

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein neuartiges, systematisches Entwurfskonzept für LC-Tank VCO-Schaltungen vorgestellt, das auf der Anwendung der Andronov-Hopf-Bifurkationsanalyse, der Mittelungsmethode sowie der Methode der Harmonischen Balance basiert. Die Zielsetzung ist es, optimierte Startwerte für die VCO-Entwurfsparameter zu berechnen, um den durch EDA-Software gestützten Entwurfsprozess zu verkürzen. Mit Hilfe einer geeigneten, nichtlinearen Modellierung der einzelnen Schaltungskomponenten und einer Abbildung auf ein zweidimensionales Schaltungsmodell wird ein zweidimensionales, nichtlineares Differentialgleichungssystem erster Ordnung aufgestellt, welches die Dynamik der untersuchten LC-Tank VCO-Schaltung beschreibt. Mit dem Ziel den Einfluss der nichtlinearen Kapazitäts-Spannungs-Charakteristik der verwendeten MOS-Varaktoren in dem systematischen VCO-Entwurfsablauf mit einzubeziehen, werden auf Grundlage des EKV-Transistormodells und des MOS Model 11 zwei analytische Varaktorkapazitätsmodelle für Inversionsmode- und BSD-Varaktoren aufgestellt. Diese analytischen Kapazitätsmodelle ermöglichen es, die vom Ausgangssignal des VCOs abhängige Kapazitäts-Spannungs-Charakteristik der Varaktoren in dem zweidimensionalen Differentialgleichungssystem zu berücksichtigen.

Auf Grundlage des zweidimensionalen Differentialgleichungssystems ist es mit Hilfe der Andronov-Hopf-Bifurkationsanalyse und der Mittelungsmethode möglich, analytische Näherungslösungen für die Amplitude und die Frequenz der periodischen Lösung zu bestimmen. Des Weiteren erlaubt es die Andronov-Hopf-Bifurkationsanalyse, den Startpunkt der stabilen periodischen Lösung des Systems in Abhängigkeit der VCO-Entwurfsparameter zu berechnen. Die Berücksichtigung der Kapazitäts-Spannungs-Charakteristik der Varaktoren in der nichtlinearen VCO-Modellierung ermöglicht es, mit Hilfe der Mittelungsmethode die resultierende VCO-Abstimmcharakteristik unter dem Einfluss der VCO-Amplitude zu approximieren.

Als drittes Verfahren wird in dieser Arbeit die Methode der Harmonischen Balance zur Bestimmung der periodischen Lösung des nichtlinearen Differentialgleichungssystems verwendet. Im Vergleich zur Andronov-Hopf-Bifurkationsanalyse und zur Mittelungsmethode handelt es sich bei der Methode der Harmonischen Balance um ein numerisches Verfahren, welches den Vorteil bietet, eine einstellbare Anzahl höherer Harmonischer in der Berechnung der periodischen Lösung zu berücksichtigen. Da innerhalb der Methode der Harmonischen Balance numerische Iterationsverfahren zum Einsatz kommen, werden gute Startwerte benötigt, um eine Konvergenz gegen die gesuchte physikalische Lösung zu garantieren. Es wird gezeigt, dass es mit Hilfe der Andronov-Hopf-Bifurkationsanalyse und der Mittelungsmethode möglich ist, sehr gute Startwerte für das Verfahren der Harmonischen Balance zu bestimmen.

Die Anwendbarkeit des in dieser Arbeit entwickelten VCO-Entwurfskonzeptes, wird anhand des Entwurfs einer 5,5 GHz LC-Tank VCO-Schaltung für WLAN IEEE 802.11a Anwendungen gezeigt und die Simulationsergebnisse werden mit Hilfe von Spectre RF Simulationen verifiziert.

Schlagworte: VCO-Entwurf, LC-Tank VCO, MOS-Varaktor, Inversionmode-Varaktor, BSD-Varaktor, Andronov-Hopf-Bifurkationsanalyse, Mittelungsmethode, Methode der Harmonischen Balance

Abstract

In the present work a novel systematic design concept for LC tank VCOs based on the application of the Andronov-Hopf bifurcation analysis, the averaging method and the method of harmonic balance is presented. The objective is to generate improved initial values for the VCO design parameters to shorten the EDA software-based design process.

Based on a suitable, non-linear modeling of the individual circuit components and a mapping on a two-dimensional circuit model, a two-dimensional, non-linear system of differential equations of first order is set up, which describes the dynamics of the LC tank VCO.

With the aim to include the influence of the nonlinear capacitance voltage characteristic of the used MOS varactors in the systematic VCO design flow, two analytical varactor capacitance models, one for inversion-mode varactors based on the EKV transistor model equations, and one for BSD-varactors based on the MOS model 11 equations, have been implemented. Based on these analytical varactor capacitance models it becomes possible to include the capacitance voltage characteristic of the varactors, which is dependant on the VCO output signal, in the two-dimensional differential equation system.

Using the Andronov-Hopf bifurcation analysis and the averaging method it is possible to determine an analytical, approximate solution for the amplitude and frequency of the periodic solution of the nonlinear differential equation system. Furthermore, the Andronov-Hopf bifurcation analysis allows to calculate the starting point of the stable periodic solution of the system in dependency of the VCO design parameters. Due to the consideration of the capacitance voltage characteristic of the varactors in the nonlinear VCO modeling it becomes possible to approximate the resulting VCO tuning characteristic under the influence of the VCO amplitude by means of the averaging method.

As a third method, the method of harmonic balance is used to calculate the periodic solution of the nonlinear differential equation system. In comparison to the averaging method and the Andronov-Hopf bifurcation analysis, the method of harmonic balance is a numerical method, which has the advantage to allow taking into account an adjustable number of higher harmonics in the calculation of the periodic solution. Since numerical iteration algorithms are used within the method of harmonic balance, good initial values are required to guarantee convergence to the desired physical solution. It is shown that the approximate solutions calculated by using the Andronov-Hopf bifurcation analysis and the averaging method are very well suited to be used as initial values for the method of harmonic balance.

The applicability of the systematic VCO design concept is shown by designing a 5.5 GHz LC tank VCO circuit for WLAN IEEE 802.11a applications and the simulation results are verified based on Spectre RF simulations.

Keywords: VCO design, LC tank VCO, MOS varactor, inversion-mode varactor, BSD varactor, Andronov-Hopf bifurcation analysis, averaging method, method of harmonic balance