

1. WERTELISTE

Nummer	V_{cc}/V_{ee}	maximaler I_{Last}	OPV
1	+/-5V	100mA	LMC6484
2	+/-5V	150mA	LMC6484
3	+/-5V	200mA	LMC6484
4	+/-5V	250mA	LMC6484
5	+/-5V	300mA	LMC6484
6	+/-7.5V	100mA	LMC6484
7	+/-7.5V	150mA	LMC6484
8	+/-7.5V	200mA	LMC6484
9	+/-7.5V	250mA	LMC6484
10	+/-7.5V	300mA	LMC6484
11	+/-10V	100mA	ua741
12	+/-10V	150mA	ua741
13	+/-10V	200mA	ua741
14	+/-10V	250mA	ua741
15	+/-10V	300mA	ua741
16	+/-12V	100mA	ua741
17	+/-12V	150mA	ua741
18	+/-12V	200mA	ua741
19	+/-12V	250mA	ua741
20	+/-12V	300mA	ua741
21	+/-15V	100mA	OP07
22	+/-15V	150mA	OP07
23	+/-15V	200mA	OP07
24	+/-15V	250mA	OP07
25	+/-15V	300mA	OP07
26	+/-18V	100mA	OP07
27	+/-18V	150mA	OP07
28	+/-18V	200mA	OP07
29	+/-18V	250mA	OP07
30	+/-18V	300mA	OP07

Hinweis zur Dimensionierung der Eingangsspannung

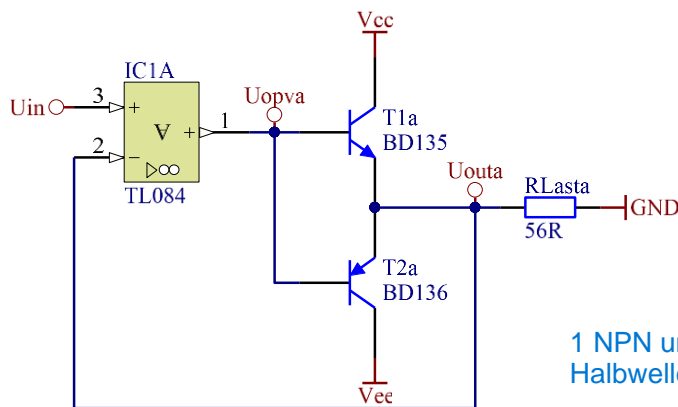
Um das Problem des Leistungsverstärkers zu zeigen, muss das Eingangssignal die Grenzen der Slewrate des OPVs überschreiten. Bestimme Dein Eingangssignal nach folgenden Kriterien:

- Amplitude: 70% V_{cc}
- Frequenz: Bestimme entsprechend der Slewrate des OPVs (per Simulation zu ermitteln) und der Amplitude die maximale Signalfrequenz für ein Sinussignal.

Hinweis zu den abgebildeten Simulationen/Grafiken

- $V_{cc}=-V_{ee}=12V$
- Slewrate=6.3V/ μs (OPV TL084)
- $U_{in}=8.4V @ 119kHz$ (70% von $V_{cc}=12V$)
- Laststrom: 150mA @ 8.4V $\rightarrow R_{Last}=56\Omega$

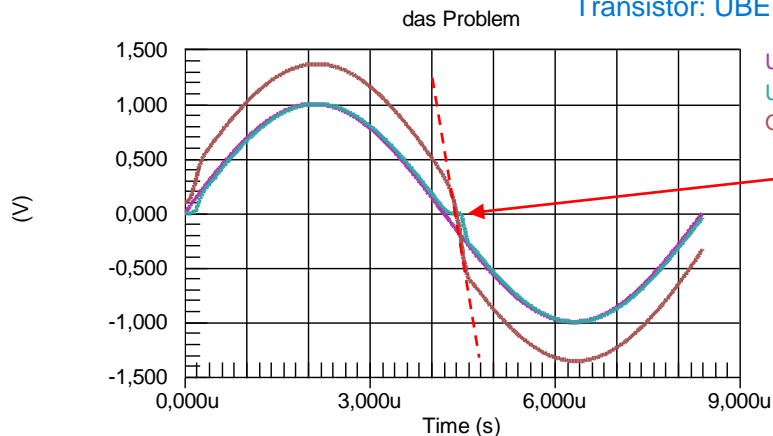
2. DAS PROBLEM



Um an einer Last eine größere Ausgangsleistung zu erhalten, reicht ein einfacher OPV nicht aus. Man kann den Ausgang jedoch mit Hilfe 2er BJTs zu einem höheren Ausgangsstrom verhelfen

