

# HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT HOLLABRUNN

## Höhere Abteilung für Elektronik – Technische Informatik

Klasse / Jahrgang: <b>3BHELI</b>	Gruppe: <b>2 / a</b>	Übungsleiter: <b>Prof. Dum</b>
Übungsnummer: <b>V/3</b>	Übungstitel: <b>Transistor - Kleinsignalbetrieb</b>	
Datum der Übung: <b>11.03.2004</b>	Teilnehmer: <b>Glaßner, Hagmann, Kitzler, Weiß</b>	
Datum der Abgabe: <b>25.03.2004</b>	Schriftführer: <b>Hagmann</b>	Unterschrift:

		Beurteilung
Aufgabenstellung		
Dokumentation		
Messschaltungen		
Messtabellen		
Berechnungen		
Programmlistings		
Auswertung		
Diagramme		
Berechnungen		
Simulationen		
Schlussfolgerungen		
Kommentare		
Inventarliste		
Messprotokoll		
Form		
<b>Summe</b>		

## ALLGEMEINER TEIL

Titel der Übung: Transistor - Kleinsignalbetrieb  
 Übungsnummer: V/3  
 Übungsplatz: 8  
 Datum der Übung: 11.3.2004  
 Klasse: 3 BHELI  
 Schriftführer: Andreas Hagmann  
 Übungsteilnehmer: Sebastian Glaßner  
                           Andreas Hagmann  
                           Michael Kitzler  
                           Bernhard Weiß

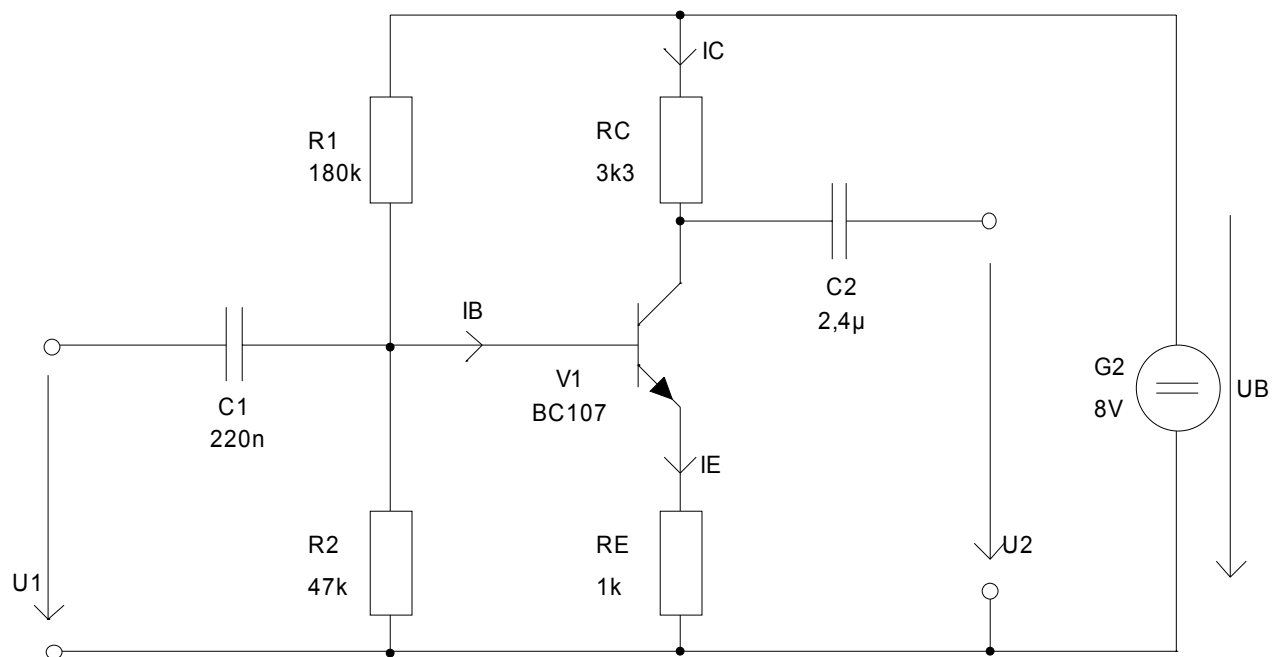
## INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeiner Teil.....	2
Inhaltsverzeichnis .....	2
1. Aufgabenstellung .....	3
2. Schaltung .....	3
3. Dimensionierung .....	3
4. Überprüfung des Arbeitspunktes.....	4
4.1. Messung.....	4
4.2. Erkenntnis .....	5
5. Messung der Verstärkung .....	5
5.1. Messung .....	5
5.2. Simulation.....	5
5.3. Erkenntnis .....	6
6. Ermitteln der maximalen Eingangsspannung.....	6
6.1. Messung.....	6
6.2. Simulation.....	6
6.3. Erkenntnis .....	6
7. Bestimmung der Grenzfrequenz .....	6
7.1. Messung.....	6
7.2. Simulation.....	7
7.3. Erkenntnis .....	7
8. Eingangs- und Ausgangswiderstand.....	7
8.1. Messung.....	7
8.2. Eingangswiderstand bei Leerlauf am Ausgang .....	9
8.3. Ausgangswiderstand .....	9
8.6. Erkenntnis .....	9
Anhang	
Messprotokoll	
Inventarliste	

## 1. AUFGABENSTELLUNG

Bei dieser Übung sollten wir einen einstufigen Kleinsignalverstärker in Form einer Emitterschaltung (= Emitter des Transistors ist weder Eingang noch Ausgang) dimensionieren und auf einem Steckbrett aufbauen. Anschließend sollten wir den Arbeitspunkt durch Messen überprüfen, seine Verstärkung messen, die Grenzfrequenzen messen und den differentiellen Eingangs und Ausgangswiderstand bestimmen.

## 2. SCHALTUNG



U1... Eingangsspannung  
 U2... Ausgangsspannung  
 IC... Kollektorstrom  
 IB... Basisstrom  
 IE... Emitterstrom  
 UB... Betriebsspannung

Zur Einstellung der Betriebsspannung ( $U_B$ ) wurde ein Gleichspannungsnetzgerät (G2) verwendet.

