

# Labor Bipolare Junction Transistoren

Laborbericht - Elektronik 1

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Gleichstromverstärkung eines NPN-Transistors</b>	<b>2</b>
2.1	Ziel . . . . .	2
2.2	Berechnungen . . . . .	2
2.3	Messschaltung . . . . .	3
2.4	Resultate . . . . .	3
2.5	Schlussfolgerung . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Z-Diode für Spannungsstabilisierung erweitert mit BJT</b>	<b>6</b>
3.1	Ziel . . . . .	6
3.2	Berechnungen . . . . .	6
3.3	Messschaltung . . . . .	6
3.4	Resultate Line Regulation . . . . .	7
3.5	Resultate Load Regulation . . . . .	8
3.6	Schlussfolgerung . . . . .	8
<b>4</b>	<b>NPN-Transistor als Schalter <i>level-shift</i></b>	<b>9</b>
4.1	Ziel . . . . .	9
4.2	Berechnungen . . . . .	9
4.3	Messschaltung . . . . .	10
4.4	Resultate . . . . .	11
4.4.1	DC-Verhalten . . . . .	11
4.4.2	AC-Verhalten . . . . .	11
4.5	Schlussfolgerung . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Eigenständigkeitserklärung</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>14</b>
A	Messaufbauten . . . . .	14
A.1	Gleichstromverstärkung . . . . .	14
A.2	Spannungsstabilisierung . . . . .	15
A.3	BJT als Schalter . . . . .	16

# 1 Einführung

Dieser Messbericht und den dahinterliegenden Messversuch befasst sich mit den verschiedenen Verwendungsfällen eines *bipolar junction transistor's* (BJT).

Für die Messschaltung folgender Messungen wurden fixe Bezeichnungen für das Powersupply, Funktionsgenerator und Messgeräte genommen, welche in der folgenden Liste ersichtlich ist. Diese sollte als Referenz zu den Messschaltungen verwendet werden.

- **PS/PS1/PS2** : RND 320-KD3305P Kanal 1, resp. Kanal 2
- **FL177-1** : Fluke 177 ET 14-099
- **FL177-2** : Fluke 177 ET 14-103
- **KO** : Agilent MSO6052A No.88
- **FG** : Funktionsgenerator jadadada

## 2 Gleichstromverstärkung eines NPN-Transistors

### 2.1 Ziel

Die Gleichstromverstärkung des ausgewählten NPN-Transistors *BC548B* wird durch Messen des Kollektor- und Basisstroms hergeleitet und wird mit den Informationen vom Datenblatt verglichen.

### 2.2 Berechnungen

Das Gleichstromverstärkungsverhalten ist in den Datenblätter entweder als  $B$  oder als  $h_{FE}$  beschrieben und gibt den Verstärkungsfaktor von  $I_B$  zu  $I_C$  an. Dieser Faktor basiert auf dem Verhältnis zwischen den beiden Strömen, welches in Gleichung 2.1 aufgezeigt wird.

$$B = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.1)$$

Die maximale Verlustleistung ist als  $P_{tot} = 500 \text{ mW}$  im Datenblatt des *BC548B* angegeben. Somit errechnet sich über Gleichung 2.2 eine maximale *Collector-Emitter-Spannung* von 5V, wenn mit dem maximalen Kollektor-Strom von 100 mA. Die Messung wird mit diesen  $U_{CE} = 5 \text{ V}$  und einer Strombegrenzung von 80 mA durchgeführt, so bewegt sich der Arbeitspunkt immer in einem sicheren Rahmen.

$$U_{CE_{max}} = \frac{P_V}{I_{C_{max}}} = \frac{500 \text{ mW}}{100 \text{ mA}} = 5 \text{ V} \quad (2.2)$$

Mit dem maximalen Kollektorstrom definiert, wird der Basis-Strom mit dem Verstärkungsfaktor  $h_{FE} = 200$ , welcher vom Datenblatt des *BC548Bs* entnommen wurde, berechnet.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{I_C}{200} = 400 \mu\text{A} \quad (2.3)$$

Der *Basis-Strom* soll mit einer *Controll-Voltage* ( $U_{CTRL}$  oder  $U_{PS1}$ ) von bis zu  $U_{CTRL_{max}} = 10 \text{ V}$  zwischen  $I_B = 0 \mu\text{A}$  und  $400 \mu\text{A}$  moduliert werden können. Somit ergibt sich über Gleichung 2.4 einen Vorwiderstand von  $22 \text{ k}\Omega$ .

$$R_V = \frac{U_{CTRL} - U_{BE}}{I_B} = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{400 \mu\text{A}} = 23.3 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{E12-Reihe } R_V = 22 \text{ k}\Omega \quad (2.4)$$