1 NPN und 1 PNP Transistor für die positive / negative Halbwelle

Transistor: UBE 0.7V und Stromverstärkung



Allerdings ergibt sich bei dieser einfachen Lösung das Problem, dass der Übergang T1a=>T1b bzw. umgekehrt den OPV (über)fördert.

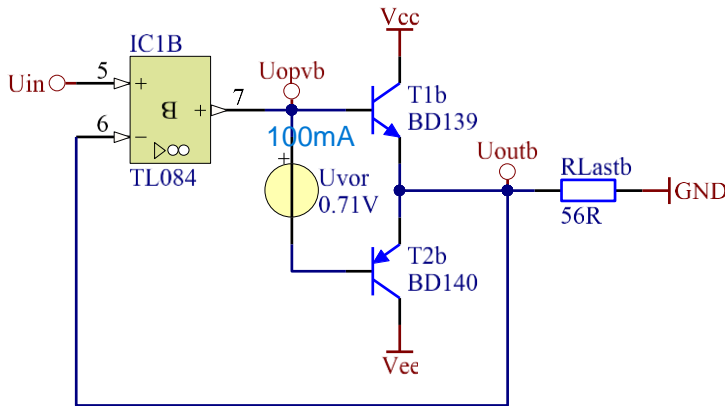
Aufgabenstellung (aus der Schaltungssimulation)

- ermittle über die Differenz $U_{in} - U_{out}$ (sollte eigentlich immer 0V sein), wo im Signal Fehler auftreten.
- Wodurch werden diese Fehler verursacht? Untersuche hierzu das Signal am OPV-Ausgang.
- Welche Kennwerte des OPVs beeinflussen die Fehler und wie? Wie kann man erkennen, welcher OPV (von mehreren) besser geeignet ist?

