

Versuch 2

Stand: 18. 11. 13

Versuchsziele:

- Das Verhalten des Bipolartransistors im Experiment kennenlernen.
- Elementare Transistorschaltungen aufbauen und in Betrieb nehmen.

Hinweis:

Weitergehende Fragen, die in der Versuchsanleitung gelegentlich gestellt werden, sollten Sie im Sinne von Übungsaufgaben bearbeiten (schriftlich, aber privat; ein Bericht ist nicht erforderlich). Es kann sein, daß in der Klausur solche Fragen angesprochen werden ...

1. Transistorgrundschaltungen

Das Aufnehmen vollständiger Kennlinien wäre viel zu zeitaufwendig. Wir beschränken uns deshalb auf eine gleichsam stichprobenhafte Betrachtung der Grundschaltungen. Hierzu kommt ein drittes Digitalmultimeter zum Einsatz.

1. Alle Spannungsregler der Labornetzgeräte anfänglich auf Null (linker Anschlag). Stets vorsichtig betätigen!
2. Betriebsspannung U_B einstellen.
3. Basisspannung langsam (!) hochdrehen. Instrumente beobachten!
4. Beim Messen mitdenken. Wo setzen wir das genaueste unserer Multimeter ein, wo kommt es nicht so darauf an? Die Rangfolge der Genauigkeit: 1. Escort, 2. MetraHit, 3. das dritte Gerät. Wenn Strom und Spannung zu messen sind, in welcher Schaltung ist der Meßfehler kleiner – wenn wir die Stromaufnahme des Voltmeters mitmessen oder den Spannungsabfall überm Amperemeter?

Die Emitterschaltung

Es sind zwei Teilversuche. Im ersten messen wir den Kollektorstrom, im zweiten die Kollektor-Emitter-Spannung.

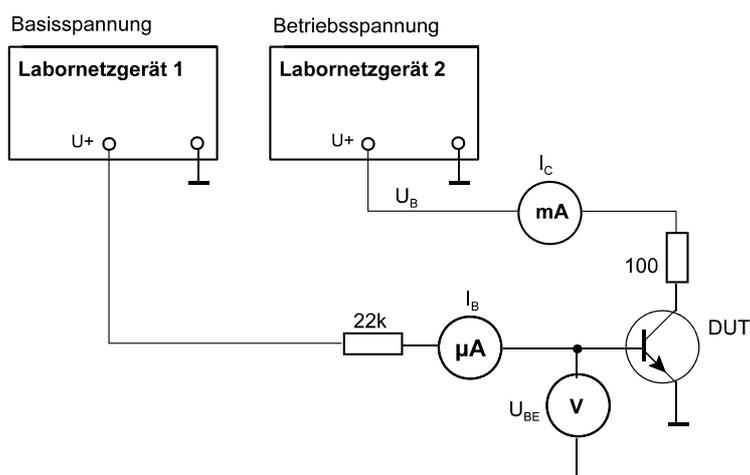


Abb. 1.1 Der Bipolartransistor in Emitterschaltung (1). U_{BE} mit MetraHit, I_B mit Escort, I_C mit drittem Multimeter. $U_B = 5\text{ V}$. DUT = Device under Test.

Zu untersuchen:

- Was passiert bei $U_{BE} = 200 \text{ mV}$?
- Wann (bei welcher Basissspannung U_{BE}) fängt ein nennenswerter Basisstrom I_B zu fließen an (z. B. $10 \mu\text{A}$)?
- Welcher Kollektorstrom fließt bei einem Basisstrom von $10 \mu\text{A}$?
- Welcher Kollektorstrom fließt bei einem Basisstrom von $30 \mu\text{A}$? Wie hoch ist dabei U_{BE} ?
- Was geschieht, wenn man die Basissspannung U_{BE} weiter erhöht? Bei Kollektorstrom $I_C > 30 \text{ mA}$ Versuch abbrechen (Basissspannung auf Null).

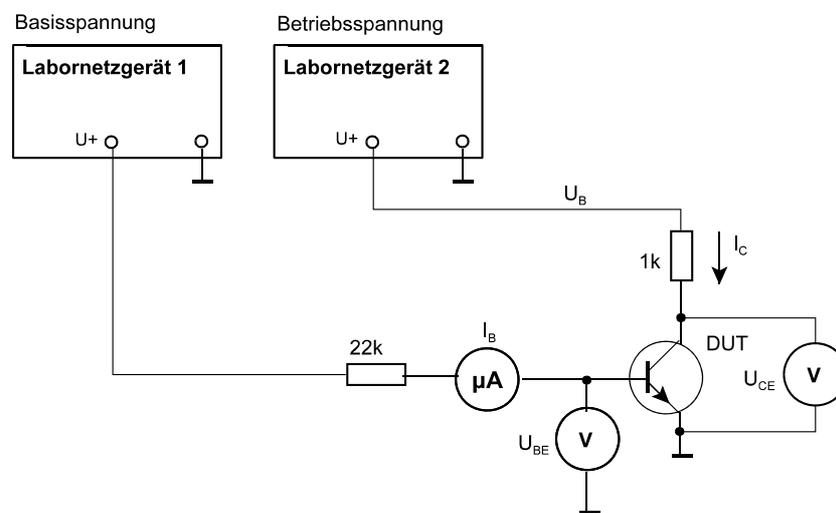


Abb. 1.2 Der Bipolartransistor in Emitterschaltung (2). U_{BE} mit MetraHit, I_B mit Escort, U_{CE} mit drittem Multimeter. $U_B = 10 \text{ V}$.

Basisspannung auf linken Anschlag zurück. Kollektorspannung U_{CE} auf 10 V .

Zu untersuchen:

- Ab wann (Basisspannung U_{BE} , Basisstrom I_B) bewegt sich die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} ?
- Wann sinkt U_{CE} auf $0,5 \text{ V}$?
- Wann sinkt U_{CE} auf $0,1 \text{ V}$?
- Was geschieht, wenn man die Steuerspannung weiter erhöht? Bei Basissspannung $U_{BE} > 0,8 \text{ V}$ Versuch abbrechen (Steuerspannung auf Null).

Die Basisschaltung

Es sind zwei Teilversuche. Im ersten messen wir die Kollektor-Basis-Spannung, im zweiten den Kollektorstrom. Auf die Polung der Emitterspannung achten.

1. Alle Spannungsregler der Labornetzgeräte auf Null (linker Anschlag). Stets vorsichtig betätigen!
2. Emitterspannung negativ. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Emitterspannung langsam (!) hochdrehen. Nicht mehr als 1 V. Instrumente beobachten!

Zu untersuchen:

- a) Ab wann (Emitterspannung U_{EB} , Emittterstrom I_E) bewegt sich die Ausgangsspannung U_{CB} ?
- b) Wie hoch ist die Ausgangsspannung U_{CB} , wenn Emitterspannung U_{EB} etwa $-0,7$ V?

