

FACHHOCHSCHULE DÜSSELDORF

FACHBEREICH ELEKTROTECHNIK

**Praktikum
Schaltungen & Systeme**

**Versuch 4:
Aufbau eines Gilbert-Modulators und
Simulation im Betrieb als Down-Converter**

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

Name:

Matr.-Nr.:

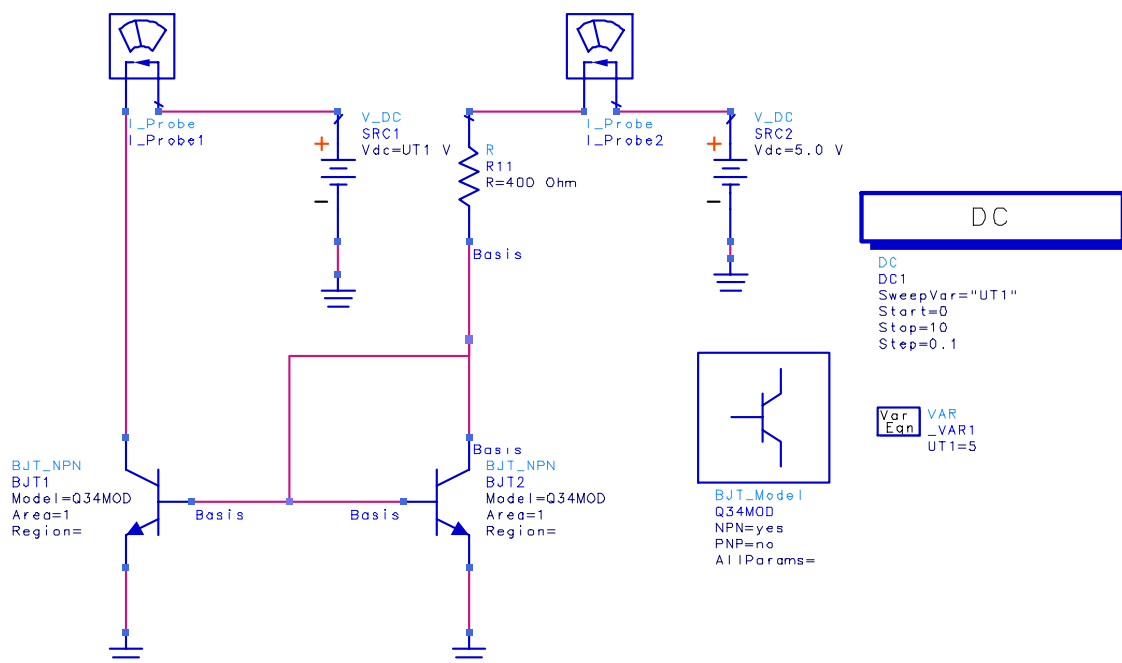
Testat:

1. Einleitung

Ergänzend zur Vorlesung soll in diesem Praktikumsversuch die Funktionsweise eines Gilbert-Modulators untersucht werden. Ziel dieses Versuches ist es, einige Eigenschaften eines selbst entworfenen Down-Converters mit Hilfe der Harmonic Balance Simulation für den Einsatz im DECT-Band (1,8GHz) zu bestimmen.

Diese Untersuchungen werden mittels des Simulations-Tools **A**dvanced **D**esign **S**ystem, ADS, der Firma Agilent Technologies durchgeführt. In diesem Versuch werden sowohl DC- als auch nichtlineare Harmonic-Balance Simulationen durchgeführt.


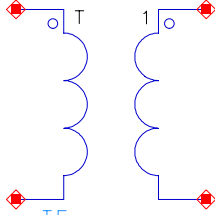
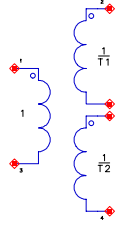
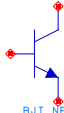

Die Eingabe der Schaltung erfolgt grafisch mittels Schematic-Entry. Ein Ausschnitt eines derartigen Schaltplans ist im folgenden Bild dargestellt.

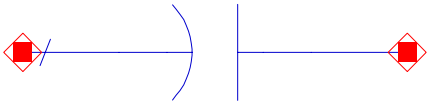
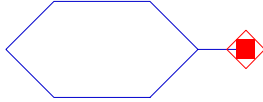


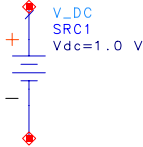
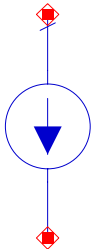


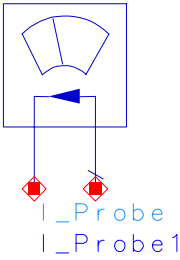
Ausschnitt eines Schematic-Entry für Stromspiegel

Um die grundlegenden Eigenschaften des Down-Converters untersuchen zu können, sind verschiedene Elemente für die Schaltungsbeschreibung notwendig. Die folgende Liste gibt eine sinnvolle Auswahl an Elementen für diese Aufgabe an.

