



Doctoral Thesis

Methoden zur Phasenrauschberechnung in HF- und Mikrowellenoszillatoren

Author(s):

Stadler, Markus

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005150412> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH Nr. 16240

Methoden zur Phasenrauschberechnung in HF- und Mikrowellenoszillatoren

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

MARKUS STADLER
Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 27.06.1973
von Bürglen UR

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. W. Bächtold, Referent
Prof. Dr. H. Jäckel, Korreferent
Prof. Dr.-Ing. K. Schünemann, Korreferent

2005

Kurzfassung

Elektronische Oszillatoren sind Schaltungen, die in der Elektronik vielfältige Anwendung finden. In praktisch sämtlichen Anlagen und Geräten der Telekommunikation werden sie zur Erzeugung und Konversion hochfrequenter Schwingungen eingesetzt.

Sowohl die Amplitude als auch die Frequenz eines realen Oszillatorsignals zeigen statistische Schwankungen, die aufgrund von thermischen und anderen Rauscherscheinungen sowie deterministische Störungen verschiedenen Ursprungs verursacht werden, die in der Schaltung selbst entstehen oder aus deren Umgebung eingestreut werden.

Diese Schwankungserscheinungen führen dazu, dass die Energie des Oszillatorsignals nicht bei einer Frequenz (der Schwingfrequenz) konzentriert ist, wie dies auf den idealen Oszillator zuträfe. Vielmehr erscheinen

Ein solches nicht ideales Oszillatorsignal stellt in fast allen technisch interessanten Fällen eine Einschränkung der Performance des übergeordneten Systems dar. Deshalb kann bei Oszillatoren nur ein gewisses Mass an Phasen- und Amplitudenrauschen toleriert werden. Diese Anforderungen stellen einen wichtigen Teil der Spezifikationen dar, an die sich der Entwickler einer Oszillatorschaltung zu halten hat.

Oszillatorschaltungen werden heute in der Regel mit Hilfe von EDA-Werkzeugen entworfen. Diese ermöglichen (bei Vorhandensein geeigneter Grosssignal-Bauelementmodelle) sowohl Kleinsignal- als auch Grosssignalanalysen der Schaltung. Häufig beinhalten diese Werkzeuge auch Funktionen zur Simulation des Phasenrauschens des Oszillators.

Unabhängig davon, wie genau die Ergebnisse einer numerischen Phasenrauschenanalyse sind, ist es stets ein Bedürfnis des Schaltungsentwicklers, die dem Phasenrauschen zugrunde liegenden Mechanismen und die wichtigsten Einflussfaktoren zu kennen. Mit diesen Kenntnissen kann eine etwaige Verbesserung der Schaltung hinsichtlich des Rauschens systematisch an die Hand genommen werden.

In der vorliegenden Dissertation wird eine neue, in der Praxis leicht anwendbare Methode vorgeschlagen, die eine Vorausberechnung des Phasenrauschens in Oszillatoren mit geringem Aufwand und guter Genauigkeit ermöglicht.

Gestützt auf einen einfachen Modellschaltkreis wird zunächst die Wirkung von nichtlinearen resistiven und susceptiven Elementen auf das Phasenrauschen untersucht. Die dabei zur Anwendung kommende mathematische Methode ist die Konversionsmatrix-Analyse. Sie erlaubt eine einfache Beschreibung der im eingeschwingenen Oszillator auftretenden Mischvorgänge.

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen auf, dass eine Phasenrauschberechnung mit Hilfe der linearen Netzwerkanalyse unter gewissen Bedingungen zu dem gleichen Ergebnis führt.

Es wird aufgezeigt, ob und wie die Resultate der linearen Rechnung zu korrigieren sind, damit die Effekte der nichtlinearen Elemente richtig berücksichtigt werden.

Die Richtigkeit dieser Betrachtungen wird anhand einiger praktischer Beispiele nachgewiesen. Es werden aus diskreten Bauelementen aufgebaute Oszillatorschaltungen im Frequenzbereich von 100 MHz bis 1.3 GHz untersucht. Die Vergleiche zwischen den gemessenen Phasenrauschwerten und den Vorusberechnungen zeigen in allen Fällen eine exzellente Übereinstimmung. Für die Behandlung von Mikrowellenoszillatoren wird die vorgestellte Methode dabei so formuliert, dass sie sich sehr leicht in den im Mikrowellenbereich übliche Schaltungsentwurfsprozess einfügen lässt.

Abstract

Electronic oscillators are circuits that are often used in modern electronics. Practically any telecommunication equipment use oscillators for the purpose of signal generation and frequency conversion.

The amplitude as well as the phase of an oscillator signal is subject to statistical fluctuations, caused by thermal and other noise sources within the circuit or its environment.

Those fluctuations cause noise skirts, viz the signal energy is not concentrated at a single frequency but spread over a range of frequencies.

This non ideal behaviour constitutes a restriction of system performance in almost any system of practical importance. Therefore, in an oscillator only a limited amount of phase and amplitude noise can be tolerated. The phase- and amplitude noise specifications are therefore important figures of merit of an oscillator circuit.

Today oscillator circuits are usually designed using EDA-tools, allowing small signal as well as large signal simulations (provided that suitable component models can be used). A number of tools are also capable of simulating phase and amplitude noise.

Regardless of how accurate a numerical phase noise simulation matches measurement results, there is a need to know the most important factors that determine the phase noise performance of an oscillator. This knowledge allows a systematic improvement of oscillator performance if this turns out to be necessary.

In this dissertation a new analysis approach is outlined. It allows accurate prediction of the phase noise in an oscillator with little effort.

Based on a simple oscillator model the effect of nonlinear resistive and susceptible elements on phase noise are discussed. The mathematical method used is the conversion matrix approach, which allows an easy description of the mixing effects taking place in the running oscillator. This analysis leads to the conclusion that a simple linear network calculation is (under certain circumstances) capable of delivering the same results. It is then shown how the results of the linear calculation are to be corrected in order to properly account for the effects of the nonlinear elements.

The method is verified by the analysis of several practical oscillators ranging from 100 MHz to 1.3 GHz. All oscillators were constructed using discrete components. The comparison of measured data and prediction shows an excellent agreement between theory and measurement.