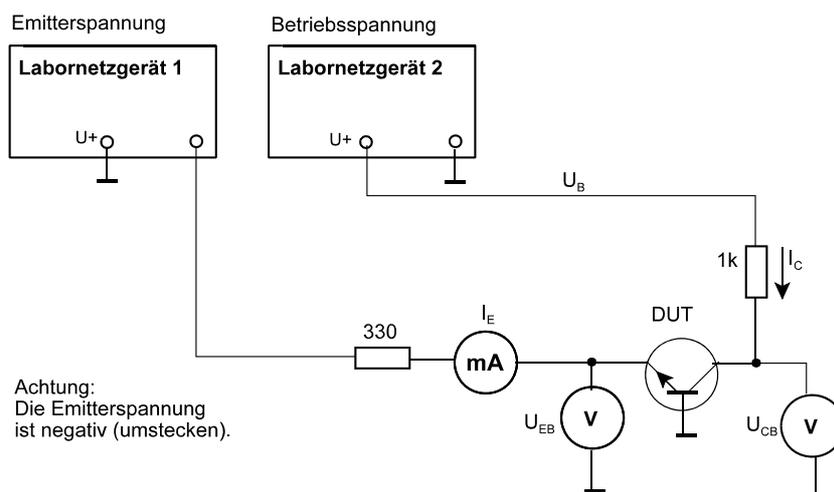


Abb. 1.3 Der Bipolartransistor in Basisschaltung (1). U_{EB} mit MetraHit, I_E mit Escort, U_{CB} mit drittem Multimeter. $U_B = 10$ V.

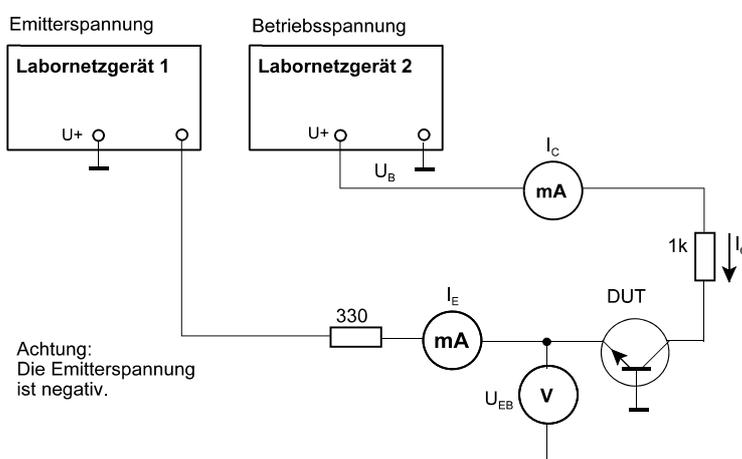


Abb. 1.4 Der Bipolartransistor in Basisschaltung (2). U_{EB} mit MetraHit, I_E mit Escort, I_C mit drittem Multimeter. $U_B = 10$ V.

Zu untersuchen:

- a) Ab wann (Emitterspannung U_{EB} , Emittterstrom I_E) bewegt sich der Kollektorstrom I_C ?
- b) Wie hoch ist der Kollektorstrom I_C , wenn Emitterspannung U_{EB} etwa $-0,7$ V? Wie hoch ist die Stromverstärkung?

- c) Die Emitterspannung soweit aufdrehen, daß sich ein Emittterstrom von 9 mA ergibt¹. Wie hoch ist der Kollektorstrom? Woher kommt die Differenz? Das U_{EB} -Multimeter abbauen und damit den Basisstrom messen.

Die Kollektorschaltung

Hier genügt ein einziger Versuchsaufbau. Wenn wir die Emitterspannung kennen, kennen wir auch den Emittter- und damit den Kollektorstrom².

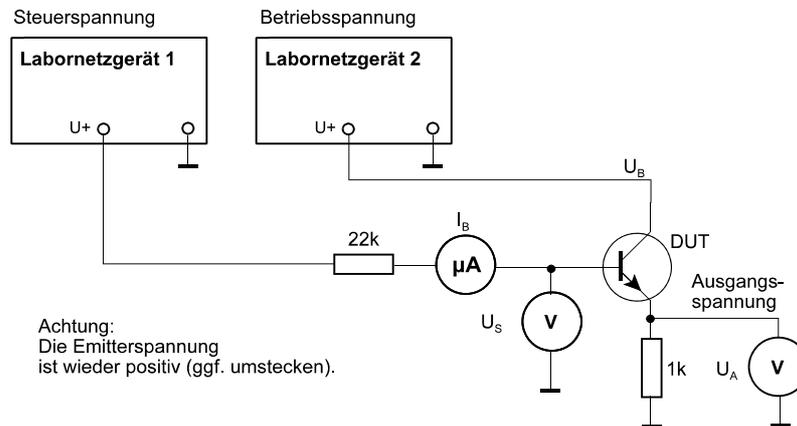


Abb. 1.5 Der Bipolartransistor in Kollektorschaltung. U_S mit MetraHit, I_B mit Escort, U_A mit drittem Multimeter. $U_B = 10$ V.

Versuchsdurchführung:

1. Alle Spannungsregler der Labornetzgeräte auf Null (linker Anschlag). Stets vorsichtig betätigen!
2. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Steuerspannung langsam (!) hochdrehen. Instrumente beobachten!

Zu untersuchen:

- a) Ab wann (Steuerspannung U_S , Basisstrom I_B) bewegt sich die Ausgangsspannung?
- b) Wie hoch ist die Ausgangsspannung U_A , wenn Steuerspannung $U_S =$ Betriebsspannung U_B ? Welcher Basisstrom fließt in diesem Betriebsfall?
- c) Welche Steuerspannung ist erforderlich, damit die Ausgangsspannung der Betriebsspannung entspricht?

Die Kollektorschaltung als Impedanzwandler

Alles abbauen. Zunächst messen wir nach, welchen Strom das Instrument in der Meßinstrumententafel 12b aufnimmt.

-
- 1: Mit einem Arbeitswiderstand von 1 k und einer Betriebsspannung von 10 V kann der Strom nicht höher werden als 10 mA.
 - 2: Den Arbeitswiderstand haben wir eigens so dimensioniert, daß es sich einfach rechnet...

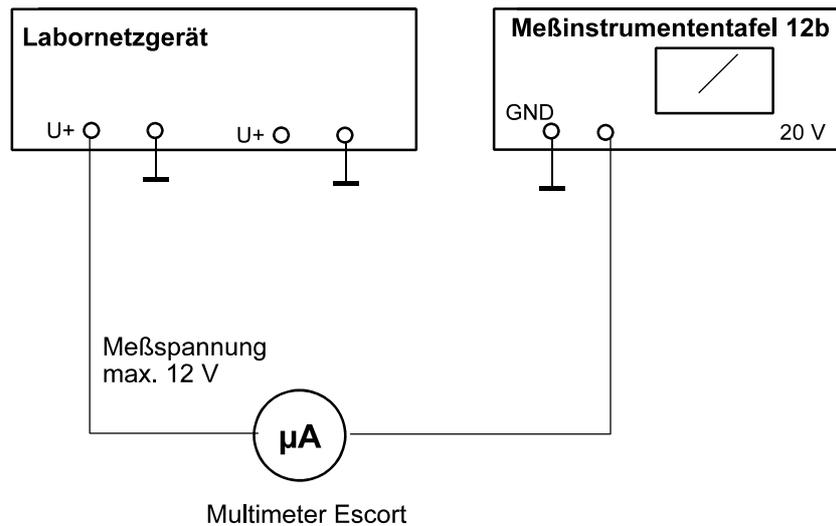


Abb. 1.6 Messung der Stromaufnahme des Meßinstruments.

