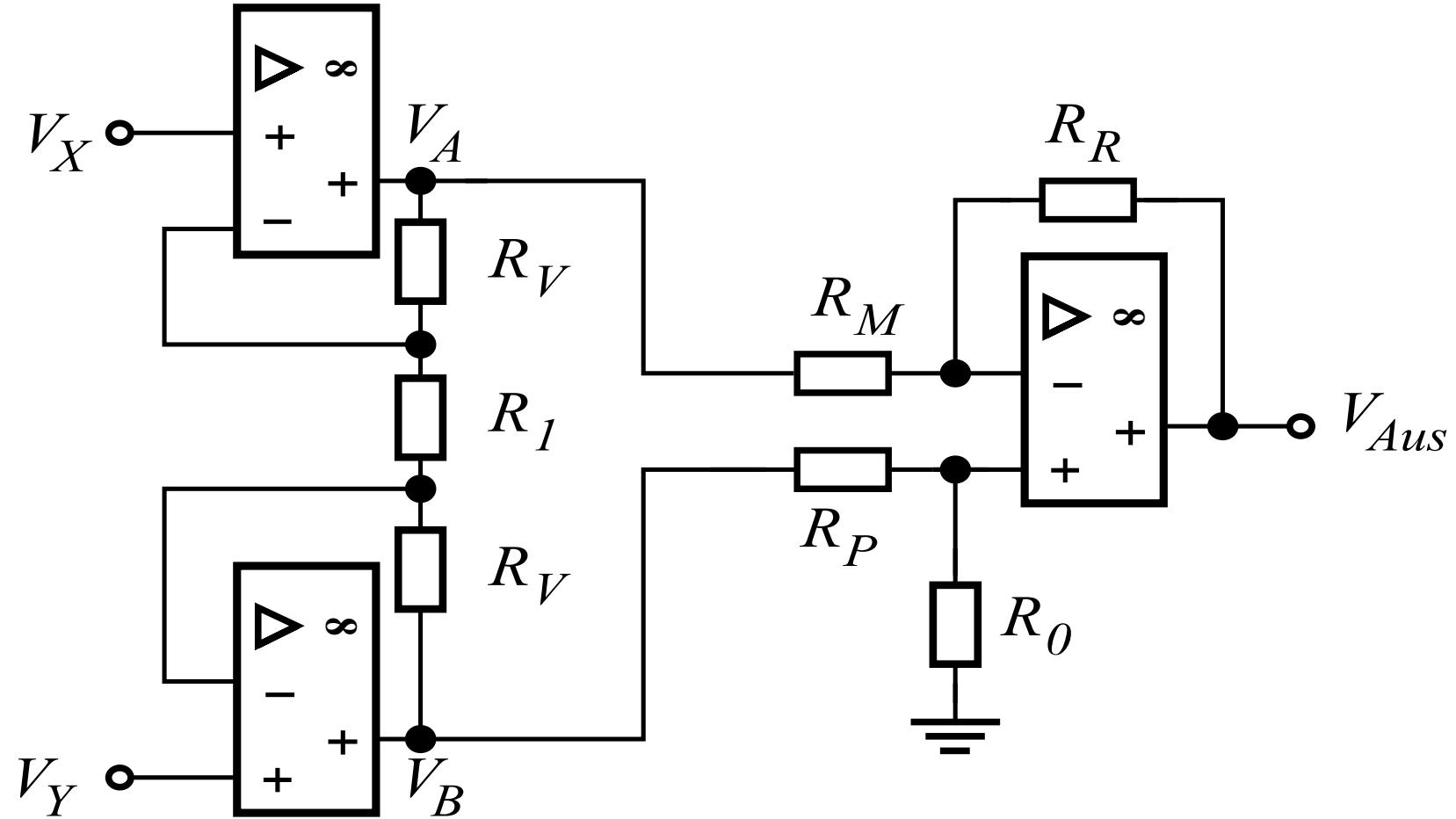
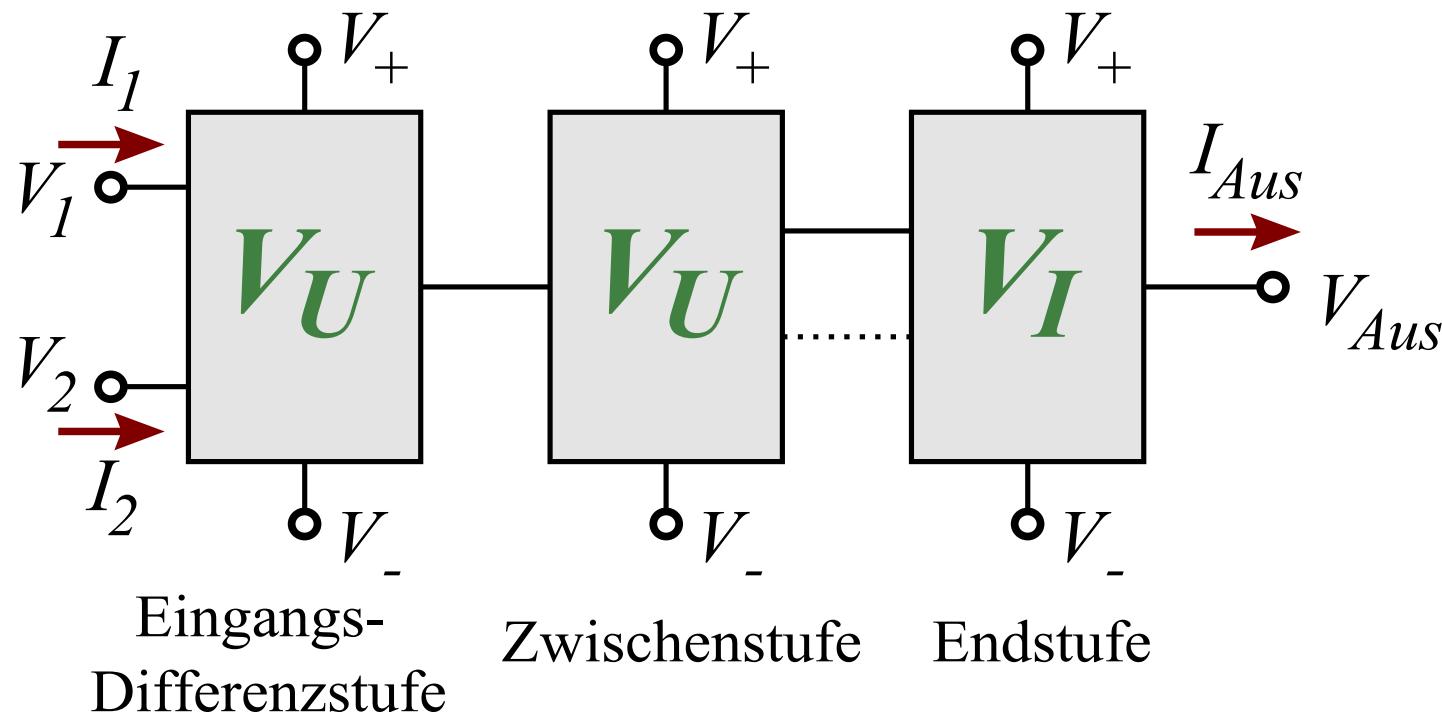




Operationsverstärker



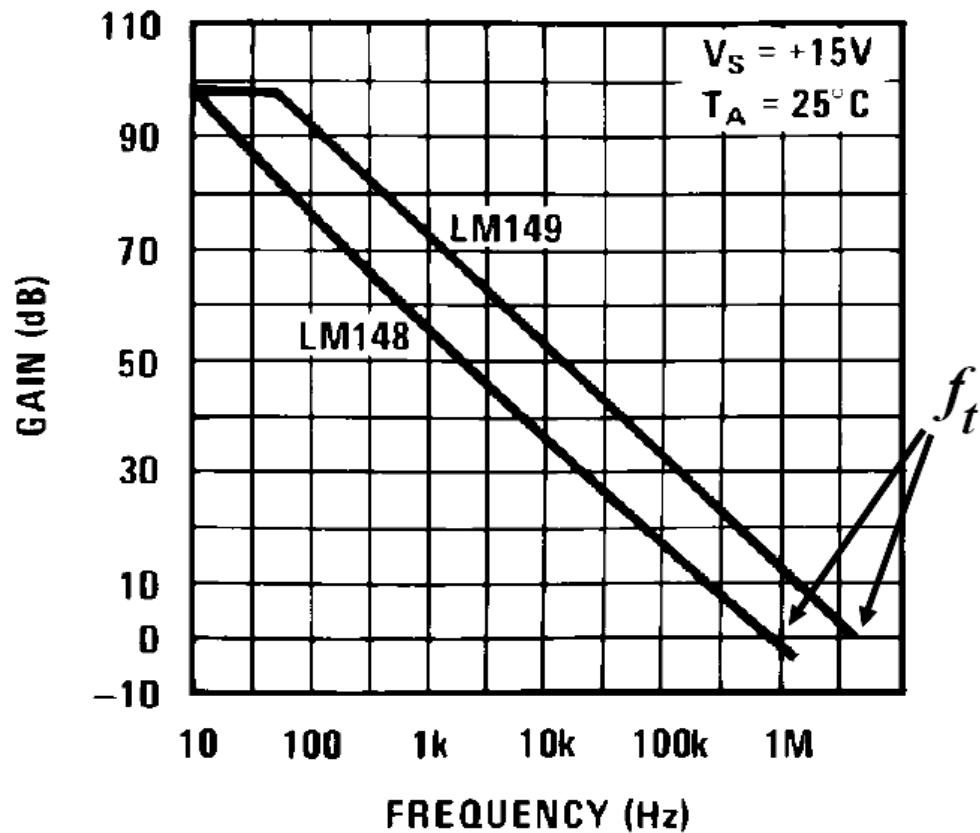
Bipolar OP Struktur



Grundsätzlicher Aufbau von Operationsverstärkern. Die ersten beiden Stufen sind spannungsverstärkend, die Endstufe ist oft ein reiner Stromverstärker.
Bei Endstufen aus Bipolar-Transistoren ist eine zweite Ansteuerungsleitung (gepunktete Linie) nötig

