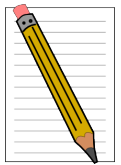


Kippschaltung

In diesem Versuch lernen Sie prominente Kippschaltungen kennen. Eine wichtige Rolle hierbei werden die astabilen Kippschaltungen einnehmen. Diese „kippen“ zwischen zwei Zuständen hin und her und werden auch Multivibratoren genannt.

Schriftliche VORbereitung:

- Machen Sie sich mit den Grundsaltungen des Operationsverstärkers vertraut:
 - positiver Verstärker
 - negativer Verstärker
 - Integrator
- Wie kann mit dem Operationsverstärker ein Schmitt-Trigger aufgebaut werden?
- Welche Größen charakterisieren diesen, wie lassen sich diese einstellen?
- Informieren Sie sich über die Digitalelektronik und die Logik Familie 74XX



Bilder zu diesem Versuch finden Sie hier: <http://www.iqo.uni-hannover.de/1279.html>

1 Grundlagen

Kippschaltungen lassen sich mit Operationsverstärkern besonders übersichtlich aufbauen. Ein Operationsverstärker ist ein integrierter Schaltkreis (IC) mit sehr hoher Verstärkung, großem Eingangswiderstand und zwei getrennten Eingängen. Eine positive Spannung führt am invertierenden Eingang ($-E$) zu einer negativen Ausgangsspannung $u_a = -v \cdot u_e$ und am nicht invertierenden Eingang ($+E$) zu einer positiven Spannung $u_a = v \cdot u_e$, wenn der jeweils andere Eingang geerdet ist.

Wenn ein Verstärker zur Schwingungserzeugung verwendet werden soll, muss ein Teil seiner Ausgangsspannung so an den Eingang zurückgeführt werden, dass die Eingangsspannung vergrößert wird. Beim Operationsverstärker geschieht das durch Rückkopplung auf den Pluseingang (Mitkopplung). Wegen des großen Verstärkungsfaktors lässt schon eine kleine positive Spannung zwischen den beiden Eingängen die Ausgangsspannung auf einen Maximalwert $u_{a,max}$ ansteigen, der etwas kleiner ist als die positive Betriebsspannung $+U_b$. Entsprechend stellt sich bei negativer Eingangsspannung ein unterer Grenzwert $u_{a,min} \approx -U_b$ ein.

2 Schmitt-Trigger mit Differenzverstärker

Der Schmitt-Trigger ist eine bistabile Kippschaltung, die ihren Ausgangszustand ändert, wenn die Eingangsspannung einen bestimmten, einstellbaren Spannungspegel erreicht. Anwendungsbeispiele: Schwellwertschalter, Umwandlung beliebiger Wechselspannungen in Rechteckspannungen.

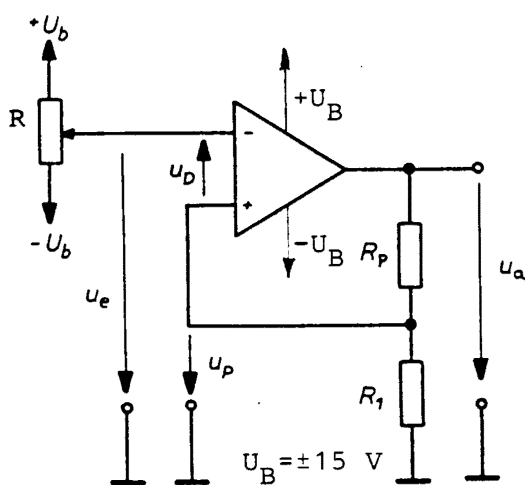


Abbildung 1: Schmitt-Trigger

In der Schaltung Abb. 1 wird die Spannung $u_p = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot u_a$ auf den Pluseingang gekoppelt.

u_a wechselt die Polarität, wenn $U_D = U_p - U_e = 0$ wird, d. h. wenn am Minuseingang eine gleich große Eingangsspannung liegt wie am Pluseingang.

$$U_a \text{ wird positiv bei } U_e^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot U_{a,min},$$

$$U_a \text{ wird negativ bei } U_e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot U_{a,max}.$$

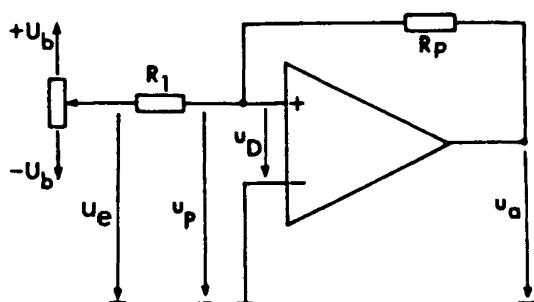
Die Differenz der beiden Schaltspannungen heißt Schalthysterese: $\Delta = U_e^- - U_e^+$.