Zu untersuchen:

Welchen Strom nimmt das Instrument auf, wenn die Meßspannung 10 V beträgt? Wie hoch ist demzufolge der Innenwiderstand?

Nun setzen wir einen Transistor in Kollektorschaltung ein und wiederholen diese Untersuchung.

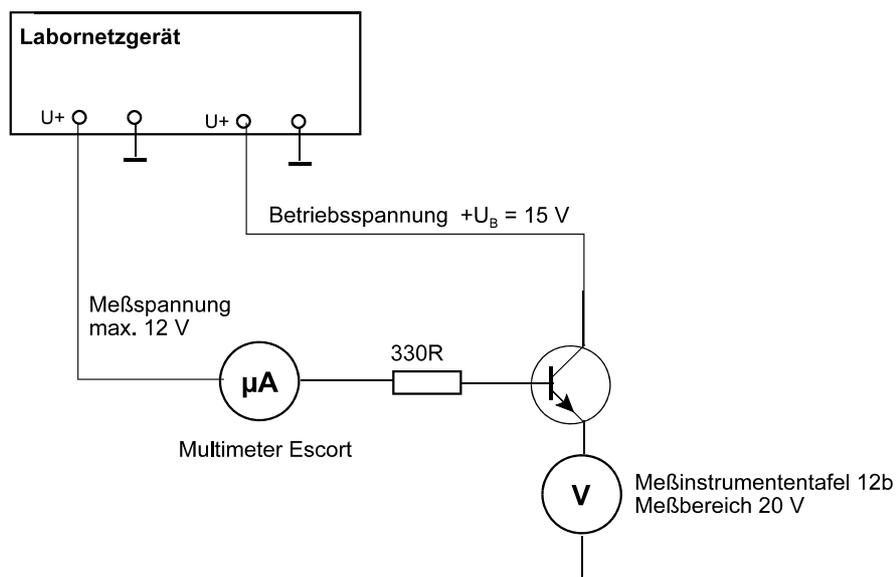


Abb. 1.7 Eine alternative Voltmeterschaltung.

Welchen grundsätzlichen Meßfehler weist diese Schaltung auf? – Wie könnte man ihn abstellen? (Lassen Sie sich was einfallen...)

Die Kollektorschaltung als Konstantstromquelle

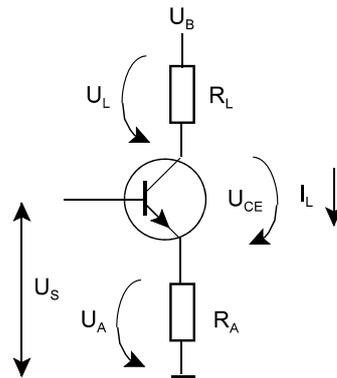


Abb. 1.8 Konstantstromquelle (Prinzip).

$$I_L = \frac{U_A}{R_A} = \frac{U_S - U_{BE(on)}}{R_A}$$

Die Last, durch die ein konstanter Strom fließen soll, wird zunächst durch die Potentiometerplatine 09a nachgebildet und anschließend durch eine LED dargestellt.

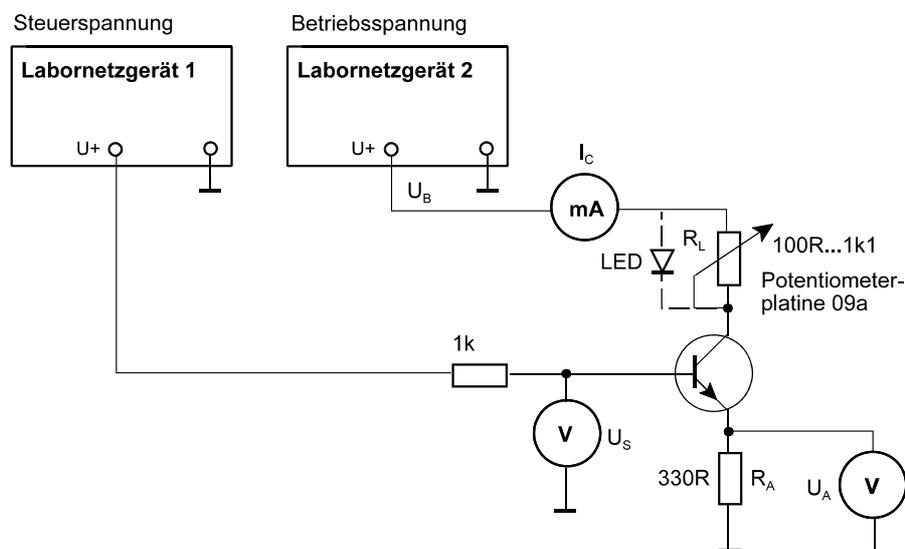


Abb. 1.9 Konstantstromquelle mit npn-Transistor. Last an Betriebsspannung. U_S mit MetraHit, I_C mit Escort, U_A mit drittem Multimeter. $U_B = 10\text{ V}$.

Versuchsdurchführung:

1. Alle Spannungsregler der Labornetzgeräte auf Null (linker Anschlag). Stets vorsichtig betätigen!
2. Lastwiderstand R_L zunächst auf linken Anschlag ($100\ \Omega$).
3. Betriebsspannung U_B auf 10 V .
3. Steuerspannung langsam (!) hochdrehen. Instrumente beobachten!

Zu untersuchen:

- Wie hängt der Laststrom von der Steuerspannung U_S ab? *Hinweis:* Der Laststrom wird indirekt gemessen, und zwar anhand der über dem Arbeitswiderstand R_A abfallenden Spannung U_A .
- Welche Steuerspannung U_S ist nötig, um einen Laststrom von 10 mA fließen zu lassen?
- Lastwiderstand R_L erhöhen. Bis zu welchem Wert ist eine hinreichende Konstanz des Laststroms gewährleistet? Welche Kollektorspannung U_C ergibt sich dabei?
- Lastwiderstand R_L durch LED ersetzen. Verschiedene Typen (farbig, weiß) ausprobieren. Die Betriebsspannung bis ca. 20 V erhöhen. Dann zurück auf 10 V und weiter verringern. Wie verändert sich dabei der Laststrom? Von welcher Betriebsspannung an wirkt die Schaltung nicht mehr als Konstantstromquelle?

Die Kollektorschaltung als Spannungsregler

Die Ausgangsspannung der Kollektorschaltung entspricht näherungsweise der Basisspannung. Sie sollte weder von der Betriebsspannung noch von der Belastung beeinflusst werden. Eine konstante Basisspannung = Steuerspannung sollte also eine konstante Ausgangsspannung ergeben. Damit sie konstant bleibt, erzeugen wir die Basisspannung mit einer Zenerdiode.

