

Leeson Formel

Das Programm

Vor langer Zeit hat Rohde & Schwarz ein in Zusammenarbeit mit U. Rohde und G. Klage geschriebenes Programm im Jahr 2000 veröffentlicht, welches unter Berücksichtigung einiger Annahmen das bestmögliche Phasenrauschen nach der Leeson-Formel berechnet und graphisch darstellt. In diesem Programm ist schon der Einfluss der Ziehdiode und das Flickerrauschen berücksichtigt, d.h. die ursprüngliche Formel von Leeson ist erweitert worden.

Dieses Programm habe ich neu geschrieben, da es auf heutigen Rechnern nicht mehr lauffähig ist.

Hinweise zur Bedienung:

- Das ZIP-File muss extrahiert werden. Enthalten ist das EXE-File und ein Help-File in PDF-Form. Beide Dateien müssen im gleichen Ordner liegen.
- Parameter könne geändert werden, indem mit der Tastatur neue Werte eingegeben werden oder mit den kleinen UpDown-Tasten oder mit dem Mausrad Änderungen vorgenommen werden. Bei allen Parametern gibt vorgegebene es Maximal und Minimal-Werte.
- Mit „copy to clipboard“ kann ein Bild vom Programmfenster in die Windows-Zwischenablage kopiert werden, damit es dann mit einem Grafikprogramm weiterverarbeitet werden kann.

Viel Spaß bei der Nutzung.

Jörn Bartels, DK7JB

05.2015

mail@dk7jb.de

Die Leesonformel

Leeson hat 1966 den ersten Ansatz beschrieben um das Phasenrauschen in Oszillatoren verstehen und berechnen zu können.¹ Das Lesson Modell geht von einem zeitinvarianten System aus (linear time invariant system LTIV). Nach meinem Kenntnisstand ist dieses Modell das erste Modell, mit dem man das Phasenrauschen von Oszillatoren wirklich vorhersagen und man einen Einblick über gewisse Einflussfaktoren bekommen konnte. Der Nachteil ist aber, dass man die Ausgangsleistung des Oszillators, das Großsignalrauschen des Oszillator-Transistors und die Arbeitsgüte des Resonanzelementes (loaded Q) nicht kennt. Über die Jahre ist die Formel noch um weitere Rauschquellen erweitert worden.² Die von mir verwendete Leeson-Formel müsste eigentlich Leeson-Scherer-Rohde Formel heißen. Scherer hat den Einfluss der Flickerfrequenz ergänzt und Rohde den VCO Term.³

$$\mathcal{L}(f_m) = 10 \log \left\{ \left[1 + \frac{f_0^2}{(2f_m Q_L)^2 (1 - \frac{Q_L}{Q_0})^2} \right] \left(1 + \frac{f_c}{f_m} \frac{FkT}{2P_o} + \frac{2kTRK_0^2}{f_m^2} \right) \right\}$$

$\mathcal{L}(f_m)$ = ratio of sideband power in a 1Hz bandwidth at f_m to total power in dB

f_m = frequency offset from the carrier

f_0 = center frequency

f_c = flicker frequency

Q_L = loaded Q of the tuned circuit

Q_0 = unloaded Q of the tuned circuit

F = noise factor (manchmal auch als Fitting-Factor bezeichnet)

$kT = 4.1 \times 10^{-21}$ at 300 K (room temperature)

P_o = average power at oscillator output

R = equivalent noise resistance of tuning diode

K_0 = oscillator voltage gain

¹ D.B. Leeson, "A Simple Model of Feedback Oscillator Noise Spectrum" Proc. IEEE, 54, 329-330, 1966

<http://www.ieee-uffc.org/publications/reports/proceed/e661/e6610330.pdf>

² U.Rohde, "A New and Efficient Method of Designing Low Noise Microwave Oscillators"

<http://synergymwave.com/articles/a-new-efficient-method-of-designing-low-noise-microwave-oscillators.pdf>

³ U.Rohde, J.Whitaker, A.Bateman, „Communication Receivers: DSP, Software Radios and Design, 3ed Edition, 2000, p402-404

In diesem Programm ist nicht der Einfluss eines Nachverstärkers berücksichtigt worden. Vielleicht werde ich es um die folgende Formel von Rohde erweitern:

When adding an isolating amplifier, the noise of an LC oscillator is determined by

$$S_{\phi}(f_m) = \frac{\left[a_R F_0^4 + a_E \left(\frac{F_0}{2Q_L} \right)^2 \right]}{f_m^3} + \frac{\left[\frac{2GFkT}{P_0} \left(\frac{F_0}{2Q_L} \right)^2 \right]}{f_m^2} + \frac{2 a_R Q_L F_0^3}{f_m^2} + \frac{a_E}{f_m} + \frac{2GFkT}{P_0} \quad (7.49)$$

Where

G = compressed power gain of the loop amplifier

F = noise factor of the loop amplifier

k = Boltzmann's constant

T = temperature in kelvins

P_0 = carrier power level (in watts) at the output of the loop amplifier

F_0 = carrier frequency in Hz

f_m = carrier offset frequency in Hz

Q_L ($= \pi F_0 \tau_c$) = loaded Q of the resonator in the feedback loop

a_R and a_E = flicker noise constants for the resonator and loop amplifier, respectively

U. L. Rohde, J. Whitaker, A. Bateman, Communication Receivers: Communications Receivers: Dps, Software Radios, and Design, McGraw-Hill Telecommunications, 3rd Edition Mai 2000, p 402-404

