

FACHHOCHSCHULE DÜSSELDORF

FACHBEREICH ELEKTROTECHNIK

**Praktikum
Schaltungen & Systeme**

**Versuch 3:
Untersuchung von Stromspiegeln mit ADS**

Prof. Dr. P. Pogatzki
Dipl.-Ing. D. Spengler

Name:

Matr.-Nr.:

Testat:

1. Einleitung

Ergänzend zur Vorlesung sollen in diesem Praktikumsversuch die wesentlichen Eigenschaften verschiedener Stromspiegelschaltungen untersucht werden. Stromspiegel sind zur Arbeitspunkteinstellung oder als aktive Last in integrierten Schaltungen unumgänglich.

Zur Theorie der Stromspiegel siehe Kapitel 5 der Vorlesung.

Die verschiedenen Varianten werden im wesentlichen durch die folgenden Eigenschaften ausgezeichnet:

- Ausgangswiderstand
- Arbeitsbereich (minimale/maximale Last)
- Übersetzungsverhältnis
- Bandbreite

Oben genannte Eigenschaften sollen für vier Varianten eines Stromspiegels untersucht werden:

- Einfacher Stromspiegel
- Stromspiegel in Kaskodenschaltung
- Kaskoden-Stromspiegel
- Widlar-Stromspiegel

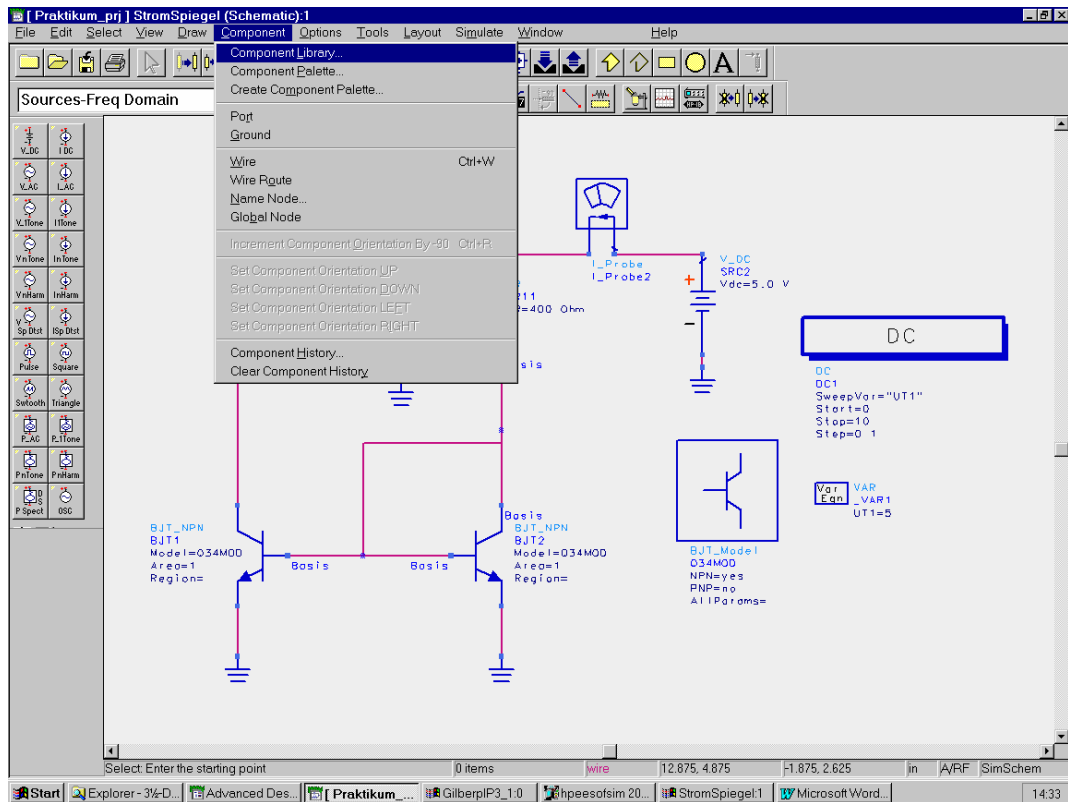
Dazu werden sowohl DC-Simulationen als auch Simulationen im Kleinsignalbetrieb (AC) durchgeführt. Die grundsätzliche Fähigkeit, mit ADS eine Schaltungssimulation durchzuführen, wird vorausgesetzt. Die Eingabe der Schaltungen erfolgt grafisch mittels Schematic-Entry.

Die verschiedenen Elemente der Schaltung befinden sich ihrer Bedeutung entsprechend in unterschiedlichen Gruppen, die zu Paletten zusammengefaßt sind.