## 2.3 Messschaltung

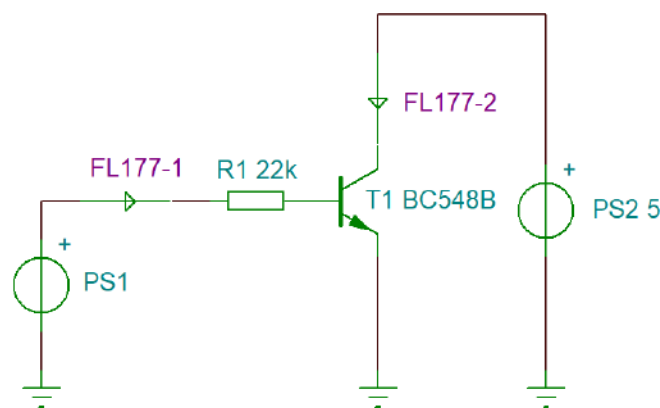
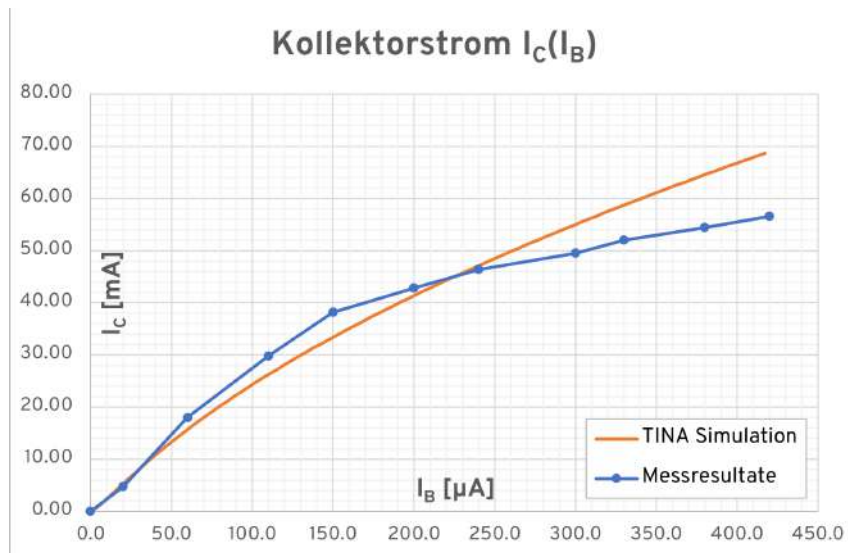
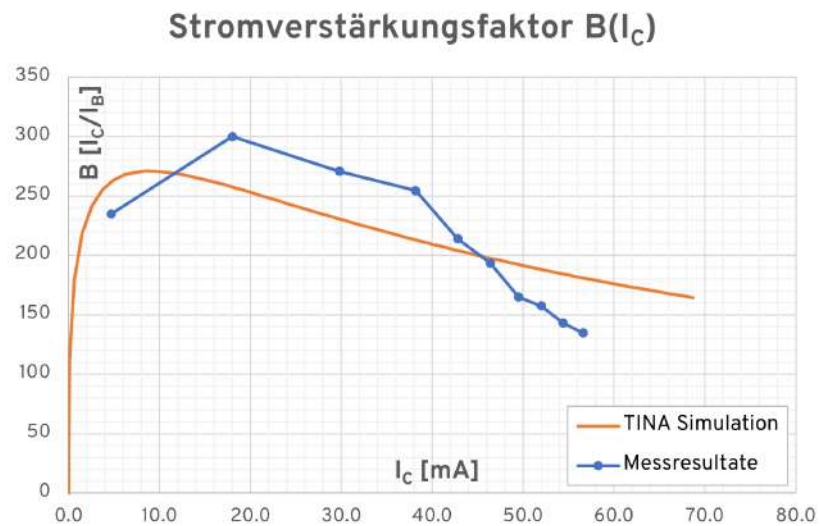


Abbildung 1. Gleichstromverstärkung

## 2.4 Resultate

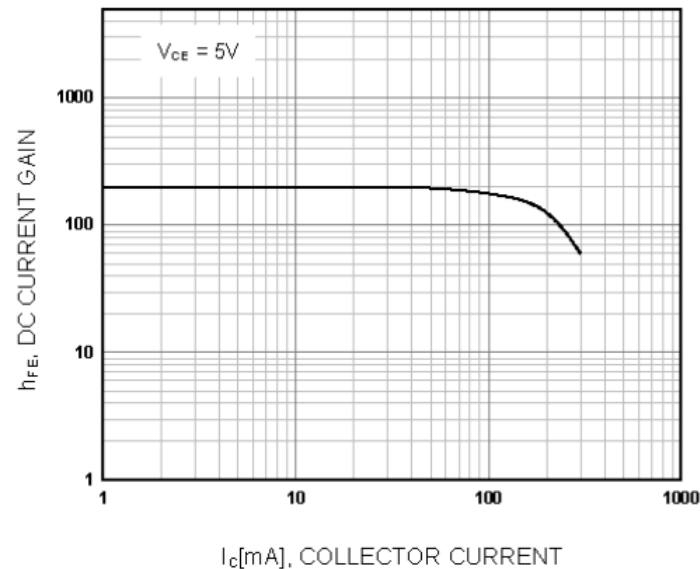
$U_{PS1}$	$I_B$	$I_C$	$B$	$P_V$
[V]	[A]	[A]	$I_C/I_B$	[W]
0.0	0.0E+0	0.0E+0	-	0.0E+0
1.0	0.02E-3	4.7E-3	235.0	23.5E-3
2.0	0.06E-3	18.0E-3	300.0	90.0E-3
3.0	0.11E-3	29.8E-3	270.9	149.0E-3
4.0	0.15E-3	38.2E-3	254.5	190.9E-3
5.0	0.20E-3	42.8E-3	214.0	214.0E-3
6.0	0.24E-3	46.4E-3	193.3	232.0E-3
7.0	0.30E-3	49.5E-3	165.0	247.5E-3
8.0	0.33E-3	52.0E-3	157.6	260.0E-3
9.0	0.38E-3	54.4E-3	143.2	272.0E-3
10.0	0.42E-3	56.6E-3	134.8	283.0E-3

Tabelle 1. Messresultate

Abbildung 2.  $I_C(I_B)$ -Diagramm mit Realwerten und TINA-WertenAbbildung 3.  $B(I_C)$ -Diagramm mit Realwerten und TINA-Werten

## 2.5 Schlussfolgerung

Die gemessenen Werte weisen einen ähnlichen Verlauf auf, wie die der TINA-Simulation. Im Vergleich zwischen der  $B(I_C)$ -Kurve (Abbildung 3) und der  $h_{FE}(I_C)$ -Kurve aus dem Datenblatt (Abbildung 4), scheint die Kurve des Datenblatts einen idealen Verstärkungsfaktor von 200 bei 0 A bis  $\approx 40$  mA anzugeben. Dies entspricht nicht mit den real Resultaten, wobei die realen weitere Einflüsse besaßen, wie zum Beispiel den Widerstand der Steckbretter.



