

Phasenschieber-Oszillator mit MOS-FET

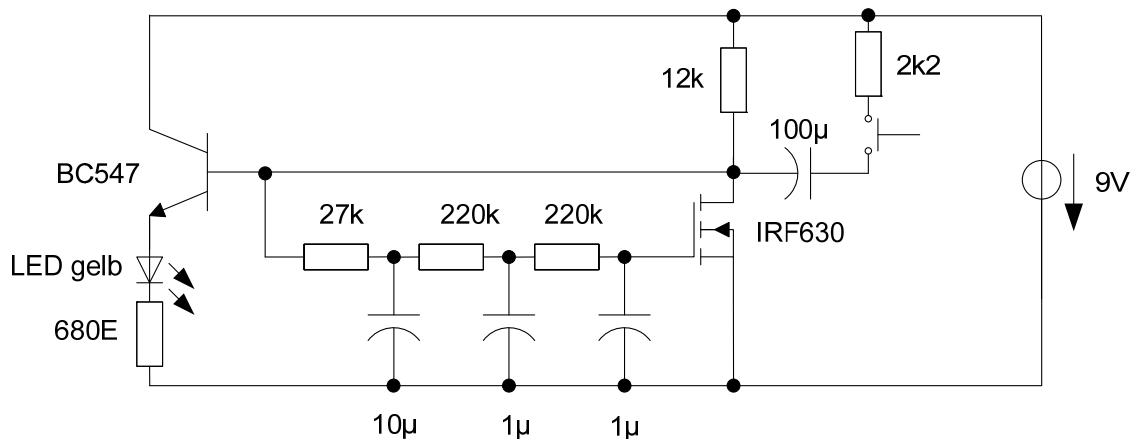


Abbildung 1: Schaltplan Phasenschieberoszillator (alle Kapazitäten sind Elkos, die gebogen gezeichnete Elektrode entspricht der Minus-Elektrode)

Versuchs- und Funktionsbeschreibung

Ein Oszillator kann bekanntlich durch einen Verstärker und ein Rückkopplungsnetzwerk realisiert werden. Konkret kann bei jenen Frequenzen eine stationäre Sinusschwingung aufrecht erhalten werden, bei denen die Schwingbedingung

$$v(j\omega)k(j\omega) = 1 \quad (1)$$

erfüllt ist. Hierbei bedeuten v und k die Spannungsübertragungsfunktionen des Verstärkers bzw. des Rückkopplungsnetzwerk im Frequenzbereich, d.h. sie sind im Allgemeinen komplexwertig. Die Schwingbedingung kann dementsprechend in eine Amplituden- und Phasenbedingung aufgeteilt werden. Natürlich kann es auch vorkommen, dass die Bedingung für keine Frequenz exakt erfüllt ist – tatsächlich ist das normal auch der Fall! In diesem Fall können abklingende oder anklingende Eigenschwingungen vorliegen. Formal können die Eigenfrequenzen und Ab-/Anklingkonstanten ermittelt werden indem die Schwingbedingung (1) in der s -Ebene (oder komplexen Frequenzebenen) mit $s = \sigma + j\omega$ betrachtet wird. Gleichung 1 ist dann für bestimmte s -Werte erfüllt und je nach Vorzeichen des Realteils von s liegen anklingende (positives σ) oder abklingende Schwingungen (negatives σ) vor. Die vorliegende Schaltung realisiert langsame Schwingungen im Hz-Bereich und eignet sich zum Studium dieser Vorgänge.

Die Verstärkung v wird hier durch eine MOSFET-Verstärkerstufe in Source-Schaltung realisiert. Der Ausgang dieser Stufe liegt einerseits an der Basis eines Bipolartransistors der lediglich als Treiber für eine Leuchtdiode fungiert, welche die aktuelle Ausgangsamplitude visualisiert (aufgrund insbesondere der LED-Kennlinie etwas nichtlinear, aber hier geht es nur um einen qualitativen Eindruck). Die Belastung durch den Basisstrom ist jedenfalls vernachlässigbar.

Andererseits geht der Ausgang der Source-Schaltung in eine Serie aus, in Kette geschalteten, RC-Tiefpässen, welche das Signal an das Gate zurückführen. Wenn wir für eine grobe Überlegung die Belastung des Ausgangs durch die RC-Kette vernachlässigen (die Eingangsimpedanz wird sicher immer über $27k\Omega$ liegen), dann bekommen wir für die Verstärkung der Source-Schaltung eine Phasendrehung von 180° . Der Phasenbedingung entsprechend muss die Kette für eine erfolgreiche Schwingung eine weitere 180° realisieren um in der Schleife insgesamt 360° zu haben. Ein RC-Tiefpass kann (in seiner Leerlaufübertragungsfunktion) eine betragsmäßige Phasenverschiebung von bis zu 90° erzeugen, allerdings ist bei diesen (hohen) Frequenzen dann praktisch keine Amplitude am Ausgang vorhanden. Zwei Glieder reichen also nicht, daher werden in dieser Schaltung drei verwendet. Die exakte Berechnung der Übertragungsfunktion dieses Rückkopplungszweiges ist relativ aufwendig, da jede RC-Stufen eine nicht vernachlässigbare Last für die vorgehende Stufe darstellt. Wir können aber davon ausgehen, dass eine Frequenz existiert, bei der die Phasenbedingung erfüllt ist. Die Amplitudenbedingung muss durch Einstellung einer entsprechenden Verstärkung realisiert werden, mehr dazu im nächsten Abschnitt.