Frequenzgang, unbelastet

Open Loop Frequency Response

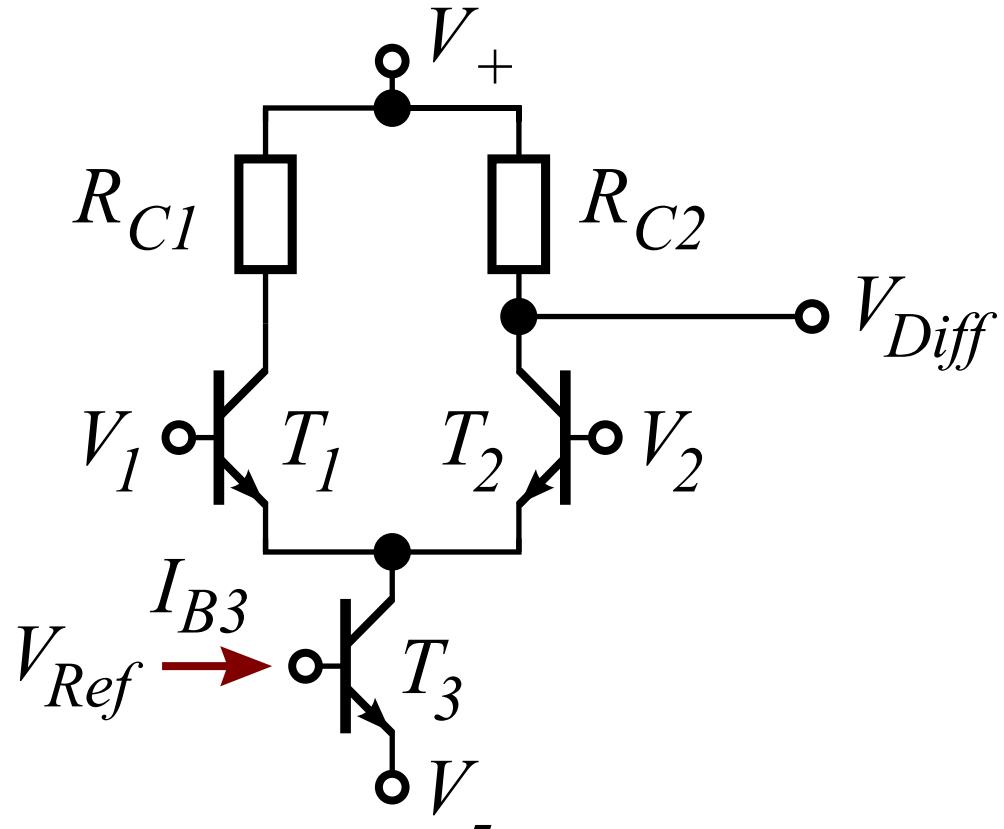


Differenzverstärkung zweier Operationsverstärker.
Die Transitfrequenz ist mit f_t bezeichnet

(Quelle: National Semiconductors)



Differenzstufe

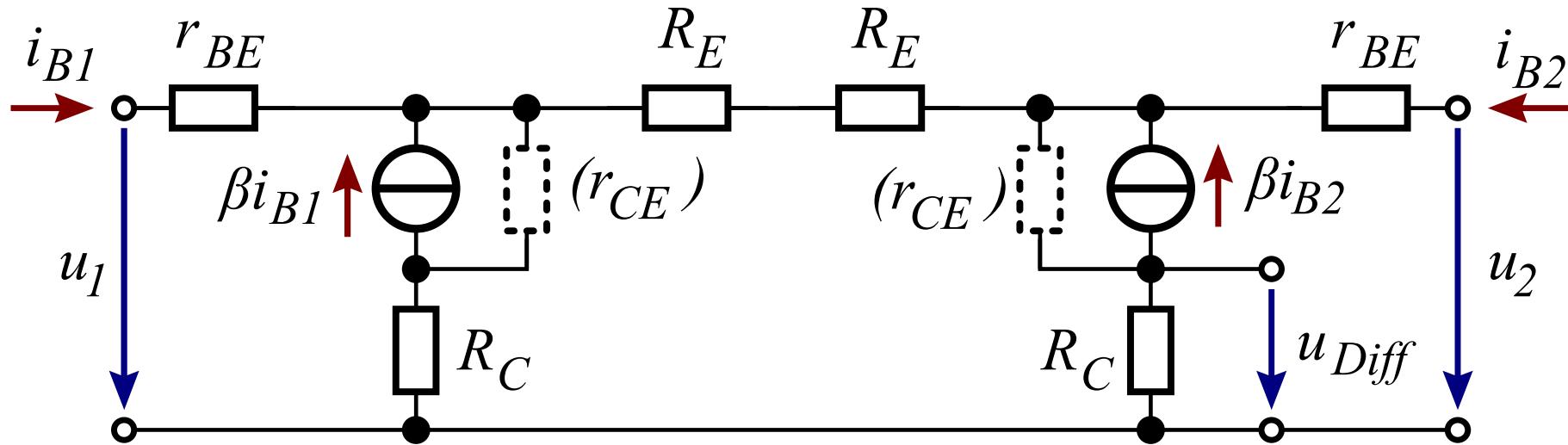


Differenzstufe mit Bipolar-Transistoren.

Sie besteht aus zwei gegengekoppelten Emitterschaltungen, die durch eine gemeinsame Stromsenke (Transistor T_3) verbunden sind

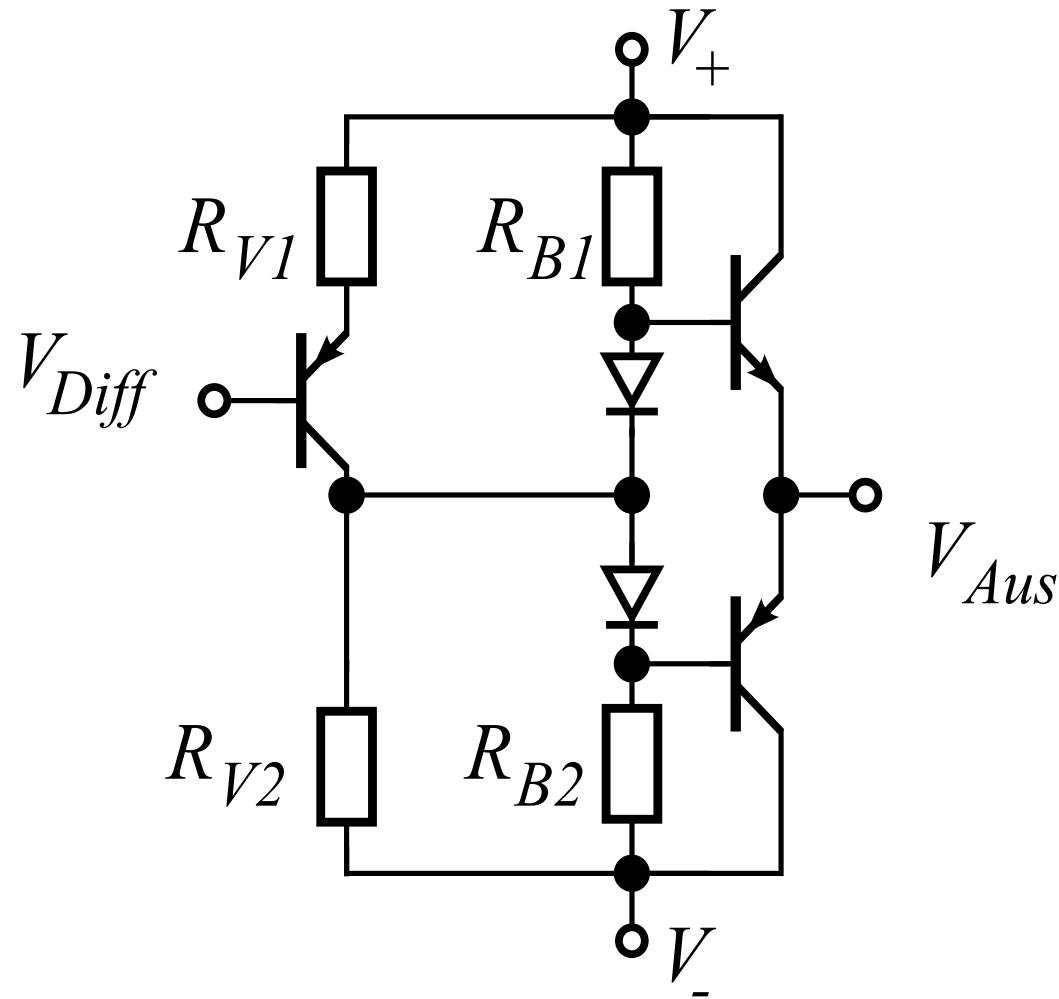


Differenzstufe, Kleinsignal



Kleinsignal-Ersatzschaltbild der in Differenzstufe. Es kommt ohne den Transistor T_3 aus, wenn man diesen als ideale Stromsenke betrachtet. i_{B1} und i_{B2} sind Basisströme der Transistoren T_1 und T_2

Endstufe

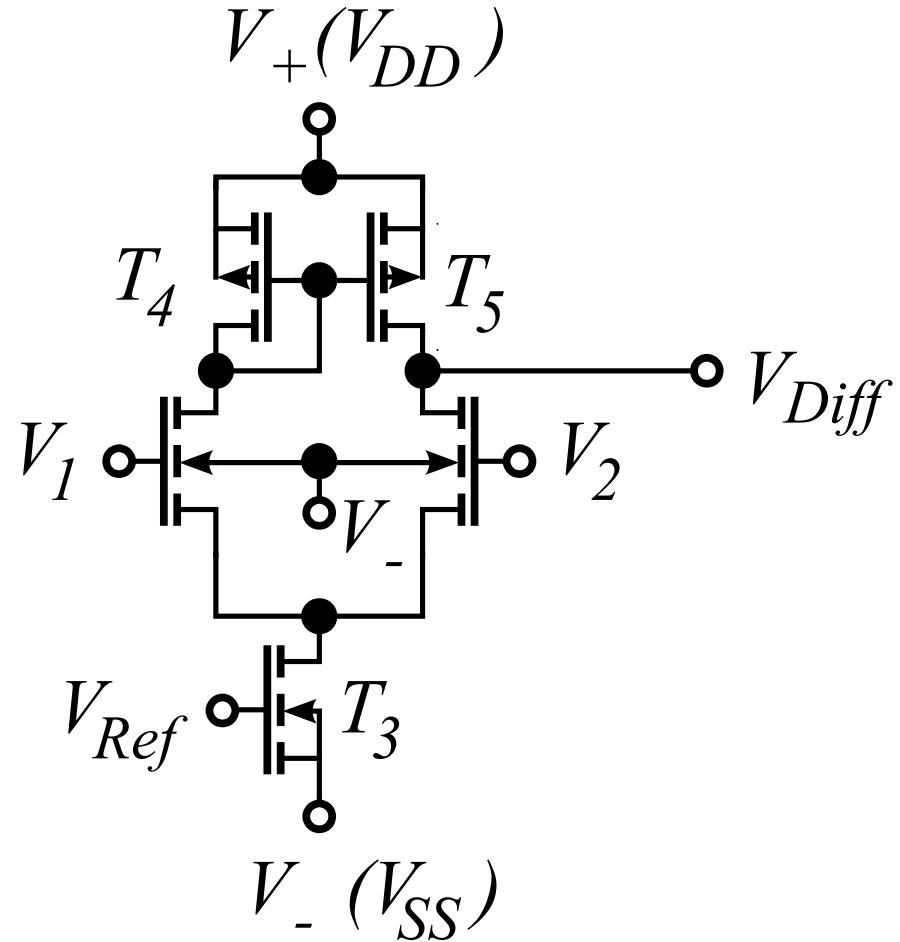


Bipolare Endstufe, aus drei Teilen bestehend:

1. Pegel-Verschiebung und Verstärkung,
2. Signalteilung für den NPN- und den PNP-Transistor der Endstufe,
3. Stromverstärkung in einer Gegentakt-Kollektorschaltung



MOS Differenzstufe

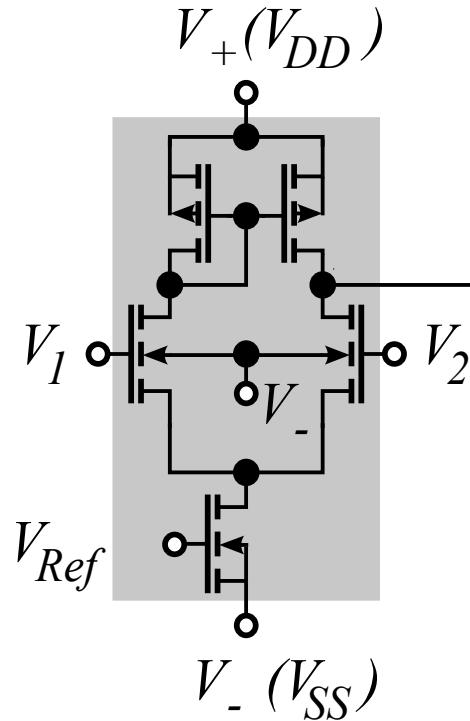


In integrierten Schaltungen weit verbreitete CMOS-Differenzstufe.

