

Verstärker in Kollektor-Schaltung

Laborbericht
an der Fachhochschule Zürich

vorgelegt von

Samuel Benz

Leiter der Arbeit: B. Obrist
Fachhochschule Zürich

Zürich, 16.12.2002 Samuel Benz

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgaben	1
1.1	Grundschtaltung	1
1.2	Kenndaten	2
2	Aufgaben und Auswertungen	3
2.1	Dimensionierung	3
2.1.1	DC-Analyse	3
2.1.2	AC-Analyse	4
2.2	Aufbau	6
2.3	Linearität	6
2.4	Impedanz und Verstärkung	6
2.5	Amplituden- und Frequenzgang	10
2.6	Einfluss von RE	12
A	Messmittel	13

Kapitel 1

Vorgaben

1.1 Grundschtaltung

Die Kollektorschaltung nach Abbildung 1.1 wird in der Verstärkertechnik überall dort angewandt, wo eine hochohmige Spannungsquelle an eine niederohmige Last angepasst werden soll.

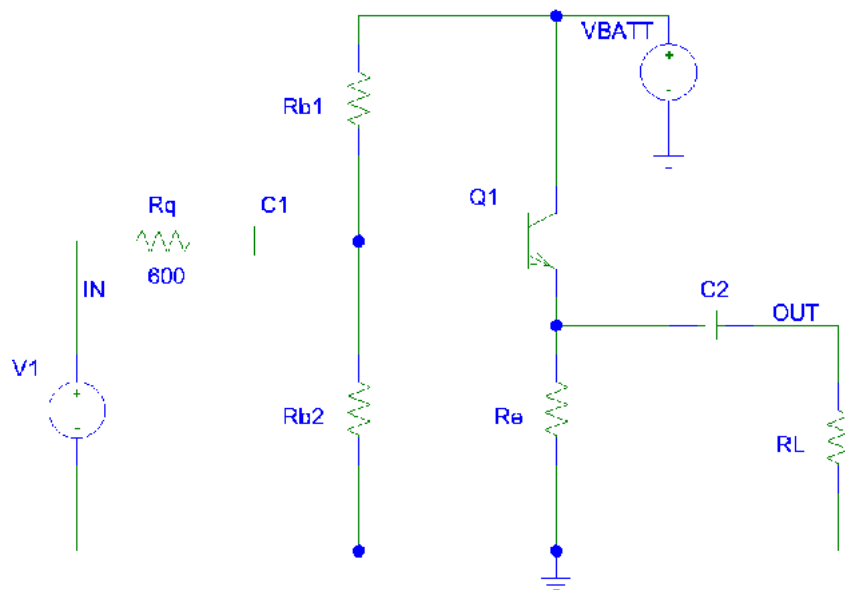


Abbildung 1.1: Kollektorschaltung

Diese Schaltung hat die Funktion eines Impedanzwandlers, indem nämlich die Eingangsimpedanz der Kollektorschaltung an deren Ausgang um die Stromverstärkung β verkleinert erscheint. Weiter eignet sich die Schaltung

gut zur Stromverstärkung, jedoch bei einer Spannungsverstärkung die unter 1 liegt.

Das Ziel des vorliegenden Versuches besteht in der theoretischen Dimensionierung und im praktischen Aufbau mit anschliessender Ausmessung der Kollektorschaltung nach Abbildung 1.1.

1.2 Kenndaten

Transistor:	<i>BC107B</i>
U_{BATT} :	+15V
Stromverstärkung:	100
Querstrom:	$I_s = 10 * I_b$
Kollektorstrom:	$I_C = 5mA$
Untere Grenzfrequenz:	$f_u = 1kHz$
Obere Grenzfrequenz:	$f_o = 100kHz$
Innenwiderstand der Signalquelle:	$R_q = 600$

$$U_{RE} = U_{CE} = \frac{1}{2} * U_{BATT}$$

Der -3dB Abfall an der unteren Grenzfrequenz ist auf beide Hochpassglieder (C_1, C_2) gleichmässig aufzuteilen.

Die obere Bandgrenze f_o ist durch Parallelschaltung einer Kapazität C_3 über dem Lastwiderstand nachzubilden.