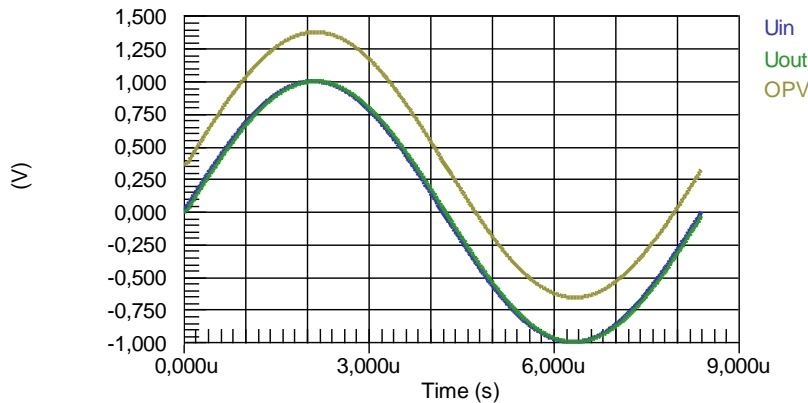
A Betrieb: störungsfrei

B Betrieb: Übernahmeverzerrungen

3. THEORETISCHE LÖSUNG



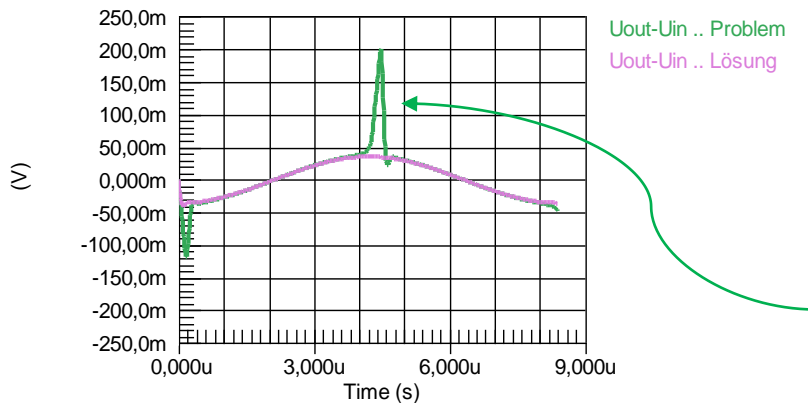
die Lösung



Mit Hilfe der DC-Spannungsquelle U_{vor} wird eine Vorspannung erzeugt, die die beiden BJTs vorspannt. Somit sind sie leitend. Die Vorspannung wird so eingestellt, dass im Arbeitspunkt beider BJTs $I_c \sim I_{Last_max}/10$ beträgt (Simulation $I_c = f(U_{vor})$). Dieser Strom wird als Ruhestrom bezeichnet.

Die Ausgangsspannung verläuft nun wieder „sauber“ sinusförmig. Etwaige Probleme beim Durchgang durch 0V sind nicht mehr zu erkennen.

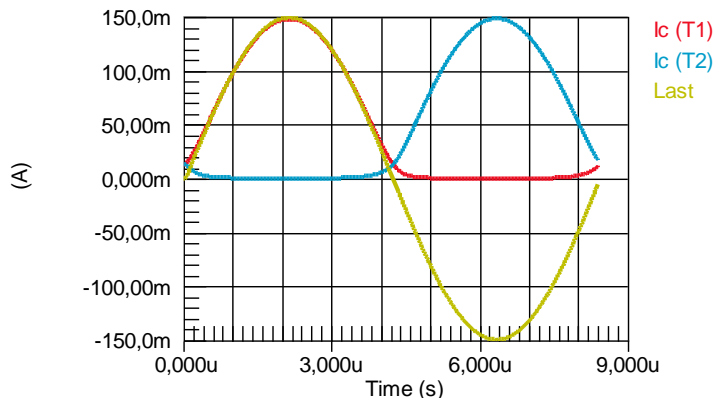
Vergleich



Vergleicht man die Spannungsdifferenz $U_{out} - U_{in}$, zeigt sich:

- mit Vorspannung: auf Grund der hohen Frequenz sinusförmige Differenzspannung
- ohne Vorspannung: maximal ca. 600mV Differenz-Peak

Strom mit Vorspannung

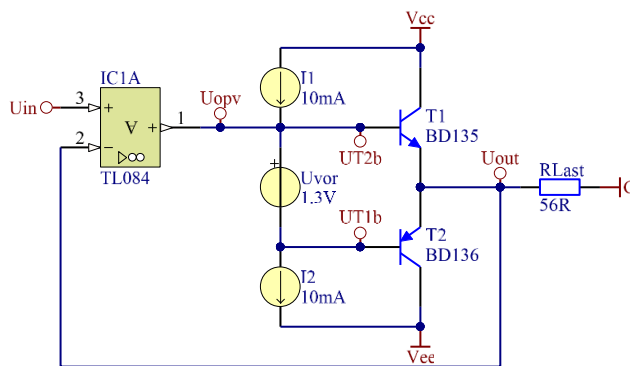


Betrachtet man den Stromverlauf der Kollektorstrome zwischen den beiden BJTs ergibt sich ein „sanfter“ Übergang

Aufgaben (wiederum aus der Simulation)

- Ermittle in EINER gemeinsamen Simulation die Unterschiede zwischen der Problemschaltung und der Lösungsschaltung bezüglich der Differenz $U_{out}-U_{in}$
- untersuche den Stromverlauf der Kollektor-Ströme in beiden Schaltungen.
- Untersuche den Ausgangsstrom des OPVs. Wann ist dieser positiv, wann negativ und warum ist das so?