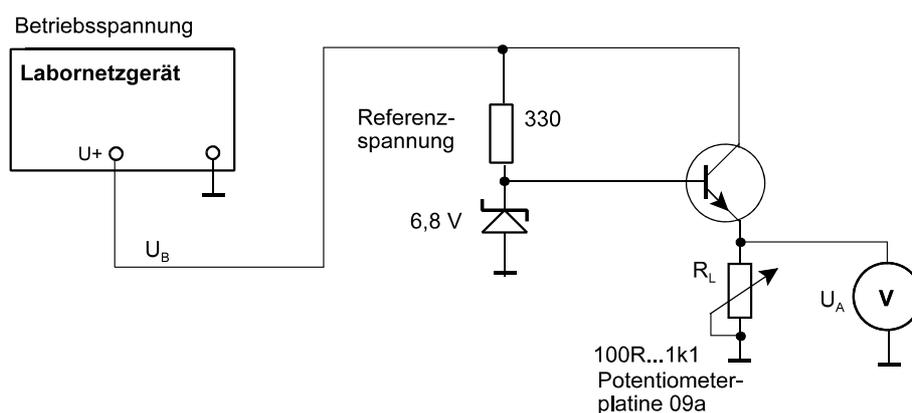


Abb. 1.10 Spannungsstabilisierung (1)..

Versuchsdurchführung:

- Potentiometer auf Maximalwert.
- Betriebsspannung U_B auf 12 V.

Zu untersuchen:

- Ausregeln von Betriebsspannungsschwankungen (Line Regulation). Betriebsspannung verändern (zwischen 8 und 16 V). Wie ändert sich die Ausgangsspannung?
- Ausregeln von Lastschwankungen (Load Regulation). Betriebsspannung wieder auf 12 V. Belastung verändern (Potentiometer) Wie ändert sich die Ausgangsspannung?

Der Serienregler

Wir müssen die Schaltung nur etwas umzeichnen, um zu erkennen, was wir eigentlich gebaut haben – nämlich einen sog. Serienregler, wie er in jedem Elektronikbastelbuch steht. Zunächst bauen wir nochmals den Netzgleichrichter in Gegentaktschaltung auf (geht schneller als der Brückengleichrichter). Dann hängen wir einen Transistor in Kollektorschaltung dahinter.

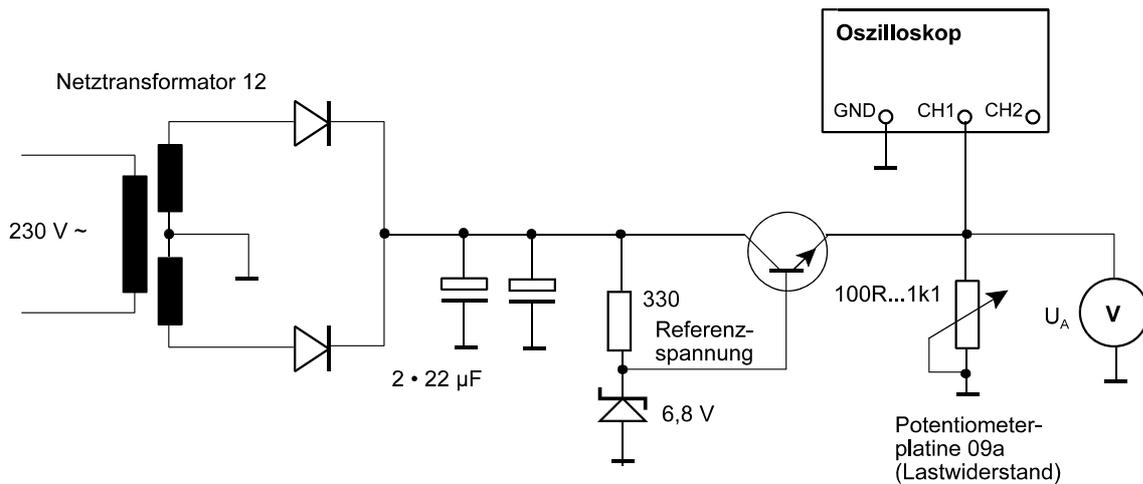


Abb. 1.11 Ein einfacher Serienregler. Es ist im Grunde die Kollektorschaltung, nur anders dargestellt.

Zu untersuchen:

- a) Wie sieht die Ausgangsspannung aus (Oszilloskop)? Zum Vergleich die Spannungen am Kollektor ansehen.
- b) Wie ändert sich die Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Last?

Vergleichen Sie das Verhalten dieser Schaltung mit dem der Netzgleichrichterschaltungen im Versuch 1.

Der Parallelregler

Wenn wir schon soweit sind, können wir auch gleich noch eine alternative Reglergrundschaltung kennenlernen. Umbauen. Versuchsdurchführung wie vorstehend.

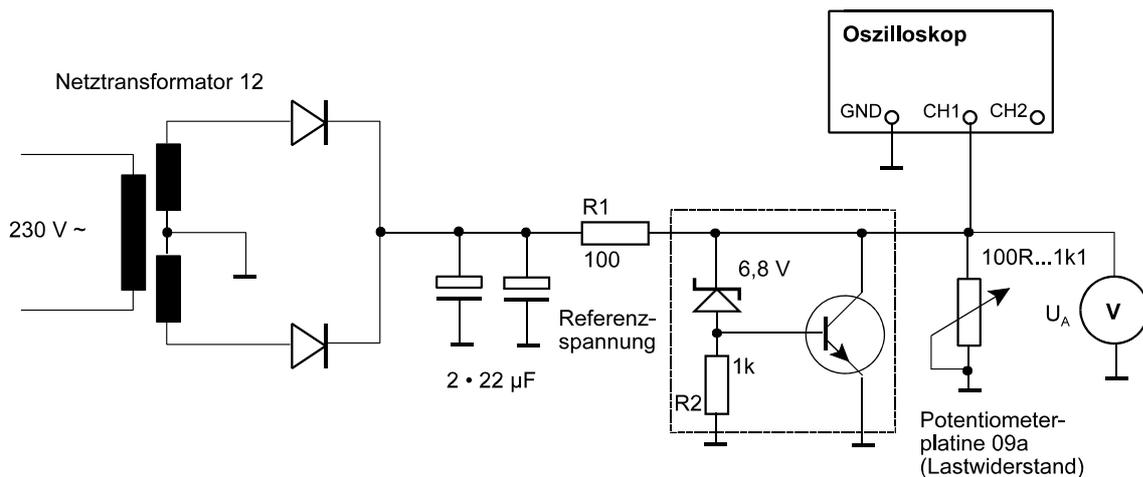


Abb. 1.12 Ein einfacher Parallelregler.

Auch der Parallelregler beruht auf der negativen Rückkopplung. Sobald die Zenerdiode zur Wirkung kommt, bewirkt der Zenerstrom einen Spannungsabfall an R2. Die Basis kann Strom ziehen. Hierdurch wird die Kollektor-Emitter-Strecke leitend. Der Kollektorstrom bewirkt aber einen Spannungsabfall über

R1. Dadurch wird die Zenerspannung wieder unterschritten. Dann wird auch die Basis nicht mehr aufgesteuert. Folglich liegt an der Katode der Zenerdiode wieder eine Spannung, die die Zenerspannung übersteigt und somit die Zenerdiode erneut zur Wirkung bringt usw. Infolge dessen pendelt sich die Ausgangsspannung näherungsweise auf die Zenerspannung ein. Die Anordnung aus Zenerdiode, R2 und Transistor kann als eine Art Zenerdiode mit Stromverstärkung angesehen werden.

Welche typischen Vor- und Nachteile weisen beide Grundsaltungen (Serienregler, parallelregler) auf?

2. Der Bipolartransistor als Schalter

Wir bleiben zunächst bei der Kollektorschaltung.

