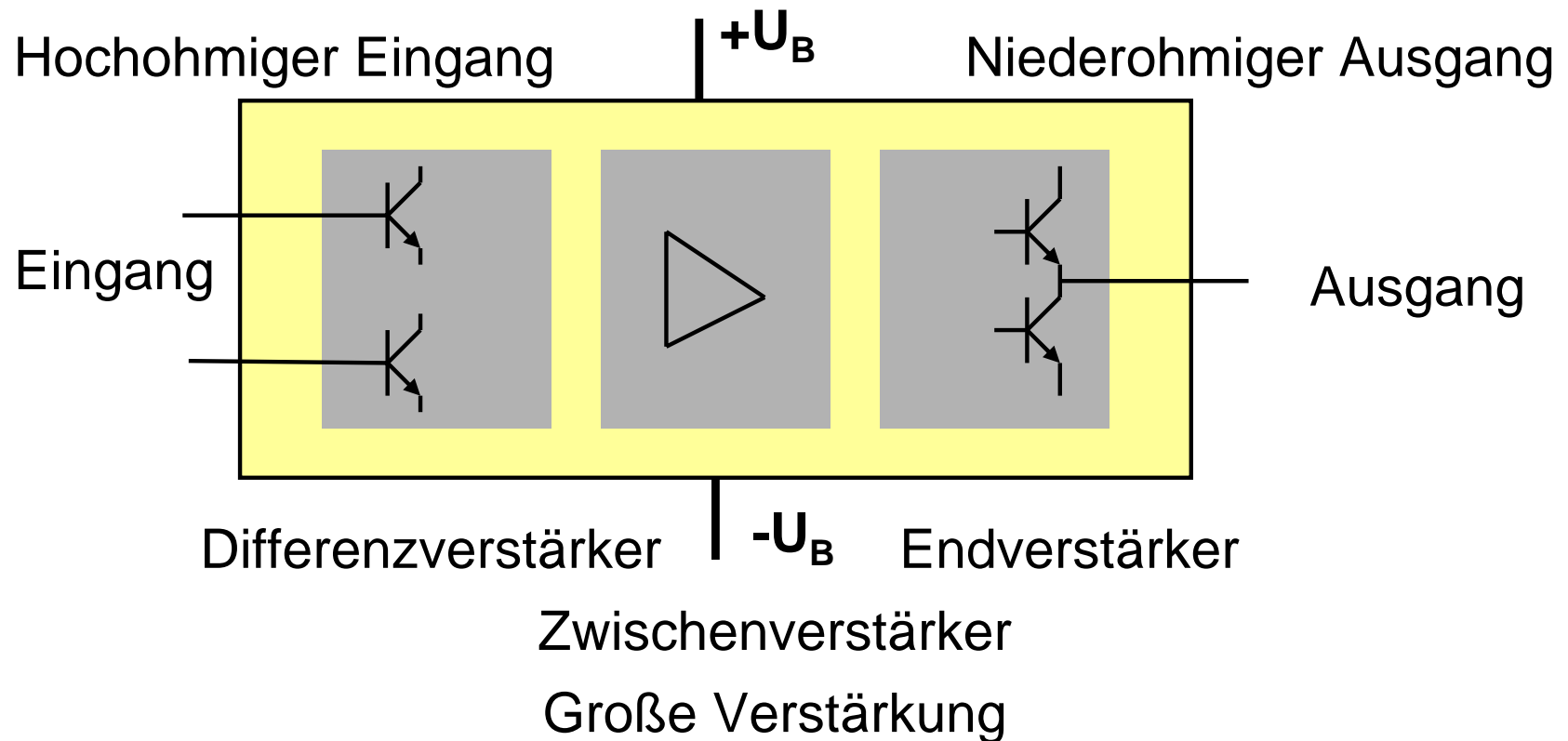


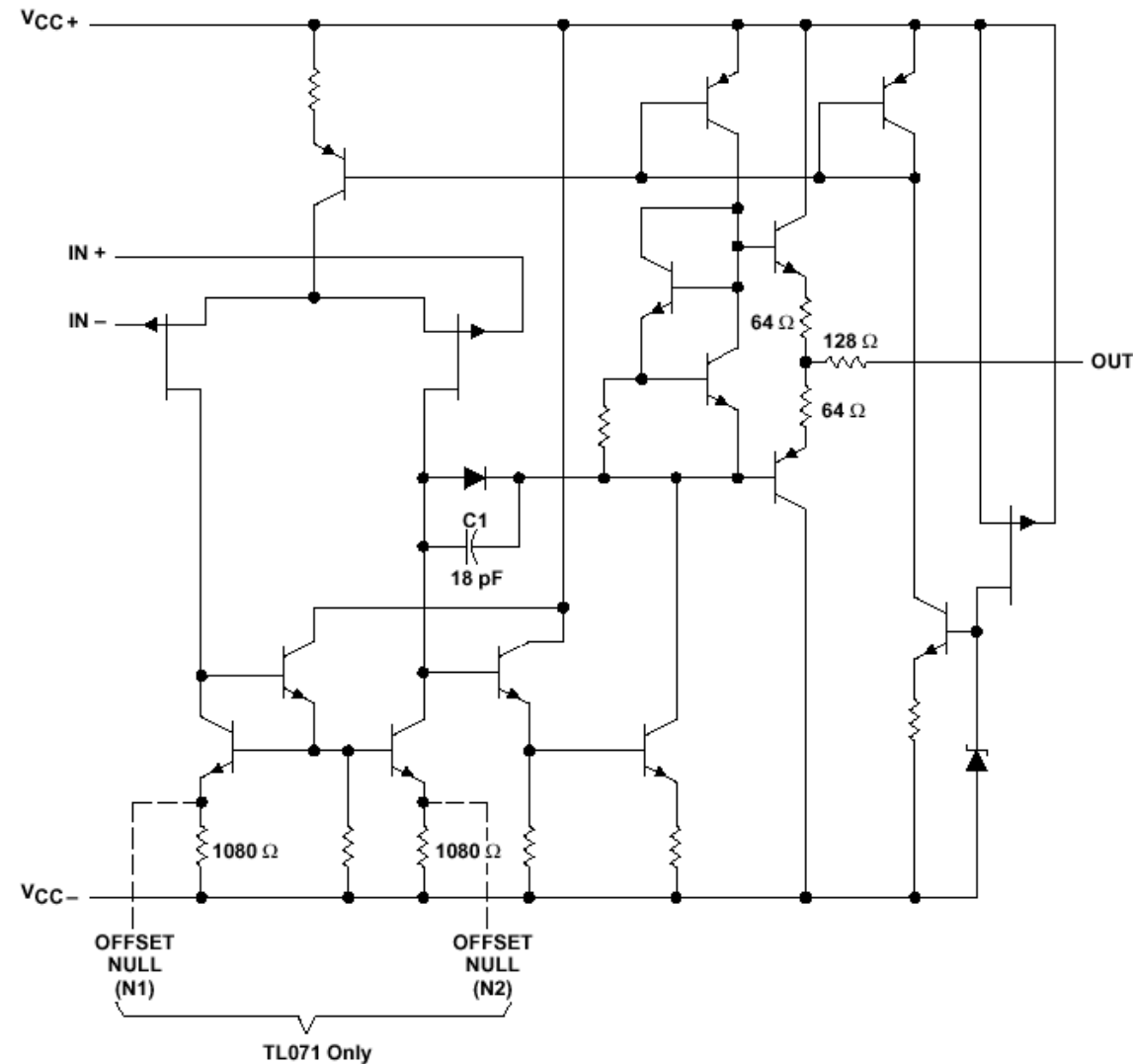
Kapitel 6: Operationsverstärker

- Aufbau, Funktion und Kenndaten
- Verstärkerschaltungen
- Addierer- und Subtrahiererschaltungen
- Komparatorenschaltungen
- Integrierer- und Differenziererschaltung
- Anwendungsbeispiele

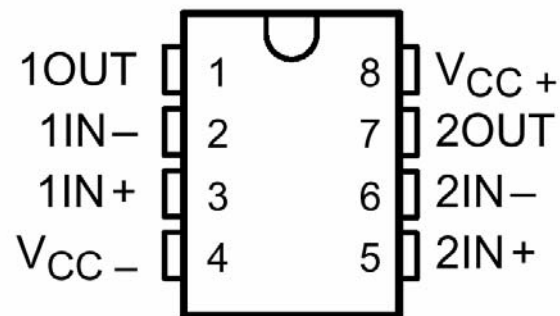


Operationsverstärker

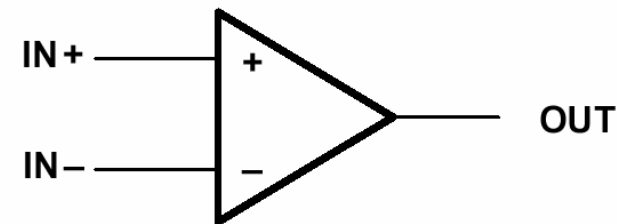
Innenschaltung TL072



TL072, TL072A, TL072B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



TL072 (each amplifier)
TL074 (each amplifier)

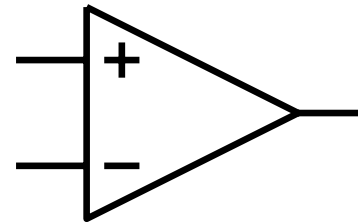


Verstärkungsfaktor	V	100000
Eingangswiderstand	R_E	1-1000 $M\Omega$
Ausgangswiderstand	R_A	10 Ω
Untere Grenzfrequenz	f_{\min}	0Hz
Obere Grenzfrequenz	f_{\max}	100MHz
Rausch-Ausgangsspannung	U_{rausch}	3 μ V

Operationsverstärker können in Echtzeit analoge Signale verarbeiten und dabei folgende Operationen realisieren.

- Multiplikation
- Division
- Addition
- Subtraktion
- Integrieren
- Differenzieren
- Vergleichen
- Filtern

Nichtinvertierender Eingang

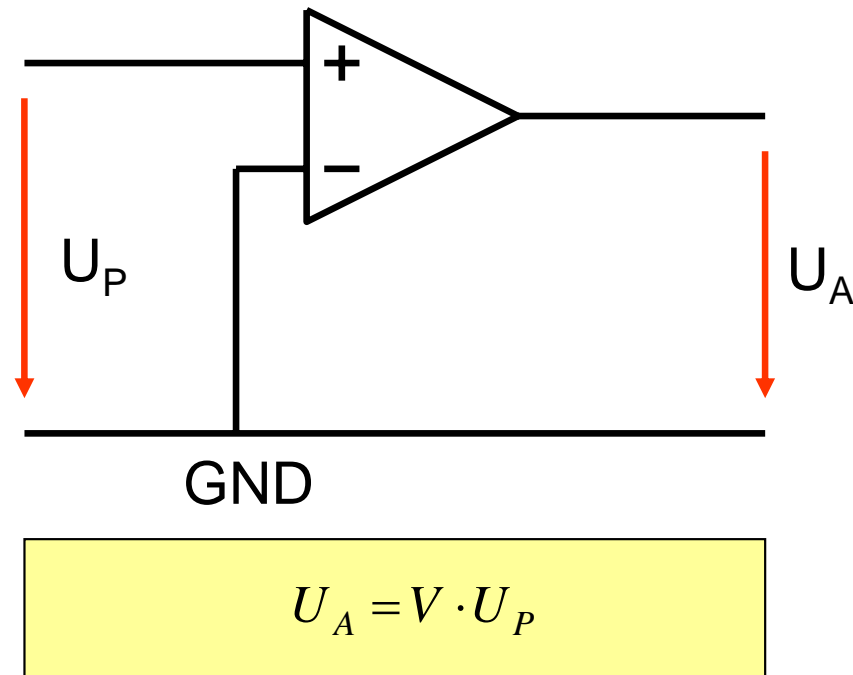


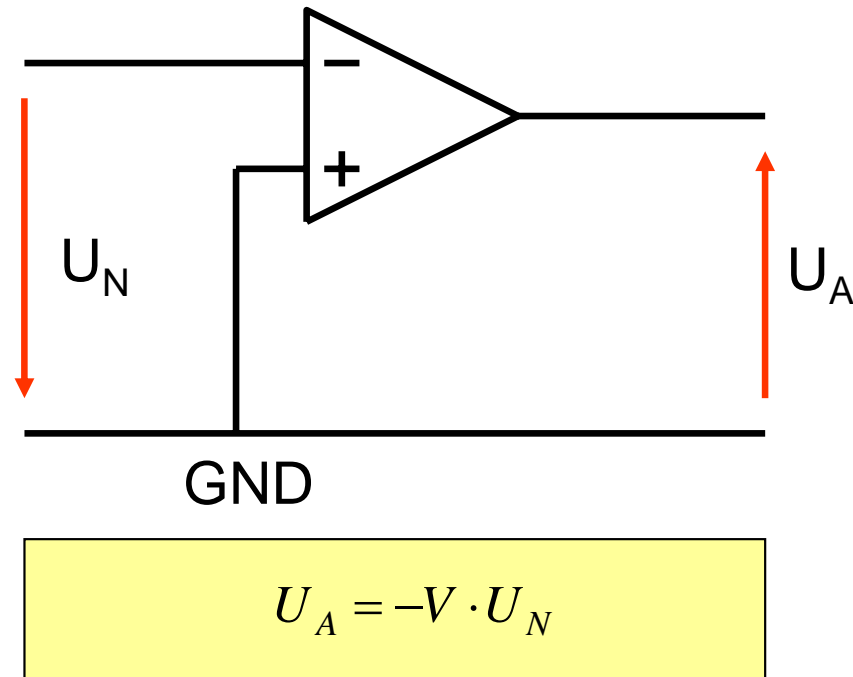
Ausgang

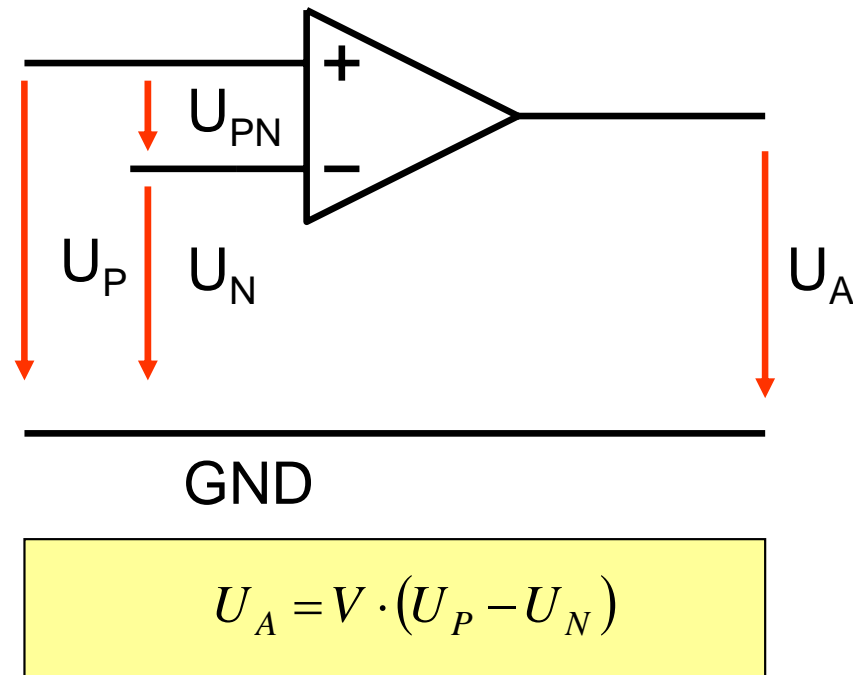
Invertierender Eingang

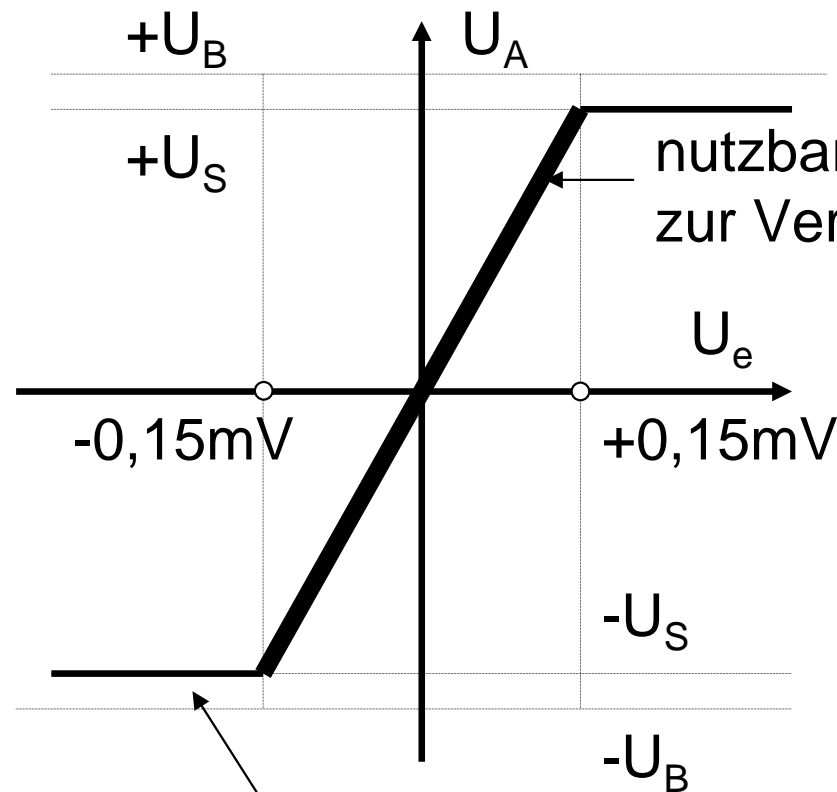
Operationsverstärker

Nichtinvertierender Verstärker







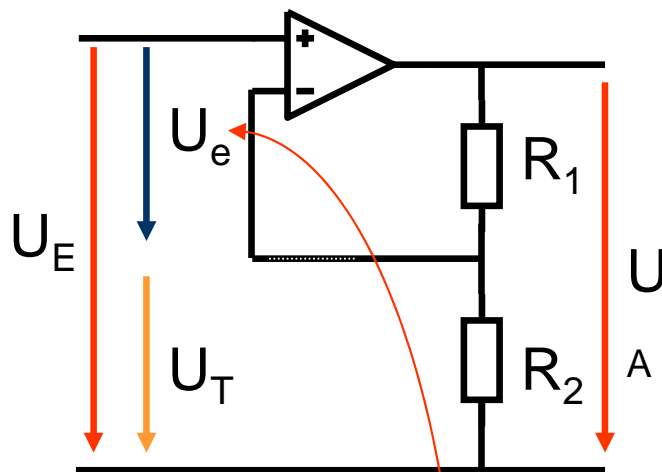


nutzbarer Bereich
zur Verstärkung

$$U_A = V \cdot U_e$$
$$V = 100000$$

U_B - Betriebsspannung (3-20V)
 U_S - Sättigungsspannung ($U_B - 0,7\text{V}$)