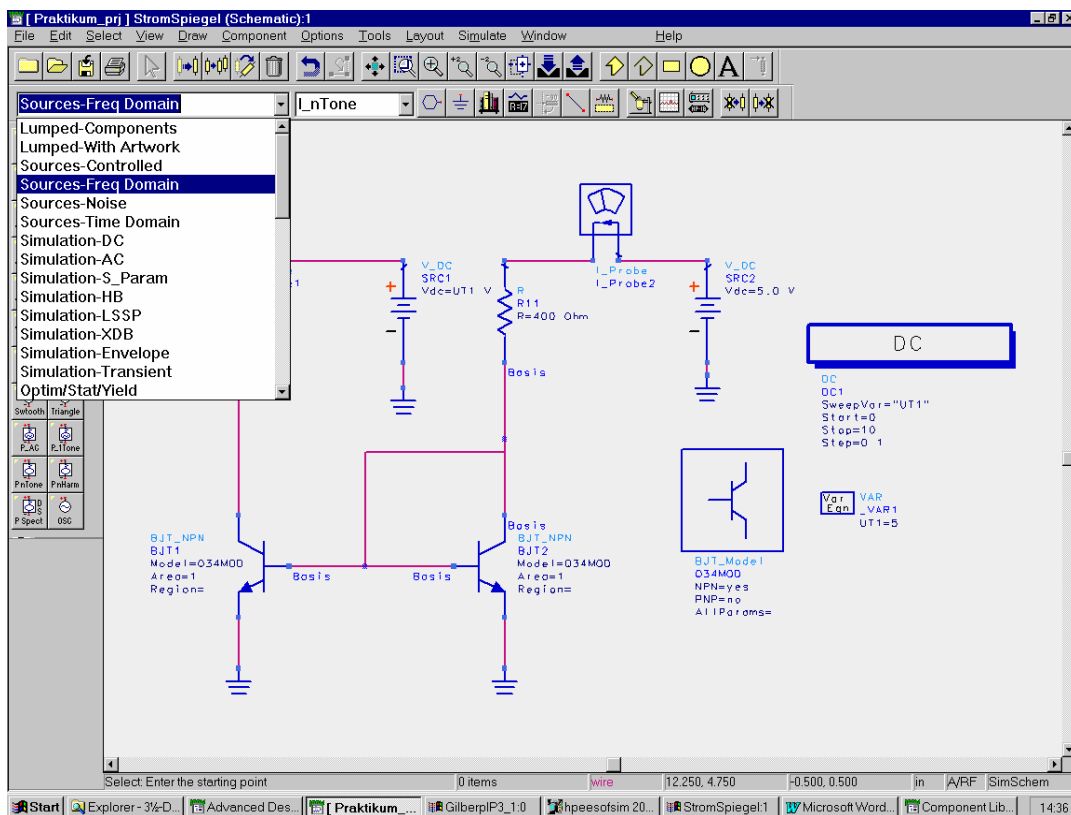
Wie in den folgenden Bildern gezeigt, können diese Gruppen auf unterschiedliche Weise angesprochen und ausgewählt werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, neben einer Palette, die die Bitmaps der einzelnen Elemente enthält, über die Auswahl der "Component Library" Elemente zu selektieren und anschließend in der Schaltung zu plazieren.

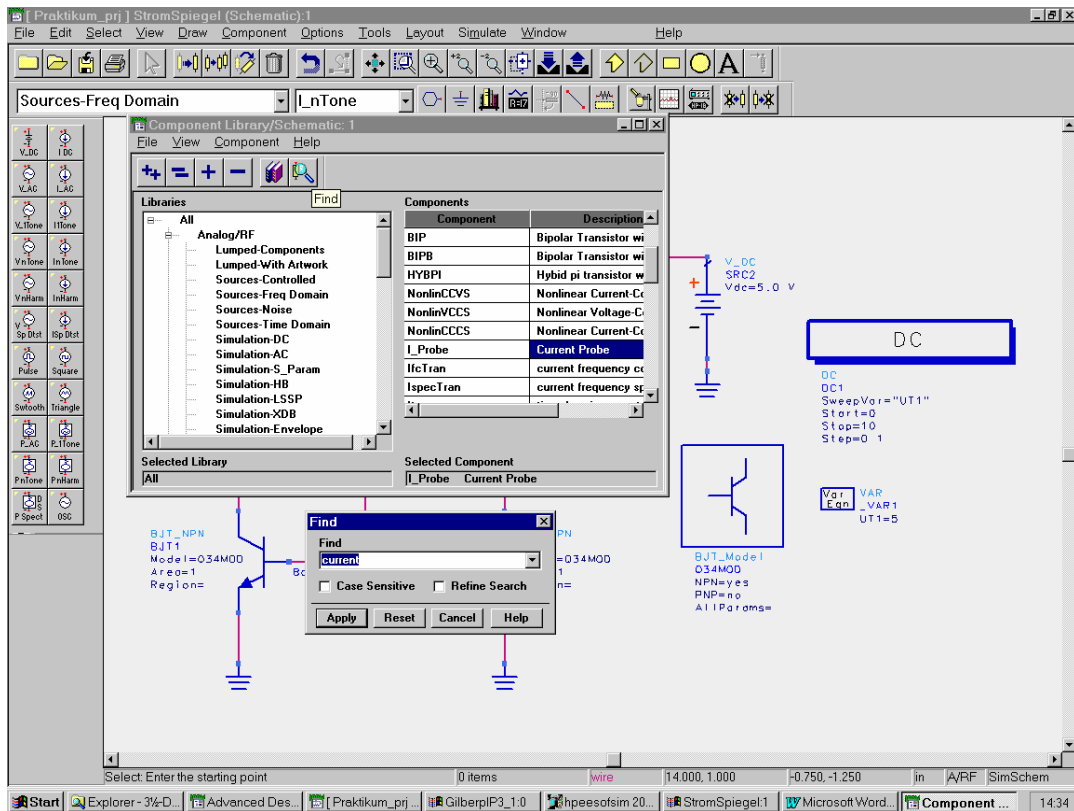
Ist die Zugehörigkeit des gesuchten Elementes zu einer Gruppe nicht bekannt, so kann das Element gesucht werden, wie für den Fall des Amperemeters gezeigt.



Auswahl der Elemente mittels „Component Library“





Auswahlliste der Paletten


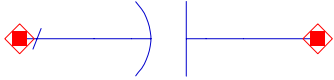


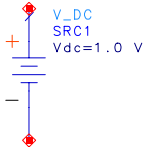
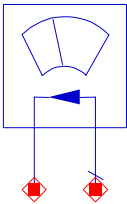


Suchen des Elementes „Amperemeter“ über „Component Library“

Um die grundlegenden Eigenschaften eines Stromspiegels untersuchen zu können, sind einige Elemente für die Schaltungsbeschreibung notwendig. Die folgende Liste gibt eine sinnvolle Auswahl an solchen Elementen für diesen Versuch an.

Eine genaue Beschreibung der einzelnen Elemente ist der Help-Funktion von ADS zu entnehmen.