## 3. DIMENSIONIERUNG

Zur Dimensionierung wurden uns folgende Daten gegeben:

$U_B=8V$   
 $I_C=1mA$   
 $B=300$   
 $F_{gu}=200Hz$   
 $U_{BE}=0,7V$

$U_{CE}$  wurde mit  $U_B/2$  angenommen da somit eine maximale Aussteuerung erreicht wird.

$$\beta = B$$

$$I_C \approx I_E$$

$$I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{10^{-3}}{300} = \underline{\underline{3,3\mu A}}$$

$$R_1 = \frac{U_B - U_{BE} - 1V}{11 \cdot I_B} = \frac{8 - 0,7 - 1}{11 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{173,55k\Omega}} \Rightarrow E12 \Rightarrow \underline{\underline{180k\Omega}}$$

$$R_2 = \frac{U_{BE} + 1V}{10 \cdot I_B} = \frac{0,7 + 1}{10 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{47k\Omega}}$$

$$R_C = \frac{U_B/2 - 1V}{I_C} = \frac{8/2 - 1}{10^{-3}} = \underline{\underline{3000\Omega}} \Rightarrow E12 \Rightarrow \underline{\underline{3,3k\Omega}}$$

$$R_E = \frac{1V}{I_C} = \frac{1}{10^{-3}} = \underline{\underline{1k\Omega}}$$

$$r_e = \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} + (\beta \cdot R_E)^{-1} \right)^{-1} = \left( 180000^{-1} + 47000^{-1} + (300 \cdot 1000)^{-1} \right)^{-1} = \underline{\underline{33,15k\Omega}}$$

$$r_a = R_C = \underline{\underline{3,3k\Omega}}$$

$$C_1 = \frac{10}{2\pi \cdot f_{gu} \cdot r_e} = \frac{10}{2\pi \cdot 200 \cdot 33150} = \underline{\underline{240nF}} \Rightarrow E12 \Rightarrow \underline{\underline{220nF}}$$

$$C_2 = \frac{10}{2\pi \cdot f_{gu} \cdot r_a} = \frac{10}{2\pi \cdot 200 \cdot 1000} = \underline{\underline{2,4\mu F}} \Rightarrow E12 \Rightarrow \underline{\underline{2,2\mu F}}$$

$$V_0 = -\frac{R_C}{R_E} = \frac{3300}{1000} = \underline{\underline{-3,3}}$$

Die Werte der Kondensatoren wurden Aufgrund unklarer Beschriftung mit einem RLC – Meter (P2) nachgemessen.

## 4. ÜBERPRÜFUNG DES ARBEITSPUNKTES

### 4.1. MESSUNG

Der Arbeitspunkt wurde mit einem Voltmeter (P3, Messbereich: Auto) und mit Hilfe einer Prüfspitze gemessen. Alle Spannungen wurden gegen Masse gemessen.

Spannung gegen Masse	Gemessen	Simuliert
Betriebsspannung	8V	8V
Kollektorspannung	4,99V	5,32V
Basisspannung	1,55V	1,457V
Emitterspannung	918mV	817mV

## 4.2. ERKENNTNIS

Die Messung stimmt im Allgemeinen mit den erwarteten Werten überein. Die Abweichungen von den gemessenen zu den simulierten Werten ergeben sich daher, dass für die Simulation das richtige Transistormodell nicht vorhanden war und somit nur ein ähnlicher Typ gewählt wurde, und dass die real aufgebaute Schaltung parasitäre Bauelemente enthielt.

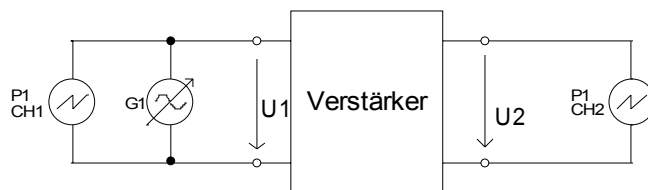
## 5.MESSUNG DER VERSTÄRKUNG

### 5.1. MESSUNG

Die Verstärkung ist das Verhältnis von Ausgangsspannung (U<sub>2</sub>) zu Eingangsspannung (U<sub>1</sub>). Die beiden Spannungen wurden mit einem Oszilloskop (P1) dargestellt und gemessen.

Einstellungen am Funktionsgenerator (G1): Sinus, Spitzenspannung = 100mV, Frequenz = 1kHz

### Messschaltung:



Am Ausgang wurde eine Spitzenspannung von 320mV gemessen.

$$V_0 = -\frac{U_2}{U_1} = \frac{320 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{-3,2}}$$

Da diese Verstärkerschaltung das Signal invertiert ergibt sich eine Verstärkung von -3,2.

### 5.2. SIMULATION

Bei der Simulation ergab sich mit gleichen Einstellungen für die Eingangsspannung wie oben am Ausgang eine Spitzenausgangsspannung von 327mV und daher eine Verstärkung von:

$$V_0 = -\frac{U_2}{U_1} = \frac{327 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{-3,27}}$$

Ein Diagramm von Eingangs- und Ausgangsspannung befindet sich im Anhang (Anhang 1, Zeitdiagramm von Eingangs- und Ausgangsspannung).

### **5.3. ERKENNTNIS**

Die Verstärkung wurde an der realen Schaltung nur einmal bei 1kHz gemessen. In der Simulation ist aber zu erkennen, dass sich die Verstärkung mit der Frequenz ändert. (Anhang 2, Verstärkung) Siehe auch Bestimmung der oberen- und unteren Grenzfrequenz.

Im Zeitdiagramm von Eingangs und Ausgangsspannung (Anhang 1) ist die Invertierung des Signals zu erkennen.

## **6. ERMITTELN DER MAXIMALEN EINGANGSSPANNUNG**

### **6.1. MESSUNG**

Die maximale Eingangsspannung, ohne das am Ausgang Verzerrungen auftreten, wurde mit derselben Messschaltung wie in der oberen Aufgabe ermittelt. Es wurde die Spannung (U1) am Frequenzgenerator (G1) solange erhöht bis die Ausgangsspannung (U2) am Oszilloskop (P1) nicht mehr als reine Sinusschwingung zu erkennen war.

Dies geschah bei einer Eingangsspannung von: 1V Spitzenspannung.

### **6.2. SIMULATION**

Die maximale Eingangsspannung wurde auch durch eine Simulation ermittelt. Das Diagramm dieser Simulation befindet sich im Anhang (Anhang 3, Zeitdiagramm der Ausgangsspannung). Es ergab sich eine maximale Eingangsspannung von 0,8V Spitze.

### **6.3. ERKENNTNIS**

Die Differenz der gemessenen Werte zu den simulierten ist auf die Ungenauigkeit beim Ablesen vom Oszilloskop und auf die unterschiedlichen Transistortypen zurückzuführen.

Wenn das Eingangssignal größer als 0,8V Spitze (laut Simulation) ist enthält das Ausgangssignal Oberwellen und am Oszilloskop kann man einen abgeschnitten Sinus erkennen (Anhang 3, Zeitdiagramm der Ausgangsspannung).