Sättigung



$$U_e \approx 0 \text{ Volt}$$

bei $V=100000$ und $U_A=6V$
ist $U_e=0,00006V$

$$U_A = V \cdot U_e \quad U_A = V \cdot (U_E - U_T) \quad U_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_A$$

$$U_A = V \cdot \left(U_E - \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_A \right) \quad B = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_A = V \cdot U_E - V \cdot B \cdot U_A \quad U_E = U_A \cdot \frac{(1 + V \cdot B)}{V}$$

$$V_U = \frac{U_A}{U_E} = \frac{U_A}{U_A \cdot \frac{(1 + V \cdot B)}{V}} = \frac{V}{(1 + V \cdot B)} = \frac{1}{B} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$V_U = \frac{U_A}{U_E} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$V \gg B$$

$$V = 100000$$

$$B = 1000$$

Invertierender Verstärker

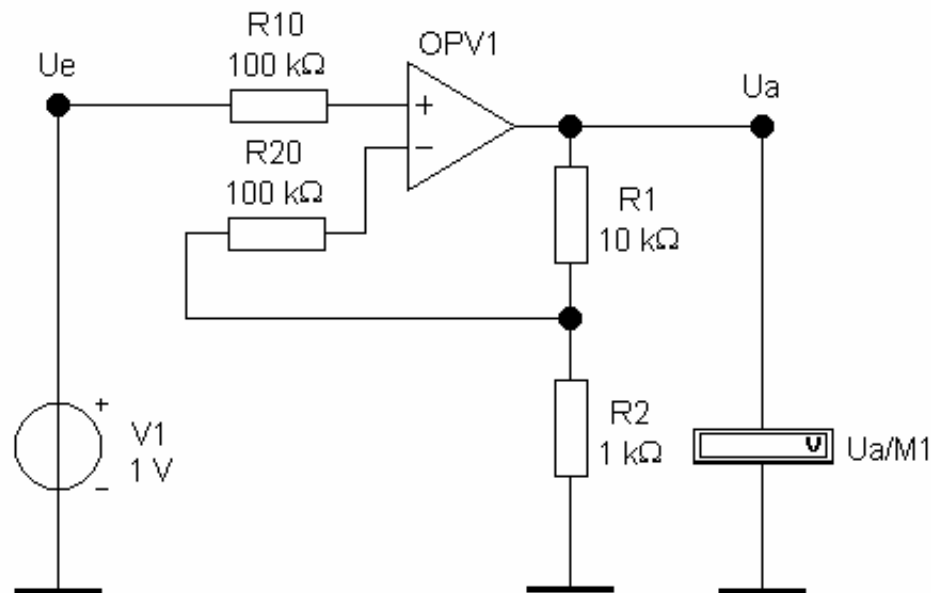
- Verstärker
- Spannungsfolger
- Wechselspannungsverstärker
- Addierer

Nichtinvertierender Verstärker

- Verstärker
- Spannungsfolger
- Wechselspannungsverstärker
- Differenzverstärker
- Subtrahierer
- Addierer

Operationsverstärkerschaltungen

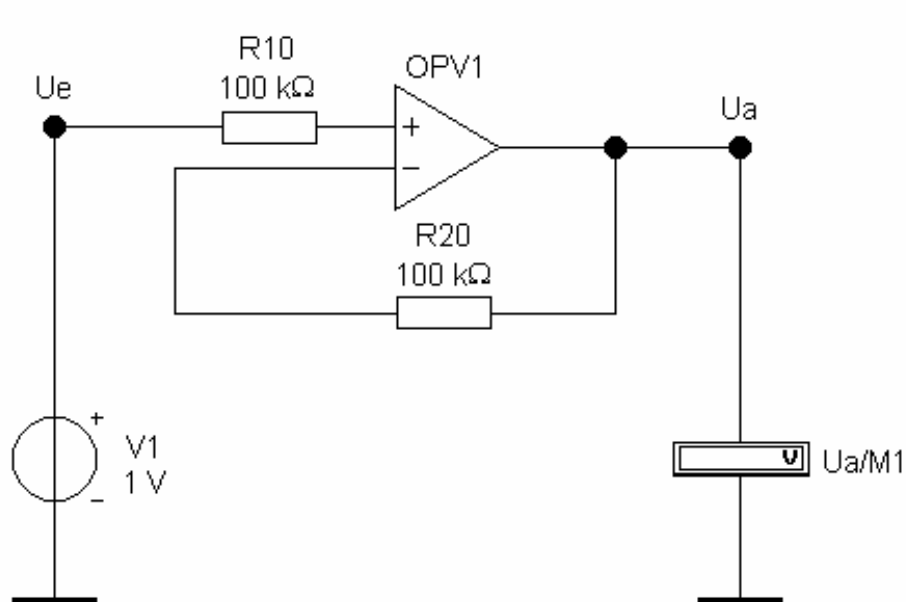
Nichtinvertierender Verstärker



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

Operationsverstärkerschaltungen

Nichtinvertierender Verstärker - Spannungsfolger



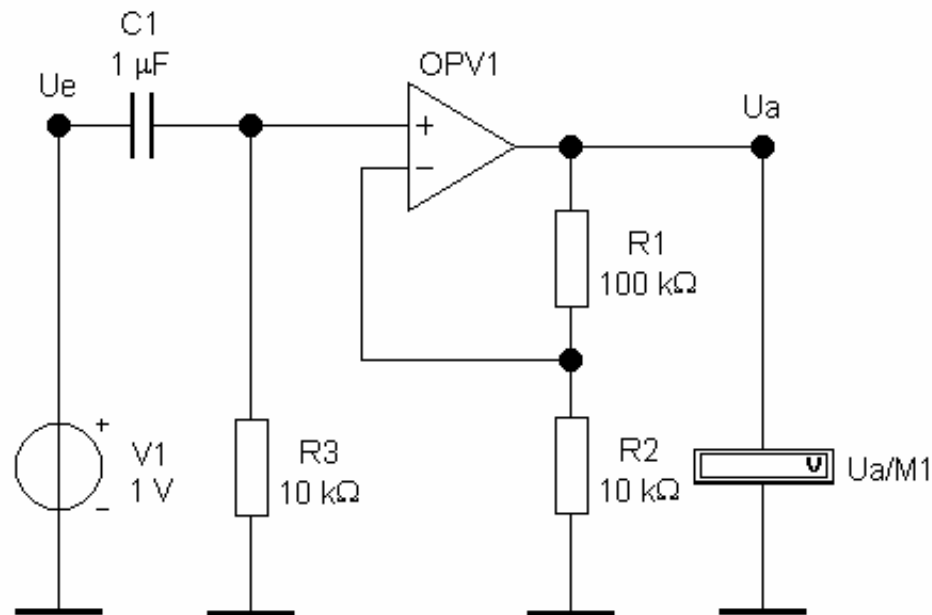
$$U_A = U_E \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Da $R_1=0$ folgt:

$$U_A = U_E$$

Operationsverstärkerschaltungen

Nichtinvertierender Wechselspannungsverstärker

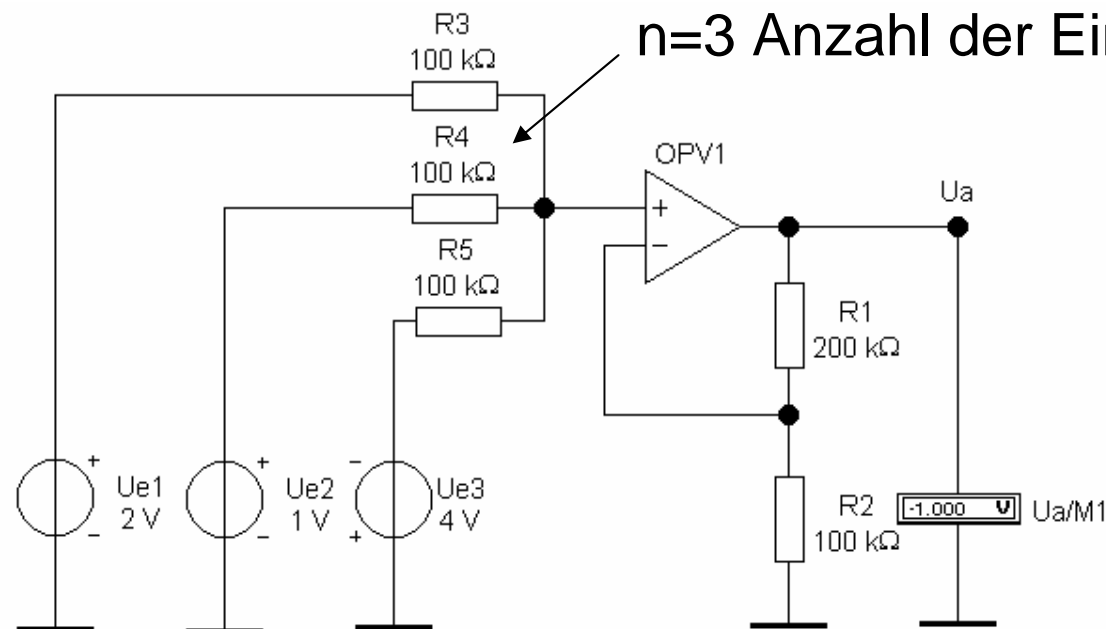


$$U_A = U_{E\approx} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$f_{gr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot C_1}$$

Operationsverstärkerschaltungen

Nichtinvertierender Addierer



$$U_A = U_{E1} + U_{E2} + U_{E3}$$

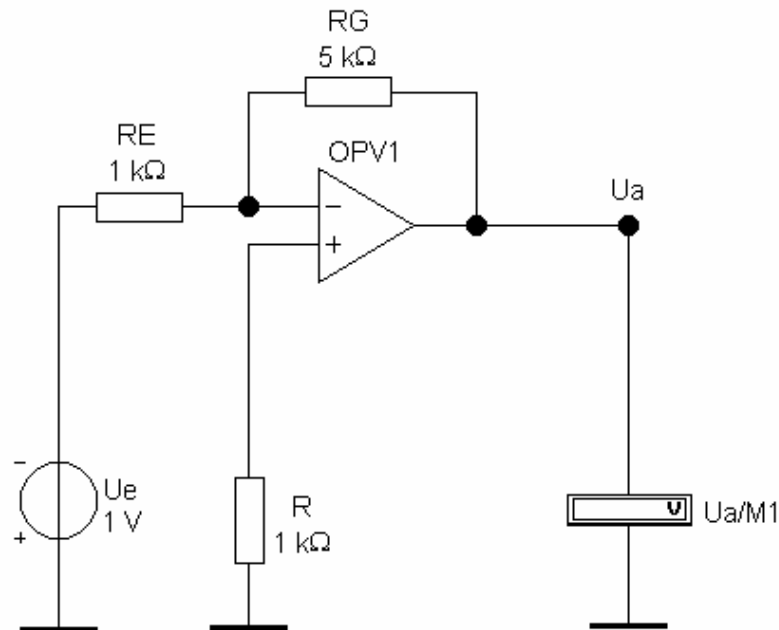
$$R_1 = (n-1) \cdot R$$

$$R = R_2 = R_3 = R_4 = R_5$$

$$n = 3$$

Operationsverstärkerschaltungen

Invertierender Verstärker

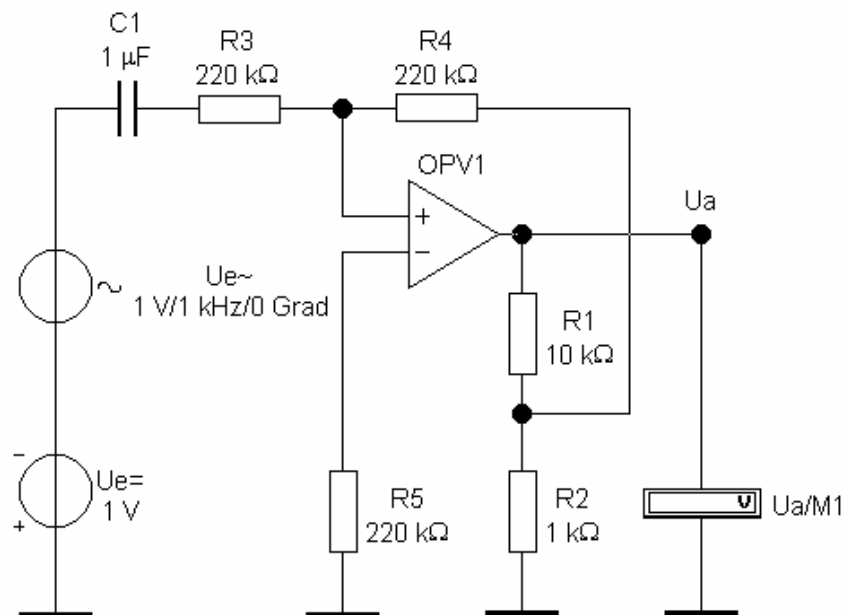


$$U_A = -U_E \cdot \frac{R_G}{R_E}$$

$$R = R_E$$

Operationsverstärkerschaltungen

Invertierender Wechselspannungsverstärker

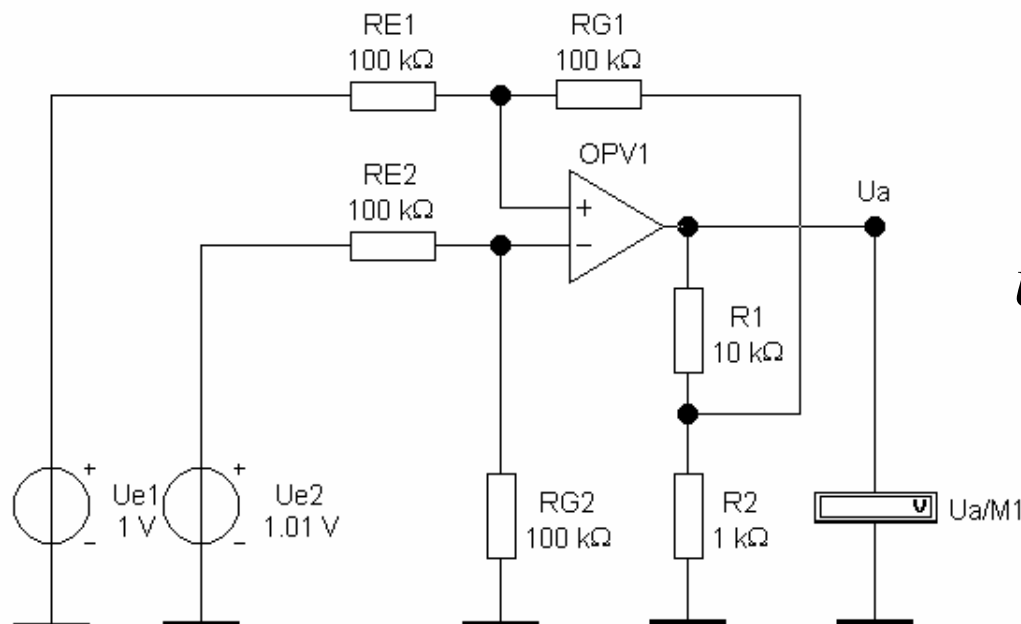


$$U_A = -U_{E\approx} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$f_{gr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot C_1}$$