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

| Name | Schematic-Symbol |
|-------------|--|
| Resistor |  <p>R R1 R=5.0e-008 GOhm</p> |
| Transformer |  <p>TF TF1 T=1.00</p> |
| Transformer |  <p>TF3 TF1 T1=1.00 T2=1.00</p> |
| BJT |  <p>BJT_NPN BJT1 Model=BJT_NM1 Area= Region= Temp= Mode=nonlinear</p> |
| BJT-Model |  <p>BJT_Model BJTM1 NPN=yes Br= Cje= Rc= PNP=no Ikr= Vjc= Kf= Bf= Isc= Mjc= Af= Ikf= Nc= Xcjc= Kb= Isc= Var= Fc= Ab= Ne= Nr= Cje= Fb= Vof= Tr= Vje= Ftem= Nf= Ege= Mje= Lateralno= Tf= Is= Cjs= AllParams= Xlf= Imax= Vjam= Vlf= Xlf= Mjs= Ilf= Tnom= Rb= Plf= Nk= Irb= Xlb= Isa= Rms= Approxq=yes Ns= Re=</p> |

| | |
|------------------------------------|--|
| <p>Capacitor</p> |  <pre>C C1 C=1.0 pF</pre> |
| <p>Port</p> |  <pre>Port P1 Num=1</pre> |
| <p>DC Simulation</p> |  <pre>DC DC1 SweepVar="VBE" Start=1 Stop=10 Step=1</pre> |
| <p>Harmonic-Balance Simulation</p> |  <pre>HarmonicBalance HB1 MaxOrder=4 Freq[1]=1.0 GHz Order[1]=3 UseKrylov= SweepVar="RFpower" Start=1 Stop=10 Step=1</pre> |
| <p>V-DC</p> |  <pre>V_DC SRC1 Vdc=1.0 V</pre> |
| <p>I-nTone</p> |  <pre>I_nTone SRC1 Freq[1]=1 GHz Freq[2]=1.2 GHz I[1]=polar(1,0) mA I[2]=polar(2,0) mA</pre> |

| | |
|-----------------------------|---|
| <p>Measurement Equation</p> | <pre> MeasEqn IP3out ipo2 TOIoutput1=ip3_out(Vif,{-1,1,0},{-1,2,-1},50) MeasEqn meas1 VifTone=dBm(mix(Vif,{-1,1,0})) VifIMDTone=dBm(mix(Vif,{-1,2,-1})) TOIoutput2=1.5*VifTone-0.5*VifIMDTone </pre> |
| <p>I-Probe</p> |  |
| <p>Var</p> | <pre> VarEqn VAR _VAR1 UT1=5 </pre> |

2. Versuchsvorbereitung

Aufgabe: Entwerfen Sie eine Stromspiegelschaltung, die als Konstantstromquelle arbeiten soll. Die Speisespannung betrage 5 V bei einem Nennstrom von 2mA. Wie groß muß der Widerstand gewählt werden? *Hinweis: Lesen Sie Kapitel 5.1 und 5.2 des Vorlesungsumdrucks!*

3. Versuchsdurchführung

3.1 Aufbau des Stromspiegels

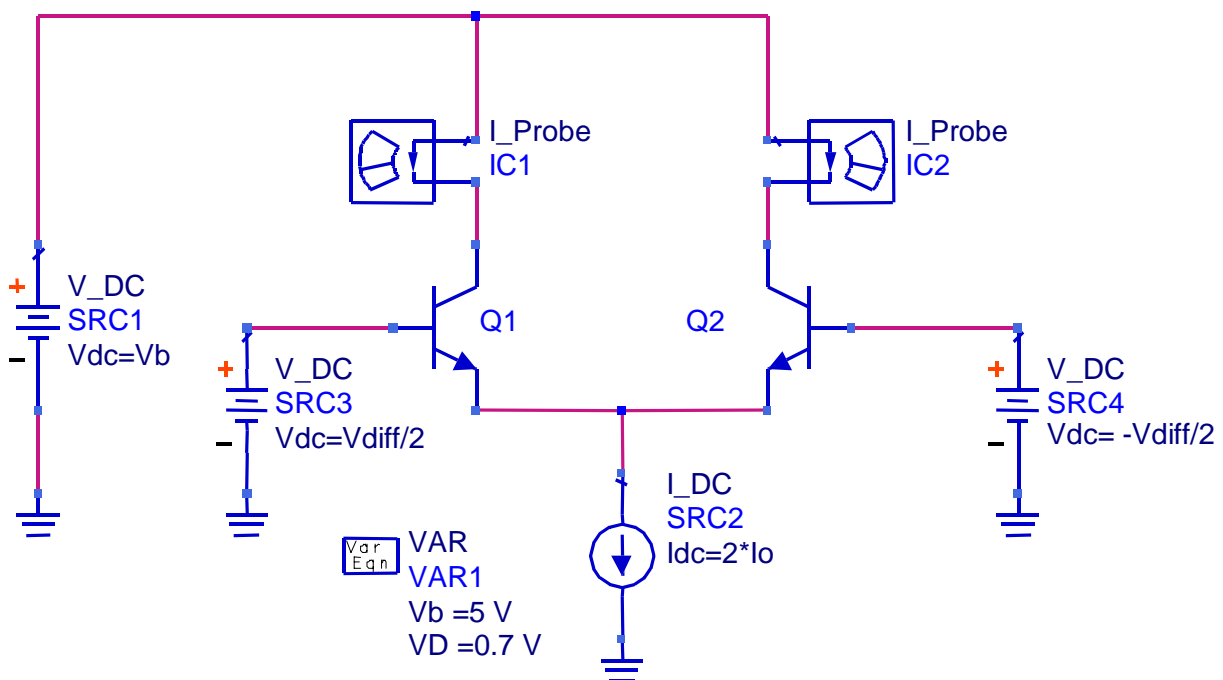
Machen Sie sich mit der Benutzeroberfläche von ADS vertraut und geben Sie die Stromspiegelschaltung in ADS ein. Überprüfen Sie Ihren Entwurf, in dem Sie die Ströme durch die einzelnen Transistoren messen. Testen Sie die Schaltung für verschiedene Werte von R mittels eines **Parametersweeps** während einer **DC-Simulation**. Stellen Sie den Strom als Funktion des Widerstandes dar. Plotten Sie das Ergebnis!