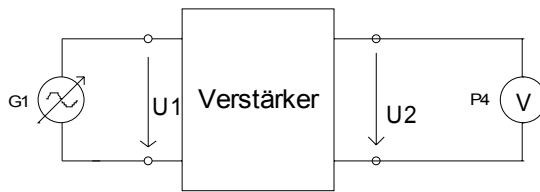
Die Oberwellen sind mit Hilfe einer Fourier Transformation zu erkennen: Anhang 4. In diesem Diagramm ist bei einer Eingangsspannung von 0,5V Spitze nur die Grundschwingung zu erkennen. Bei einer Eingangsspannung von 1,5V Spitze sind die Grundschwingung und mehrere Oberwellen zu sehen.

## **7. BESTIMMUNG DER GRENZFREQUENZ**

### **7.1. MESSUNG**

Die Grenzfrequenz ist die Frequenz bei der die Verstärkung um 3dB von ihrem maximalen Wert abnimmt.

Die Grenzfrequenz wurde mit einem speziellen Millivoltmeter (P4) mit einer dB-Skala gemessen.



Als Referenzpegel diente uns der Pegel bei 1kHz.

Danach wurde die Frequenz nach unten (untere Grenzfrequenz) und dann nach oben (obere Grenzfrequenz) am Funktionsgenerator solange verändert bis das Voltmeter -3dB anzeigte.

Untere Grenzfrequenz: 22Hz

Obere Grenzfrequenz: 149kHz

## 7.2. SIMULATION

Bei der Simulation wurde eine untere Grenzfrequenz von 23.96Hz abgelesen. Die obere Grenzfrequenz betrug 13,95MHz (Anhang 2, Verstärkung über der Frequenz).

## 7.3. ERKENNTNIS

Die untere Grenzfrequenz hängt von den Größen der Koppelkondensatoren ab. Bei der Dimensionierung wurde eine untere Grenzfrequenz von 200Hz vorgegeben. Dieser Wert wurde um zirka das 10-fache unterschritten, da zur Dimensionierung nur eine näherungsweise Formel verwendet wurde.

Die untere Grenzfrequenz stimmt auch mit der Simulation überein. Die Abweichungen ergeben sich wieder durch die Verwendung des anderen Transistormodells und dass die real aufgebaute Schaltung parasitäre Bauelemente enthielt.

Die obere Grenzfrequenz wird hauptsächlich vom Transistor bestimmt. Daher ergab sich in der Simulation durch den unterschiedlichen Transistortyp auch ein anderer Wert als in der aufgebauten Schaltung.

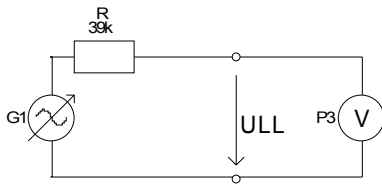
## 8. EINGANGS- UND AUSGANGSWIDERSTAND

### 8.1. MESSUNG

Zur Bestimmung der Eingangs- und Ausgangswiderstände wurde in Serie zum Generator ein Widerstand (R, 39kΩ) geschaltet und es wurden folgende Messungen durchgeführt:

Alle Messungen wurden mit einem 1kHz Sinussignal durchgeführt.

**1. Leerlaufspannung des Generators**

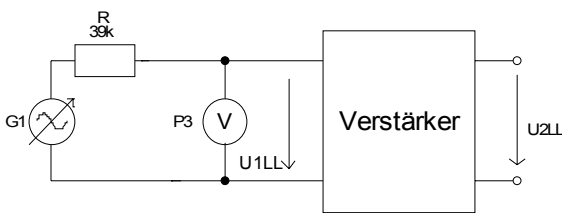


Die Leerlaufspannung ( $U_{LL}$ ) wurde mit einem Voltmeter (P3, Messbereich: Auto) gemessen.

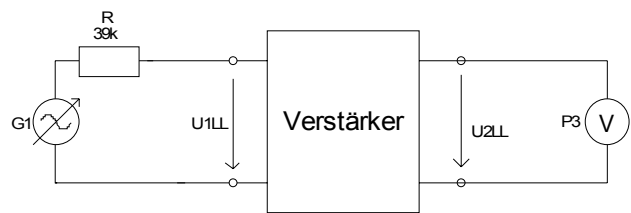
$$U_{LL\text{GENERATOR}}=282\text{mV}$$

**2. Eingang und Ausgangsspannung des Verstärkers ohne Last**

Messung der Eingangsspannung ( $U_1$ )



Messung der Ausgangsspannung ( $U_2$ )



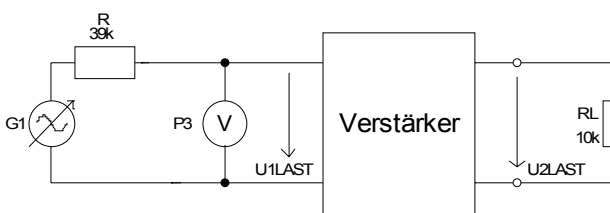
Die Spannungen wurden wieder mit einem Voltmeter (P3, Messbereich: Auto) gemessen.

$$U_{1LL}=130\text{mV}$$

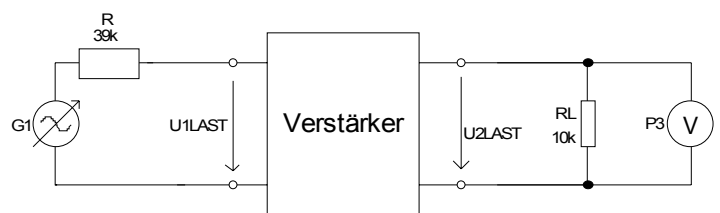
$$U_{2LL}=415\text{mV}$$

**3. Eingang und Ausgangsspannung des Verstärkers mit 10kΩ Last**

Messung der Eingangsspannung ( $U_1$ )



Messung der Ausgangsspannung ( $U_2$ )



Die Spannungen wurden wieder mit einem Voltmeter (P3, Messbereich: Auto) gemessen.

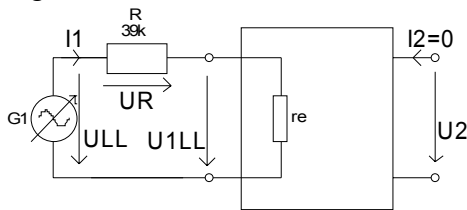
$$U_{1LAST}=138\text{mV}$$

$$U_{2LAST}=313\text{mV}$$



## 8.2. EINGANGSWIDERSTAND BEI LEERLAUF AM AUSGANG

Zur Bestimmung des Eingangswiderstandes benötigt man die ersten beiden Messungen.



