

FACHHOCHSCHULE DÜSSELDORF

FACHBEREICH ELEKTROTECHNIK

**Praktikum
Schaltungen & Systeme**

**Versuch 2:
Untersuchung von Quarz-Oszillatoren mit
ADS**

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

Name:

Matr.-Nr.:

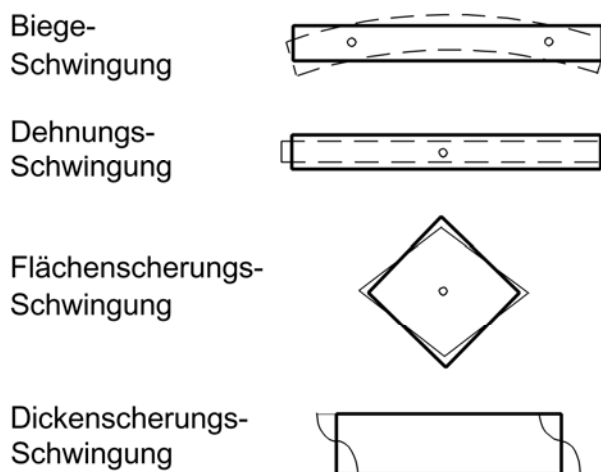
Testat:

1. Einleitung

Ergänzend zur Vorlesung sollen in diesem Praktikumsversuch einige Eigenschaften verschiedener Quarz-Oszillatoren untersucht werden.

Quarze als Resonator in Oszillatoren spielen in der Praxis eine sehr große Rolle: Von der Quartz-Uhr über den Taktgeber in einem PC, Mobiltelefon oder CD-Spieler bis hin zur genauen Frequenzreferenz in einem Meßgerät wie Frequenzzähler sind sie anzutreffen.

Der Grund dafür ist die hohe Frequenzkonstanz bzw. Schwingungsgüte. Der Quarz führt mechanische Schwingungen aus, die aufgrund des piezoelektrischen Effektes in elektrische Schwingungen umgesetzt werden. Dabei sind verschiedene mechanische Schwingungsformen möglich.



Mögliche mechanische Schwingungsformen eines Quarzes

Die mechanischen Resonatoren werden aus Quarz, der einkristallinen Variante des Siliziumdioxid SiO_2 , hergestellt. Nur eine spezielle Variante von Quarz hat piezoelektrische Eigenschaften. Siliziumdioxid tritt in der Natur in mehreren Zustandsformen auf. Obwohl 14% der Erdoberfläche aus SiO_2 bestehen, kommt die einkristalline Zustandsform, Quarz oder auch Bergkristall genannt, nur sehr selten vor.



