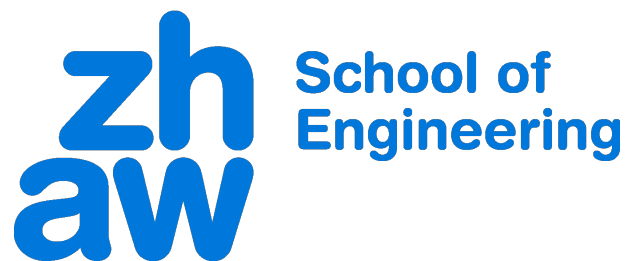


ZHAW Zurich University of Applied Sciences
Winterthur

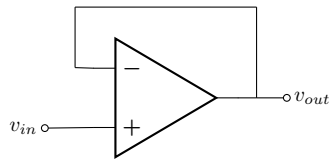


Zusammenfassung EK1

Studienwochen 1-12

Written by: Severin Sprenger
June 17, 2026
Zf. EK1 SW 1-12

1 Impedanzwandler (Spannungsfolger)

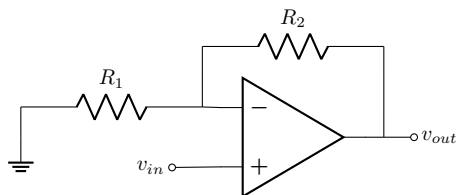


$$R_{in} \rightarrow \infty \Omega$$

$$R_{out} \rightarrow 0 \Omega$$

$$v_{out} = v_{in}$$

2 Nicht-invertierender Verstärker



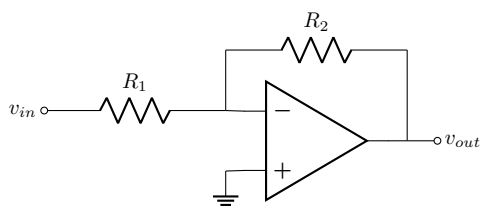
$$R_{in} \rightarrow \infty \Omega$$

$$R_{out} \rightarrow 0 \Omega$$

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

$$v_{out} = A \cdot v_{in}$$

3 Invertierender Verstärker



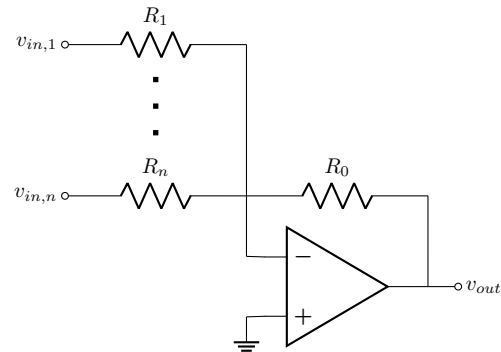
$$R_{in} = R_1$$

$$R_{out} \rightarrow 0 \Omega$$

$$A = \frac{-R_2}{R_1}$$

$$v_{out} = A \cdot v_{in}$$

4 Addierer

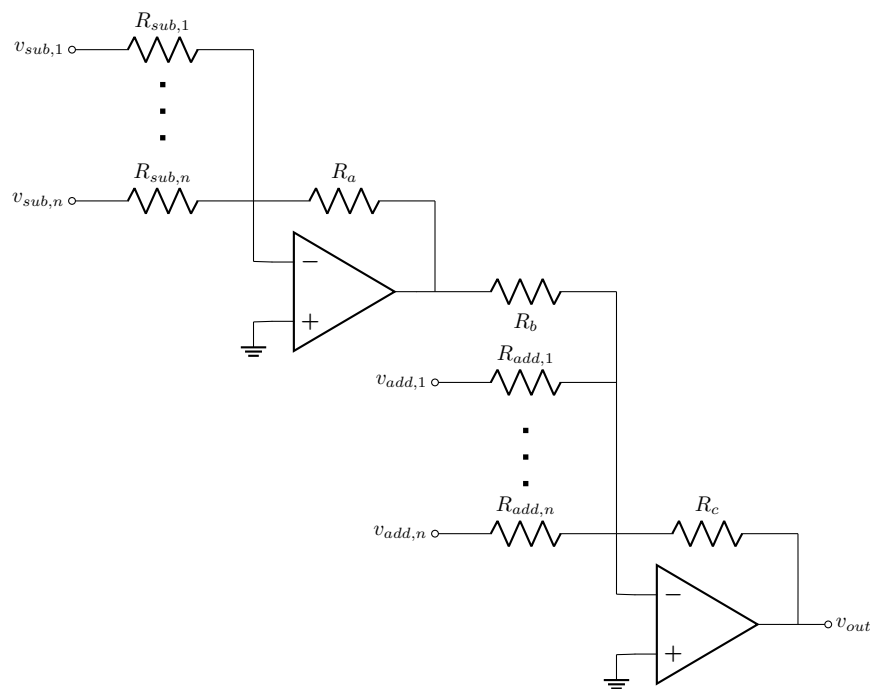


$$R_{in,n} = R_n$$

$$R_{out} \rightarrow 0 \, \Omega$$

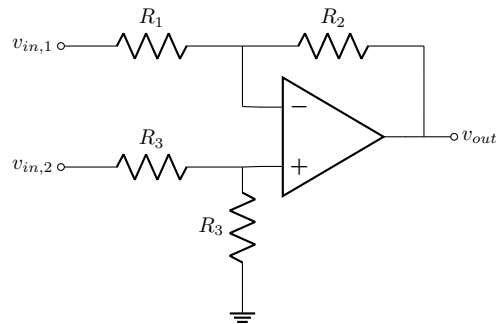
$$v_{out} = -R_0 \cdot \left(\sum_{n=1}^N \frac{v_{in,n}}{R_n} \right)$$