Operationsverstärkerschaltungen

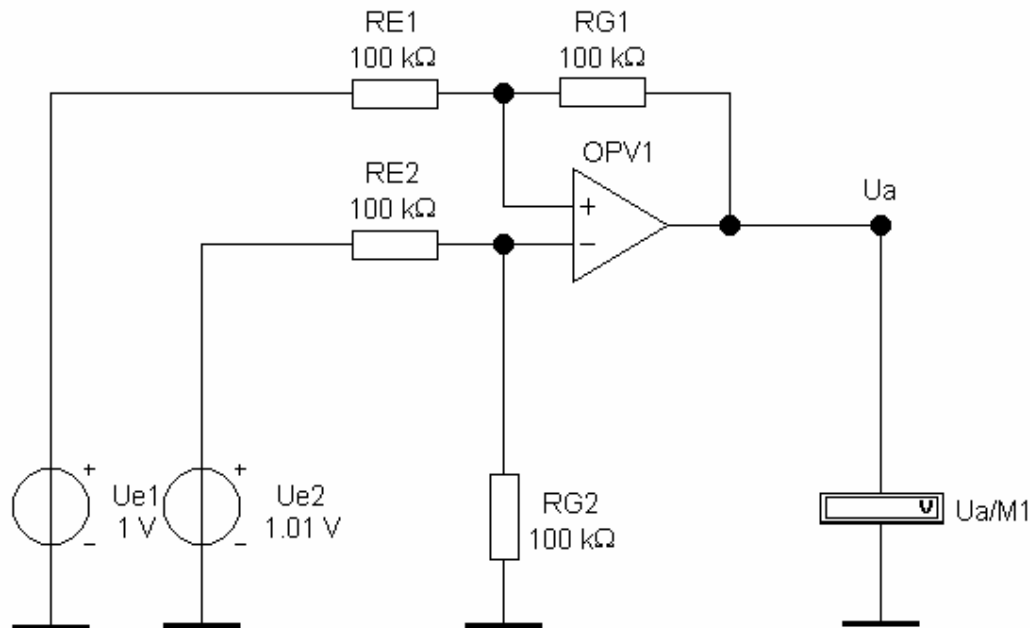
Invertierender Differenzverstärker



$$U_A = -(U_{E1} - U_{E2}) \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Operationsverstärkerschaltungen

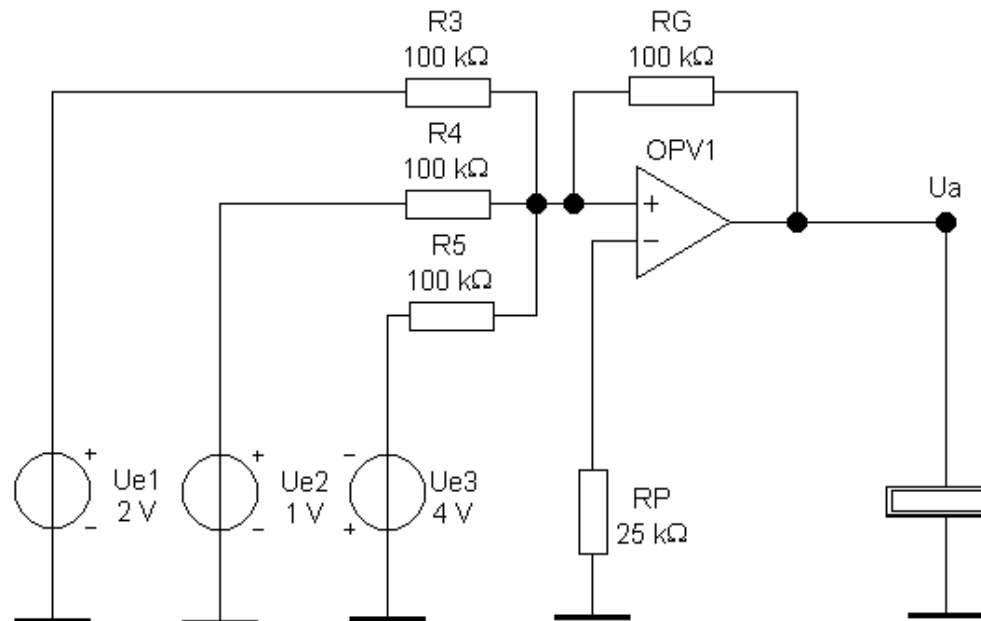
Invertierender Subtrahierer



$$U_A = -(U_{E1} - U_{E2})$$

Operationsverstärkerschaltungen

Invertierender Addierer



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

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_G}$$

Komparatoren ohne Hysterese

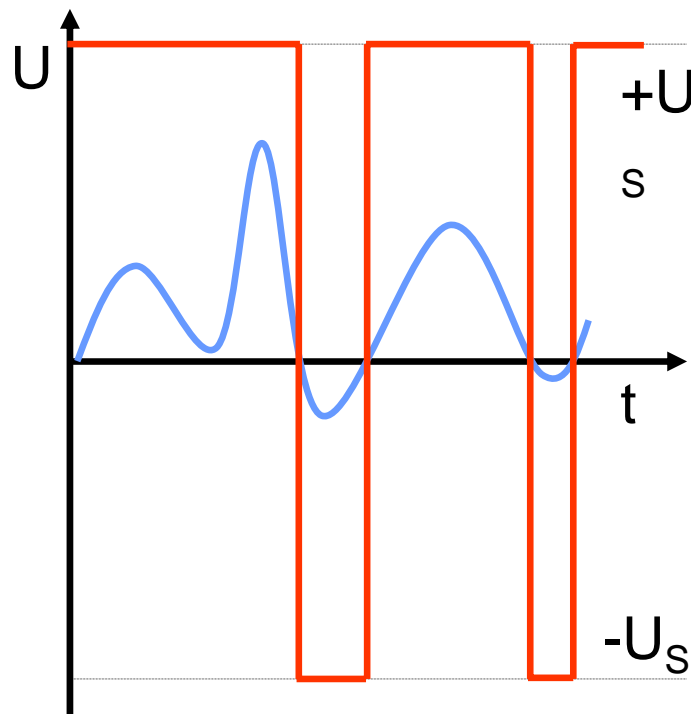
- für den Nulldurchgang invertierend
- für den Nulldurchgang nichtinvertierend
- mit Referenzspannung invertierend
- mit Referenzspannung nichtinvertierend

Komparatoren mit Hysterese

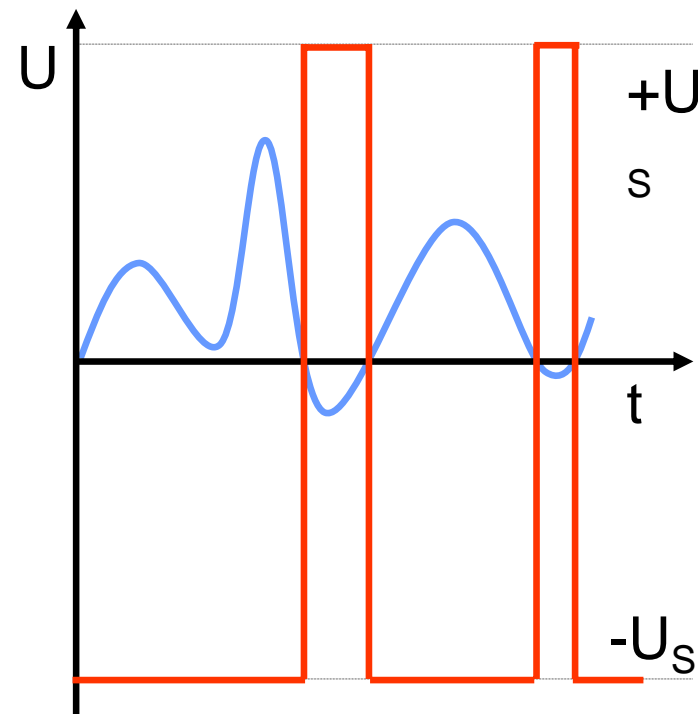
- für den Nulldurchgang invertierend
- für den Nulldurchgang nichtinvertierend
- mit Referenzspannung invertierend
- mit Referenzspannung nichtinvertierend