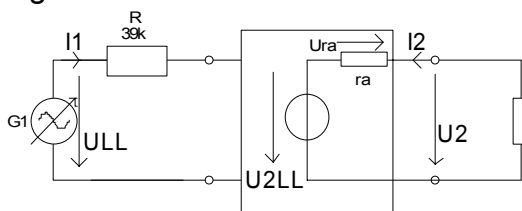
$$I_1 = \frac{U_{LL\text{GENERATOR}} - U_{1LL}}{R} = \frac{282 \cdot 10^{-3} - 130 \cdot 10^{-3}}{39000} = \underline{\underline{3,897 \mu\text{A}}}$$

$$r_e = \frac{U_1}{I_1} = \frac{130 \cdot 10^{-3}}{3,897 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{33,35\text{k}\Omega}}$$

Der Innenwiderstand des Funktionsgenerators (G1) wurde aufgrund seines im Verhältnis zu dem in Serie geschalteten Widerstandes (R, 39kΩ) sehr geringen Wertes (50Ω) vernachlässigt.

## 8.3. AUSGANGSWIDERSTAND

Zur Berechnung des Ausgangswiderstandes benötigt man die letzten beiden Messungen.



$$I_2 = -\frac{U_{2\text{LAST}}}{R_L} = -\frac{313 \cdot 10^{-3}}{10000} = \underline{\underline{-31,3 \mu\text{A}}}$$

$$r_a = \frac{U_{2LL} - U_{2\text{LAST}}}{-I_2} = \frac{415 \cdot 10^{-3} - 313 \cdot 10^{-3}}{31,3 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{3,26\text{k}\Omega}}$$