Name	Schematic-Symbol
Resistor	 <p>R R1 R=5.0e-008 GOhm</p>
BJT	 <p>BJT_NPN BJT1 Model=BJT_NM1 Area= Region= Temp= Mode=nonlinear</p>

<p>BJT-Model</p>	 <pre> BJT_Model1 BJTModel NPN=yes Br= Cjc= Rc= NPN=no Ikr= Vjc= Kf= Bf= Isc= Mjc= Af= Ikf= Nc= Xcjc= Kb= Ise= Var= Fc= Ab= Nc= Nrc= Cje= Fb= Vof= Tr= Vje= Ffe= Nf= Eg= Mje= Lateral=no Tf= Is= Cjs= AllParans= Xlf= Imax= Vjs= Vlf= Xli= Mjs= lfs= Tnom= Rb= Plf= Nk= Irb= Xlb= Iss= Rbm= Approx=yes Ns= Res= </pre>
<p>Capacitor</p>	 <pre> C C1 C=1.0 pF </pre>
<p>DC Simulation</p>	 <pre> DC DC1 SweepVar="VBE" Start=1 Stop=10 Step=1 </pre>
<p>AC-Simulation</p>	 <pre> AC AC1 Start=1.0 GHz Stop=10.0 GHz Step=1.0 GHz </pre>
<p>V-DC</p>	 <pre> V_DC SRC1 Vdc=1.0 V </pre>
<p>I-Probe</p>	 <pre> I_Probe I_Probe1 </pre>

Var	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;"> Var Eqn </div> VAR _VAR1 UT1=5
-----	---

2. Versuchsvorbereitung

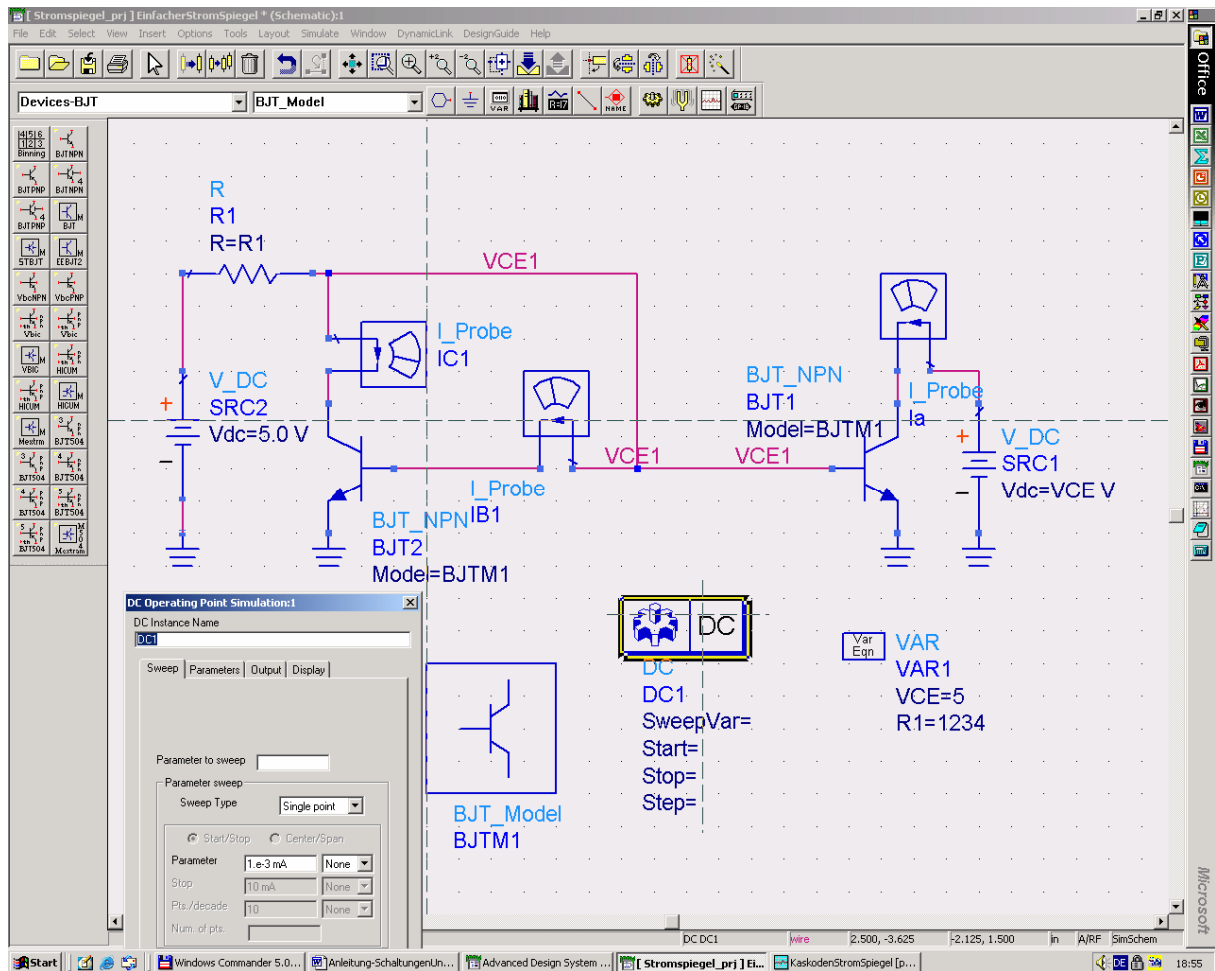
Als Vorbereitung für diesen Versuch müssen einige Dimensionierungen von z. B. Widerständen durchgeführt werden. Für alle Aufgaben gelten die unten angegebenen Werte. Beachten Sie, daß ausnahmsweise U_T **nicht** 25mV ist. Für alle Berechnungen ist die Näherung $U_{BE}=0,7V$ unzulässig!

$$I_C \approx I_S \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right) \quad U_T = 25,8mV \quad I_S = 10^{-16}A \quad U_A = 100V \quad \beta \approx B = 100$$

2.1. Einfacher Stromspiegel

Die Schaltung des Einfachen Stromspiegels ist im folgenden Bild dargestellt. Der Eingangsstrom wird dabei durch die Spannungsquelle **VDC/SRC2=5V** und dem Widerstand R_1 bereitgestellt. Dieser Strom soll in den Transistor BJT1 „gespiegelt“ werden. Dazu muß der Widerstand R_1 bestimmt werden. Vernachlässigen Sie in Ihrer Synthese die Early-Spannung U_A ! Der Ausgangsstrom I_a , also der Kollektorstrom von BJT1, soll 1mA betragen.