Operationsverstärkerschaltungen

Komparator für den Nulldurchgang ohne Hysterese



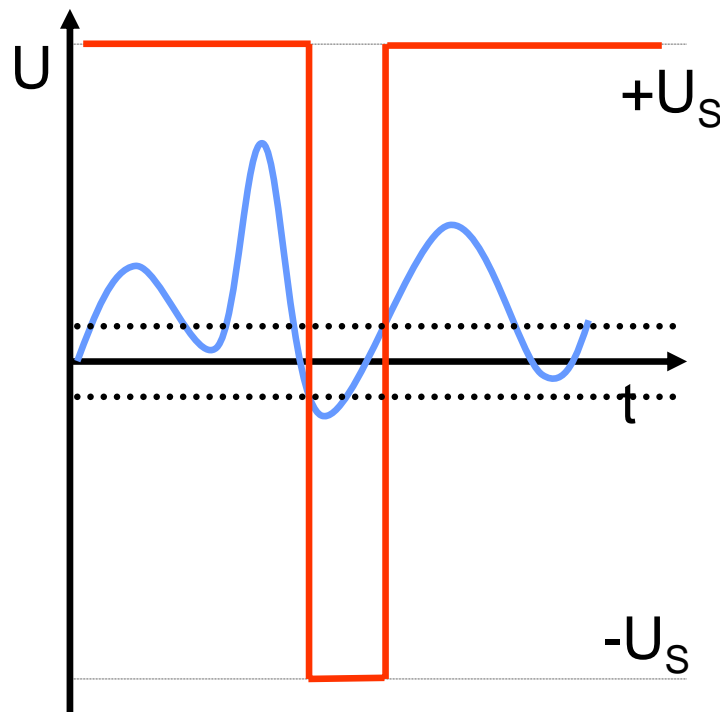
nichtinvertierend



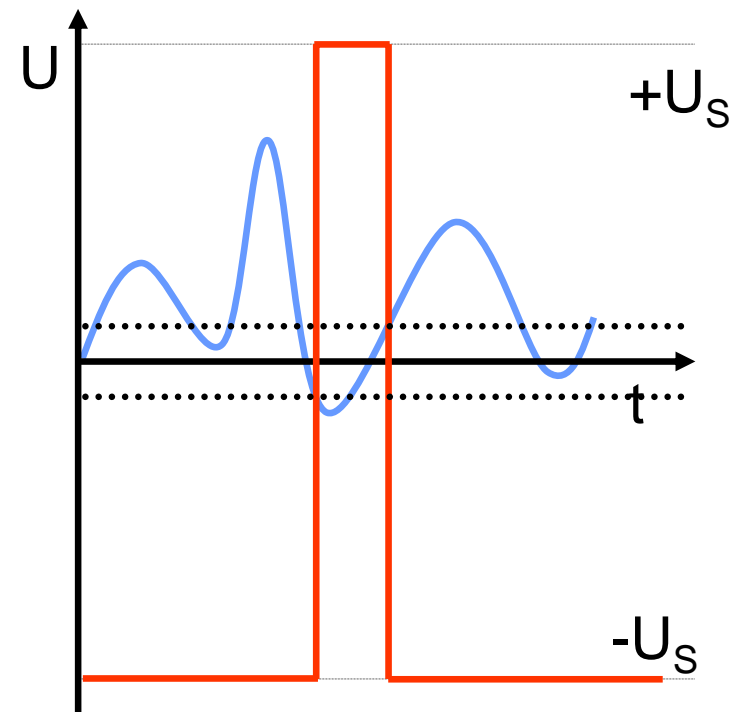
invertierend

Operationsverstärkerschaltungen

Komparator für den Nulldurchgang mit Hysterese



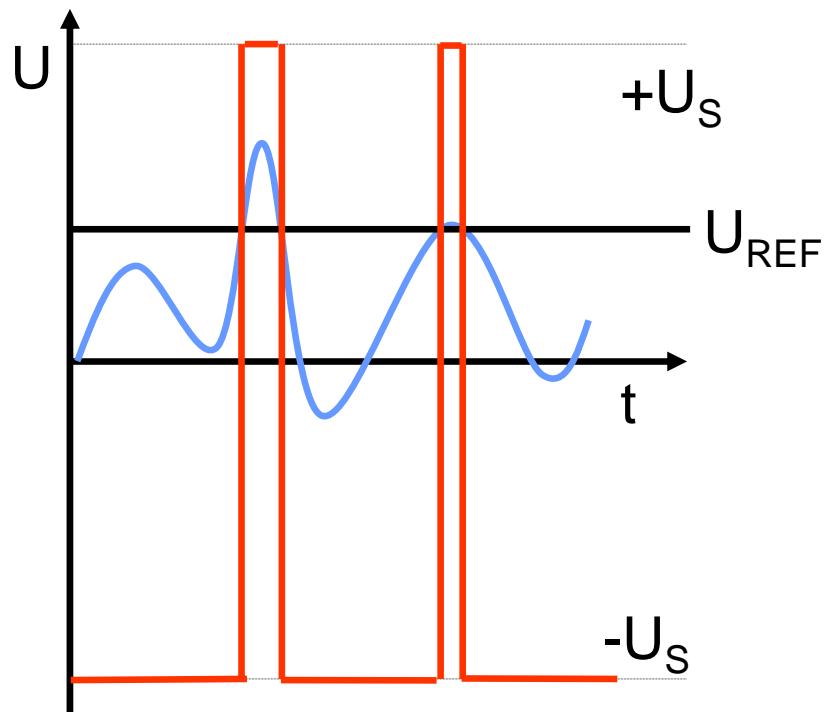
nichtinvertierend



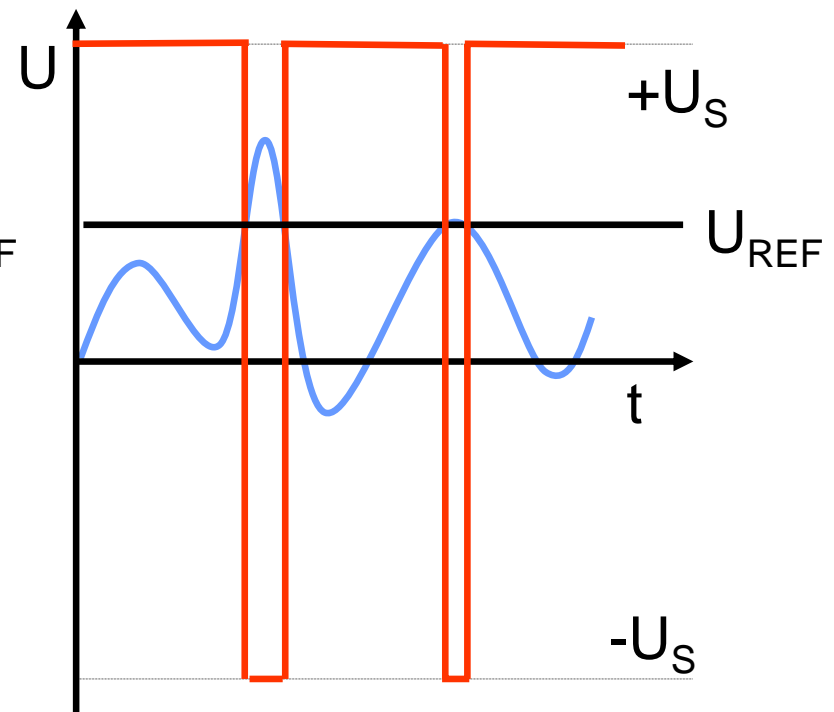
invertierend

Operationsverstärkerschaltungen

Komparator mit Referenzspannung ohne Hysterese



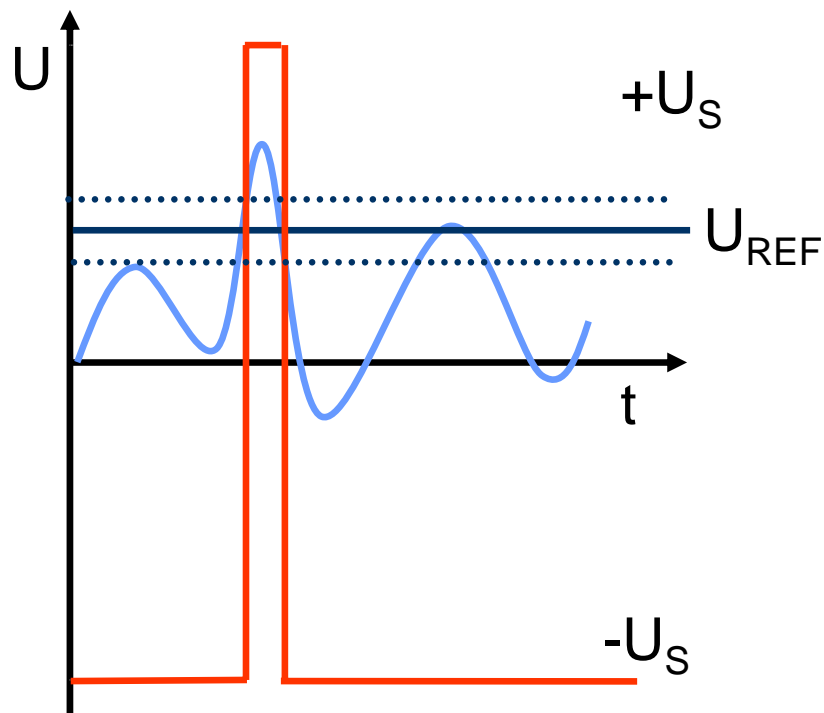
nichtinvertierend



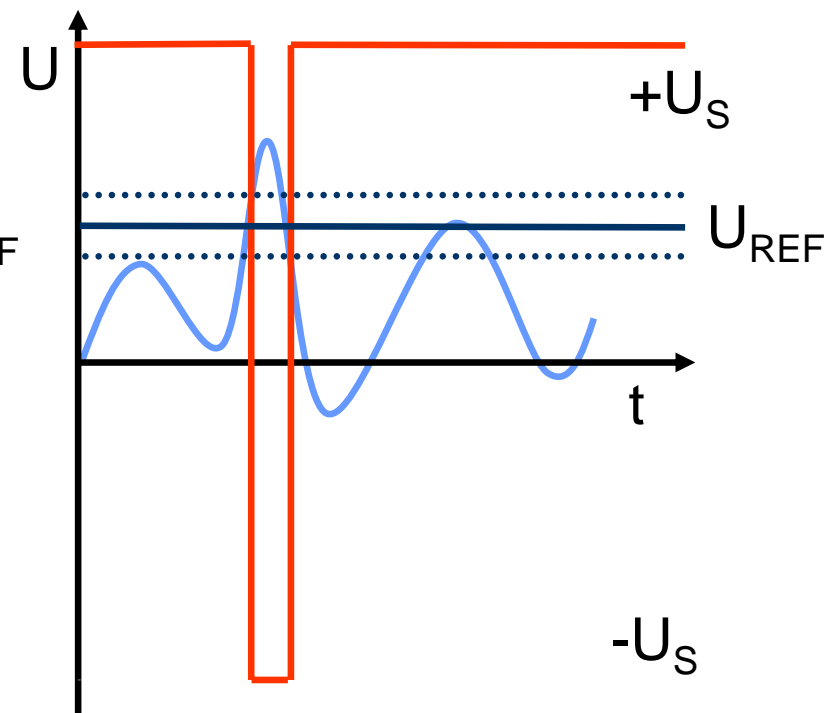
invertierend

Operationsverstärkerschaltungen

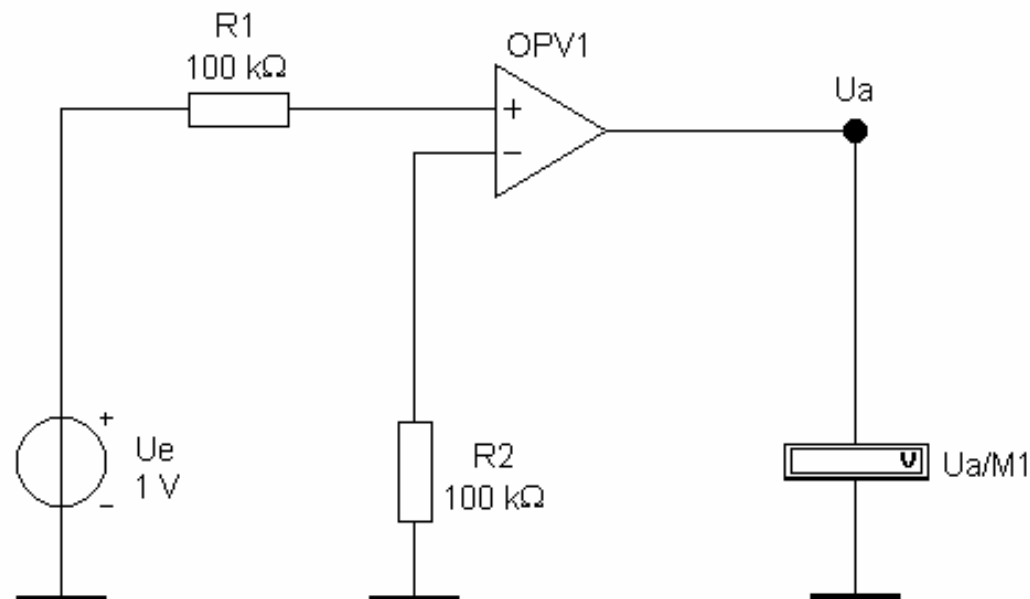
Komparator mit Referenzspannung mit Hysterese



nichtinvertierend



invertierend

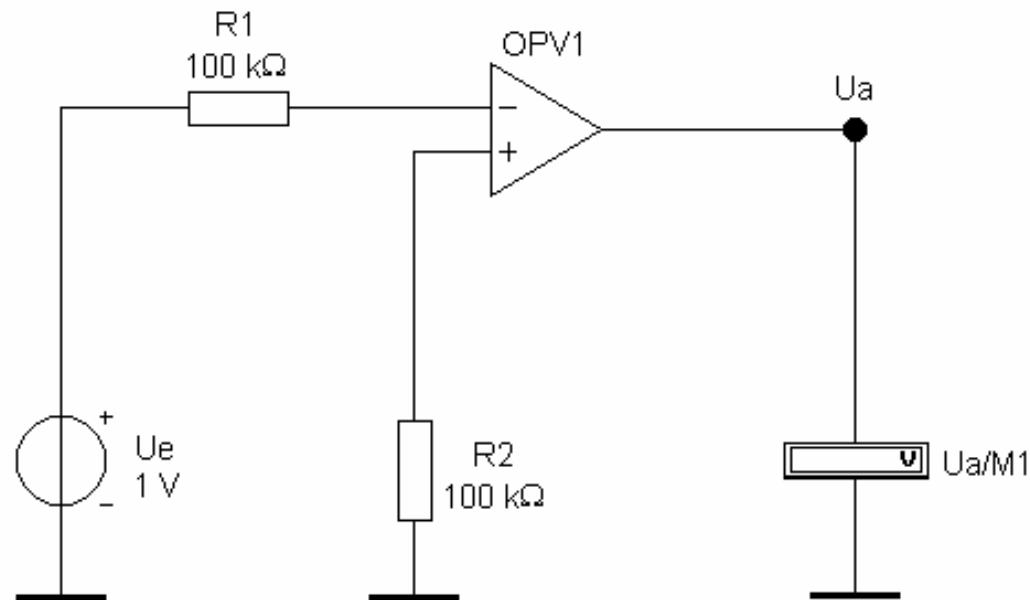


$$U_{EP} < 0V \rightarrow U_A = -U_S$$

$$U_{EP} > 0V \rightarrow U_A = +U_S$$

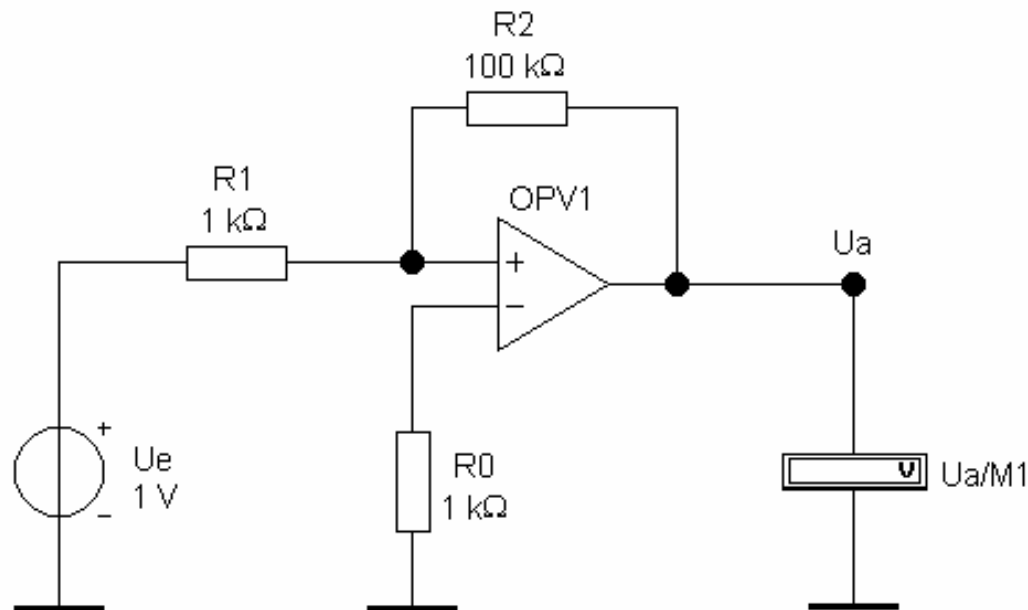
Operationsverstärkerschaltungen

Komparator inv. für den Nulldurchgang ohne Hysterese



$$U_{EN} < 0V \rightarrow U_A = +U_S$$

$$U_{EN} > 0V \rightarrow U_A = -U_S$$



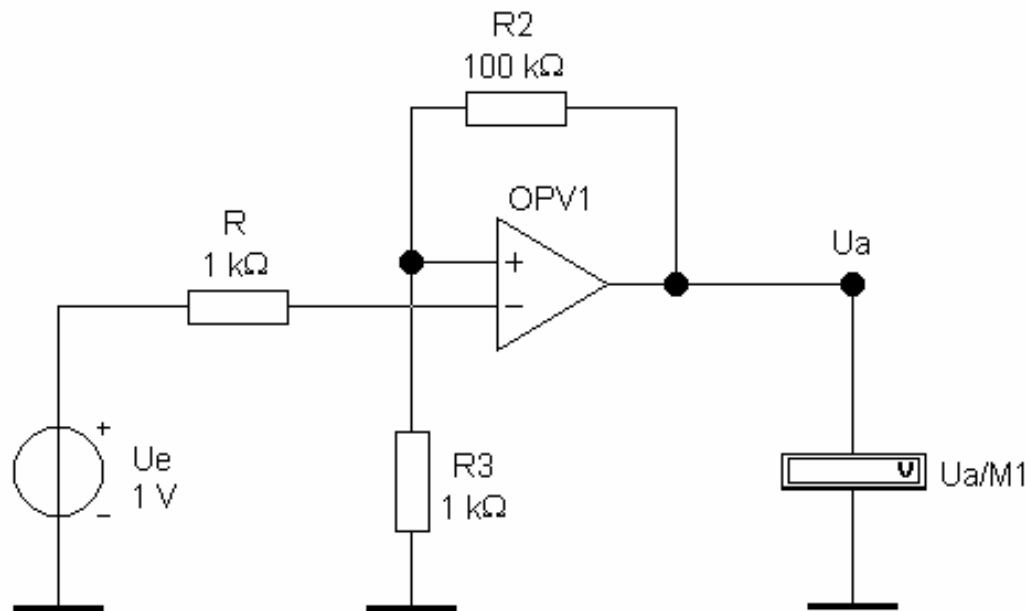
$$U_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot U_S$$

$$U_{EP} \leq -U_X \rightarrow U_A = -U_S$$

$$U_{EP} \geq +U_X \rightarrow U_A = +U_S$$

Operationsverstärkerschaltungen

Komparator inv. für den Nulldurchgang mit Hysterese



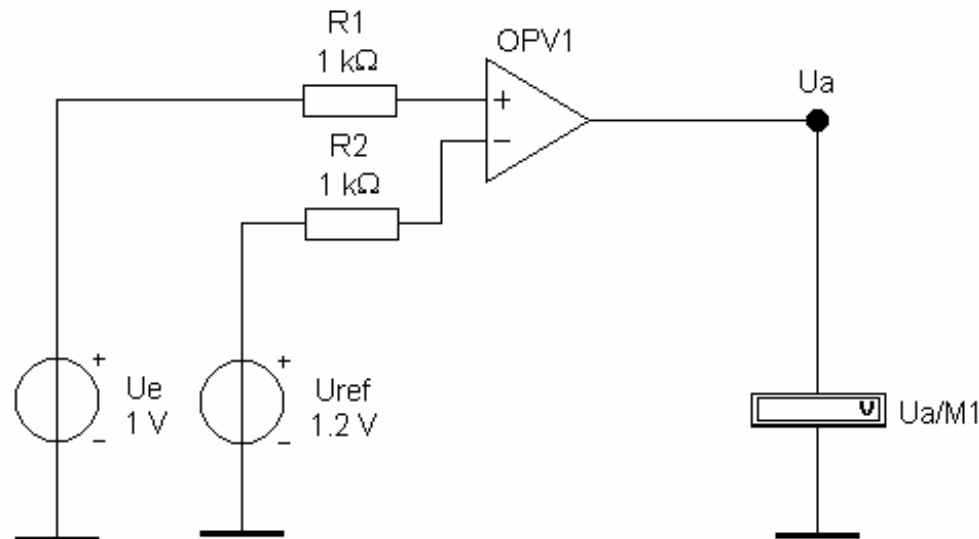
$$U_X = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_S$$

