen, um zu kennzeichnen, dass es sich um die „imaginären" Funktionen handelt.

Zeitabhängige Spannung	**Komplexe Amplitude**
$\hat{u}\cos(\omega t)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u}$
$\hat{u}\cos(\omega t + \varphi_u)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u} \cdot e^{j\varphi_u}$
$\hat{u}\sin\omega t = \hat{u}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u} \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}}$
$\hat{u}\sin(\omega t + \varphi_u)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u} \cdot e^{j\left(\varphi_u - \frac{\pi}{2}\right)}$

Impedanz und Admittanz

- Impedanz (komplexer Widerstand): $\underline{Z} = \frac{\underline{\hat{u}}}{\underline{\hat{i}}} \quad [\Omega]$
  - $\underline{Z} = R + jX$
  - $Re(\underline{Z}) = R$: Der Realteil der Impedanz ist der „bekannte" Widerstand (Wirkwiderstand / Resistanz)
  - $Im(\underline{Z}) = X$: Blindwiderstand (Reaktanz)
  - $|\underline{Z}|$: Schweinwiderstand
- Admittanz: $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} \quad [S]$
  - $Re(\underline{Y}) = G$: Wirkleitwert (Konduktanz)
  - $Im(\underline{Y}) = B$: Blindleitwert (Suszeptanz)
  - $|\underline{Y}|$: Schweinleitwert



Impedanz und Admittanz haben i. d. R. keine physikalische Entsprechung.

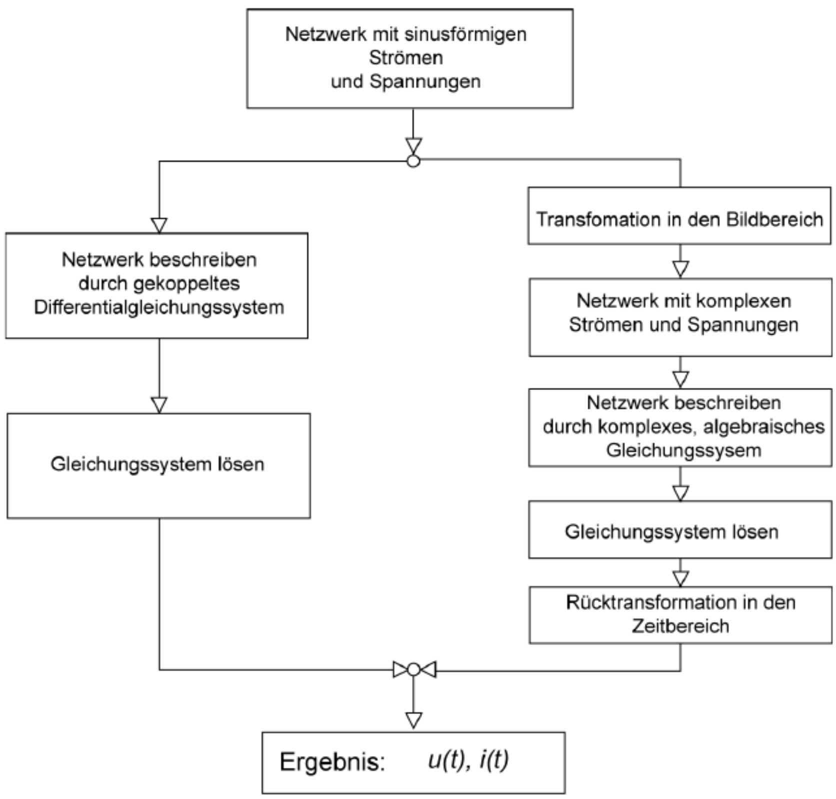
Auch für die „imaginären Funktionen" gelten die bekannten „realen" Regeln:

- Reihenschaltung: $\underline{Z}_{Ges} = \sum_{k=1}^{n} \underline{Z}_k$
- Parallelschaltung: $\frac{1}{\underline{Z}_{Ges}} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{\underline{Z}_k}$
- Maschenregel: $\sum_{k=1}^{n} \underline{\hat{u}} = 0$
- Knotenregel $\sum_{k=1}^{n} \underline{\hat{i}} = 0$

