Autor: S. Außerwöger, E-Mail: s.ausserwoeger@hotmail.com
JKU-Redakteur: B. Jakoby

Überblendregler

Erweiterungen: keine

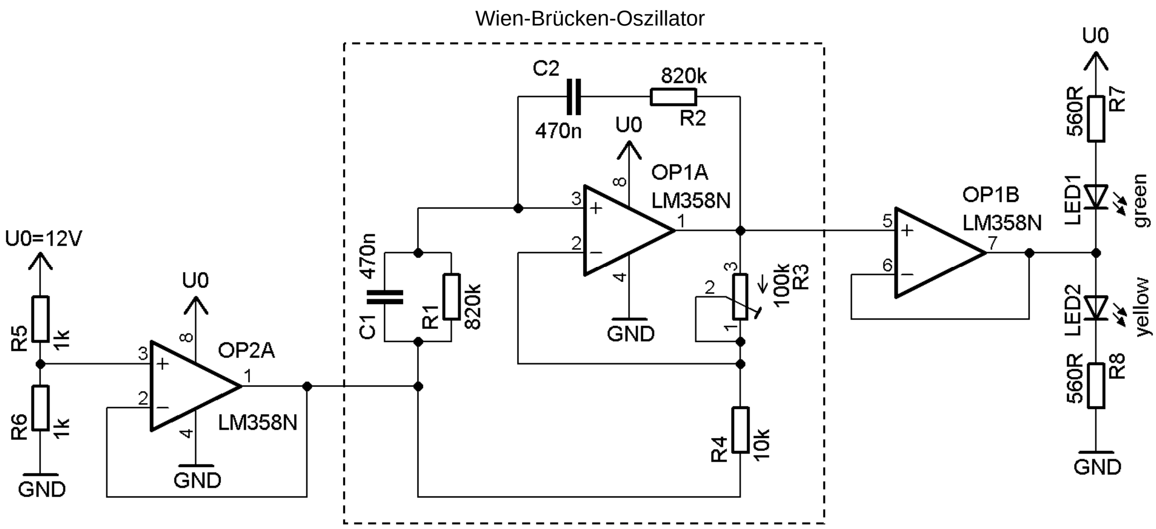

Abb. 1: Schaltplan

Versuchsbeschreibung

Diese Schaltung ermöglicht es, die (idealisiert) sinusförmige Ausgangsspannung eines harmonischen Oszillators zu visualisieren. Dazu wird von grünem LED-Licht allmählich zu gelbem LED-Licht übergeblendet und umgekehrt.

UAnmerkung:

Die Theorie zu harmonischen Oszillatoren finden Sie im [*HLST-Skript, Kapitel 12.2*].

Funktionsbeschreibung

Der eingerahmte Teil in *Abb. 1* bildet das Herzstück der Schaltung. Es handelt sich hierbei um einen sogenannten *Wien-Brücken-Oszillator*. Dieser harmonische Oszillator hat den Vorteil, dass er vollkommen ohne Induktivitäten auskommt. Im Idealfall liefert der Oszillator in sehr guter Näherung ein sinusförmiges Signal am Ausgang von $OPRR_{1A}$.
Eigentlich würden beim *Wien-Brücken-Oszillator* C_1, R_1 und R_4 an Schaltungsmasse liegen, was zur Folge hätte, dass der Bezugspunkt für die Sinusschwingung die Schaltungsmasse wäre. Da wir aber nur eine positive Versorgungsspannung für den OP zur Verfügung haben, kann dieser nicht unter Massepotential (negativ) aussteuern. Wir können diese Problematik beheben, indem wir den Bezugspunkt des Oszillators mit Hilfe eines 1:1 Spannungsteilers (R_5 und R_6) und eines Impedanzwandlers (OP_{2A}) um die halbe Betriebsspannung ($U_0/2$) anheben. Dadurch wird der Bezugspunkt für die Sinusschwingung ebenfalls um $U_0/2$ angehoben und OP_{1A} kann symmetrisch aussteuern.
Das Sinussignal wird nun über einen weiteren Impedanzwandler (OP_{1B}) zur Ansteuerung zweier verschiedenfarbiger LEDs, wie in *Abb. 1* zu sehen, verwendet. Stellen Sie sich beispielsweise vor, dass sich das Sinussignal gerade beim pos. Spitzenwert befinde ($\approx U_0$). Dann fällt über LED_1 und R_7 keine Spannung ab, über LED_2 und R_8 hingegen U_0. LED_1 wird also dunkel sein und LED_2 mit maximaler Kraft leuchten. Nun befinde sich das Signal gerade beim neg. Spitzenwert ($\approx 0V$). Die Spannungsverhältnisse an den LEDs und Vorwiderständen sind nun genau umgedreht. Befindet sich das Signal genau zwischen den beiden Extremwerten, so stellen sich in etwa 6V zwischen den LEDs ein, was dazu führt, dass beide LEDs gleich hell, mit etwa halber Kraft, leuchten. Es findet also ein