$$U_{EN} \leq -U_X \rightarrow U_A = +U_S$$

$$U_{EN} \geq +U_X \rightarrow U_A = -U_S$$

Operationsverstärkerschaltungen

Komp. nicht inv. mit Referenzspannung ohne Hysterese

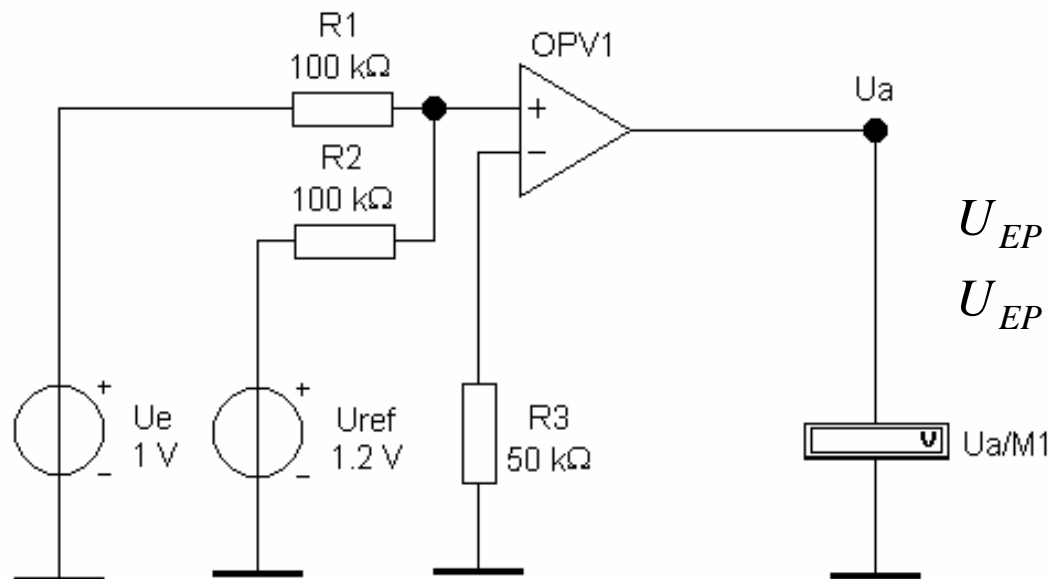


$$U_{EP} > U_{REFN} \rightarrow U_A = +U_S$$

$$U_{EP} < U_{REFN} \rightarrow U_A = -U_S$$

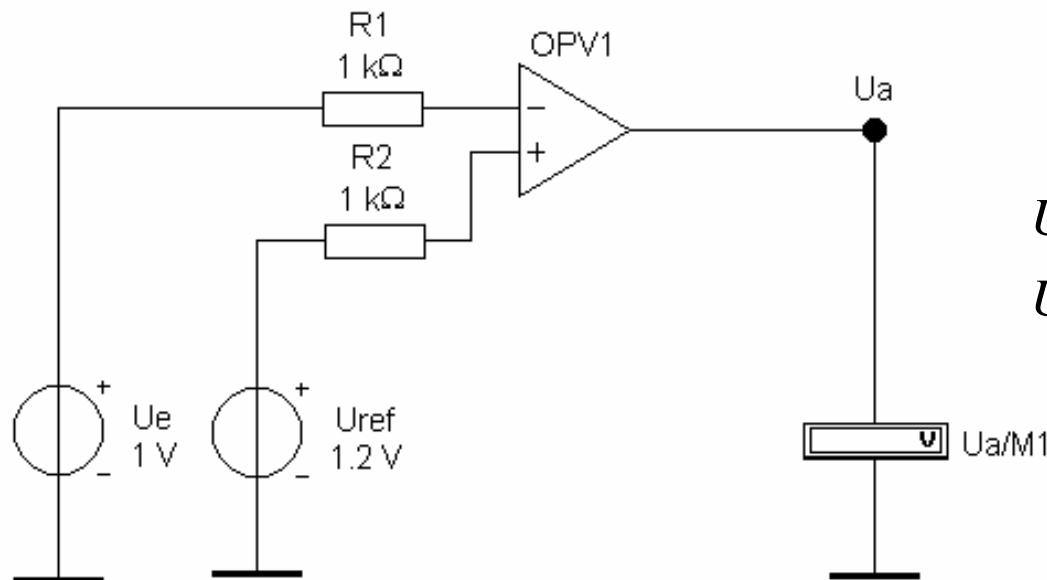
Operationsverstärkerschaltungen

Komp. nicht inv. mit Referenzspannung ohne Hysterese



$$U_{EP} - U_{REFP} > 0V \rightarrow U_A = +U_S$$

$$U_{EP} - U_{REFP} < 0V \rightarrow U_A = -U_S$$

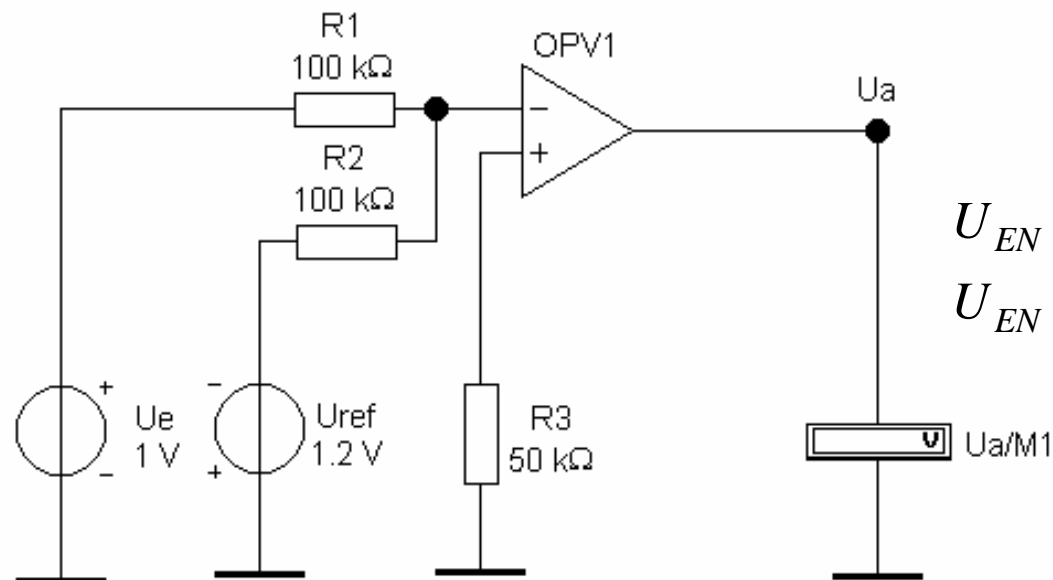


$$U_{EN} > U_{REFP} \rightarrow U_A = -U_S$$

$$U_{EN} < U_{REFP} \rightarrow U_A = +U_S$$

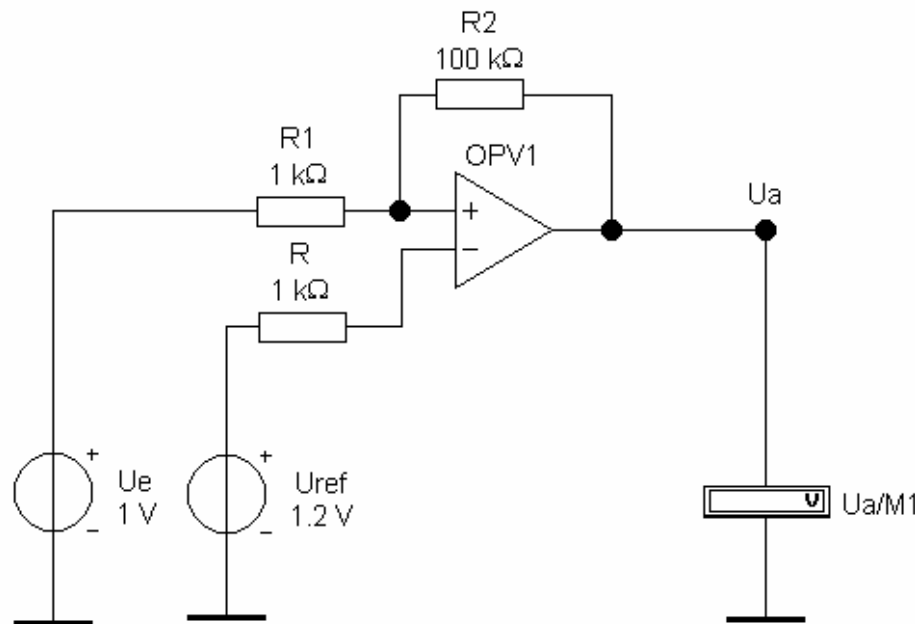
Operationsverstärkerschaltungen

Komparator inv. mit Referenzspannung ohne Hysterese



$$U_{EN} - U_{REFN} > 0V \rightarrow U_A = -U_S$$

$$U_{EN} - U_{REFN} < 0V \rightarrow U_A = +U_S$$

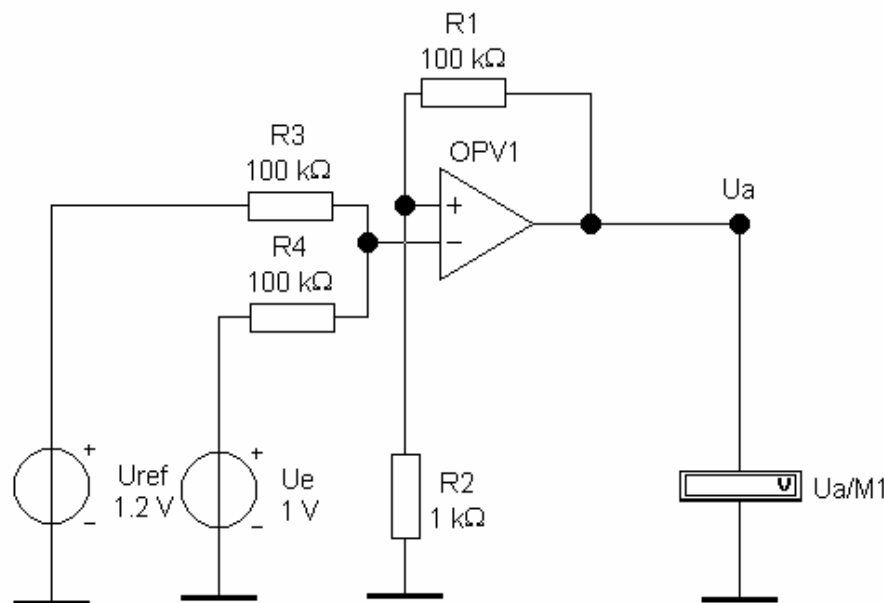


$$U_{HH} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + U_S \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_{HL} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - U_S \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Operationsverstärkerschaltungen

Komparator inv. mit Referenzspannung mit Hysterese



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

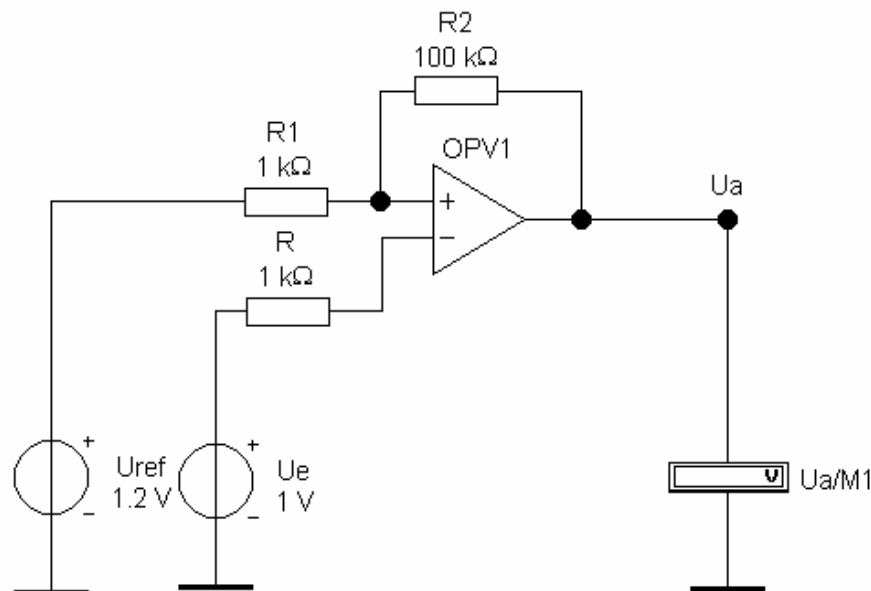
$$U_{HH} = U_{REF} + 2 \cdot U_X$$

$$U_{HL} = U_{REF} - 2 \cdot U_X$$

$$H = 4 \cdot U_X$$

Operationsverstärkerschaltungen

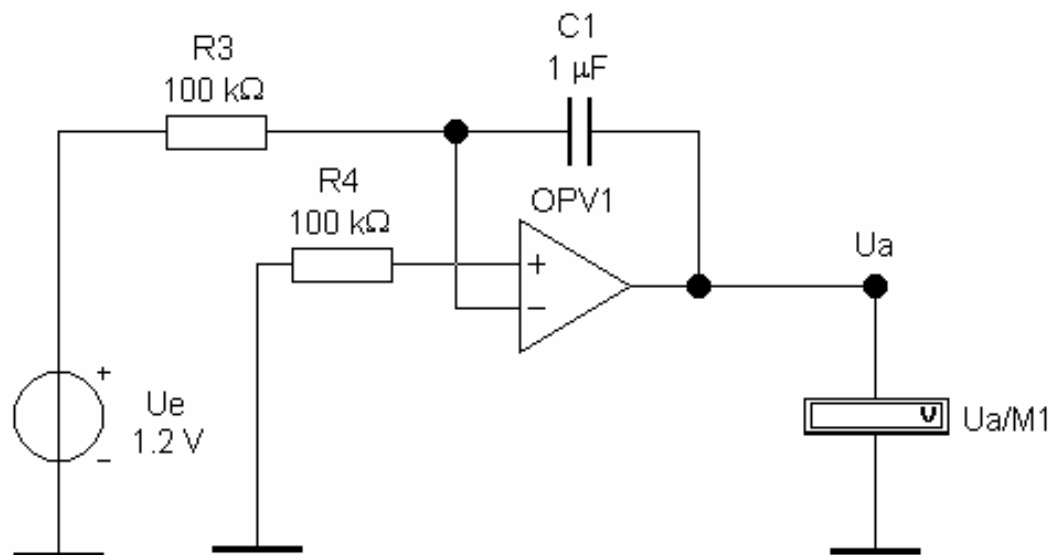
Komparator inv. mit Referenzspannung mit Hysterese



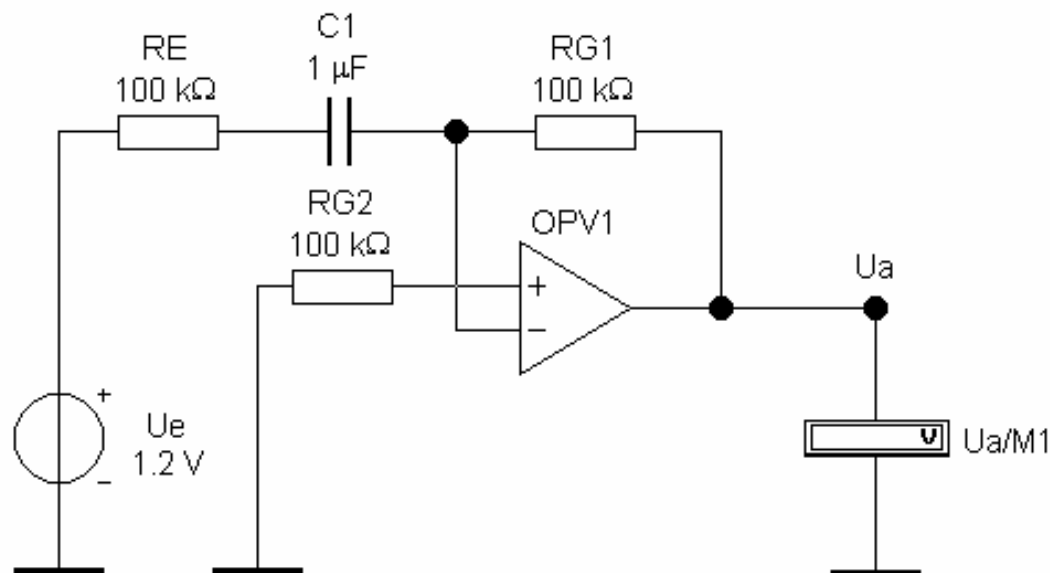
$$U_{HH} = U_{REF} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_{HL} = U_{REF} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$H = 2 \cdot U_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



$$U_{n+1} = -\frac{U_{EP}}{R_3 \cdot C_1} \cdot t + U_n$$



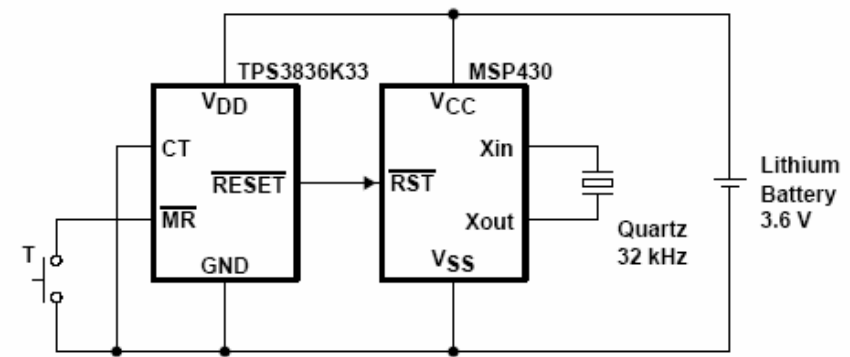
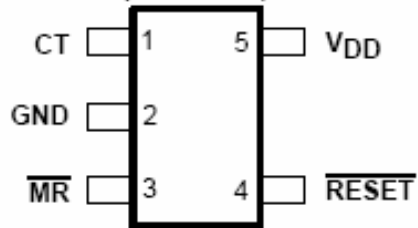
$$U_A = U_{EN} \cdot \frac{R_G}{R_E}$$

- Spannungsüberwachung
- Strommessung
- Ladezustandskontrolle
- Automatische Verstärkungssteuerung
- Digitale Verstärkungssteuerung
- Potentialtrennung
- Analoges Rechnen
- AD/DA-Wandler