Falls Sie mit Ihrem Entwurf nicht zufrieden sind, optimieren Sie den Widerstand mit Hilfe der zuvor durchgeführten Simulationsergebnisse. Testen Sie die Funktionsweise der optimierten

Schaltung, in dem Sie nun die Kollektorspannung an dem Transistor variieren, der als Stromquelle wirken soll. Plotten Sie das Ergebnis. Welche **Aussteuergrenzen** ergeben sich?

3.2 Aufbau des Gilbert-Modulators

Der Gilbert-Modulator besteht aus mehreren Differenzverstärkern. Das Schaltbild eines Differenzverstärkers ist unten dargestellt.



Prinzip des Differenzverstärkers mit Bipolar-Transistoren und idealer Stromquelle mit $2 \cdot I_0 = 2 \text{ mA}$

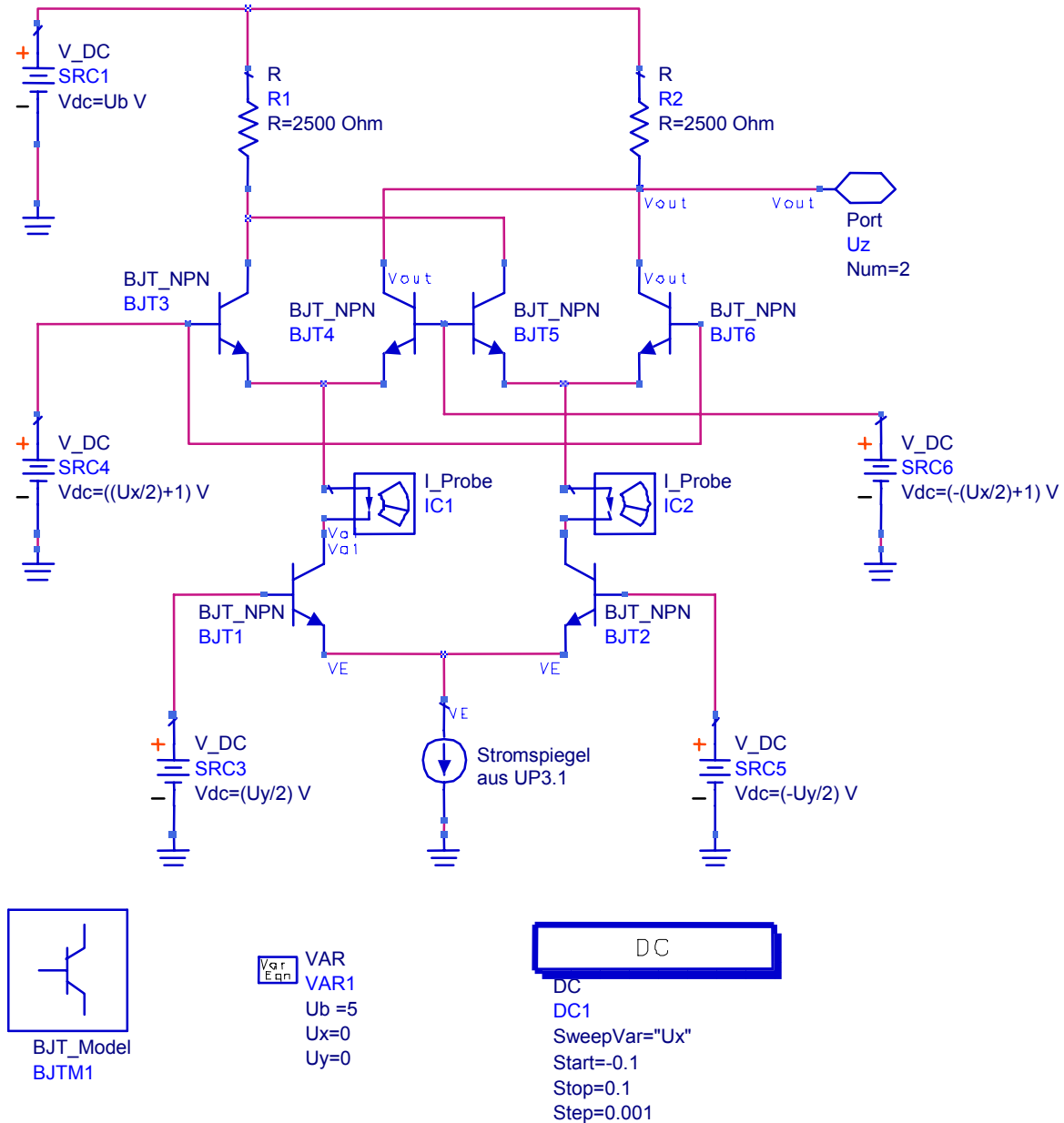
Die Theorie des einfachen Differenzverstärkers finden Sie in Kapitel 6.1 der Vorlesung.