stetiger Wechsel zwischen grünem und gelbem Licht statt. *Abb. 2* zeigt die zeitlichen Verläufe der Ausgangsspannung von OP_{1B} und der LED-Ströme, welche mit Hilfe einer Spice-Simulation ermittelt wurden.

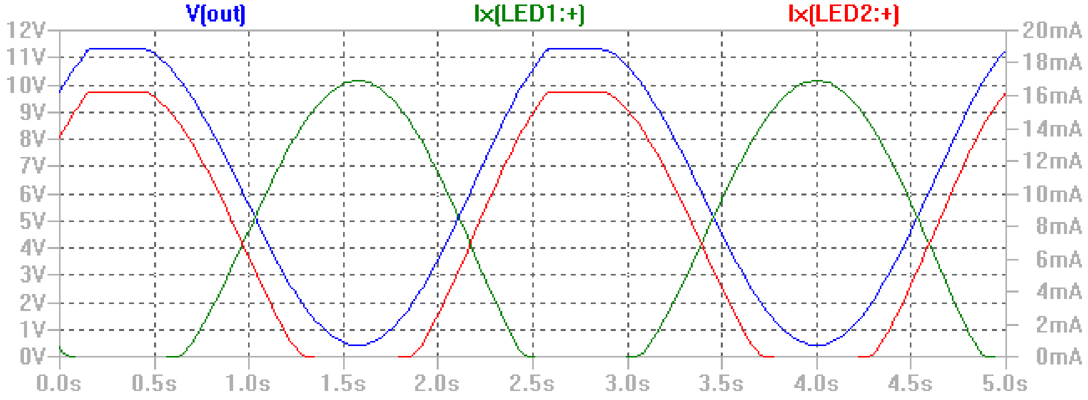

Abb. 2: Spice-Simulation

Nun wollen wir uns nochmals im Detail dem Oszillator selbst widmen[1]. Ein harmonischer Oszillator lässt sich ganz allgemein durch folgendes Blockschaltbild beschreiben:

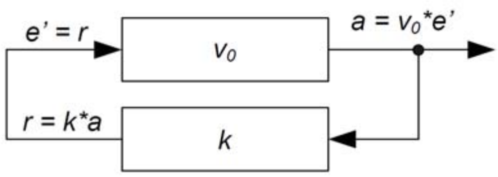

Abb. 3: Blockschaltbild eines harm. Oszillators

v_0 bezeichnet dabei die Vorwärtsverstärkung und k den Rückkopplungsfaktor, welcher die Beziehung zwischen Ausgang und Eingang beschreibt. Wenn wir die Gleichungen für die Ausgangsgröße aufstellen, so erhalten wir

$$a = v_0 e' = v_0 k a \quad \rightarrow \quad a(1 - v_0 k) = 0$$

Ein nichtverschwindendes Ausgangsignal erhalten wir genau dann, wenn $v_0 k = v_s = 1$ gilt. v_S wird als sogenannte Schleifenverstärkung bezeichnet. Die Schleifenverstärkung kann im Allgemeinen komplexwertig sein. Es lässt sich daher je eine Bedingung für Betrag und Phase aufstellen:

aus $v_s(j\omega_0) = 1$ folgt $|v_s(j\omega_0)| = 1$ und $\arg(v_s(j\omega_0)) = n2\pi$ (für ganzzahliges n)

ω_0 bezeichnet dabei die Resonanz(kreis)frequenz des Oszillators.

