



## Funktionsbeschreibung

Die Schaltung ist zugegeben auf den ersten Blick nicht ganz einfach zu verstehen. Sie werden jedoch gleich sehen, dass mit Hilfe von ein paar vereinfachenden Annahmen die Funktionsweise durchaus zu durchschauen ist. Es sei angemerkt, dass eine genaue rechnerische Dimensionierung der Bauteile bei dieser Schaltung gar nicht nötig ist, solange gewisse Bedingungen, auf welche wir gleich eingehen werden, erfüllt sind. Es wird daher in dieser Anleitung keinen Expliziten Dimensionierungsabschnitt geben. Die Funktionsweise soll anhand der Bauteilwerte in *Abb. 1* erläutert werden und daraus sollte hervorgehen, warum diese so gewählt wurden.

Die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ , sowie die Widerstände  $R_1$  bis  $R_6$  bilden eine bistabile Kippstufe oder ein sogenanntes Flip-Flop. Lassen wir vorerst alle anderen Zweige außer acht und beschränken uns auf die Funktionsweise des Flip-Flops. Betrachtet man jeden Transistor für sich alleine (der jeweils andere Transistor sei nicht vorhanden), so sind dessen Basis- und Kollektorwiderstände so dimensioniert, dass der Transistor sicher in Sättigung geht. Beispielsweise wird der Kollektorwiderstand von  $T_1$  durch  $R_1 + R_2$  und der Basiswiderstand näherungsweise durch  $R_6$  (genau genommen durch  $R_4 + R_5 + R_6$ ) bestimmt. Da die Kollektoren und Basen von  $T_1$  und  $T_2$  miteinander über die Basiswiderstände verbunden sind, kommt es zu einer gegenseitigen "Verriegelung", d.h. es kann immer nur ein Transistor leiten, während der andere sperrt. Legt man den Kollektor eines Transistors kurz an Schaltungsmasse, so wird der jeweils andere Transistor gesperrt (niedriges Basispotential) wodurch wiederum der kollektorseitig kurzgeschlossene Transistor leitend wird (hohes Basispotential) und der Zustand erhalten (gespeichert) bleibt.

Wenn  $T_2$  sperrt und somit dessen Kollektorpotential hoch ist, so leitet  $T_3$ , welcher als Schalter dient, sicher und die LED leuchtet. Die LED signalisiert also den sperrenden Zustand von  $T_2$ . Der Basiswiderstand von  $T_3$  ist so dimensioniert, dass  $T_3$  in Sättigung geht und gleichzeitig das Flip-Flop möglichst wenig belastet wird.

Nehmen wir nun an, dass die Kondensatoren ungeladen sind. Weiters wollen wir die Querströme durch  $R_7$  und  $R_8$ , sowie die Basisströme vernachlässigen. Dies ist durchaus legitim, da  $R_7$ ,  $R_8$  und die Basiswiderstände im Vergleich zu den Kollektorwiderständen relativ hochohmig ausfallen. Wir können die Kollektorzweige von  $T_1$  und  $T_2$  also als unbelastet ansehen.

Wir wollen nun 3 Phasen betrachten, welche eintreten, wenn man den Taster einmal betätigt und wieder loslässt. Die nachfolgenden Ausführungen sind leichter nachvollziehbar, wenn Sie sich die Schaltung mit den aktuellen Potentialen für jede Phase selbst aufzeichnen.

### Phase 1: $S_1$ offen

Unter der Annahme, dass  $T_2$  gerade leitet und  $T_1$  sperrt, wird am *Punkt 1* (*Abb. 1*) das Potential fast 12V betragen. Am *Punkt 2* werden sich hingegen aufgrund des Spannungsteilers ( $R_4$ ,  $R_5$ ) ca. 7,2V einstellen.  $D_1$  und  $D_2$  sperren sicher, da die Kathodenpotentiale viel höher als die Anodenpotentiale sind. An  $C_1$  wird sich eine Spannung von etwa 0V einstellen,  $C_2$  wird sich hingegen über  $R_9$  und  $R_7$  auf ca. -4,8V (Vorzeichen laut Zählpfeil in *Abb. 1*) aufladen<sup>1)</sup>.