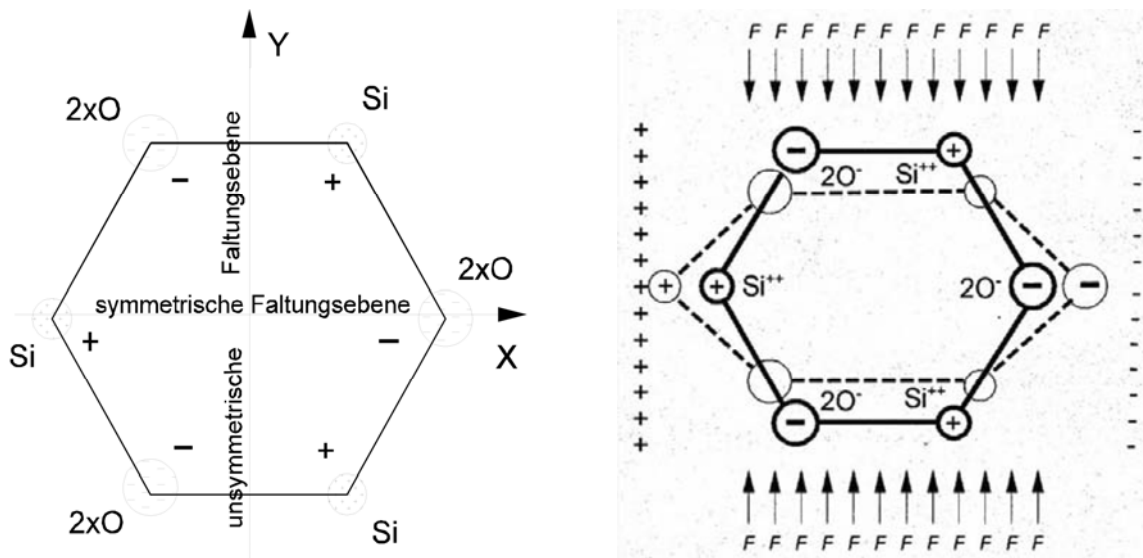
Links: Natürliche Quarzkristalle



Rechts: Synthetische Quarzkristalle

Piezoelektrisch heißt Entstehung einer elektrischen Spannung durch mechanischen Druck. Durch mechanische Deformation bestimmter Kristalle entsteht auf deren Oberflächen eine unsymmetrische elektrische Ladungsverteilung. Diese Erscheinung nennt man den direkten piezoelektrischen Effekt. Umgekehrt, die Entstehung einer Deformation des Kristalls auf Grund einer elektrischen Spannung nennt man den umgekehrten piezoelektrischen Effekt. Beide Effekte sind streng proportional. Voraussetzung für die piezoelektrische Eigenschaft eines Kristalls ist das Vorhandensein einer polaren Achse. In der Kristallographie nennt man eine Kristallachse polar, wenn bei Drehung um diese Achse die Strukturzelle nicht deckungsgleich ist. Man spricht auch von einer unsymmetrischen Faltungsebene. Beim Quarz ist die x-Achse die polare Achse. Im folgenden Bild ist die Strukturzelle von Quarz vereinfacht dargestellt. Die kleinen Kreise stellen hierbei die positiv geladenen Si-Ionen dar, die größeren Kreise die negativ geladenen O-Ionen.

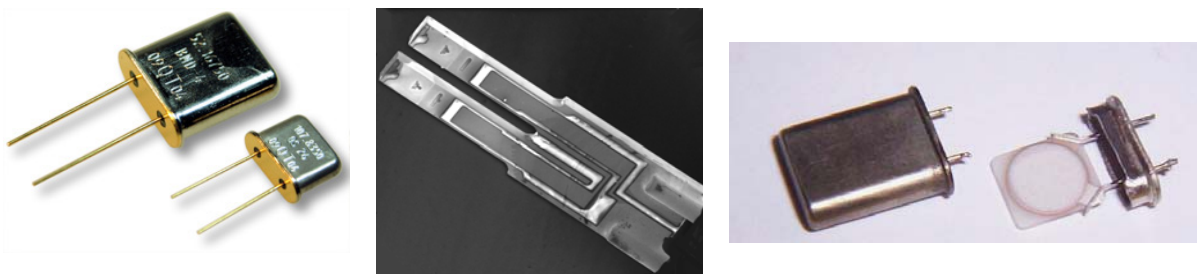
Verformt man den Kristall durch Druck in Richtung der x-Achse, verschieben sich die positiven und negativen Ionen gegeneinander. Es entsteht eine elektrische Polarisation in Richtung der X-Achse. Die Folge ist eine elektrische Spannung auf den entsprechenden Oberflächen des Kristalls, in diesem Fall auf den x-Flächen.



Links: Vereinfachte Kristallstruktur von Quarz

Rechts: Verformung von Quarz unter Krafteinwirkung und Ausbildung einer Spannung

Beispiele für Schwingquarze mit elektrischer Ankopplung sind in den folgenden Bildern dargestellt.



Gehäuseformen von Schwing-Quarzen und mögliche elektrische Ankopplungen

Die elektrische Ankopplung bewirkt eine Kapazität C_0 zwischen den beiden Elektroden.