Kapitel 2

Aufgaben und Auswertungen

2.1 Dimensionierung

Unter Berücksichtigung der verlangten Pflichtdaten ist eine komplette gleichstrom- und wechselstrommässige Dimensionierung der Kollektorschaltung nach Abbildung 1.1 durchzuführen. Für die Berechnung von \bar{Z}_{ein} , \bar{Z}_{aus} und v_u sind die Kapazitäten C_1 und C_2 als Kurzschlüsse zu betrachten. Zur Bestimmung der Entkopplungskondensatoren C_1 und C_2 berechne man den Frequenzgang ($G(j\omega) = U_2(j\omega)/U_1(j\omega)$) der Kollektorschaltung und zeichne den asymptotischen Verlauf des Amplituden- und Phasengang in Bode-Darstellung auf.

2.1.1 DC-Analyse

Spannungen [1]:

$$U_{CE} = U_{RE} = \frac{1}{2} * U_{BATT} = \frac{1}{2} * 15V = 7.5V \quad (2.1)$$

$$U_{RB2} = U_{CE} + U_{BE} = 7.5V + 0.7V = 8.2V \quad (2.2)$$

$$U_{RB1} = U_{BATT} - U_{RB2} = 15V - 8.2V = 6.8V \quad (2.3)$$

Ströme:

$$I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{5mA}{290} = 17.2\mu A \quad (2.4)$$

$$I_S = 10 * I_B = 10 * 17.2\mu A = 172.4\mu A \quad (2.5)$$

Widerstände:

$$R_E = \frac{U_{CE}}{I_C + I_B} = \frac{7.5V}{5mA} = 1.5k\Omega \quad (2.6)$$

$$R_{RB1} = \frac{U_{RB1}}{I_S} = \frac{6.8V}{172.4\mu A} = 39.4k\Omega \quad (2.7)$$

$$R_{RB2} = \frac{U_{RB2}}{I_S - I_B} = \frac{8.2V}{172.4\mu A - 17.2\mu A} = 52.8k\Omega \quad (2.8)$$

$$R_{be} = \frac{U_T}{I_{b0}} = \frac{26mV}{17.2\mu A} = 1.5k\Omega \quad (2.9)$$

2.1.2 AC-Analyse

Widerstände:

$$v_u = \frac{1}{1 + \frac{r_{be}}{(1+\beta)R_E}} = \frac{1}{1 + \frac{1.5k\Omega}{(1+290)1.5k\Omega}} = 0.996 \approx 1 \quad (2.10)$$

$$v_i = 100 = \frac{R_{ein}}{R_L} = \frac{(r_{be} + (\beta + 1)(R_E \parallel R_L)) \parallel R_{B1} \parallel R_{B2}}{R_L} \quad (2.11)$$

$$\text{somit} \rightarrow R_L = 143.8\Omega \quad (2.12)$$

$$R_{ein} = (r_{be} + (\beta + 1)(R_E \parallel R_L)) \parallel R_{B1} \parallel R_{B2} = 14.36k\Omega \quad (2.13)$$

$$R_{aus} = \frac{r_{be} + R_q}{\beta} \parallel (R_E \parallel R_L) = 7.2\Omega \quad (2.14)$$

Kondensatoren [2]:

$$f'_{gu} = \frac{f_{gu}}{\frac{1}{\sqrt{\sqrt{2}-1}}} = 643.6Hz \quad (2.15)$$

$$C_1 = \frac{1}{2 * \pi * f'_{gu} * (R_{ein} + R_G)} = 16.5nF \quad (2.16)$$

$$C_2 = \frac{1}{2 * \pi * f'_{gu} * (R_{aus} + R_L)} = 1.6 \mu F \quad (2.17)$$

$$C_3 = \frac{1}{2 * \pi * f_{go} * (R_{aus} || R_L)} = 220 nF \quad (2.18)$$

Somit ergibt sich die Schaltung zu Abbildung 2.1:

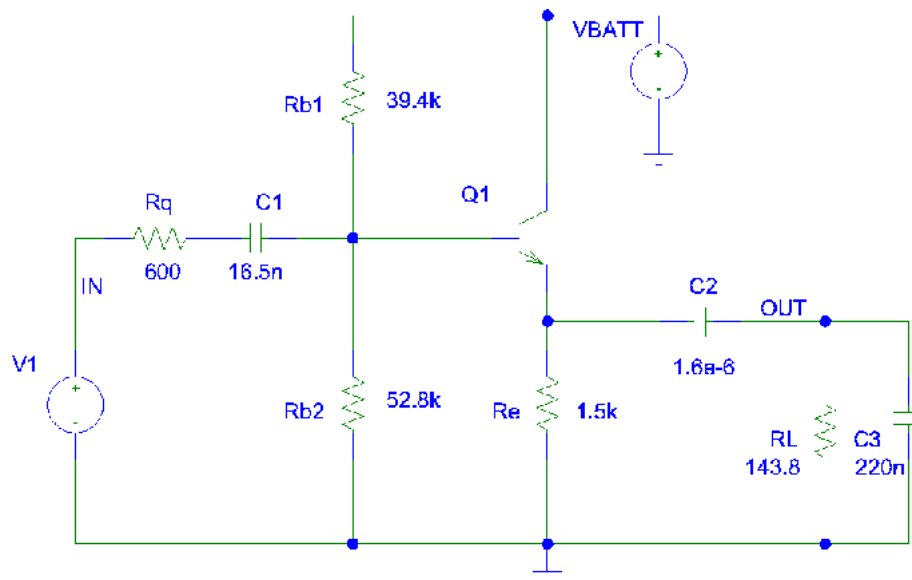


Abbildung 2.1: Berechnete Kollektorschaltung

Der asymptotische Verlauf des Amplituden- und Phasenganges in Bode-Darstellung ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

$$G_1(j\omega) = \frac{j\omega C_1 (R_{ein} + R_G)}{j\omega C_1 (R_{ein} + R_G) + 1} \quad (2.19)$$

$$G_2(j\omega) = \frac{j\omega C_2 R_L}{j\omega C_2 (R_{aus} + R_L) + 1} \quad (2.20)$$

$$G_3(j\omega) = \frac{1}{j\omega C_2 (R_{aus} || R_L) + 1} \quad (2.21)$$

2.2 Aufbau

Aufgrund der in Aufgabe 2.1 durchgeführten Dimensionierung, ist die Kollektorschaltung im Labor aufzubauen und in Betrieb zu nehmen. Dabei sind sämtliche Gleichspannungspotentiale bezüglich des Signalnullpunktes auszumessen und mit den theoretischen Werten zu vergleichen.

	Spannung:	theoretischer Wert:	praktischer Wert:
	U_{BATT}	15V	15.172V
	U_E	7.5V	7.77V
	U_B	8.2V	8.38V

Die theoretischen DC-Werte stimmen mit den Praktischen ziemlich gut überein. Die Abweichungen erkläre ich mir mit Bauteiltoleranzen aller Widerstände bis zu 10% aber vor allem dem B des Transsistors, welches ich mit einem mittleren Wert von 290 angenommen habe.

2.3 Linearität

Bei mittleren Frequenzen (ca. 10kHz) ist die Linearität der Verstärkerschaltung $U_2 = f(U_1)$ auszumessen und graphisch auszuwerten.

Die Linearität ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Ab einer Eingangsspannung von $U_1 > 700mV$ wird der Ausgang verzerrt. Eigentlich wird nur die untere Halbwelle verzerrt bzw. nicht mehr Verstärkt. Die Obere Halbwelle wird nie verzerrt.

2.4 Impedanz und Verstärkung

Durch eine geeignete Messung bestimme man bei 1kHz und 10kHz folgende grössen: $\bar{Z}_{ein}, \bar{Z}_{aus}, v_u, v_i$. Die gemessenen Grössen sind mit den unter Aufgabe 2.1 vorgegebenen und berechneten Werten zu vergleichen. Wie können eventuelle Abweichungen begründet werden?