Bauelemente

	Widerstand - R	Kondensator - C	Spule - L
Spannung Spannungsamplitude	$u_R(t) = R \cdot i(t)$ $\underline{\hat{u}}_R = R \cdot \underline{\hat{i}}$	$u_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t)\,\mathrm{d}t$ $\underline{\hat{u}} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \underline{\hat{i}}$	$u_L(t) = L \cdot i'(t)$ $\underline{\hat{u}} = j\omega L \cdot \underline{\hat{i}}$
Stromstärke Stromamplitude	$\underline{i}(t) = \frac{\underline{\hat{u}}}{R} \cdot e^{j\omega t}$ $\underline{\hat{i}} = \frac{1}{R} \cdot \underline{\hat{u}}$	$\underline{i}(t) = C \cdot \underline{u}'(t) = j\omega C \underline{\hat{u}} \cdot e^{j\omega t}$ $\underline{\hat{i}} = j\omega C \cdot \underline{\hat{u}}$	$\underline{i}(t) = \frac{1}{j\omega L} \underline{\hat{u}} \cdot e^{j\omega t}$ $\underline{\hat{i}} = \frac{1}{j\omega L} \cdot \underline{\hat{u}}$
Impedanz	$\underline{Z}_R = R$	$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$	$\underline{Z}_L = j\omega L$
	$\underline{Z}_R(\omega \to 0) = R$	$\underline{Z}_C(\omega \to 0) = \infty$ Leerlauf	$\underline{Z}_L(\omega \to 0) = 0$ Kurzschluss
	$\underline{Z}_R(\omega \to \infty) = R$	$\underline{Z}_C(\omega \to \infty) = 0$ Kurzschluss	$\underline{Z}_L(\omega \to \infty) = \infty$ Leerlauf

Die zwei Wege zur Berechnung eines Wechselstromkreises



„Transformation in den Bildbereich“ meint die Umwandlung in die „imaginären“ Formeln und die „Rücktransformation in den Zeitbereich“ das Berechnen des Realteils vom Endergebnis. - TODO besser formulieren
Außerdem muss die „Anregung“ mit einer „harmonischen“ Funktion (sin, cos) erfolgen.
Ein- bzw. Ausschwingvorgänge, z.B. nach Betätigung eines Schalters, können mit der komplexen Wechselstromrechnung nicht untersucht werden („Lösung für $t \to \infty$“)

Vorlesung und 8. Übung

Übertragungsfunktion und Frequenzgang

- Übertragungsfunktion: $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{\hat{u}}_0}$

  Die Übertragungsfunktion ist also eine gebrochen rationale Funktion:

  $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{\hat{u}}_0} = \dots = \frac{Z \text{ (Zählerpolynom)}}{N \text{ (Nennerpolynom)}}$

- Amplitudengang: $A(\omega) = |\underline{H}(j\omega)|$
- Phasengang/-verschiebung: $\varphi(\omega) = arg(\underline{H}(j\omega)) = arg(Z) - arg(N)$
- Grenzfrequenz ω_g: $A(\omega_g) = \frac{1}{\sqrt{2}}$

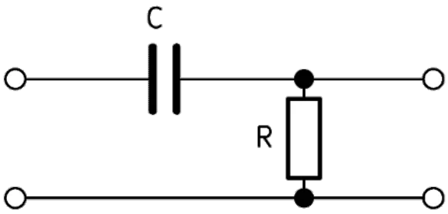
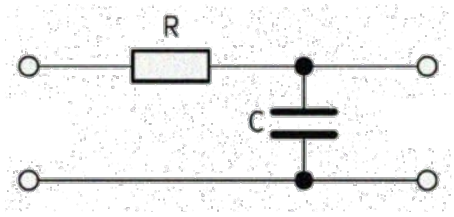
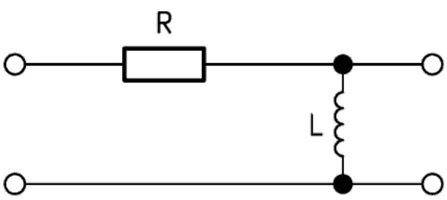
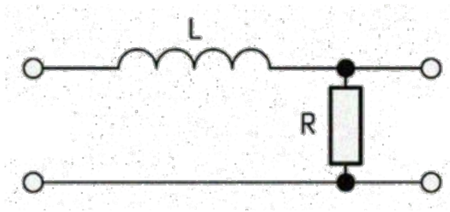
  Der Ausgangswert ist $-3dB$ oder $\frac{1}{\sqrt{2}}$-mal kleiner als der zugehörige Eingangswert.