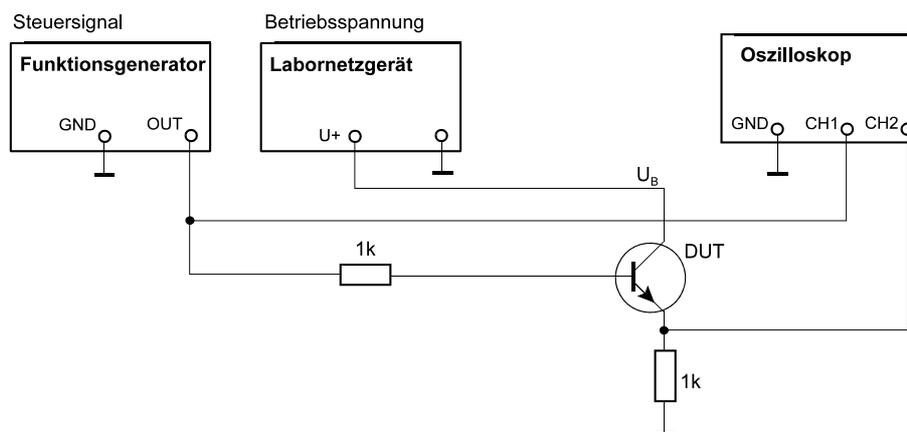


Abb. 2.1 Kollektorschaltung im Schaltbetrieb.

Versuchsdurchführung:

1. Anschluß Funktionsgenerator (FG) und Oszilloskop über Meßadapter 09b. FG auf Kanal 1.
2. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Funktionsgenerator: positive Rechtecksignale, Low-Pegel = 0 V, Amplitude anfänglich + 5 V. Positive Rechteckimpulse können über den Wahlschalter am FG und / oder den Kippschalter am Meßadapter eingestellt werden. Die Symbole erklären sich selbst. Frequenz um 5 kHz.

Zu untersuchen:

- a) Wie sehen die Signalverläufe aus? Erklärung?
- b) Einschalt- und Ausschaltverzögerung messen (Zeitdehnung $\cdot 10$).
- c) Impulsamplitude auf 10 V (gleich bzw. knapp über Betriebsspannung. Was ändert sich (Ausgangsspannung, Schaltzeiten)?

Nun alles umbauen zur Emitterschaltung.

Versuchsdurchführung:

1. Anschluß Funktionsgenerator (FG) und Oszilloskop über Meßadapter 09b. FG auf Kanal 1.
2. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Funktionsgenerator: positive Rechtecksignale, Low-Pegel = 0 V, Amplitude anfänglich + 5 V. Positive Rechteckimpulse können über den Wahlschalter am FG und / oder den Kippschalter am Meßadapter eingestellt werden. Die Symbole erklären sich selbst. Frequenz um 5 kHz.

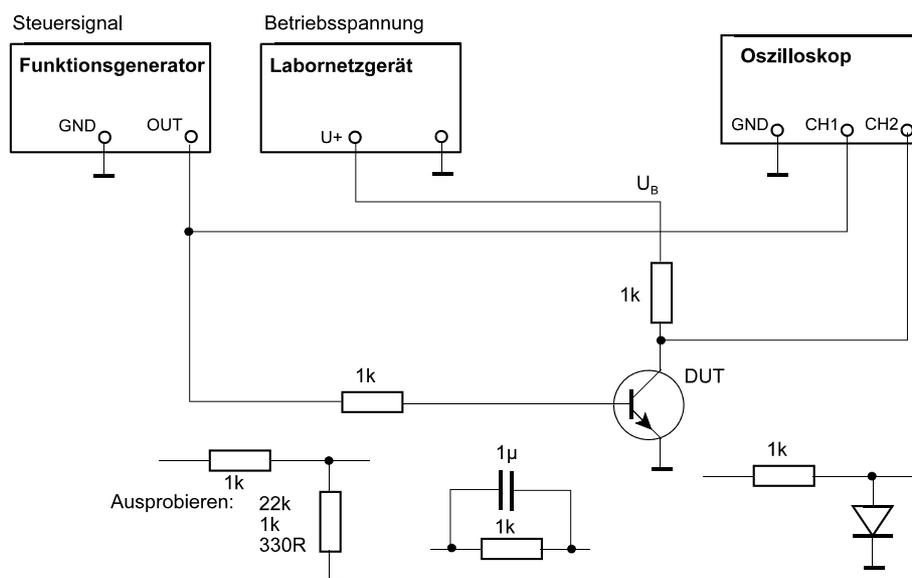


Abb. 2.2 Emitterschaltung im Schaltbetrieb.

Zu untersuchen:

- Wie sehen die Signalverläufe aus? Erklärung?
- Einschalt- und Ausschaltverzögerung messen.
- Impulsamplitude soweit verringern, bis Schaltung gerade noch funktioniert. Einschalt- und Ausschaltverzögerung messen.
- Impulsamplitude langsam wieder bis auf 5 V erhöhen und Schaltzeiten beobachten. Wie hängen die Schaltzeiten von der Impulsamplitude ab? Weshalb?
- Die in der Abbildung angegebenen alternativen Eingangsschaltungen ausprobieren. Hierbei geht es um die Ausschaltverzögerung. Welche Schaltung ergibt die kürzeste Ausschaltzeit?

3. Gatter mit Transistoren

Wir beginnen mit einem Transistor und bauen einen Negator. Er wird statisch erprobt (Abb. 3.1).

Führen Sie mit dem Escort-Digitalmultimeter folgende Messungen aus (in beiden Schaltzuständen):

- Die Kollektorspannung (Kollektor gegen Masse).
- Den Spannungsabfall über dem Basisvorwiderstand (22k).

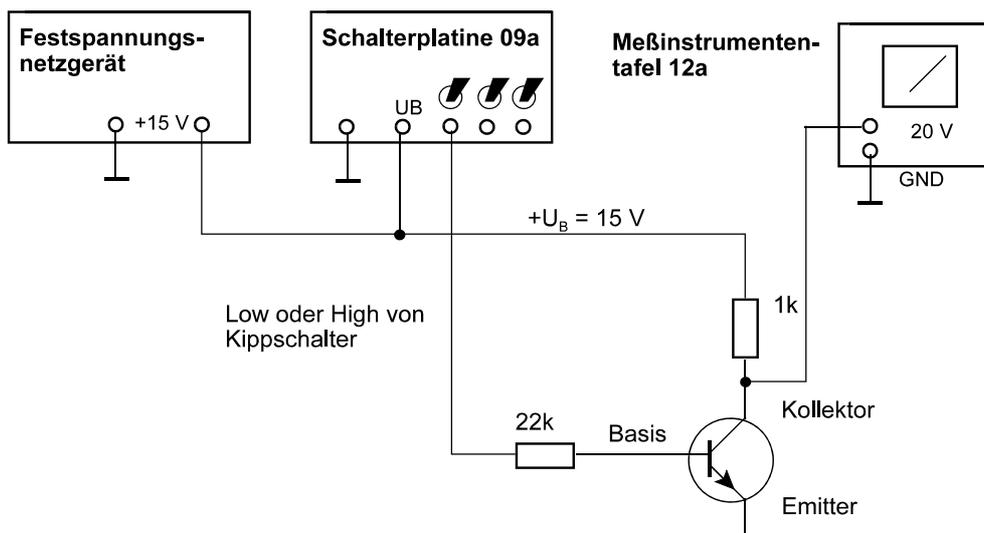


Abb. 3.1 Statische Erprobung eines Negators.