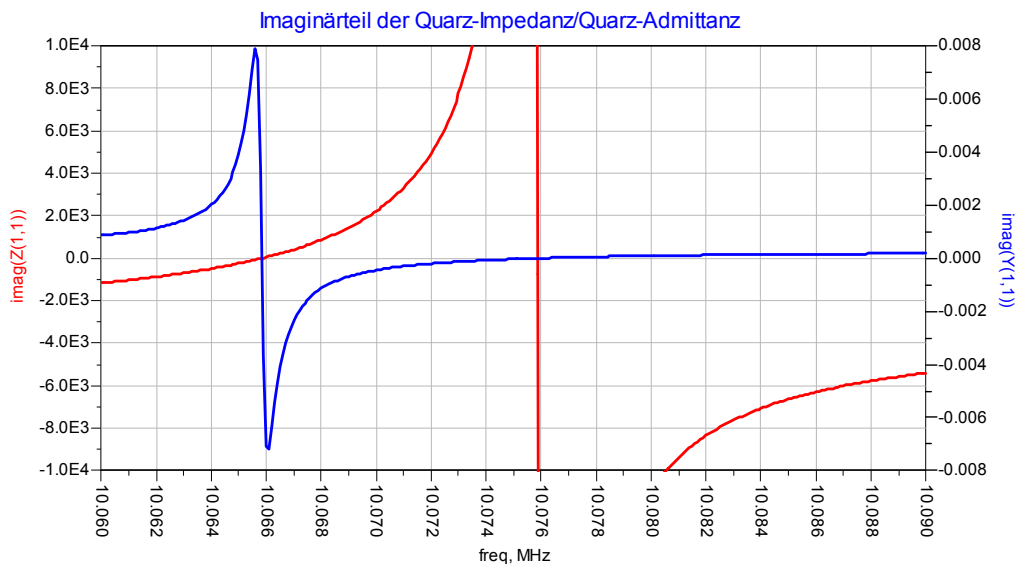
Der Quarz selbst kann durch einen verlustbehafteten Reihenschwingkreis beschrieben werden. Damit ergibt sich das folgende Ersatzschaltbild bzw. Schaltzeichen.



Links: Ersatzschaltbild des Quarzes mit Anschlußkapazität C_0

Rechts: Schaltzeichen eines Quarzes, insbesondere angelsächsische Variante

Aufgrund der Ersatzschaltung existieren zwei verschiedene Resonanzfrequenzen: Eine Parallel- und eine Serienresonanz, die sehr nahe beieinander liegen. Dieser Sachverhalt ist für einen 10MHz-Quarz im folgenden Bild dargestellt.










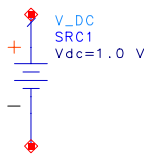
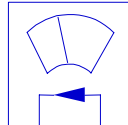

Imaginärteil der Impedanz bzw. Admittanz eines 10MHz-Quarzes

Vorbereitung: Bestimmen Sie allgemein die Serien- und die Parallelresonanzfrequenz eines Quarzes.

Im folgenden Versuch sollen nun beispielhaft 3 verschiedene Oszillator-Schaltungen untersucht werden. Dazu sind jeweils die Kleinsignalersatzschaltbilder Grundlage der Schwingungsberechnung!

Eine Auswahl an wichtigen Elementen für diesen Versuch ist in der folgenden Tabelle gegeben. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Elemente ist der Help-Funktion von ADS zu entnehmen.