- Pegel: $L = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_0}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_1}{U_0}\right) \quad [dB]$

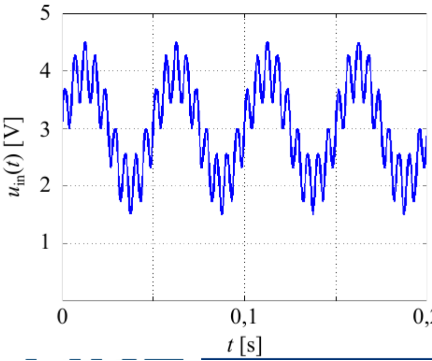
  $\Rightarrow \underline{H}(j\omega) = \frac{U_1}{U_0} = 10^{\frac{L}{20}}$

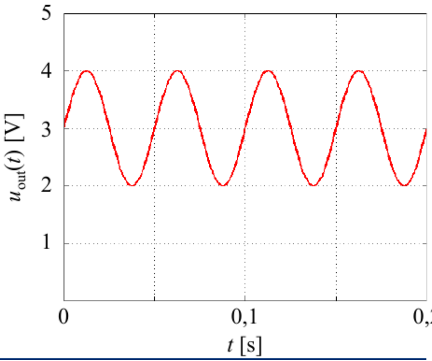
Hoch- und Tiefpass

Je nach Frequenz geht die Impedanz (der „imaginäre Widerstand“) des Kondensators/Spule gegen 0 oder ∞, wodurch die entsprechende Frequenz durchgelassen oder blockiert wird.

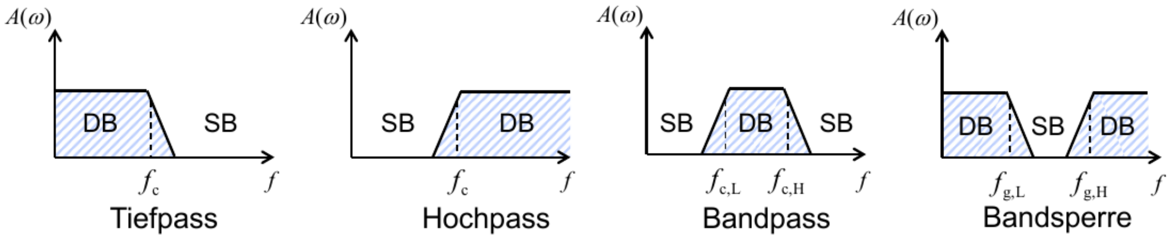
	Hochpass (Lässt nur hohe Frequenzen durch)	**Tiefpass** (Lässt nur niedrige Frequenzen durch)
Kondensator	RC-Hochpass  $\underline{H}(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$ $A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega RC)^2}}}$ $\varphi(\omega) = -\arctan(\omega RC) + \frac{\pi}{2}$ $\omega_g = \frac{1}{RC}$ $\varphi(\omega_g) = 45°$	RC-Tiefpass  $\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$ $A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$ $\varphi(\omega) = -\arctan(\omega RC)$ $\omega_g = \frac{1}{RC}$ $\varphi(\omega_g) = -45°$
Spule	RL-Hochpass  $\underline{H}(j\omega) = \frac{j\omega L}{j\omega L + R}$ $A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega_g L}\right)^2}}$ $\omega_g = \frac{R}{L}$ $\varphi(\omega_g) = 45°$	RL-Tiefpass 

Beispielhafte Anwendung eines Tiefpass-Filters:





Allgemein Filter

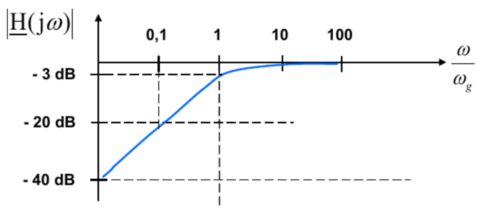
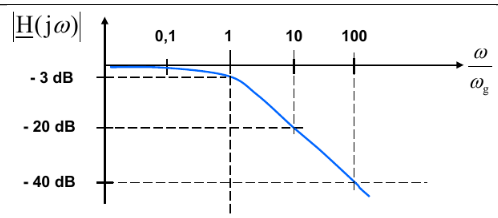
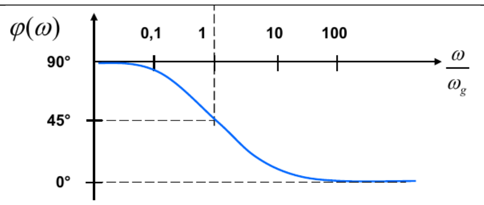
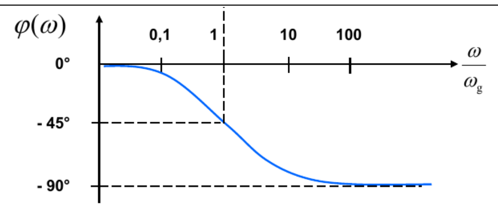


DB = Durchlassbereich, SB = Sperrbereich

Ein Filter verändert die Amplitude und Phase eines Eingangssignals in Abhängigkeit der Frequenz. Beispielsweise lassen sich mit Filtern ungewünschte Frequenzanteile unterdrücken.
Die Grenzfrequenz ω_g ($3dB$-Unterschied zum Maximum des Amplitudengangs ($A(\omega)$)) ist die Grenze zwischen Durchlass- und Sperrbereich.

Bode-Diagramm

Darstellung des Amplitudengangs ($A(\omega)$) und des Phasenverlaufs ($\varphi(\omega)$) über eine logarithmische Frequenzskala (ω), evtl. normiert auf eine Grenzfrequenz (ω_g).

	RC-Hochpass	**RC-Tiefpass**
Amplitudengang		
Phasengang		

Beim Zeichnen müssen drei Grenzfälle beachtet werden:

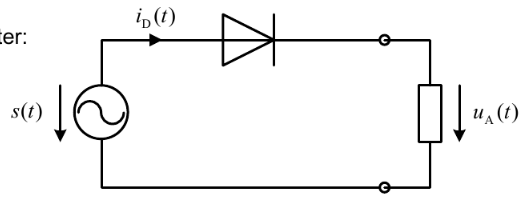
1. $\omega \to 0$
2. $\omega \to \omega_g$
3. $\omega \to \infty$

Die Normierung auf die Grenzfrequenz ω_g erfolgt durch Rückwärtseinsetzen von ω_g in $\underline{H}(j\omega)$. TODO besser formulieren

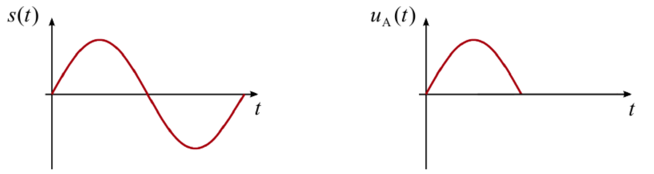
Vorlesung und 9. Übung

Diode

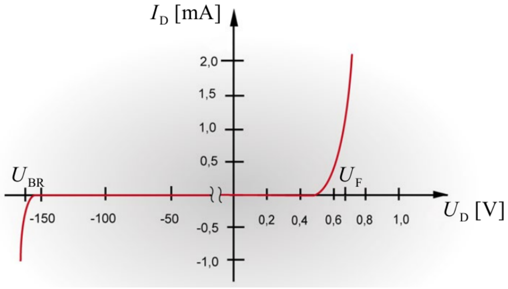
• Einweggleichrichter:



• idealisierter Verlauf der Ausgangsspannung $u_A(t)$:



Strom-Spannungskennlinie:

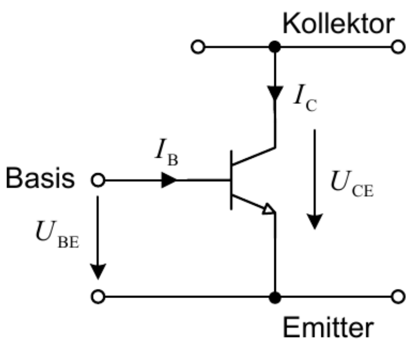


- U_{BR}: Durchbruchspannung
- U_F: Flussspannung

Eine Diode lässt Strom nur in eine Richtung (Durchlassrichtung) durch und blockiert bei Strom in der entgegengesetzten Richtung (Sperrichtung).
So lässt sich bspw. bei Wechselstrom die negative Spannung herausfiltern (s. Bild).

Transistor

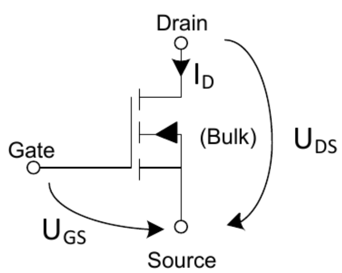
Bipolartransistor



Der Strom fließt vom Kollektor (C) zum Emitter (E). Gesteuert wird der Transistor über die Basis (B).
Es wird unterschieden in den Steuerstromkreis U_{BE} und den Arbeits- oder Laststromkreis U_{CE}.

- Stromverstärkung: $B = \frac{I_C}{I_B}$
- $I_B = I_{B,A} + i_B(t)$
- $I_C = I_{C,A} + i_C(t)$
- $i_{B,C}(t) = \hat{i}_{B,C} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$

Feldeffekttransistor (MOS-FET)

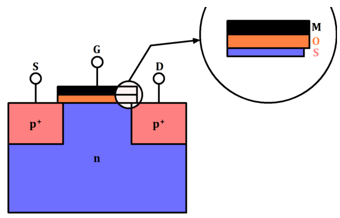


U_{DS} - Drain-Source-Spannung

U_{GS} - Gate-Source-Spannung

I_D - Drainstrom

Bei *selbstleitenden* MOSFETs fließt bei $U_{GS} = 0$ V ein Drainstrom I_D, bei *selbstsperrenden* nicht.



Die Steuerung erfolgt über die Spannung und ist im idealen Fall leistungslos.

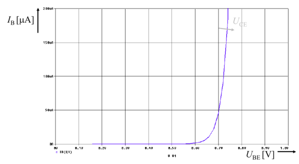
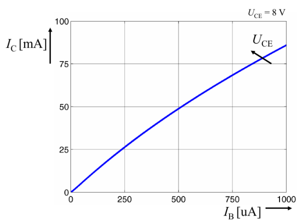
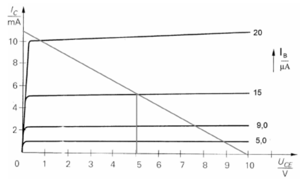
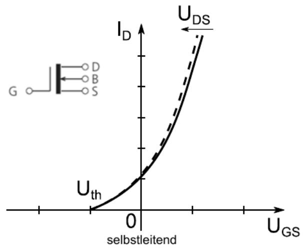
n-Kanal | p-Kanal

selbstsperrend | selbstleitend

selbstsperrend | selbstleitend

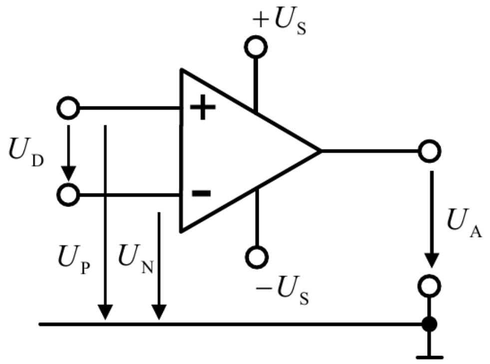
Siehe GTI-Zusammenfassung (6. Schaltnetze) auf der FSI-Website!