**Abbildung 4.** Datenblattausschnitt vom  $h_{FE}(I_C)$ -Diagramm des *BC548Bs*

Die Resultate der Abbildung 2 zeigen einen Verlauf auf, welche leicht einem linearen Verlauf ähnelt, wobei die Messresultate ab  $I_B \approx 225 \mu\text{A}$  an Steigung verliert. Wenn ein kleiner Bereich von  $I_B$  verwendet wird, kann  $I_C$  fast proportional/linear verstärkt werden. Aber sobald ein grösserer Bereich verwendet wird, wird  $I_C$  stark verzerrt.

### 3 Z-Diode für Spannungsstabilisierung erweitert mit BJT

#### 3.1 Ziel

Als eine Erweiterung zur Zenerdiodenstabilisierung aus Labor 1, wird in dieser Schaltung ein Transistor *BC548B* als Längsregler verwendet. Es soll gezeigt werden, wie sich die Line- & Load-Regulation im Vergleich zur Schaltung ohne Transistor verhält.

#### 3.2 Berechnungen

Die Vorgaben für die Schaltung sind eine variable Eingangsspannung  $10\text{ V} \leq U_s \leq 16\text{ V}$  und eine Variable Last  $0\text{ mA} \leq I_{Last} \leq 10\text{ mA}$ .

Der Transistor wird in dieser Schaltung gesättigt betrieben. Mit dem über Gleichung 3.1 berechneten Basistrom, in Summe mit dem minimalen Z-Dioden-Strom  $I_Z = 5\text{ mA}$ , und der minimalen Speisspannung  $U_{smin} = 10\text{ V}$  errechnet sich über Gleichung 3.2 ein Vorwiderstand von  $R_v = 820\ \Omega$ .

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FEmin}} \cdot \ddot{u} = \frac{10\text{ mA}}{200} \cdot 3 = 150\ \mu\text{A} \quad (3.1)$$

$$R_V = \frac{U_{smin} - U_Z}{I_B + I_Z} = \frac{10\text{ V} - 5.6\text{ V}}{150\ \mu\text{A} + 5\text{ mA}} = 854\ \Omega \Rightarrow \text{E12-Reihe } R_V = 820\ \Omega \quad (3.2)$$

Die Lastspannung beträgt  $\approx 5\text{ V}$  bei einer Basisemitter-Spannung von  $U_{BE} \approx 0.6\text{ V}$ . Messungen werden mit den drei Lastströmen  $I_L = 0\text{ mA}, 5\text{ mA}, 10\text{ mA}$  durchgeführt. Dafür werden nach  $U = R \cdot I$  die zwei Lastwiderstände  $R_L = 1\text{ k}\Omega, 470\ \Omega$  & einmal lastlos verwendet.

#### 3.3 Messschaltung

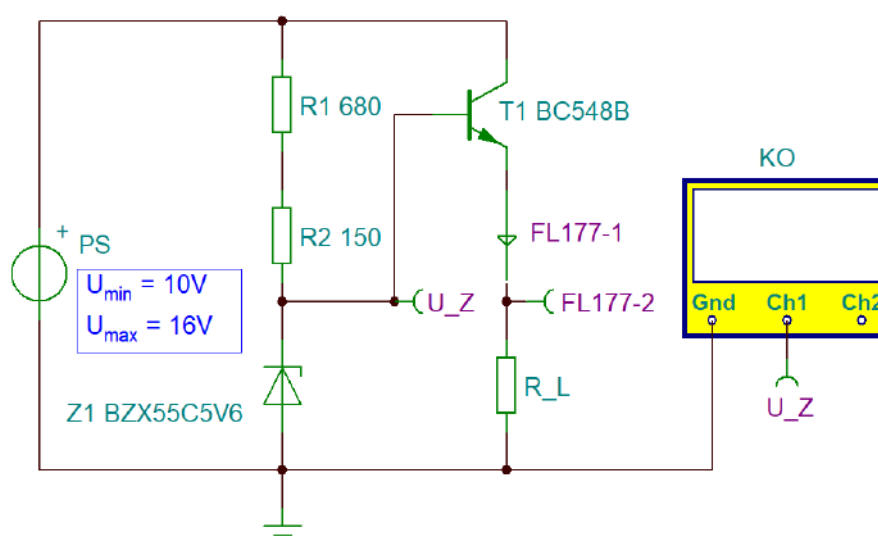


Abbildung 5. Spannungsstabilisierung mit Z-Diode & BJT

### 3.4 Resultate Line Regulation

$U_S$ [V]	$U_Z$ [V]	$I_V$ [mA]	$U_L$ [V]	$I_L(R_L = 470\ \Omega)$ [mA]
10.00	5.68	1.63	4.89	10.37
11.00	5.71	2.54	4.95	10.46
12.00	5.71	4.54	4.94	10.46
13.00	5.71	5.49	4.95	10.51
14.00	5.74	6.46	4.97	10.54
15.00	5.74	7.42	4.99	10.58
16.00	5.74	9.44	4.99	10.56

**Tabelle 2.** Messresultate mit  $470\ \Omega$  Lastwiderstand

$$\text{line regulation} = \frac{\Delta U_L}{\Delta U_S} = \frac{4.99\ \text{V} - 4.89\ \text{V}}{16\ \text{V} - 10\ \text{V}} = \frac{1}{60} = 0.016\bar{6} \quad (\text{TINA} \Rightarrow 0.018) \quad (3.3)$$

