

3/4 (2. Halbttag) | Transistor und Transistorverstärker

Angelo Brade^{*1} and Jonas Wortmann^{†1}

¹Rheinische Friedrich–Wilhelms–Universität Bonn

September 6, 2024

^{*}s72abrad@uni-bonn.de

[†]s02jwort@uni-bonn.de

Contents

1	Introduction	1
2	Theory	1
3	Preliminary Tasks	2
3.1	G	2
3.2	H	2
3.3	I	2
3.4	J	2
3.5	K	2
3.6	L	2
3.7	M	2
3.8	N	2
4	Analysis	3
4.1	Voltageamplifier of the common collector	3
4.2	Common collector as buffer amplifier	3
4.3	Inverted amplifier	3
4.3.1	Phasere relationship between input and output	3
4.3.2	Voltage amplification of the inverted amplifier	4
4.3.3	Resistance of a Transistor	4

1 Introduction

In this experiment, the bipolar transistor is used, but here as an emitter sequence for voltage amplification and as an impedance converter (buffer). Also, the negative feedback of alternating current and the behavior of different frequencies will be observed via a cascode circuit.

2 Theory

The whole theory of different kinds of transistors is still needed.

An emitter follower is an electronic component, with which a current can be amplified (factor γ), without any change in voltage (factor v).

$$v = \frac{dU_E}{dU_B} \approx 1 \quad \gamma = \frac{dI_E}{dI_B} \approx 100. \quad (2.1)$$

This is why sometimes an emitter follower is called an impedance changer.

The negative feedback factor k denotes, which fraction of the output voltage is

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + k. \quad (2.2)$$

Die Verstärkung mit Gegenkopplung v ist hier zwar kleiner als die Leerlaufverstärkung v_0 , allerdings hängt diese nur noch von der äußeren Beschaltungen und nicht mehr von v_0 , also dem Transistor, ab. Diese Verstärkung kann man beschreiben wie

$$\frac{dv}{v} = \frac{dv_0}{v_0} \frac{v}{v_0}. \quad (2.3)$$

Die Bandbreite einer Verstärkerschaltung ist der Frequenzbereich, innerhalb dessen die Verstärkung konstant ist. Für die Erhöhung der Bandbreite wird eine Kaskodenschaltung verwendet. Um solch eine Vergrößerung zu erzielen wird die wechsellspannungsmäßige Rückkopplung des Kollektors auf die Basis verringert, indem ein großer Spannungshub durch die Verwendung eines zweiten Transistors vermieden wird. Existiert nun ein Eingangssignal, so ist die daraus resultierende Spannungsänderung im Spannungshub viel geringer als die Änderung der Ausgangsspannung. Dadurch ist die Bandbreite einer solchen Kaskodenschaltung größer.

Arbeitspunktstabilisierung kann mit Hilfe von

Gegenkopplung erzielt werden. Eine Möglichkeit dafür ist die Spannungsgegenkopplung.

Hier stellt der Widerstand R das Basispotential und damit den Arbeitspunkt ein und er koppelt die Spannung am Kollektor zurück zur Basis. Durch diese Gegenkopplung verkleinert sich der Basisstrom bei konstanter Eingangsspannung.

3 Preliminary Tasks

3.1 G

\mathbb{Z} $v = \frac{\gamma R_E}{r_{BE} + \gamma R_E}$ mit $\gamma = \frac{dI_E}{dI_B}$ und $r_{BE} = \frac{dU_{BE}}{dI_B}$.

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{dU_E}{dU_B} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{dI_E R_E}{dU_{BE} + dU_E} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{\frac{dI_E R_E}{dI_B}}{\frac{dU_{BE}}{dI_B} + \frac{dU_E}{dI_B}} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{\gamma R_E}{r_{BE} + \gamma R_E}.
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

3.2 H

Es gilt

$$\begin{aligned}
 \frac{r_{\text{out}}}{r_{\text{in}}} &= \frac{\frac{dU_E}{dI_E}}{\frac{dU_B}{dI_B}} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{dU_E}{dI_E} \frac{dI_B}{dU_B} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{dU_E}{dU_B} \frac{dI_B}{dI_E} \\
 \Leftrightarrow &\approx 1 \cdot \frac{1}{\gamma}.
 \end{aligned}$$

3.3 I

Es ist

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{dU_C}{dU_B} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{dI_C R_C}{dU_{BE} + dU_E} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{\frac{dI_C R_C}{dI_B}}{\frac{dU_{BE}}{dI_B} + \frac{dU_E}{dI_B}} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{\beta R_C}{r_{BE} + \gamma R_E}.
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

3.4 J

Es gilt

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{v} &= \frac{1 + kv_0}{v_0} \\
 \Leftrightarrow v &= \frac{v_0}{1 + kv_0} \\
 \Leftrightarrow \frac{dv}{dv_0} &= \frac{1}{(1 + kv_0)^2} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{v}{v_0} \frac{1}{1 + kv_0} \\
 \Leftrightarrow \frac{dv}{v} &= \frac{dv_0}{v_0} \frac{1}{1 + kv_0} \\
 \Leftrightarrow &= \frac{dv_0}{v_0} \frac{v}{v_0}.
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

3.5 K

Der parallel geschaltete Kondensator mit Kapazität C_{CB} bildet mit dem Transistor einen Hochpass. Wird also eine hochfrequente Wechselspannung angeschlossen, so läuft wenig Strom durch den Transistor, was dazu führt, dass die Verstärkung von hochfrequenten Signalen nicht erreicht wird.