- Berechnen Sie R_1 für den Fall, daß $B \approx B+1$ ist!
- Berechnen Sie R_1 für $B \neq B+1$ gilt!

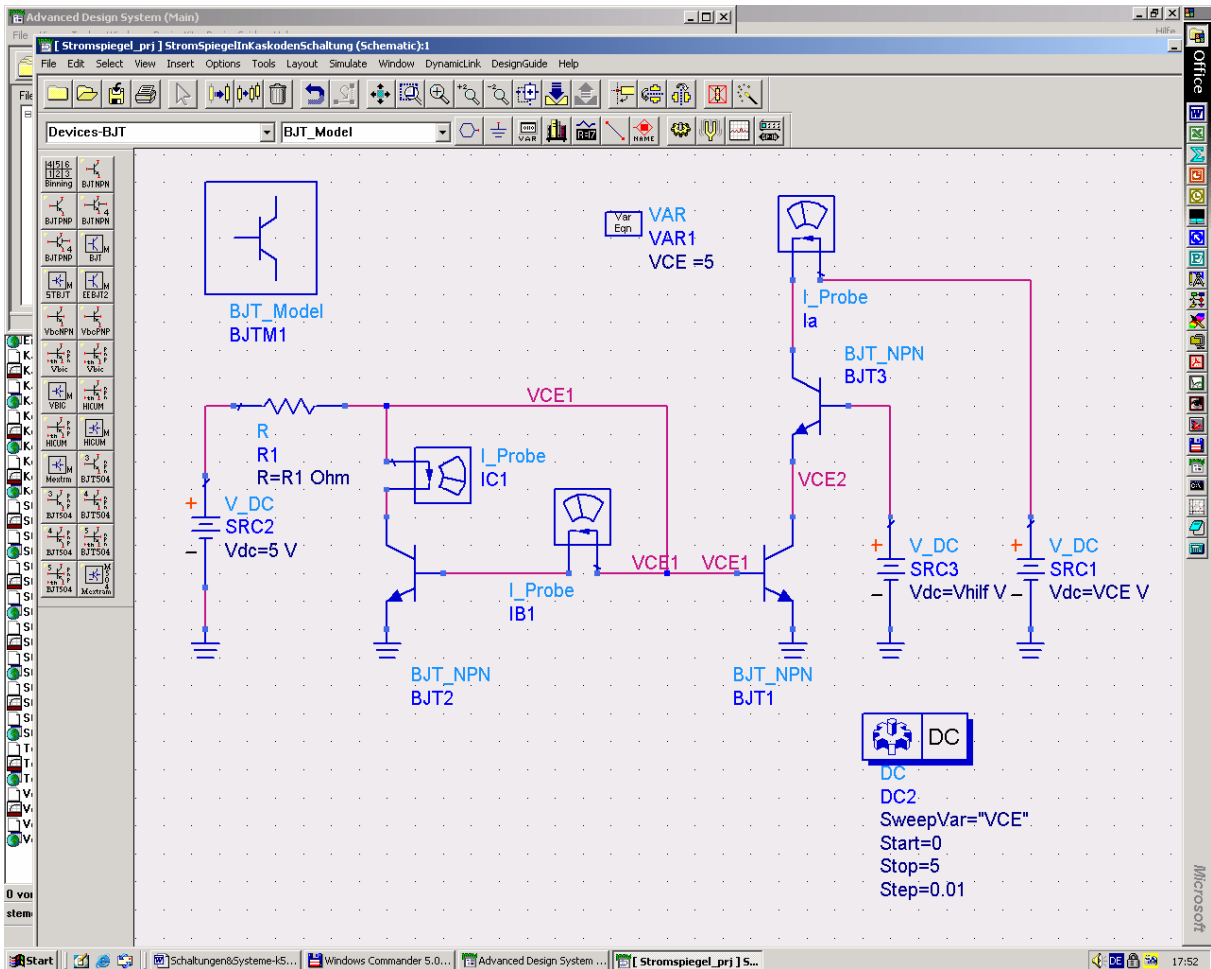


Schematic des „Einfachen Stromspiegels“

2.2. Stromspiegel in Kaskodenschaltung

Die Schaltung des Stromspiegel in Kaskodenschaltung ist im nächsten Schematic dargestellt. Der Eingangsstrom wird dabei durch die Spannungsquelle $V_{DC}/SRC2=5V$ und dem Widerstand R_1 bereitgestellt. Dieser Strom soll in den Transistor BJT1 „gespiegelt“ werden. Dazu muß wieder der Widerstand R_1 bestimmt werden. Vernachlässigen Sie in Ihrer Synthese die Early-Spannung U_A und den Einfluß des Transistors BJT3! Der Ausgangsstrom I_a , also der Kollektorstrom von BJT1, soll 1mA betragen.

- Berechnen Sie R_1 für den Fall, daß $B \approx B+1$ ist!
- Berechnen Sie R_1 für $B \neq B+1$ gilt!