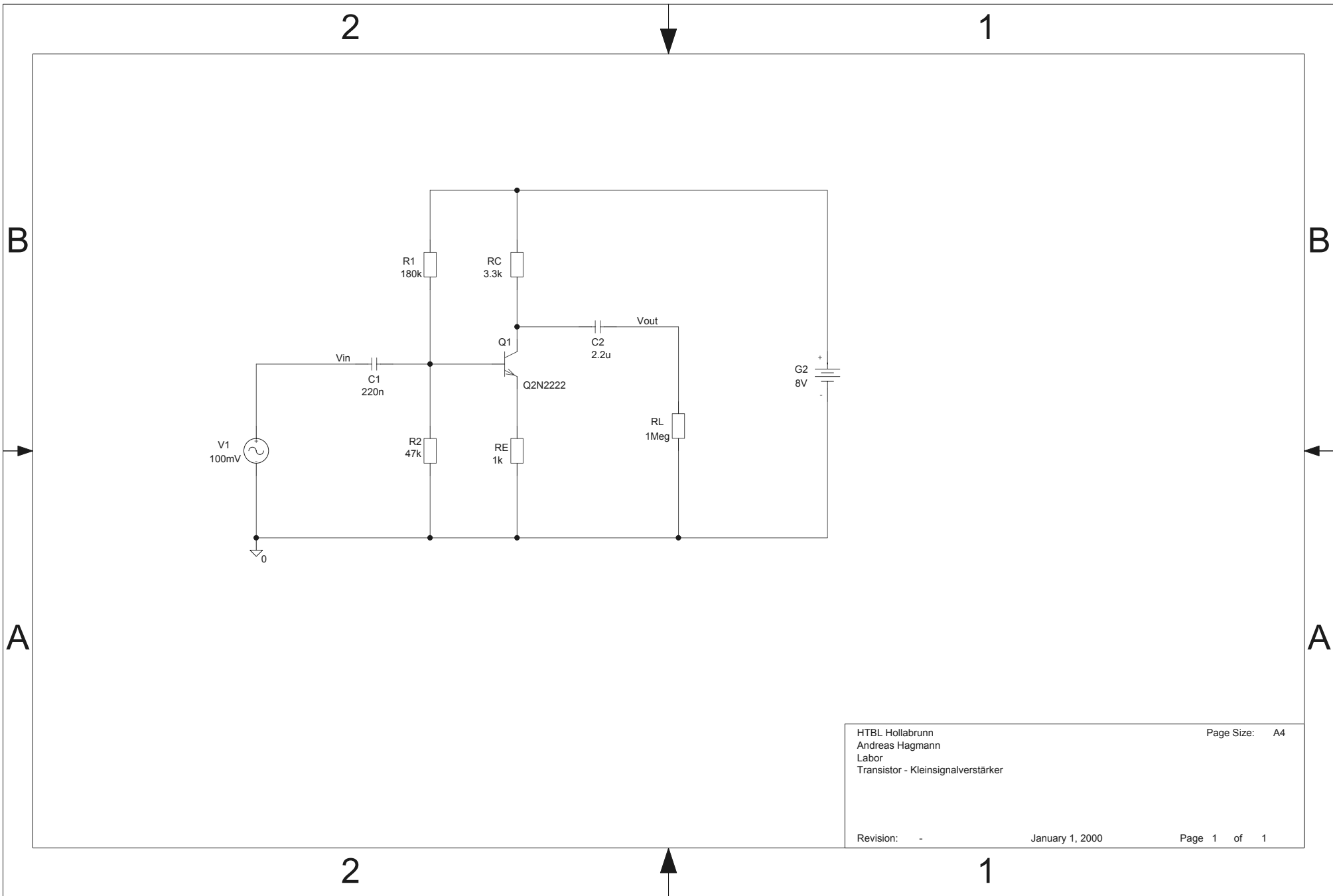
## 8.6. ERKENNTNIS

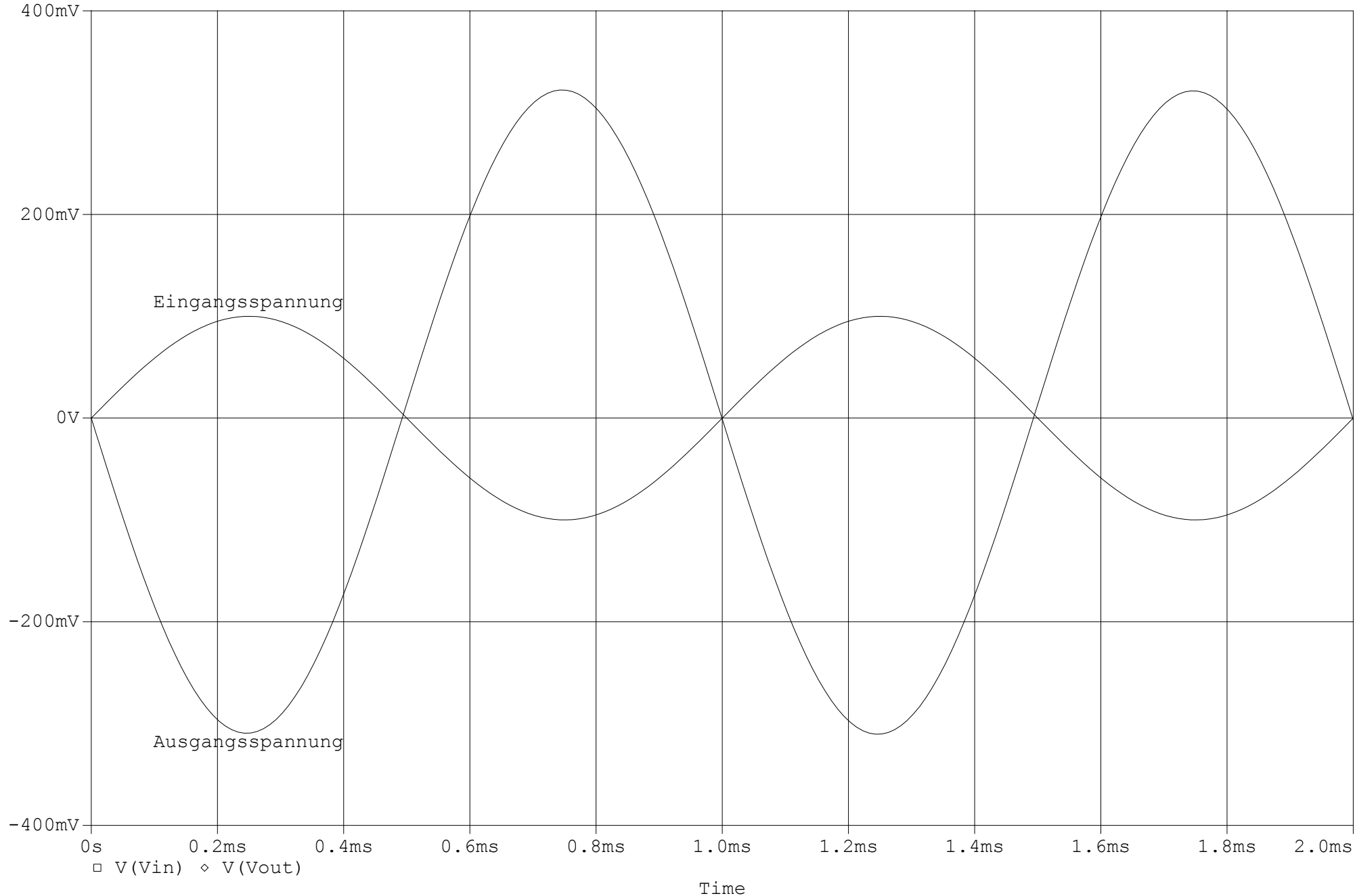
Werte bei einem Eingangssignal mit einer Frequenz von 1kHz:

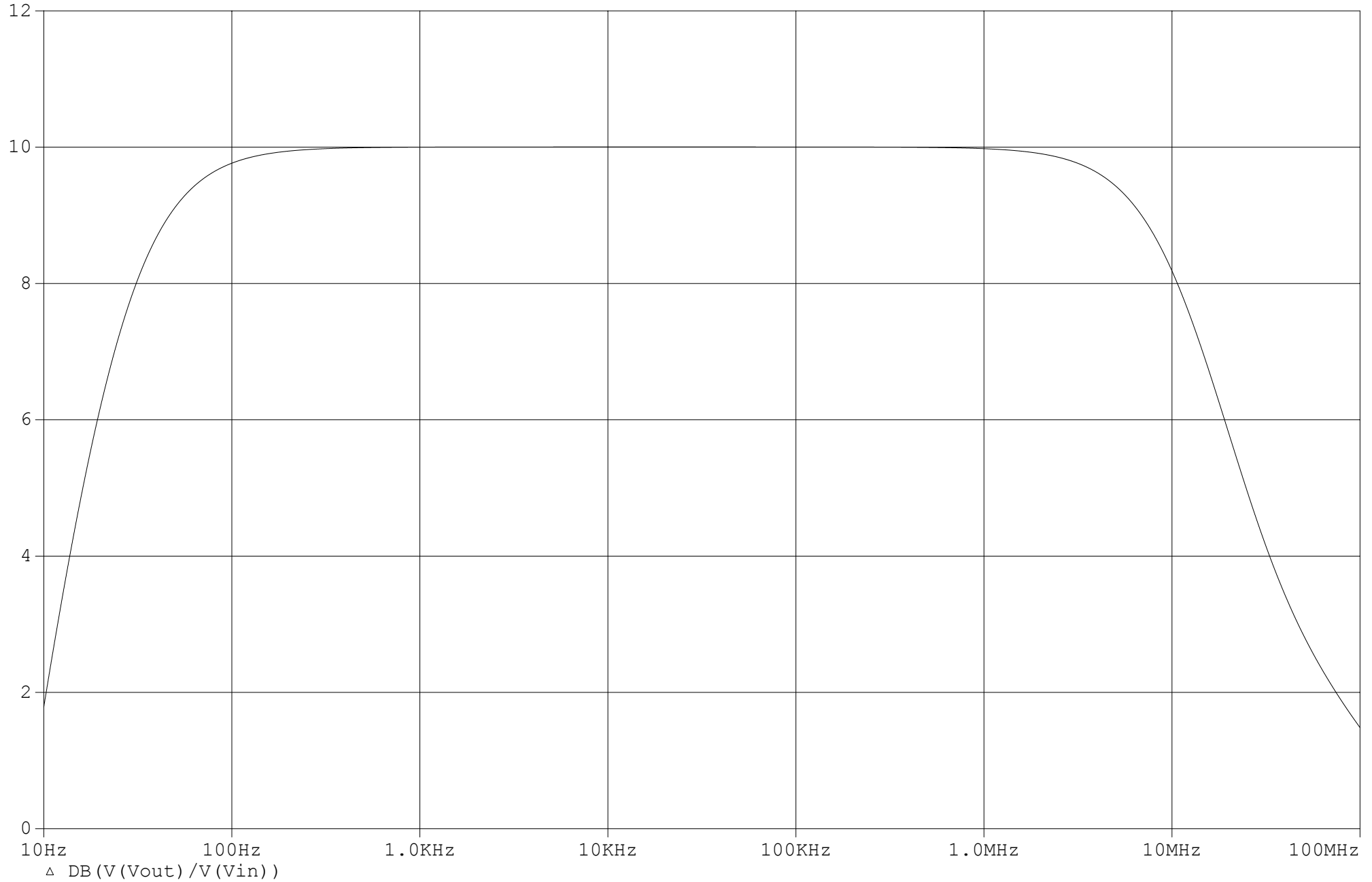
	Gemessen	Gerechnet	Simuliert
Eingangswiderstand	33,35kΩ	33,15kΩ	30,422kΩ
Ausgangswiderstand	3,26kΩ	3,3kΩ	3,312kΩ

Die Abweichungen ergeben sich aus den parasitären Bauelementen in der real aufgebauten Schaltung und dem anderen Transistortyp in der Simulation.

