



OTTO VON GUERICKE  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG

EIT

INSTITUT FÜR  
MEDIZINTECHNIK

Laborpraktikum

Elektronische Schaltungstechnik (EST)  
Informationstechnik und Elektronik (IT&E)

Versuch ST2 / ITE2: Analoge Schaltungen

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                       |          |
|----------|---------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung und Organisation</b>    | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Versuchsaufgaben</b>               | <b>4</b> |
| 2.1      | Grundsaltungen des Bipolartransistors | 4        |
| 2.2      | Bootstrapschaltung                    | 6        |
| 2.3      | Miller-Effekt                         | 7        |
| 2.4      | Differenzverstärker                   | 8        |
| 2.5      | Bipolartransistor-Schaltstufe         | 9        |
| 2.6      | Feldeffekttransistor-Schaltstufe      | 10       |
| 2.7      | Stromspiegel                          | 11       |
| 2.8      | Darlingtonschaltung                   | 12       |

# Abbildungsverzeichnis

|   |                                  |    |
|---|----------------------------------|----|
| 1 | Bipolartransistor                | 4  |
| 2 | Bootstrapschaltung               | 6  |
| 3 | Miller-Effekt                    | 7  |
| 4 | Differenzverstärker              | 8  |
| 5 | Bipolartransistor-Schaltstufe    | 9  |
| 6 | Feldeffekttransistor-Schaltstufe | 10 |
| 7 | Stromspiegel (Variante 1)        | 11 |
| 8 | Stromspiegelvarianten            | 11 |
| 9 | Darlingtonschaltung              | 12 |

# 1 Einführung und Organisation

Ziel des Versuches ist ein vertieftes Verständnis für folgende analoge Schaltungen:

- Transistorgrundschaltungen
- Bootstrap- und Miller-Effekt
- Differenzverstärker
- Transistorschaltstufen

Die Ihnen vorliegende Praktikumsordnung ist maßgebliche Grundlage der Versuchsdurchführung. Ergänzend dazu ist folgendes zu beachten:

- Lösen sie sämtliche nachfolgenden Vorbereitungsaufgaben! sie können die Fragen gerne knapp und in Stichpunkten unter Zuhilfenahme von Skizzen beantworten. Bitte keine Romane verfassen!
- Studieren sie vorab die Versuchsaufgaben und planen sie deren Durchführung. Eignen sie sich dazu das erforderliche Wissen an!
- Legen sie am ersten Versuchstag dem Versuchsbetreuer Ihre Lösungen der Vorbereitungsaufgaben vor. Der Versuchsbetreuer wird diese mit Ihnen diskutieren und dann entscheiden, ob sie den Versuch durchführen dürfen (Eingangstest).
- Während der Versuchsdurchführung sind der Versuchsablauf und die Ergebnisse in geeigneter Form zu protokollieren – auch wenn dies bei den Versuchsaufgaben nicht explizit erwähnt wird!
- Jede Versuchsaufgabe ist am Versuchstag in geeigneter Form schriftlich auszuwerten – eine reine Protokollierung ist nicht ausreichend! Dies kann auch später nachgearbeitet werden. Eine sofortige Auswertung hat allerdings den Vorteil, dass zweifelhafte Messungen unmittelbar wiederholt werden können und die Versuchsgruppe vollständig anwesend ist. Von der durchaus gängigen Praxis – alle machen den Versuch und eine(r) fertigt das Protokoll an – ist dringend abzuraten!
- Das Protokoll ist spätestens nach 14 Tagen beim Versuchsbetreuer einzureichen. Es besteht aus der Lösung der Vorbereitungsaufgaben und der Versuchsprotokollierung mit Auswertung. Der Versuchsbetreuer entscheidet über Art und Umfang der Protokollauswertung (Haupttestat) und die Bewertung (bestanden / nicht bestanden).