### Phase 2: $S_1$ geschlossen

Durch Betätigung des Tasters liegt *Punkt 4* nun direkt an Masse. Da die Spannung an  $C_2$  nicht springen kann, beträgt das Potential an *Punkt 3* kurzzeitig -4,8V, wodurch  $D_2$  leitend wird und diese das negative Potential (um die Diodenflussspannung erhöht) an die Basis von  $T_2$  weitergibt. Dies bewirkt, dass  $T_2$  schlagartig sperrt, sein Kollektorpotential erhöht und in weiterer Folge  $T_1$  zu leiten beginnt. Die Betätigung des Tasters hat also einen Wechsel des Flip-Flop-Zustands bewirkt.

Nun setzen wieder Umladevorgänge bei den Kondensatoren ein. Da nun  $T_1$  leitet und  $T_2$  sperrt, liegt *Punkt 1* jetzt auf ca. 7,2V und *Punkt 2* auf 12V.  $C_1$  lädt sich über  $R_8$  auf 7,2V und  $C_2$  über  $R_7$  auf 12V auf.

---

<sup>1)</sup> Falls Sie sich nicht sicher sind, auf welchen Wert sich ein Kondensator stationär auflädt, ersetzen Sie diesen einfach durch einen Leerlauf und berechnen Sie den Spannungsabfall an den offenen Klemmen

### Phase 3: $S_1$ wieder geöffnet

$C_1$  und  $C_2$  werden nun über  $R_9$  und  $R_8$  bzw.  $R_7$  auf  $-4,2V$  und  $0V$  umgeladen. Es herrschen jetzt die gleichen Verhältnisse wie in Phase 1, jedoch haben die Transistoren und die Kondensatoren die Rollen getauscht. Durch erneutes Betätigen des Tasters beginnen die 3 Phasen (jedoch mit vertauschten Rollen) erneut.

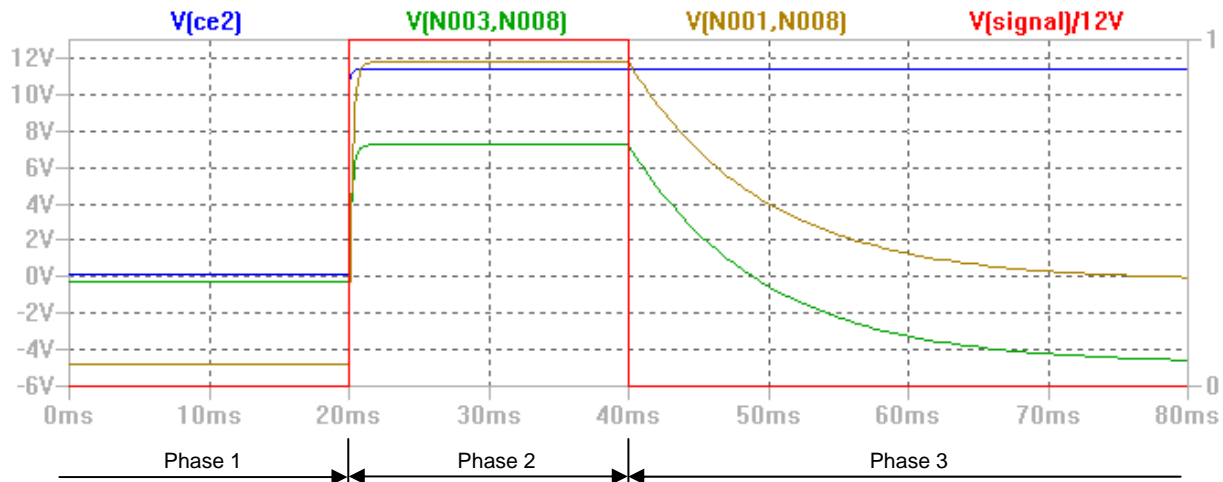


Abb. 3: Spannungsverläufe:  $u_{CE2}$  (blau),  $u_{C1}$  (grün),  $u_{C2}$  (braun) und Tastersignal (rot)