3.6 L

(3.3) Am Punkt P findet sich keine Spannungsänderung, da die Eingangsspannung U_B des Transistors T2 konstant ist. Somit hat die Stromänderung $dI_E(T_2)$, bestimmt durch die Spannungsänderung am Transistor, keine Wirkung.

3.7 M

(3.4) Es ist bei Transistfrequenz unter Gegenkopplung $f_{\text{grenz gk } v} (f = 0) = f_{\text{grenz } v_0}$. Daraus folgt $f_{\text{grenz gk}} = f_{\text{grenz } v} \frac{v_0}{v(f=0)}$.

3.8 N

Erhöht sich der Basisstrom I_B , so erhöht sich auch die Kollektorspannung U_C und die Spannung über den Widerstand U_{R_C} . Hier soll aber U_0 konstant sein, also sinkt die Spannung über den Widerstand R ab, was dazu führt, dass der Arbeitspunkt des Transistors stabil bleibt.

4 Analysis

4.1 Voltage amplifier of the common collector

On circuit board I (Fig. 2) we construct a common collector with $dU_B = 2.1 V_{PP}$ and $U_B \approx 2 V$. To test the voltage amplification we chose a variety of different resistor combinations. The measurements are displayed in Tab. 1. We expect no change for different R_E .

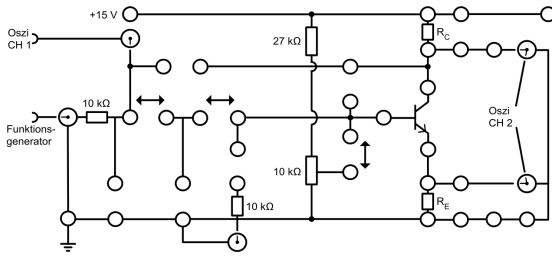


Figure 2: Circuit board 1[1]

R_C	R_E	amplification ν
360 Ω	1 k Ω	1.000(25)
360 Ω	22 k Ω	1.025(25)
360 Ω	47 k Ω	1.015(25)
1 k Ω	360 Ω	0.945(25)
22 k Ω	360 Ω	0.114(25)
47 k Ω	360 Ω	0.120(25)

Table 1: Voltage amplification for different resistor combinations

As we see, there is no significant variation of the amplification for different R_E . Though we can clearly see a lowering of the amplification for higher R_C , which is plausible since we have less current that can be amplified.

4.2 Common collector as buffer amplifier

Here we are tasked to match the impedance of a speaker, so we are able to hear an output. For this we firstly construct an Inverted Amplifier and test the speaker solely without a common collector. We observe, that the speaker does not produce any sound, because we haven't matched the impedance. Now we add a common collector as a buffer amplifier, which in theory should be able to match the impedance of the speaker. Unfortunately we could not get the circuit running and test the hypothesis.

4.3 Inverted amplifier

4.3.1 Phase relationship between input and output

Now we build a common emitter on circuit board I with $R_C = R_E = 390 \Omega$, $dU_B = 0.5 V_{PP}$, $U_B = 1.5 V$ and we choose a capacity prior to the input signal of $0.1 \mu F$. As we can see in the xy (CH1, CH2) configuration in fig. 3, the phase is not linear, but elliptic. Thus we have not the same phase. We found out through experimenting, that the multiple ellipses come from noise. The phase relationship and especially the noise is also visible in fig. 4, as the lines are rather thick. We can see that the phase difference is between $\frac{1}{2}\pi$ and 1π , because we now have coupled the capacitor.