## 2 Versuchsaufgaben

### 2.1 Grundsaltungen des Bipolartransistors

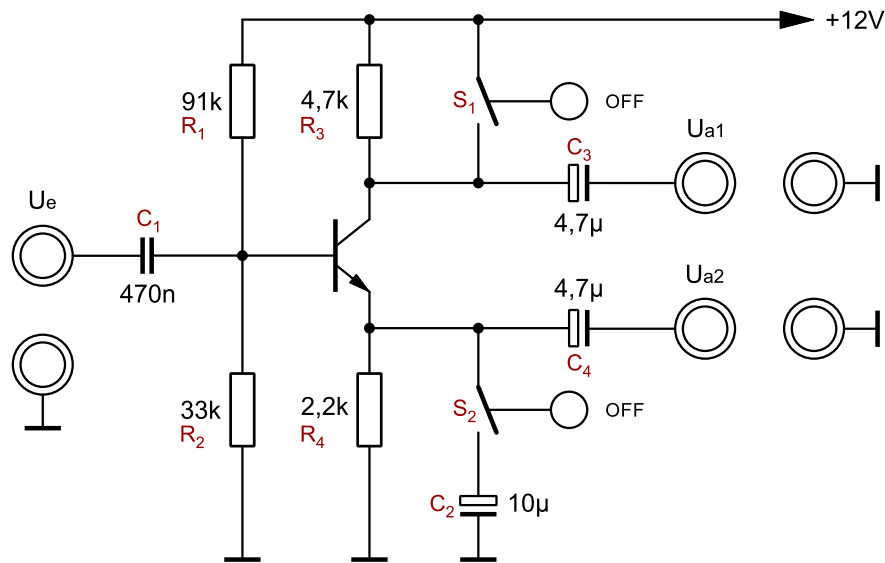


Abbildung 1: Bipolartransistor

#### Aufgabe 1: Vorbereitungsaufgaben

- Verschaffen Sie sich einen Überblick über die zu erwartenden Messergebnisse. Dies kann durch eigene Berechnungen (für die Transistorparameter können Sie Standardwerte verwenden) und/oder Recherchen erfolgen.
- Erläutern Sie ein geeignetes Verfahren zur Messung des Eingangswiderstandes und des Ausgangswiderstandes anhand einer Messschaltung.

#### Aufgabe 2: Emitterschaltung ohne Gegenkopplung

- Schalter S1 öffnen und Schalter S2 schließen
- Messung der Spannungsverstärkung  $V_u$ 
  - ▷  $U_e = 1 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen und oszillografieren<sup>1</sup>
  - ▷  $V_u$  bestimmen
- Messung des Eingangswiderstandes  $r_e$ 
  - ▷  $U_e = 1 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen
  - ▷  $R_v$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)
  - ▷  $r_e$  bestimmen
- Messung des Ausgangswiderstandes  $r_a$ 
  - ▷  $U_e = 1 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen
  - ▷  $R_L$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)
  - ▷  $r_a$  bestimmen
- Aufnahme des Amplitudenfrequenzganges
  - ▷  $U_e = 1 \text{ mV}$  ( $f = 10 \text{ Hz} \dots 100 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen

#### Aufgabe 3: Emitterschaltung mit Gegenkopplung

<sup>1</sup>Wieso auch oszillografieren?

- Schalter S1 und S2 öffnen
- Messung der Spannungsverstärkung  $V_u$ 
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen und oszillografieren
  - ▷  $V_u$  bestimmen
- Messung des Eingangswiderstandes  $r_e$ 
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen
  - ▷  $R_v$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)
  - ▷  $r_e$  bestimmen
- Messung des Ausgangswiderstandes  $r_a$ 
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen
  - ▷  $R_L$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)
  - ▷  $r_a$  bestimmen
- Aufnahme des Amplitudenfrequenzganges
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 10 \text{ Hz} \dots 100 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a1}$  messen

#### Aufgabe 4: Kollektorschaltung (Emitterfolger)

- Schalter S1 schließen und Schalter S2 öffnen
- Messung der Spannungsverstärkung  $V_u$ 
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a2}$  messen und oszillografieren
  - ▷  $V_u$  bestimmen
- Messung des Eingangswiderstandes  $r_e$ 
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a2}$  messen
  - ▷  $R_v$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)
  - ▷  $r_e$  bestimmen
- Messung des Ausgangswiderstandes  $r_a$ 
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a2}$  messen
  - ▷  $R_L$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)
  - ▷  $r_a$  bestimmen
- Aufnahme des Amplitudenfrequenzganges
  - ▷  $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 10 \text{ Hz} \dots 100 \text{ kHz}$ )
  - ▷  $U_{a2}$  messen

#### Aufgabe 5: Auswertung

- Darstellung der Amplitudenfrequenzgänge auf logarithmischen Millimeterpapier oder in geeigneter maschineller Form.
- Bestimmung der oberen und der unteren Grenzfrequenzen<sup>2</sup>
- Vergleich der Bipolartransistorschaltungen untereinander
- Kritischer Vergleich der gewonnenen Meßergebnisse mit den erwarteten Werten

---

<sup>2</sup>Denken Sie bitte bereits beim Messen daran, dass sie die Grenzfrequenzen bestimmen sollen und überlegen sie sich eine geeignete Taktik!

## 2.2 Bootstrapschaltung

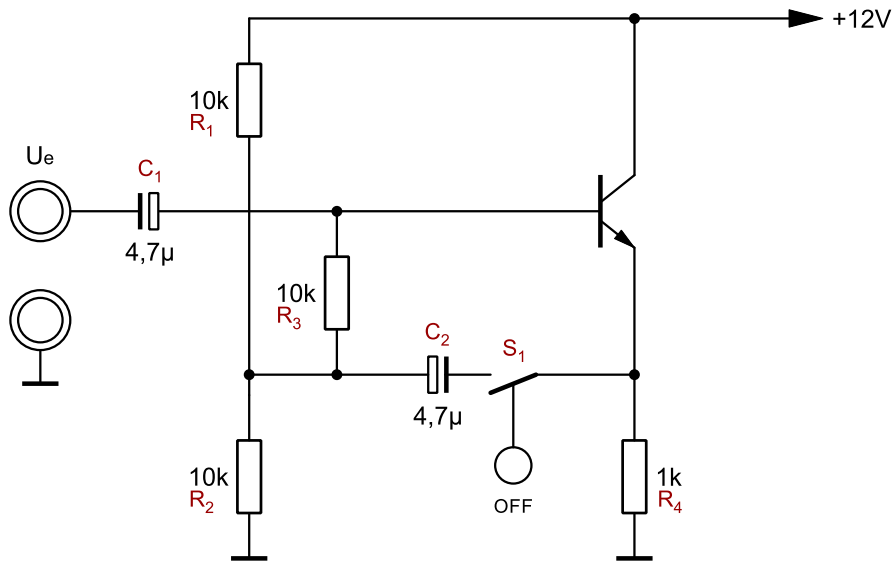


Abbildung 2: Bootstrapschaltung

### Aufgabe 6: Vorbereitungsaufgaben

- Wozu benötigt man die Bootstrapschaltung? Wieso kann man den gleichen Effekt nicht mit einer Kollektorschaltung (Emitterfolger) erzielen?

### Aufgabe 7: Kollektorschaltung ohne Bootstrap-Effekt

- Schalter S1 öffnen
- Bestimmung des Eingangswiderstandes  $r_e$   
 $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )  
 $R_v$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)

### Aufgabe 8: Kollektorschaltung mit Bootstrap-Effekt

- Schalter S1 schließen
- Bestimmung des Eingangswiderstandes  $r_e$   
 $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 1 \text{ kHz}$ )  
 $R_v$  per Widerstandsdekade (falls bei Ihrem Verfahren benötigt)

### Aufgabe 9: Auswertung

- Diskussion der Messergebnisse und Vergleich mit den erwarteten Werten
- Diskussion der Wirkungsweise des Bootstrap-Effektes