Abb. 3 zeigt das Ergebnis einer Spice-Simulation, wobei beim Tastersignal "1" für "geschlossen" steht. Wie Sie sehen stimmen unsere abgeschätzten, statischen Spannungswerte trotz der vereinfachenden Annahmen sehr gut mit der Simulation überein.

Das grundsätzliche Funktionsprinzip der Wechselschaltung sollte nun bekannt sein. Kommen wir nun noch zu ein paar Details.

Warum wird eigentlich der aus  $R_1$  und  $R_2$  bzw.  $R_4$  und  $R_5$  gebildete Spannungsteiler benötigt?

Würden wir beispielsweise  $R_5$  weglassen, dann würde sich  $C_2$  in Phase 1 annähernd auf  $-12V$  aufladen. In Phase 2 würde diese negative Spannung (erhöht um die Diodenflussspannung) dann an der Basis von  $T_2$  liegen. Wenn Sie im Datenblatt des  $BC547C$  nachlesen, so finden Sie die maximale Sperrspannung der Basis-Emitter Strecke ( $V_{EB0}$ ) mit  $6V$ . Das heißt, der Spannungsteiler sorgt dafür, dass keine zu hohen Sperrspannungen an die Basis-Emitter Strecke des Transistors gelangen.

Warum ist die Schaltung, wie anfangs erwähnt, unempfindlich gegen Tastenprellen?

Entscheidend ist immer die Spannung an jenem Kondensator, welcher bei Tasterbetätigung dafür sorgt, dass der aktuell leitende Transistor sperrt. In Abb. 3 wäre ab Phase 2 beispielsweise  $C_1$  für den nächsten Wechsel verantwortlich. Solange die Spannung an  $C_1$  aber nicht unter  $0V$  gefallen ist<sup>2)</sup>, wird  $DR_2$  bei Betätigung des Tasters aber nicht leitend und  $T_1$  verharrt in seinem aktuellen Zustand. Das heißt, dass  $S_1$  nach dem Zustandswechsel des Flip-Flops so lange geöffnet bleiben muss, bis die Spannung an  $C_1$  unter  $0V$  gefallen ist, ansonsten wird der nächste Wechsel "blockiert". Da die Aufladung in positive Richtung niederohmiger und somit schneller als in negative Richtung erfolgt, führt eine vorzeitige Betätigung von  $S_1$  dazu, dass die Schaltung noch mehr auf "Block" geht. Die "Blockierzeit" ist im Wesentlichen von der Zeitkonstante bei Aufladung in negativer Richtung abhängig  $\tau_{neg} = (R_9 + R_8)C_1 \approx R_9C_1$  und kann je nach Anforderung entsprechend gewählt werden. Abb. 4 zeigt die Spannungsverläufe für den Fall, dass der Taster innerhalb der Blockierzeit mehrmals betätigt wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Auswahl der Bauteilwerte relativ beliebig ist, so lange Sie darauf achten, dass die Kollektorzweige von  $T_1$  und  $T_2$  nicht allzu sehr belastet werden und alle Transistoren in Sättigung gehen können.

<sup>2)</sup>  $0V$  deswegen, weil sich die Anode von  $D_2$  ca. auf  $0,7V$  ( $U_{BE1}$ ) befindet und eine Flussspannung von ebenfalls ca.  $0,7V$  nötig ist, um die Diode zum Leiten zu bringen.