Name	Schematic-Symbol																																													
<p>HarmonicBalance</p>	 <p>HarmonicBalance HB1 Freq[1]=1.0 GHz Order[1]=3</p>																																													
<p>Options</p>	 <p>Options Options1 Temp=25 Tnom=25 V_RelTol= V_AbsTol= I_RelTol= I_AbsTol= GiveAllWarnings=yes MaxWarnings=10</p>																																													
<p>Resistor</p>	 <p>R R1 R=5.0e-008 GOhm</p>																																													
<p>BJT</p>	 <p>BJT_NPN BJT1 Model=BJT_NM1 Area= Region= Temp= Mode=nonlinear</p>																																													
<p>BJT-Model</p>	 <p>BJT_Model BJTModel NPN=yes PNP=no Bf= Ikf= Iss= Ne= Vaf= Wf= Tf= Xif= Yif= Iff= Pff= Xfb= Approxq=yes</p> <table border="0"> <tr> <td>Br=</td> <td>Cjc=</td> <td>Rc=</td> </tr> <tr> <td>Ikf=</td> <td>Vjc=</td> <td>Kf=</td> </tr> <tr> <td>Isc=</td> <td>Mjc=</td> <td>Af=</td> </tr> <tr> <td>Nc=</td> <td>Xcjc=</td> <td>Kb=</td> </tr> <tr> <td>Vaf=</td> <td>Fc=</td> <td>Ab=</td> </tr> <tr> <td>Nr=</td> <td>Cje=</td> <td>Fb=</td> </tr> <tr> <td>Tr=</td> <td>Vje=</td> <td>Ffe=</td> </tr> <tr> <td>Eg=</td> <td>Mje=</td> <td>Literalno=</td> </tr> <tr> <td>Is=</td> <td>Cjs=</td> <td>AllParams=</td> </tr> <tr> <td>Imax=</td> <td>Vjs=</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Xl1=</td> <td>Mjs=</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tnom=</td> <td>Rb=</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nk=</td> <td>Irb=</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Isa=</td> <td>Rsa=</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ns=</td> <td>Rs=</td> <td></td> </tr> </table>	Br=	Cjc=	Rc=	Ikf=	Vjc=	Kf=	Isc=	Mjc=	Af=	Nc=	Xcjc=	Kb=	Vaf=	Fc=	Ab=	Nr=	Cje=	Fb=	Tr=	Vje=	Ffe=	Eg=	Mje=	Literalno=	Is=	Cjs=	AllParams=	Imax=	Vjs=		Xl1=	Mjs=		Tnom=	Rb=		Nk=	Irb=		Isa=	Rsa=		Ns=	Rs=	
Br=	Cjc=	Rc=																																												
Ikf=	Vjc=	Kf=																																												
Isc=	Mjc=	Af=																																												
Nc=	Xcjc=	Kb=																																												
Vaf=	Fc=	Ab=																																												
Nr=	Cje=	Fb=																																												
Tr=	Vje=	Ffe=																																												
Eg=	Mje=	Literalno=																																												
Is=	Cjs=	AllParams=																																												
Imax=	Vjs=																																													
Xl1=	Mjs=																																													
Tnom=	Rb=																																													
Nk=	Irb=																																													
Isa=	Rsa=																																													
Ns=	Rs=																																													

<p>Capacitor</p>	 <p>C C1 C=1.0 pF</p>
<p>DC Simulation</p>	 <p>DC DC1 SweepVar="VBE" Start=1 Stop=10 Step=1</p>
<p>V-DC</p>	 <p>V_DC SRC1 Vdc=1.0 V</p>
<p>I-Probe</p>	 <p>I_Probe I_Probe1</p>
<p>Var</p>	 <p>VAR _VAR1 UT1=5</p>

2. Versuchsvorbereitung

Als Vorbereitung für diesen Versuch müssen einige Dimensionierungen von z. B. Widerständen durchgeführt werden. Ferner ist eine Kleinsignalanalyse der jeweiligen Schaltungen „aus Sicht des Quarzes“ erforderlich, um die Anschwingbedingungen zu testen! 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!