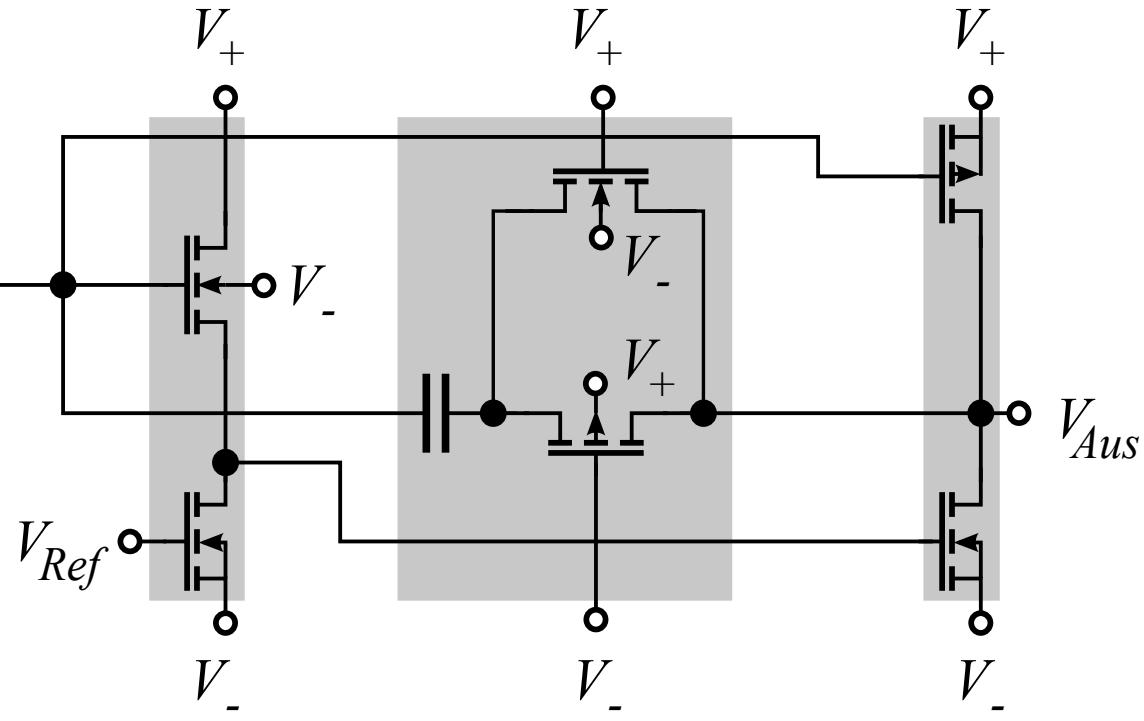
Die Versorgungsanschlüsse werden oft mit V_{DD} wie Drain-Drain und V_{SS} wie Source-Source bezeichnet.



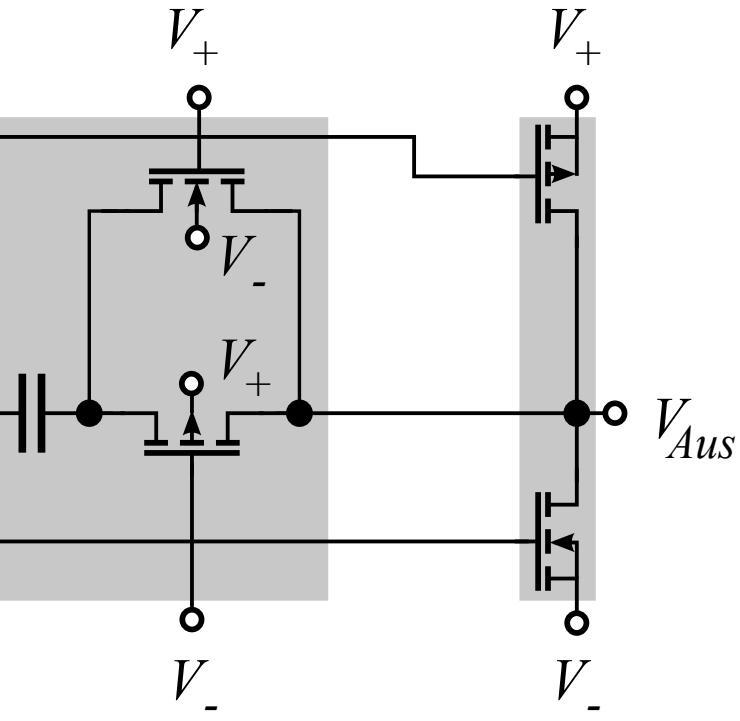
MOS OP Struktur



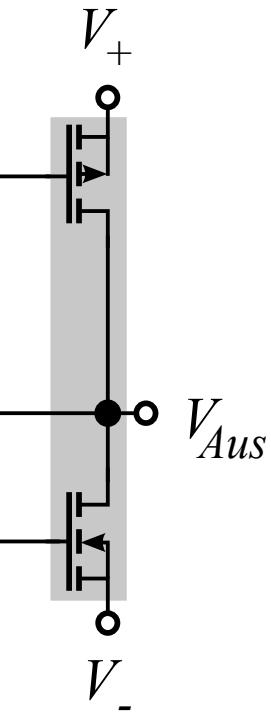
Differenzstufe



Pegel-Trennung



HF Dämpfung

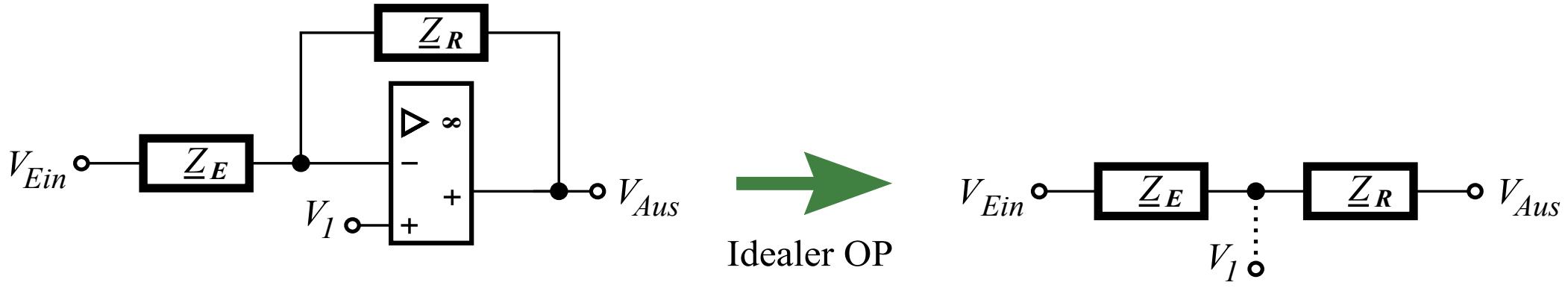


Endstufe

Beispiel eines dreistufigen CMOS-Operationsverstärkers mit zusätzlicher HF-Dämpfung gegen unerwünschtes Schwingen

