Aufbau eines Oszillators
Theorie und Beispiele

Inhaltsverzeichnis

Aufbau eines Oszillators
Theorie und Beispiele

Oszillatoren finden in vielen Varianten und Bereichen Verwendung. Beispiele für Oszillatoren in der Elektrotechnik sind: der astabile Multivibrator oder der Wien-Robinson-Oszillator; diese beiden werden über RC-Glieder gesteuert. Ihr Einsatzgebiet ist vor allem die NF-Technik. Eine typische Anwendung für Oszillatoren mit RC-Gliedern sind Funktionsgeneratoren. In der HF-Technik sind LC-Schwingkreise sehr verbreitet. Ein Beispiel für einen LC-Schwingkeis ist die Senderabstimmung im Radio. In Uhren und Funkfernsteuerungen findet man häufig Quarzoszillatoren, denn sie liefern eine hohe Genauigkeit und Stabilität. Höchste Genauigkeit erreichen Mikrowellenresonatoren (Atomuhren).

1 Theoretischer Aufbau eines Oszillators

Damit ein Oszillator eine dauerhafte Schwingung bei einer bestimmten Frequenz ausführen kann, darf das Signal nicht gedämpft werden und muss am Eingang die gleiche Phase wie am Ausgang besitzen. Jeder Oszillator lässt sich im Prinzip in einen Verstärker und einen Rückkoppler aufteilen.

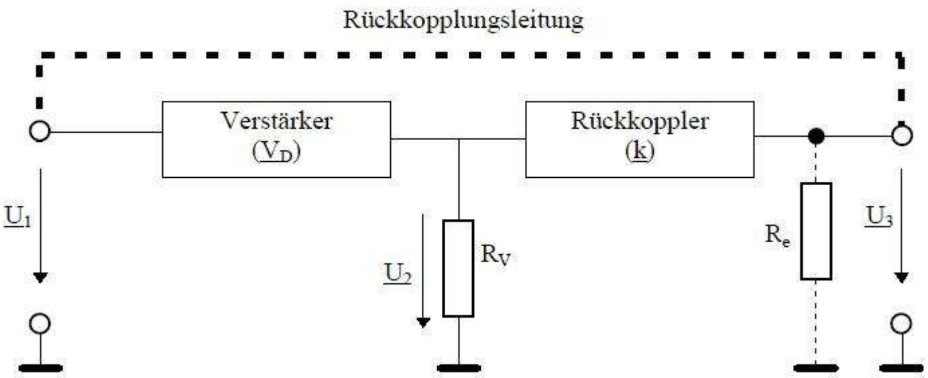

Abbildung 1

Die Eingangsspannung $\underline{U}_1$ wird im Verstärker um $\underline{V}_D$ verstärkt. Es gilt $\underline{U}_1=\underline{V}_D\cdot\underline{U}_2$. Am Verstärkerausgang ist das frequenzabhängige Rückkopplungsnetzwerk und der Verbraucherwiderstand R_v angeschlossen. Für den Rückkoppler gilt $\underline{U}_3=\underline{k}\cdot\underline{U}_2$. Wenn der Oszillator in der Lage ist zu schwingen, muss eine Wechselspannung am Eingang, der am Ausgang entsrechen. Der Ausganswiderstand muss genauso wie der Eingangswiderstand des Verstärkers dimensioniert sein. Dann gilt $\underline{U}_1=\underline{U}_3=\underline{k}\cdot\underline{V}_D\cdot\underline{U}_1$. Das bedeutet, das Produkt aus Verstärkung $\underline{V}_D$ und Rückkopplungsfaktor $\underline{k}$ muss gleich eins sein.
Verstärker und Rückkoppler arbeiten komplex also tritt zwischen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ die Phasenverschiebung φ_V und zwischen $\underline{U}_2$ und $\underline{U}_3$ die Phasenverschiebung φ_k auf. Für die Schwingfähigkeit soll also gelten:

$\underline{k}\cdot\underline{V}_D=1$ (notwendige Schwingungsbedingung)

Aus dieser Gleichung lassen sich zwei Bedingungen ableiten:

$|\underline{k}|\cdot|\underline{V}_D|=1$ (Amplitudenbedingung)

$\varphi V+\varphi k=2\pi n \quad n=0, 1, 2, ...$ (Phasenbedingung)

Für das entstehen von Schwingungen reicht die Amplitudenbedingung nicht aus. Zum Anschwingen ist es notwendig, dass die Schleifenverstärkung mindestens gleich eins ist. Für die Kurvenform der Schwingung ist das Rückkopplungsnetzwerk verantwortlich.

2 Kenngrößen eines Schwingkreises

Zu einem Schwingkreis gehören einige zur Berechnung wichtige Kenngrößen. Jeder Schwingkreis besitzt eine Resonanzfrequenz ω_0. Diese besondere Frequenz ist dadurch ausgezeichnet, dass die Übertragungsfunktion $\underline{v}$ des Rückkopplers reell wird. Da der Rückkoppler die frequenzabhängige Komponente ist, gibt er die Resonanzfrequenz an.

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{f_0} \quad (1)$$

$$\underline{v}(\omega) = \frac{\underline{u}_a(\omega)}{\underline{u}_e(\omega)} = \Re(v(\omega)) + \Im(v(\omega)) \quad (2)$$

Als Kennwiderstand Z_k wird der kapazitive bzw. induktive Blindwiderstand bei Resonanzfrequenz bezeichnet. Er repräsentiert die Größe der umgesetzen Blindleistung. Ihm gegenüber steht der Wirkwiderstand R, der ein Maß für die umgesetzte Wirkleistung ist.

$$Z_k = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

Gleichung (3) ist gültig, wenn für die Impedanz $\underline{\underline{Z}}$ des Schwingkreises gilt:

$$\underline{\underline{Z}} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (4)$$

Das Verhältnis zwischen Blindleistung und Wirkleistung wird als Güte Q bezeichnet. Der Kehrwert von Q bezeichnet die Dämpfung d. In einem Resonanzkreis hoher Güte fließt bei geringer Abweichung von der Resonanzfrequenz viel weniger Strom als bei der Resonanzfrequenz.

$$Q = \frac{P_b}{P_w} = \frac{I^2 Z_k}{I^2 R} \quad (5) \quad d = \frac{1}{Q} \quad (6)$$

Ein Maß für die Abweichung von der Resonanzfrequenz ist die Verstimmung v.

$$v = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \quad (7)$$

Die Differenz der beiden Frequenzen ω_1 und ω_2 bei denen gilt: $i(\omega_{1,2}) = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{Max}$ bzw. $\Re(\underline{\underline{Z}}(\omega_{1,2})) = \Im(\underline{\underline{Z}}(\omega_{1,2}))$ wird als Bandbreite bezeichnet. Der Phasenwinkel $\varphi_{1,2}$ beträgt bei $\omega_{1,2}$ genau ±45°. Der Zusammenhang zwischen Bandbreite und Güte ist $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q}$ (8).

Diese Kenngrößen gelten für harmonische Schwingkreise. Nichtharmonische Schwingungen müssen per Fourierreihenentwicklung auf harmonische zurückgeführt werden.

3.1 Beispiel1: Meissner-Schaltung

Eine recht einfache Oszillatorschaltung ist die Oszillatorschaltung nach Meissner. Es handelt sich um einen entdämpften LC-Schwingkeis.