## 2.3 Miller-Effekt

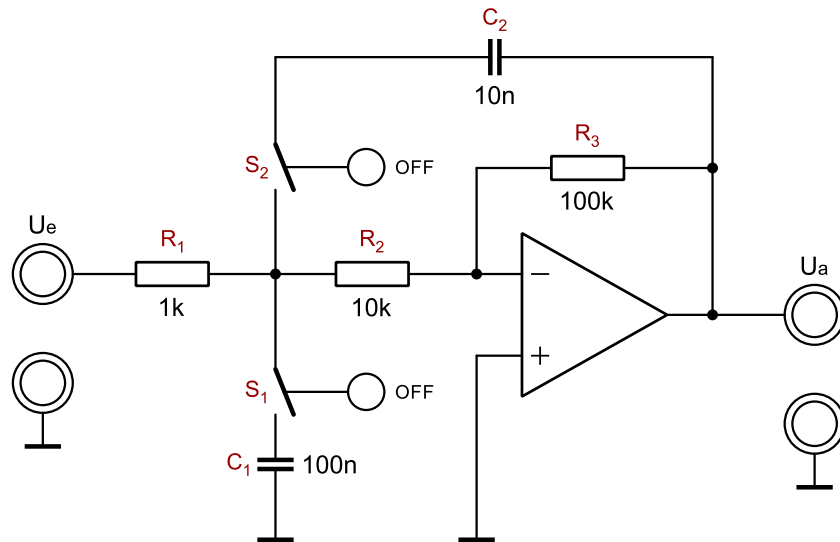


Abbildung 3: Miller-Effekt

### Aufgabe 10: Vorbereitungsaufgaben

- Erläutern sie die Wirkungsweise der Miller-Effektes.
- Nennen sie eine Anwendung, bei der sich der Miller-Effekt *negativ* bemerkbar macht und diskutieren sie die Konsequenzen.
- Welche Funktion hat die Versuchsschaltung? Welche Versuchsergebnisse sind zu erwarten?

### Aufgabe 11: Tiefpaß ohne Miller-Effekt

- Schalter S1 schließen und Schalter S2 öffnen
- Aufnahme des Amplitudenfrequenzganges  
 $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 10 \text{ Hz} \dots 20 \text{ kHz}$ )
- Bestimmung der Grenzfrequenz

### Aufgabe 12: Tiefpaß mit Miller-Effekt

- Schalter S1 öffnen und Schalter S2 schließen
- Aufnahme des Amplitudenfrequenzganges  
 $U_e = 100 \text{ mV}$  ( $f = 10 \text{ Hz} \dots 100 \text{ kHz}$ )
- Bestimmung der Grenzfrequenz

### Aufgabe 13: Auswertung

- Diskussion der Meßergebnisse
- Diskussion der Wirkungsweise der Versuchsschaltung

## 2.4 Differenzverstärker

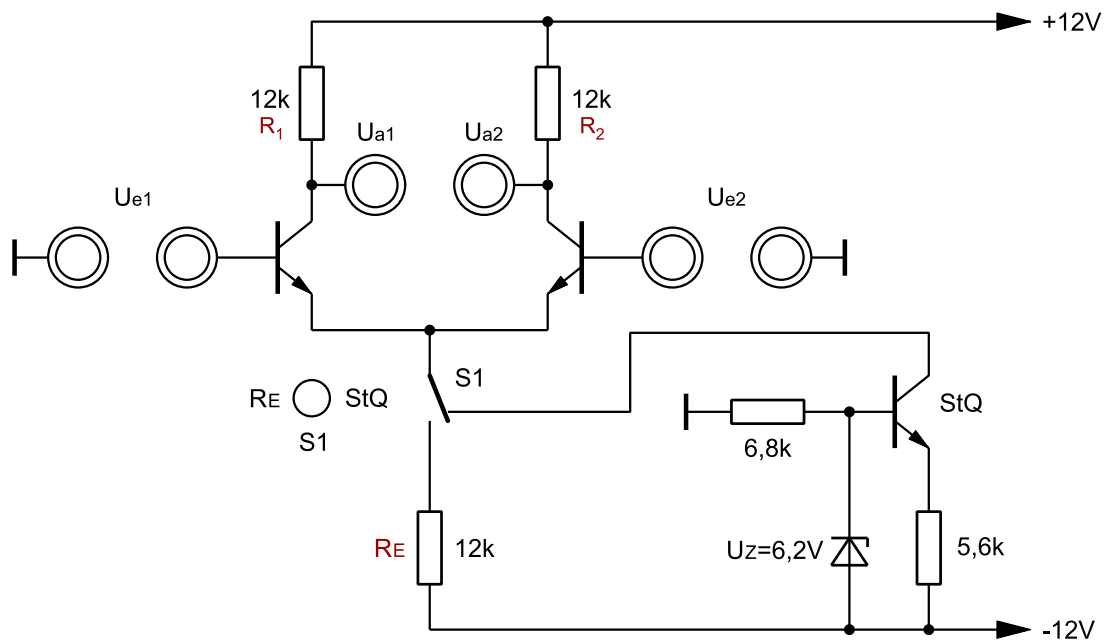


Abbildung 4: Differenzverstärker

### Aufgabe 14: Vorbereitungsaufgaben

- Machen sie sich mit den Eigenschaften und der Funktionsweise eines Differenzverstärkers vertraut.
- Nennen sie die *wesentlichen* Unterschiede zur Emitterschaltung.
- Überlegen sie sich vorab, wie sie die Verstärkungen und die Offsetspannung bestimmen können.