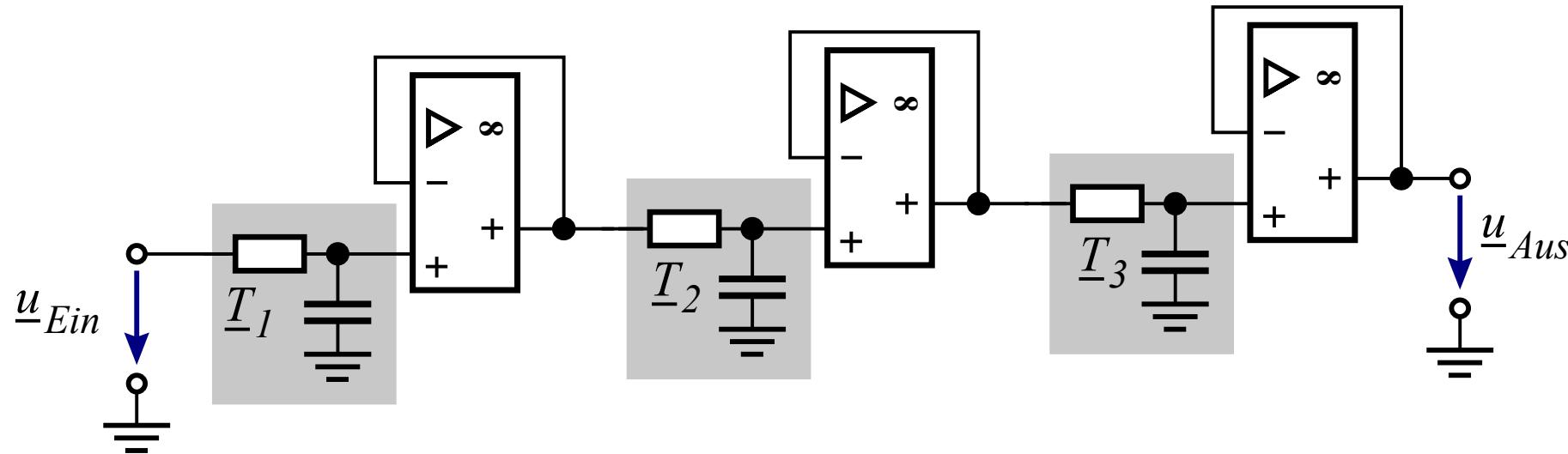


Berechnung idealer OP Schaltungen



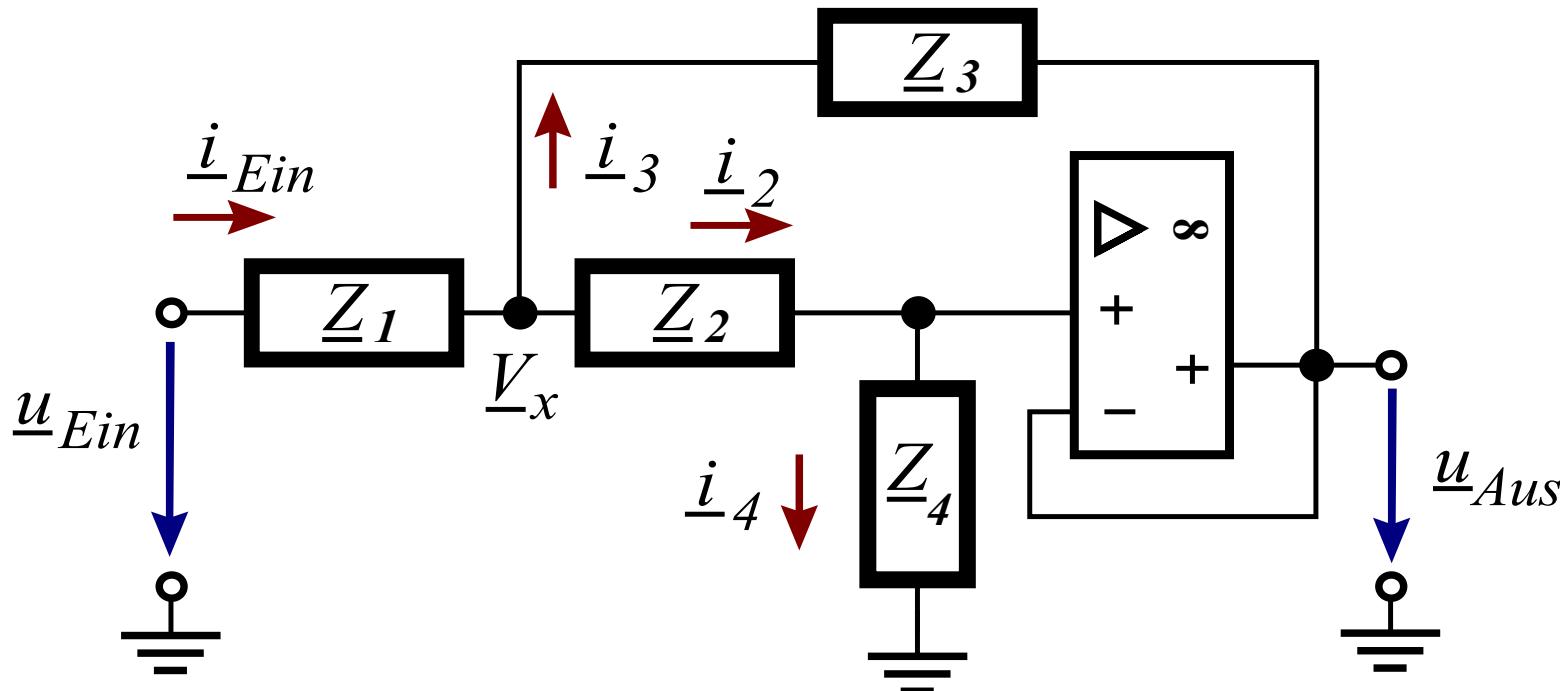
Ersatzschaltung zur Berechnung negativ rückgekoppelter Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern. Die gepunktete Linie deutet an, dass das Potenzial fest liegt, ohne dass eine leitende Verbindung zum nicht invertierenden Eingang besteht

OP als Trennverstärker



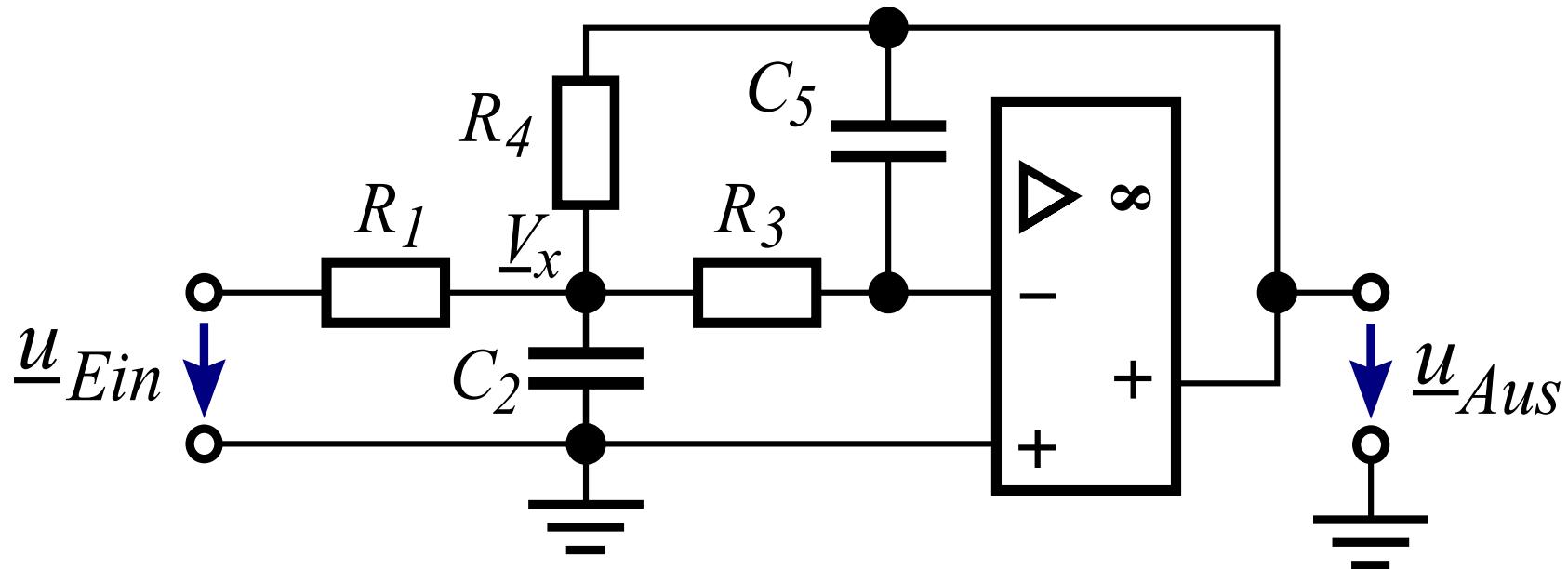
Dreistufiger Tiefpass mit Stromtrennung durch Operationsverstärker.

Sallen-Key-Filter



Aktive Filterschaltung mit einer Rückkopplung in den Eingangszweig hinein

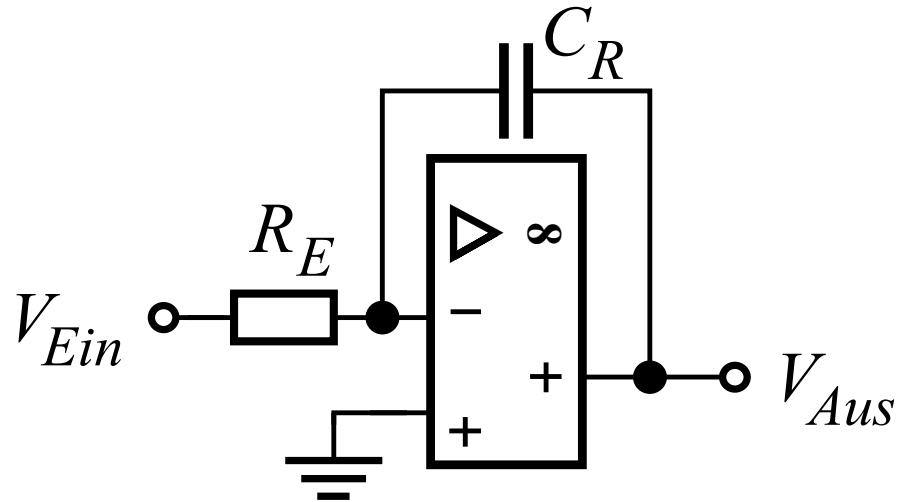
Mehrfach-Rückkopplung



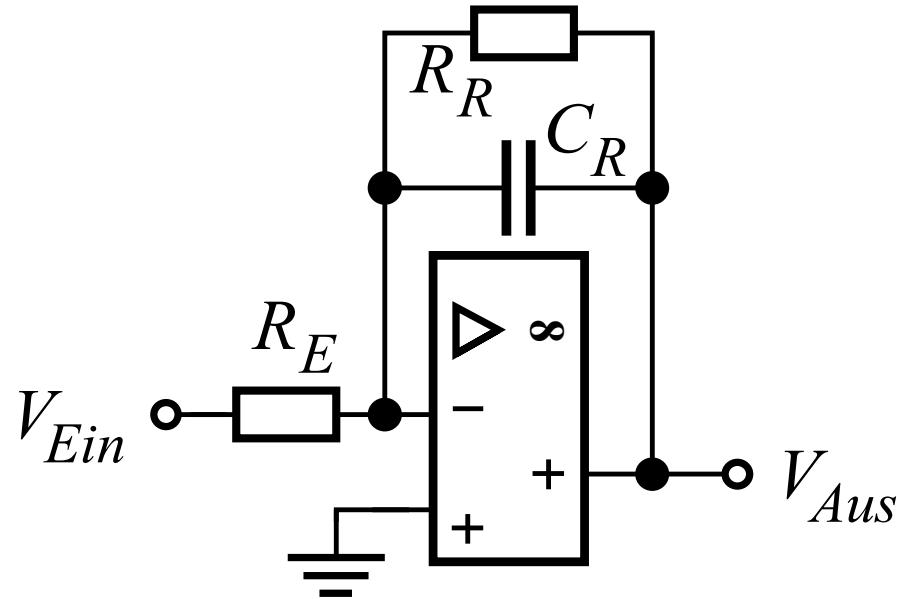
Aktive
Filterschaltung
mit doppelter
Rückkopplung in
den Eingangszweig
hinein;
hier ein Tiefpass