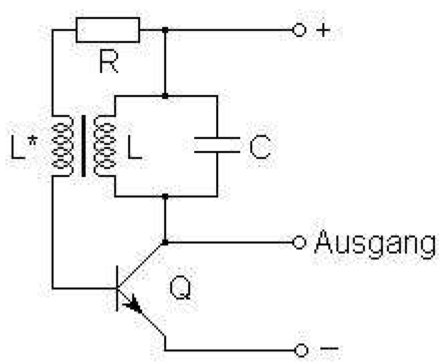

Abbildung 2

Wenn der Schwingkreis verlustfrei schwingen könnte würde mit

$u_L(t) = L\frac{di(t)}{dt}$ (9), $i(t) = C\frac{du_C(t)}{dt}$ (10) und $u_C(t) = -u_L(t)$ die Differentialgleichung (Ansatz: i_L

(t)=i_C(t)) $0 = C\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{L}\int u(t)\mathrm{d}t$ (11) für die Spannung über dem Kondensator mit

$u(t) = U_0 \cos(\frac{1}{\sqrt{LC}}t)$ (12) erfüllt sein.

Der Strom im Kondensator beträgt $i(t) = -U_0\sqrt{\frac{C}{L}}\sin(\frac{1}{\sqrt{LC}}t)$ (13).

Es treten aber Verluste am Widerstand der Leitung und in den Bauelementen auf. Mit den Verlusten ist eine gedämpfte Schwingung zu erwarten. Für eine ungedämpfte Schwingung muss dem Schwingkreis ständig genau die Menge Energie zugeführt werden, die durch die Verluste verloren geht. Durch die induktive Kopplung von L und L* fließt durch L* der Basisstrom des Transistors in Abhängigkeit des Stroms durch L. Die Ströme durch L und L* sind in Phase. Der Strom an der Basis des Transistors schwingt mit gleicher Phase und Frequenz, wie der Strom in L. Dem Schwingkreis wird über den Kollektorstrom nun ständig Energie zugeführt. Der Betrag der zugeführten Energie ist proportional zum Basisstrom und kann durch den Widerstand R begrenzt werden. Wird R zu groß gewählt wird dem Schwingkreis zu wenig Energie zugeführt und es bleibt bei einer gedämpften Schwingung. Wird R zu klein gewählt wird zu viel Energie zugeführt, der Schwingkreis übersteuert und die Schwingung wird verzerrt. Die Wahl von R kann vereinfacht werden, wenn der Basisstrom durch Gegenkopplung begrenzt wird (Widerstand zwischen Emitter und Masse).
Bei der Meissner-Schaltung stellt der Schwingkreis den Rückkoppler dar. Die Verstärkung wird durch eine Emmitterschaltung realisiert. Die Dämpfung $\underline{k}$ erfolgt durch Verluste in den Bauelementen und im Leitungswiderstand. Der Basisstrom bestimmt die Verstärkung $\underline{V_D}$.

3.2 Beispiel2: Wien-Robinson-Oszillator

Der Wien-Robinson-Oszillator ist ein NF-Oszillator, der auf einem Rückkopplungsnetzwerk aus RC-Gliedern besteht. Er kann als Funktionsgenerator für qualitativ hochwertige Sinusschwingungen eingesetzt werden.