$U_S$ [V]	$U_Z$ [V]	$I_V$ [mA]	$U_L$ [V]	$I_L(R_L = 1\ \text{k}\Omega)$ [mA]
10.00	5.68	2.03	4.92	4.97
11.00	5.68	3.02	4.93	4.98
12.00	5.68	5.01	4.94	4.99
13.00	5.71	6.00	4.95	5.00
14.00	5.71	5.99	4.96	5.01
15.00	5.71	7.98	4.97	5.02
16.00	5.71	8.97	4.98	5.03

**Tabelle 3.** Messresultate mit  $1\ \text{k}\Omega$  Lastwiderstand

$$\text{line regulation} = \frac{\Delta U_L}{\Delta U_S} = \frac{4.98\ \text{V} - 4.92\ \text{V}}{16\ \text{V} - 10\ \text{V}} = 0.01 \quad (\text{TINA} \Rightarrow 0.018) \quad (3.4)$$

$U_S$ [V]	$U_Z$ [V]	$I_V$ [mA]	$U_L$ [V]	$I_L(R_L = \infty \Omega)$ [mA]
10.00	5.68	2.00	5.17	0.00
11.00	5.70	3.00	5.17	0.00
12.00	5.68	4.00	5.18	0.00
13.00	5.68	5.00	5.18	0.00
14.00	5.68	6.00	5.19	0.00
15.00	5.71	9.00	5.19	0.00
16.00	5.74	9.00	5.20	0.00

**Tabelle 4.** Messresultate ohne Lastwiderstand

$$\text{line regulation} = \frac{\Delta U_L}{\Delta U_S} = \frac{5.20 \text{ V} - 5.17 \text{ V}}{16 \text{ V} - 10 \text{ V}} = 0.005 \text{ (TINA} \Rightarrow 1.007) \quad (3.5)$$

### 3.5 Resultate Load Regulation

$R_L$ [ $\Omega$ ]	$U_L$ [V]	$I_L$ [mA]
1 k $\Omega$	4.92	4.97
680 $\Omega$	4.89	10.4

**Tabelle 5.** Messresultate  $U_S = 10 \text{ V}$ 

$$\text{load regulation} = \frac{\Delta U_L}{\Delta I_L} = \frac{4.89 \text{ V} - 4.92 \text{ V}}{10.4 \text{ mA} - 4.97 \text{ mA}} = -6.3 \frac{\text{V}}{\text{A}} \quad (3.6)$$

$R_L$ [ $\Omega$ ]	$U_L$ [V]	$I_L$ [mA]
1 k $\Omega$	4.98	5.03
680 $\Omega$	4.99	10.56

**Tabelle 6.** Messresultate  $U_S = 16 \text{ V}$ 

$$\text{load regulation} = \frac{\Delta U_L}{\Delta I_L} = \frac{4.99 \text{ V} - 4.99 \text{ V}}{10.56 \text{ mA} - 5.03 \text{ mA}} = 1.8 \frac{\text{V}}{\text{A}} \quad (3.7)$$

### 3.6 Schlussfolgerung

Wird die *Line Regulation* der Messungen mit den TINA-Werten verglichen, ist der Wert bei der kleineren Last (680  $\Omega$ ) näher an der Simulation, als bei der grösseren Last (1 k $\Omega$ ). Bei Lastlos, ist die *Line Regulation* stark daneben. Dies hat wohl den Grund, dass die Simulation die lastlose Spannung anders betrachtet als in der Realität. Anstatt die Limitierung durch die Z-Diode und die Abfallspannung über die Basis-Emitter-Pins, werden in der Simulation  $U_{CE} \approx 0.2 \text{ V}$  von der Speisspannung abgezogen. Warum genau TINA dies macht, ist unsererseits unbekannt.

Bei der *Load Regulation* sehen wir, dass sich diese bei steigender Speisspannung verbessert. Optimal wären  $0 \frac{\text{V}}{\text{A}}$ .



## 4 NPN-Transistor als Schalter *level-shift*

### 4.1 Ziel

Von einem Mikrocontrollersystem mit  $V_{CC} = 3.3\text{ V}$  soll mit Hilfe eines *BC548B*-Transistors eine Schaltung dimensioniert werden, die die Logischen Signale auf ein  $V_{CC} = 5\text{ V}$  System überträgt.

Analysiert werden soll die Transferkennlinie und die Aufstiegs- und Abfallzeiten. Zudem soll der Einfluss der kapazitiven Belastung der Schaltung auf die Zeiten der Pegelwechsel aufgezeigt werden.

### 4.2 Berechnungen

Die *Open-Collector-Schaltung* wird mit einem Pull-Up-Widerstand von  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$  versehen.  $1\text{ k}\Omega$  ist ein Standard-Wert, der oft als Pull-Up-Widerstand verwendet wird. Der maximale Kollektorstrom beträgt somit  $I_C = \frac{U_s}{R_2} = \frac{5\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 5\text{ mA}$  und daraus folgt über Gleichung 4.1 ein Vorwiderstand von  $R_1 = 33\text{ k}\Omega$

$$R_1 = \frac{U_{IN} - U_{BE_{max}}}{\frac{I_{C_{max}}}{h_{FE_{min}}} \ddot{u}} = \frac{3.3\text{ V} - 0.77\text{ V}}{\frac{5\text{ mA}}{200} 3} = 33.7\text{ k}\Omega \Rightarrow \text{E12-Reihe } R_1 = 33\text{ k}\Omega \quad (4.1)$$