### Aufgabe 15: Messung der unsymmetrischen Differenzspannungsverstärkung

- $S1$  zu  $R_E$  schalten
- $U_{e1}$  aus der Kompensationsspannungsquelle
- $U_{e2} = 0V$  (an Masse)
- $U_{a2}$  messen

### Aufgabe 16: Messung der unsymmetrischen Gleichtaktspannungsverstärkung

- $S1$  zu  $R_E$  schalten
- $U_{e1} = U_{e2} = U_{gl}$  aus der Kompensationsspannungsquelle
- $U_{a2}$  messen

### Aufgabe 17: Berechnen sie die Gleichtaktunterdrückung aus den Messwerten

### Aufgabe 18: Messung der Eingangsoffsetspannung

- $S1$  zu  $R_E$  schalten
- $U_{e1}$  aus der Kompensationsspannungsquelle ( $\pm 5mV$ )
- $U_{e2} = 0V$  (an Masse)
- $U_a$  zwischen  $U_{a1}$  und  $U_{a2}$  abgreifen

### Aufgabe 19: Auswertung

- Was ist die Ursache der Offsetspannung?
- Was ist die Ursache der Gleichtaktverstärkung?
- Diskutieren sie die Messergebnisse.
- Nennen und erläutern sie zwei Anwendungen für Differenzverstärker.



## 2.5 Bipolartransistor-Schaltstufe

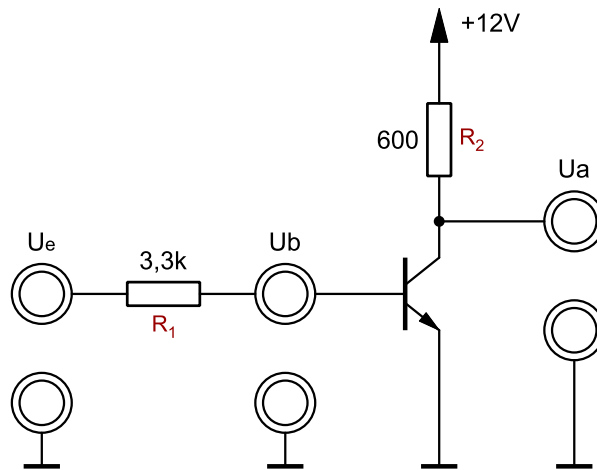


Abbildung 5: Bipolartransistor-Schaltstufe

### Aufgabe 20: Vorbereitungsaufgaben

- Machen sie sich mit den Eigenschaften und der Funktionsweise einer Bipolartransistor-Schaltstufe vertraut.

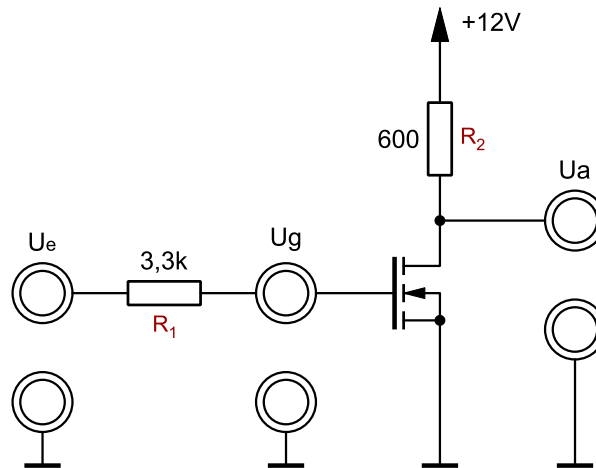
### Aufgabe 21: Messungen

- Verwenden sie für  $U_e$  den Pulsgenerator
- Oszillografieren Sie, um sich die Funktion der Schaltung zu verdeutlichen,  $U_e$ ,  $U_b$  und  $U_a$  mit verschiedenen Eingangsspannungen. Vorschlag:
  - ▷  $U_e = 500\text{ mV} \text{ — } f = 20\text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 1\text{ V} \text{ — } f = 20\text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 1,5\text{ V} \text{ — } f = 100\text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 2\text{ V} \text{ — } f = 100\text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 4\text{ V} \text{ — } f = 100\text{ kHz}$

### Aufgabe 22: Auswertung

- Diskutieren sie die Kurvenverläufe. Gehen sie auf statische und dynamische Parameter ein.
- Nennen und erläutern sie zwei Anwendungen für die Schaltstufe.