Tiefpass ohne DC Divergenz



DC Katastrophen-Tiefpass

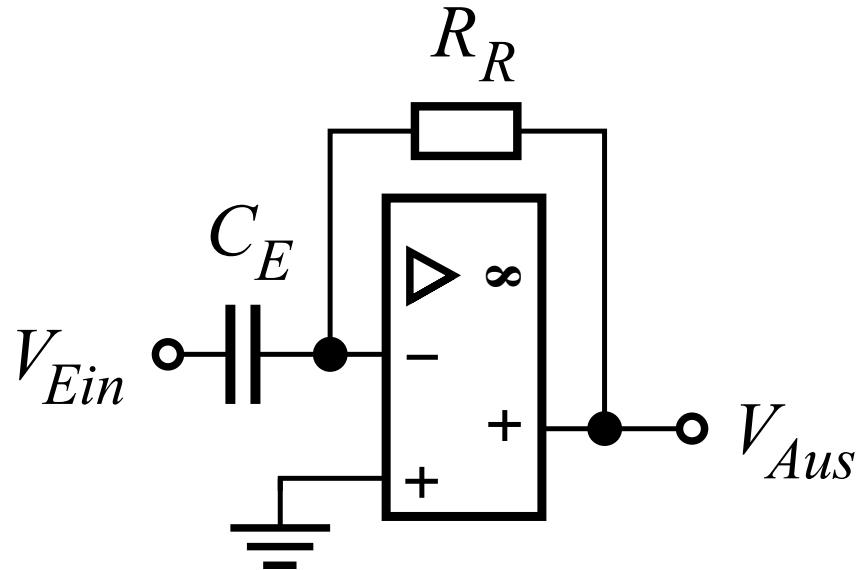


verbesserter Tiefpass

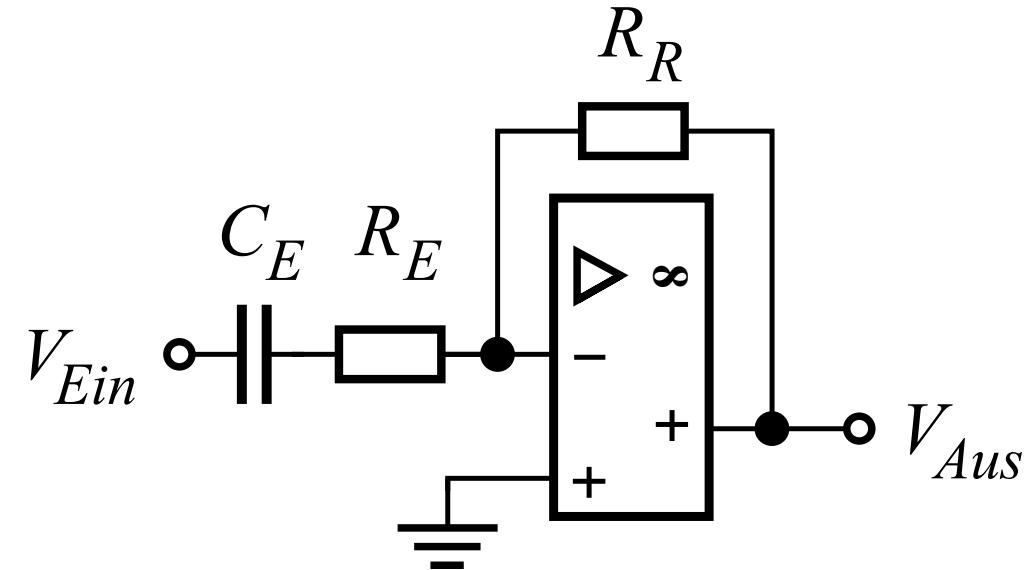
Auf der linken Seite ist der einfachst mögliche aktive Tiefpass gezeigt. Dessen Übertragungsfunktion divergiert jedoch bei kleinen Frequenzen.



Tiefpass ohne HF Divergenz



HF Katastrophen-Hochpass

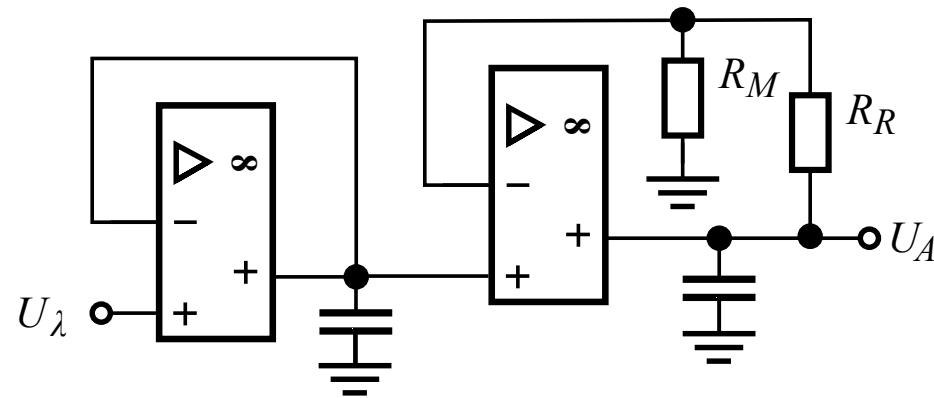
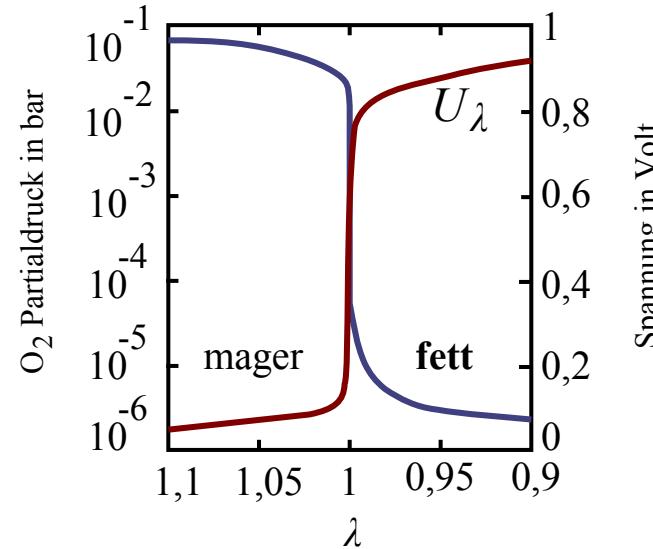


verbesserter Hochpass

Auf der linken Seite ist der einfachst mögliche aktive Hochpass gezeigt. Dessen Übertragungsfunktion divergiert jedoch bei großen Frequenzen. Daher wird der Hochpass rechts verwandt



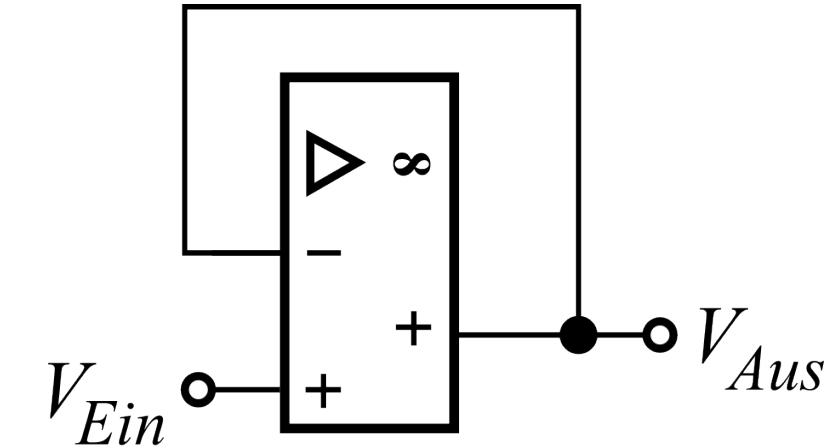
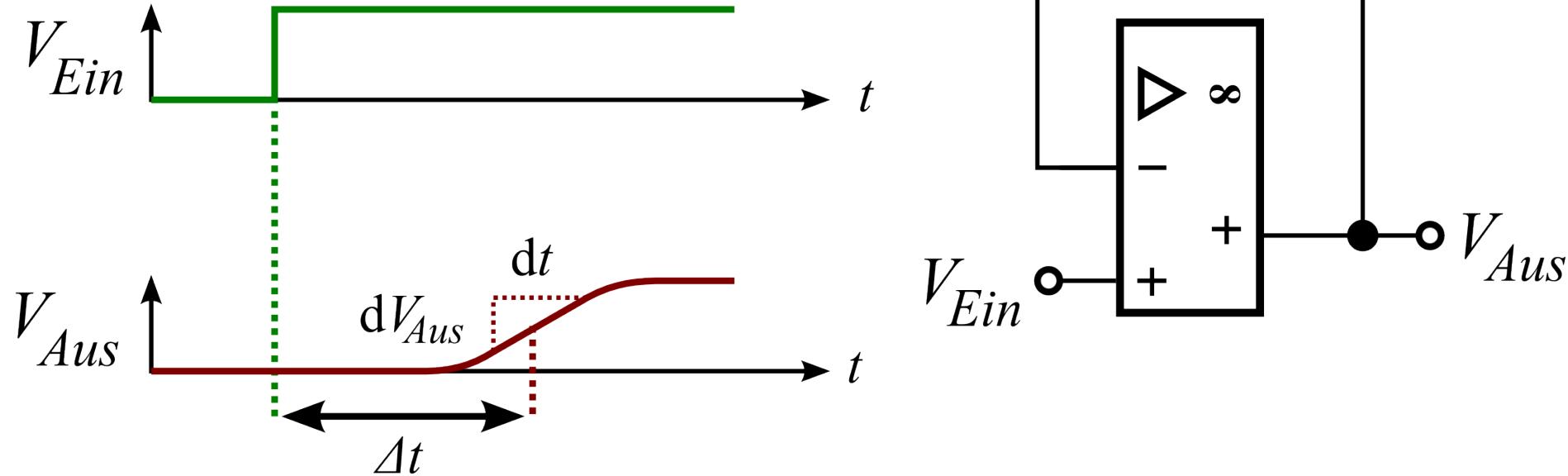
Lambda-Sonde



Oben:
Eine Lambda-Sonde
links und ihre Kennlinie
rechts. Durch die Löcher
dringen Abgase
ein und werden mit der
Außenluft verglichen
(Foto:Bosch)

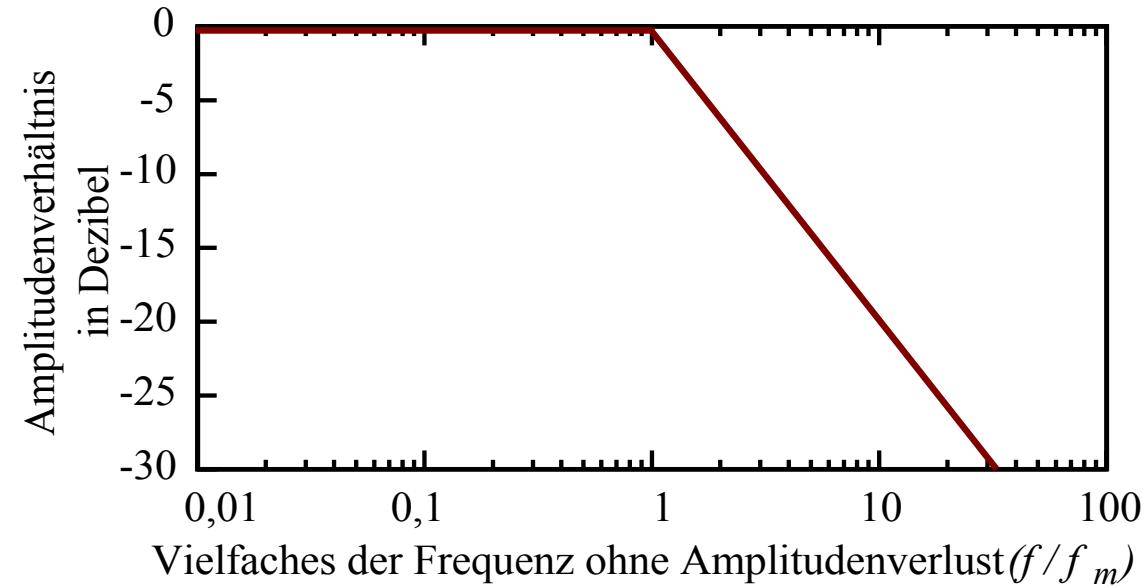
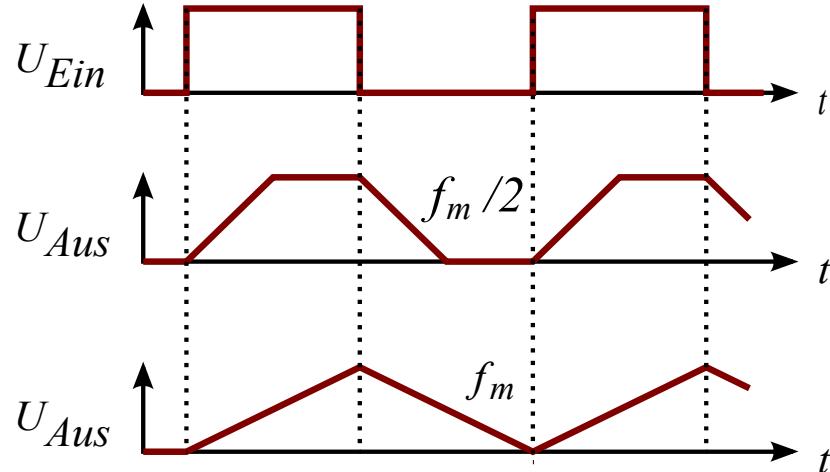
Unten:
Anbindung an die
Fahrzeugelektronik
durch Impedanzwandler-
und Verstärkerstufe