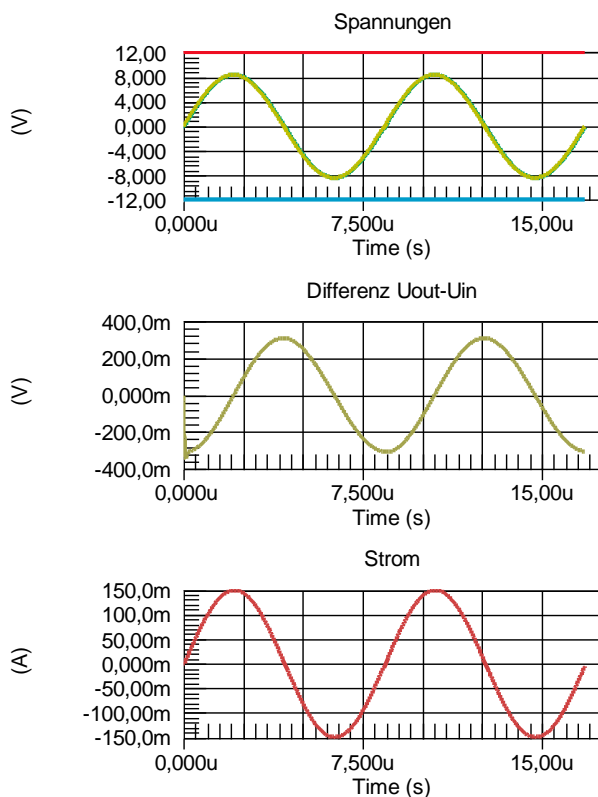
4. ALLGEMEINE LÖSUNG



Dimensionierung:

- $I_{Last}=150mA@8.4V$
- Arbeitspunkt:
 $I_c(T1)=I_c(T2)=I_{Last}/10=15mA$
- $hfe=25$ für beide BJTs
- $I_b(T1)=I_b(T2)=150mA/25=6mA$
- Quellstrom $I1=I2=$ maximale Basisstrom ($I_b(T1)$ bzw. $I_b(T2)$) + Reserve (~30%)
daher $I1=I2=10mA$ gewählt

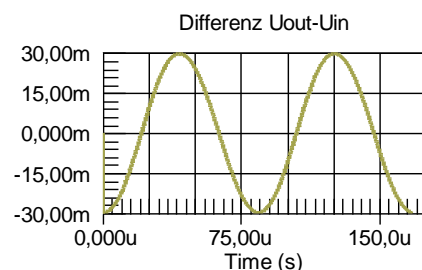
Simulationsergebnis



die erwarteten Ausgangswerte für $U_{out}=8.4V$ und $I_{Last}=150mA$ werden eingehalten.

Hinweis: Auf Grund der hohen Eingangsfrequenz von 119kHz ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen U_{in} und U_{out} , sodass die Differenz $U_{in}-U_{out}$ größer erscheint, als sie auf Grund der Beschaltung ist.

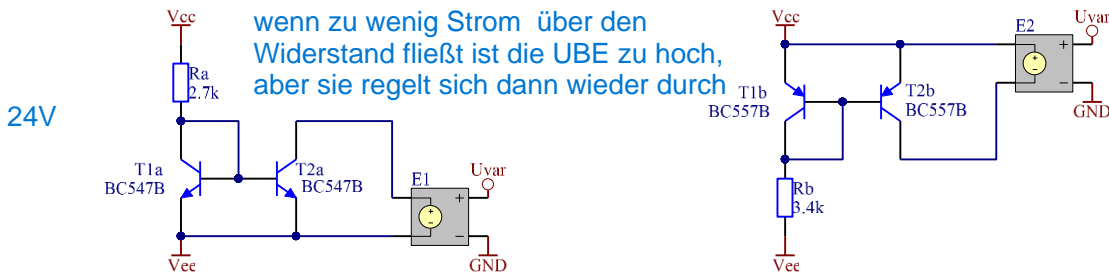
Zum Vergleich: $f=f_{max}/10=11.9kHz$



Aufgabenstellung

- Simuliere die Schaltung
- ermittle die Kennlinie Ruhestrom $I_c(U_{vor})$
Achtung: beide BJTs haben unterschiedliche Werte für hfe . Nimm den kleineren Wert

5. STROMQUELLE



Diese Schaltung wird auch als Stromspiegel bezeichnet. Sie spiegelt $I_c(T1) \Rightarrow I_c(T2)$.