Z_{ein} : Um die Eingangsimpedanz zu bestimmen, schaltete ich einen Widerstand mit einem Wert von $R_{mess} = 15k\Omega$ in Serie zum Eingang. Diesen Wert wählte ich möglichst ähnlich dem berechneten Wert um Messfehler zu

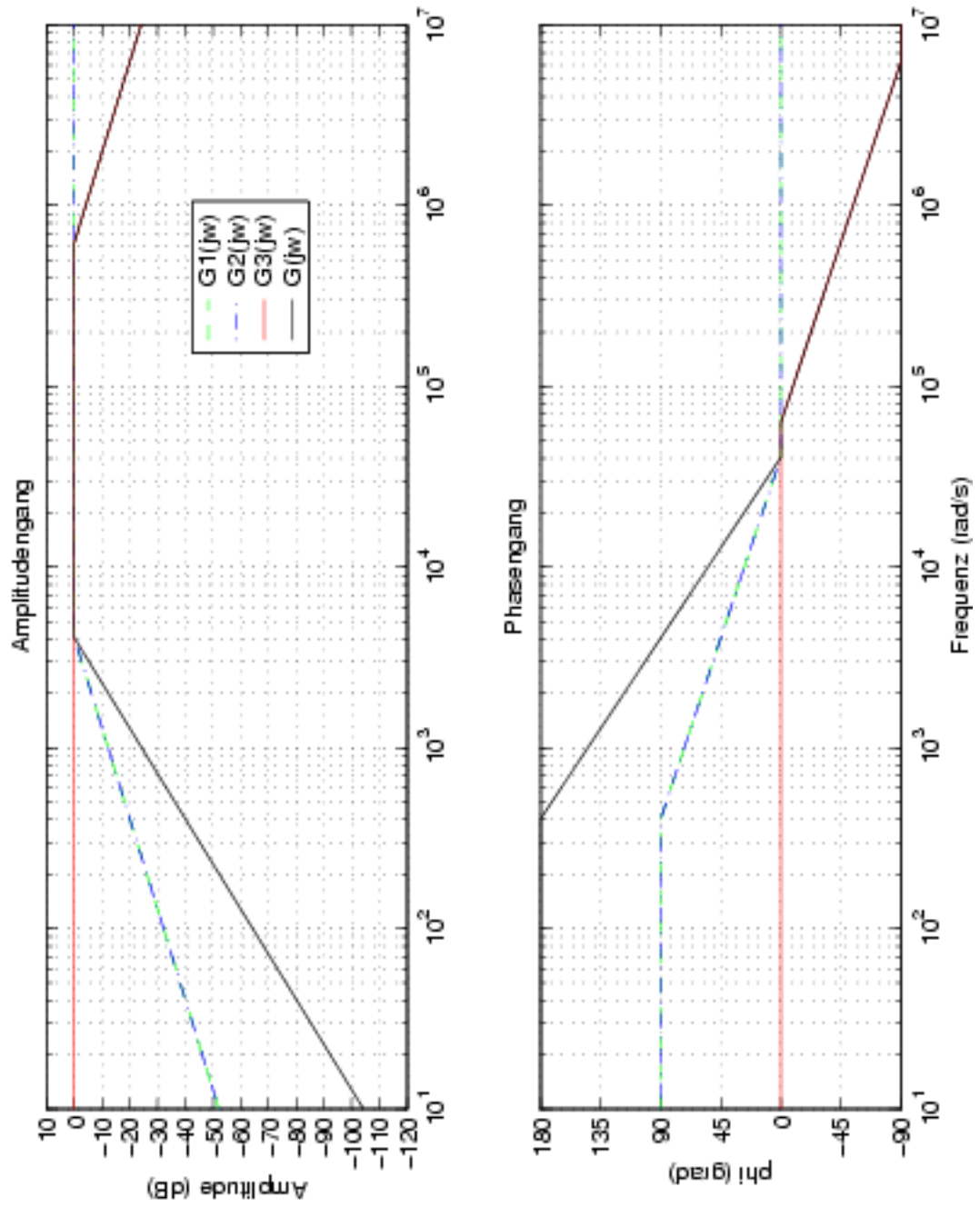


Abbildung 2.2: Amplituden- und Phasengang in Bodedarstellung

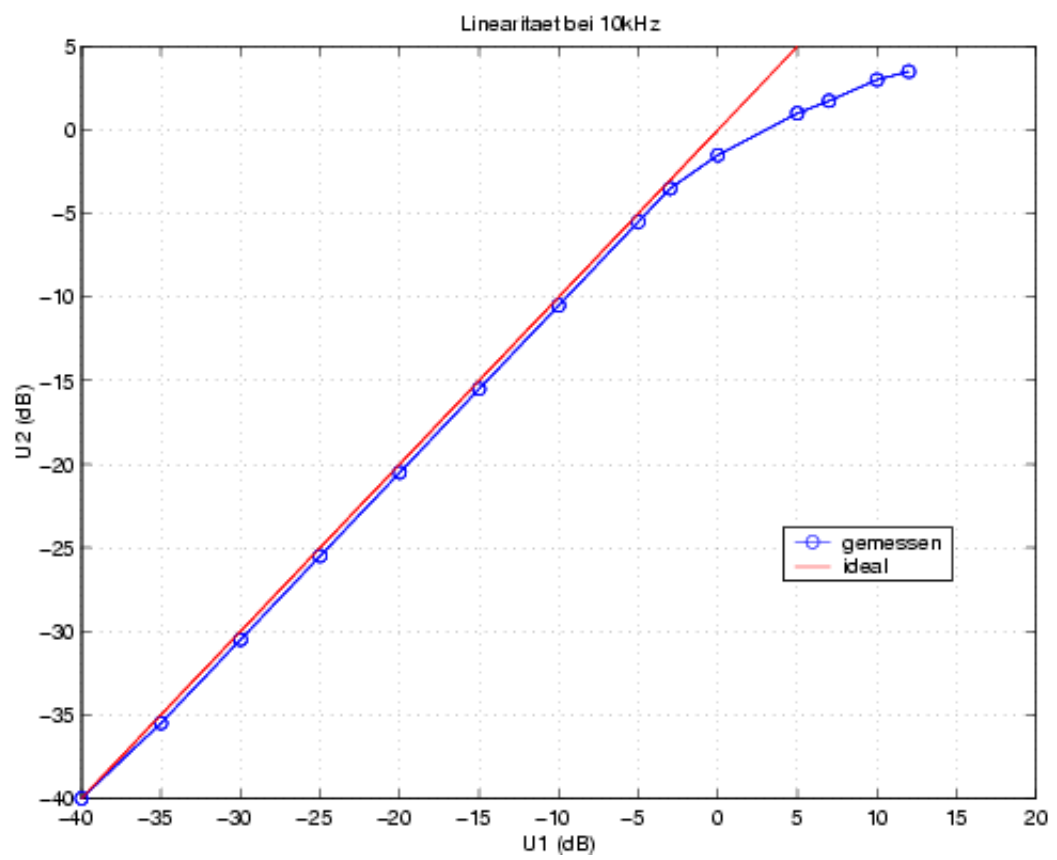


Abbildung 2.3: Linearität der Schaltung bei 10kHz

vermeiden.

$$\bar{Z}_{ein_{1k}} = \frac{U_e * R_{mess}}{R'_e - R_e} = \frac{27.6e^{-14j}mV_{eff} * 15k\Omega}{44.9e^{0j}mV_{eff} - 27.6e^{-14j}mV_{eff}} = 21.4e^{-34j}k\Omega \quad (2.22)$$

$$\bar{Z}_{ein_{1k}} = 17.7k\Omega - 12jk\Omega \quad (2.23)$$

$$\bar{Z}_{ein_{10k}} = \frac{U_e * R_{mess}}{R'_e - R_e} = \frac{22.7e^{-14j}mV_{eff} * 15k\Omega}{43.8e^{0j}mV_{eff} - 22.7e^{-14j}mV_{eff}} = 15e^{-28j}k\Omega \quad (2.24)$$

$$\bar{Z}_{ein_{10k}} = 13.3k\Omega - 7jk\Omega \quad (2.25)$$

Die Abweichung vom gerechneten Wert $R_{ein} = 14.4k\Omega$ begründe ich durch die Ungenauigkeit von r_{be} und β . Diese zwei Werte sind Transistor abhängig und sind Durchschnittswerte aus einem Datenblatt.

