



Elektronik II, Grosse Übung 2

Simulationsarten

G. Kemnitz

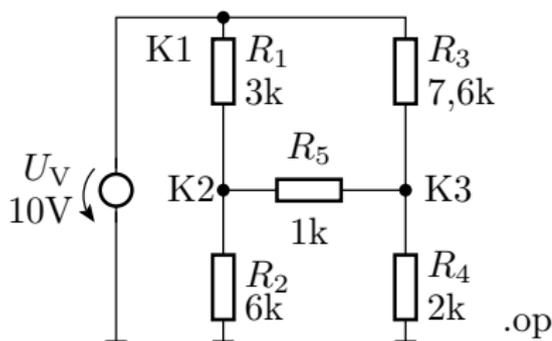
Institut für Informatik, Technische Universität Clausthal
3. Mai 2013



Simulationsarten

- DC operation point, Gleichstromsimulation: Berechnung des stationären Zustands bzw. des Arbeitspunkts
- DC small signal transfer function: Berechnung der um den Arbeitspunkt linearisierten Kleinsignal-Übertragungsfunktion.
- Noise, Rauschen: Berechnung des Rauschens für eine um den Arbeitspunkt linearisierte Schaltung.
- DC sweep, Kennlinienberechnung: Berechnung von statischen Kennlinien durch Variation unabhängiger Quellen.
- AC: Simulation im Frequenzraum einer um den Arbeitspunkt linearisierten Schaltung.
- Transient: Zeitdiskrete Simulation.

Arbeitspunktberechnung



- Simulationskommando ».op« für »operation point«
- Ausgabe alle Knotenpotentiale und der Ströme durch alle Bauteile.
- Die Zuordnung von Nummern zu Knoten findet man über »view netlist«.

Welche Potentiale haben die Knoten K1 bis K3?



Ausgabe:

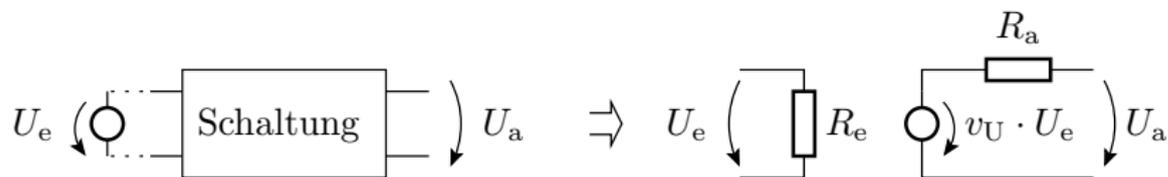
```
V(n001):      10      voltage
V(n002):      4.66667      voltage
V(n003):      3.66667      voltage
I(R5):   -0.001  device_current
I(R4):    0.00183333      device_current
I(R3):    0.000833333      device_current
I(R2):    0.000777778      device_current
I(R1):    0.00177778      device_current
I(V1):   -0.00261111      device_current
```

Aufgaben

- Schaltungeingabe und Durchführung der Simulation..
- Bestimmen der Spannungsabfälle U_i über allen Widerständen R_i und Kontrolle, dass für alle fünf Widerstände gilt:

$$R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

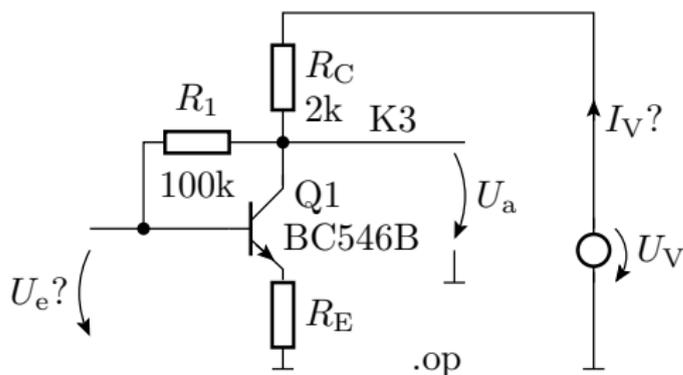
Lineare Gleichstromersatzschaltung



Eine lineare signalverarbeitende Schaltung mit einem Eingangs- und einem Ausgangssignal lässt sich immer in eine Ersatzschaltung mit den Parametern R_e , v_U und R_a im Arbeitspunkt transformieren. Vorgehen:

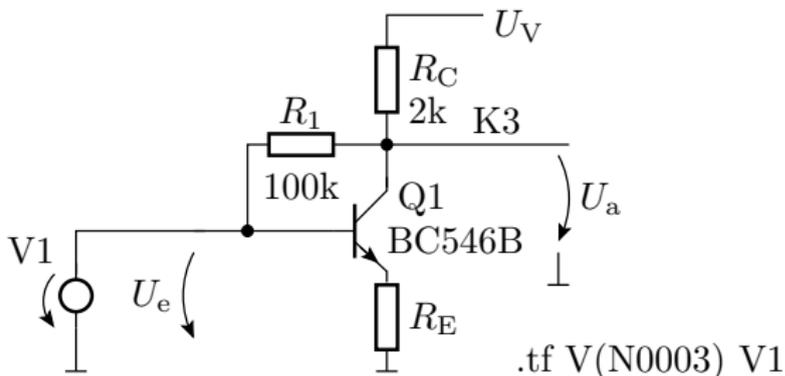
- Schaltung eingeben, mit »op« Arbeitspunkt bestimmen.
- Gleichspannung an den Eingang mit einem Wert gleich Arbeitspunktpotential anlegen.
- Eingangsquelle anschließen und Ausgangssignal festlegen
- Transferanalyse durchführen.

Anwendung auf eine Transistorschaltung



Aufgaben:

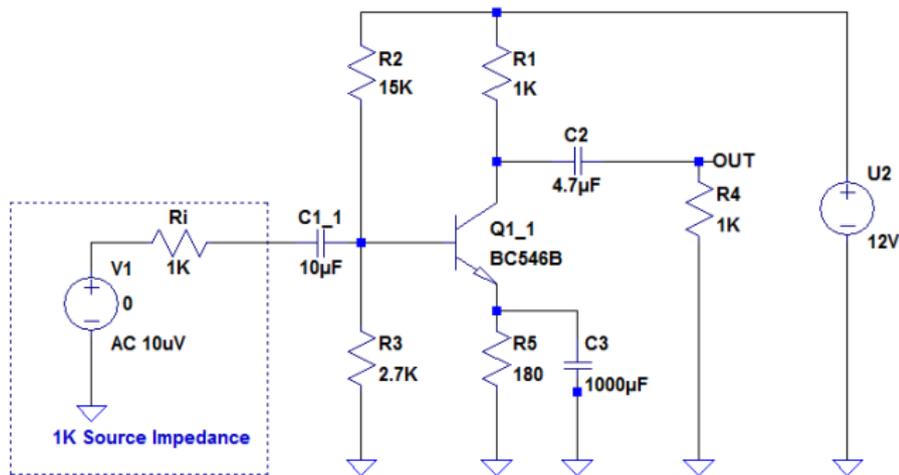
- Schaltungseingabe
- Mit Simulationskommando ».op« für »operation point« simulieren.
- Wie groß ist die Eingangsspannung U_e im Arbeitspunkt?
- Wie groß ist die Stromaufnahme I_V im Arbeitspunkt?



- Ergänzen der Quelle $V1$.
- DC Wert gleich Eingangsspannung im Arbeitspunkt.
- Transferanalyse mit $V1$ als Signalquelle und dem Potential von $K3$ als Ausgabe.
- Welchen Eingangs- und Ausgangswiderstand und welche Verstärkung hat die Schaltung mit
 - 1 $R_E = 100 \Omega$
 - 2 $R_E = 0?$

Rauschen

Widerstände und pn-Übergänge verursachen ein Rauschen. Die Rauschanalyse kann den Einfluss aller Rauschquellen auf die Ausgabe analysieren.

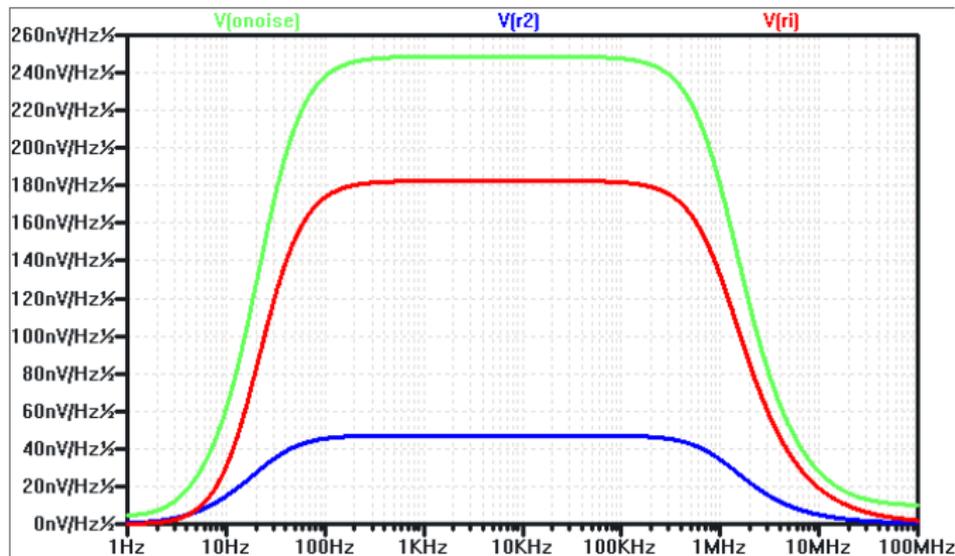


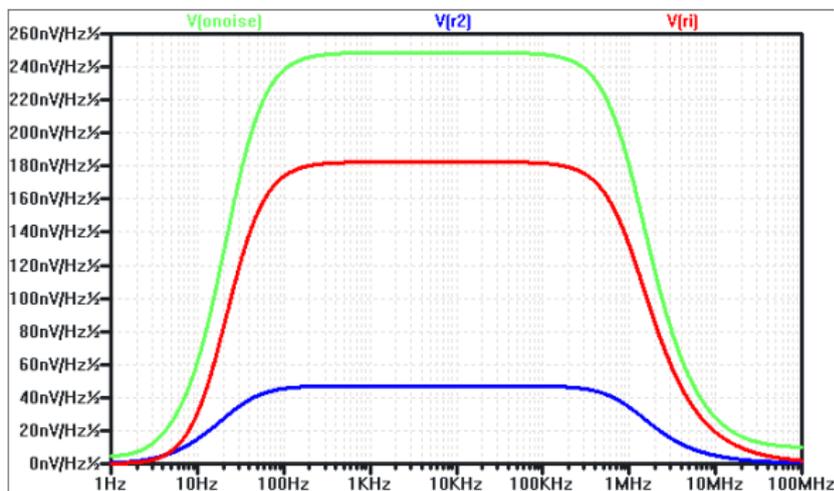
.noise V(out) V1 oct 100 1Hz 100mega

Simulationskommando:

```
.noise V(out) V1 oct 100 1Hz 100mega
```

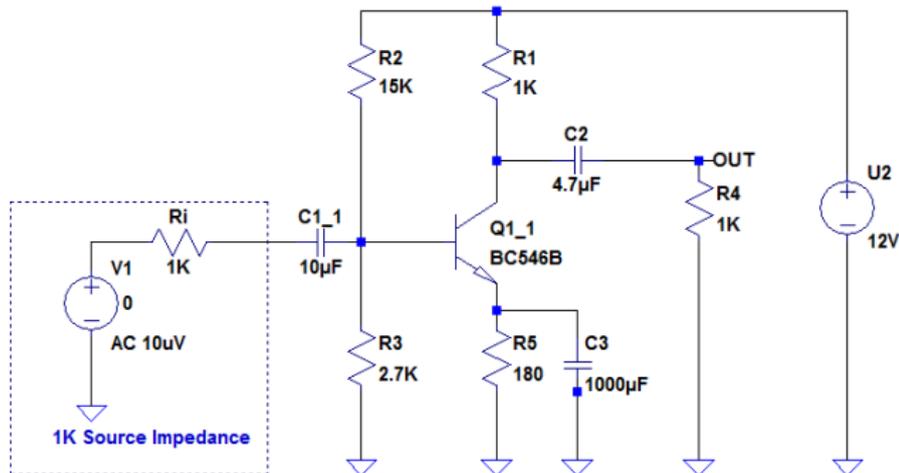
- Einfluss auf Potial von »out«; Signalquelle ist V1
- Frequenzbereich 1Hz bis 100MHz, 100 Werte je Oktave





- grün: Rausschpannung insgesamt
- rot: durch den Innenwiderstand der Signalquelle
- blau: durch R_1

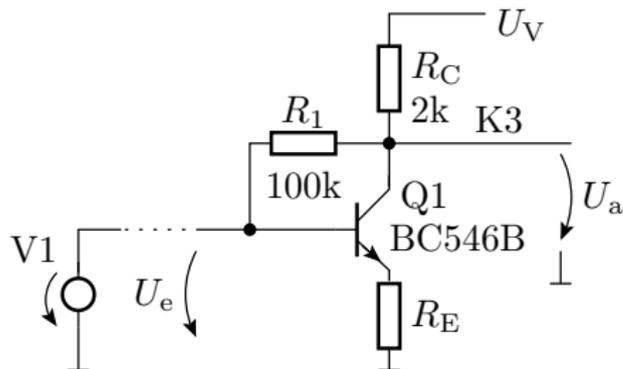
Bei Rausschsignalen addieren sich die Quadrate bzw. wird über die Quadrate integriert. Deshalb Rausschpannung in $V/\sqrt{\text{Hz}}$.



.noise V(out) V1 oct 100 1Hz 100mega

- Untersuchen Sie, welche Rauschquellen den meisten Einfluss auf das Ausgangsrauschen haben.
- Wie ändert sich das Rauschen, wenn der Innenwiderstand der Signalquelle verdoppelt wird?
- Wie ändert sich das Spektrum des Rauschens, wenn $C_3 = 1000 \mu\text{F}$ auf $C_3 = 100 \mu\text{F}$ verringert wird?

Kennlinienberechnung (DC sweep)



```
.dc V1 0 5 0.1 V2 6 12 2
```

Berechne für V2=6V bis 12V in 2V-Schritten

je einen Grapf

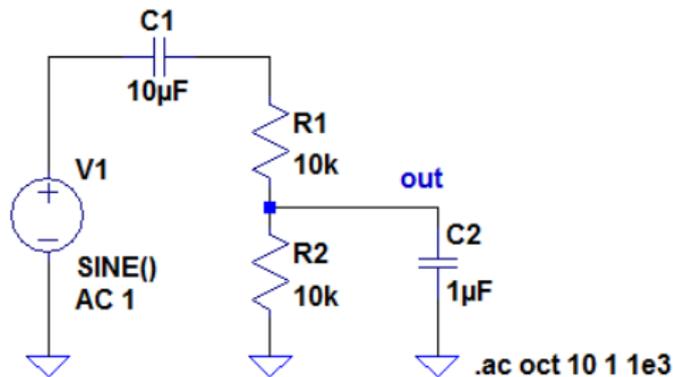
für V1=0 bis 5V in 0,1V-Schritten

die stationären Ströme und Knotenpotentiale

- Stellen Sie die Verläufe von U_a und I_{RC} graphisch dar.
- Entwickeln Sie die linearen Ersatzschaltungen für die drei lineare Teilbereiche der U_a -Kurven.

AC-Analyse

Simulation im Frequenzraum einer um den Arbeitspunkt linearisierten Schaltung.

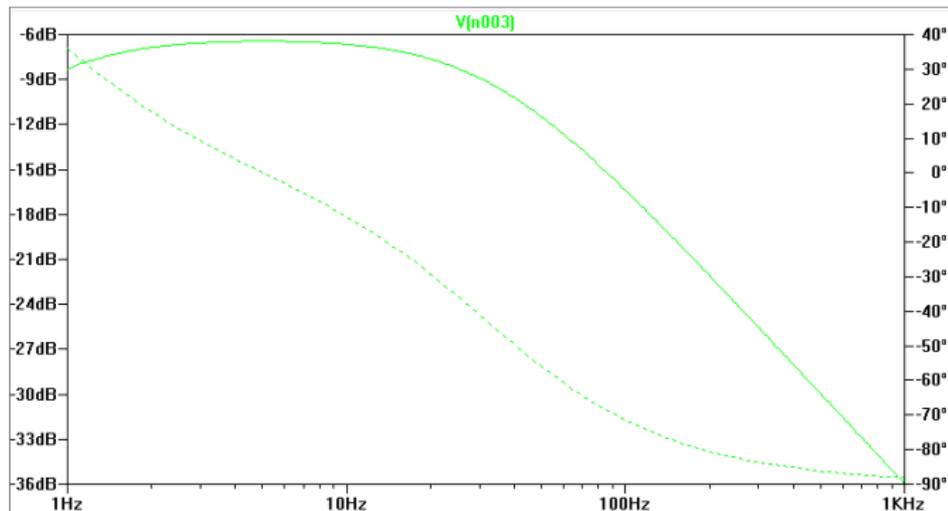


- Programmierung der Quelle: AC-Quelle, Amplitude 1
- Simulationskommando:

```
.ac oct 10 1 1e3
```

AC-Analyse, 10 Werte pro Oktave von 1Hz bis 1kHz

Ergebnis ist der Betrags- und Phasenfrequenzgang der Spannungen und Ströme in der Schaltung, Im Beispiel für Knoten 3 (Ausgangssignals).