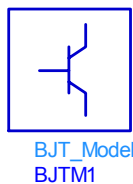
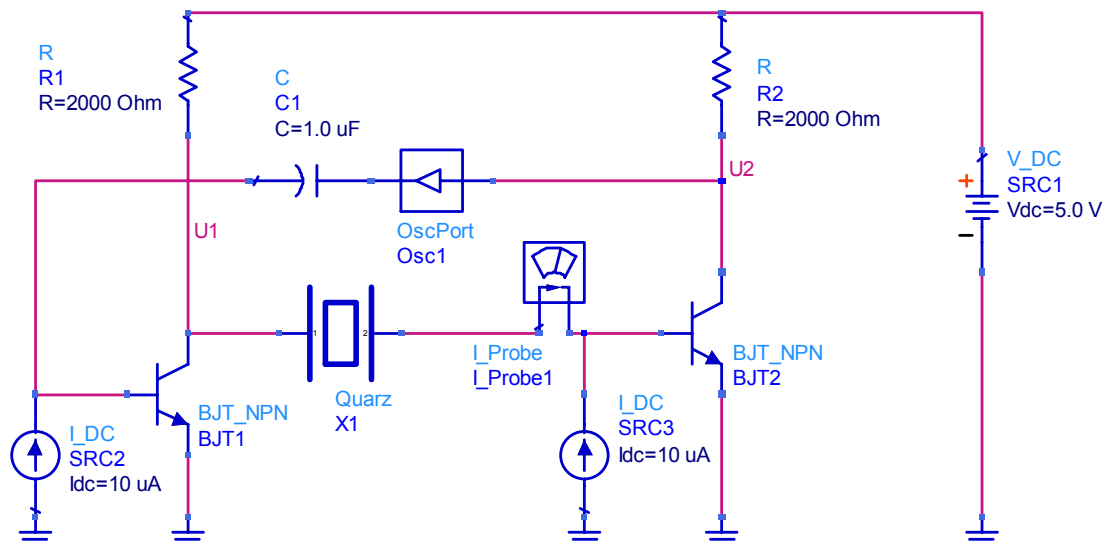
$$I_C \approx I_S \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right) \quad U_T = 25,8mV \quad I_S = 10^{-16}A \quad U_A \Rightarrow \infty \quad \beta \approx B = 100$$

Es wird jeweils der gleiche 10MHz-Quarz mit folgenden Ersatzbildelementen verwendet:

$$R = 65\Omega \quad L = 25mH \quad C = 0,01pF \quad C_0 = 5pF$$

2.1. Heegner-Schaltung

Die Heegner-Schaltung verwendet 2 Transistoren als invertierende Verstärker und erzeugt so in der Summe 360° Phasenverschiebung.



OPTIONS

Options
 Options1
 Temp=25
 Tnom=25
 V_RelTol=1e-3
 V_AbsTol=1e-4 V
 I_RelTol=1e-3
 I_AbsTol=1e-8 A
 GiveAllWarnings=yes
 MaxWarnings=10