## 2.6 Feldeffekttransistor-Schaltstufe



**Abbildung 6:** Feldeffekttransistor-Schaltstufe

### Aufgabe 23: Vorbereitungsaufgaben

- Machen sie sich mit den Eigenschaften und der Funktionsweise einer Feldeffekttransistor-Schaltstufe vertraut.
- Welcher Feldeffekttransistortyp wird beim Versuchsaufbau verwendet? Skizzieren sie die entsprechenden Transistorkennlinien.

### Aufgabe 24: Messungen

- Verwenden sie für  $U_e$  den Pulsgenerator
- Oszillografieren Sie, um sich die Funktion der Schaltung zu verdeutlichen,  $U_e$ ,  $U_g$  und  $U_a$  mit verschiedenen Eingangsspannungen. Vorschlag:
  - ▷  $U_e = 500 \text{ mV} \text{ — } f = 12 \text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 1 \text{ V} \text{ — } f = 12 \text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 1,5 \text{ V} \text{ — } f = 12 \text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 2 \text{ V} \text{ — } f = 12 \text{ kHz}$
  - ▷  $U_e = 4 \text{ V} \text{ — } f = 12 \text{ kHz}$

### Aufgabe 25: Auswertung

- Diskutieren sie die Kurvenverläufe. Gehen sie auf statische und dynamische Parameter ein.
- Nennen und erläutern sie zwei Anwendungen für die Schaltstufe.

## 2.7 Stromspiegel

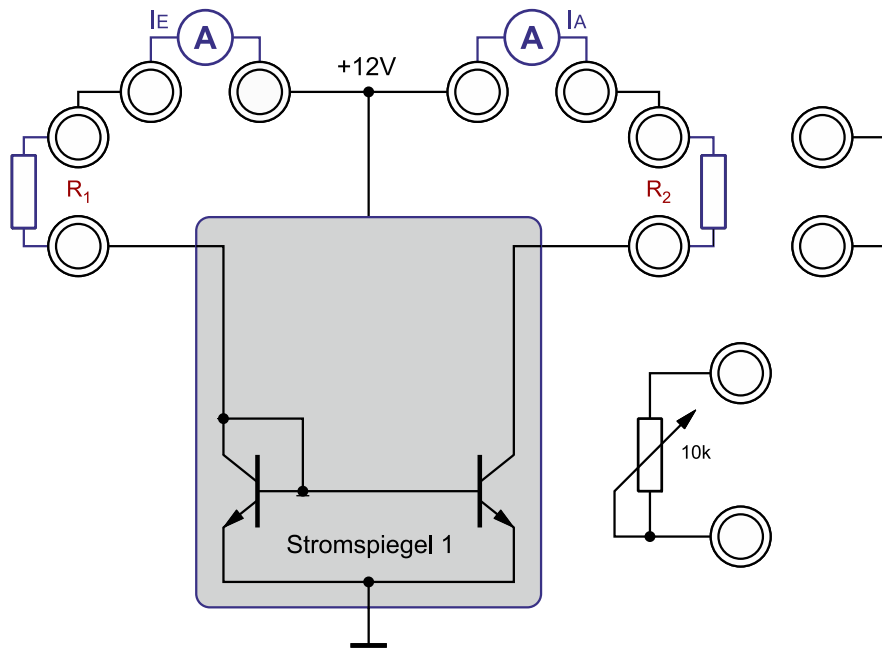


Abbildung 7: Stromspiegel (Variante 1)