5 Subtrahierer 1



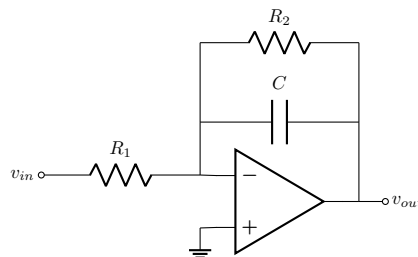
$$v_{out} = -R_c \cdot \left(\sum_{n=1}^{N_{add}} \frac{V_{add,n}}{R_{add,n}} \right) + (R_a \cdot R_c) \cdot \left(\sum_{n=1}^{N_{sub}} \frac{v_{sub,n}}{R_{sub,n} \cdot R_b} \right)$$

6 Subtrahierer 2



$$\begin{aligned}
 v_{out} &= \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_{in,1} + \frac{R_4 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot (R_3 + R_4)} \cdot v_{in,2} \\
 &= \frac{R_2}{R_1} \cdot (v_{in,2} - v_{in,1})
 \end{aligned}$$

7 Integrator



$$\begin{aligned}
 v_{out}(t) &= \frac{-1}{R_1 \cdot C} \cdot \int_0^t v_{in}(t) dt \\
 H(s) &= \frac{v_{out}(s)}{v_{in}(s)} \\
 &= \frac{-1}{s \cdot R_1 \cdot C} \\
 s &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot j
 \end{aligned}$$

7.1 Reale Schaltung

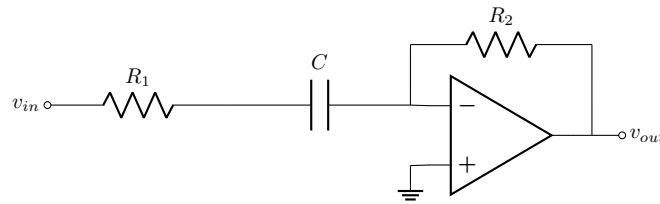
In der realen Integrator Schaltung wird parallel zu C ein Widerstand R_2 geschaltet. Dieser wird aufgrund der Bias Strömen und Offset Spannungen des OP Amp's benötigt.