HARMONIC BALANCE

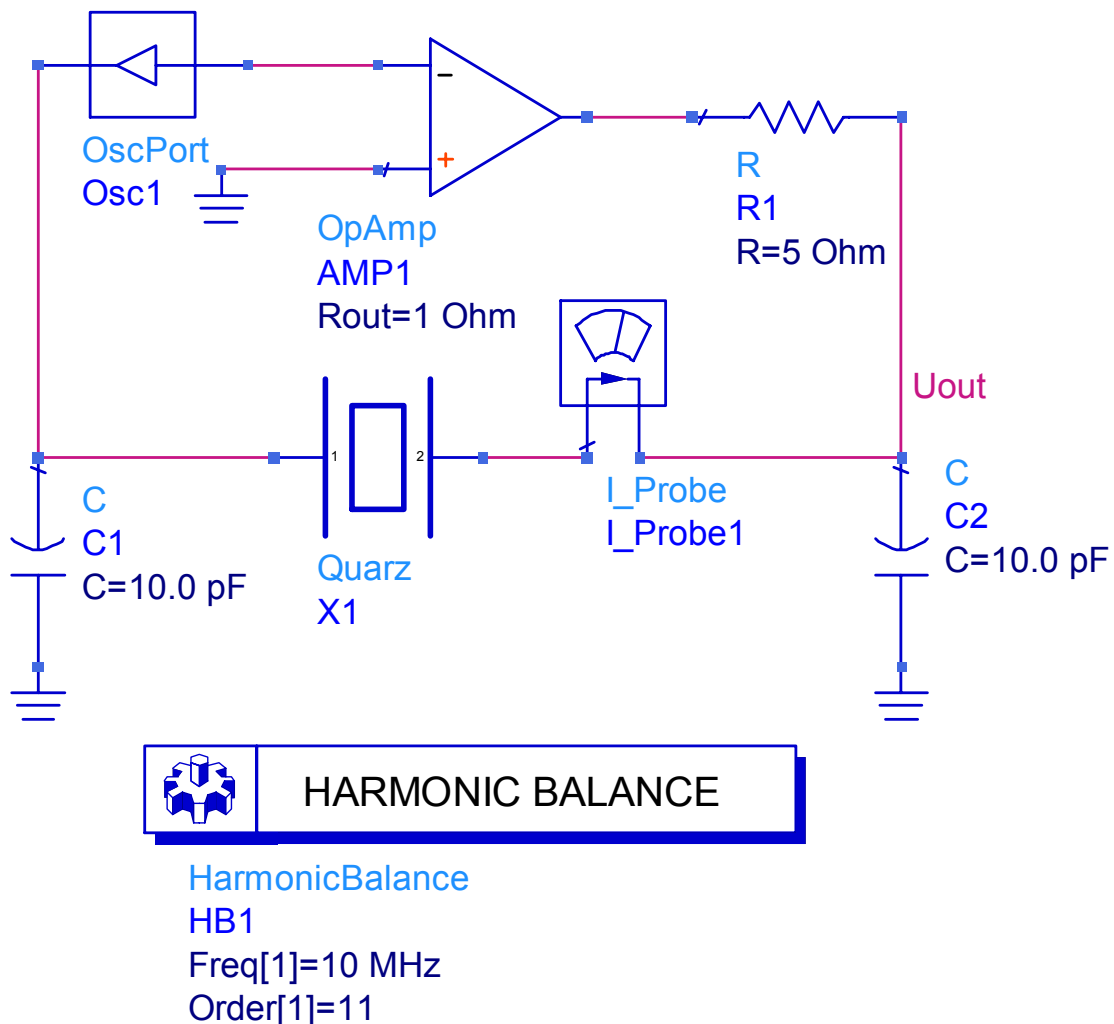
HarmonicBalance
 HB1
 Freq[1]=10 MHz
 Order[1]=11

Heegner-Schaltung mit 2 Transistoren

- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild für den Fall, daß der Quarz **nicht** vorhanden ist!
- Berechnen Sie den Widerstand zwischen den Anschlußklemmen des Quarzes (weiterhin nicht vorhanden). Wann kann die Schaltung anschwingen? In welcher Betriebsart befindet sich dann der Quarz (Parallel oder Serienresonanz)?

2.2. Pierce-Schaltung

Die Pierce-Schaltung wird oft als Taktgeber in Digialschaltungen eingesetzt. In der Simulation des Praktikums wird statt eines Logik-Gatters ein idealer OP als invertierender Verstärker verwendet.