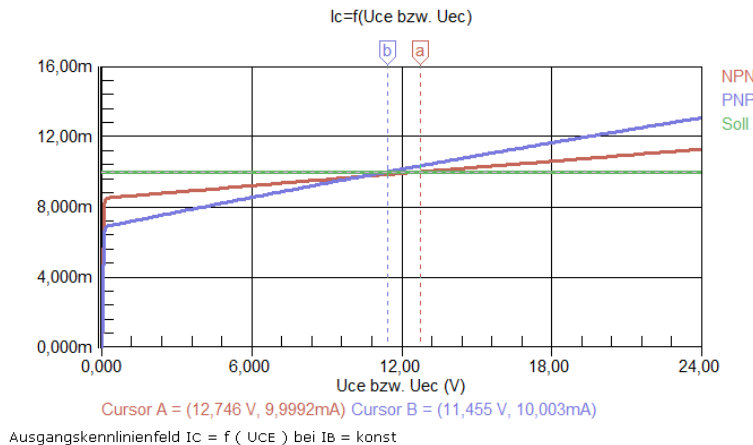
Grundfunktion

- $I_c(T2)$ konstant, unabhängig von U_{ce} .
- Achtung: $I_c(U_{ce})$ entspricht dem Ausgangskennlinienfeld. Und hier ist I_c nicht sehr konstant.

Bedeutung der Komponente E

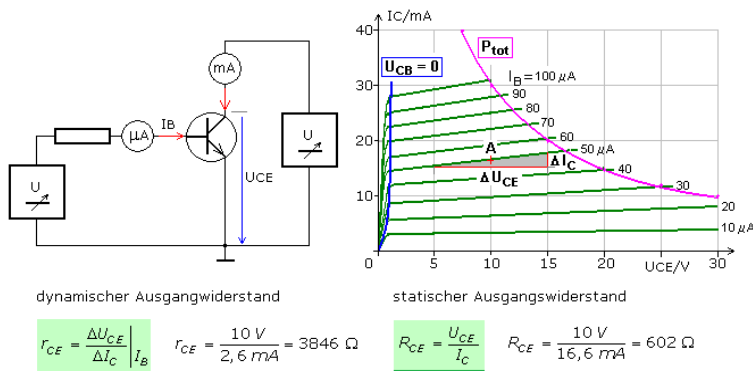
E stellt eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle dar:

- Bibliothek: Simulation Sources.intLib
- $U_{out} = \text{Gain} \times U_{in}$
 $\text{Gain} = 1 \Rightarrow U_{out} = U_{in}$, allerdings ist U_{out} potentialunabhängig (U_{in} nicht)



Dimensionierung:
 bei $U_{ce} = 12V$ (genaue Mitte zwischen V_{cc} und V_{ee}) soll $I_c = 10mA$ betragen.

Da beide BJTs unterschiedliche h_{fe} ausweisen, wird der jeweilige Widerstand R grob vorbestimmt und dann mit Hilfe der Simulation genau angepasst.



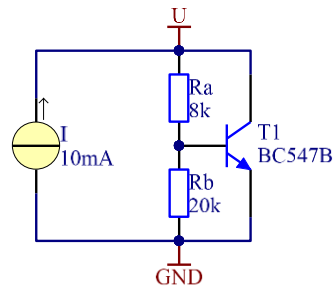
Darstellung des Ausgangskennlinienfeldes mit Bestimmung des statischen (AP) und des dynamischen (differentiellen) Ausgangswiderstandes.