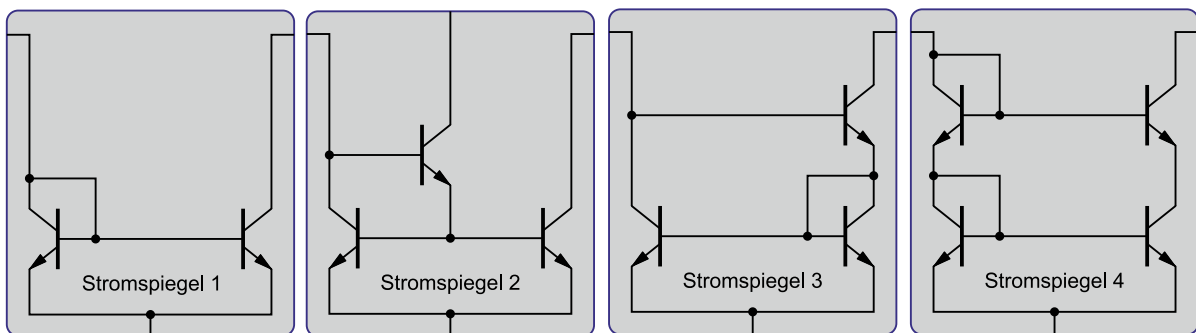


Abbildung 8: Stromspiegelvarianten

### Aufgabe 26: Vorbereitungsaufgaben

- Machen sie sich mit den Eigenschaften und der Funktionsweise einer Stromspiegel-Schaltung vertraut.
- Nennen sie Anwendungsbeispiele.
- Welche Eigenschaften, Vorteile und Nachteile haben die Varianten 1 und 2?
- *Optional:* Erläutern sie die Funktion der Variante 3 und 4.

### Aufgabe 27: Messungen am einfacher Stromspiegel (Variante 1)

- Messen Sie, um sich die Funktion der Schaltung zu verdeutlichen,  $I_E$  und  $I_A$  mit verschiedenen Widerstandskombinationen. Vorschlag:
  - ▷  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  —  $R_2 = 0 \dots 10 \text{ k}\Omega$
  - ▷  $R_1 = 6 \text{ k}\Omega$  —  $R_2 = 0 \dots 10 \text{ k}\Omega$

### Aufgabe 28: Messungen am erweiterten Stromspiegel (Variante 2)

- Wiederholen sie die Messungen mit der Variante 2.

### Aufgabe 29: Auswertung

- Diskutieren sie die Ergebnisse.

## 2.8 Darlingtonschaltung

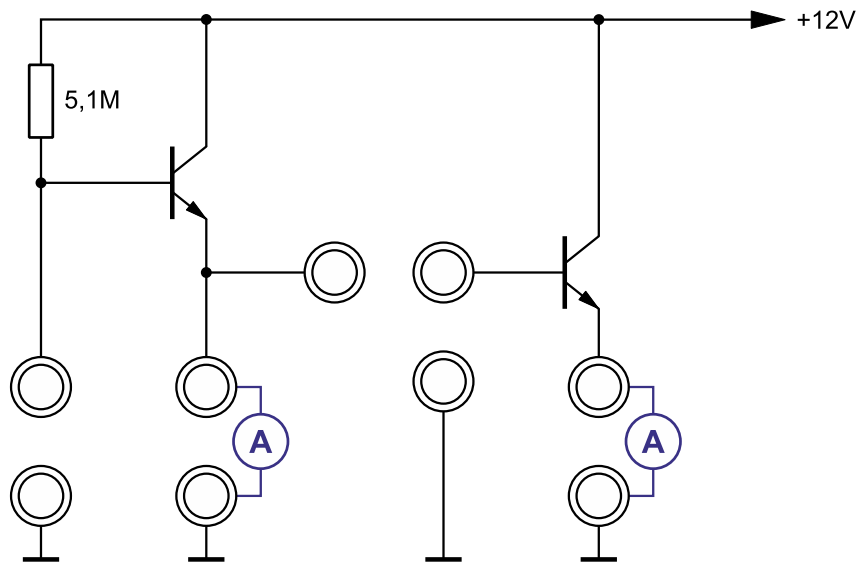


Abbildung 9: Darlingtonschaltung

### Aufgabe 30: Vorbereitungsaufgaben

- Machen sie sich mit den Eigenschaften und der Funktionsweise einer Darlington-Schaltung vertraut.
- Nennen sie Anwendungsbeispiele.
- Welche Vorteile und Nachteile hat die Schaltung?

### Aufgabe 31: Messungen

- Bestimmen sie die Restströme der Einzeltransistoren. Achtung! Dies ist nur sehr eingeschränkt möglich! Warum?
- Bestimmen sie den Reststrom der Darlingtonschaltung. Achtung! Dies ist ebenfalls nur sehr eingeschränkt möglich! Warum?
- Bestimmen sie die Stromverstärkungsfaktoren sowie die Gesamtstromverstärkung

### Aufgabe 32: Auswertung

- Diskutieren sie die Ergebnisse.