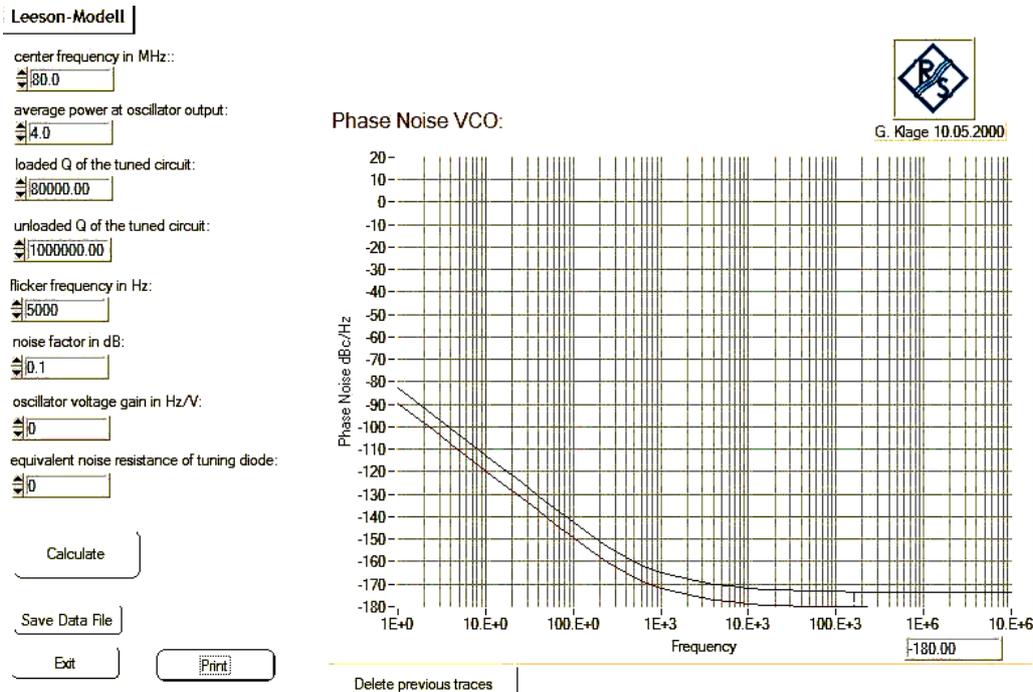
Anmerkungen

Das Großsignalrauschen des Oszillators (noise factor) wird in einigen Büchern als Großsignalrauschen des Transistors bezeichnet. In anderen Büchern steht, dass es auch als eine Art Fitting-Faktor betrachtet werden kann, da es nur wenig mit dem echten Rauschfaktor oder dem Rauschmaß des Transistors zu tun hat. Dies Rauschen kann als Noise Figure NF (in dB) oder als Noise Factor F (ohne Einheit) angegeben werden. Hier die Formel zur Umrechnung:

$$NF = 10 \log_{10}(F) \text{ oder } F = 10^{0,1NF}$$

Die Begriffe Noise Factor und Noise Figure werden in der Literatur nicht immer eindeutig verwendet. Ein Blick auf die Einheit hilft an dieser Stelle aber immer weiter.

Das folgende Bilder zeigen einen Bildschirmprints von dem R&S-Programm.⁴



⁴ Dieses Bild habe ich von U. Rohde per Email erhalten. Einen weiteren Bildschirmprint findet man für einen 2,4Ghz Oszillator hier: [page 98]

U. Rohde, "A New and Efficient Method of Designing Low Noise Microwave Oscillators"

<http://synergymwave.com/articles/a-new-efficient-method-of-designing-low-noise-microwave-oscillators.pdf>

Hier meine Umsetzung der Leeson-Scherer-Rohde Formel mit dem Programm MathCAD, die für Testzwecke erstellt worden ist.

Leeson Formel

Entnommen Poddar 2005: A Novel Approach for Designing Integrated Ultra Low Noise Microwave Wideband Voltage-Controlled Oscillators

frequency offset from carrier $fm := 1000$ Hz
 center frequency $fo := 100 \cdot 10^6$ Hz
 flicker frequency $fc := 5000$ Hz
 loaded Q of the tuned circuit $Ql := 20000$
 unloaded Q of the tuned circuit $Qo := 100000$
 noise figure $NF := 0.1$ dB $F := 10^{\left(\frac{NF}{10}\right)} = 1.023293$
 $kT := 4.1 \cdot 10^{-21}$
 average power at oscillator output $PodB := 6$ dBm $Pow := 0.001 \cdot 10^{\left(\frac{PodB}{10}\right)} = 0.003981$ W

equivalent noise resistance of tuning diode $R := 300$ Ohm
 oscillator voltage gain $Ko := 300$ V/Hz

$$\mathcal{L} := 10 \cdot \log \left(\left[1 + \frac{fo^2}{(2 \cdot fm \cdot Ql)^2 \cdot \left(1 - \frac{Ql}{Qo}\right)^2} \right] \cdot \left(1 + \frac{fc}{fm}\right) \cdot \frac{(F \cdot kT)}{2 \cdot Pow} + \frac{2 \cdot kT \cdot R \cdot Ko^2}{fm^2}, 10 \right)$$

Hinweis:
Die 10 hinter dem Komma ist die Basis vom Logarithmus

Phase Noise @ $fm = 1000$ Hz $\mathcal{L} = [-164.7]$ dBc/Hz

Hier nun ein Bild von meinem Programm:

