

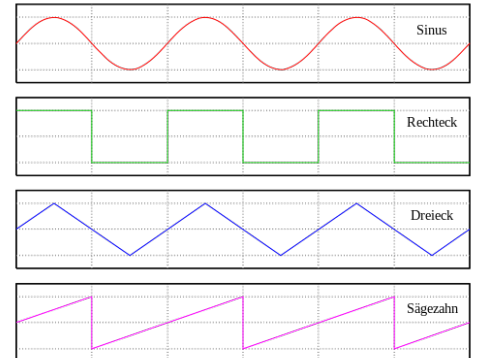
Arbeitsblatt Nr. 01	Q2 Technikwissenschaft: Digitale Steuerungstechnik	 B S G G
Datum:	Thema: Erzeugung von Taktsignalen	
Seite 1 von 4	Name:	

Erzeugung von Taktsignalen

Ein Oszillator ist (in der Elektronik) eine Schaltung, die eine Schwingung erzeugt. In der Analogtechnik sind dies zumeist sinusförmige Schwingungen, in der Digitaltechnik hingegen sind dies üblicherweise rechteckförmige Schwingungen. Typische Schwingungsverläufe sind in der Grafik¹ dargestellt.

Rechteck-Schwingungen werden in digitalen Schaltungen z.B. als Taktsignal verwendet.

Zur Erzeugung von solchen Taktsignalen lassen sich u.a. NOT-Gatter (aber auch NAND- bzw. NOR-Gatter) verwenden.



Oszillator mit einem NOT-Gatter

Ein sehr einfacher Taktgenerator lässt sich mit einem NOT-Gatter aufbauen. Hierzu ist es jedoch erforderlich, dass das NOT-Gatter einen Eingang mit einer sogenannten Hysterese hat.

Hysterese bedeutet, dass die Umschaltung eines Ausgangssignals nicht an einem festen Punkt, sondern an zwei verschiedenen Punkten erfolgt. Dieses Verhalten ist in manchen Situationen erwünscht.

Beispiel

Denken Sie an einen Dämmerungsschalter für eine Beleuchtung. Wenn die Umgebungshelligkeit auf einen bestimmten Wert abgenommen hat, soll eine Beleuchtung eingeschaltet werden und umgekehrt. Wenn dieser Dämmerungsschalter keine Hysterese hat, kann es zu häufigem Umschalten (Flackern der Beleuchtung) kommen, wenn die Helligkeit in der Nähe des Umschaltpunktes geringfügig wechselt; z.B. durch vorüberziehende Wolken.

Deshalb wird man solch einen Dämmerungsschalter mit einer Hysterese versehen. Ist es beispielsweise morgens noch dunkel und die Helligkeit nimmt zu (roter Verlauf), wird bei einem bestimmten Punkt die Beleuchtung ausgeschaltet. Nimmt die Helligkeit ab (blauer Verlauf), wird die Beleuchtung wieder eingeschaltet.

Dieser Einschaltpunkt liegt aber bei einer geringeren Helligkeit als der Ausschaltpunkt. Kleine Schwankungen erzeugen hier also kein Flackern der Beleuchtung!

Solch ein Verhalten gibt es auch bei einigen digitalen Gattern; z.B. bei NOT oder bei NAND-Gattern. Das Umschalten zwischen HIGH-Pegel und LOW-Pegel am Ausgang, erfolgt bei unterschiedlichen Spannungswerten am Eingang. In der unteren rechten Grafik ist für ein IC des Typs 74LS132 von Motorola diese sogenannte Übertragungs- oder Transfer-Funktion dargestellt. Bei einem Eingangspegel von ~1,8 V schaltet der Ausgang auf LOW. Sinkt der Eingangspegel, wird erst bei ~0,95 V der Ausgang wieder auf HIGH-Potenzial wechseln. Der Eingang hat also eine Hysterese von ~0,85 V. Dieses Verhalten macht man sich nun bei digitalen Oszillatoren zunutze.