Der Eingangswiderstand und der Ausgangswiderstand wurden nur bei einem Eingangssignal mit einer Frequenz von 1kHz gemessen. In der Simulation wurde aber ersichtlich, dass diese Widerstände über die Frequenz nicht konstant sind. Der Eingangswiderstand (Anhang 5, Eingangswiderstand über die Frequenz) ist bei niederen Frequenzen wesentlich höher, fällt im Bereich von 500Hz – 30kHz auf einen konstanten Wert und wird bei höheren Frequenzen noch kleiner. Der Ausgangswiderstand (Anhang 6, Ausgangswiderstand über die Frequenz) verhält sich über die Frequenz so wie der Eingangswiderstand.

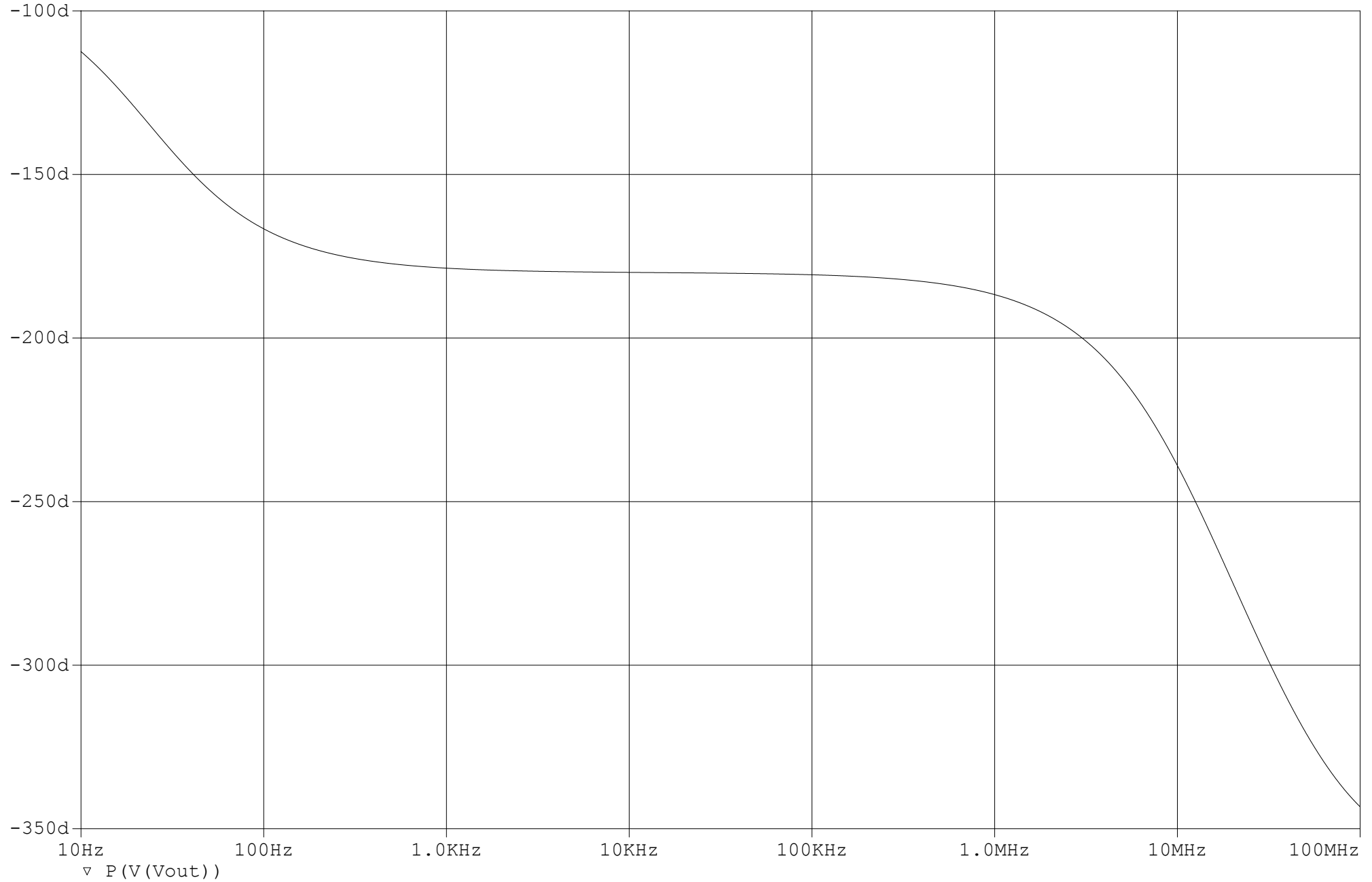


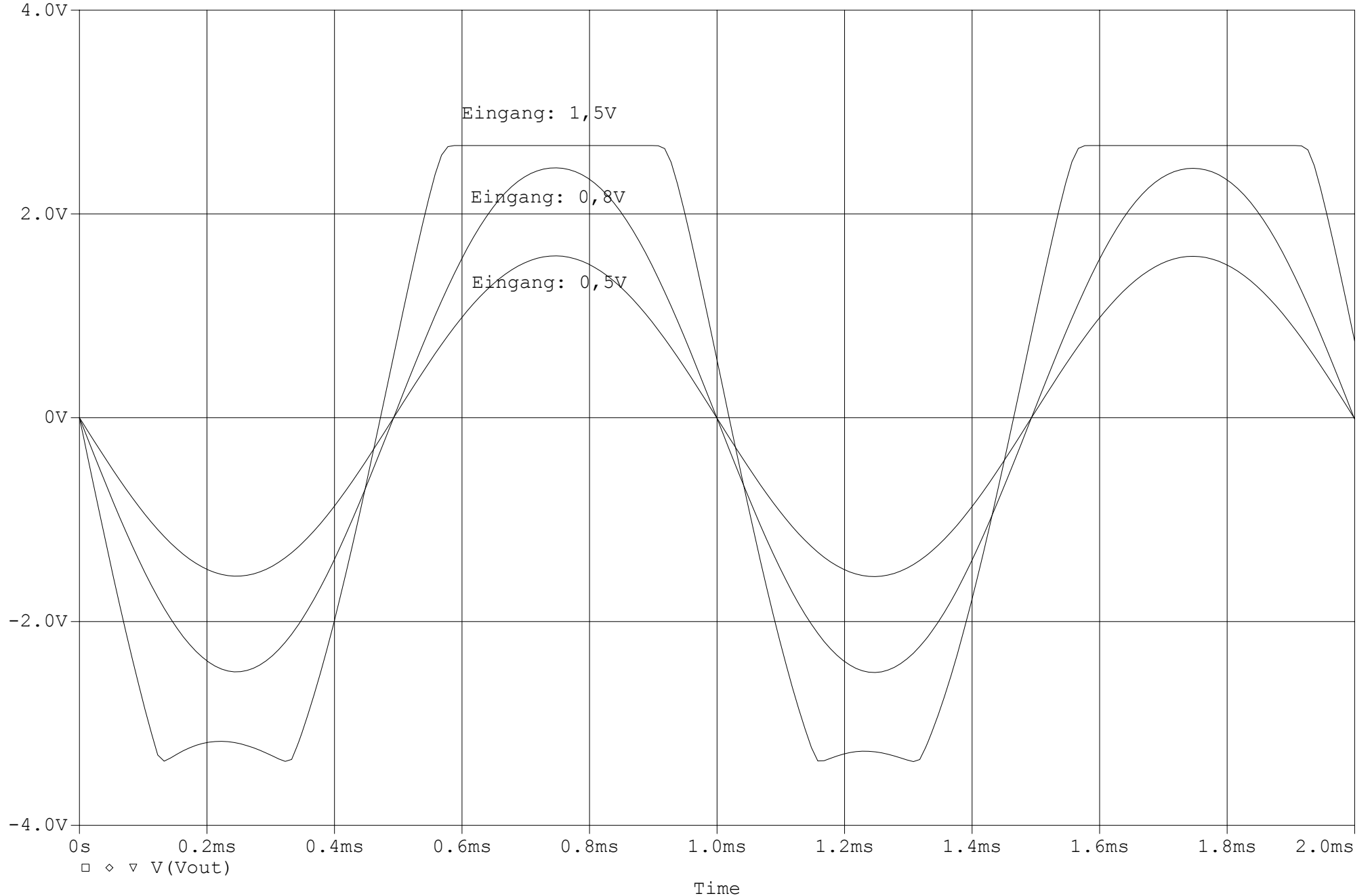


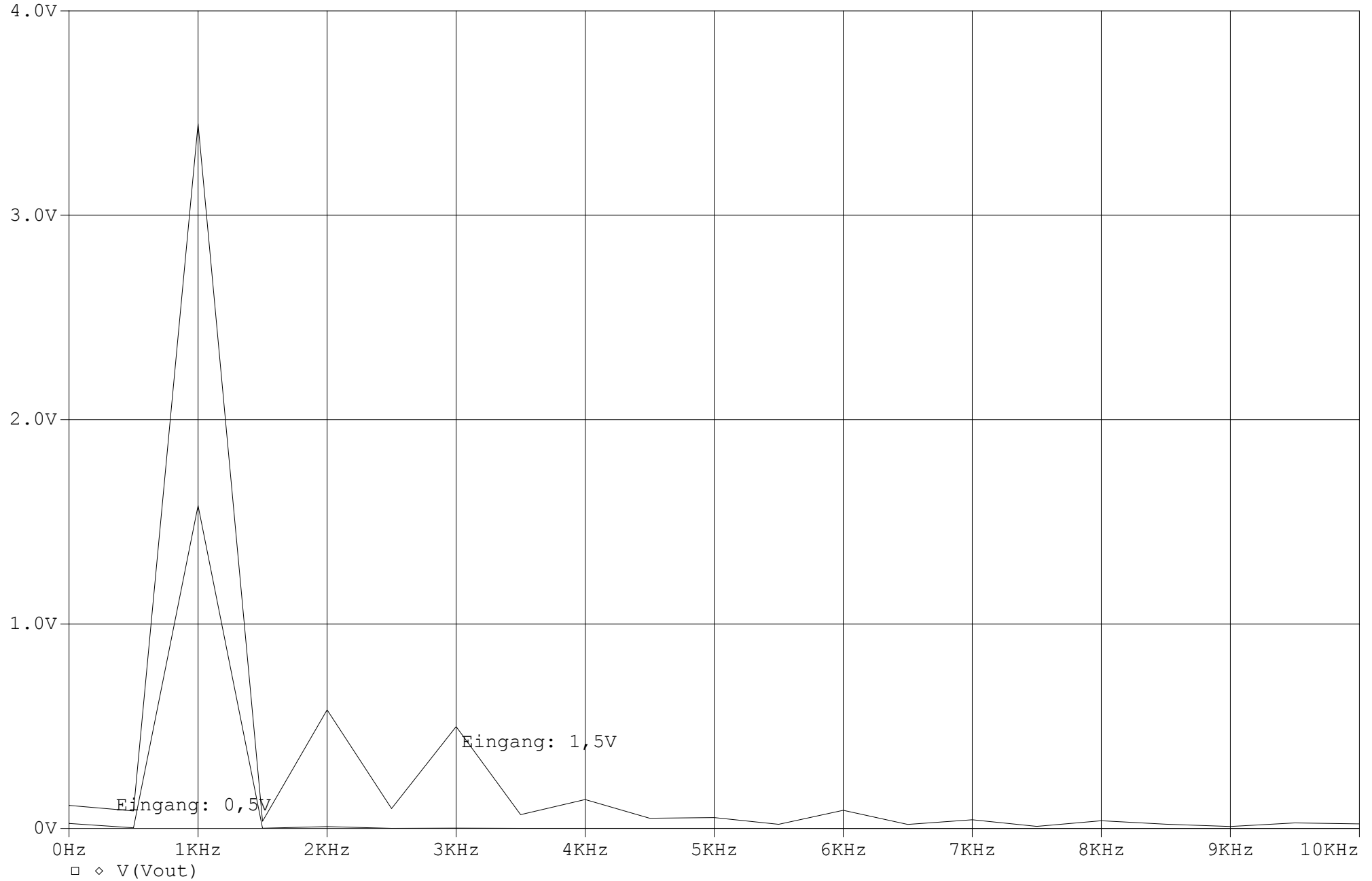


$\Delta$  DB(V(Vout)/V(Vin))