Kennlinien

Eingangskennlinie	Stromverstärkungs-kennlinie	Ausgangskennlinie (-nfeld)	Steuerkennlinie
Der Strom I_B fließt erst, wenn eine gewisse Schwellenspannung U_{BE} am Basis-Emitter-Übergang erreicht ist.	Stromverstärkung: $B = \frac{I_C}{I_B}$	Zusammenhang zwischen I_C und U_{CE} in Abhängigkeit des Steuerstroms I_B . Widerstands-/Lastgerade: Gerade zwischen den beiden Punkten $U_{CE} = 0$ und $I_C = 0$	Verlauf des Drainstroms I_D in Abhängigkeit von U_{GS}. Aus ihr lässt sich die Schwellenspannung U_{th} ablesen. Für NMOS ist U_{th} positiv, für PMOS negativ
$\uparrow I_B$ $\rightarrow U_{BE}$	$\uparrow I_C$ $\rightarrow I_B$	$\uparrow I_C$ $\rightarrow U_{CE}$	$\uparrow I_D$ $\rightarrow U_{GS}$
			

Operationsverstärker (OPV)

Ein Operationsverstärker gibt die Differenz der beiden Eingänge verstärkt am Ausgang aus. Mit ihnen sind alle mathematischen Basisoperationen realisierbar.



- Differenzspannung: $U_D = U_P - U_N$
- Spannung am invertierten Eingang: U_N
- Spannung am nicht-invertierten-Eingang: U_P
- Betriebsspannung: $\pm U_S$
- Ausgangsspannung: $U_A = A_D U_D = A_D(U_P - U_N)$

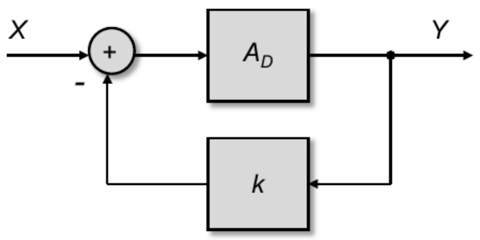
  A_D: Differenzverstärkung
- Spannungsverstärkung: $V = \frac{U_{out}}{U_{in}}$

Idealer Operationsverstärker

Es wird implizit immer angenommen, dass es sich um einen idealen OPV ($A_D \rightarrow \infty$, $R_E \rightarrow \infty$) handelt:

- $U_D = 0$
- $I_+ = I_- = 0$

Gegen-/ Rückkopplung



- Vorwärtsverstärkung: A_D
- Rückkopplungsfaktor: k
- Schleifenverstärkung: kA_D
- Geschlossene Schleifenverstärkung: $A = \frac{Y}{X} = \frac{A_D}{1 + kA_D}$

  $\left(\lim_{A_D \rightarrow \infty} A = \frac{1}{k} \right)$

Vorlesung und 10. Übung

CMOS

Siehe GTI-Zusammenfassung (6. Schaltnetze) auf der FSI-Website!

- Verlustleistung pro f Zyklen und n Transistoren: $P_{V,dyn} = n \cdot f \cdot (E_{C_L,E} + E_{C_L,A}) = n \cdot f \cdot C_L \cdot U_B^2$

Analog-Digital-Umsetzer (ADU) und Digital-Analog-Umsetzer (DAU)

Siehe GTI-Zusammenfassung (2. Codierung und 4. Schaltfunktionen und Schaltalgebra) auf der FSI-Website!

