Störarme und EMV-gerechte Gestaltung von HF-Leiterplatten, Teil 2

Richtlinien für das Design von HF-Leiterplatten gibt auch dieser zweite Teil mit dem Ziel, dem Entwickler Erfolg versprechende und Zeit sparende Techniken zu vermitteln, welche zudem noch die unkomplizierte Schaltungsoptimierung ermöglichen.

Eine gute Richtschnur für die möglichst problemlose Schaltungsoptimierung stellen die Kriterien und Techniken dar, welche Semtech für seine Referenz-Designs der XE/SX1200-Familie von RF ISM Band ICs entwickelt hat. Sie bilden auch die Grundlage der folgenden Ausführungen. Schritt für Schritt wird darin gezeigt, wie man das korrekte PCB Layout erreicht und wie man weiterhin noch jeden Schaltungsblock der HF-Architektur optimiert.

VCO und Loop-Filter

Die externe VCO-Koppelschaltung (Tank Circuit) der XE1200-Serie von Transceiver ICs besteht aus einer Spule L (und in einigen Fällen aus einem parallelen Kondensator) vor einem differentialen Eingang. Beim PCB Layout geht es darum, die Symmetrie dieses Gebietes zu erhalten. Denn wie in Teil 1 dargestellt, können PCB-Leitungs-Parasitics die Schaltungsfunktion beeinflussen und eine unerwünschte Abstrahlung bewirken. Um diese zu minimieren, sollten die Verbindungsleitungen so kurz als möglich gehalten werden.

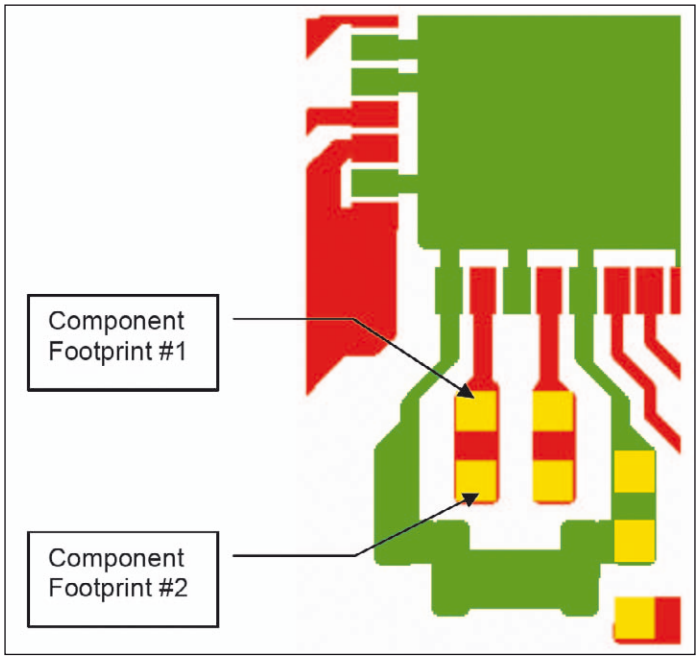


Bild 7: Typisches Layout einer VCO-Tank-Schaltung

Bild 7 illustriert das symmetrische PCB Layout der XE1200-Serie im VCO-Tank-Gebiet. Die Anschlüsse und Verbindungen wurden so kurz als möglich gehalten, und der ganze Schaltkreis wird von einem Masseband (Guard Band) umschlossen. Dieses minimiert nicht nur die Abstrahlung vom VCO, sondern verhindert auch das Eindringen von Störungen in den VCO selbst so gut wie nur möglich.