### 4.3 Messschaltung

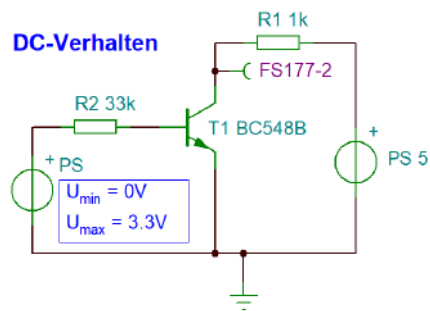


Abbildung 6. DC-Verhalten Messschaltung

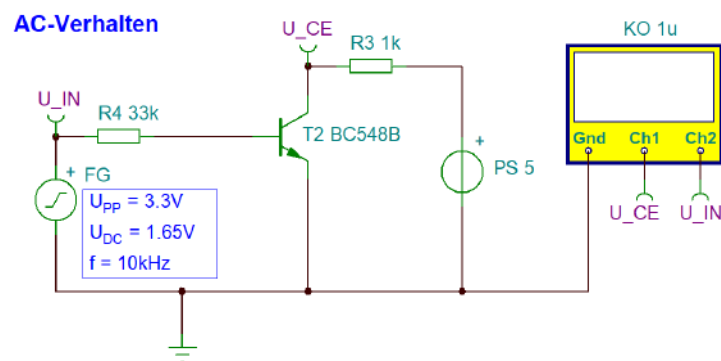


Abbildung 7. AC-Verhalten Messschaltung

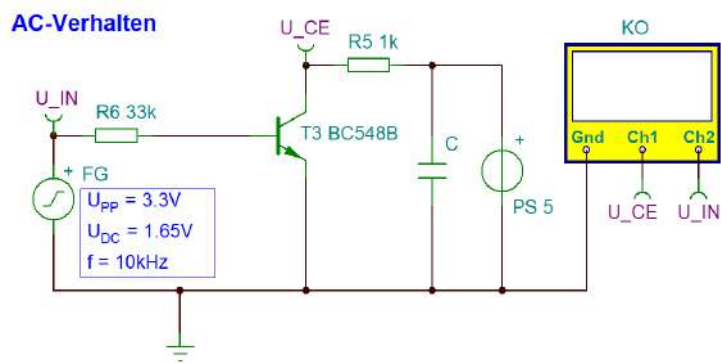


Abbildung 8. AC-Verhalten Messschaltung mit Lastkondensator

## 4.4 Resultate

### 4.4.1 DC-Verhalten

$U_{OUT}$  entspricht der gemessenen Spannung  $U_{CE}$  von der Messschaltung. Der Verstärkungsfaktor  $A$  wurde mit folgender Formel berechnet, welche von der Aufgabenbeschreibung entnommen wurde:

$$A = \frac{\Delta U_{OUT}}{\Delta U_{IN}} \quad (4.2)$$

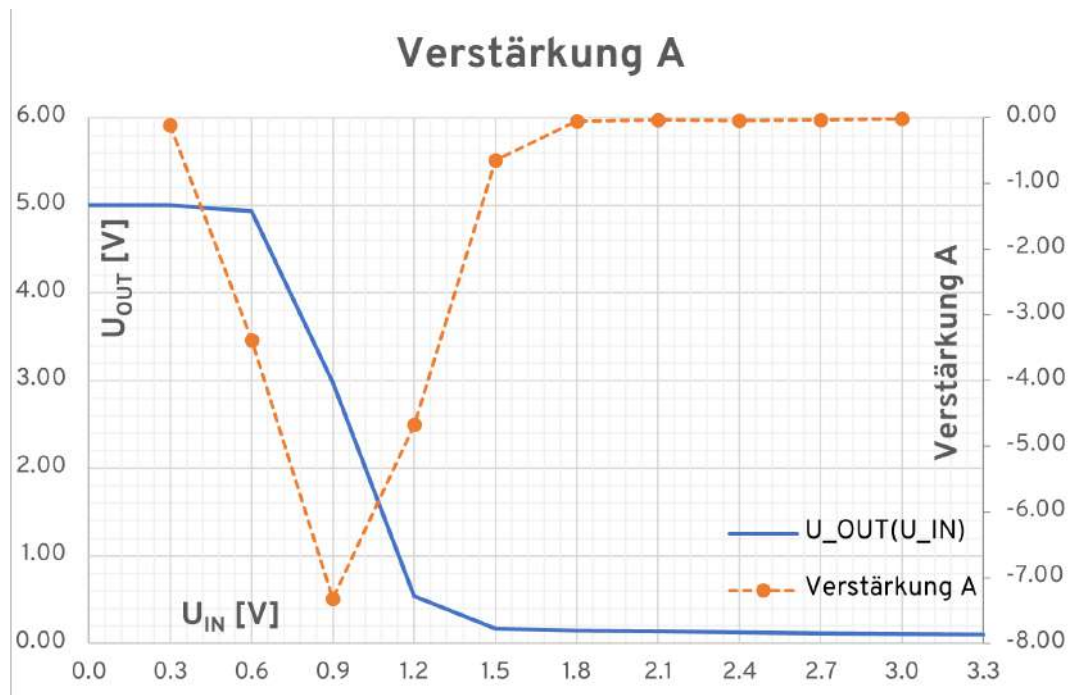
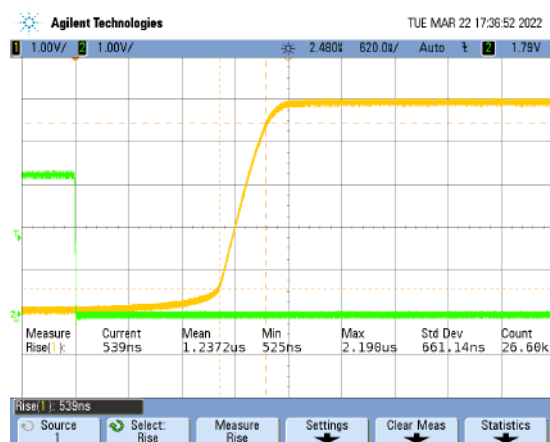
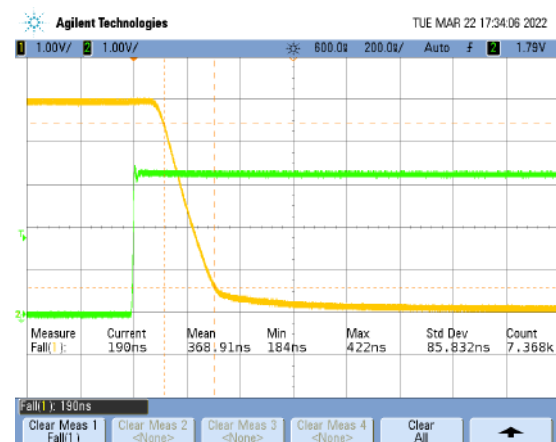


