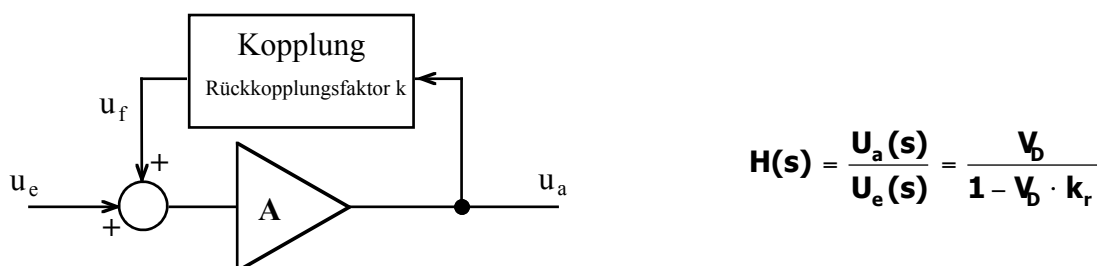


## Oszillatoren

Für sehr viele Anwendungen in der Elektrotechnik werden Wechselspannungssignale mit einer definierten Frequenz benötigt. Die Einsatzgebiete für Oszillatoren sind sehr vielfältig. Jede Mikroprozessor-Schaltung erfordert einen Takt, Uhren werden durch Oszillatoren gesteuert und in der Kommunikationstechnik wäre eine Übertragung von parallelen Signalen ohne Oszillatoren nicht möglich.

Oszillatoren sind Schaltungen zur Erzeugung dieser Wechselspannungssignale. Die dazu nötige „Entdämpfung“ passiver Netzwerke kann mit aktiven Bauelementen vorgenommen werden. Oszillatoren können als rückgekoppelte Verstärker aufgefasst werden.

Eine Oszillatorschaltung besteht im wesentlichen aus einem rückgekoppelten Verstärker und einem frequenzbestimmenden Glied in der Rückkopplung. Es wird keine Steuerspannung benötigt. Koppelt man einen Verstärker mit der Verstärkung  $A$  bzw.  $V_D$  über ein Rückkopplungsnetzwerk  $k_r$  zurück, dann wird die Übertragungsfunktion des Gesamtsystems durch folgende Gleichung beschrieben:



Anhand des Blockschaltbildes lässt sich erkennen, dass es sich bei einem Oszillator um einen mitgekoppelten Verstärker handelt. Bei dieser Rückkopplungsart wirkt das Ausgangssignal in verstärkendem Sinne auf den Eingang und damit auf sich selbst zurück. Der Oszillator als mitgekoppelter Verstärker stellt so eine in sich geschlossene Schleife dar. Im Gegensatz zu Verstärkerschaltungen wird für eine Oszillatorschaltung die Instabilität bzw. Grenzstabilität des rückgekoppelten Verstärkers gefordert, um so eine ungedämpfte Schwingung zu erhalten.

Grenzstabilität tritt auf, wenn in obiger Gleichung  $V_D \cdot k_r = 1$  ist, da dann eine Polstelle bzw. zwei konjugiert-komplexe Polstellen von  $H(s)$  auf der imaginären Achse liegen. Dieses Produkt wird auch als Schleifenverstärkung bezeichnet. Ausgeschrieben lautet die Bedingung:

$$V_D \cdot k_r = |V_D| \cdot |k_r| \cdot e^{j(\varphi_V + \varphi_k)} = 1$$

Das Schwingverhalten eines mitgekoppelten Verstärkers wird durch die Schleifenverstärkung bestimmt, Dabei gibt es drei charakteristische Bereiche für die Schleifenverstärkung:

- Die Schleifenverstärkung ist kleiner als 1, wodurch am Ausgang eine abklingende Schwingung erzeugt wird.
- Die Schleifenverstärkung ist 1, wodurch sich der Oszillator im eingeschwungenen Zustand befindet, d.h. eine Wechselspannung mit konstanter Amplitude erzeugt (Grenzstabilität).
- Die Schleifenverstärkung ist größer als 1, wodurch eine sich bis ins unendliche verstärkende Schwingung entsteht (Instabilität).

Für einen Oszillator wird also eine Schleifenverstärkung von 1 gefordert. Aus der Bedingung, dass die Schleifenverstärkung bei einem Oszillator 1 sein muss folgt:

$$|\mathbf{V}_D| \cdot |\mathbf{k}_r| = 1 \qquad (\varphi_V + \varphi_K) = n \cdot 360^\circ$$

Mit Hilfe dieser beiden Gleichungen lässt sich das Verhalten von Oszillatorschaltungen grundsätzlich beschreiben.