$$H(s) = \frac{-R_2}{R_1 \cdot (1 + R_2 \cdot C \cdot s)}$$

Der reale Integrator funktioniert als ein aktiver Tiefpass mit den folgenden Eigenschaften.

$$\begin{aligned}
 \omega_G &= \frac{1}{R_2 \cdot C} \\
 \text{Betrieb unter } \omega_G : A &= \frac{-R_2}{R_1} \\
 \text{Betrieb über } \omega_G : &\text{fallend mit } 20 \frac{\text{dB}}{\text{dek.}}
 \end{aligned}$$

8 Differenzierer



$$v_{out} = -R_2 \cdot C \cdot \frac{dv_{in}(t)}{dt}$$

$$H(s) = \frac{-1}{s \cdot R_2 \cdot C}$$

8.1 Reale Schaltung

In der realen Differenzierer Schaltung wird seriell zu C ein Widerstand R_1 geschaltet.

$$H(s) = \frac{-s \cdot R_2 \cdot C}{1 + s \cdot R_1 \cdot C}$$

Der reale Differenzierer funktioniert als ein aktiver Hochpass mit folgenden Eigenschaften.

$$\omega_G = \frac{1}{R_1 \cdot C}$$

$$\text{Betrieb über } \omega_G : A = \frac{-R_2}{R_1}$$

$$\text{Betrieb unter } \omega_G : \text{fallend mit } 20 \frac{\text{dB}}{\text{dek.}}$$

9 Strom-Spannungs-Wandler

$$v_{out} = \frac{-R_2}{I_{in}}$$

10 Spannungs-Strom-Wandler

$$I_L = \frac{v_{in}}{R_1}$$

$$U_1 = v_{in}$$

10.1 Für Last mit GND

$$I_L = \frac{v_{in}}{R_2}$$

11 Unity Gain Bandwidth Product (GDB)

$$A_{@f_{max}} \cdot f_{max} = f_T = \text{GBP} = \text{const.}$$

$$A(f) = \frac{\text{GBP}}{f}$$

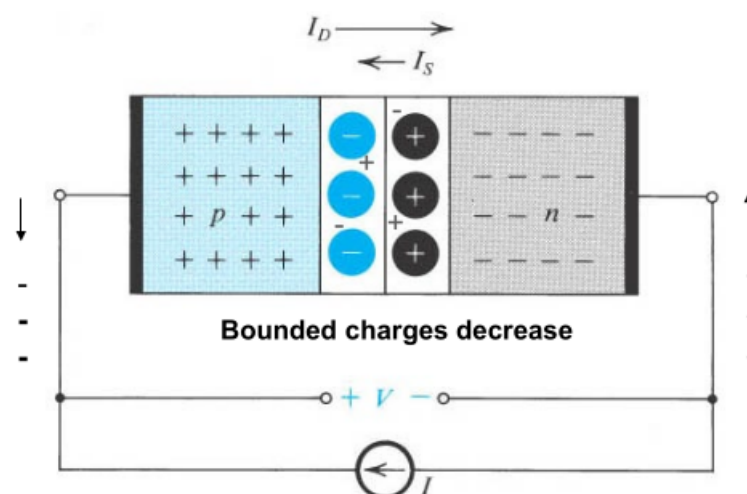
12 Slew Rate (SR)

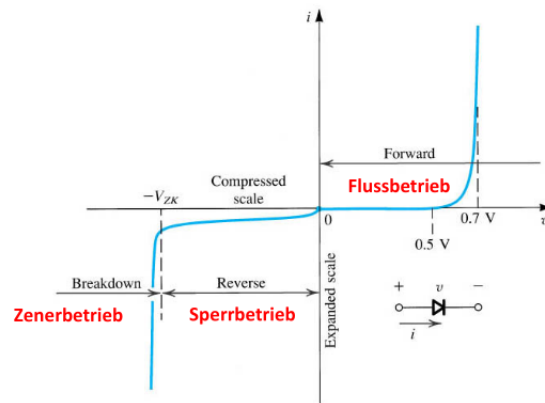
$$SR = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$[SR] = \frac{V}{\mu s}$$