Bauen Sie nun die die beiden Gatterschaltungen von Abb. 3.2 nacheinander auf. Statische Erprobung ähnlich Abb. 3.1. Messung der Signalpegel mit Digitalmultimeter Escort.

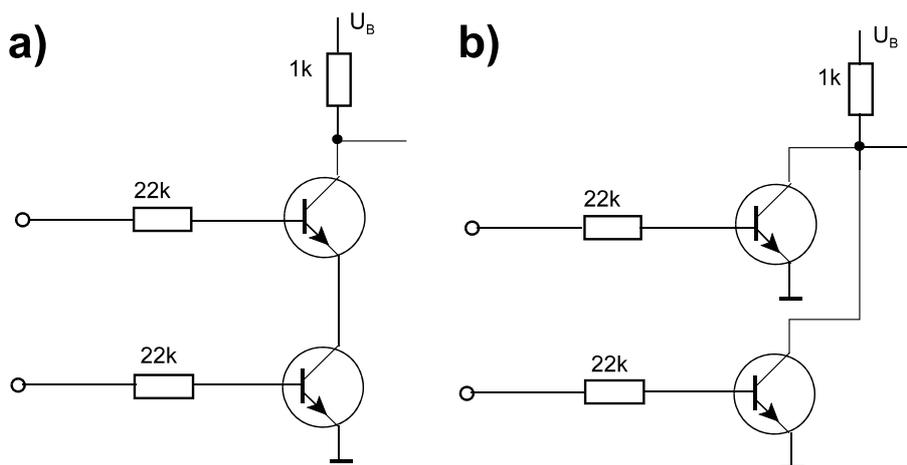


Abb. 3.2 Gatter mit Transistoren a) NAND; b) NOR.

Zu untersuchen:

- Grundsätzliche Funktionsfähigkeit.
- Welche Ausgangspegel ergeben sich bei den vier möglichen Eingangsbelegungen (genau messen)?
- Sind die Transistoren extrem oder mäßig oder gar nicht übersteuert? (Kurz begründen.)
- Den Arbeitswiderstand (1k) durch einen Widerstand 330R ersetzen. Welcher Low-Ausgangspegel ergibt sich nun? Woran liegt das?
- Welche der beiden Schaltungen eignet sich für eine unbegrenzte Erweiterung auf mehrere Eingänge, welche nicht? (Weshalb?)

4. Begrenzerstufe

Versuchsdurchführung:

1. Anschluß Funktionsgenerator und Oszilloskop über Meßadapter 09b. Beide Halbwellen. Funktionsgenerator auf Kanal 1.
2. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Impulsgenerator = Funktionsgenerator, Rechtecksignale, Amplitude anfänglich 5 V, Low-Pegel = 0 V (Offset-Einstellung). Frequenz um 5 kHz.

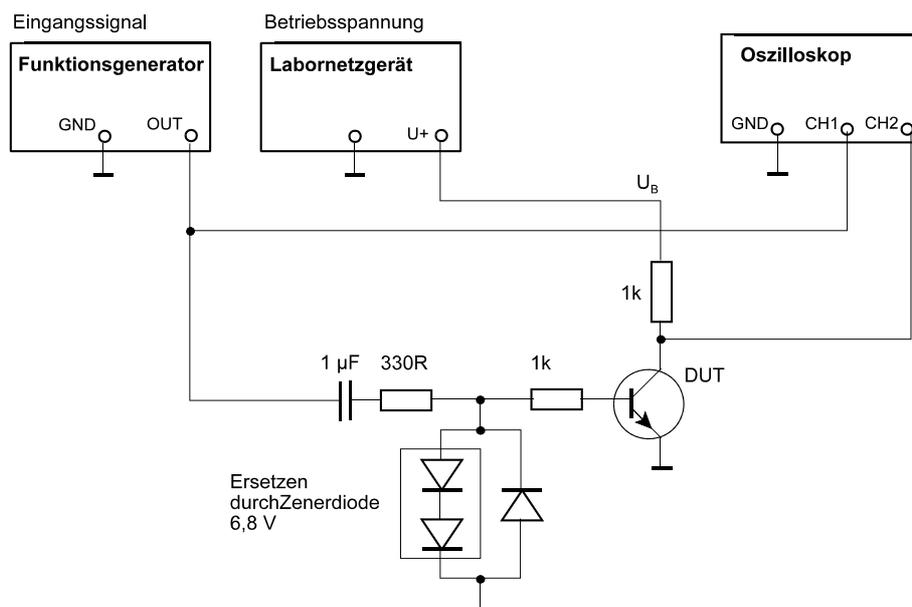


Abb. 4.1 Begrenzerstufe (Impulsformer) mit Bipolartransistor.

Mit verschiedenen Signalformen (auch Sinus und Dreieck) und Amplituden probieren. Ausgangssignal beobachten. Die zwei Dioden durch eine Zenerdiode (6,8 V) ersetzen. Ansteuerung mit Sinus. Welcher Eingangsspegel ist wenigstens erforderlich, damit am Ausgang Impulse erscheinen?

5. Schmitt-Trigger mit Transistoren

Der Schmitt-Trigger ist eine Schwellwertschaltung. Sie wird zunächst dynamisch und dann statisch erprobt.

Versuchsdurchführung (dynamische Erprobung):

1. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
2. Funktionsgenerator und Oszilloskop über Meßadapter 09b anschließen. Nur positive Halbwellen. Signalamplitude zunächst auf Null (linker Anschlag). Kein Offset. Frequenz um 5 kHz.

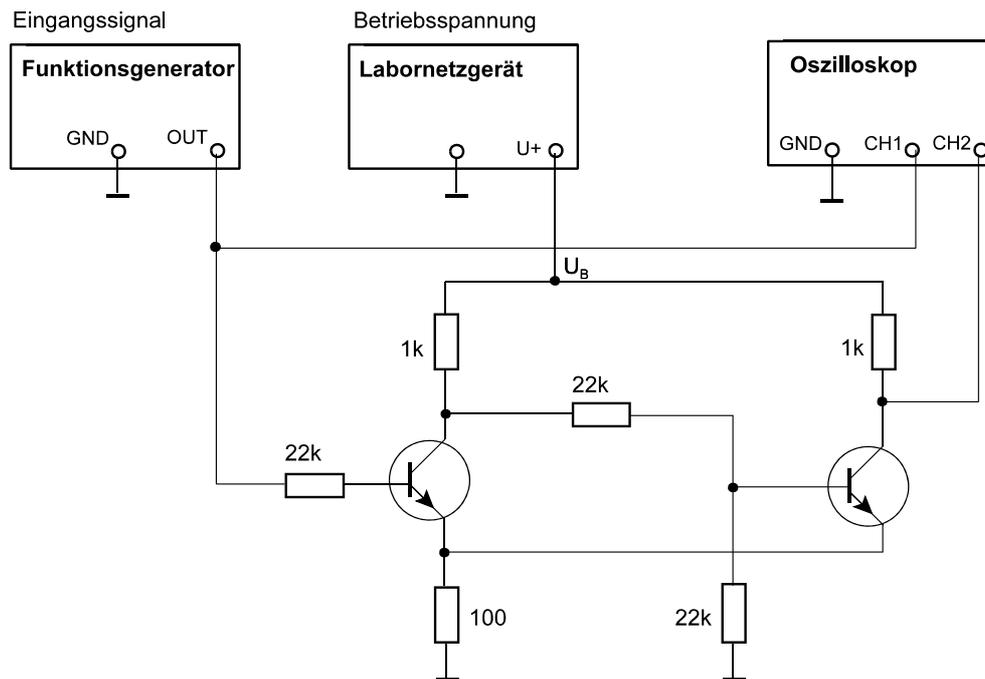


Abb. 5.1 Schmitt-Trigger (1). Dynamische Erprobung.