- (M1) Aufbau der Schaltung erfolgt nach Abb. 1.
- (M2) Messung der Schaltspannungen mit dem Zweistrahloszilloskop.
- (M3) Ermittlung der Schalthysterese mit den am Arbeitsplatz angegebenen Werten.
- (A1) Die gemessenen Schalthysteresen sind mit den berechneten zu vergleichen.

3 Schmitt-Trigger mit nicht invertierendem Verstärker

Bei Schaltung Abb. 2 liegt u_e am Pluseingang und wird nicht invertiert, d. h. $u_{e,max}$, $u_{a,max}$ und u_P haben das gleiche Vorzeichen.

$U_D = U_P - U_N = U_P$ wird Null, wenn die Eingangsspannung die ebenfalls am Pluseingang liegende rückgekoppelte Spannung $\frac{R_1}{R_p} \cdot U_a$ gerade kompensiert, d. h.



$$U_a \text{ wird positiv bei } U_e^+ = -\frac{R_1}{R_p} \cdot U_{a,min},$$

$$U_a \text{ wird negativ bei } U_e^- = -\frac{R_1}{R_p} \cdot U_{a,max}.$$

(M4) Aufbau der Schaltung gemäß Abb. 2.

(M5) Messung der Schaltspannungen.

(M6) Ermittlung der Schalthysterese mit den am Arbeitsplatz angegebenen Werten.

Abbildung 2: Schmitt-Trigger mit nicht invertierendem Verstärker

4 Multivibrator

Der Multivibrator in Abb. 3 ist ein Schmitt-Trigger vom invertierenden Typ (Abb. 1), dessen Eingangsspannung U_e eine zeitabhängige Kondensatorspannung ist. Der Kondensator C wird von der Ausgangsspannung $U_{a,max}$ über den Widerstand R aufgeladen.

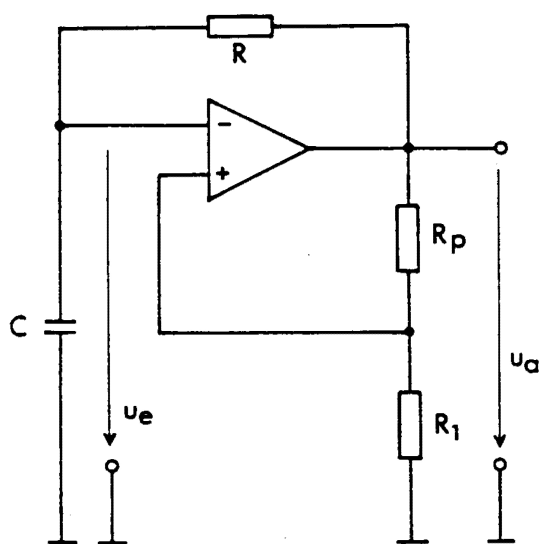


Abbildung 3: Multivibrator

Sobald die Kondensatorspannung

$$U_C = U_{a,max} \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$$

die Höhe der Schaltspannung

$$U_e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot U_{a,max}$$

erreicht, springt die Ausgangsspannung auf $U_{a,min}$. Der Kondensator wird nun durch u_a min umgeladen, bis U_C gleich

$$U_e^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot U_{a,min}$$

wird und U_a wieder die Polarität wechselt. Die Schwingungsdauer T ist gleich der Zeit, die benötigt wird, um den Kondensator von auf und zurück auf U_e^- zu bringen.

$$T = 2 \cdot R \cdot C \cdot \ln \left(1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_p}\right) \quad (1)$$

(M4) Aufbau der Schaltung mit R_1 , R_p , R und C (Werte am Arbeitsplatz).

(M5) $U_a(t)$ und $U_C(t)$ mit Oszilloscope messen.

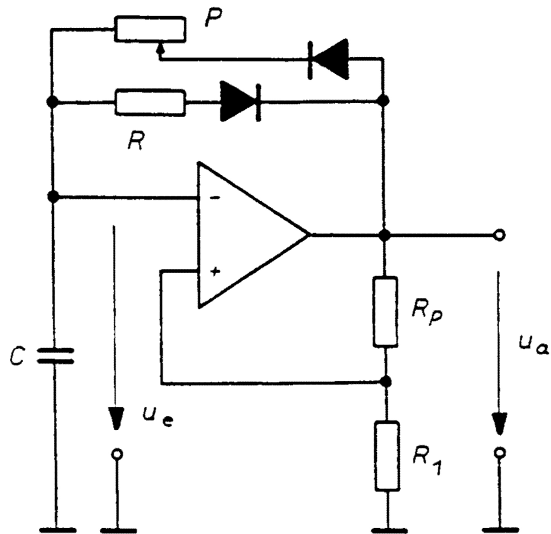
(A2) Stellen Sie ihre Ergebnisse graphisch dar.