13 Diode

Material	Bezeichnung	κ in S/m
Silber	Leiter	$62.5 \cdot 10^6$
Kupfer	Leiter	$56 \cdot 10^6$
Gold	Leiter	$45 \cdot 10^6$
Aluminium	Leiter	$35 \cdot 10^6$
Zink	Leiter	$16.5 \cdot 10^6$
Nickel	Leiter	$14.3 \cdot 10^6$
Kobalt	Leiter	$14.3 \cdot 10^6$
Messing	Leiter	$13 \cdot 10^6$
Eisen	Leiter	$10 \cdot 10^6$
Platin	Leiter	$9.5 \cdot 10^6$
Zinn	Leiter	$8.3 \cdot 10^6$
Stahl	Leiter	$7 \cdot 10^6$
Chrom	Leiter	$6.2 \cdot 10^6$
Blei	Leiter	$5 \cdot 10^6$
Konstantan	Leiter	$2 \cdot 10^6$
Quecksilber	Leiter	$1.0 \cdot 10^6$
Germanium	Halbleiter	2
Tellur	Halbleiter	$5 \cdot 10^{-3}$
Silizium (undotiert)	Halbleiter	$3 \cdot 10^{-4}$
Selen	Halbleiter	$1 \cdot 10^{-5}$
Glas	Isolator	$10^{-11} \dots 10^{-16}$
Porzellan	Isolator	$2 \cdot 10^{-13}$





$$i_D(v_D) = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{v_D}{n \cdot V_T}\right) - 1 \right)$$

$$i_D(v_D) \approx I_S \cdot \exp\left(\frac{v_D}{V_T}\right)$$

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

$$V_{T, @ 20^\circ \text{C}} = 25.3 \text{ mV}$$

$$V_{T, @ 27^\circ \text{C}} = 25.9 \text{ mV}$$

$$q = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$n \in [1, 2]$$

$$[T] = \text{K}$$

I_S : Sättigungssperrstrom, V_T : Temperaturspannung

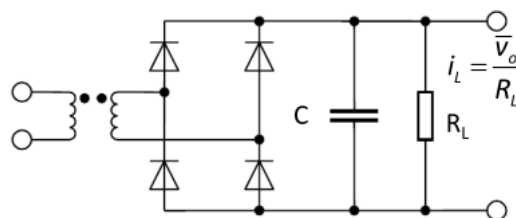
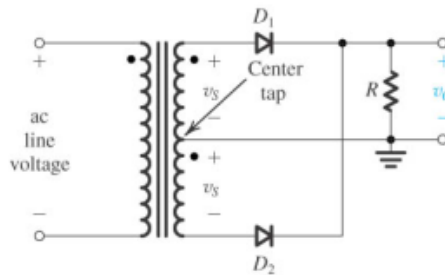
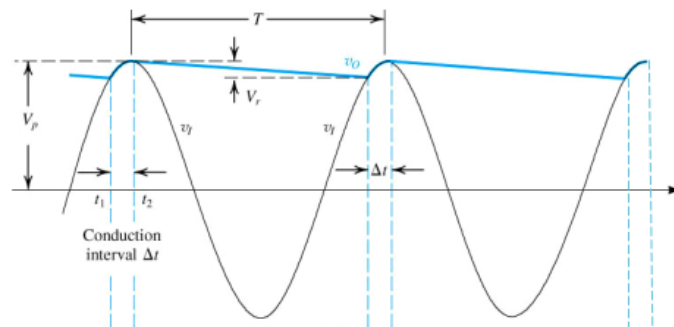
14 Einweg-Gleichrichter

$$V_r = \frac{V_p}{f \cdot R \cdot C} = \frac{V_p \cdot T}{R \cdot C}$$

$$\Delta t \approx \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_r}{V_p}}$$

$$i_{D, avg} = i_{L, avg} \cdot \left(1 + \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_p}{V_r}} \right)$$

$$i_{D, max} = i_{L, avg} \cdot (1 + 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_p}{V_r}})$$