Die Verstärkung der Rückkopplung hat meist einen Wert, der unabhängig von der Amplitude der Schwingung ist, während die Verstärkung  $V_D$  wegen der Nichtlinearität der Verstärkerschaltungen von der Schwingungsamplitude abhängt. Wenn diese Abhängigkeit bekannt ist, kann aus obiger Gleichung, der Verstärkungsbedingung bzw. Amplitudenbedingung, die notwendige Rückkopplung berechnet werden. Anders ausgedrückt: Die Amplitudenbedingung besagt, dass ein Oszillator nur dann schwingen kann, wenn der Verstärker die Abschwächung im Rückkoppler aufhebt.

In der Praxis wählt man für das Produkt stets einen Wert, der etwas größer als 1 ist, um ein sicheres Anschwingen zu gewährleisten. Da  $V_D$  nicht linear ist und mit steigender Amplitude abnimmt, wird  $V_D \cdot k_r$  im eingeschwungenen Zustand 1. Eine Abnahme des Rückkopplungsfaktors  $k_r$  bei steigender Ausgangsspannung lässt sich durch einen spannungsgesteuerten Widerstand (VDR) in der Rückkopplung erreichen.

Die Phasenbedingung zeigt, dass die Phasenverschiebung der Rückkopplungsschaltung genau die Phasenverschiebung der Verstärkungsschaltung kompensieren muss, damit eine ungedämpfte Schwingung auftreten kann. Die Phasenwinkel sind im Allgemeinen stark frequenzabhängig. Verstärker haben zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung einen Phasenwinkel von  $0^\circ$  oder  $180^\circ$ . Im Falle eines Phasenwinkels von  $180^\circ$  ist ein phasenkorrigierendes Glied in der Rückkopplung notwendig, um die Phasenbedingung zu erfüllen.

Das Rückkopplungsnetzwerk bestimmt zudem die Schwingfrequenz des Oszillators. Die Schwingung tritt bei der Frequenz ein, bei der die Phasenverschiebung des Rückkopplungsnetzwerkes genauso groß ist, wie die des Verstärkers, aber mit umgekehrtem Vorzeichen. Die wichtigste Forderung ist die Stabilität der Schwingfrequenz. Damit die Schwingfrequenz möglichst genau festliegt, sollte der Verlauf des Phasenganges im Bereich der Resonanzfrequenz möglichst steil sein, d.h. eine hohe Güte  $Q$  haben, damit sich die Schwingfrequenz des Oszillators auch bei recht großen Phasenänderungen kaum ändert.

Als Maß für die Frequenzstabilität der Schaltung kann man die Änderung der Frequenz des Oszillators bei gegebener Phasenänderung nutzen. Der Kehrwert dieser Frequenzstabilität sollte möglichst groß sein. Wird dieser Wert durch Multiplikation mit  $\omega_0$  normiert, erhält man die Güte der Frequenzstabilität eines Oszillators:

$$Q_f = \frac{1}{\frac{d\omega}{d\varphi}} \cdot \omega_0 = \frac{d\varphi}{d\omega} \cdot \omega_0$$

Um die Steilheit der Resonanzkurve einschätzen zu können, kann als Maß die Güte des Netzwerkes benutzt werden. Im Bereich der 3-dB-Bandbreite ändert sich die Phase des Resonanzkreises von 45° auf -45°, so dass die Güte auch ein Maß für die Steilheit des Phasenganges ist.

$$Q = \frac{P_B}{P_W} = \frac{I^2 \cdot Z_B}{I^2 \cdot R} = \frac{Z_B}{R} = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} \quad \text{bzw.} \quad \frac{1}{\omega_0 \cdot C \cdot R}$$

Als Rückkopplungsnetzwerk bei einem Oszillator werden meist RC-Netzwerke, LC-Resonanzkreise und Schwingquarze verwendet. Bei niedrigen Frequenzen von bis zu 10 MHz sind RC-Oszillatoren oft gut geeignet, im Bereich von 50 kHz bis zu einigen hundert MHz werden häufig LC-Oszillatoren verwendet. Quarzoszillatoren zeichnen sich durch eine besonders hohe Frequenzstabilität aus und können besonders im Frequenzbereich von 1 kHz bis zu einigen 100 MHz eingesetzt werden.

Um zu überprüfen, ob ein Oszillator schwingungsfähig ist, trennt man die Rückkopplungsleitung auf, belastet den Ausgang des Rückkopplers aber weiterhin mit einem Widerstand  $R_e$ , der so groß ist wie der Eingangswiderstand des Verstärkers. Dann gibt man eine Wechsellspannung in den Verstärker und misst die Spannung an  $R_e$ . Der Oszillator ist schwingungsfähig, wenn die Ausgangsspannung gleich der Eingangsspannung wird.