Nachdem Sie nun mit ADS vertraut sind, können Sie beginnen, den Modulator zu entwerfen. Erweitern Sie den Stromspiegel um die 6 Transistoren des Mischers und verwenden Sie Lastwiderstände von jeweils 2500Ω . Der Mischer soll ebenfalls eine Speisespannung von 5V haben.

Die Theorie des Gilbert-Modulators finden Sie in Kapitel 6.4 der Vorlesung.

Welche Werte für die Basisspannungen ergeben sich dann sinnvollerweise mit den Erkenntnisse aus Unterpunkt 3.1?

Realisieren Sie die Basisspannungen mit geeigneten idealen Elementen von ADS und messen Sie die einzelnen Kollektorströme sowie Kollektorspannungen.



Schaltbild eines (Gilbert-Modulator) bestehend aus 6 Transistoren, Ansteuerung des unteren Differenzverstärkers (BJT1 und BJT2) mit U_y , Ansteuerung der oberen Differenzverstärker (BJT3, BJT4 bzw. BJT5, BJT6) mit U_x , Ausgangssignal Zu

3.3 Gleichstromverhalten des Gilbert-Modulators

- Variieren Sie nun mittels eines Parametersweeps die Basisspannungen der beiden unteren Transistoren gegensinnig und führen Sie wieder die Messungen der Ströme und Spannungen durch.
- Stellen Sie nun wieder die Ausgangswerte für die Basisspannungen ein und variieren Sie mittels eines Parametersweeps die Basisspannungen der vier oberen Transistoren gegensinnig und führen Sie wieder die Messungen der Ströme und Spannungen durch.

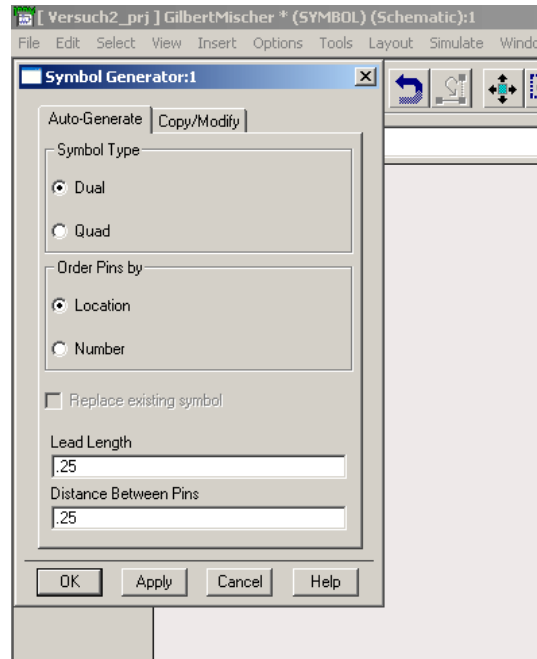
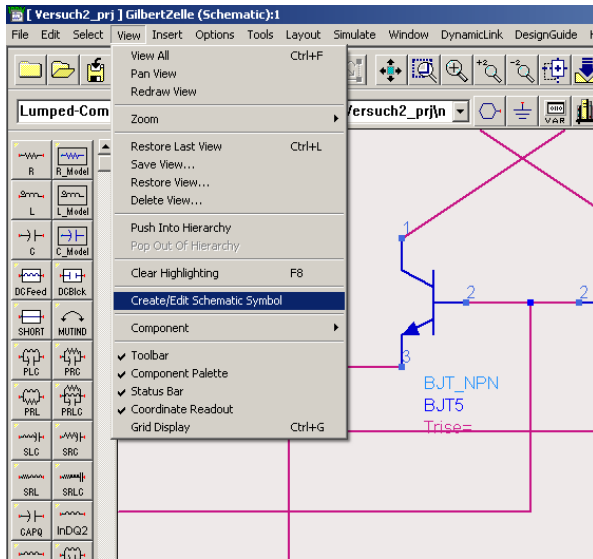
Welche Ergebnisse stellen sich ein? Erklären Sie die Resultate!