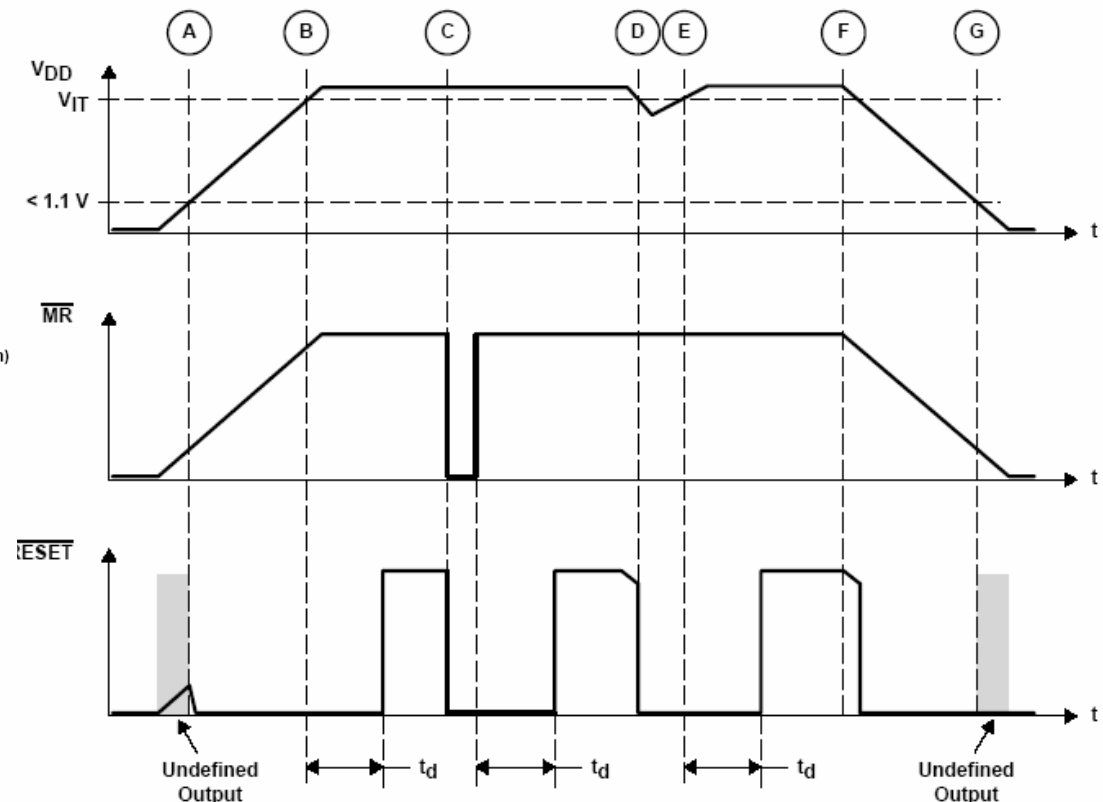
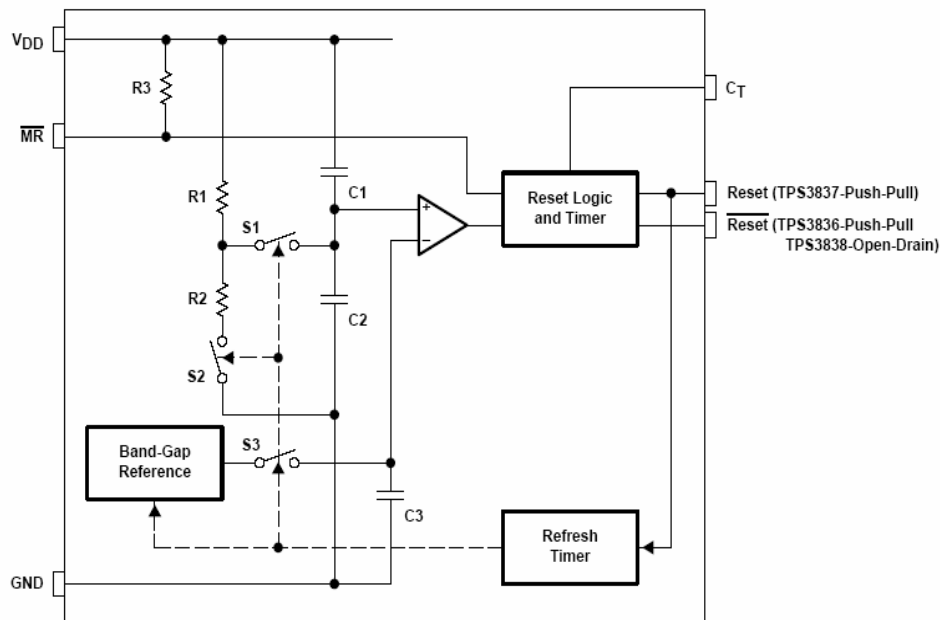
Anwendungsgebiete

Spannungsüberwachung mit dem TPS3838

TPS3836, TPS3838
DBV PACKAGE
(TOP VIEW)

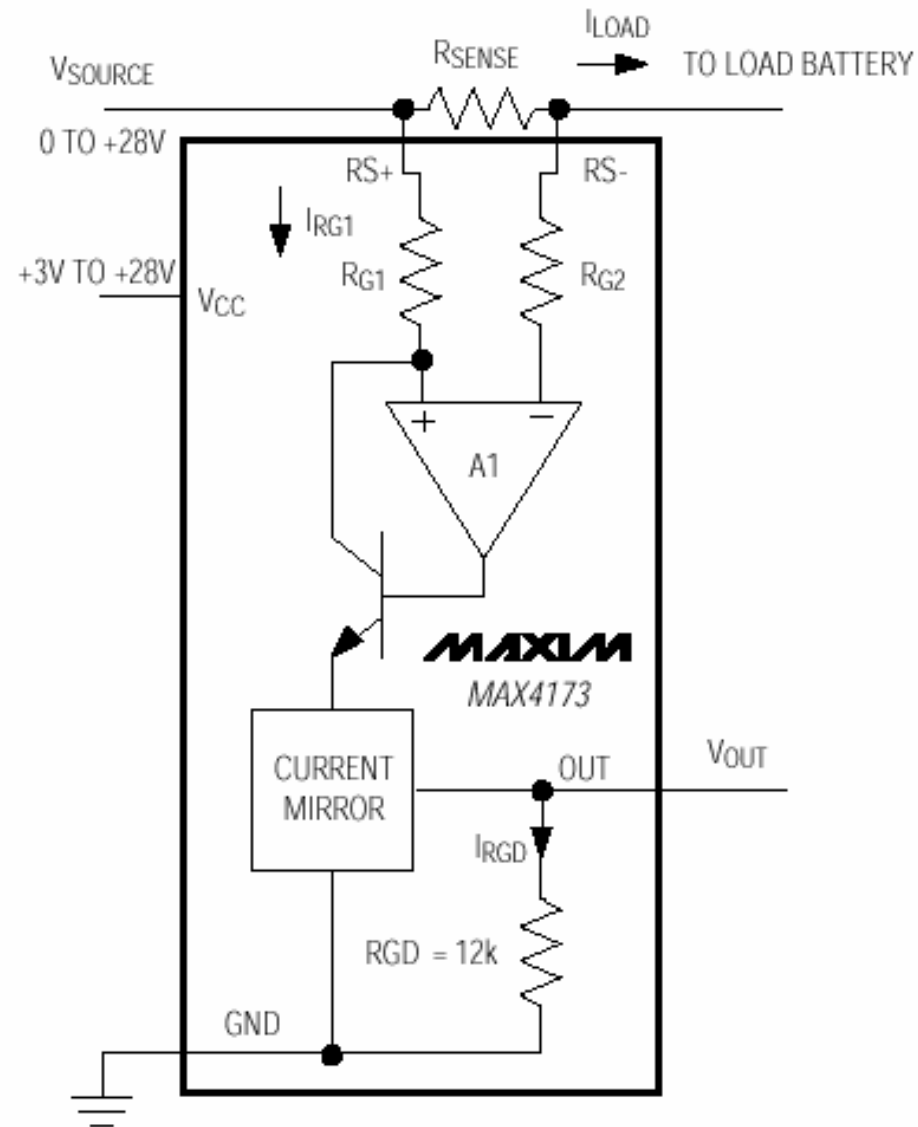


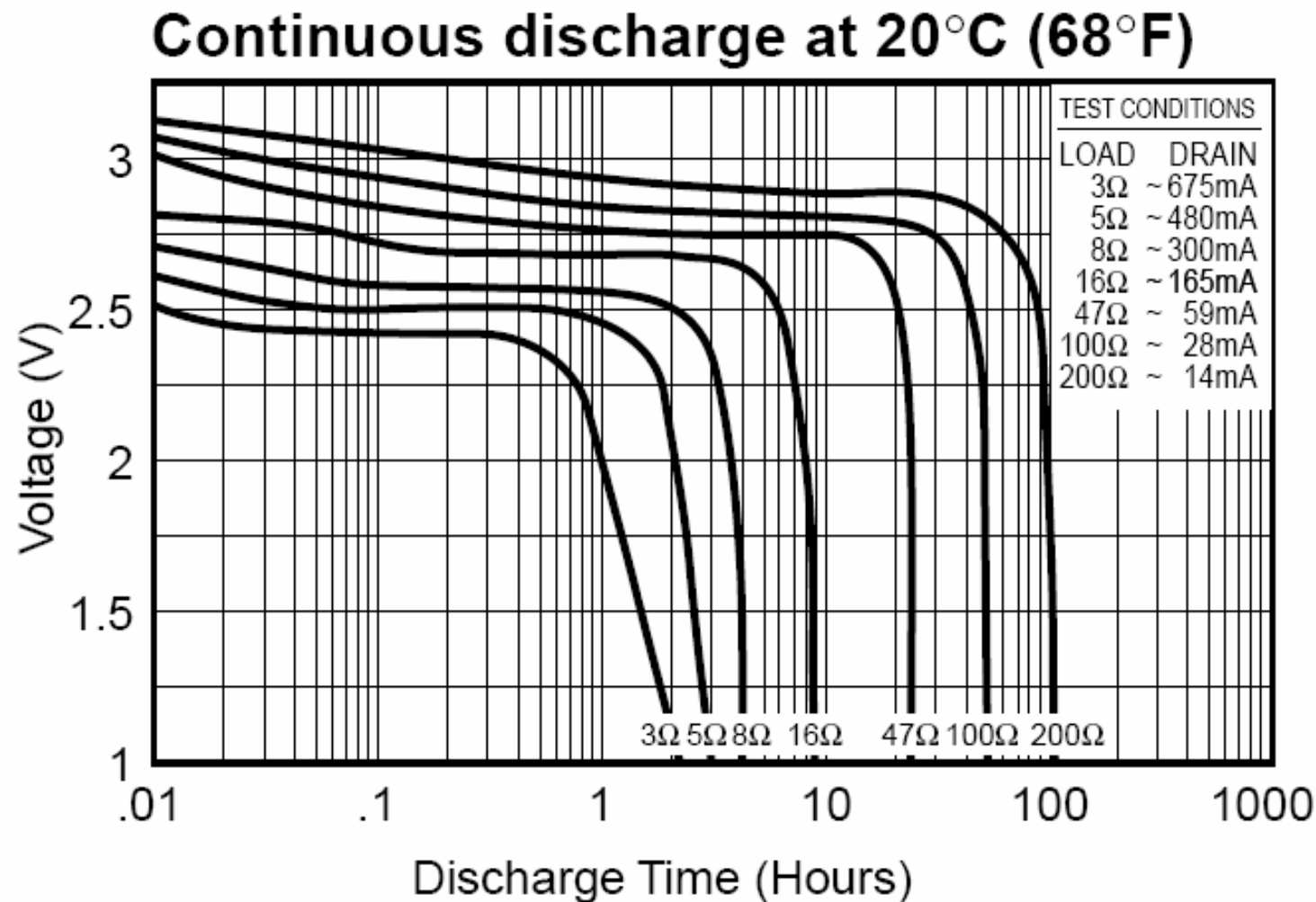
TYPICAL OPERATING CIRCUIT

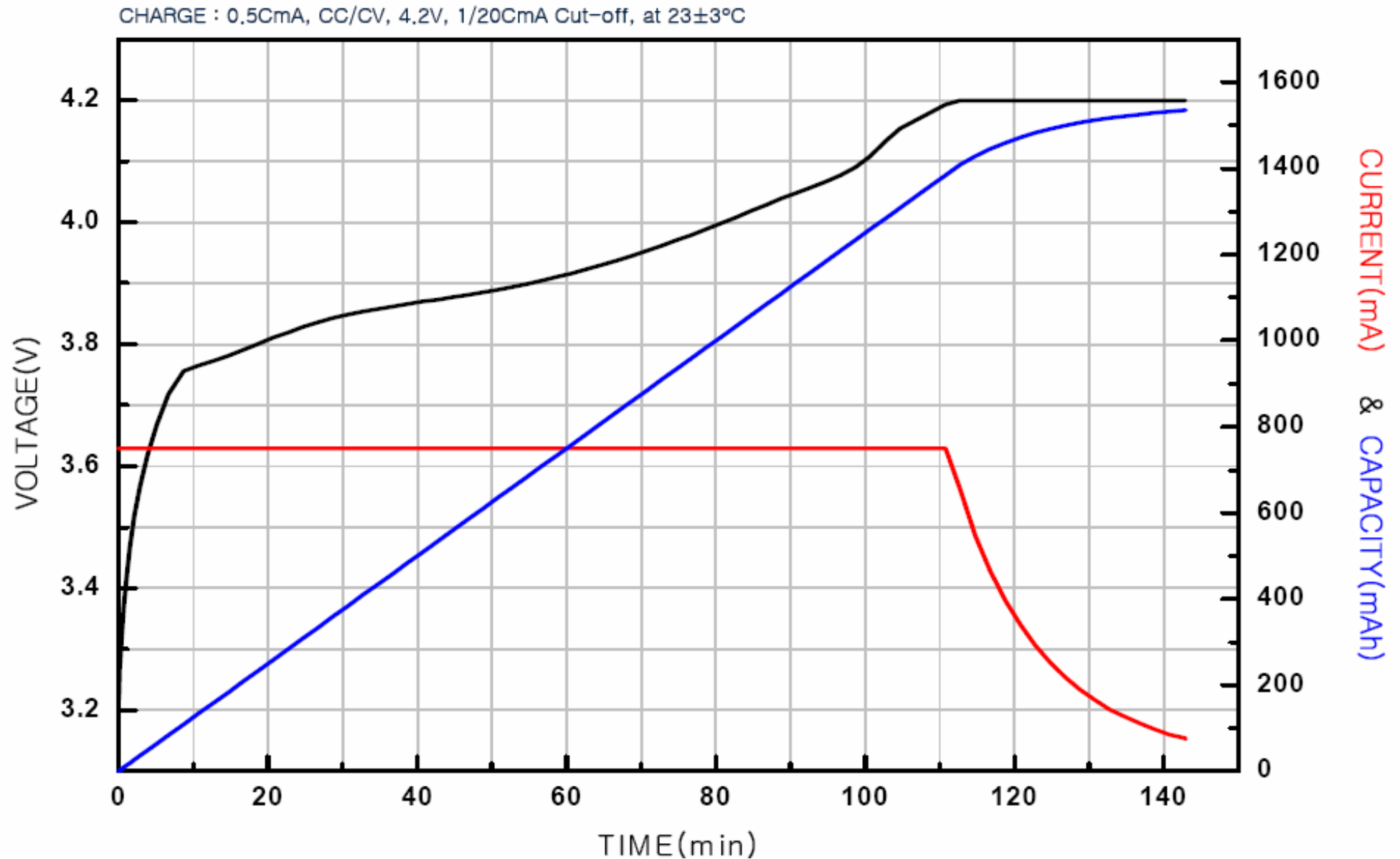


Anwendungsgebiete

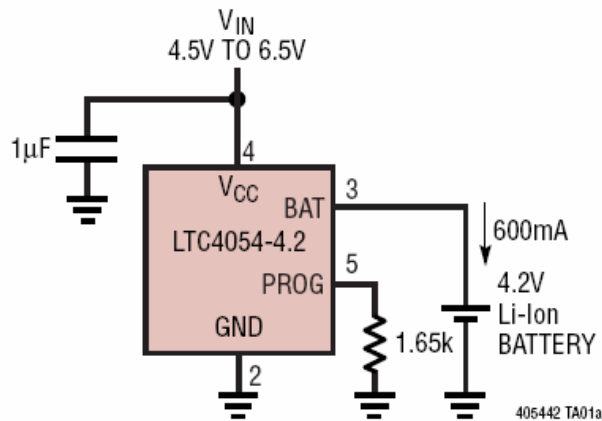
Batteriestromüberwachung mit dem MAX4173