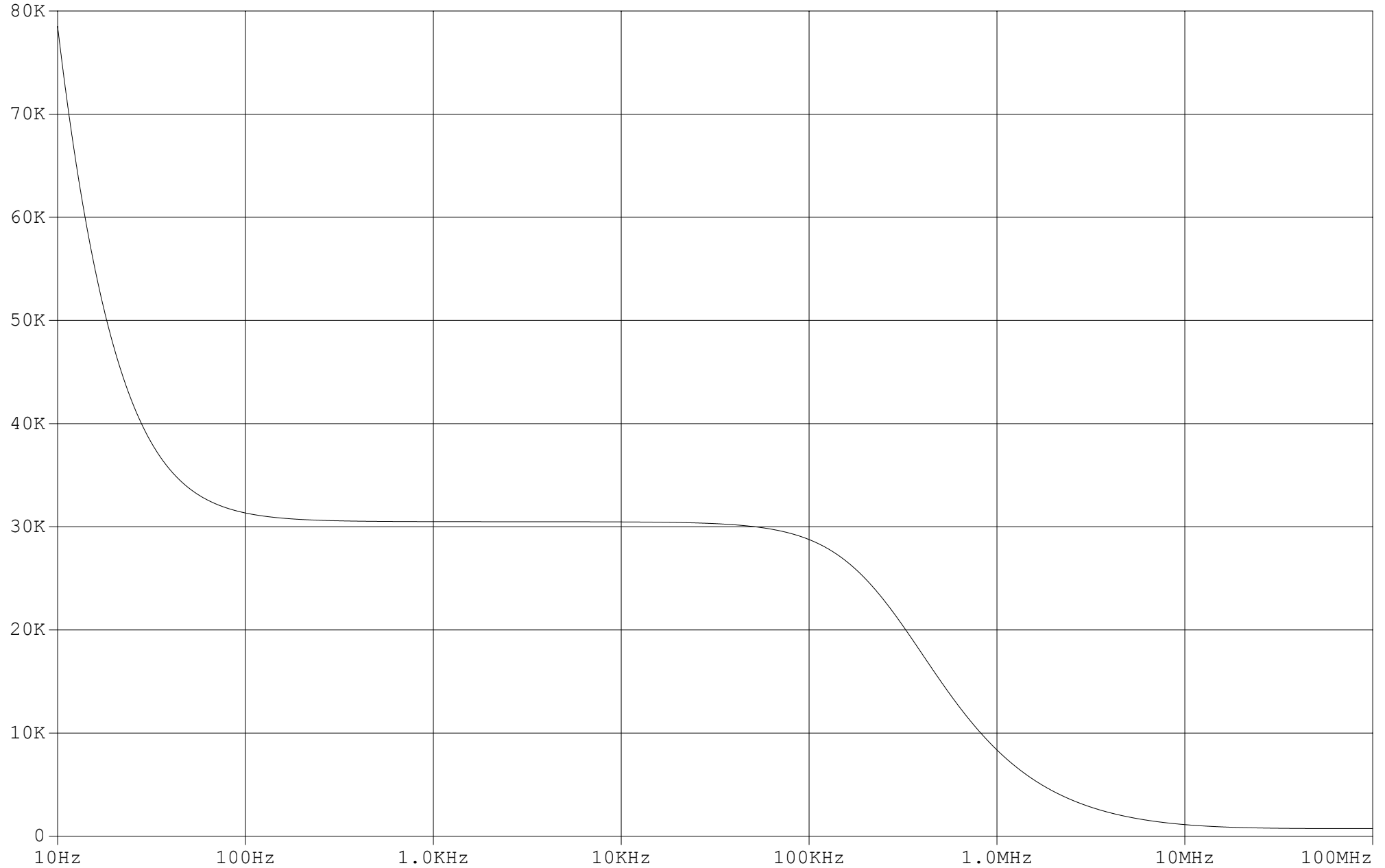
Frequency





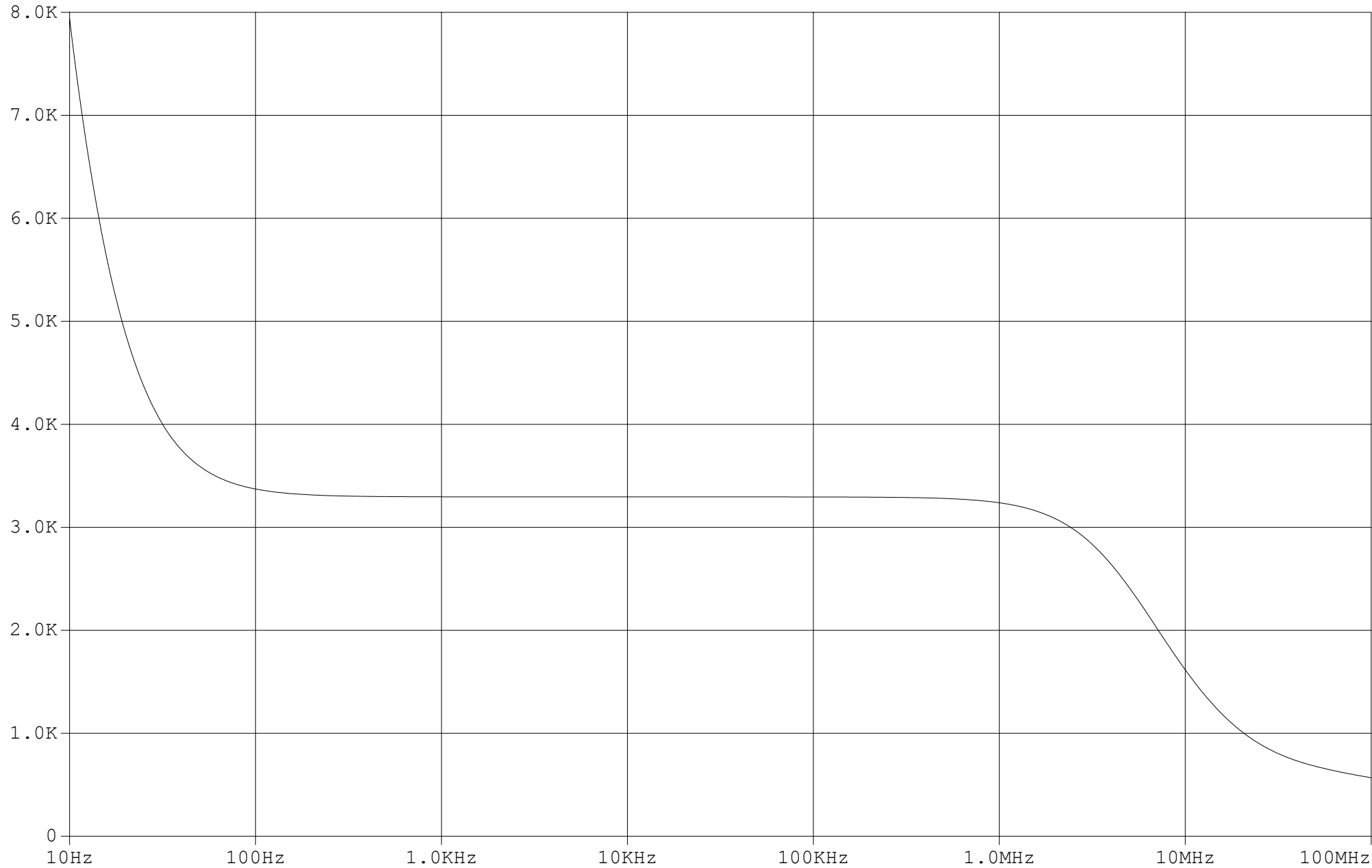






□ V(Vin) / I(V18)

Frequency



□ V(Vout) / I(V18)

Frequency