Verzögerungszeit und Slew Rate



Anschauliche Bedeutung der Verzögerungszeit Δt . Unter der Verzögerungszeit wird die Zeit bis zum Erreichen der halben Sollspannung am Ausgang verstanden.
Im Gegensatz dazu bezeichnet die Slew Rate dV_{Aus} / dt die Steigung des Anstiegs

Tiefpassverhalten durch die Slew Rate

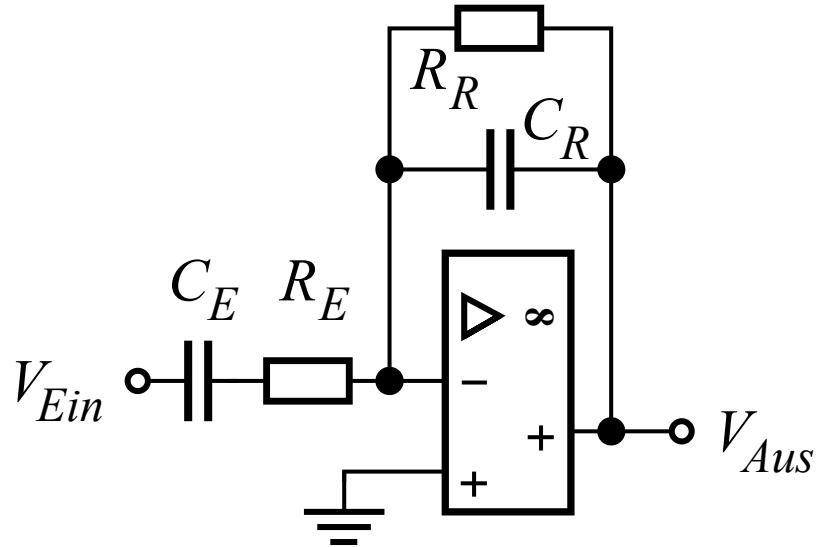


Dämpfung der Spitze-Spitze-Spannung an einem Spannungsfolger durch die Slew Rate eines Operationsverstärkers bei der Speisung durch ein ideales Rechtecksignal.

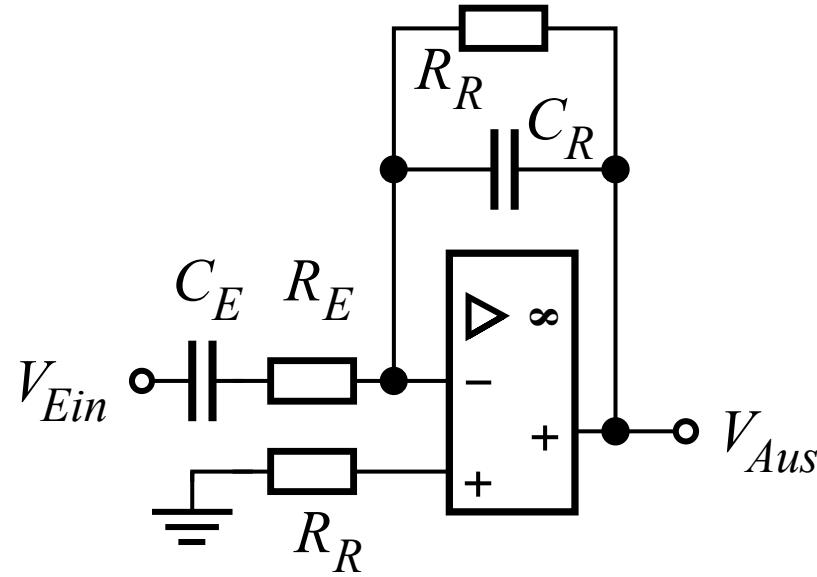
Für $f > f_m$ werden die Ausgangssignale nur bei gleichbleibender Spannungsamplitude deformiert, ab $f > f_m$ bleiben Dreieckssignale mit immer kleinerer Amplitude



Ausbalancieren von Eingangsstufen



schlecht: sehr unterschiedliche Eingangsströme

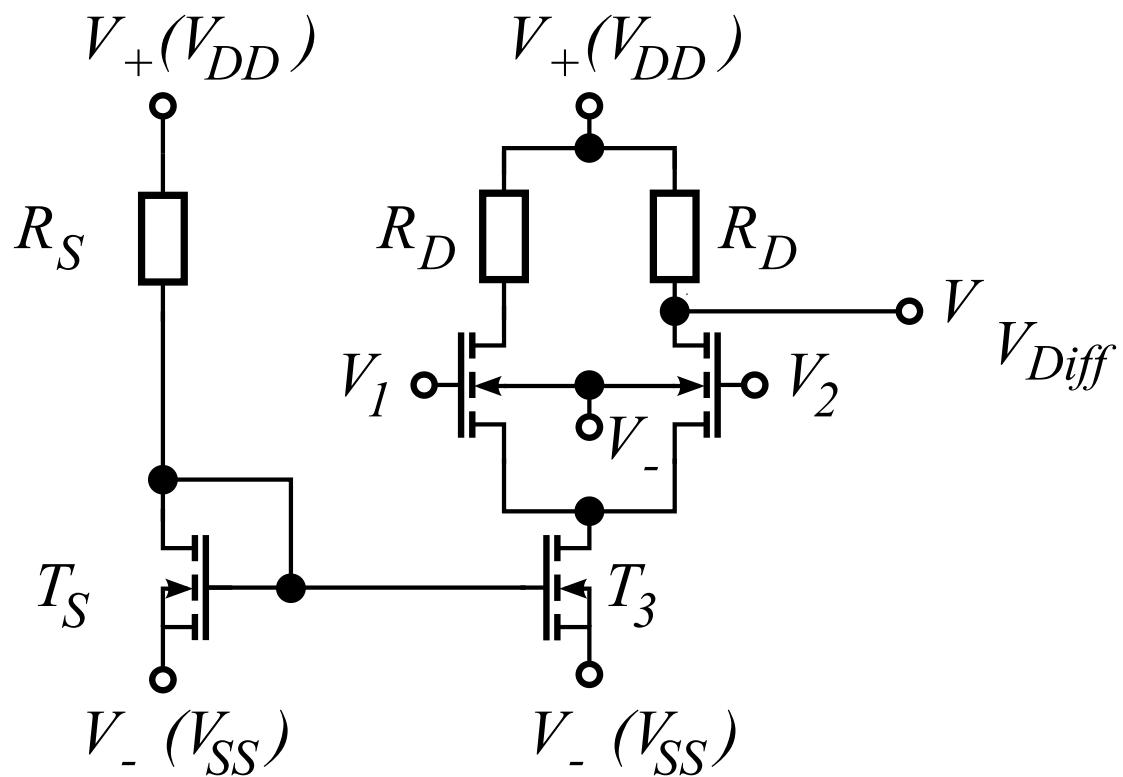


gut: ausbalancierte Eingangsströme

Ausbalancieren der Eingangsströme zur Vermeidung einer von außen aufgezwungenen Offsetspannung



Einfache NMOS Eingangsstufe



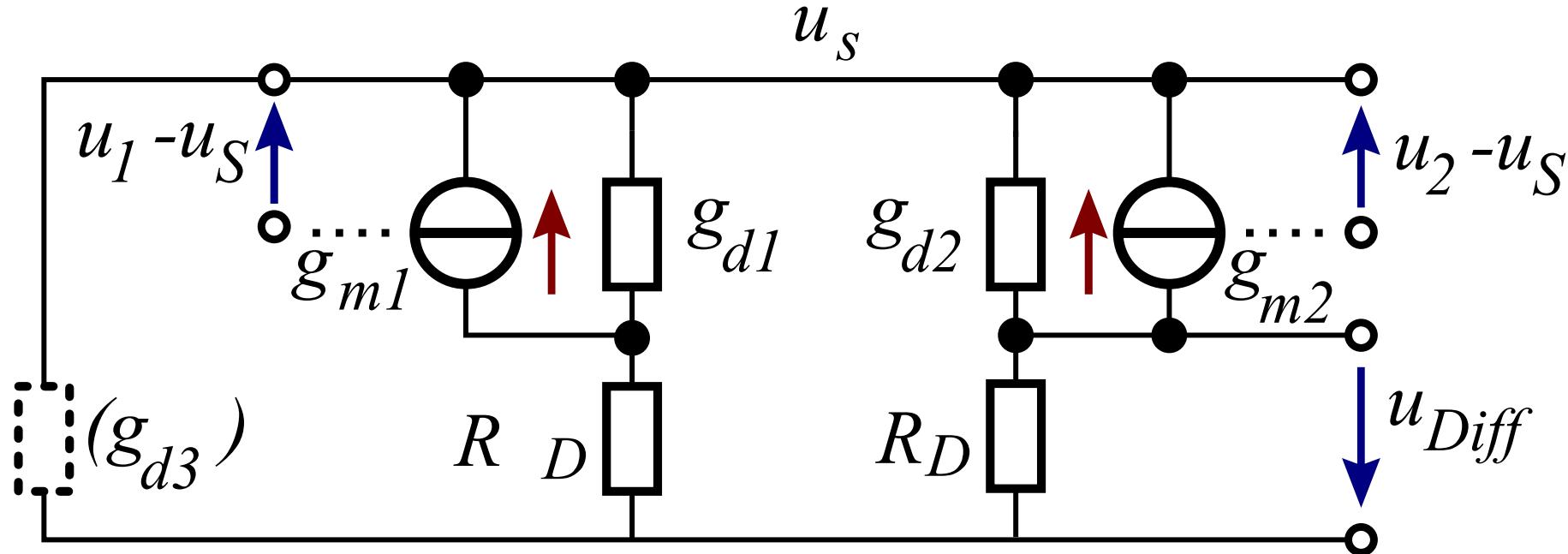
Aufgabe:

Was bestimmt die Verlustleistung?

Welche Transistoren sind in welchem Betriebszustand?

Kleinsignal-Ersatzschaltbild (die unteren beiden Transistoren seien ideale Stromsenken)?