Wir können nun die Elemente des Blockschaltbilds (*Abb. 3*) den verschiedenen Schaltungsteilen des Wien-Brücken-Oszillators zuordnen (*Abb. 4*). Die Vorwärtsverstärkung v_0 wird durch eine nicht invertierende OP-Verstärkerschaltung realisiert.

$$v_0 = \frac{u_a}{u_e} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \; ^{2)}$$

Damit die Schwingungsbedingung erfüllt ist, muss vR_0 = 3 sein (siehe Dimensionierung). Wir führen daher R_3 als Spindeltrimmer aus, um v_0 später präzise einstellen zu können.

[1] Für die nachfolgenden Überlegungen ist die Kenntnis der zugehörigen Theorie von Vorteil
[2] Diese Beziehung lässt sich sehr einfach unter Annahme eines idealen OPs. Hinweis: u_e fällt auch an R_4 ab.

Der aus den Impedanzen z_1 und z_2 gebildete Spannungsteiler sorgt dafür, dass ein Teil der Ausgangsspannung u_a wieder an den Eingang rückgekoppelt wird. Der Rückkopplungsfaktor k entspricht also genau dem Teilerverhältnis des komplexen Spannungsteilers.

$$k = \frac{u_e}{u_a} = \frac{z_2}{z_1 + z_2}$$

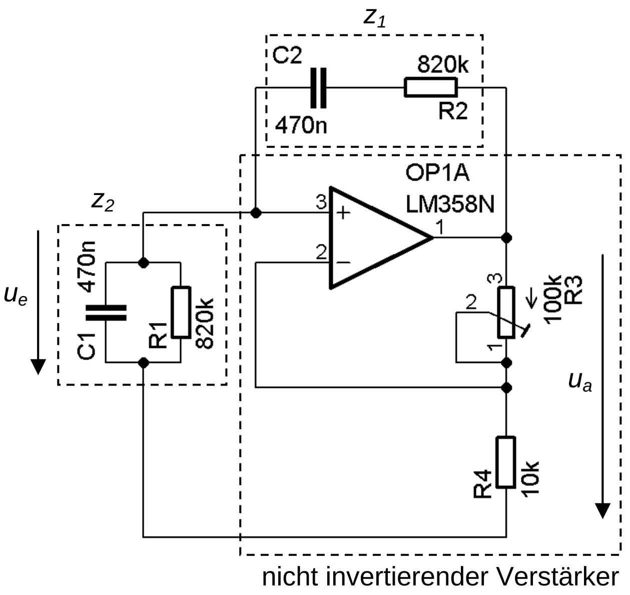

Abb. 4: Wien-Brücken-Oszillator

Versuchsdurchführung

Bauen Sie die Schaltung entsprechend *Abb. 1* auf. Da es in der Praxis nicht möglich ist, die Schwingungsbedingung exakt zu erfüllen, werden Sie entweder eine abklingende oder anwachsende Schwingung erhalten. Mit Hilfe des Trimmers können Sie jedoch die Vorwärtsverstärkung so anpassen, dass sie gerade noch eine anwachsende Schwingung erhalten. Die Amplitude des Sinussignals kann ohnehin nicht beliebig groß werden, da der OP bald an seine Aussteuergrenzen stößt. Die führt allerdings zu Verzerrungen der Sinusform (in *Abb. 2* sind die Verzerrungen zu erkennen). Je mehr Sie die Vorwärtsverstärkung überdimensionieren, desto mehr unterscheidet sich das Signal von einem Sinus.