Antwort:

3.4 Wechselstromverhalten des Mischers

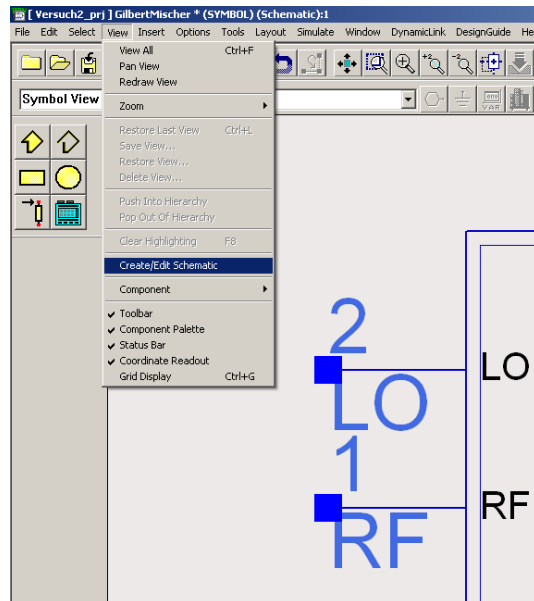
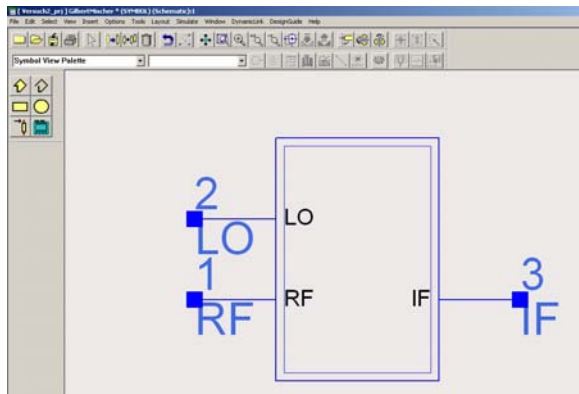
Erweitern Sie Ihre Schaltung derart, daß 2 Wechselsignale (oberer und unterer Zweig) mit Hilfe von Transformatoren eingespeist und das Ausgangssignal ausgekoppelt werden kann. Die Arbeitspunkte sollen **nicht** verändert werden. Versehen Sie Ihre Schaltung mit Ports (LO, RF und IF für den Ausgang) und speichern Sie die Schaltung unter dem Namen *GilbertMischer* ab.

Generieren Sie nun ein eigenes Symbol für den *GilbertMischer*. Dazu gehen Sie über den Menü-Punkt „*View*→*Create/Edit Schematic Symbol*“ in den entsprechenden Editor und bestätigen die Vorgaben von ADS!