Z_{aus} : Um die Ausgangsimpedanz zu bestimmen, schaltete ich einen Widerstand mit einem Wert von 10Ω in Serie zum Ausgang und spies das das Signal rückwärts in die Schaltung ein ($R_L = 0$ und $U_e = 0$). Den Widerstandswert wählte ich möglichst ähnlich dem berechneten Wert von R_{aus} um Messfehler zu vermeiden.

$$\bar{Z}_{aus_{1k}} = \frac{U_a * R_{mess}}{R'_a - R_a} = \frac{38.1e^{-5j}mV_{eff} * 10\Omega}{38.8e^{0j}mV_{eff} - 38.1e^{-5j}mV_{eff}} = 99e^{-65j}k\Omega \quad (2.26)$$

$$\bar{Z}_{aus_{1k}} = 41\Omega - 90j\Omega \quad (2.27)$$

$$\bar{Z}_{aus_{10k}} = \frac{U_a * R_{mess}}{R'_a - R_a} = \frac{26.6e^{-7j}mV_{eff} * 10\Omega}{31.3e^{0j}mV_{eff} - 26.6e^{-7j}mV_{eff}} = 45.3e^{-40.5j}\Omega \quad (2.28)$$

$$\bar{Z}_{aus_{10k}} = 34.4\Omega - 29.4j\Omega \quad (2.29)$$

Die gemessenen Werte entsprechen dem theoretischen $R_{aus} = 7.2\Omega$ gar nicht. Bei der theoretischen Betrachtung wurde allerdings das $1/h_{oe}$ des

Transistor nicht mitberücksichtigt was hier bei der Messung zu den Abweichungen beitragen kann. Auch fällt hier eine allfällige Abweichung von β ins Gewicht.

v_u : Aus Abbildung 2.4 liest man eine Spannungsverstärkung:

$$v_{u_{1k}} = \frac{u_2}{u_1} = -29dB - (-25dB) = -4dB \rightarrow 0.63 \quad (2.30)$$

$$v_{u_{10k}} = \frac{u_2}{u_1} = -27dB - (-25dB) = -2dB \rightarrow 0.79 \quad (2.31)$$

Das berechnete $v_u = 0.996$ stimmt nur für die unbelastete Schaltung $R_L = 0$. Diese Werte beziehen sich jedoch auf die belastete Schaltung und können somit schwer verglichen werden.

v_i : Die Stromverstärkung kann rechnerisch aus Widerstand und Spannung ermittelt werden:

$$v_{i_{1k}} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{u_2 * Z_{ein}}{u_1 * Z_{aus}} = \frac{-25dB * 21.4k\Omega}{-29dB * 99\Omega} = 342 \quad (2.32)$$

$$v_{i_{10k}} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{u_2 * Z_{ein}}{u_1 * Z_{aus}} = \frac{-25dB * 15k\Omega}{-27dB * 45.3\Omega} = 416 \quad (2.33)$$

Diese Werte lassen sich schwer mit der Vorgabe von $v_i = 100$ vergleichen, da die Schaltung bei der Messung von Z_{aus} nicht belastet war. Rechnet man aber mit der Parallelschaltung von $Z_{aus} || R_L$ ergibt sich auch nicht ein Wert von $v_i = 100$, dies da die gemessenen Werte von Z_{aus} um einen Faktor 5 abweichen. Bei der Berechnung von R_L wurde immer mit einem $v_u = 1$ gerechnet, dies ist ein weitere Faktor, welcher zur ungenauigkeit hinzuträgt.

2.5 Amplituden- und Frequenzgang

Der in Aufgabe 2.1 berechnete Frequenzgang ist nun auszumessen und mit den theoretischen Resultaten zu vergleichen. Abweichungen zwischen praktischen und theoretischen Resultaten sind zu begründen

Der Amplituden- und Phasengang der realen Schaltung ist in Abbildung 2.4 zu sehen. Zur Hilfe habe ich noch den idealen Verlauf mitgeplottet.

Der Amplituden- und Phasengang stimmt bei dieser Schaltung ziemlich genau überein und entspricht den theoretischen Verlauf.