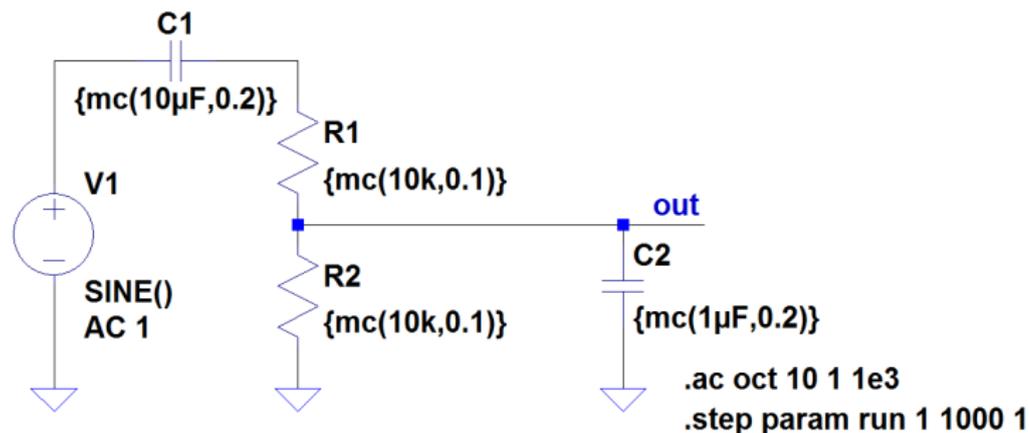
db (Dezibel) logarithmisches Dämpfungsmaß:

$$x \text{ in dB} = 20 \cdot \log_{10}(x)$$

Aufgaben

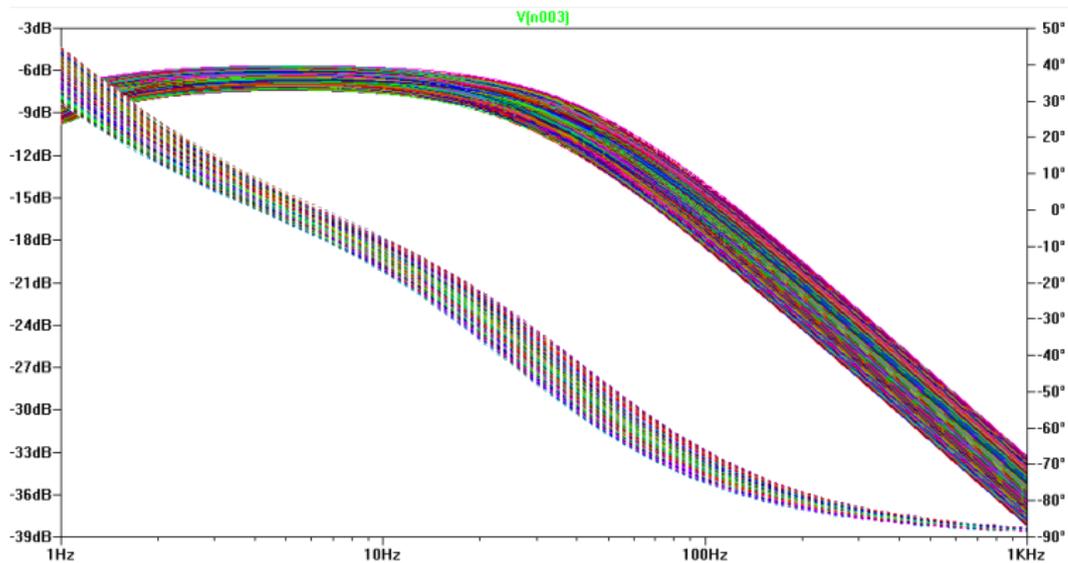
- Ändern Sie durch Probieren den Wert von C_2 so, dass die Dämpfung bei einer Frequenz von 10 kHz -10 dB beträgt.
- Ändern Sie durch Probieren den Wert von C_1 so, dass die Dämpfung bei einer Frequenz von 10 Hz auch -10 dB beträgt.
- Wie groß ist die minimale Dämpfung der Schaltung mit diesen beiden Änderungen?
- Wie groß ist die Bandbreite, innerhalb der die Dämpfung kleiner als die Minimaldämpfung -3 dB beträgt?