Die in Abbildung 1 gezeigte Dimensionierung war im Probeaufbau schwingfähig¹. Genau genommen bedeutet ein kontinuierliches Blinken der LED, dass anklingende Schwingungen vorliegen, die Übersteuerung des Verstärkers sorgt dann für eine entsprechende Amplitudenstabilisierung. Die Schwingbedingung kann z.B. verletzt werden, indem die Verstärkung reduziert wird. Dies ist in diesem Experiment durch eine Parallelschaltung eines niederohmigen Widerstandes zum Drainwiderstand realisiert. Der 100µ-Elko dient im Wesentlichen der Entkopplung, d.h. der Gleichspannungsarbeitspunkt wird durch Schließen des Tasters nicht beeinflusst². Ein Schließen des Tasters führt zu einem Abklingen der Schwingung, die LED blinkt immer schwächer. Nach längerer Zeit leuchtet Sie kontinuierlich mit mittlerer Helligkeit. Auch die Frequenz ändert sich bei Drücken des Tasters etwas. Dies rührt daher, dass durch den zusätzlichen Parallelwiderstand der Ausgangswiderstand der Sourceschaltung sinkt, welcher ebenfalls in die Phasenverschiebung in der Schleife eingeht³.

Lässt man den Taster wieder los, klingt die Schwingung wieder an bis sie durch Begrenzung der Verstärkerstufe in der Amplitude stabilisiert wird.

Dimensionierung

Wie zuvor angedeutet, wurde die Schaltung für den Versuchsaufbau nicht groß dimensioniert. Dennoch sollen hier einige Hinweise zur Dimensionierung gegeben werden bzw. zur Berechnung der Schaltung.

Der Arbeitspunkt des MOSFETs ergibt sich im Wesentlichen durch die einfache Betrachtung, dass $U_{GS}=U_{DS}$ gilt. Aus den Kennliniengleichungen folgt, dass der FET damit noch im Stromquellenbereich arbeitet und somit die einfache quadratische Transferkennlinie

$$I_D = I_S \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_S} \right)^2 \quad (2)$$

gilt. Bei Vernachlässigung des Basisstromes des Bipolartransistors gilt für die Ausgangsmasche (mit Drainwiderstand R_D , in unserem Fall 12k)

$$U_0 = I_D R_D + U_{DS} \stackrel{U_{GS}=U_{DS}}{=} I_D R_D + U_{GS} . \quad (3)$$

Aus (2) und (3) kann I_D ermittelt werden (quadratische Gleichung) und daraus wiederum die Steilheit

$$S = \frac{2}{|U_S|} \sqrt{I_D I_S} . \quad (4)$$

Die Verstärkung der Sourceschaltung ergibt sich mit diesen Werten zu

$$v = -S R'_D , \quad (4)$$

wobei R'_D den wechsellspannungsmäßig wirksamen Drainwiderstand bedeutet, also mit einem parallelgeschalteten Widerstand (2k2, nur falls der Taster gedrückt ist) und der Eingangsimpedanz der RC-Kette. Eigentlich ist R'_D somit eine komplexwertige Impedanz. Genau genommen ist bei den niedrigen Frequenzen auch die Impedanz des Koppelkondensators zu berücksichtigen. Bei 100µF und Frequenzen um die 1 Hz ist der Leitwert in der Größenordnung von mS, die Impedanz also kΩ! Schließlich sei noch bemerkt, dass der 2k2 Widerstand auch nach Masse geschaltet werden könnte (der Elko muss dann natürlich umgepolt werden). In der gezeichneten Version ist die Funktion (Reduktion des effektiven Drainwiderstandes) aber direkt ersichtlich.

Die Übertragungsfunktion der RC-Kette darf Ihren Rechenkünsten überlassen werden.

¹ Durch Exemplarstreuungen, insbesondere der Schwellspannung des FETs, kann es sein, dass die Schaltung bei Ihnen keine anklingenden Schwingungen erzeugt. Hier hilft Nachrechnen oder Experimentieren (vor allem mit dem Drainwiderstand und der Auslegung der RC-Kette).

² Wie Sie sich überlegen können, würde sich der Arbeitspunkt ohne Koppelkondensator verschieben. Ein neuer, höherer Drainstrom ergibt eine vergrößerte Steilheit, was der Reduktion der Verstärkung entgegenwirkt. Um diesen Effekt zu vermeiden, wurde der Koppelkondensator eingebaut.

³ Der Ausgangswiderstand ist (bei Vernachlässigung des Basisstromes des Bipolartransistors) in Serie zu dem 27k-Widerstand der RC-Kette zu sehen!