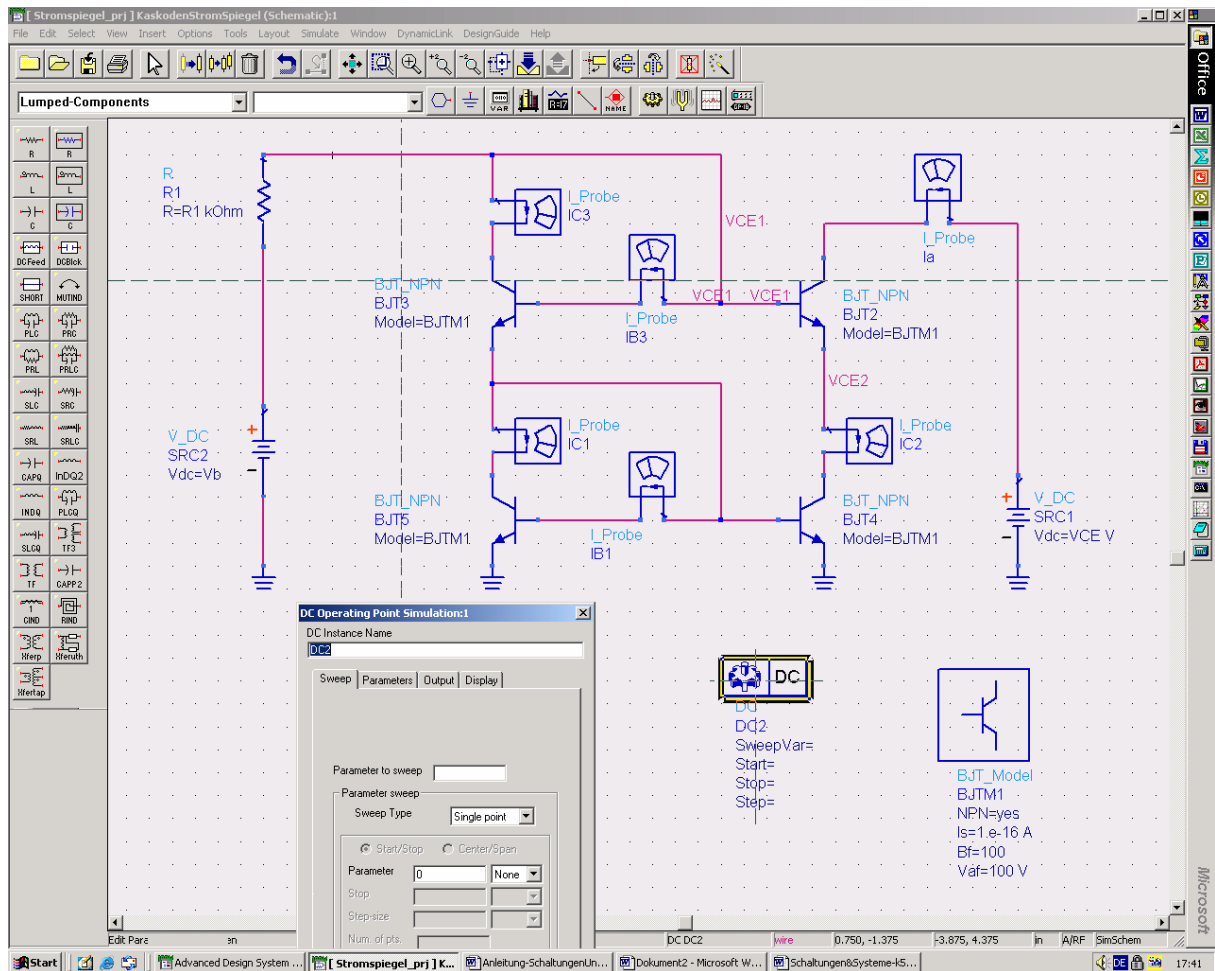
Schematic des Stromspiegels in Kaskodenschaltung

2.3. Kaskoden-Stromspiegel

Die Schaltung des Kaskoden-Stromspiegels ist im nächsten Bild zu sehen.

Der Eingangsstrom wird dabei durch die Spannungsquelle $V_{DC}/SRC2=5V$ und dem Widerstand R_1 bereitgestellt. Dieser Strom soll in den Ausgang „gespiegelt“ werden. Dazu muß der Widerstand R_1 bestimmt werden. Vernachlässigen Sie in Ihrer Synthese die Early-Spannung U_A ! Der Ausgangsstrom I_a (Kollektor-Strom von BJT2) soll erneut 1mA betragen.

- Berechnen Sie R_1 für den Fall, daß $B \approx B+1$ ist!
- Berechnen Sie R_1 für $B \neq B+1$ gilt!