(M6) Ermittlung von T .

(A3) Vergleichen Sie ihre Ergebnisse mit der Formel (1).

(M7) R durch Potentiometer P ersetzen. Welche Frequenzänderungen können damit ungefähr erreicht werden, ohne dass die Rechteckform zu stark verzerrt wird?

5 Multivibrator mit veränderlichem Tastverhältnis



Bei positiver Ausgangsspannung u_a fließt der Ladestrom für C über den variablen Widerstand P . Wenn $R \neq P$ ist, werden die Umladungszeiten von C bis zum Erreichen der Schaltspannungen unterschiedlich:

ungleiches Tastverhältnis.

(M8) Aufbau der Schaltung (Werte am Arbeitsplatz).

(M9) Messung des Tastverhältnisses, wenn P maximal ist.

(M10) Messung des Tastverhältnisses, wenn P minimal ist (ohne zu große Verzerrung).

Abbildung 4: Multivibrator mit veränderlichem Tastverhältnis

6 Dreieck-Rechteck-Generator

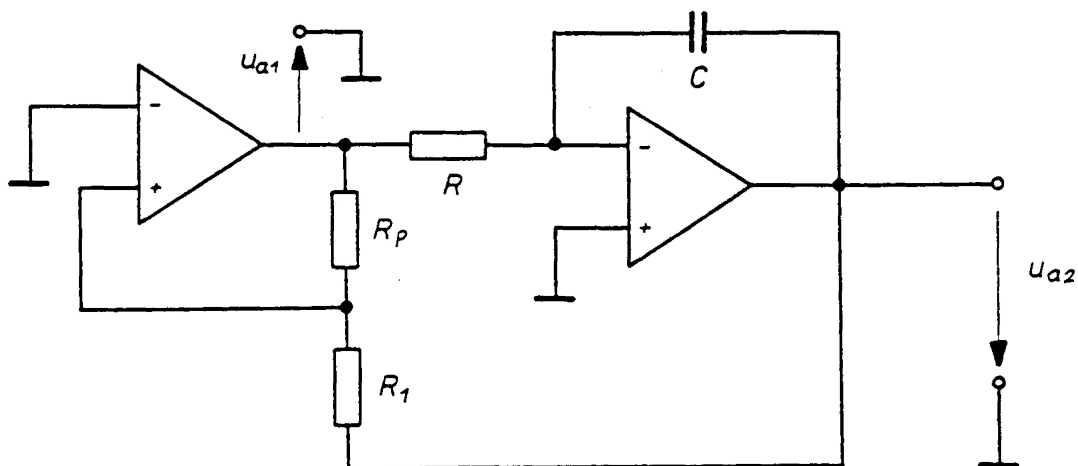


Abbildung 5: Dreieck-Rechteck-Generator

Der Dreieck-Rechteck-Generator in Abb. 5 besteht aus einem Schmitt-Trigger gemäß Abb. 2 und einem Umkehrintegrator. Der Schmitt-Trigger liefert eine konstante Ausgangsspannung u_{a1} , die der Integrator integriert:

$$U_{a2} = -\frac{U_{a1} \cdot t}{R \cdot C}$$

Diese linear abfallende Spannung liegt über R_1 am Plus-Eingang des Schmitt-Triggers, dessen Schaltspannungen $U_e^+ = -\frac{R_1}{R_p} \cdot U_{a1,min}$ und $U_e^- = -\frac{R_1}{R_p} \cdot U_{a1,max}$ sind. Sobald $U_{a2} = U_e^-$ wird, springt $U_{a1,max}$ nach $U_{a1,min}$ und U_{a2} steigt linear an, bis der Triggerpegel U_e^+ erreicht ist. Die Schwingungsdauer ist um so größer, je langsamer U_{a2} ansteigt (je größer $R \cdot C$) und je größer die Schaltspannung ist ($\propto \frac{R_1}{R_p}$):

$$T = 4 \cdot R \cdot C \cdot \frac{R_1}{R_p} \quad (2)$$

(M11) Aufbau der Schaltung nach Abb. 5 (Werte am Arbeitsplatz).

(M12) U_{a1} und U_{a2} mit Oszillographen messen.

(A4) Stellen Sie U_{a1} und U_{a2} graphisch dar. Bestimmen Sie die Schwingungsdauer und vergleichen Sie diese mit Gl. (2).

(M13) Verändern Sie R_1 (Wert am Arbeitsplatz).

(A5) Wie ändern sich die Schwingungsdauer und die Höhe der Ausgangsspannung U_{a1} und U_{a2} ?