15 Zweiweggleichrichter - Trafo mit Mittelabgriff

16 Zweiweggleichrichter - Brückengleichrichter

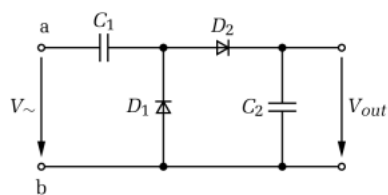
$$V_r = \frac{V_p}{2 \cdot f \cdot R_L \cdot C}$$

$$i_{D,avg} = i_{L,avg} \cdot \left(1 + \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_p}{V_r}} \right)$$

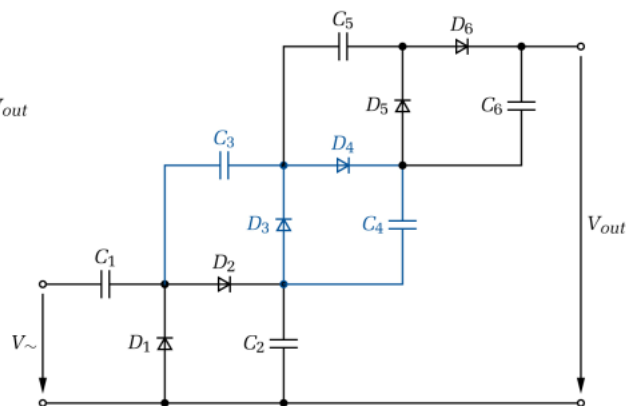
$$i_{D,max} = i_{L,avg} \cdot \left(1 + 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_p}{V_r}} \right)$$

17 Spannungsvervielfachung

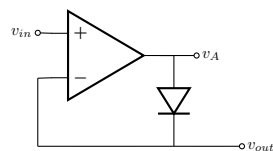
Greinacher-Schaltung:



Kaskade von Greinacher-Schaltungen:

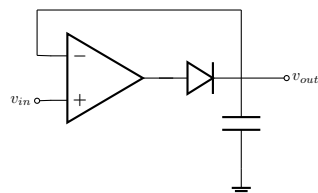


18 Superdiode

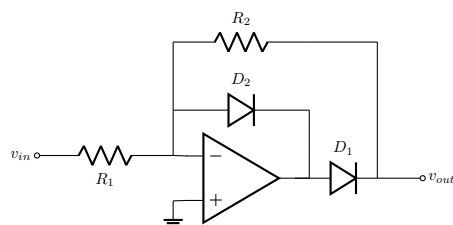


$$v_{out}(v_{in}) = \begin{cases} v_{in} & \text{wenn } v_{in} \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