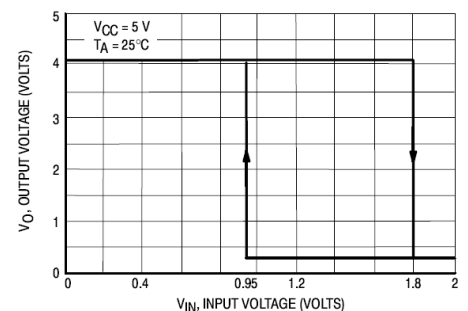
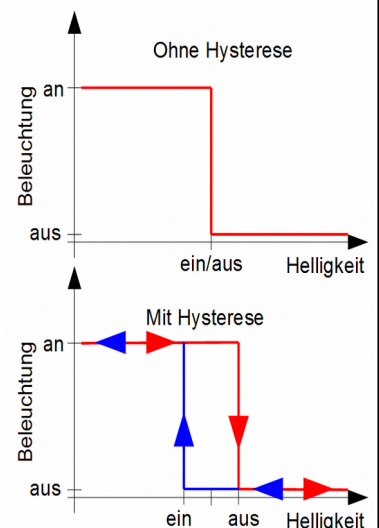


Figure 1. V_{IN} versus V_{OUT} Transfer Function

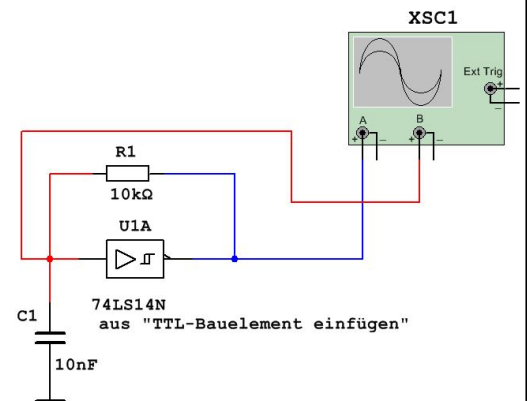
¹ Entnommen von https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waveforms_de.svg am 01.02.2019

Arbeitsblatt Nr. 01	Q2 Technikwissenschaft: Digitale Steuerungstechnik	 B S G G
Datum:	Thema: Erzeugung von Taktsignalen	
Seite 2 von 4	Name:	

Schaltung eines einfachen Oszillators

Die dargestellte Schaltung verwendet ein NOT-Gatter mit einem Hysterese-Eingang, wie es z.B. im 74LS14² enthalten ist. Die zeitbestimmenden Elemente dieser Schaltung sind der Widerstand R1 und der Kondensator C1.

In Kürze: Ein Kondensator ist ein Bauelement, das elektrische Ladungen speichern kann. Fließt von einer Spannungsquelle U ein elektrischer Strom zum Kondensator, speichert er eine elektrische Ladung Q. Die gespeicherte Menge hängt von der Kapazität C (Fassungsvermögen) des Kondensators ab.



Der mathematische Zusammenhang hierbei lautet: $C = \frac{Q}{U}$; $[C] = \frac{1 \text{ As}}{1 \text{ V}} = 1 \text{ F}$

Die Einheit der Kapazität ist das Farad, benannt nach dem Physiker Michael Faraday.

Eine Kapazität von 1F wäre eine sehr große Kapazität. Gängige Teiler sind pF, nF und µF.

Funktion der Schaltung

Zum Zeitpunkt des Einschaltens der Schaltung, d.h. die Spannungsversorgung des IC wird eingeschaltet, ist der Kondensator leer, d.h. es ist keine elektrische Ladung gespeichert. Der Kondensator wirkt dann wie ein Kurzschluss. Am Eingang des NOT-Gatters herrscht also ein LOW-Pegel. Demzufolge muss am Ausgang des NOT-Gatters ein HIGH-Pegel sein.

Es fließt nun über den Widerstand R1 ein elektrischer Strom zum Kondensator, der diesen „langsam“ auflädt. Je mehr Ladungen gespeichert sind, umso mehr steigt die Spannung am Kondensator und damit auch am Eingang des NOT-Gatters.