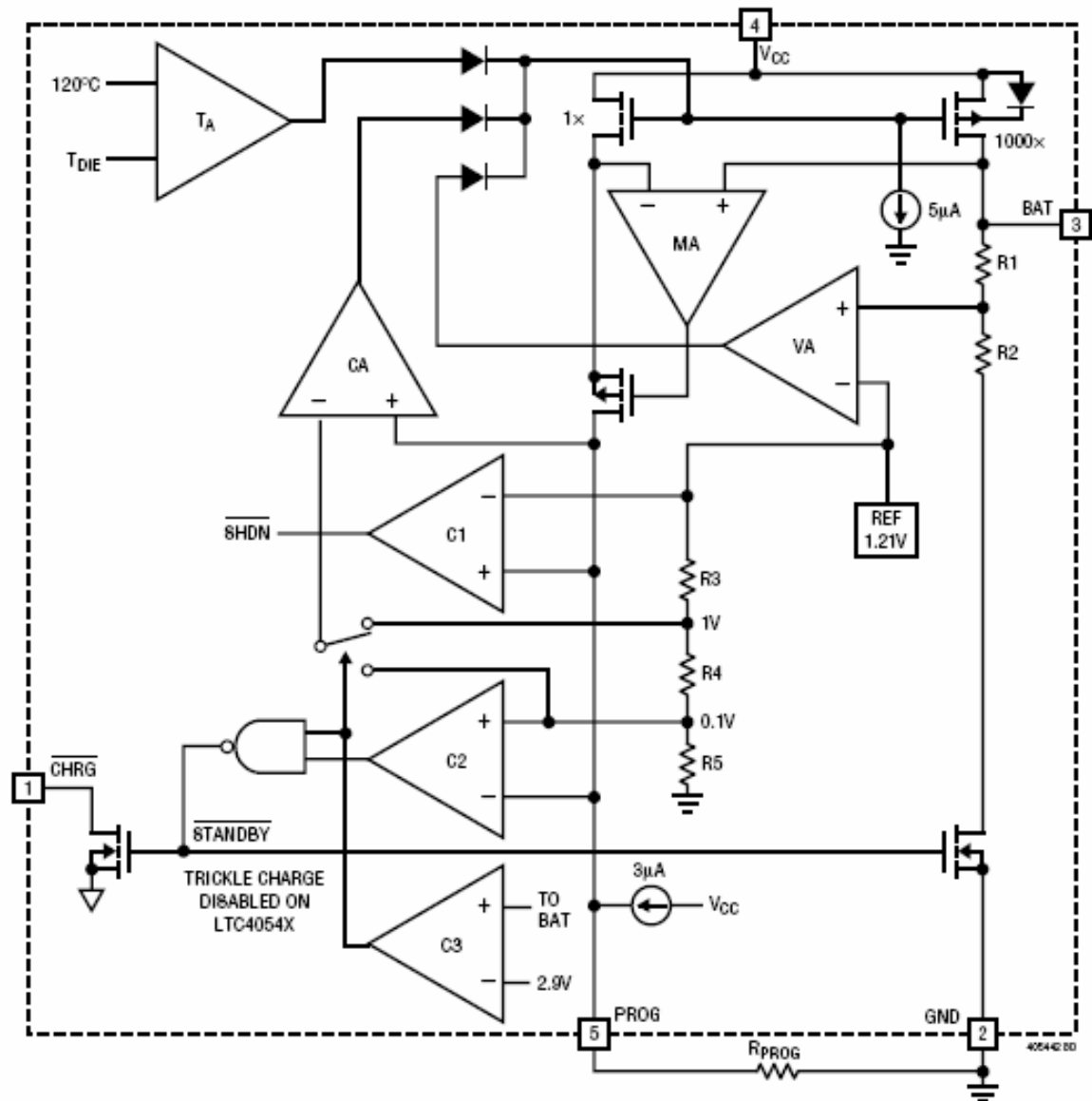
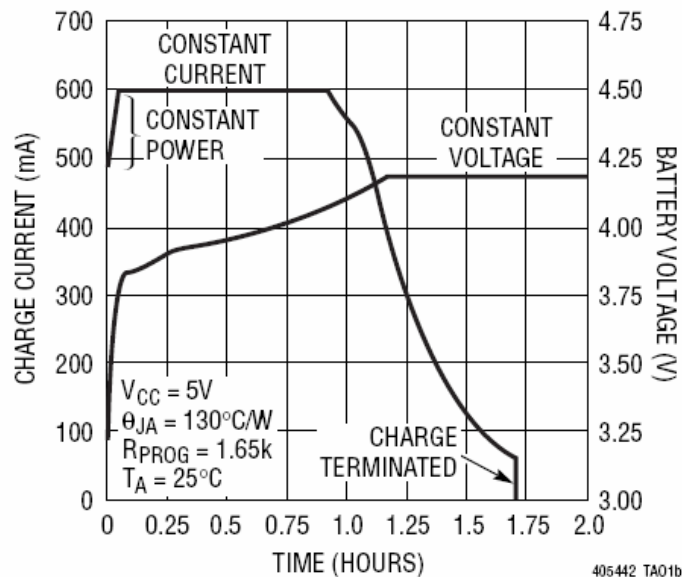




600mA Single Cell Li-Ion Charger



Complete Charge Cycle (750mAh Battery)



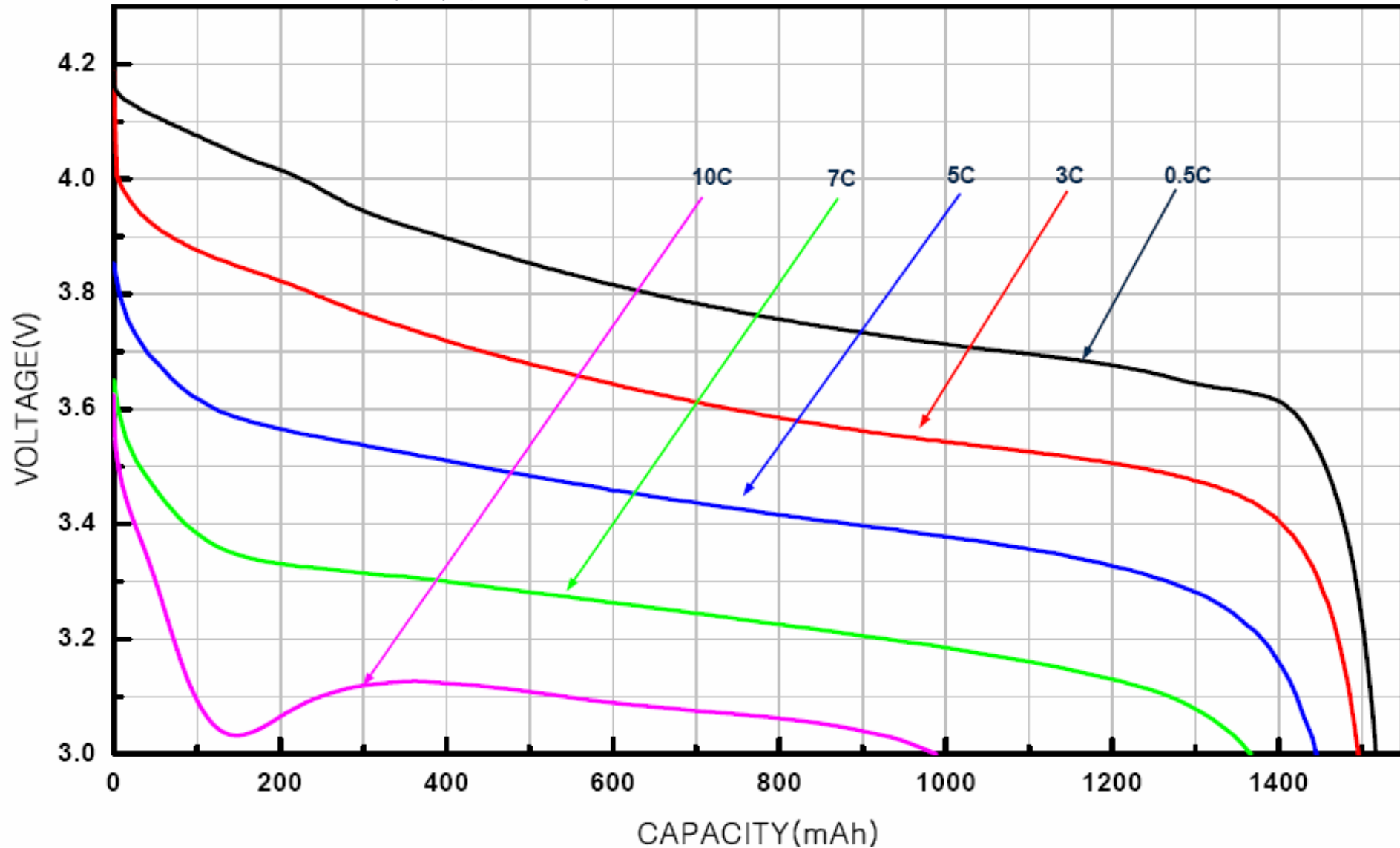
Anwendungsgebiete

LI-ION Entladecharakteristik



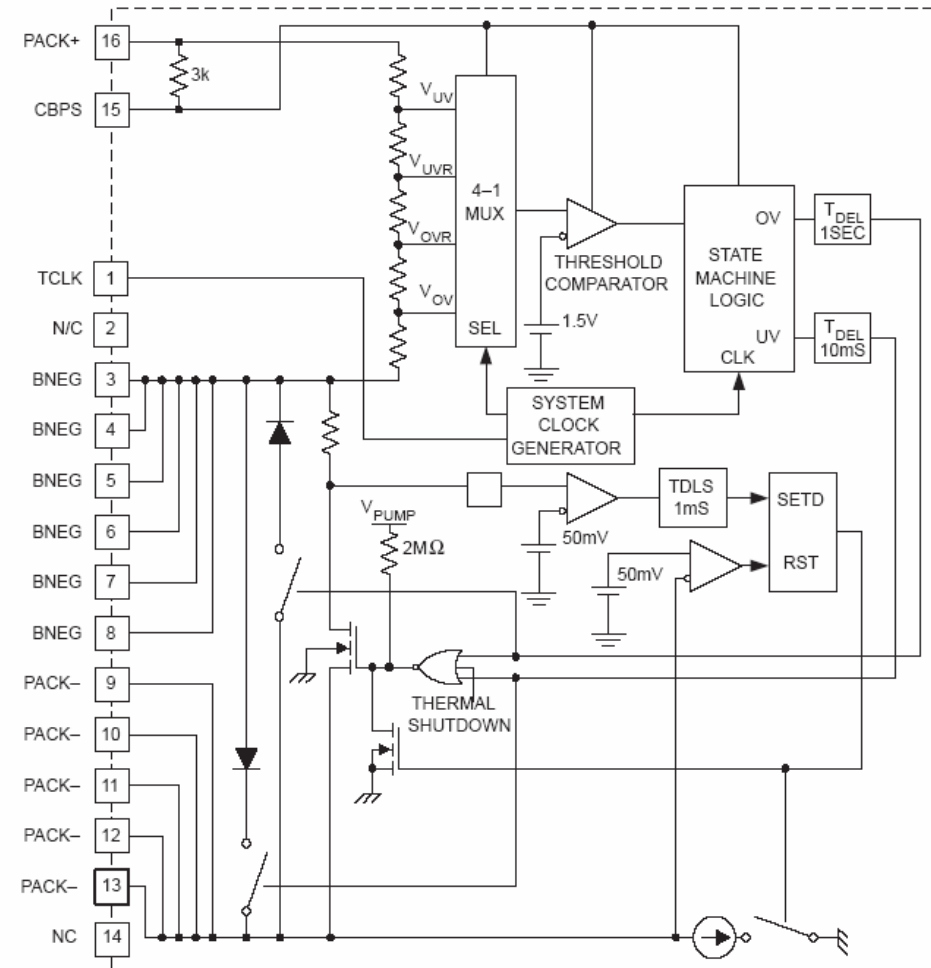
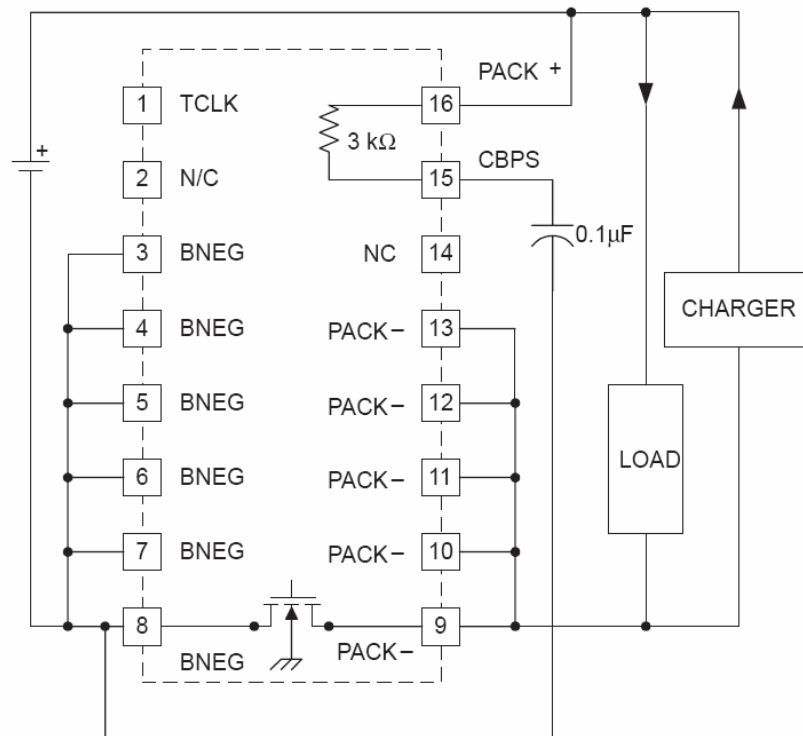
CHARGE : 0.5CmA, CC/CV, 4.2V, 1/20CmA cut-off, at 23±3°C