Wenn beide LEDs leuchten, so befindet sich die Schaltung im Ruhezustand (die Schaltung schwingt nicht an), d.h. die Vorwärtsverstärkung ist zu gering. Wenn hingegen der Wechsel zwischen grün und gelb eher einem schnellen Umschalten gleicht, so ist die Sinusform stark verzerrt (*Abb. 5*), d.h. die Vorwärtsverstärkung ist viel zu hoch. Sie müssen evtl. die Verstärkung einmal ordentlich aufdrehen, um die Schaltung zum Anschwingen zu bringen. Danach können Sie die Verstärkung wieder reduzieren, um die Verzerrungen zu verringern. Versuchen Sie, sich an die Grenze zwischen anwachsender und abklingender Schwingung heranzutasten.

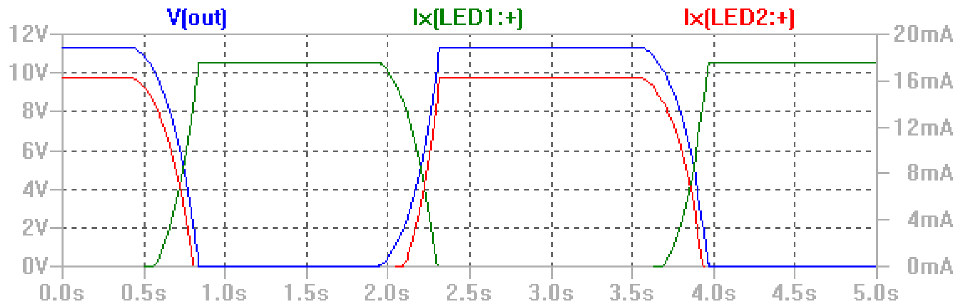

Abb. 5: Verzerrtes Sinus-Signal und LED-Ströme

Dimensionierung

Für den Wien Brücken-Oszillator gilt allgemein mit $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$

$$z_1 = R + \frac{1}{j\omega C} \qquad z_2 = \frac{\frac{R}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{R}} \qquad k = \frac{z_2}{z_1 + z_2} = \frac{1}{3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)}$$

Die Bedingung $\arg(v_s(j\omega_0)) = n2\pi$ fordert, dass die Schleifenverstärkung rein reell ist. Da der nicht invertierende Verstärker keine Phasendrehung aufweist und v_0 somit rein reell ist, kann die Bedingung nur erfüllt werden, wenn k ebenfalls rein reell ist, d.h. der Imaginärteil von k muss bei der Resonanzfrequenz ω_0, verschwinden.

$$\rightarrow \quad \omega_0 RC - \frac{1}{\omega_0 RC} = 0 \quad \rightarrow \quad \omega_0 = \frac{1}{RC} \quad \rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Das Überblenden soll relativ langsam erfolgen. Wir wählen die Periodendauer daher mit ca. 2,5*s*. Da an den Kondensatoren Wechselspannungen anliegen, können wir keine ELKOs verwenden. Folienkondensatoren werden ab Kapazitäten von mehr als 470*nF* aber bereits relativ teuer. Wir wählen daher $C = 470nF$.

$$T = 2\pi RC \quad \rightarrow \quad R = \frac{T}{2\pi C} = \frac{2{,}5s}{2\pi * 470nF} = 847k\Omega \quad \rightarrow \quad 820k\Omega \text{ gewählt}$$

Aus der Bedingung $|v_s(j\omega_0)| = 1$ und mit $k(\omega = \omega_0) = \frac{1}{3}$ folgt $v_0 = 3$

$$v_0 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} = 3 \quad \rightarrow \quad R_4 = 10k\Omega,\ R_3 = 20k\Omega \ \text{(}100k\Omega\text{ Spindeltrimmer gewählt)}$$

R_5 und R_6 müssen einen 1:2 Spannungsteiler realisieren und werden mit jeweils $1k\Omega$ gewählt.

Wenn wir die Flussspannungen der grünen und der gelben LED mit ca. 2*V* annehmen und ein maximaler LED-Strom von 20*mA* fließen soll, so können wir R_7 und R_8 berechnen.

$$R_7 = R_8 = \frac{U_0 - U_F}{I_{LED,\max}} = \frac{12V - 2V}{20mA} = 500\Omega \quad \rightarrow \quad 560\Omega \text{ gewählt}$$