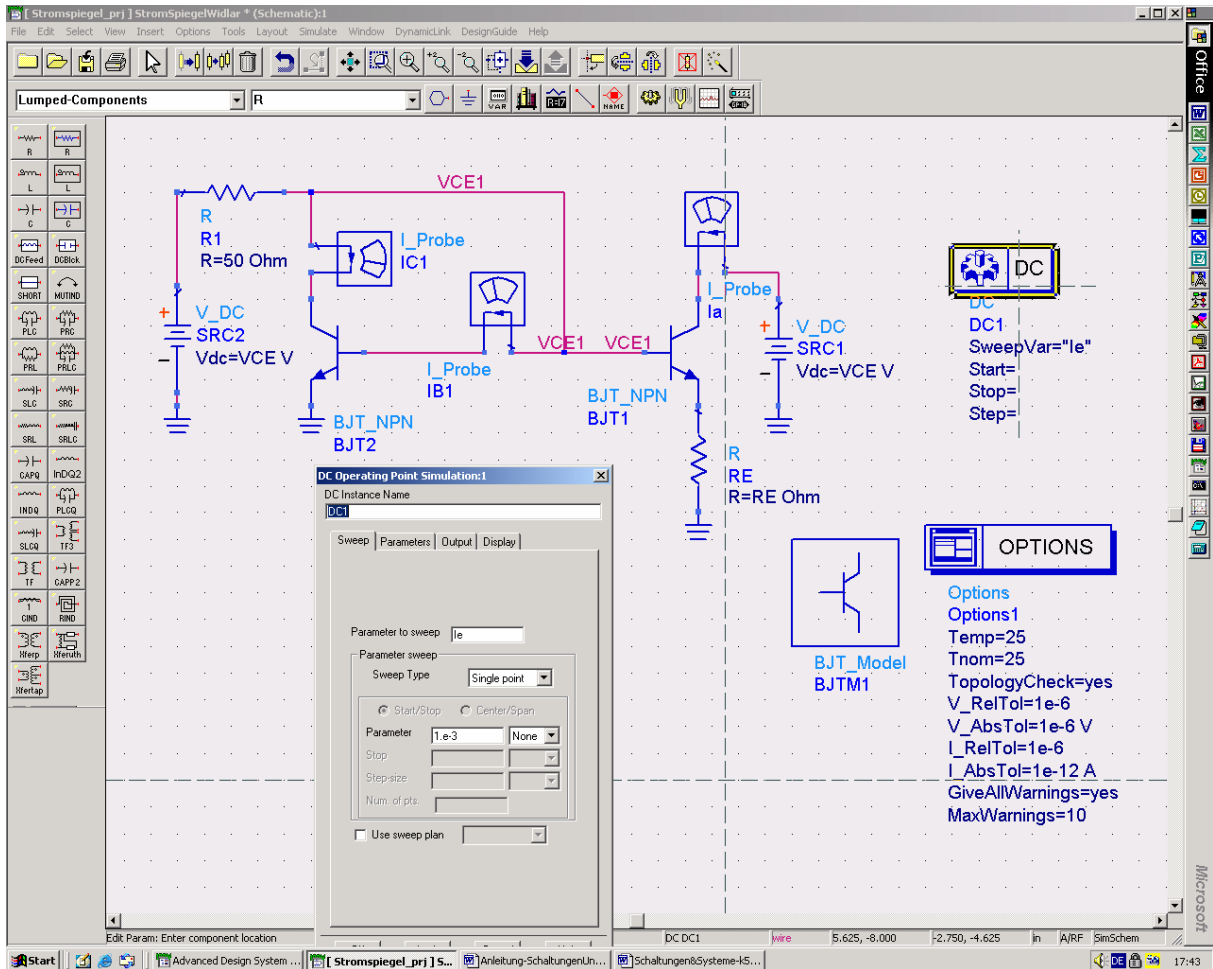
Schematic des Kaskoden-Stromspiegels

2.4. Widlar-Stromspiegel

Die Schaltung des Widlar-Stromspiegels ist im folgenden Bild zu sehen.

Der Eingangsstrom wird dabei durch die Spannungsquelle $V_{DC}/SRC2=5V$ und dem Widerstand R_1 bereitgestellt. Dieser Strom soll in den Transistor BJT1 „gespiegelt“ werden. Dazu muß der Widerstand R_E bestimmt werden. Vernachlässigen Sie in Ihrer Synthese die Early-Spannung U_A ! Der Ausgangsstrom I_a , also der Kollektorstrom von BJT1, soll $10\mu A$ betragen. Der Eingangsstrom durch R_1 soll $1mA$ betragen!

- Berechnen Sie R_1 und R_E für den Fall, daß $B \approx B+1$ ist!
- Berechnen Sie R_1 und R_E für $B \neq B+1$ gilt!



Schematic des Widlar-Stromspiegels

3. Versuchsdurchführung

Der Versuch gliedert sich in 3 Abschnitte. Zunächst soll der berechnete Arbeitspunkt überprüft werden. Danach wird das Verhalten der Spiegelschaltungen bei Belastung am Ausgang mittels DC-Simulationen untersucht. Im letzten Teil werden Ausgangswiderstand und Bandbreite jeder Schaltungsvariante im Frequenzbereich mittels einer AC-Simulation bestimmt.