Abbildung 9. Resultate des DC-Verhaltens

### 4.4.2 AC-Verhalten

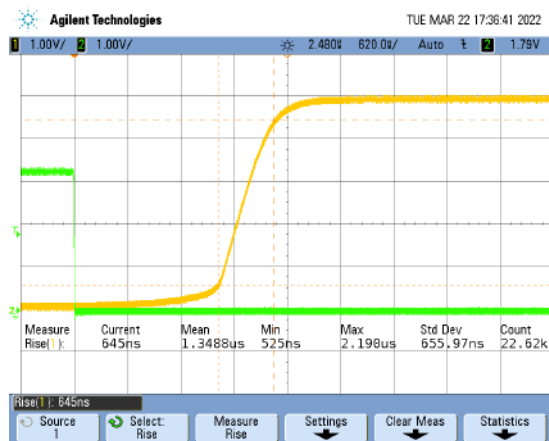


(a) Rise-Time (539 n)



(b) Fall-Time (198 n)

Abbildung 10. Messresultate ohne Kapazität



(a) Rise-Time (645 n)

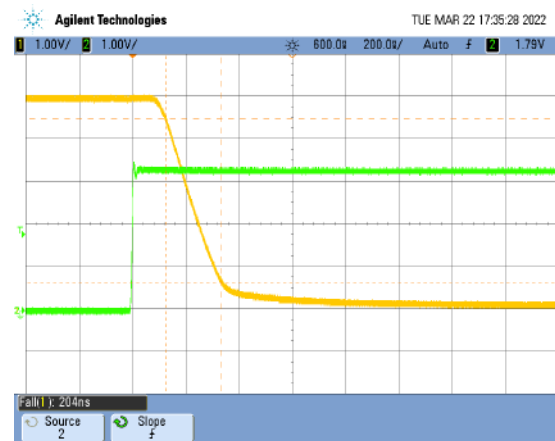
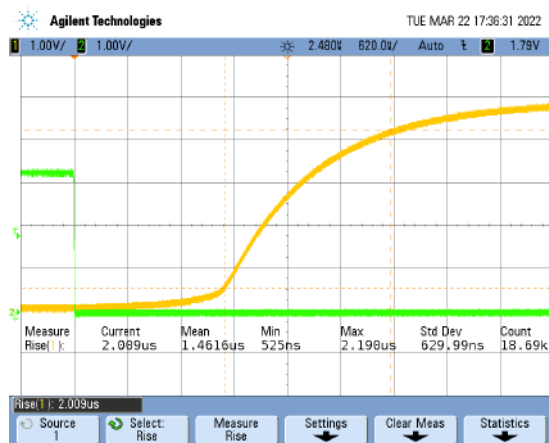
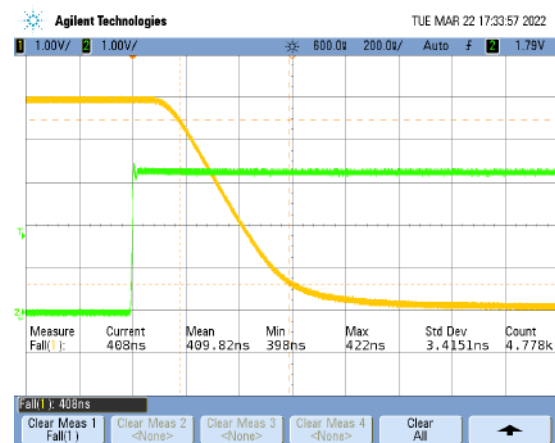
(b) Fall-Time ( $\approx 200$  n)

Abbildung 11. Messresultate mit 100 pF Kapazität

(a) Rise-Time (2.009  $\mu$ )

(b) Fall-Time (408 n)

Abbildung 12. Messresultate mit 1 nF Kapazität

## 4.5 Schlussfolgerung

In der Abbildung 9 der DC-Verhaltens-Messung kann im Bereich von 0.6 V und 1.2 V einen starken Abfall von ungefähr  $-7.3$  erkannt werden. Nachdem  $U_{IN}$  die Sättigungsspannung  $U_{BE(on)}$  überschritten hat, welche nach Datenblatt ungefähr 0.7 V beträgt, nähert sich die Spannung  $U_{CE}$  dem Wert 100 mV. Der Grund ist die Erreichung der Sättigungsspannung zwischen Basis und Emitter.