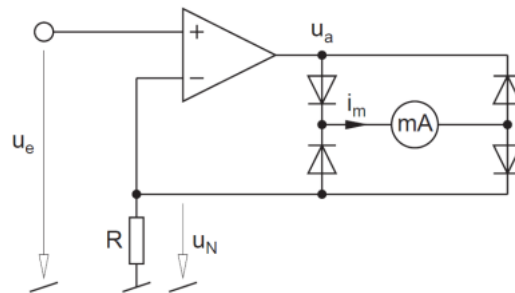
19 Spitzenwert-Gleichrichter



20 Negative Superdiode



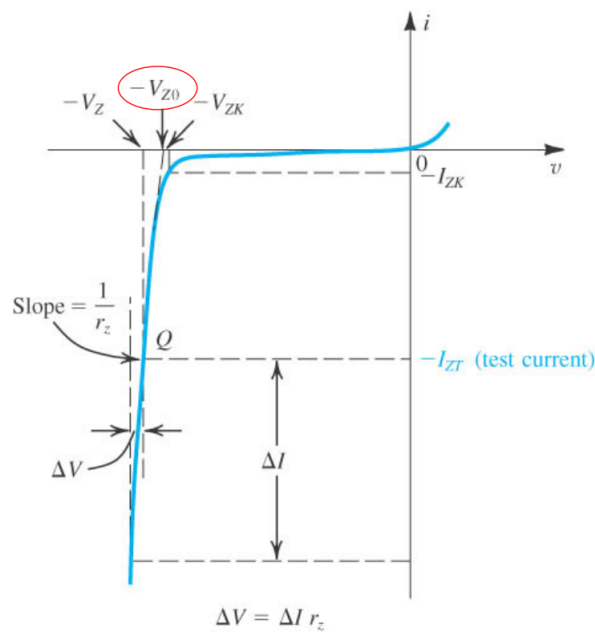
$$v_{out}(v_{in}) = \begin{cases} -v_{in} & \text{wenn } v_{in} \leq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \iff R_1 = R_2$$



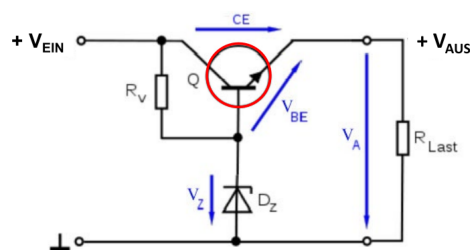
21 Mess-Gleichrichter

$$i_m = \frac{|u_e|}{R}$$

22 Zener-Diode

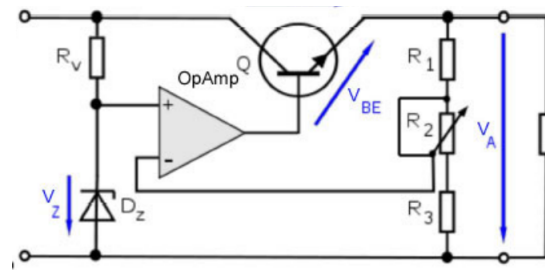


23 Einfacher LDO



$$V_{AUS} = V_Z - 0.7 \text{ V}$$

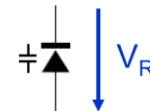
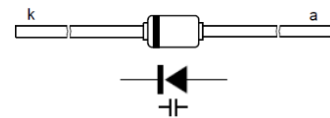
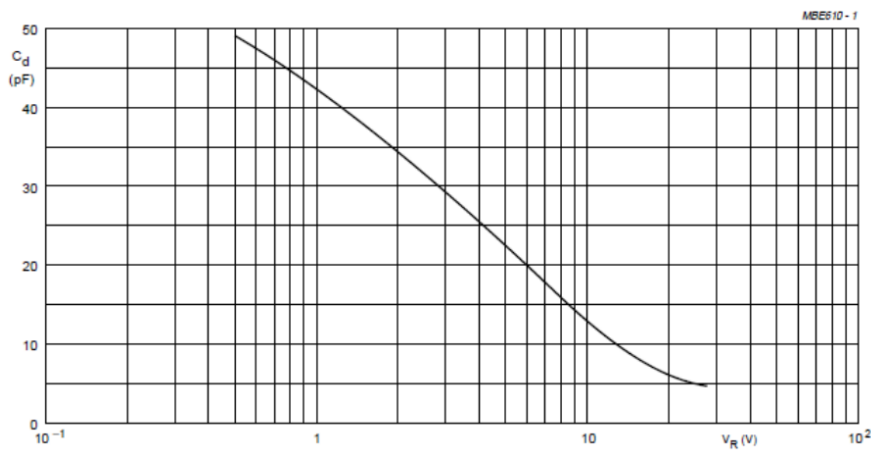
24 Längsregler (LDO)