Zu untersuchen:

- Kontrolle der Funktionsweise (1). Dreieckssignale. Signalamplitude langsam erhöhen (bis auf maximal 10 V). Von welchem Betrag an erscheinen Impulse am Ausgang?
- Kontrolle der Funktionsweise (2). Signalamplitude zunächst auf Null. Sinussignale. Signalamplitude langsam erhöhen (bis auf maximal 10 V). Von welchem Betrag an erscheinen Impulse am Ausgang?
- Bis zu welcher Signalfrequenz ist die Schaltung betriebsfähig?

Versuchsdurchführung (statische Erprobung):

- Betriebsspannung U_B auf 10 V.
- Eingangsspannung zunächst auf Null. Ggf. Eingangsspannung zusätzlich mit Digitalmultimeter (Escort) genauer messen. Die LED muß anfänglich leuchten.

Zu untersuchen:

- Einschalten. Eingangsspannung langsam erhöhen. Bei welchem Spannungswert geht die LED aus? Das ist die Einschaltspannung U_{ON} .
- Ausschalten. Eingangsspannung langsam verringern. Bei welchem Spannungswert schaltet die LED wieder ein? Das ist die Ausschaltspannung U_{OFF} .
- Wie groß ist die Hysterese? Das ist die Differenz zwischen Ein- und Ausschaltspannung.

$$\text{Hysterese} = U_{ON} - U_{OFF}$$

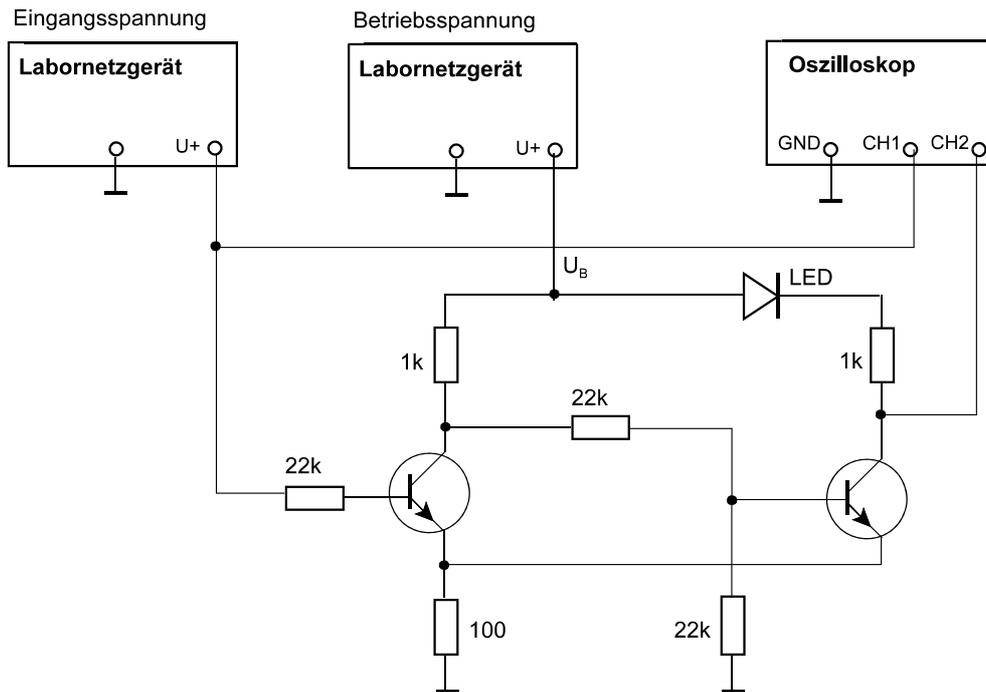


Abb. 5.2 Schmitt-Trigger (2). Statische Erprobung.

6. Multivibratorschaltungen

Der astabile Multivibrator

Astabile Multivibratoren geben fortlaufend Rechteckimpulse ab.

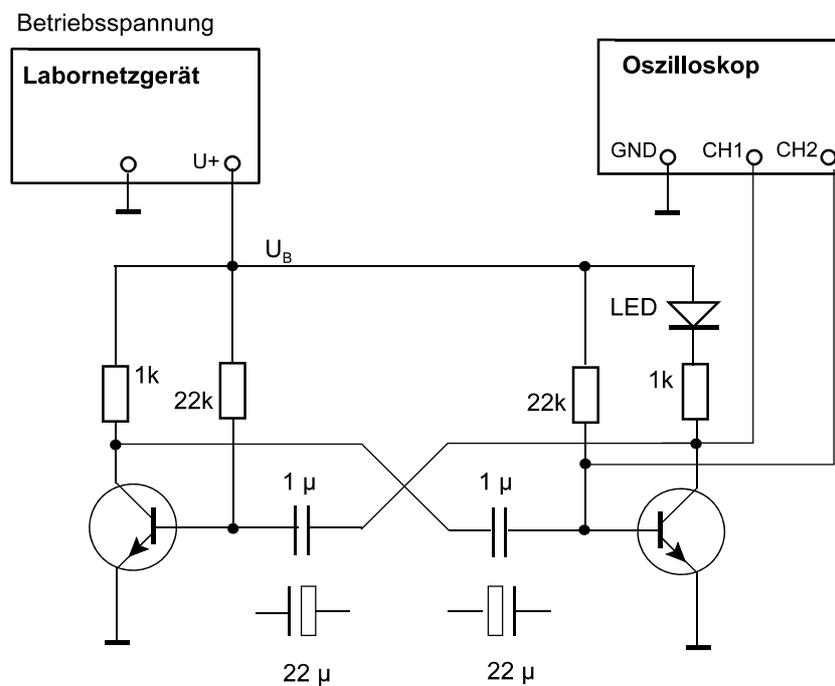


Abb. 6.1 Astabiler Multivibrator. Die Schaltung soll Rechteckimpulse abgeben. Betriebsspannung $U_B = 10\text{ V}$.

Zu untersuchen:

- Kontrolle der Funktionsweise. Wie sehen die Spannungsverläufe an Kollektor und Basis aus? Signalfrequenz? (Gemessenen und errechneten Wert vergleichen. Rechnung: 1 Kippimpuls näherungsweise $0,7 RC$ ($R = \text{Basiswiderstand } (22k)$)).
- Mit den Elkos probieren.

Der monostabile Multivibrator

Monostabile Multivibratoren geben einzelne Impulse ab. Hierzu müssen sie von außen erregt werden.