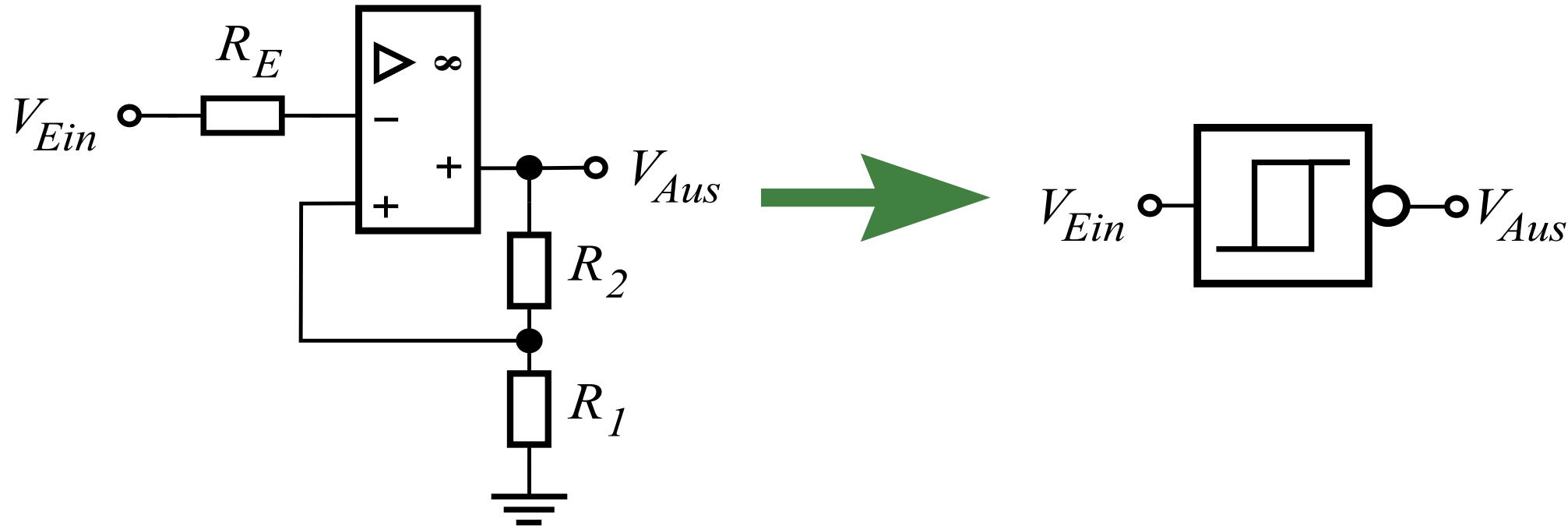
Einfache NMOS Eingangsstufe Kleinsignal Ersatzschaltbild



Lösung: Die Transistoren, welche als Stromquellen fungieren fallen heraus. Die gepunkteten Linien geben an, welch Spannungen welche Quellen steuern.



Schmitt Trigger

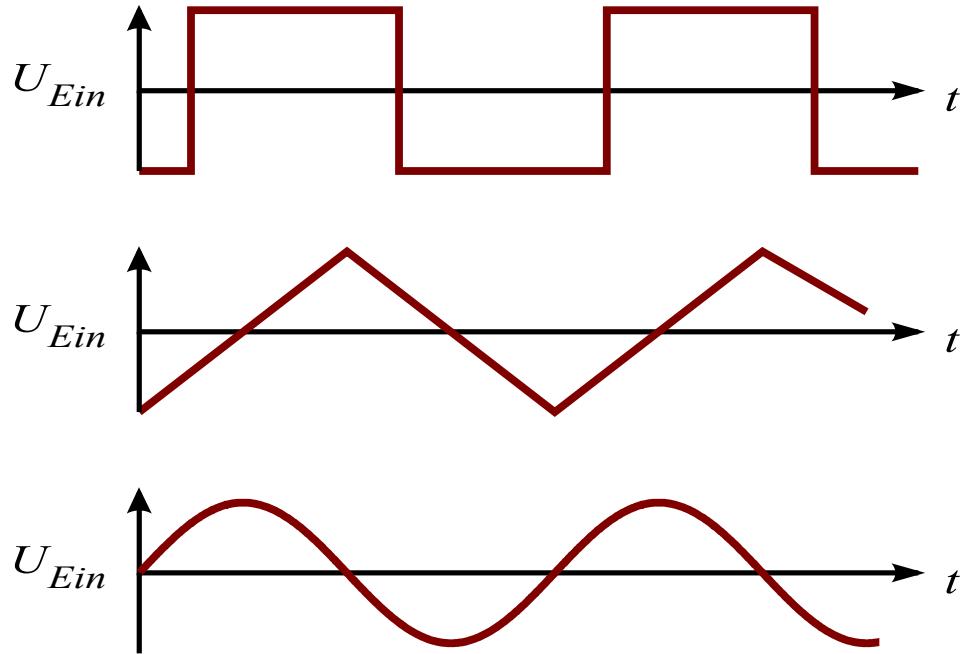


Aufgabe:

Invertierender Schmitt-Trigger (links) und dessen Schaltsymbol (rechts).
Wo liegen die Umschaltpunkte?



Was macht der Integrator hier?

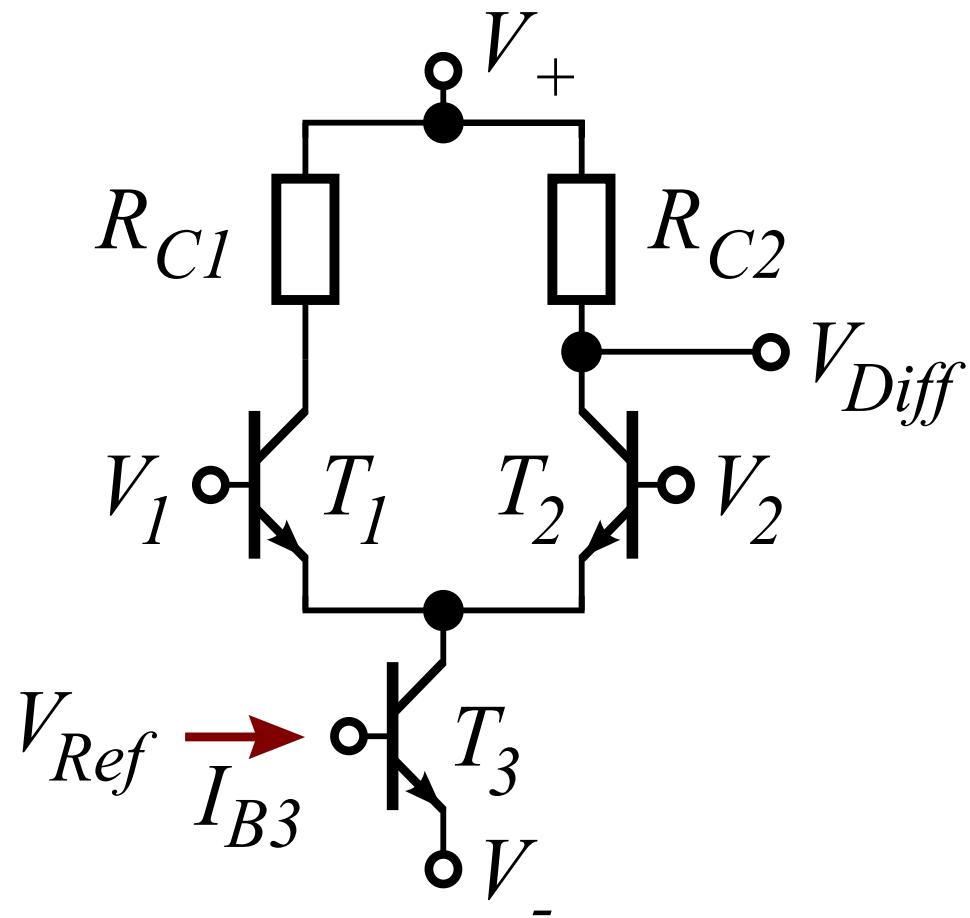


Aufgabe:
Drei Signale, die jeweils an den Eingang eines Umkehr-Integrators gelegt werden.

Welche Signalformen erwarten Sie am Ausgang?



Einfache Bipolar Differenzstufe



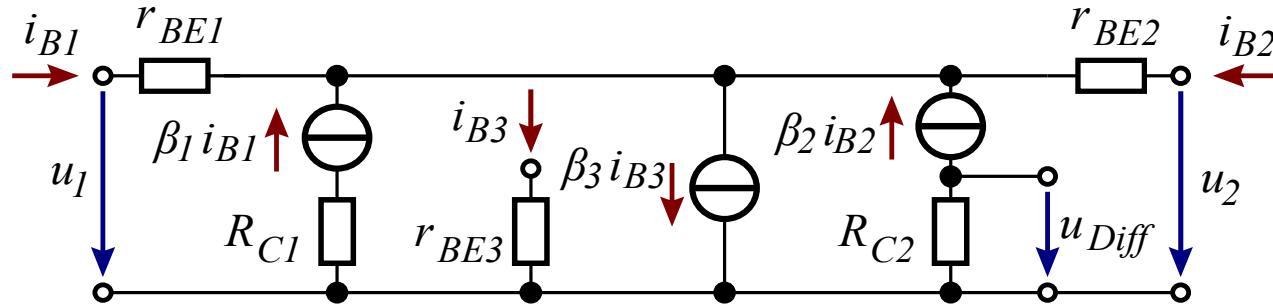
Aufgabe:
Einfache Differenzstufe
in Bipolar-Technik

Welche Betriebszustände sollten
die Transistoren haben?

Zeichnen Sie das Kleinsignal-
Ersatzschaltbild unter der
Annahme, dass der Early-Effekt
vernachlässigt werden kann.

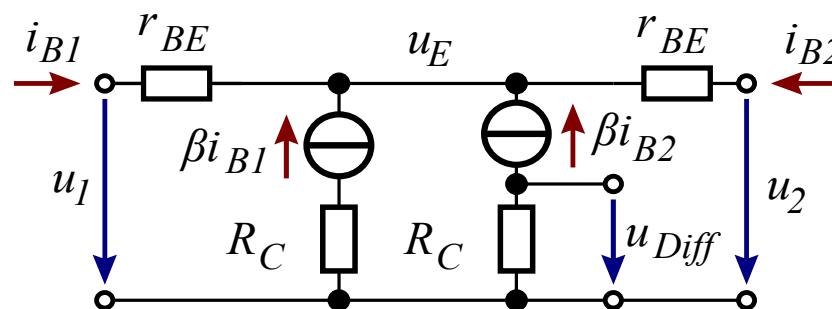
Einfache Bipolar Differenzstufe

Kleinsignal Ersatzschaltbild



Lösung:

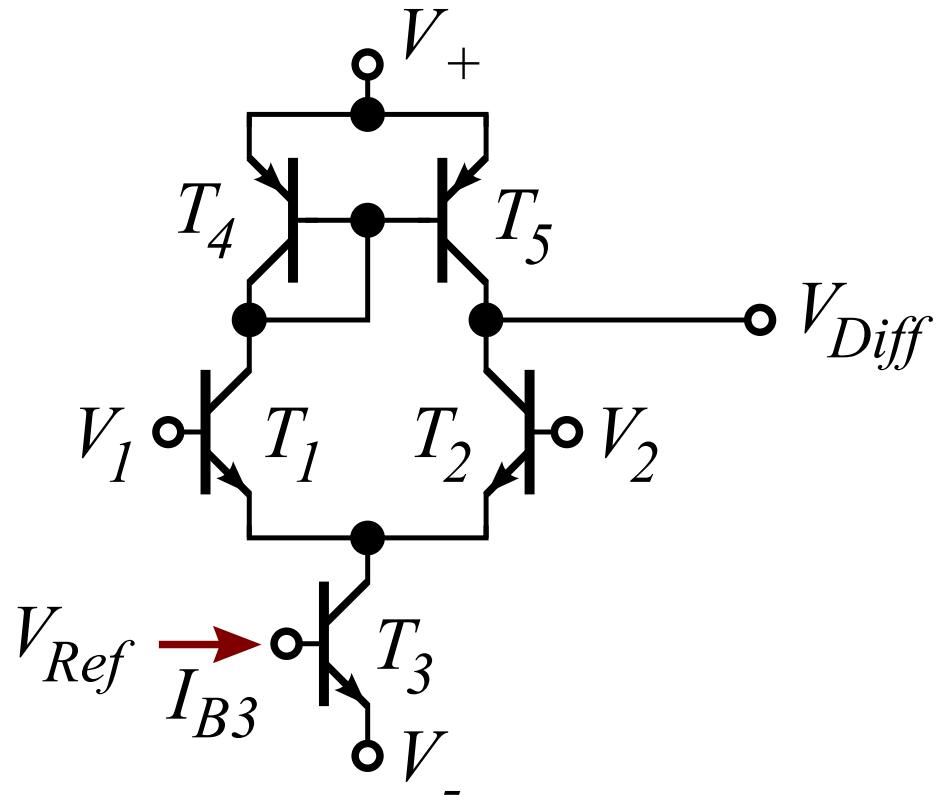
Oben ist das Kleinsignal-Ersatzschaltbild einer Differenzstufe mit $1/r_{CE} = 0$ für alle Transistoren gezeigt.