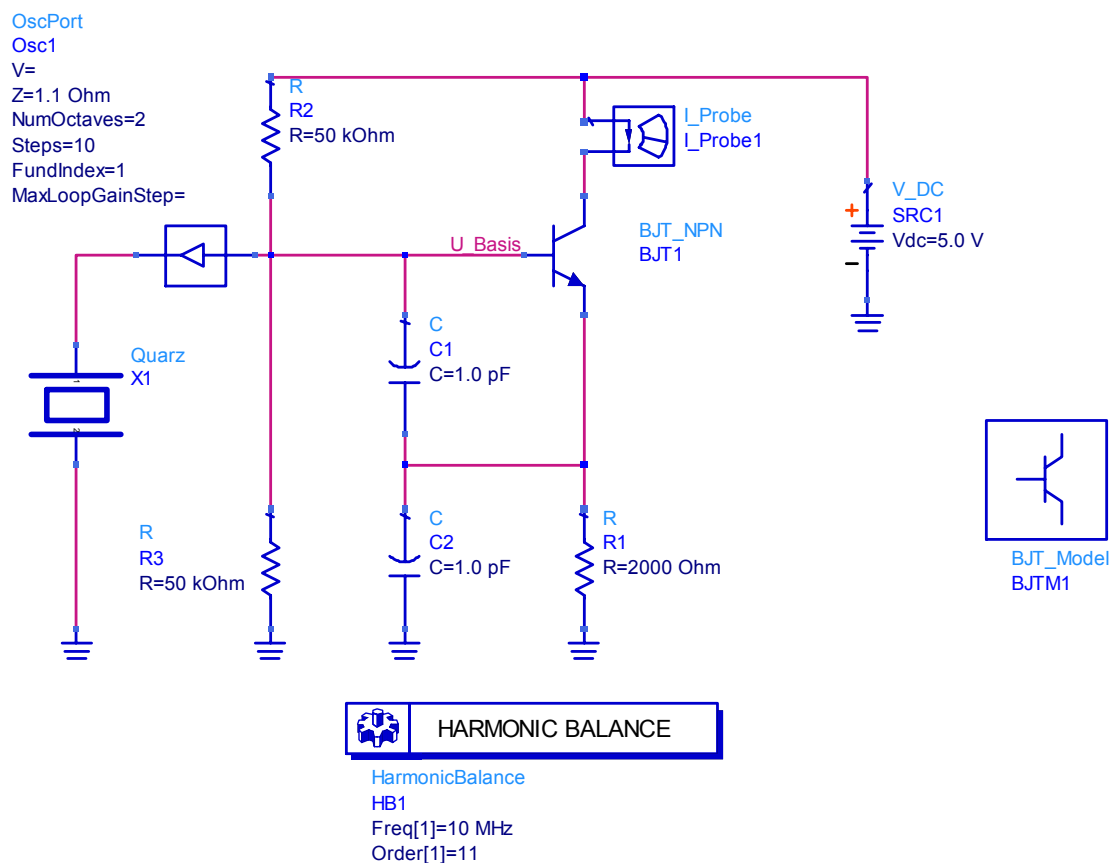


Pierce-Schaltung mit OP (bzw. Logik-Gatter)

- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild für den Fall, daß der Quarz **nicht** vorhanden ist!
- Berechnen Sie den Widerstand zwischen den Anschlußklemmen des Quarzes (weiterhin nicht vorhanden). Wann kann die Schaltung anschwingen? In welcher Betriebsart befindet sich dann der Quarz (Parallel oder Serienresonanz)?
- Welche Bedeutung haben die beiden Kondensatoren?

2.3. Colpitts-Oszillator in Kollektorschaltung

Der Colpitts-Oszillator zeichnet sich durch seine sichere Betriebsweise und einfache Dimensionierung aus.



Colpitts-Oscillator in Kollektor-Schaltung

- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild für den Fall, daß der Quarz **nicht** vorhanden ist!
- Berechnen Sie den Widerstand zwischen den Anschlußklemmen des Quarzes (weiterhin nicht vorhanden). Wann kann die Schaltung anschwingen? In welcher Betriebsart befindet sich dann der Quarz?

- Dimensionieren Sie die Schaltung für ein sicheres Anschwingen. Die Werte im Schematic sind dabei **nicht** maßgebend!

3. Versuchsdurchführung

- Bauen Sie alle 3 Varianten im ADS auf und überprüfen Sie **alle** Ihre Vorüberlegungen.
- Experimentieren Sie mit den Bauteilwerten bzw. der Speisespannung und untersuchen Sie deren Einfluß auf Schwingungsamplitude und Spektrum!