

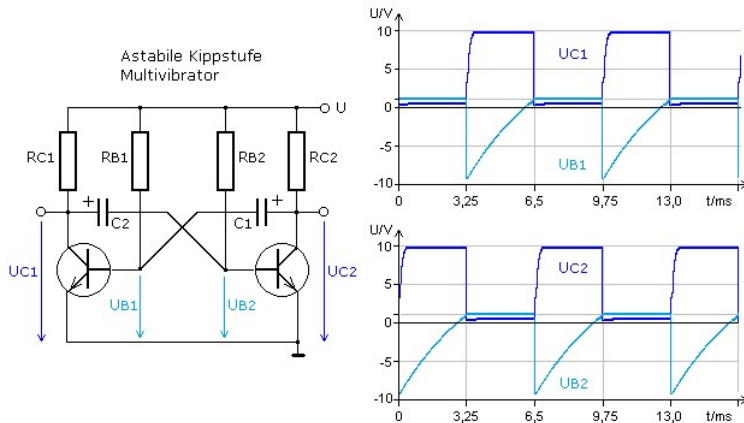
Astable Kippstufe mit Transistoren

Detlef Mietke

Eine Kipperschaltung oder Kippstufe ändert ihre Ausgangsspannung sprunghaft. Mit Transistoren aufgebaut, arbeiten diese als [elektronische Schalter](#). In einer astabilen Kippstufe schalten sich zwei Transistoren abwechselnd und kontinuierlich vom leitenden in den gesperrten Zustand. Die Schaltung funktioniert ohne ein zusätzliches äußeres Steuersignal. Ihrem Verhalten nach wird die Schaltung auch als Multivibrator bezeichnet.

Die dargestellte Schaltung ist symmetrisch aufgebaut. Sie hat gleiche npn-Transistoren, Arbeitswiderstände mit 1 kΩ im Kollektorkreis, 47 kΩ Basiswiderstände und 100 nF Kondensatoren. Nach dem Anlegen einer positiven Betriebsspannung, hier 10V, erzeugt die Schaltung an den Ausgängen symmetrische Rechteckspannungen. Welcher der beiden Transistoren anfangs leitet oder sperrt, ist einzig von den Bauteiltoleranzen abhängig.

Der zur Schaltung gehörende Signalausschnitt zeigt den eingeschwungenen Betriebszustand. Der rechte Transistor wird zum Zeitpunkt $t = 0$ aus dem zuvor leitenden Zustand in die Sperrphase geschaltet. Das bewirkt der linke Transistor, dessen Basis jetzt mit +1 V über seinen Basisvorwiderstand RB1 zum Schalten ausreichend positiv ist. Bis zum Zeitpunkt $t = 0$ war der linke Transistor gesperrt und der Kondensator C2 zum Kollektoranschluss hin auf die Betriebsspannung aufgeladen.



Der Kondensator C2 entlädt sich bei $t = 0$ nach Masse über die niederohmige Kollektor-Emitterstrecke. Von den +10 V bleibt an der Kollektorseite die Restspannung von ungefähr 0,5 V. Der Ladezustand des Kondensators und damit die Spannungsdifferenz über C2 bleibt erhalten. Seine mit der Basis des rechten Transistors verbundene Seite wechselt die Polarität und wird stark negativ. Der rechte Transistor wird augenblicklich gesperrt und die Spannung an seinem Kollektor nimmt den Wert der Betriebsspannung an.

Bis zum Zeitpunkt $t = 0$ liegen am linken Anschluss von C2 +10 V und am rechten Anschluss +1 V. Die Spannung über C2 beträgt somit +9 V (von links nach rechts). Zum Zeitpunkt $t = 0$ wechselt das Kollektorpotenzial auf +0,5 V. Die Gegenseite des Kondensators hat dadurch -8,5 V. Damit wird der rechte Transistor sicher gesperrt.

Der Widerstand RB2 entlädt C2 über die positive Betriebsspannung oder stellt anders gesagt den Ladungsausgleich her. Der Ladevorgang ist in den Diagrammen gut am exponentiellen Kurvenverlauf zu erkennen. Steigt die Spannung bei $t = 3,25$ ms über den Schwellenwert der Basis-Emitterdiode des gesperrten Transistors, so wird dieser leitend. Der rechte Transistor entlädt nunmehr den Kondensator C1 und zieht damit die Basis des linken Transistors auf negatives Potenzial.

Der Umladevorgang vollzieht sich jetzt für den Kondensator C1 und ist zum Zeitpunkt $t = 6,5$ ms abgeschlossen. Beide Transistoren wechseln erneut ihren Schaltzustand. Beim symmetrischen Schaltungsaufbau sind die Puls- und Pausenzeiten gleich lang. Die astabile Kipperschaltung erzeugt an beiden Ausgängen zueinander phasengedrehte Rechtecksignale.

Eine vor die Basis geschaltete Schutzdiode, die hier nicht eingezeichnet ist, verhindert für die Basis-Emitterdiode einen Zenereffekt, der bei zu hoher negativer Sperrspannung einen Sperrstrom bewirken kann. Die Schutzdiode wird in gleicher Polung wie die Basis-Emitterdiode eingebaut.

Wesentlich einfacher ist der Aufbau einer [astabilen Kipperschaltung mit dem Timer-IC 555](#). Prinzipielle Schaltungen und deren Beschreibungen sind in einem gesonderten Kapitel dargestellt.

Impuls- und Pause-Schaltzeiten

Das Rechtecksignal wird durch seine Impuls- und Pausenzeit charakterisiert. Die Summe beider Zeiten ergeben die Periodendauer und ihr Kehrwert ist die Frequenz des Rechtecksignals. Die Zeiten sind von der Umladegeschwindigkeit der Kondensatoren abhängig. Leitet der rechte Transistor, so wird der Kondensator C1 über den Widerstand RB1 und den niederohmigen Bahnwiderstand r_{CE} des Transistors geladen. Da r_{CE} im Vergleich zum Basisvorwiderstand sehr klein ist, kann er bei der Berechnung vernachlässigt werden. Der Umschaltvorgang findet nach einer Zeitkonstante, der Halbwertzeit τ statt. Ist die Schaltung unsymmetrisch dimensioniert, so errechnet sich die Zeitkonstante der Gegenseite entsprechend mit den Werten von C2 und RB2.

$$\tau_1 = (R_{B1} + r_{CE2}) C_1 \Leftrightarrow \tau_1 = R_{B1} C_1$$

$$\tau_2 = (R_{B2} + r_{CE1}) C_2 \Leftrightarrow \tau_2 = R_{B2} C_2$$

Impulszeit

Pausenzeit

$$t_1 = t_i = \ln 2 \cdot \tau_1$$

$$t_2 = t_p = \ln 2 \cdot \tau_2$$

Periodendauer

Frequenz

$$T = t_1 + t_2$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

Für ein sicheres Funktionieren der astabilen Kippstufe sollten die Werte der Basisvorwiderstände mindestens zehnmal größer als die zugehörigen Kollektorwiderstände sein.