AC-Analyse mit Toleranzen

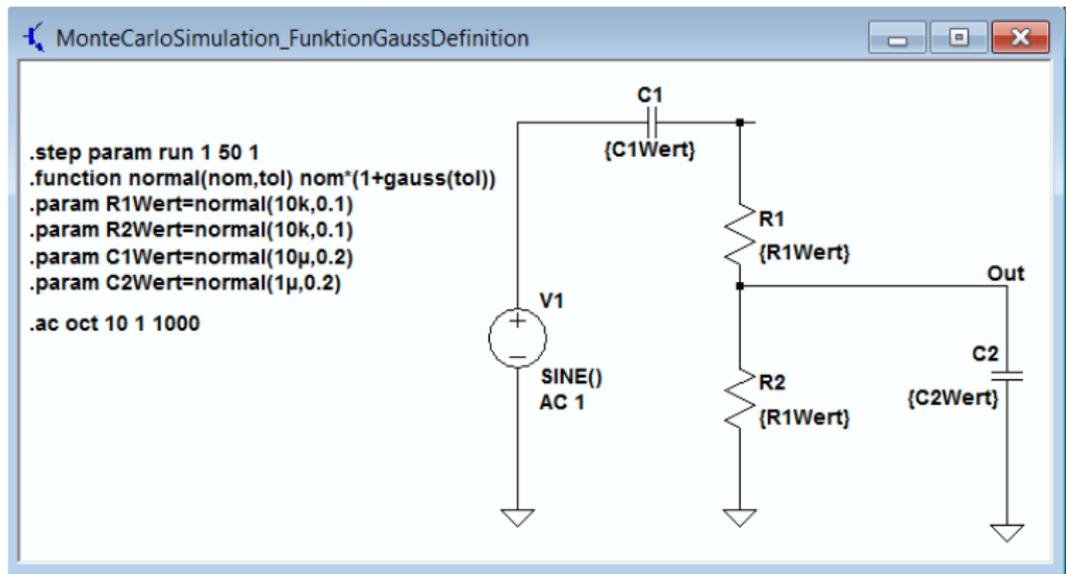


- Angabe der Bauteilparameter als Funktion:
 $\{mc(\text{wert}, \text{tol})\}$
- Wiederholung der Berechnung, erst mit Nominalwerten, dann 1000-mal mit Zufallswerten aus dem Toleranzbereich
 $\text{.step param run 1 1000 1}$