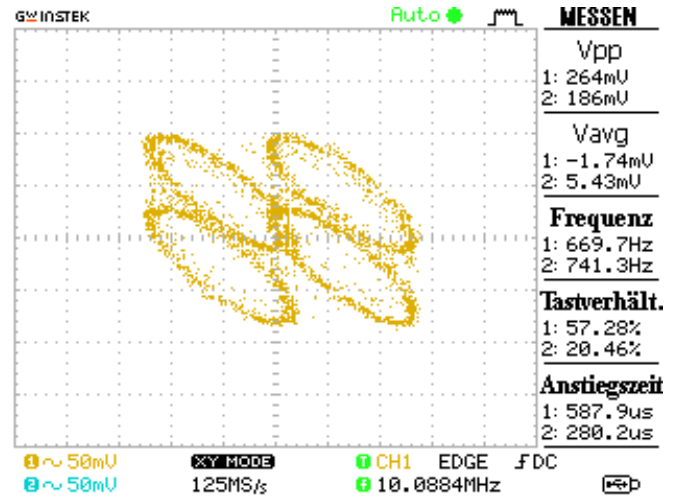


Figure 3: Phase relationship in phase space

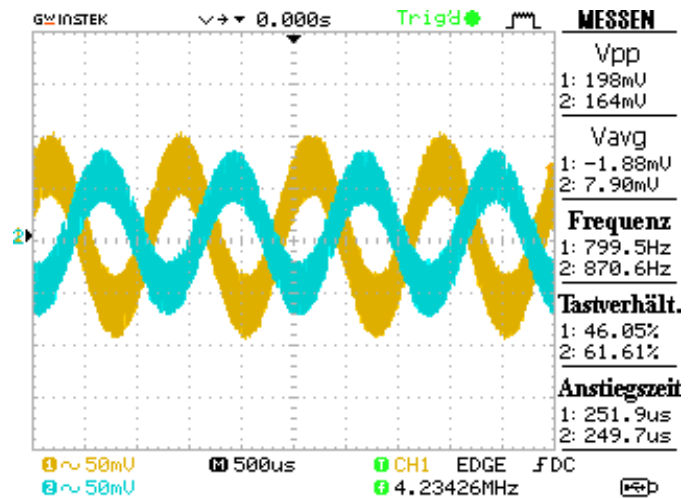


Figure 4: Phase relationship in voltage/time space

4.3.2 Voltage amplification of the inverted amplifier

We measure the voltage amplification with different values for the resistors R_E and R_C . The results are displayed in tab. 2.

R_C	R_E	amplification ν	$\nu = -\frac{R_C}{R_E}$
360 Ω	470 Ω	-0.686(24)	-0.830
360 Ω	1 k Ω	-0.437(24)	-0.390
360 Ω	4.7 k Ω	-0.250(25)	-0.083
360 Ω	33 k Ω	-0.196(25)	-0.012
360 Ω	47 k Ω	-0.180(25)	-0.008
470 Ω	360 Ω	-0.857(24)	-1.205
1 k Ω	360 Ω	-1.491(25)	-2.564
4.7 k Ω	360 Ω	-2.284(22)	-12.05
33 k Ω	360 Ω	-0.234(27)	-84.62
47 k Ω	360 Ω	-0.234(27)	-120.5

Table 2: Voltage amplification for different resistor combinations

We notice that the part, where R_C stays constant, the experimental values follow the theoretical ones in their general trend, but are not exactly the same. For the part where R_E stays constant we observe that first the data follows the calculations, but to the end, with the highest resistance, just drop. It seems that there is a sweetspot

for an optimal amplification. Then it should have to do something with resonance, so the amplification is frequency dependent.

4.3.3 Resistance of a Transistor

Now with the special case, that $R_E = 0 \Omega$ and $E_C = 390 \Omega$, we can read the peak-to-peak voltage from oscillogramm and calculate the amplification and $\beta = \frac{I_C}{I_E}$ with $I = \frac{U}{R}$.

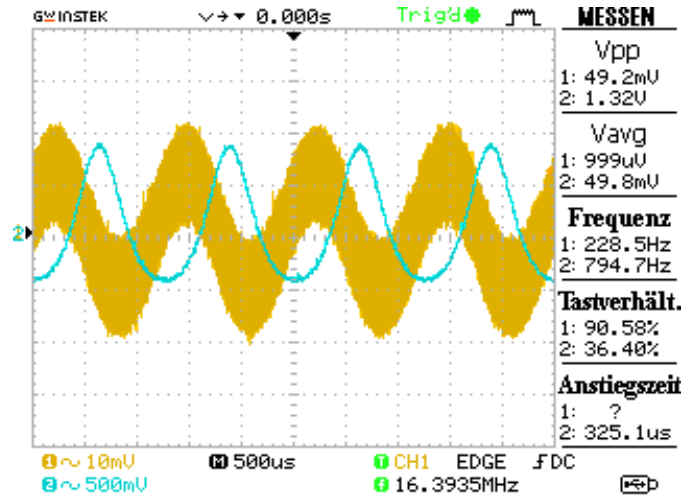


Figure 5: Phase relationship in phase space

List of Figures

2	Circuit board 1[1]	3
3	Phase relationship in phase space	3
4	Phase relationship in voltage/time space	3
5	Phase relationship in phase space	4

List of Tables

1	Voltage amplification for different resistor combinations	3
2	Voltage amplification for different resistor combinations	4

Source

- [1] Fabian Hügging. *Elektronik-Praktikum Versuchsanleitung*. Universität Bonn, kurs b edition, 2024.