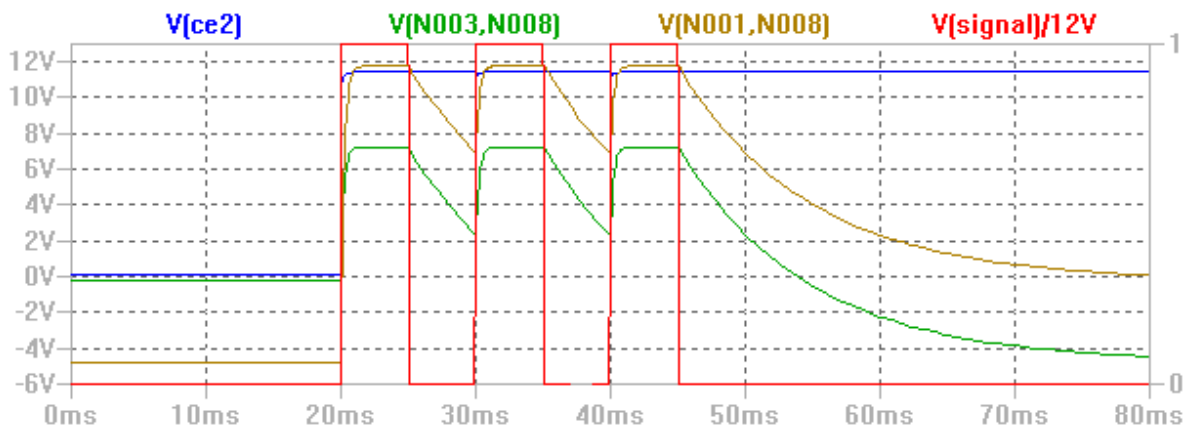


Abb. 4

## Versuchsdurchführung

Es empfiehlt sich, zu Beginn nur das Flip-Flop aufzubauen. Sie können dieses auf Funktion testen, indem Sie  $R_2$  und  $R_5$  vorübergehend durch LEDs ersetzen, welche Ihnen den aktuellen Zustand der Transistoren anzeigen. Sie können den Zustand des Flip-Flops ändern, indem Sie mit einem Draht, welchen Sie mit Masse verbinden, die Basen der Transistoren berühren.

Wenn das Flip-Flop soweit funktioniert, bauen Sie die restliche Schaltung auf. Scheuen Sie sich nicht, mit den Bauteilwerten zu experimentieren.

## Erweiterungen

### Berührungsschalter

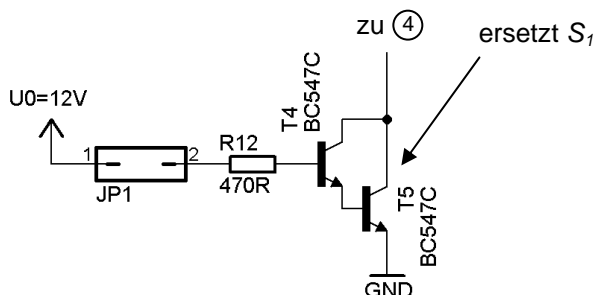


Abb. 5: Schaltungsteil zur Erweiterung zum Berührungsschalter

$T_4$  und  $T_5$  sind als sogenannte Darlington-Stufe verschaltet (siehe [HLST-Skript, Abb. 6.9]), welche eine sehr hohe Gleichstromverstärkung von  $B_{ges} \approx B_4 B_5 = 500^2 = 250000$  aufweist. Der Basisstrom, welcher fließt, wenn Sie mit Ihrem Finger den Kontakt zwischen Basis und Betriebsspannung herstellen, reicht aus, um  $T_5$  in die Sättigung zu treiben. Als Kontakt können Sie beispielsweise 2 blanke Drahtbrücken (die kleinsten im Set) verwenden, welche Sie nahe aneinander am Steckbrett platzieren und so gleichzeitig berühren können.  $R_{12}$  ist für die Funktion unwesentlich, schützt aber die Transistoren vor Zerstörung, falls die Basis von  $T_4$  irrtümlicherweise direkt mit Betriebsspannung verbunden wird.