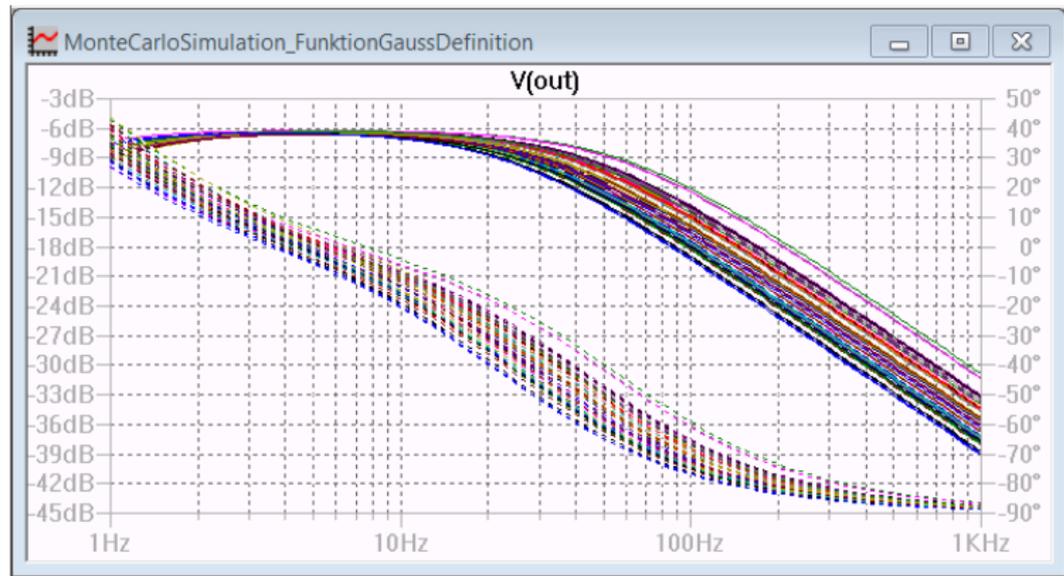
Ergebnis



Alternative Beschreibung von Toleranzen

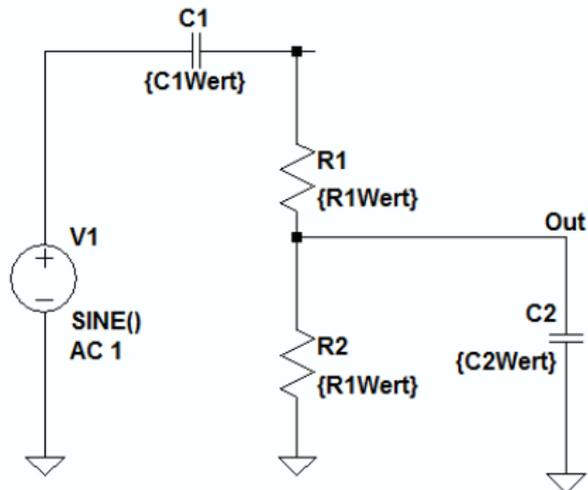


- Definition der Werte als Parameter
- Zuordnung eines normalverteilten Zufallswertes. (mc(...) hat einen gleichverteilten Wert zugeordnet.)



Parametervariation mit »step«

```
.ac oct 10 1 1000
.step param R1wert 9k 11k 1k
.step param C2wert 0.8u 1.2u 0.05u
.step param C1wert 7u 12u 0.1u
```



- Haben die beiden Widerstände immer denselben Wert?
- Wird die Schaltung mit allen Variationen der drei Parameter simuliert?



Zeitdiskrete Simulation mit Toleranzen

Achtung nicht getestet! Geht möglicherweise nicht?

- Laden Sie die Schaltung des instabilen Multivibrators aus der ersten Übung.
- Kopieren Sie das Spice-Modell des Transistors in ein eigenes Verzeichnis.
- Ersetzen Sie den Parameterwert für BN (Stromverstärkung Normalbetrieb) durch den Ausdruck

`{mc(200, 50)}`

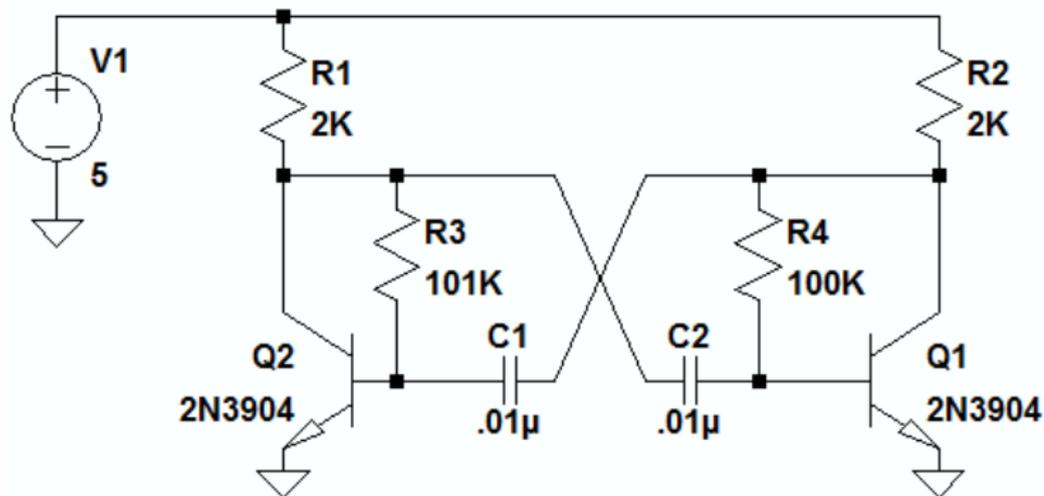
zur Berechnung einer Zufallszahl $200 \mp 50\%$.

- Simulieren Sie die Schaltung mit 20 zufälligen Werten:

```
.step param run 1 20 1
```

- Wie groß ist der Toleranzbereich der Zeitperiode des Ausgabesignals?

Parametervariation mit »step« funktioniert



```
.tran 10m startup
```

```
.step NPN 2N3904(Bf) 175 200 2
```