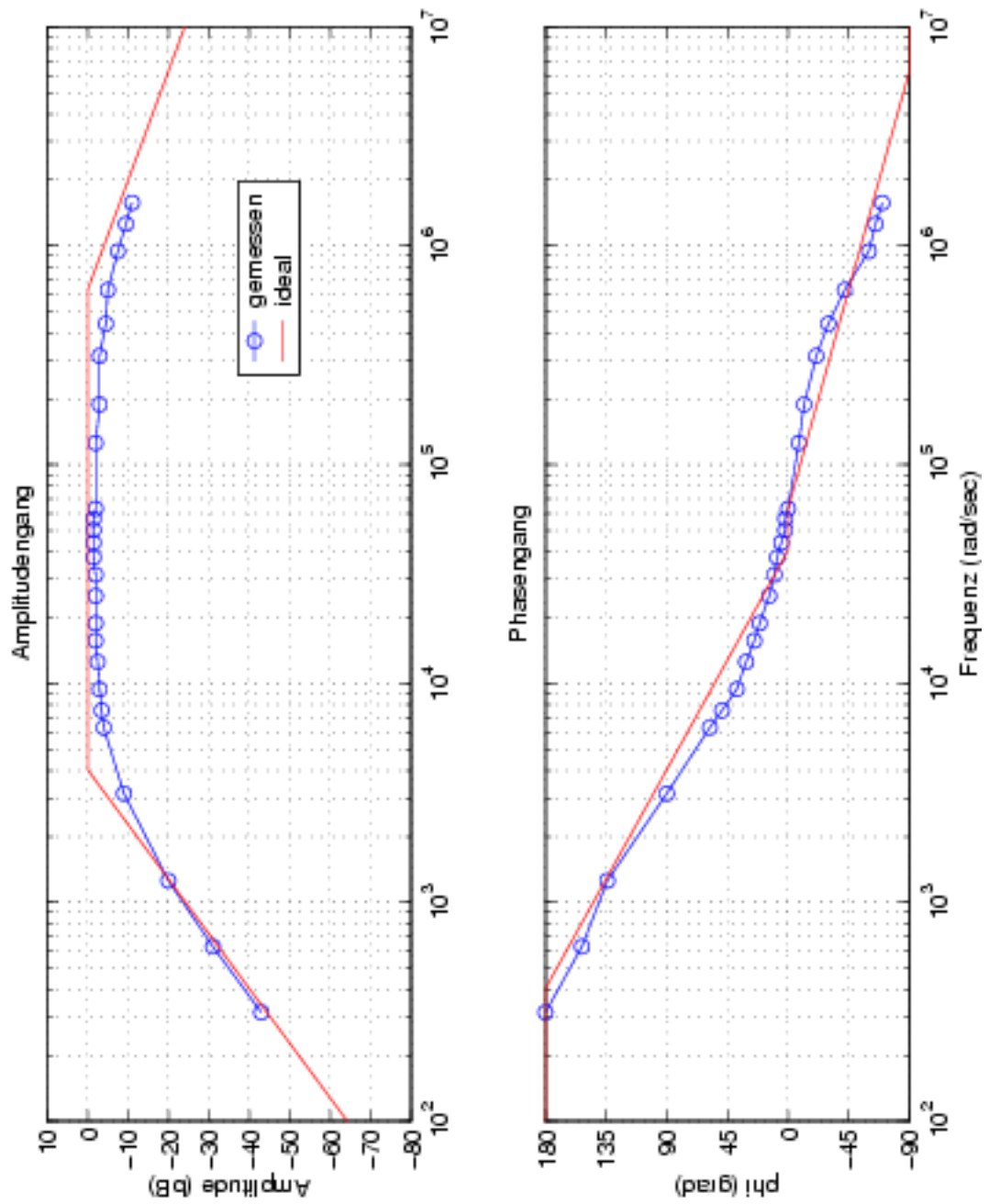


Abbildung 2.4: Amplituden und Phasengang

2.6 Einfluss von R_E

Was für einen Einfluss hat die Variation von R_E auf die Strom- und Spannungsverstärkung?

Den Einfluss von R_E auf v_u ist der Formel 2.10, auf v_i der Formel 2.11 zu entnehmen. R_E grösser $v_u \rightarrow 1$ und $v_i \rightarrow$ *grösser*

Anhang A

Messmittel

DB-Voltmeter: Helwet Packard 400E
1mW 600 Ohm
536-08197 / 536-08323

Function Generator: Stanford Research Systems DS 345
50 Ohm
26367

KO: Metrix OX 8100
149587WHF

Multimeter: Helwet Packard 34401A
3146A30213

Literaturverzeichnis

- [1] Kories / Schmidt-Walter. *Taschenbuch der Elektrotechnik*. Harri Deutsch ISBN: 3-8171-1563-6, 1998.
- [2] U. Tietze / Ch. Schenk. *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer ISBN: 3-540-64192-0, 1999.