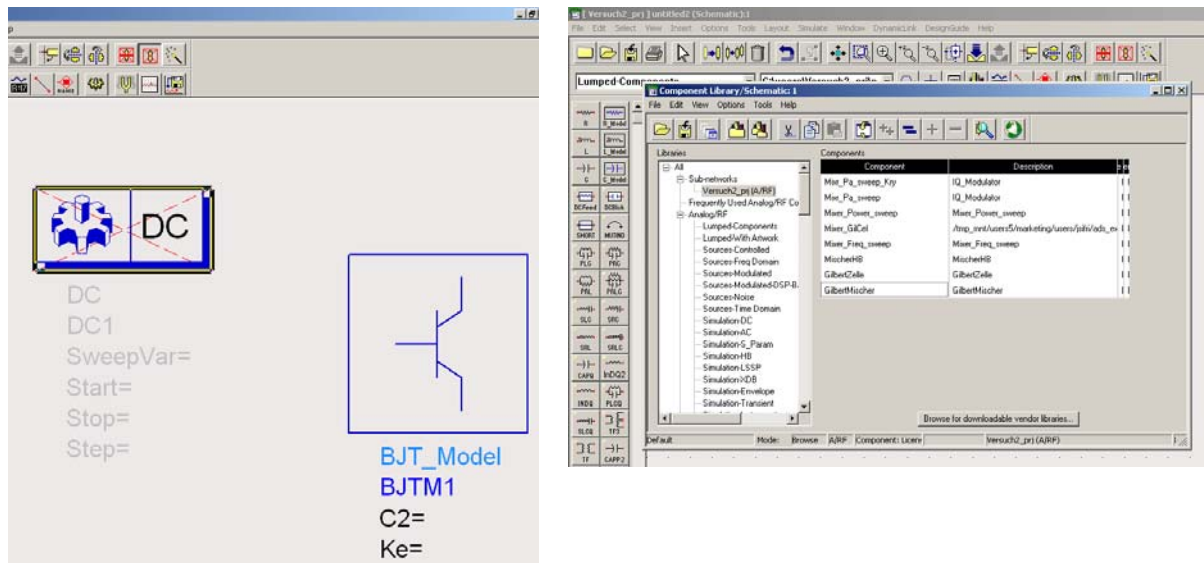
Aufruf des Symbol-Editors

Sie erhalten nun automatisch das neue Symbol für Ihren Mischer. Mittels „View→Create/Edit Schematic Symbol“ gelangen Sie zurück ins Schematic!



Automatisch generiertes Symbol im Symbol-Editor und Rückkehr in den Schematic-Editor

Deaktivieren Sie nun das DC-Item im Schematic und speichern Sie die Schaltung ab. Öffnen Sie ein neues Schematic und laden Sie mittels „Library-Component“ ihren Mischer.

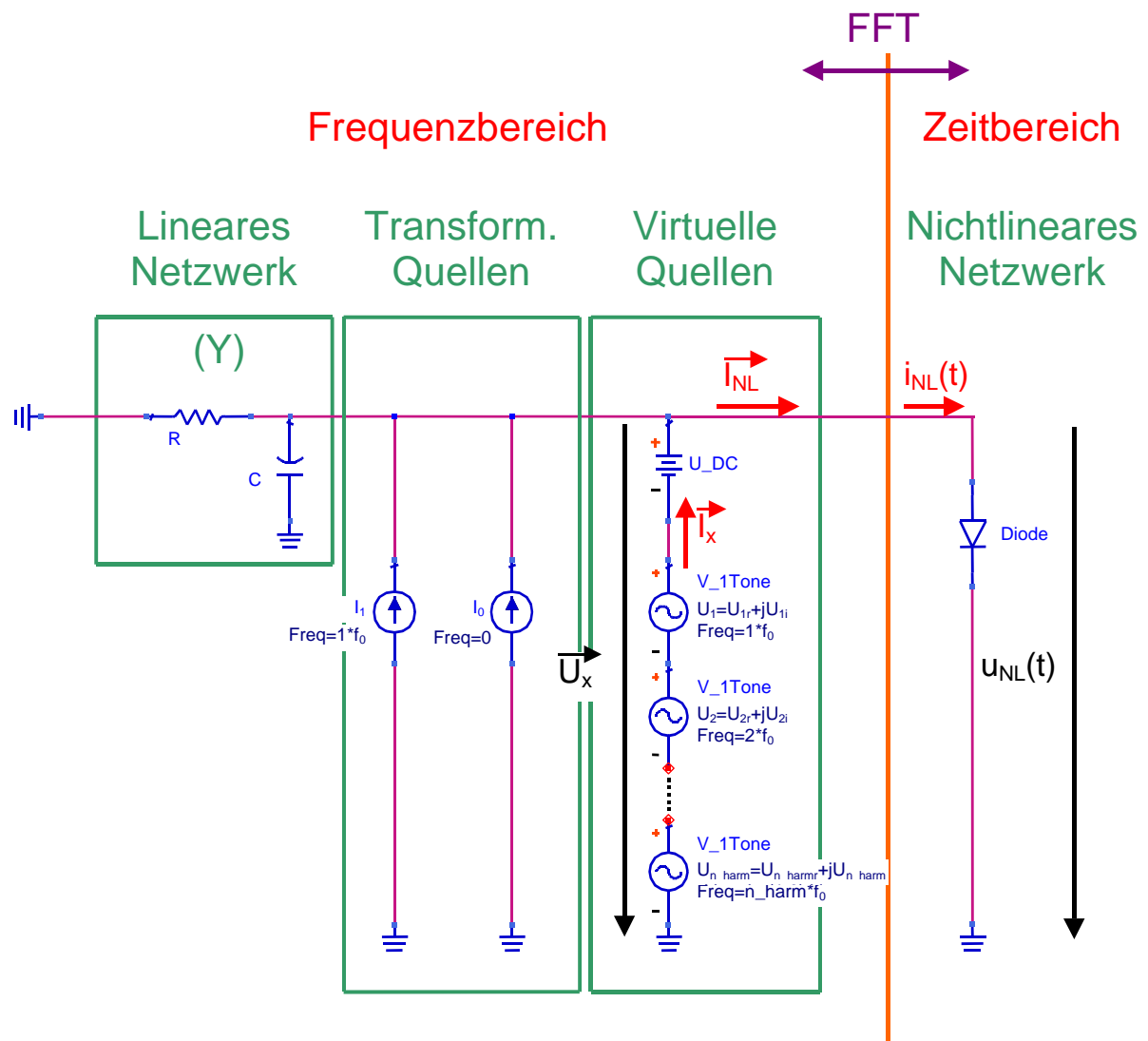


Automatisch generiertes Symbol im Symbol-Editor und Rückkehr in den Schematic-Editor

Beschalten Sie jetzt die Eingänge des Mischers mit Quellen unterschiedlicher Frequenz (1890 MHz und 1880 MHz) und Amplitude. Beschalten Sie den Ausgang des Mischers mit einem Lastwiderstand von 50Ω und führen Sie eine *Harmonic-Balance-Simulation* durch (siehe übernächstes Bild).