Aufgabenstellung

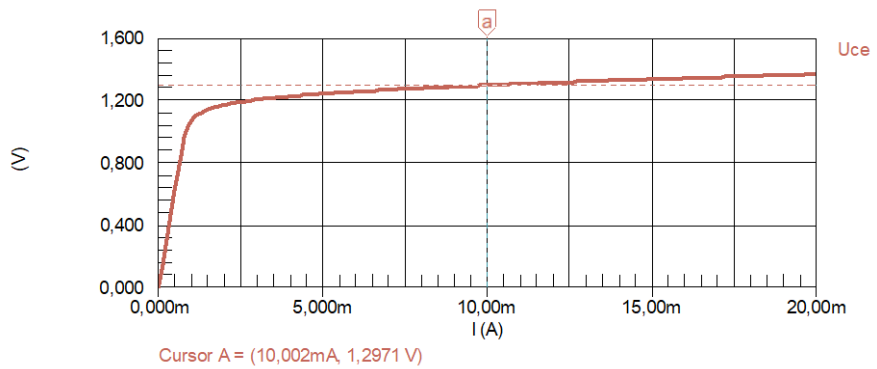
- Dimensioniere und simulierte Deine Stromquelle
- Bestimme den differentiellen Widerstand beider Quellen (NPN, PNP)

6. SPANNUNGSQUELLE

Dimensionierung:
1.3V@10mA



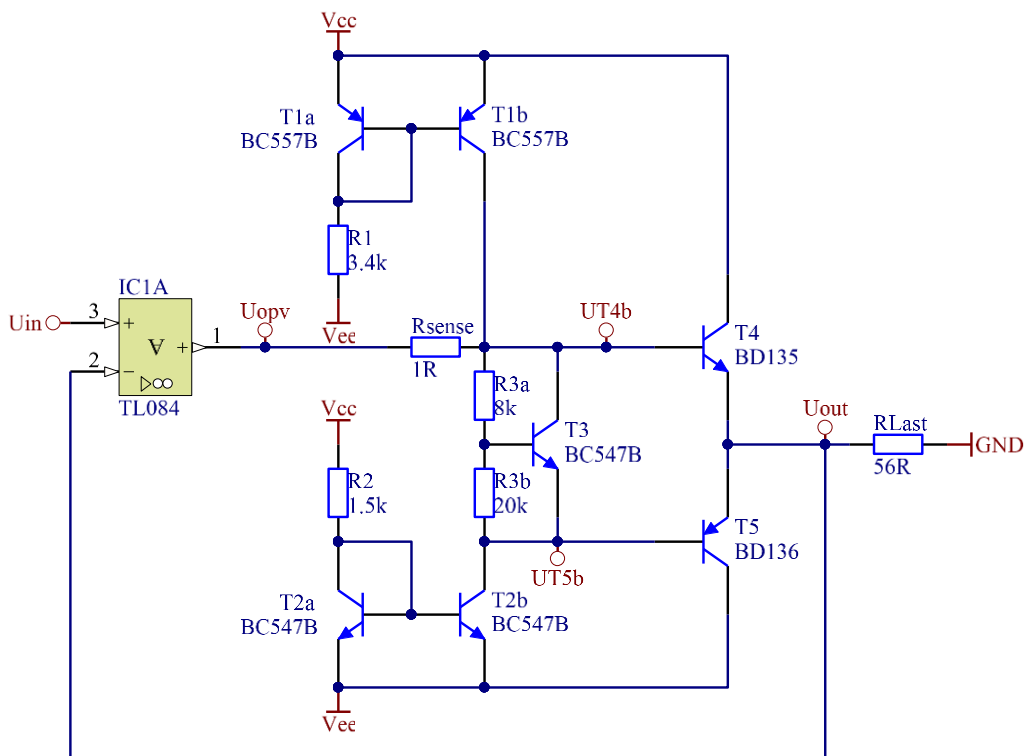
Auch hier folgt die Kennlinie dem Ausgangskennlinienfeld.