Man sollte wissen, dass die PCB-Leitungsführung fünf verschiedene Kombinationen der Komponenten ermöglicht:

- einfache Spule auf dem Footprint #1
- einfache Spule auf dem Footprint #2
- zwei parallele Spulen
- eine Spule auf Footprint #1 und ein Kondensator auf Footprint #2
- eine Spule auf Footprint #2 und ein Kondensator auf Footprint #1

Um eine mögliche induktive Kreuzkopplung zwischen VCO und Transmitter/Receiver-Blocks zu unterbinden, wird empfohlen, die VCO-Spule orthogonal (rechteckig versetzt) bezüglich der Transmitter-Ausgangsspule und der LNA-Balun-Spule anzuordnen. Prinzipiell nicht anders sollte man beim PLL-Loop-Filter vorgehen (Bild 8). Auch hier ist die PCB-Verbindung möglichst kurz zu halten, und die Loop-Filter-Bauteile werden von einem Masseband umschlossen. Sorgfalt sollte man in diesem Gebiet deshalb walten lassen, das jede Störung, die ins Loop-Filter gelangt, Störeffekte, wie besonders FM, im VCO selbst hervorrufen kann.

Nun zur Schaltungsoptimierung: Die VCO-Tank-Komponenten sollten so gewählt werden, dass die Loop-Filter-Fehlspannung VLFB etwa 1,2 V auf der Center-Frequenz beträgt. Dies sichert, dass sowohl VCO als auch PLL Synthesizer der XE1200-Serie innerhalb ihrer optimalen Arbeitsgebiete funktionieren, sodass auch die Steuerverstärkung des VCOs (MHz/V) und die Verstärkung der Phasendetektoren optimal sind. Eine Spule hoher Güte sollte benutzt werden, um maximale VCO-Ver-

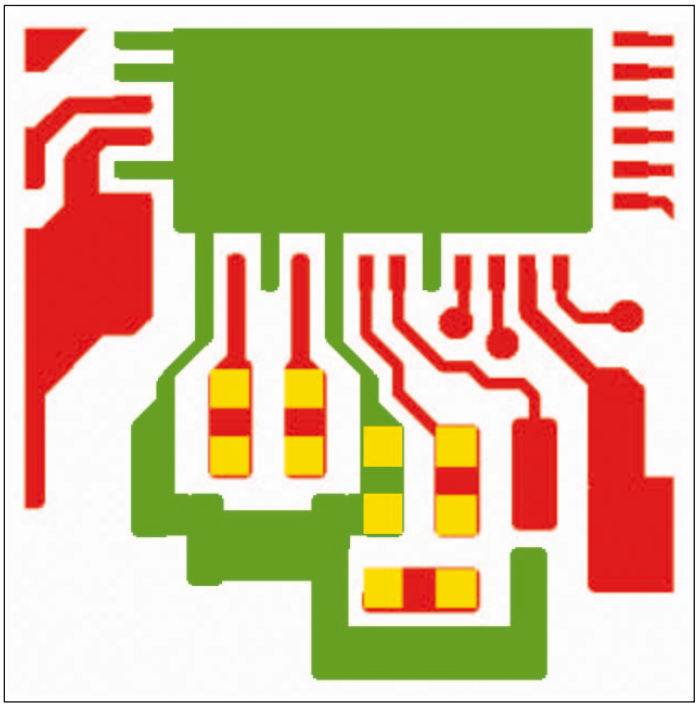
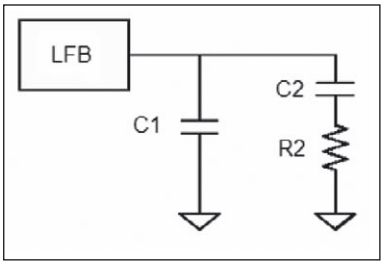


Bild 8: Layout und Bestückung für ein PLL-Loop-Filter

Quelle:
Semtech Application Note AN 1200.04
RF Design Guidelines: PCB Layout and Circuit Optimization
frei übersetzt von FS