- Setzen Analoge Signale zeit- und wertdiskret in digitale Signale um
- Dabei kann es zu Überlappungen kommen, z. B. wenn sich analoge Werte so schnell ändern, dass sie in einem Intervall den gleichen Wert haben, weil die Änderung zu schnell erfolgt ist (Aliasing)

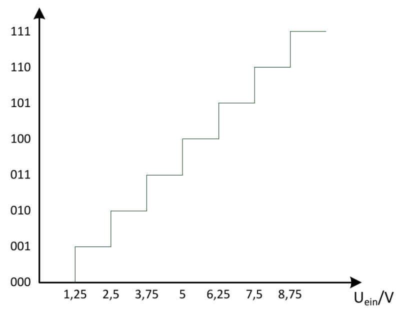
  Auf folgender Internetseite dreht sich ein Wagenrad unterschiedlich schnell. Ab einer Umdrehung von 150 Umdrehungen pro Minute dreht sich das Rad so schnell, dass unser Auge mit seinen ca. 20 Bildern pro Sekunde das Rad immer in der gleichen Position sieht. Dadurch wirkt es so als würde es still stehen.

Kenngrößen

Quantisierung

Signale in Abhängigkeit der Zeit lassen sich nur an der Amplitude diskretisieren (quantisieren). Der dabei entstehende Quantisierungsfehler/-rauschen (Signal-to-Noise-Ratio) lautet:

- $d_Q = U_Q - U_{EIN}$
- $SNR = 1,76 + 6,02 \cdot n \quad [dB]$



Auflösung (Resolution)

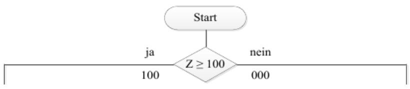
ADU: Änderung der Eingangsspannung, die zu einem Wechsel im niederwertigsten Bit ($1LSB$) des Ausgangscodes führt
DAU: kleinste reproduzierbare Ausgangsspannungsänderung

- $A = \dfrac{U_{High} - U_{Low}}{2^n}$
- $U_{min} = U_{Low}$
- $U_{max} = U_{High} - A$

Effektive Bandbreite (B_{eff})

Signalfrequenz f_s, bei der das SNR $3dB$ unter dem Maximum liegt. Die Genauigkeit liegt dann ein halbes Bit unter der Auflösung (n) des ADU.

Umsetzungsprinzipien

	ADU	**DAU**
	Überführung einer analogen Eingangsspannung u_e in eine Digitalzahl Z. $Z = \frac{u_e}{U_{LSB}}$	Überführung einer Digitalzahl Z in eine passende Ausgangsspannung u_a (U_{LSB}: Spannung für das niederwertigste Bit (Least-Significant-Bit)). $u_a = U_{LSB} \cdot Z$
Parallelverfahren Benötigte Schritte/Schalter	Die Eingangsspannung wird mit OPVs mit allen möglichen (2^n) Referenzspannungen verglichen. $Z_{max} = 2^n - 1 \qquad Z = Z_{max}\left(\frac{U_e}{U_{ref}}\right)$ 1	Mittels Spannungsteilern und n Schaltern (1-aus-n-Decoder) wird die entsprechende Ausgangsspannung für die entsprechende Zahl generiert. Z_{max}
Wägeverfahren Benötigte Schritte/Schalter	Die Eingangsspannung wird jeweils mit den Referenzspannungen der Bits verglichen. Dabei wird baumartig das Intervall zwischen den beiden verglichenen Bitspannungen immer kleiner.  n	Jedem Bit wird ein Schalter mit entsprechendem Widerstand zugeordnet. $\log_2(Z_{max}) + 1$
Zählverfahren Benötigte Schritte/Schalter	Es werden solange die Referenzspannungen der niedrigsten Stufe addiert bis die Eingangsspannung erreicht ist. $\leq Z_{max}$	Über das Tastverhältnis eines Schalters (Pulsbreitenmodulator) wird der Mittelwert der passenden Ausgangsspannung eingestellt. 1

Unterstützung

Buy me a coffee

Wenn dir diese Zusammenfassung geholfen hat und du mir dabei helfen möchtest, noch mehr Zeit und Energie in weitere Skripte zu investieren, würde ich mich sehr über deine Unterstützung freuen.

Diese Skripte kosten immer viel Zeit und Energie neben der normalen Prüfungsvorbereitung und damit würdest du mir zeigen, dass sich die Mühe lohnt. Diese kleinen Beträge fallen finanziell nicht ins Gewicht, halten aber vor allem meine Motivation hoch, auch in Zukunft weiterzumachen.