Aufgabenstellung

- a. Dimensioniere und simuliere Deine Spannungsquelle
- b. Bestimme den differentiellen Widerstand

7. GESAMTSCHALTUNG (VERSION A)



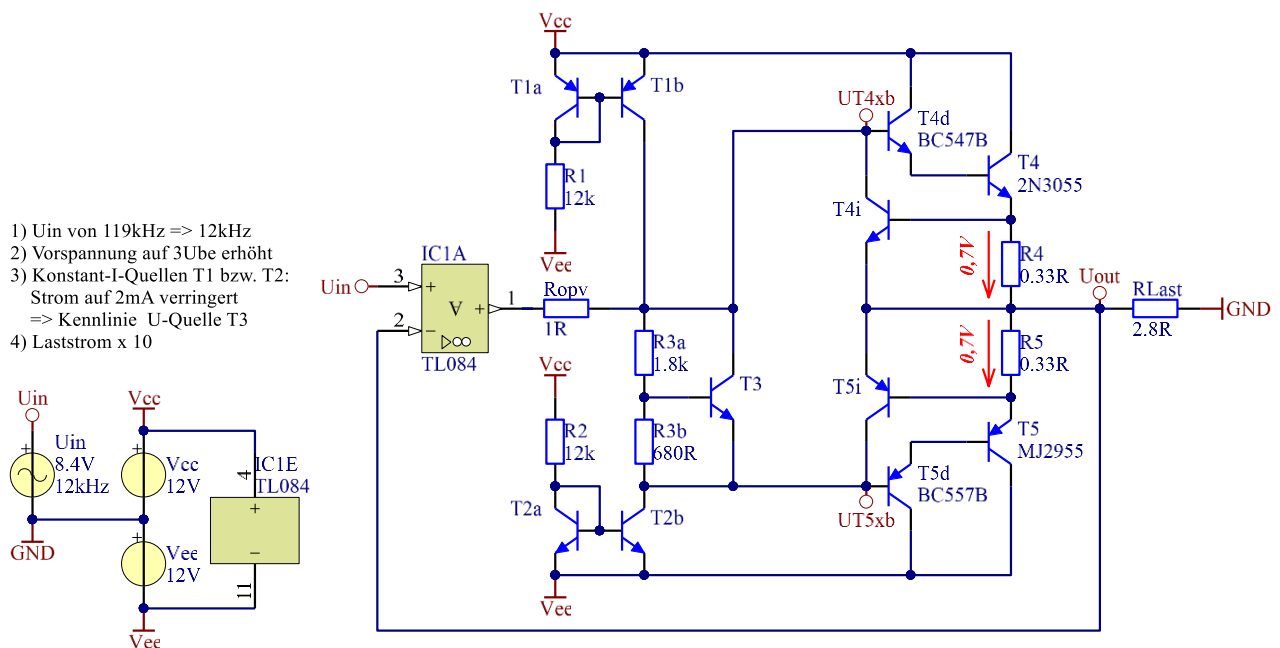
Ersetzt man alle theoretischen Quellen durch reale, ergibt sich die obige Schaltung. Der Arbeitspunkt muss noch korrigiert, sodass sich einige R-Werte verändern.

- Die Ausgangsstrom des OPVs darf muss „klein“ sein. Da beide Stromquellen nie idente Werte haben und auch die Basis-Ströme der Endstufen-BJTs nicht ident sind, muss der OPV diese Differenzen ausgleichen. Hierzu wird entweder R1 oder R2 nachjustiert (etwa mittels Poti)
- Die Vorspannung ist ebenfalls zu prüfen.

Aufgabenstellung

Zeige mittels Simulation die Funktionalität der Gesamtschaltung und prüfe, ob die der Dimensionierung zugrunde liegenden Werte (Arbeitspunkte) eingehalten werden. Verändere sie bei Bedarf und beschreibe den Korrekturvorgang (Ist-Zustand (Problem) – Lösungsansatz und Vorgänge, was dabei erwartet wird – Darstellung der Lösung)

8. GESAMTSCHALTUNG MIT STROMBEGRENZUNG (VERSION B)



Strombegrenzung

Erweitert man die Ausgangs-PushPull-Stufe um die T4i/R4 und T5i/R5, lässt sich eine Strombegrenzung realisieren.