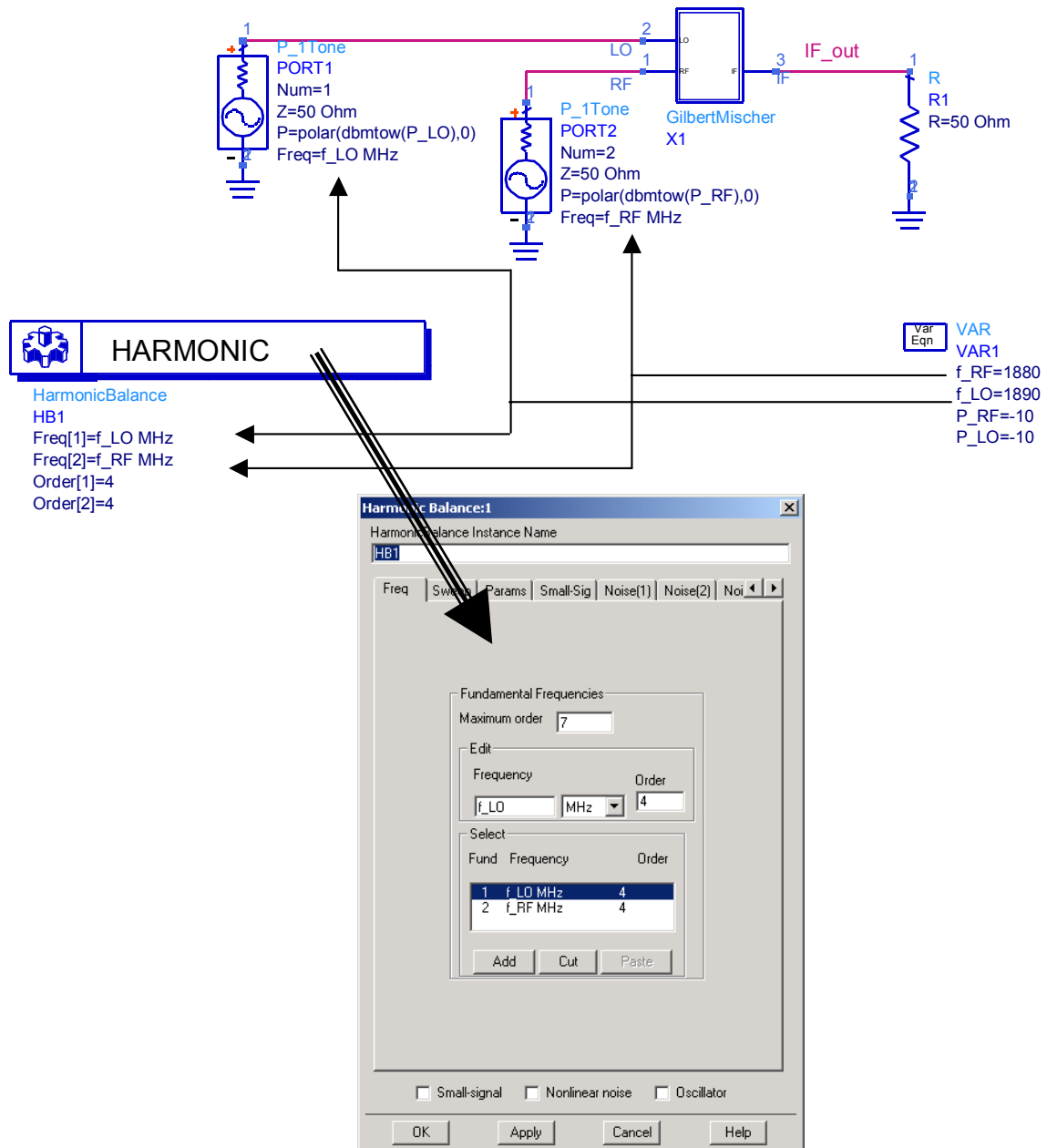
Die Harmonic-Balance ist ein spezielles Verfahren zur Berechnung nichtlinearer Schaltungen im Frequenzbereich. Dabei wird das Netzwerk in einen rein linearen Teil und in einen nichtlinearen Teil zerlegt. Mittels einer Fourier-Transformation (genauer: Entwicklung der unbekannt Ströme in eine Fourier-Reihe) werden die Ströme im nichtlinearen Schaltungsteil iterativ berechnet.