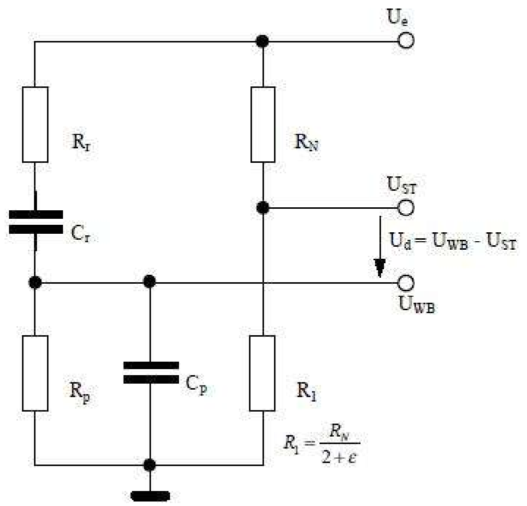

Abbildung 3

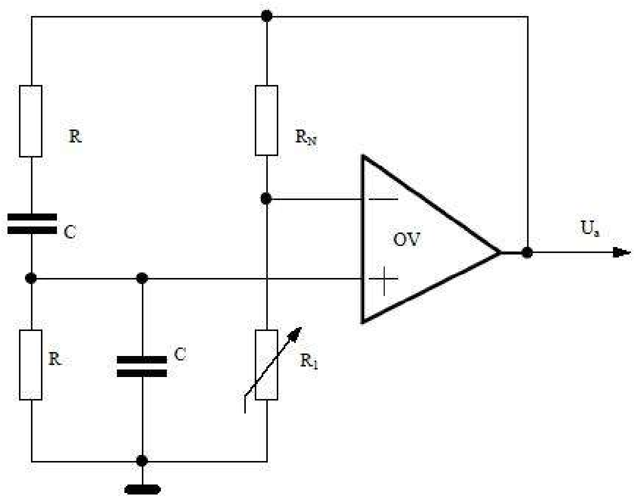

Abbildung 4

Abbildung 3 zeigt die Wien-Robinson-Brücke. Der ganze Wien-Robinson-Oszillator ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Wien-Robinson-Brücke besteht aus einem Spannungsteiler und der Wien-Brücke (einer Reihen- und Parallel RC-Schaltung). Der Wien-Robinson-Oszillator verwendet als Rückkopplungsnetzwerk die Wien-Brücke.
Der Rückkopplungsfaktor wird durch den Spannungsteiler der Wien-Brücke festgelegt. Er entspricht also der komplexen Übertragungsfunktion $\underline{v}$.

$$\underline{k}=\frac{\underline{U}_{WB}}{\underline{U}_e}=\frac{R||C}{R+C+R||C}=\frac{\frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}}}{1+\frac{1}{j\omega RC}+\frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}}}=\frac{j\omega RC}{1-\omega^2R^2C^2+j3\omega RC}=\frac{1}{3+j(\omega RC-\frac{1}{\omega RC})}$$

(14)

Der Verstärker enthält keine frequenzabhängigen Bauteile, hat also im NF-Bereich nur eine reale Verstärkung. Mit der notwendigen Schwingungsbedingung $\underline{V}_D \cdot \underline{k}=1$ folgt, dass k keinen Imaginärteil besitzt und $\underline{V}_D=3$. Der Imaginärteil von $\underline{v}$ verschwindet für $\omega=\omega_0=\frac{1}{RC}$. Der passende Verstärker zur Wien-Brücke verändert die Phasenlage nicht und hat eine Verstärkung von drei. Der Spannungsteiler mit dem OPV als nicht invertierender Verstärker ist eine gute Wahl. Um den Wien-Robinson-Oszillator zum Schwingen zu bringen, muss die Wien-Robinson-Brücke etwas verstimmt werden. Dies wird erreicht wenn der Widerstand R1 so gewählt wird dass gilt $R1=\frac{R_N}{2+\epsilon}$ (15). Dabei soll ε größer als Null und klein gegenüber 1 sein. Die Wien-Robinson-Brücke ist mit einem Schwingkreis hoher Güte vergleichbar. Je kleiner ε gewählt wird umso größer wird die Güte. Allerdings sinkt mit kleinerem ε auch der Betrag der Ausgangsspannung U_d der Wien-Robinson-Brücke.

4 Quellen

- GdE1a+1b Script
- U. Tietze Ch. Schenk, Halbleiter-Schaltungstechnik, 9. Auflage 1989
- Versuchsprotokoll, http://www.matheschule.de/download/pdf/Physik/ELEK_8_Wien_Robinson_Oszillator.pdf
- Aufgabenstellung für Versuch, http://www.fh-landshut.de/~wlf/schT/praktikum/Versuch_5.pdf
- Onlinelexikon, http://de.wikipedia.org/wiki/Oszillatorschaltung
- Onlinelexikon, http://de.wikipedia.org/wiki/Mei%C3%9Fner-Schaltung