Idee: Der Ausgangsstrom I_{Last} fließt auch durch R4 bzw. R5. Wird hierbei ein Spannungsabfall von ca. 0.7V erzeugt, schalten die Transistoren T4i bzw. T5i und entziehen der Basis von T4 bzw. T5 Basisstrom. Durch die Begrenzung des Basisstromes wird (über die Stromverstärkung) der Kollektorstrom=Laststrom begrenzt.

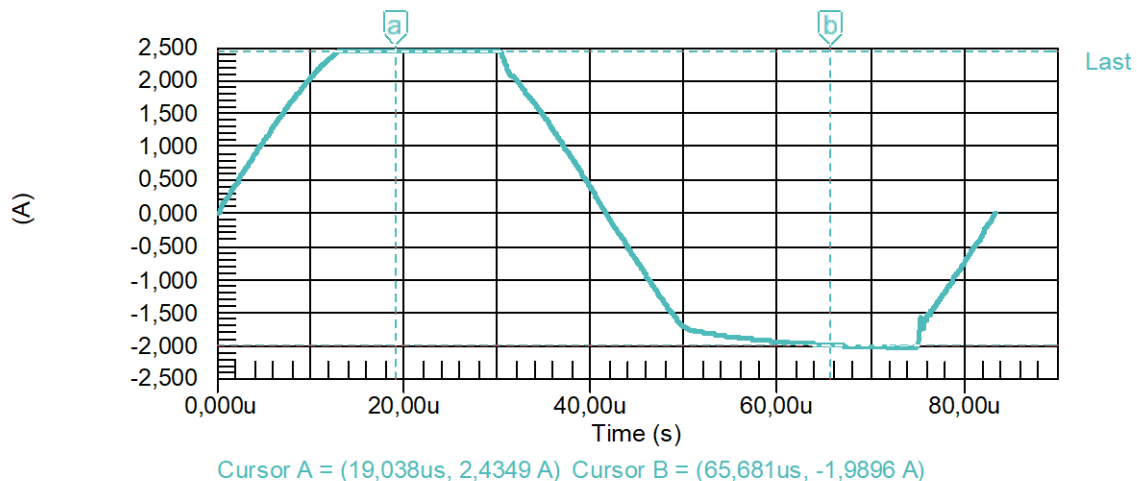
Vorgaben

- Ausgangsstrom 10 x bisheriger I_{Last}
- Versorgung für den OPV wie bisher. Sollte auf Grund der Darlington-Schaltung die Versorgung zu gering sein → V_{cc} bzw. V_{ee} um 1V vergrößern
- U_{in} wie bisher
- maximale Frequenz=bisherige Signalfrequenz/10, bei Bedarf noch kleiner machen
- Korrigiere die Vorspannung auf ca. $3 \cdot U_{be}$

Beispiel

Für $R_4=R_5=0.33\Omega$ ergibt sich ein Maximalstrom von ca. $I_{Last_max}=0.7V/0.33\Omega=2.1A$. Die Simulation mit einem Lastwiderstand von $R_{Last}=5.6\Omega/2$ ergibt einen Maximalstrom von ca. 2.4A bzw. -2A.

Diese Art der Einstellung ist einfach, effizient, aber ungenau. Allerdings ist der obere Endstufen-BJT (T4) sehr langsam und schaltet nur langsam ab, was den maximal zu Verfügung stehenden Laststrom negativ beeinflusst.



Aufgabenstellung

Stelle für Deine vorgegebenen Werte die Strombegrenzung ein. Justiere anschließend $R_4=R_5$, sodass der Laststrom den vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet.

9. ZEITPLAN

1. Tag: Projektvorstellung
2. Tag: Ermittlung der Vorspannung
3. Tag: Dimensionierung und Simulation der Strom-Spiegel
4. Tag: Dimensionierung und Simulation der Spannungsquelle zur Erzeugung der Vorspannung
5. Tag: Gesamtschaltung mit Strombegrenzung
6. Tag: Überprüfung der Gesamtschaltung
 - > maximale Ausgangsspannung
 - > maximale Ausgangsfrequenz für die Maximalspannung
 - > Slewrate
 - > Überprüfung der Strombegrenzung