Wenn Sie nun den Taster der Wechselschaltung durch die Darlington-Stufe ersetzen, so können Sie die Anzeige-LED durch Berühren der Kontakte ein- und ausschalten.

## Klatschschalter

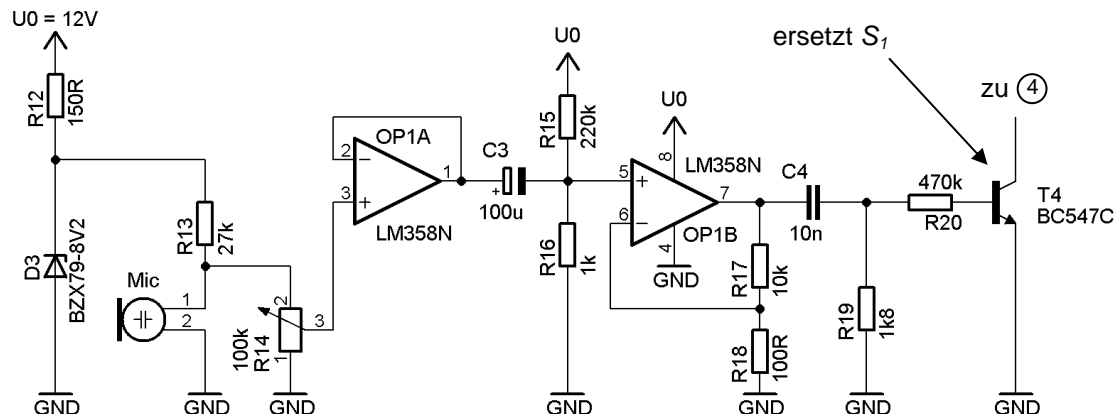


Abb. 6: Schaltungsteil zur Erweiterung zum Klatschschalter

**Achtung:** Bei der Erweiterung zum Klatschschalter empfiehlt es sich,  $C_1$  und  $C_2$  auf  $470nF$  zu erhöhen, um eine längere Blockierzeit der Schaltung zu gewährleisten.

Dieser zusätzliche Schaltungsteil besteht im Wesentlichen aus einem Mikrofon mit Verstärker. Die Funktionsweise soll hier nur in aller Kürze erläutert werden, eine detaillierte Erklärung finden Sie in der Anleitung zum Versuch "Spectrum-Analyzer". Die Z-Diode sorgt für eine stabile Versorgung des Mikros. Das Mikrofonsignal wird über einen Impedanzwandler an den Verstärker gelegt und etwa 100-fach verstärkt. Das verstärkte Signal wird an die Basis von  $T_4$ , welcher als Schalter dient und den Taster  $S_1$  ersetzt, gelegt. Der Ausgangskoppelkondensator  $C_4$  bildet zusammen mit  $R_{19}$  ein Hochpassfilter mit einer  $-3dB$  Grenzfrequenz von etwa  $9kHz$ . Das Filter soll dafür sorgen, dass nur der hochfrequente Anteil des Klatschens zum Transistorschalter  $T_4$  durchdringt.

Da Audiosignale als eine Überlagerung von harmonischen Schwingungen aufgefasst werden können, wird  $T_4$  bei einem Klatschsignal mehrfach durchsteuern und wieder sperren. Die Wechselschaltung ist aber, wie schon erwähnt, absolut unempfindlich gegen Tastenprellen, daher wird nur das erste Durchsteuern von  $T_4$  wahrgenommen, die restlichen Schwingungen werden effektiv durch die Wechselschaltung blockiert. Es kann also nicht vorkommen, dass die Anzeige-LED bei einmaligem Klatschen mehrfach aufleuchtet und wieder erlischt.

Mit Hilfe des Potis  $R_{14}$  kann das Mikro-Signal abgeschwächt und somit die Empfindlichkeit des Klatschschalters eingestellt werden.