

# Spannungsgesteuerter Oszillator

für die Anwendung in einem Synthesizer

## 1. Allgemeines über Oszillatoren

In der Elektronik versteht man unter einem Oszillator oder Generator eine Schaltung, die als Ausgang ein periodisches Signal liefert, jedoch kein Eingangssignal benötigt. Sie arbeiten nach dem Prinzip des Rückgekoppelten Verstärkers. Typischerweise generieren Oszillatorschaltungen eine sinus-, dreiecks-, oder rechteckförmige Spannung. Die Schwingungsfrequenz wird in der Regel durch die Dimensionierung der Bauteile bestimmt (meist Widerstände und Kondensatoren, vereinzelt auch durch Spulen).

### 1.1 Spannungsgesteuerte Oszillatoren (VCO)

Ein VCO (Voltage Controlled Oscillator) ändert seine Schwingfrequenz in Abhängigkeit einer Steuerspannung. Er wird auch Spannungs-Frequenz-Wandler genannt. Es gibt mehrere Möglichkeiten eine solche Steuerung zu realisieren.

### 1.2 Warum VCO für Synthesizer?

Prinzipiell könnte ein einfacher Synthesizer auch mit einem nicht spannungsgesteuerten Oszillator auskommen. Jedoch bringt die Verwendung eines solchen zwei essenzielle Vorteile, welche die Verwendung eines VCO's für diese Anwendung zum Standard gemacht haben:

1. Die Steuerspannung kann auf viele Weisen erzeugt werden. Sie kann von einem D/A-Wandler stammen, der als Eingangssignal die Schwingfrequenz in digitaler Form erfährt.
2. Es lässt sich ein Vibrato-Effekt ganz einfach realisieren.

## 2. Unser Oszillator

### 2.1 Die Schaltung

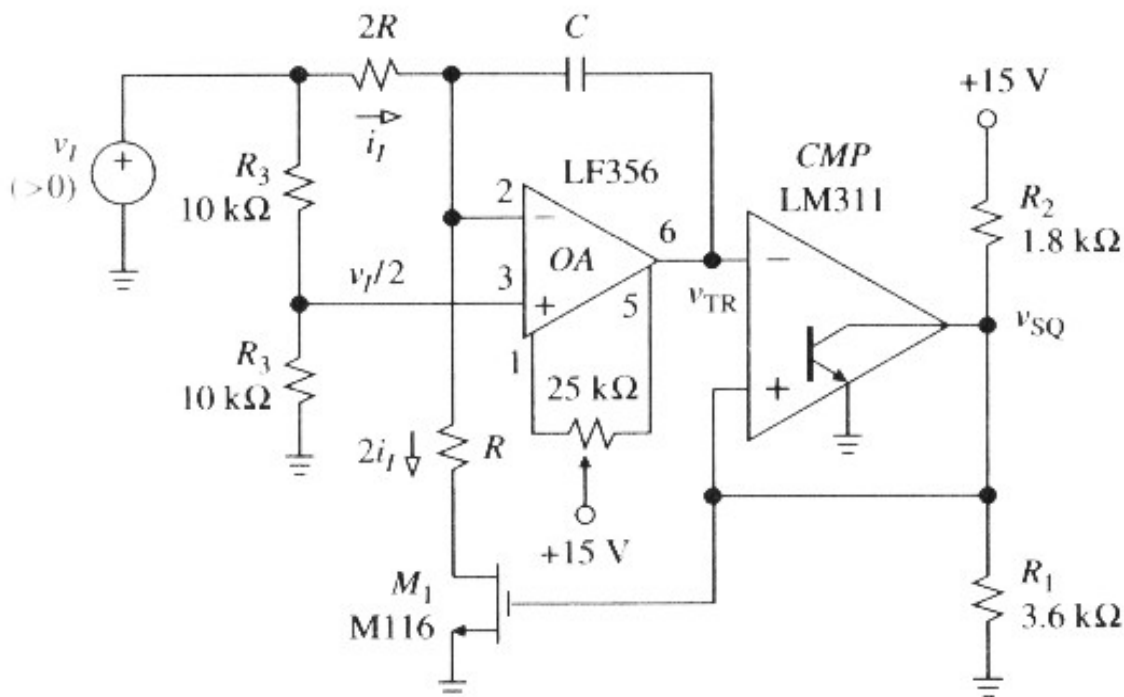


Abb. 1: Schaltplan

Die Abbildung 1 zeigt eine gebräuchliche VCO-Variante. Diese Variante ist für unsere Anwendung geeignet, weil sie im erforderlichen Frequenzbereich gut arbeitet, und weil sie sehr schnell auf eine Spannungsänderung am Eingang reagiert.

## 2.2 Funktionsweise

$v_i$  ist die Steuerspannung. Die Widerstände  $R_3$  bilden einen Spannungsteiler, der auf dem nichtinvertierenden Eingang von OA die Spannung  $v_i/2$  herstellt. OA reagiert darauf mit einem Strom  $i_c$ , der über den durch C gebildeten Rückkopplungszweig ebenfalls das Potential von  $v_i/2$  am invertierenden Eingang von OA herstellt.