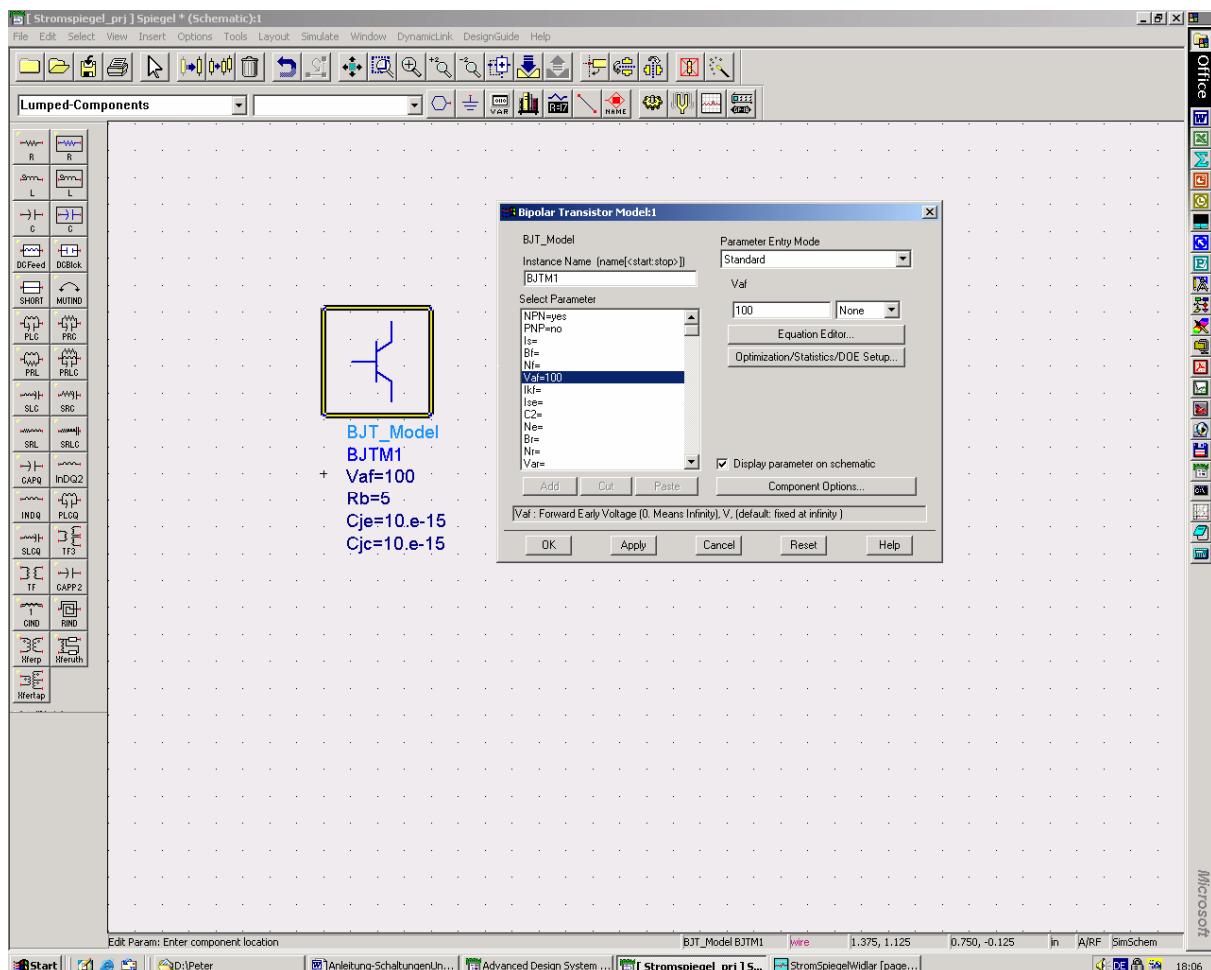
3.1. Arbeitspunkt und Übersetzungsverhältnis

Es sollen nun die nichtidealen Eigenschaften der verschiedenen Stromspiegel untersucht werden. Dazu müssen die Transistorparameter entsprechend eingestellt werden. Es gelten folgende Parameter:

Parameter	Wert
Stromverstärkung	$B = \beta = 100$
Early-Spannung	$U_A = 100V$
Basisbahnwiderstand	$R_B = 5\Omega$
Basis-Kollektor-Kapazität	$C_C = 10fF$
Basis-Emitter-Kapazität	$C_E = 10fF$

Alle anderen Werte verbleiben auf ihren Default-Werten.

Bei allen Schaltungsvarianten beträgt die Ausgangsspannung (Spannungsquelle an Seite 2) konstant 5V!



Eingabe der Transistor-Parameter im Schematic

3.1.1. Einfacher Stromspiegel

Geben Sie die Schaltung des einfachen Stromspiegels mit den zuvor ermittelten Werten in ADS ein. Überprüfen Sie Ihren Entwurf, in dem Sie die Kollektorströme der Transistoren mittels einer **DC-Simulation** messen. Verwenden Sie zur Berechnung der Ströme das Element I_Probe . Machen Sie nun folgende Untersuchungen:

- I_a für $R_1(B \approx B+1)$
- I_a/I_e für $R_1(B \approx B+1)$
- I_a für $R_1(B \neq B+1)$
- I_a/I_e für $R_1(B \neq B+1)$
- Optimieren Sie R_1 so, daß $I_a=1\text{mA}$ ist!
- Begründen Sie die Ergebnisse!

3.1.2. Stromspiegel in Kaskodenschaltung

Geben Sie den Stromspiegel in Kaskodenschaltung mit den zuvor ermittelten Werten in ADS ein. Überprüfen Sie Ihren Entwurf, in dem Sie die Kollektorströme der Transistoren mittels einer **DC-Simulation** messen. Setzen Sie die Hilfsspannung auf 3V! Machen Sie nun folgende Untersuchungen:

- I_a für $R_1(B \approx B+1)$
- I_a/I_e für $R_1(B \approx B+1)$
- I_a für $R_1(B \neq B+1)$
- I_a/I_e für $R_1(B \neq B+1)$
- Optimieren Sie R_1 so, daß $I_a=1\text{mA}$ ist!
- Begründen Sie Ihre Ergebnisse!

3.1.3. Kaskoden-Stromspiegel

Geben Sie den Kaskoden-Stromspiegel mit den zuvor ermittelten Werten in ADS ein. Machen Sie nun folgende Untersuchungen:

- I_a für $R_1(B \approx B+1)$
- I_a/I_e für $R_1(B \approx B+1)$
- I_a für $R_1(B \neq B+1)$
- I_a/I_e für $R_1(B \neq B+1)$
- Optimieren Sie R_1 so, daß $I_a=1\text{mA}$ ist!
- Begründen Sie die Ergebnisse!

3.1.4. Widlar-Stromspiegel

Geben Sie die Schaltung des Widlar-Stromspiegels in ADS ein. Überprüfen Sie Ihren Entwurf, in dem Sie die Kollektor-Ströme der Transistoren mittels einer **DC-Simulation** messen. Machen Sie nun folgende Untersuchungen:

- I_a für R_1 und R_E ($B \approx B+1$)
- I_a/I_e für R_1 und R_E ($B \approx B+1$)
- I_a für R_1 und R_E ($B \neq B+1$)
- I_a/I_e für R_1 und R_E ($B \neq B+1$)
- Optimieren Sie R_1 und R_E so, daß $I_a=10\mu A$ **und** $I_e=1mA$ ist!
- Begründen Sie Ihre Ergebnisse!

3.2. Lastverhalten

Eine wichtige Eigenschaft des Stromspiegels ist ein lastunabhängiger Ausgangsstrom. Dieses ist aber bei realen Transistoren nicht zu erreichen. Wird der angeschlossene Lastwiderstand größer als ein R_{max} , so zeigt sich plötzlich ein gänzlich anderes Verhalten.