Dazu müssen die Ordnung der Fourier-Reihe sowie die Grundfrequenzen der Eingangssignale vom Benutzer angegeben werden. Diese geschieht mit Hilfe des *Harmonic-Balance-Items*!

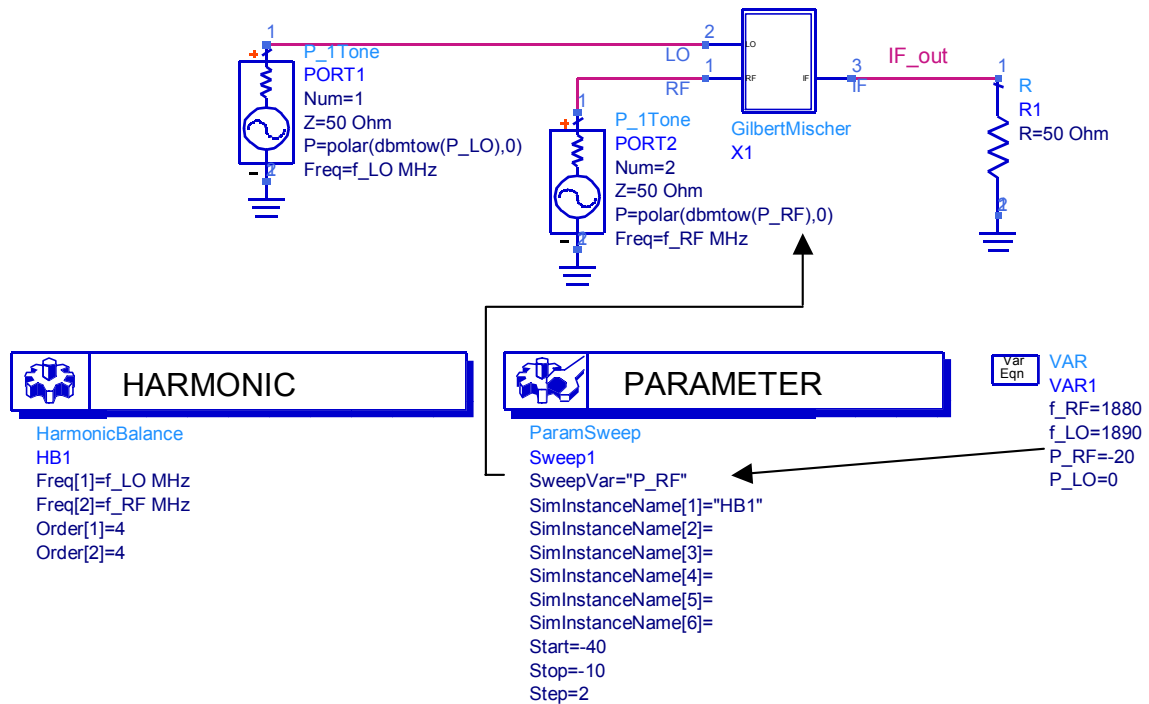


Prinzipialschaltbild der Harmonic Balance

- Messen Sie das Spektrum am Ausgang des Mischers.
- Welche Amplitude hat das gewünschte Ausgangssignal, wenn beide Eingangssignale einen Wert von -10 dBm haben?
- Welche Komponenten entstehen noch? Stellen Sie dazu das Spektrum in Tabellenform dar!
- Führen Sie einen ParameterSweep durch, in dem Sie das Signal am Port RF von -40 dBm bis -10 dBm in 2 dB-Schritten gemäß dem folgenden Bild variieren. Beachten Sie den Pegel des LO-Signals.

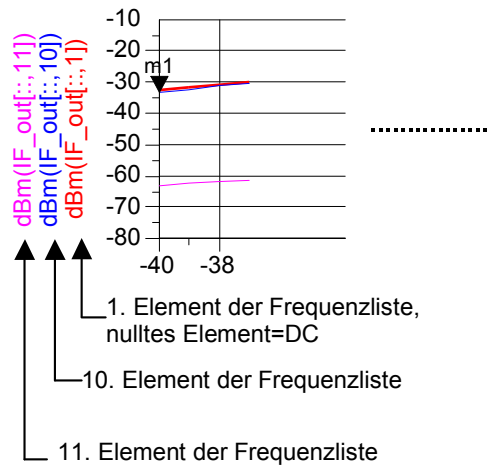


Schematic für Harmonic-Balance-Simulation



Schematic für Harmonic-Balance-Simulation mit ParameterSweep

Untersuchen Sie den Verlauf verschiedener Komponenten des Spektrums des Ausgangssignals! Verwenden Sie dazu die nachstehende Syntax!



Auswahl der Frequenzkomponenten

Was ist zu beobachten? Welche Steigungen haben die einzelnen Komponenten?