### Phase 1:

Es sei anfangs  $v_{TR} = 0V$ . Der Spannungsvergleicher CMP erfahre am nichtinvertierenden Eingang eine Spannung die größer ist als  $v_{TR} = 0V$  am invertierenden Eingang. Das hat zur Folge, dass der bipolare Ausgangstransistor von CMP sperrt. Somit stellt sich die Spannung  $v_{SQ}$  genau nach dem Spannungsteiler  $R_1, R_2$  auf 10V ein. (Der Spannungsteiler kann als unbelastet angesehen werden, weil weder der Ausgang von CMP, noch der nichtinvertierende Eingang von CMP, noch das Gate des n-MOSFET  $M_1$  relevante Ströme aufnehmen.) Wegen der hohen Gate-Drain-Spannung am n-MOSFET  $M_1$  sperrt dieser. Dadurch kann über dem Widerstand R kein Strom abfließen. Dies hat zur Folge, dass der gesamte Strom  $i_i$  (der ja zu jedem Zeitpunkt linear abhängig von  $v_i$  ist) über den Kondensator C in den Ausgang von OA fließt. Der innerhalb von Phase 1 konstante Strom  $i_c$  bewirkt folgendes Verhalten der Spannung:  $v_c(t) = -(1/C) \cdot \int (i_c(t)) dt$ , ausgehend von der Spannung  $v_c(t=0) = v_i / 2$ . Aus  $v_{TR}(t) = v_i / 2 - v_c(t)$  ergibt sich der in Abbildung 2 dargestellte Spannungsverlauf von  $t = 0$  bis  $t = T/2$ .

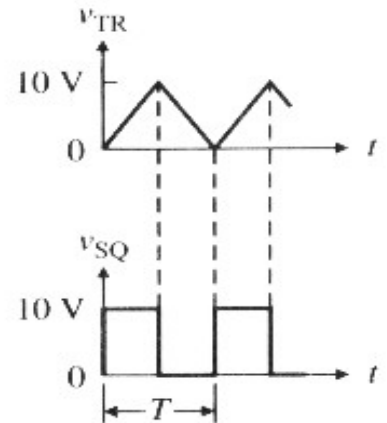


Abb. 2: Ausgangssignale

### Phase 2:

Sobald die Spannung  $v_{TR}$  am invertierenden Eingang von CMP 10V erreicht, und somit größer ist als die Spannung am nichtinvertierenden Eingang, schaltet CMP seinen Ausgangstransistor gegen Masse durch. Wegen  $v_{CE(sat)} \approx 0V$  ist  $v_{SQ} \approx 0V$ . Dies hat zur Folge, dass  $M_1$  eingeschaltet wird. Somit kann der Widerstand R als gegen Masse verbunden angesehen werden. Das Potential am nicht invertierenden Eingang von OA wird ja immer auf  $v_i/2$  gehalten, folglich fließt der Strom  $2i_i$  über R nach Masse. Aus der Knotenregel folgt, dass nun über den Kondensator C der Strom  $i_c = -i_i$  fließt, und ein Entladen nach  $v_c(t) = -(1/C) \cdot \int (-i_c(t)) dt$  ausgehend von  $v_c(t=T/2) = v_i / 2 - 10V$ . Entsprechend sinkt die Spannung  $v_{TR}(t)$  wieder linear, bis sie 0V erreicht und den Spannungsvergleicher zum Umschalten bewegt.

Dann beginnt der Zyklus wieder von vorne.

## 2.3 Dimensionierung

Für die Anwendung in einem Synthesizer sind in etwa Grundfrequenzen im Bereich von 10Hz bis 10kHz erforderlich. Für einen mit konstantem Strom durchflossenen Kondensator gilt der Zusammenhang  $\Delta t = \Delta v \cdot C / I$ . In unserem Fall ist  $I = v_i / (4 \cdot R)$ ,  $\Delta v = 10V$  und  $\Delta t = T/2$ . Daraus folgt, dass  $f_0 = v_i / (8 \cdot R \cdot C \cdot 10V)$ .

Mit  $R = 10k\Omega$ , und  $C = 1,25nF$  erreichen wir eine Sensibilität  $k = 1/(8 \cdot R \cdot C \cdot \Delta v) = 1 \text{ kHz/V}$ . Somit können wir mit einer Steuerspannung von 10mV bis 10V den gewünschten Frequenzbereich abrufen.

## 3. Schlussbetrachtung

Für einen Synthesizer ist nicht eine lineare Abhängigkeit zwischen Eingangsspannung und Ausgangsfrequenz, sondern eine exponentielle. Dies kann aber durch vorschalten einer sogenannten Exponentialwandlerstufe realisiert werden.

## Quellen

- Design With Operational Amplifiers And Analog Circuits  
Franco, McGraw Hill Book Co., 1998
- Analoge Schaltungen  
Seifert, Verlag Technik Berlin, 2003
- Elektronische Schaltungen  
Köstner/Möschwitzer, Carl Hanser Verlag München Wien, 1993