7 NAND-Gatter

NAND-Gatter sind integrierte Bauelemente, aus denen sich logische Schaltungen aufbauen lassen. Sie haben zwei Eingänge x_1 und x_2 und einen Ausgang y , der nur die Schaltzustände 0 und 1 annehmen kann.

x_1	x_2	"AND" $y = x_1 \wedge x_2$	"NAND" $y = \overline{x_1 \wedge x_2}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Symbole

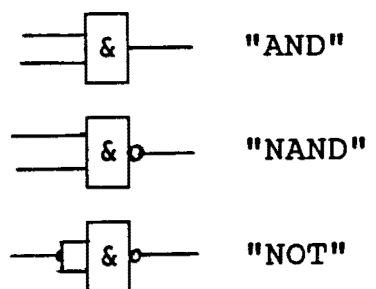


Abbildung 6: NAND-Gatter: logische Schaltung und Schaltsymbole

Schaltet man x_1 und x_2 zusammen, so erhält man logisch ein Negationsglied und schaltungstechnisch einen spannungsgesteuerten Schalter. Die statische Kennlinie wird nach Abb. 7 gemessen.

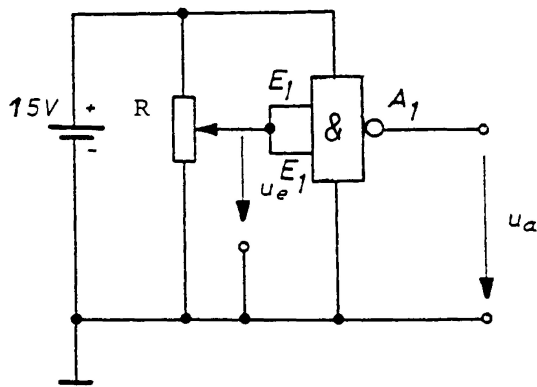


Abbildung 7: NAND-Gatter Schaltplan

(M14) Aufbau der Schaltung erfolgt nach Abb. 7 mit den Werten am Arbeitsplatz.

(M15) Nehmen Sie eine Messreihe für $U_a = U_a(U_e)$ auf.

(A6) Erstellen Sie eine graphische Auswertung für Ihre Messreihe.

(A7) Ermitteln Sie die Schaltspannung.

8 Multivibrator mit NAND-Gatter

Aus zwei NAND-Gattern lässt sich nach Abb. 8 ein sehr einfacher Rechteckgenerator zusammenschalten, der mit 15 V betrieben werden kann. Jedes Gatter invertiert die Spannung, so dass man durch Rückkopplung des Ausgangs der 2. Stufe auf den Eingang der 1. Stufe über den Kondensator C eine Mitkopplung erhält, die zur Selbsterregung führt. Die Schwingungszeit kann mit R und C verändert werden.

Für $U_{schalt} \approx \frac{1}{2} \cdot U_{max}$ ist

$$T = 2 \cdot R \cdot C \cdot \ln(3). \quad (3)$$

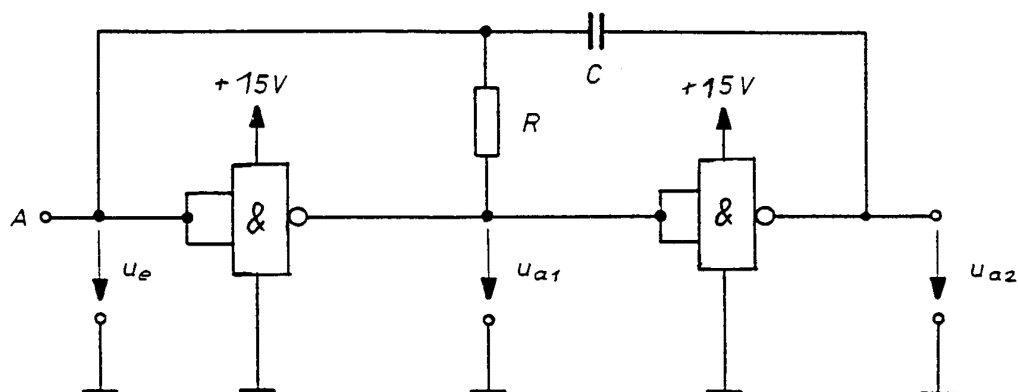


Abbildung 8: Rechteckgenerator (Multivibrator mit NAND-Gatter)

(M16) Aufbau der Schaltung nach Abb. 8 (Werte am Arbeitsplatz).

(M17) Punkt A an Masse. Messung von U_{a1} und U_{a2} mit Oszilloskop.

(M18) Punkt A nicht an Masse. Messung von $U_{a1}(t)$ und $U_{a2}(t)$ und $U_e(t)$.

(A8) Graphische Darstellung der Messergebnisse.

(M19) Messung der Schwingungsdauer

(A9) Vergleich der Schwingungsdauer mit Gl. (3).

(A10) Erklärung des Verlaufs von $U_e(t)$.

Literatur

- [1] Tietze, U.; Schenk, C. (2012): *Halbleiter-Schaltungstechnik* Springer Verlag