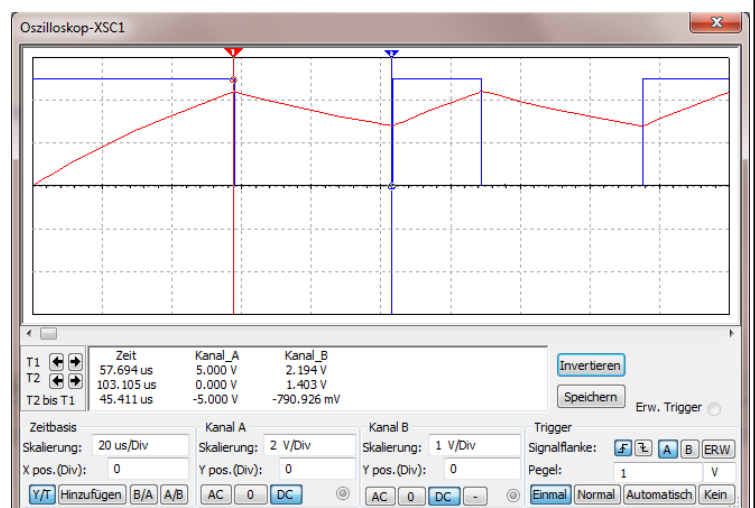
Erreicht der Spannungspegel nun den Umschaltupunkt (siehe Grafik auf der vorhergehende Seite; ~2,2 V), wechselt der Ausgangspegel von HIGH auf LOW. Da die Spannung am Kondensator bzw. am Eingang des NOT-Gatters nun höher als die Spannung am Ausgang ist, liefert der Kondensator nun einen elektrischen Strom und der Kondensator entlädt sich wieder.

Durch diesen Entladevorgang sinkt die Spannung am Kondensator ab. Wird nun umgekehrt der Spannungswert von ~1,4 V unterschritten, schaltet der Ausgang des NOT-Gatters auf HIGH zurück. Und damit beginnt dieser Lade- und Entladezyklus von vorn.

Das neben dargestellte Oszillogramm zeigt diesen Verlauf. Die rote Kurve zeigt den Verlauf der Spannung U am Kondensator, die blaue Kurve zeigt das Ausgangssignal des NOT-Gatters.

Die Umschaltupunkte für das Ausgangssignal sind IC-spezifisch und sind im Datenblatt angegeben.

Wie man sieht, wird nun am Ausgang des NOT-Gatters ein periodisches Spannungssignal erzeugt.



2 Das IC 74LS14 enthält sechs NOT-Gatter

Arbeitsblatt Nr. 01	Q2 Technikwissenschaft: Digitale Steuerungstechnik	 B S G G
Datum:	Thema: Erzeugung von Taktsignalen	
Seite 3 von 4	Name:	

Das Oszillogramm zeigt den Zeitraum nach dem Einschalten der Schaltung. Nur der allererste Puls ist etwas länger als die nachfolgenden Pulse. Die Periodendauer des Ausgangssignals lässt sich nun leicht ermitteln. Der zweite Puls beginnt bei ca. 5,2 Skalenteile und der nächste Puls beginnt bei ca. 8,8 Skalenteilen. Eine Periode dauert also ca. 3,6 Skalenteile.

Das Oszilloskop ist auf 20 μs /Skalenteil eingestellt. Somit hat das Signal eine Periodendauer T von 20 μs /Skalenteil $\cdot$ 3,6 Skalenteile = 72 μs .

Die Frequenz f (Häufigkeit pro Sekunde) eines Signals ist der Kehrwert der Periodendauer T:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{72 \mu\text{s}} = 13889 \frac{1}{\text{s}} = 13889 \text{ Hz} = 13,889 \text{ kHz}$$

Die Einheit Hertz (Einheitenzeichen ist Hz) ist eine Abkürzung für 1 pro Sekunde oder auch s^{-1} .

Die zeitbestimmenden Elemente in dieser Schaltung sind der Widerstand und der Kondensator. Ein kleinerer Widerstand lässt einen größeren Stromfluss zu, wodurch sich der Kondensator schneller aufladen kann und die Spannung am Kondensator schneller steigt.

Ein kleinerer Kondensator kann schneller aufgeladen werden, wodurch die Spannung am Kondensator schneller steigt. Beides gilt natürlich auch in umgekehrter Weise.

In der Elektronik bildet das Produkt von R und C eine Zeitkonstante namens Tau³ (Zeichen: τ).