Statische Erregung

Wir verwenden zunächst einen Kippschalter (Abb. 6.2).

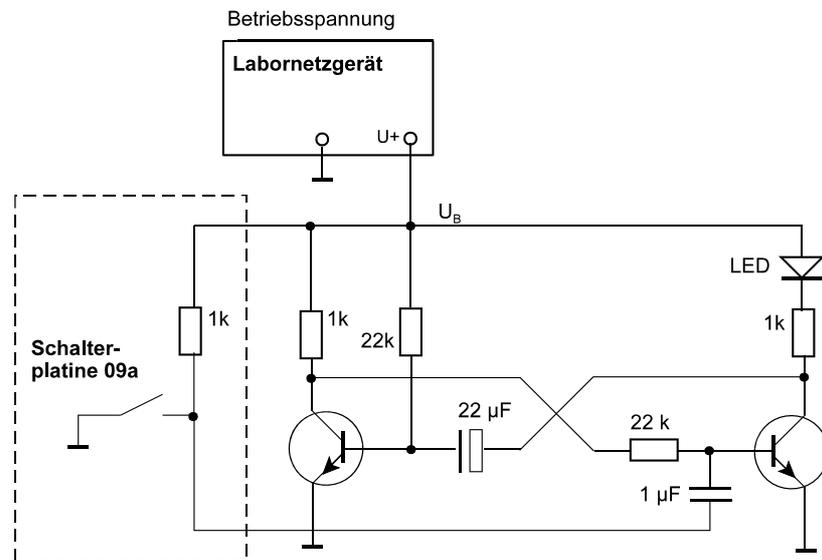


Abb. 6.2 Monostabiler Multivibrator (Monoflop). Statische Erregung. Betriebsspannung $U_B = 10 \text{ V}$. Die Schalterplatine mit U_B und Masse verbinden.

Funktionsfähigkeit untersuchen. Jede Betätigung des Schalters muß zum einmaligen Blinken der LED führen.

Dynamische Erregung

Die Versuchsschaltung wird vom Funktionsgenerator angesteuert (Abb. 6.3). Funktionsgenerator auf niedrigste Frequenz stellen. Positive Rechteckwelle. Amplitude ca. 5 V.

Zu untersuchen:

- Alles so einstellen, daß die LED zyklisch blinkt.
- Frequenz erhöhen (bis etwa 100 Hz) und beobachten, was passiert.
- Elko gegen Kondensator $1 \mu\text{F}$ auswechseln und Frequenz weiter erhöhen. Die Impulsbreite ausmessen. Wie könnte man die Schaltung zur Frequenzteilung ausnutzen?

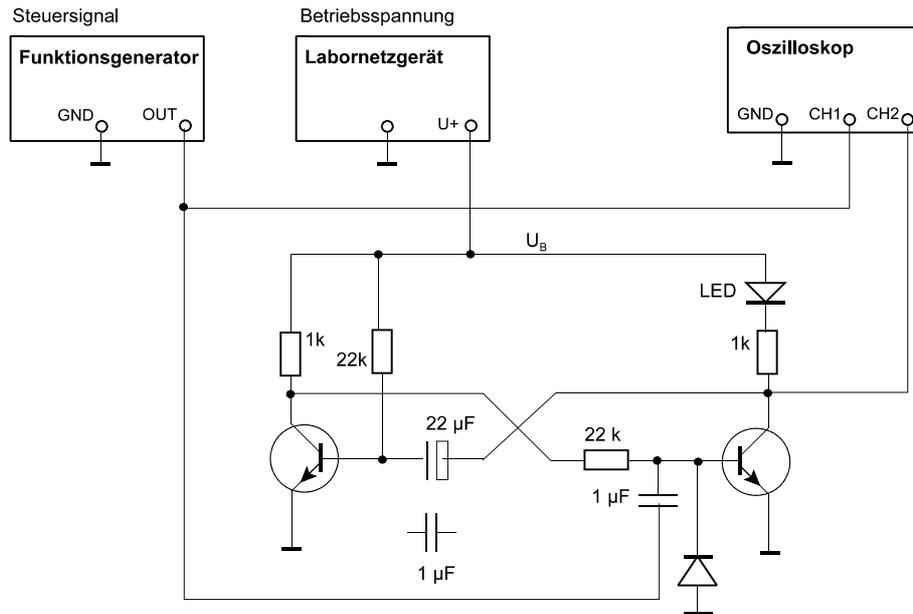


Abb. 6.3 Monostabiler Multivibrator (Monoflop). Zyklische Erregung. Betriebsspannung $U_B = 10\text{ V}$.

Der bistabile Multivibrator

Der bistabile Multivibrator hält seinen Schaltzustand solange, bis er durch eine Erregung von außen in den jeweils anderen Zustand überführt wird (Speicherwirkung). Bistabiler Multivibrator ist im Grunde nur ein anderer Name für Latch oder Flipflop. Wir wollen uns hier mit einem einfachen flankengesteuerten RS-Flipflop begnügen, das im statischen Betrieb erprobt wird³.

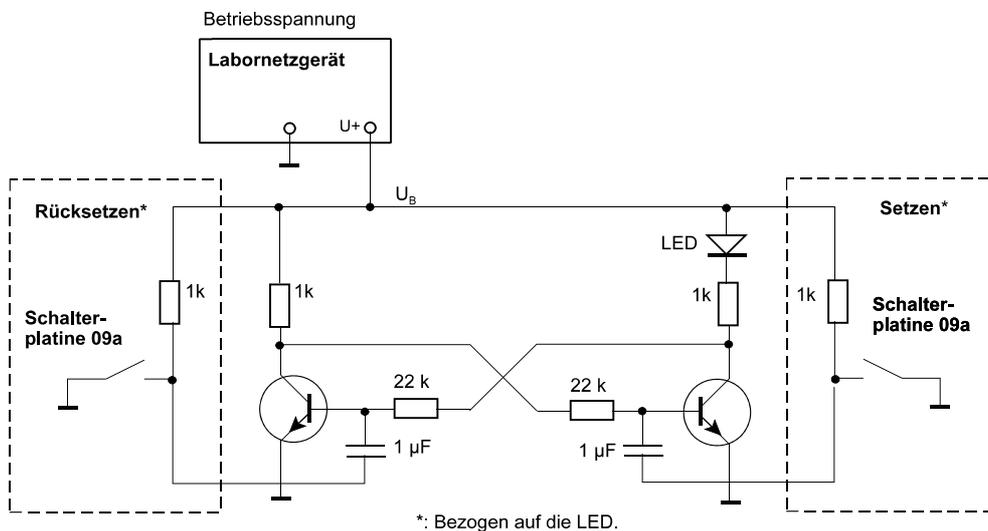


Abb. 6.4 Bistabiler Multivibrator (Flipflop). Statische Erregung. RS-Verhalten. Betriebsspannung $U_B = 10\text{ V}$. Die Schalterplatine mit U_B und Masse verbinden.

Funktionsfähigkeit untersuchen. Das Flipflop muß sich mit dem einen Schalter setzen und mit dem anderen löschen lassen.

3: Alles andere ist zu aufwendig. Manche Schaltungen funktionieren nicht als gestöpselter Drahtverhau, sondern nur dann, wenn man sie mit kürzesten Verbindungen aufbaut.