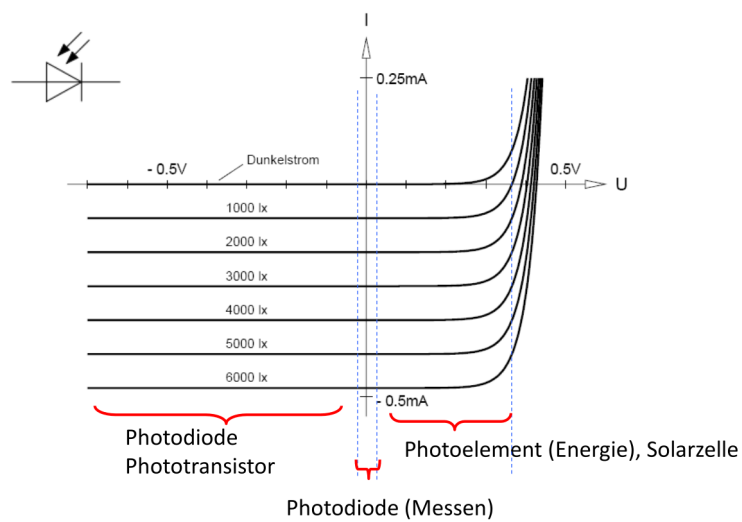
$$V_{out} = V_Z \cdot \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3}$$

$$\eta < \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

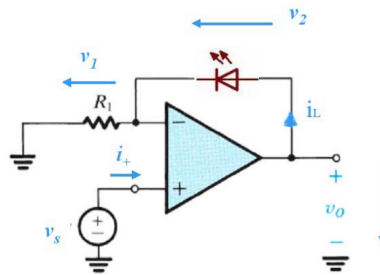
25 Kapazitätsdiode



26 Photodiode



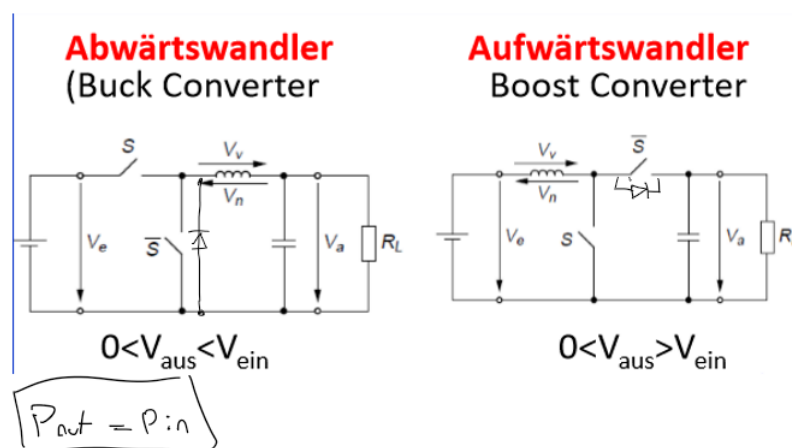
27 Stromgesteuerte LED



$$V_1 = v_s$$

$$i_L = \frac{v_s}{R_1}$$

28 Abwärts-/Aufwärtsregler



$\bar{S}$ ist meist eine Diode (Schottky)

S ist ein Switcher (FET welcher schnell geschaltet wird)

Duty cycle:

$$D = \frac{t_{\text{on}}}{(t_{\text{on}} + t_{\text{off}})}$$

$t_{\text{on}} = \text{Wenn an Spule Spannung anliegt}$

Buck converter

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = D$$

$$L = \frac{R \cdot T \cdot (V_{in} - V_{out}) \cdot D}{f_s \cdot I_{out}} \quad R \cdot T = 2 \dots 10$$

$$C = \frac{1}{8} \cdot \frac{V_{out}}{\Delta V_{out}} \cdot \frac{(1-D)}{f_s^2 L}$$

$$\Delta I_L = \frac{(V_{in} - V_{out}) \cdot D}{f_s \cdot L}$$

Boost:

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D}$$

$$L = \frac{R \cdot T \cdot V_{in}^2 \cdot D}{f_s \cdot I_{out} \cdot V_{out}} \quad R \cdot T = 2 \dots 10$$

$$C = \frac{D \cdot I_{out}}{f_s \cdot \Delta V_{out}}$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{in} \cdot D}{f_s \cdot L}$$