Hierbei gilt: $\tau = R \cdot C$; $[\tau] = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ As}}{1 \text{ V}} = 1 \text{ s}$

Somit ergibt sich bei dieser Schaltung die Zeitkonstante zu:

$$\tau = R \cdot C = 10 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ nF} = 10^4 \Omega \cdot 10^{-8} \text{ F} = 10^{-4} \text{ s} = 100 \mu\text{s}$$

Die Periodendauer T war 72 μs , die Zeitkonstante beträgt 100 μs . Hieraus lässt sich ein konstanter Faktor k ermitteln: $k = \frac{\tau}{T} = \frac{100 \mu\text{s}}{72 \mu\text{s}} = 1,39$

Somit lässt sich die Schwingungsfrequenz dieser Schaltung allgemein berechnen:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{k}{\tau} = \frac{k}{R \cdot C}$$

Nachtrag: In einem realen Aufbau schwingt die Schaltung **nicht** an, wenn R zu groß ist! Im Praxistest funktionierte die Schaltung mit einem Widerstandswert von 2,2k Ω (E6-Reihe). Für eine gewünschte Periodendauer ist der Widerstand vorzugeben und der Kondensator zu berechnen.

Übungen

1. Bauen Sie mit Multisim die dargestellte Schaltung auf und messen Sie mit dem Oszilloskop den zeitlichen Spannungsverlauf. Orientieren Sie sich an den abgebildeten Einstellungen des Oszilloskops.
Ändern Sie allerdings die Trigger-Einstellung unten rechts von „Einmal“ auf „Normal“.
2. Die Schwingungsfrequenz soll möglichst genau 100 kHz betragen. Berechnen Sie für einen Widerstand von 10 k Ω den notwendigen Kondensator. Überprüfen Sie Ihre Berechnung mit Hilfe der Simulation.
3. Informieren Sie sich über den Begriff „Tastgrad“; z.B in der Wikipedia.
Berechnen Sie für das Ausgangssignal dessen Tastgrad.

Arbeitsblatt Nr. 01	Q2 Technikwissenschaft: Digitale Steuerungstechnik	 B S G G
Datum:	Thema: Erzeugung von Taktsignalen	
Seite 4 von 4	Name:	

Eine weitere Oszillatorschaltung

Ein „Nachteil“ oder „Schönheitsfehler“ der vorigen Schaltung ist die Asymmetrie des Ausgangssignals, da der Tastgrad nicht 50% ist.

In Fällen, in denen ein symmetrisches Taktsignal (Tastgrad 50%) erforderlich ist, hilft die nachfolgende Schaltung:

Hier werden NOT-Gatter vom Typ 74HC04 verwendet. Hierbei handelt es sich nicht um TTL-Gatter, sondern intern wird CMOS-Technologie verwendet.

Diese zeichnet sich u.a. dadurch aus, dass die Eingangswiderstände der Gatter sehr hoch sind ($\sim \text{M}\Omega$ -Bereich) und somit nur ein sehr kleiner Strom in die Eingänge fließt ($\sim 1 \mu\text{A}$).

Diese Gatter haben auch keinen Eingang mit Hysterese! Die Funktion hängt hier wesentlich von der CMOS-Technologie ab.

Funktion der Schaltung

Zum Einschaltzeitpunkt führt das Gatter U1C am Ausgang einen HIGH-Pegel (roter Verlauf).

Am Verbindungspunkt der beiden Widerstände mit dem Kondensator herrscht ein Potenzial von $\sim -V_{CC}/2$. V_{CC} ist hierbei die Versorgungsspannung des IC. In dieser Simulationsschaltung ist $V_{CC} = 4 \text{ V}$.

Dieser HIGH-Pegel lädt den Kondensator „langsam“ auf (blauer Verlauf). Erreicht der Kondensator an diesem Verbindungspunkt den Spannungswert $+V_{CC}/2$, liegt der Eingang von U1C auf HIGH und schaltet seinen Ausgang auf LOW um.

Nun entlädt sich der Kondensator „langsam“ über den Widerstand R2. Der Ausgang von U1C liegt ja nun auf LOW-Pegel ($\sim 0 \text{ V}$).

Sobald der Kondensator ausreichend entladen wurde und damit der Spannungspegel am Eingang von U1C den Wert $\sim 0 \text{ V}$ erreicht hat, schaltet der Ausgang von U1C wieder um und anschließend beginnt alles wieder von vorn.

Übungen

1. Bauen Sie die Schaltung in Multisim auf. Ermitteln Sie wie zuvor den Faktor k. Zeitbestimmend sind R2 und C!
2. Berechnen Sie den Wert von C für eine Frequenz $f = 50 \text{ kHz}$. Überprüfen Sie Ihre Berechnung in der Simulation.