Beim AC-Verhalten zeigen die verschiedenen Kapazitäten unterschiedliche Anstiegs- und Abfallzeiten, wobei diese Zeiten träger wurden, wenn die Lastkapazitäten grösser wurden. Wird die lastlose Messung mit der 1 nF-Messung verglichen, kann eine Verzögerung erkannt werden.

## 5 Eigenständigkeitserklärung

Die Autoren bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass der vorliegende Laborbericht selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommene Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht vorgelegt worden.

Datum, Ort

Unterschrift Person 1

---

---

Unterschrift Person 2

---

## 6 Anhang

### A Messaufbauten

#### A.1 Gleichstromverstärkung

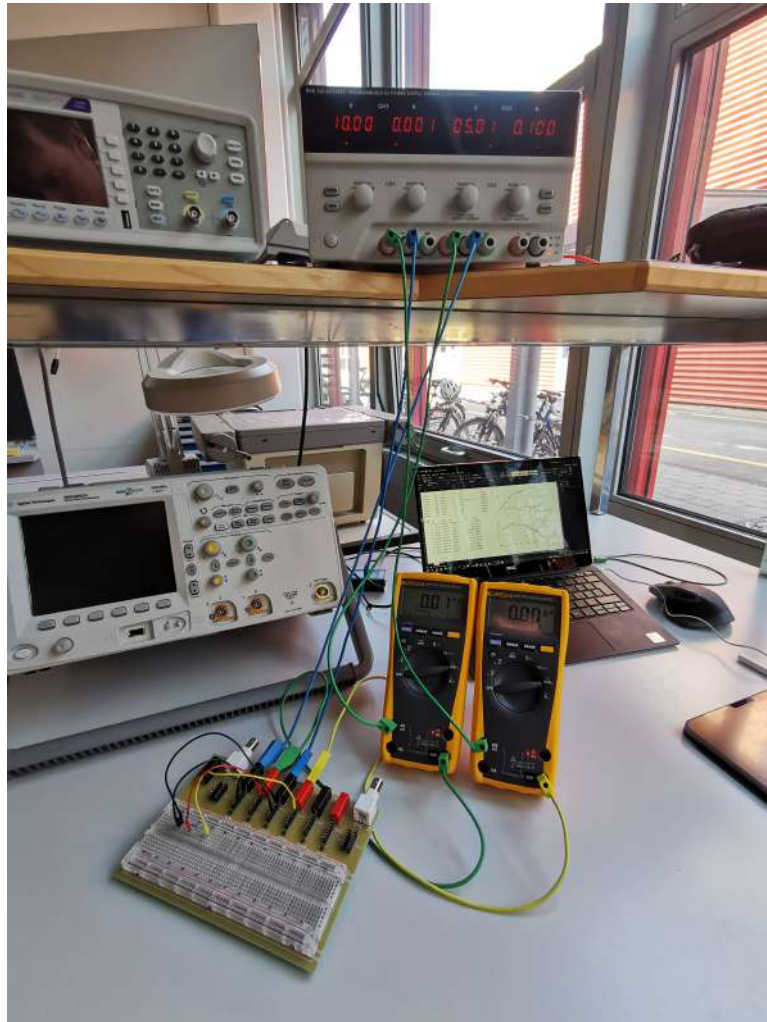


Abbildung 13. Messungsaufbau für die Gleichstromverstärkung-Messung

## A.2 Spannungsstabilisierung

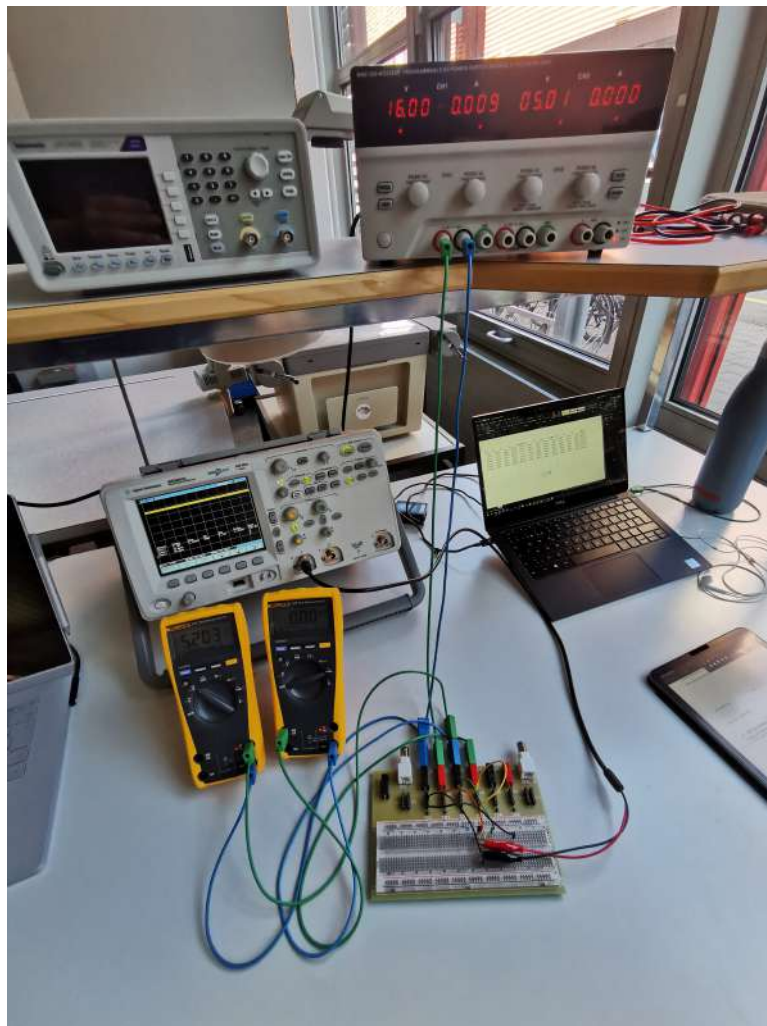


Abbildung 14. Messungsaufbau für die Spannungsstabilisierung-Messung



## A.3 BJT als Schalter

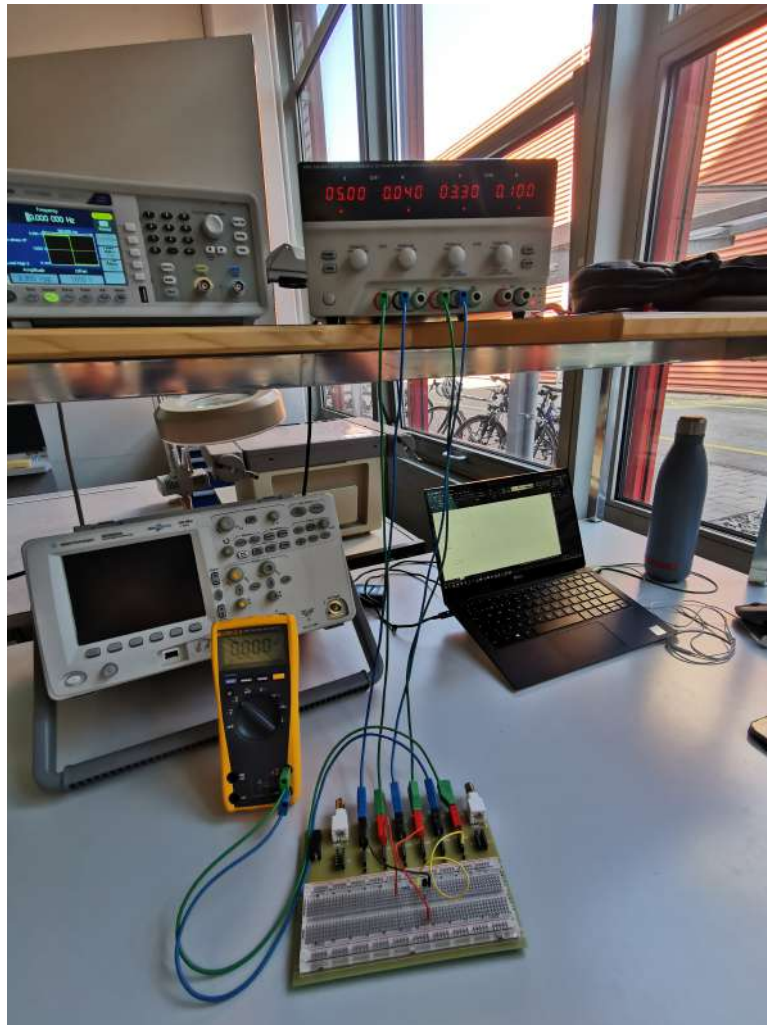


Abbildung 15. Messungsaufbau für die *level shifter*-Messung (DC-Teil der Messung)



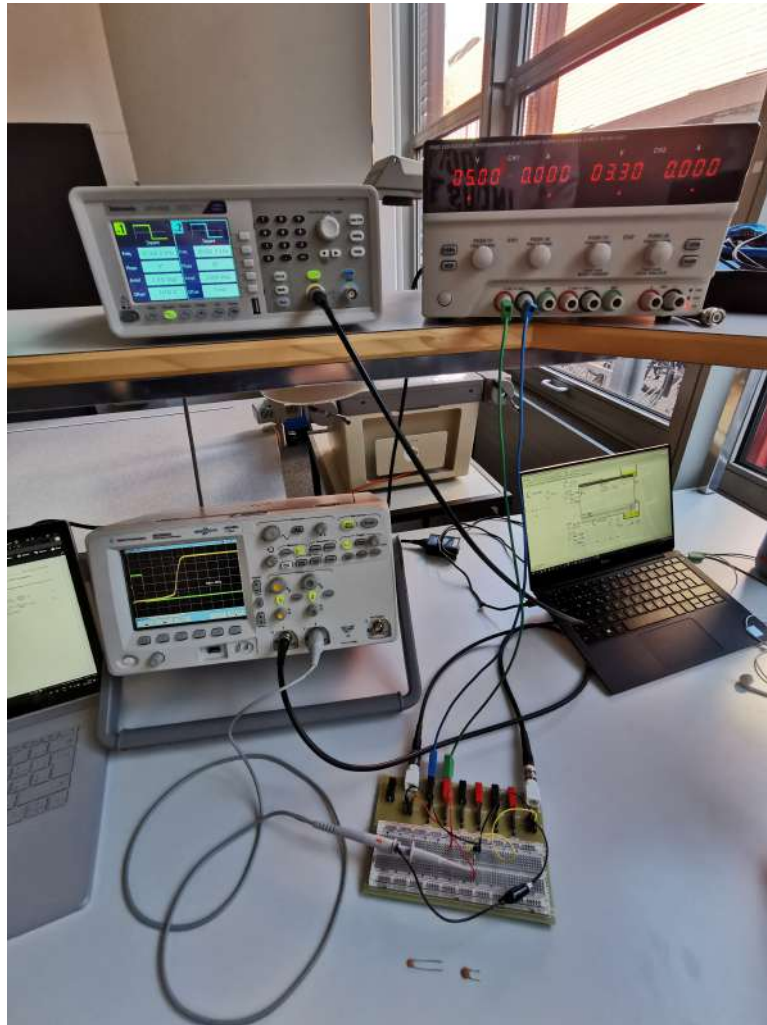


Abbildung 16. Messungsaufbau für die *level shifter*-Messung (AC-Teil der Messung)