Das Schaltbild wird deutlich einfacher, wenn

$i_{B3} = \text{konst.} \rightarrow i_{B3} = 0$
angenommen wird und die Bauteile gleiche Parameter haben (unten)

Bipolar Differenzstufe



Aufgabe:

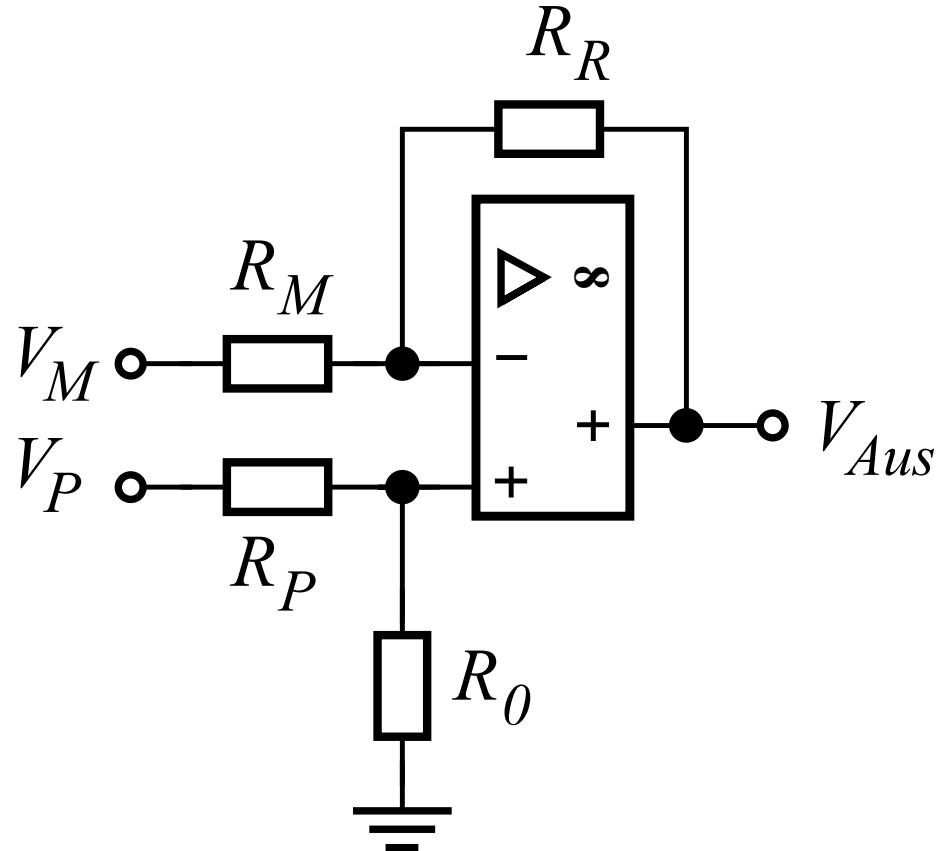
Nehmen Sie bitte an, dass am Anfang $V_1 = V_2 = 0$ sei.

Dann wird V_1 etwas erhöht.

Bitte beschreiben Sie alle Konsequenzen für die Transistoren T_1 bis T_5 , die Stromflüsse in beiden Zweigen und den Effekt auf V_{Diff} .



Rechenoperationsverstärker



Aufgabe:

Wie müssen die Widerstände gewählt werden, damit die Rechenoperation

$$V_{Aus} = V_P - V_M$$

ausgeführt wird?

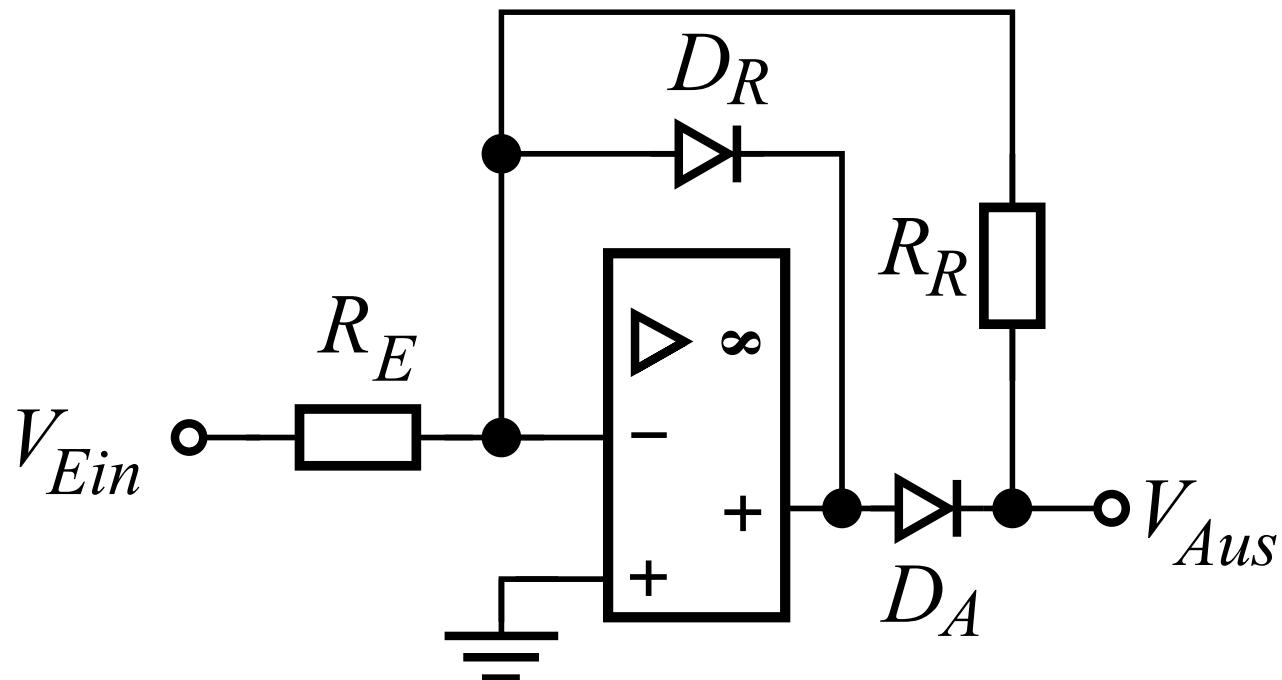
Mit welchen Dimensionierungen kann die Schaltung auch für die allgemeinere Operation

$$V_{Aus} = \alpha(V_P - V_M)$$

eingesetzt werden?



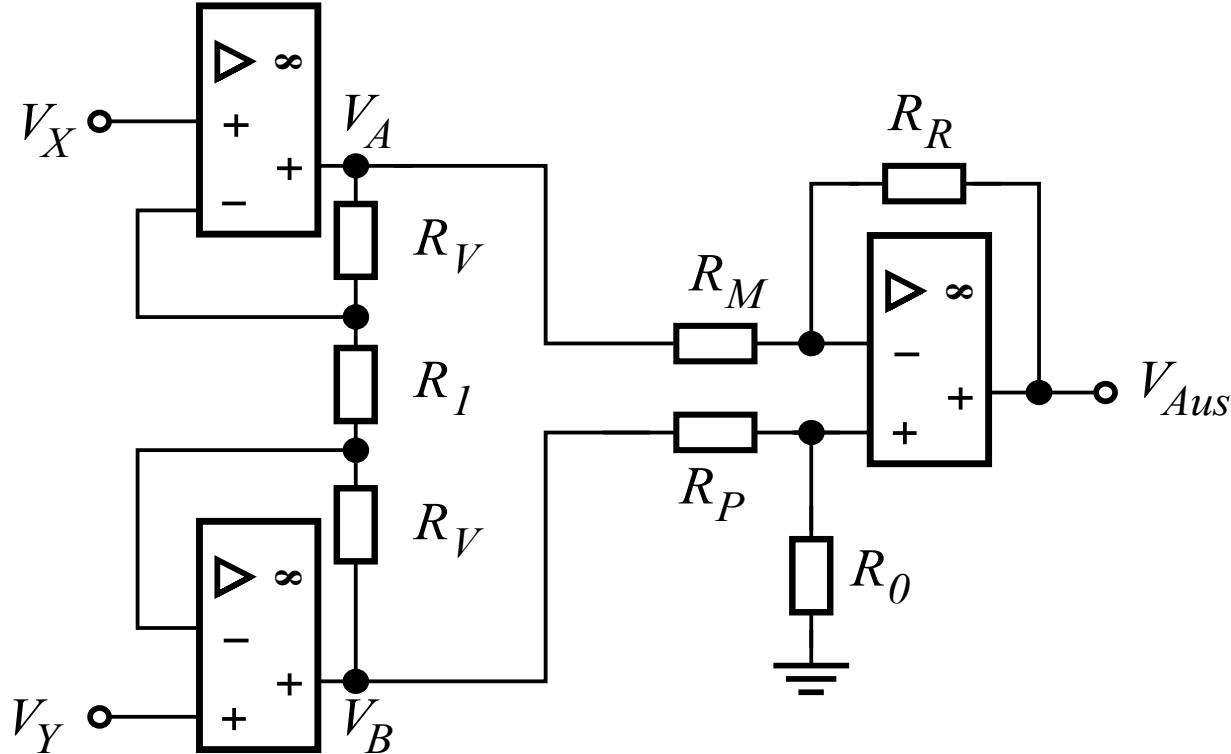
Aktiver Gleichrichter



Aufgabe:
Wie sieht die
Kennlinie für

$$R_E = 3 R_R \text{ aus?}$$

Instrumentenverstärker



Aufgabe:

Bitte bestimmen Sie die Ausgangsspannung unter der Annahme idealer Operationsverstärker-Eigenschaften.