DISCHARGE : Each C-Rate, CC, 3.0V cut-off, at 23±3°C



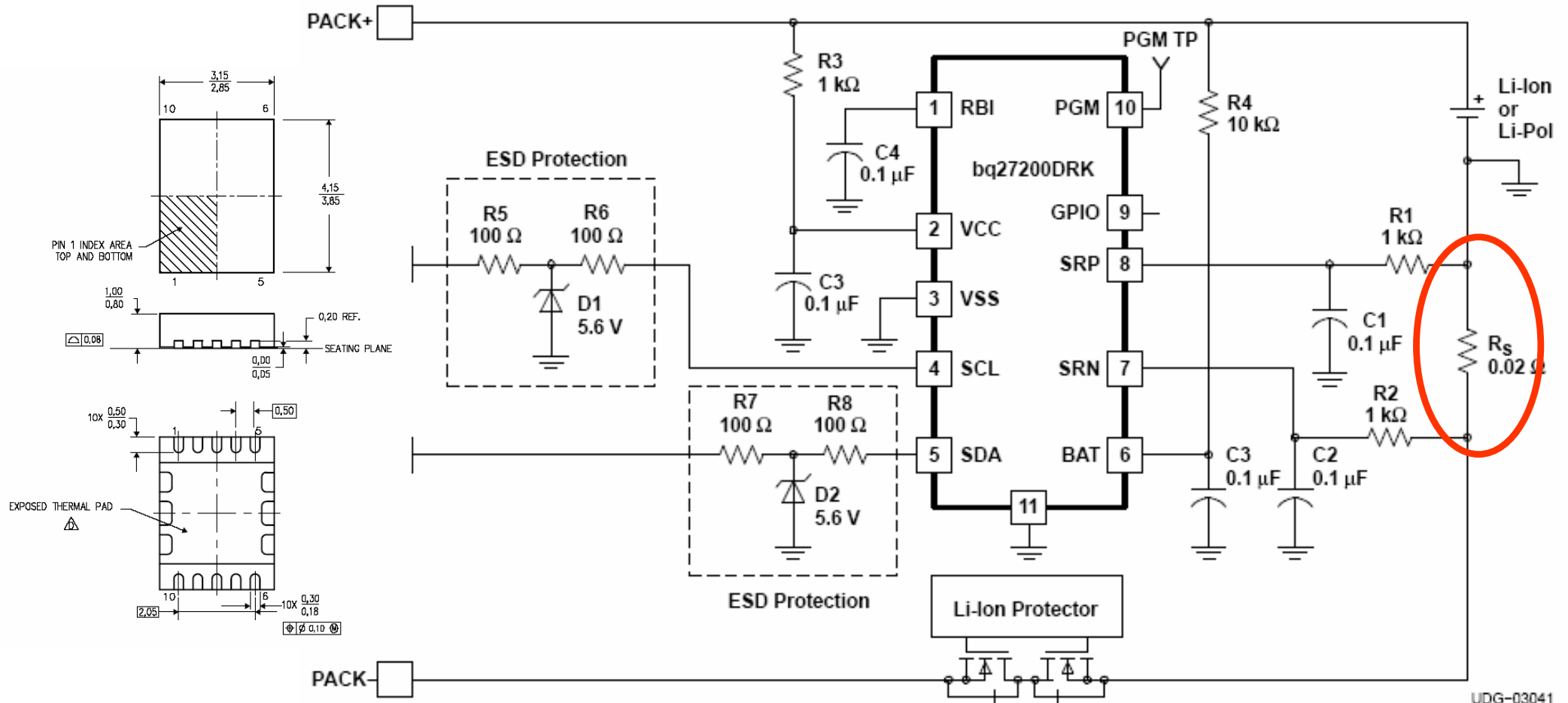
Anwendungsgebiete

LI-ION Akku Tiefentladungsschutz

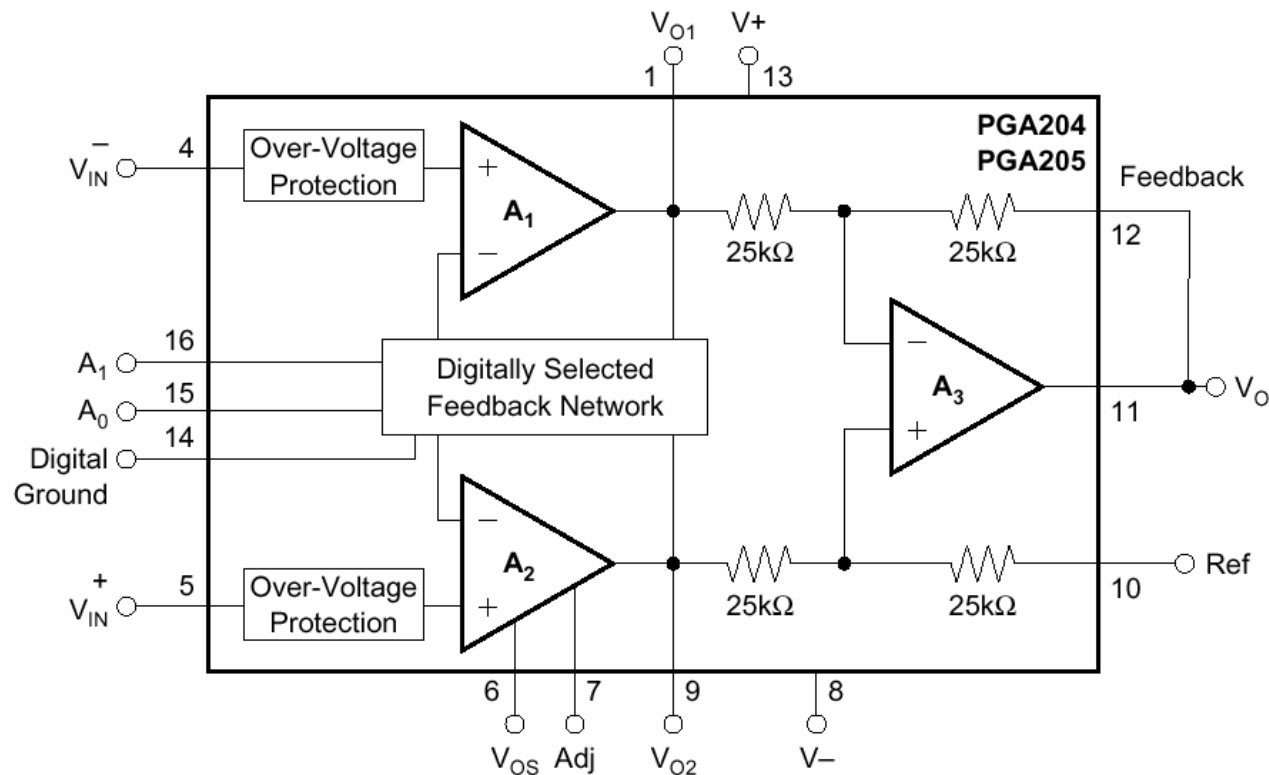


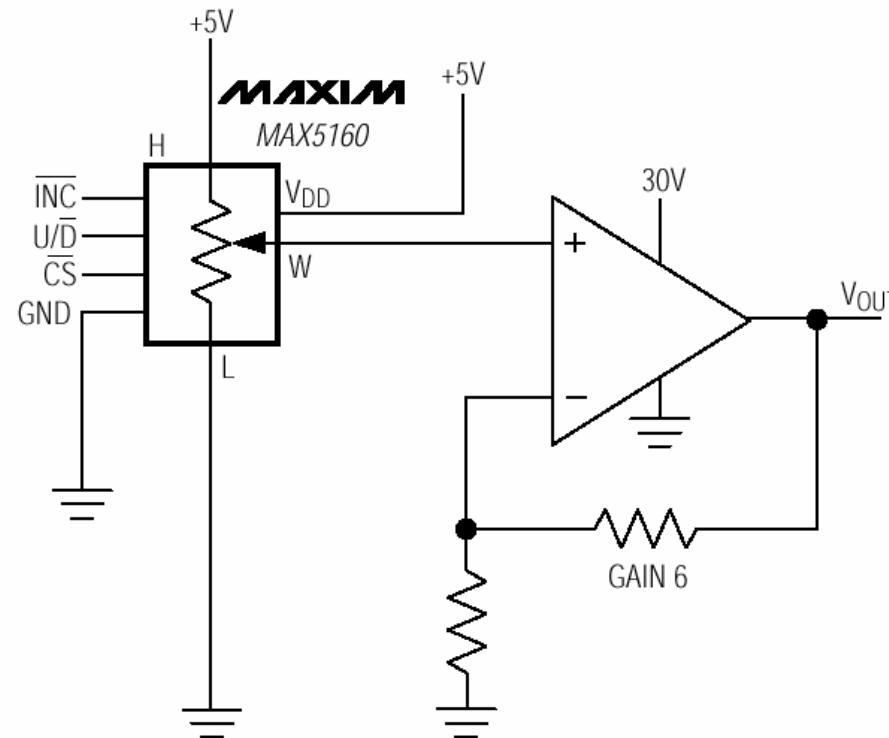
Anwendungsgebiete

LI-ION Ladezustandskontrolle BQ27200



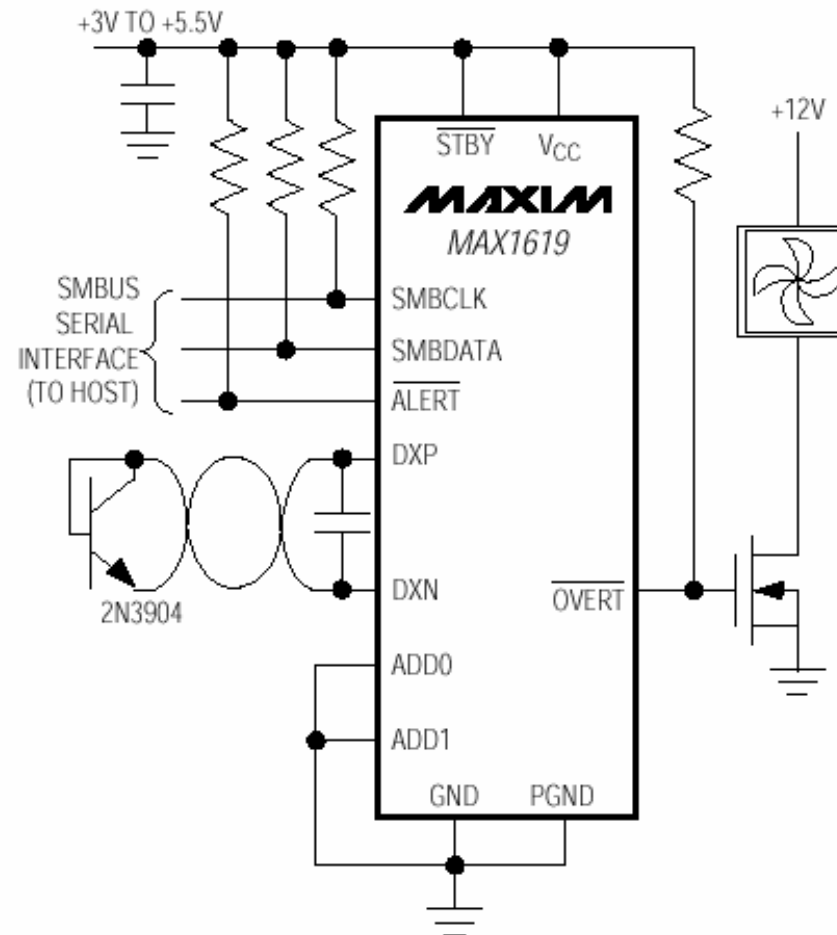
RAM Registers				
0x2C	CSOC	Compensated State-of-Charge	%	R
0x2B - 0x2A	CYCT	Cycle Count Total High - Low Byte	Cycles	R
0x29 - 0x28	CYCL	Cycle Count Since Learning Cycle High - Low Byte	Cycles	R
0x27 - 0x26	TTECP	Time-to-Empty At Constant Power High - Low Byte	Minutes	R
0x25 - 0x24	AP	Average Power High - Low Byte	29.2 $\mu\text{V}^2^{(2)}$	R
0x23 - 0x22	SAE	Available Energy High - Low Byte	29.2 $\mu\text{V}^2\text{h}^{(2)}$	R
0x21 - 0x20	MLTTE	Max Load Time-to-Empty High - Low Byte	Minutes	R
0x1F - 0x1E	MLI	Max Load Current High - Low Byte	3.57 $\mu\text{V}^{(1)}$	R
0x1D - 0x1C	STTE	Standby Time-to-Empty High - Low Byte	Minutes	R
0x1B - 0x1A	SI	Standby Current High - Low Byte	3.57 $\mu\text{V}^{(1)}$	R
0x19 - 0x18	TTF	Time-to-Full High - Low Byte	Minutes	R
0x17 - 0x16	TTE	Time-to-Empty High - Low Byte	Minutes	R
0x15 - 0x14	AI	Average Current High - Low Byte	3.57 $\mu\text{V}^{(1)}$	R
0x13 - 0x12	LMD	Last Measured Discharge High - Low Byte	3.57 $\mu\text{Vh}^{(1)}$	R
0x11 - 0x10	CACT	Temperature Compensated CACD High - Low Byte	3.57 $\mu\text{Vh}^{(1)}$	R
0x0F - 0x0E	CACD	Discharge Compensated NAC High - Low Byte	3.57 $\mu\text{Vh}^{(1)}$	R
0x0D - 0x0C	NAC	Nominal Available Capacity High - Low Byte	3.57 $\mu\text{Vh}^{(1)}$	R
0x0B	RSOC	Relative State-of-Charge	%	R
0x0A	FLAGS	Status Flags		R
0x09 - 0x08	VOLT	Reported Voltage High - Low Byte	mV	R
0x07 - 0x06	TEMP	Reported Temperature High - Low Byte	0.25 $^{\circ}\text{K}$	R
0x05 - 0x04	ARTTE	At-Rate Time-to-Empty High - Low Byte	Minutes	R
0x03 - 0x02	AR	At-Rate High - Low Byte	3.57 $\mu\text{V}^{(1)}$	R/W
0x01	MODE	Device Mode Register		R/W
0x00	CTRL	Device Control Register		R/W





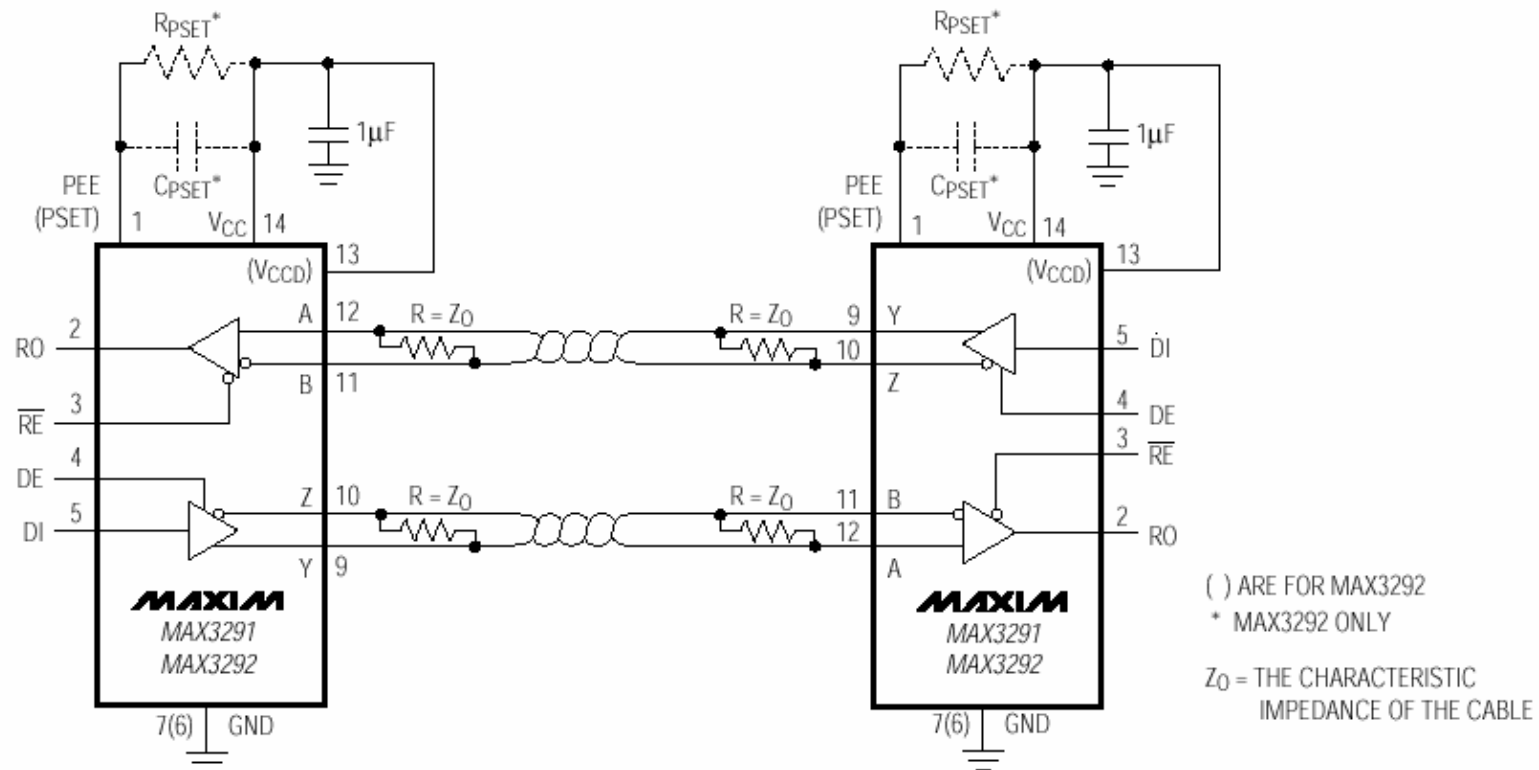
Anwendungsgebiete

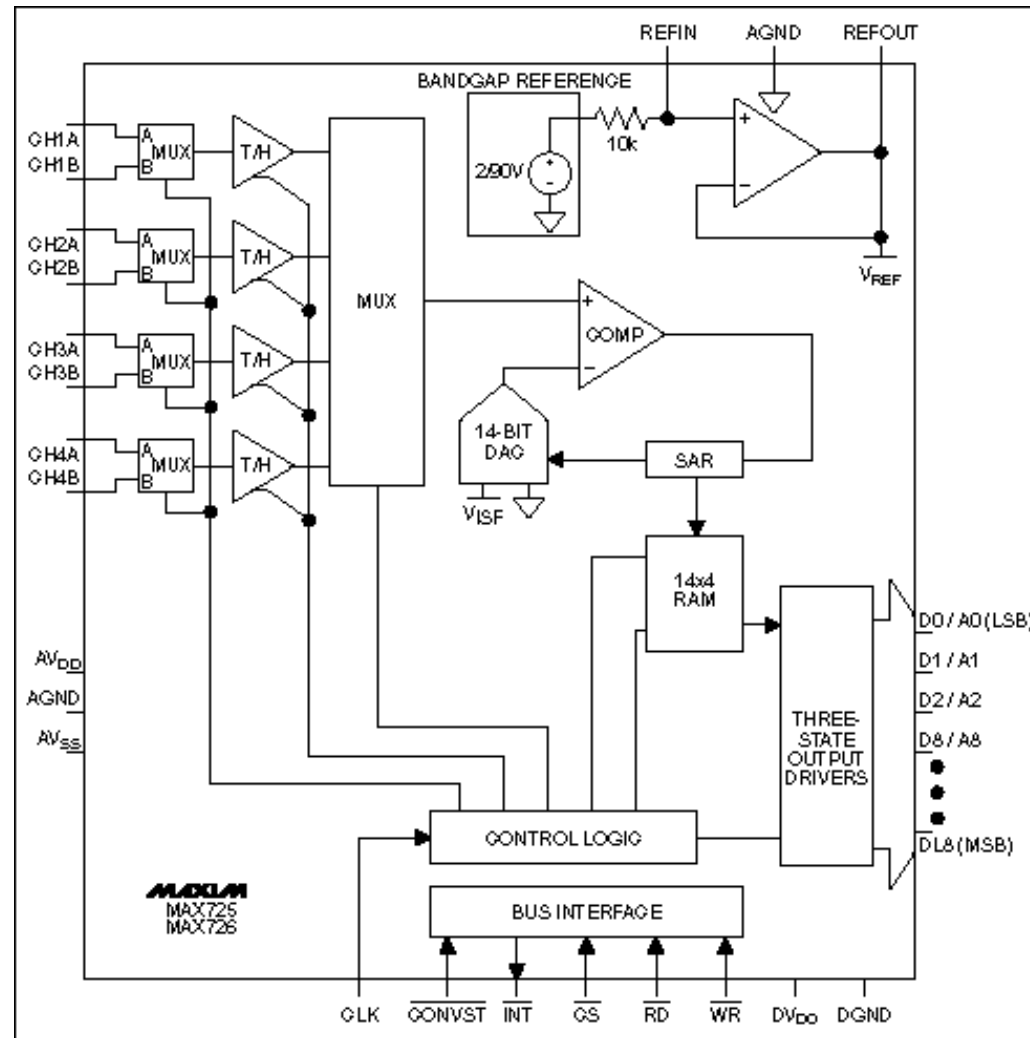
Temperaturüberwachung mit dem MAX1619



Anwendungsgebiete

RS-485 Kommunikation mit dem MAX3291





- Aufbau und Funktion eines Operationsverstärkers
- Ableitung der Verstärkung
- Grundsaltungen
 - Nichtinvertierender Gleichspannungsverstärker
 - Nichtinvertierender Wechselspannungsverstärker
 - Invertierender Addierer
 - Invertierender Differenzverstärker
 - Komparator
 - Nicht invertierend für den Nulldurchgang
 - Nicht invertierend für den Nulldurchgang und Hysterese
 - Nicht invertierend mit Referenzspannung
 - Nicht invertierend mit Referenzspannung und Hysterese
 - Integrierer