Dieses Verhalten soll nun durch Variation der Ausgangsspannung (bisher konstant 5V) untersucht werden.

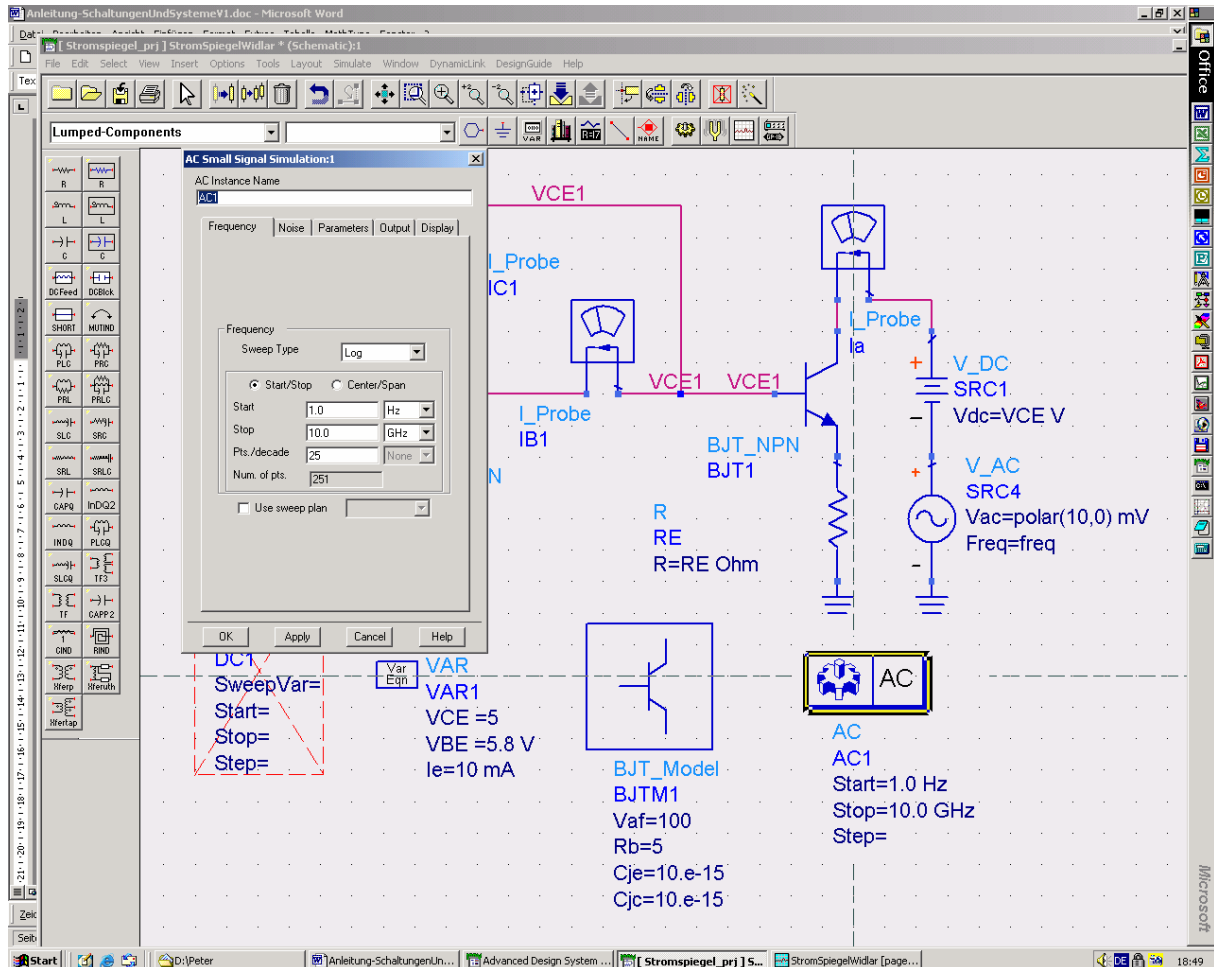
- Messen Sie nun den Ausgangsstrom als Funktion der Spannung an Seite 2 für alle 4 Stromspiegel. Variieren Sie die Spannung im Bereich 0V,...,5V!
- Welches Verhalten zeigt sich (insbesondere bei sehr kleinen Spannungen)?
- Optimieren Sie im Fall des Stromspiegels in Kaskodenschaltung die Hilfsspannung!
- Begründen Sie die Ergebnisse!

3.3. Ausgangswiderstand und Frequenzgang

Der Ausgangswiderstand ist ein weiteres wichtiges Merkmal. Kleine Lastschwankungen sollten nicht zu einer Schwankung des Stromes führen. Dieses Verhalten sollte idealerweise unabhängig von der Frequenz sein.

Um dieses zu untersuchen, wird eine Kleinsignalanalyse durchgeführt. Dazu wird in den Modus **AC-Simulation** gewechselt und am Ausgang zusätzlich eine Wechselspannungsquelle angeschlossen. Die Amplitude ist sinnvollerweise auf einen Wert von wenigen Millivolt einzustellen. Mit Hilfe des Wechselanteils im Ausgangsstrom kann der Ausgangswiderstand gemessen werden. Diese Untersuchung soll wieder für alle 4 Stromspiegel durchgeführt werden.

Machen Sie die Simulationen im Bereich 1HZ,...,10GHZ und verwenden Sie einen logarithmischen Sweep.



Schematic für Kleinsignal-Simulation

- Welche Ausgangswiderstände ergeben sich bei kleinen Frequenzen (etwa DC)?
- Welche Grenzfrequenzen zeigen die einzelnen Schaltungen, wenn dort der Ausgangswiderstand auf das 0,707fache des Wertes bei DC abgefallen ist?