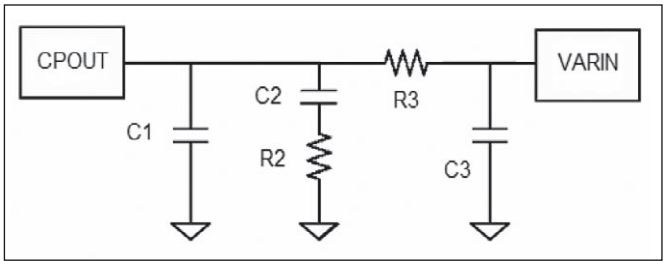


Bild 9: Loop-Filter zweiter Ordnung *Bild 10: Loop-Filter dritter Ordnung*

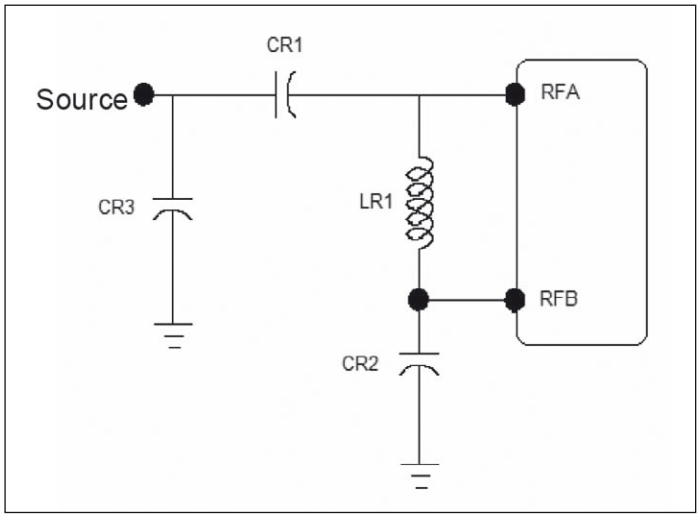


Bild 11: Typisches LNA Matching Network

stärkung und minimales Phasenrauschen in Kombination zu erreichen. Jedoch wenn die Herabsetzung der VCO-Abstrahlung am wichtigsten ist, dann sollte man eine Spule des Typs 0402 (Multilayer) benutzen. Da diese Multilayer-Spulen jedoch nicht immer symmetrisch bezüglich ihres Strahlungsverhaltens sind, muss dann mit Sorgfalt die optimale Lage erkundet werden.

Falls es möglich ist, dann kann man versuchen, den VCO mit einem externen Parallelkondensator an der Spule dahingehend zu optimieren, dass die Loop-Filter-Spannung im Center ihren optimalen Wert erreicht. Der Kondensator mindert ein wenig die Güte des Abstimmkreises. Sein Wert wird typisch unter 6,8 pF liegen. Man sollte die Toleranz beachten. Obwohl es möglich ist, solche Komponenten mit einer Toleranz von ±0,1 pF zu erhalten, weisen die meisten kommerziell erhältlichen Teile ±0,25 pF auf. Wenn die Steuerverstärkung des VCOs im Bereich um 130 MHz/V liegt, dann können Toleranzen von ±10% und größer das Funktionsgebiet des VCOs als auch die Funktion der PLL-Loop-Filter beeinträchtigen.

Semtechs Transmitter IC der Serie SX1223 enthalten einen integrierten VCO. Die entsprechenden Software Configuration Register Settings sichern hierbei, dass der VCO innerhalb seines optimalen Arbeitsbereichs betrieben wird.

Um die PLL-Loop-Filter zu optimieren, wird empfohlen, die im entsprechenden Semtech-Datenblatt angegebenen Werte und Dimensionierungen als Ausgangsvorlage zu verwenden. Die Produkte der Serie XE1200 sind mit einem externen Loop-Filter zweiter Ordnung ausgestattet (Bild 9). Auf dem Chip sind weitere Komponenten integriert, welche zu einem Filter dritter (Bild 10) oder höherer Ordnung führen. Der SX1223 kann mit einem Filter zweiter oder dritter Ordnung ausgestattet werden. Einsetzen sollte man Kondensatoren mit dielektrischem Material vom Typ COG/NPO, denn diese bieten geringste Verluste und hohe Stabilität. Semtech hat mehrere Applikationsberichte publiziert und stellt Tools zur Verfügung, um die PLL-Loop-Filter zu optimieren. Details findet man auf www.semtech.com.

Die Empfänger/ LNA-Schaltung

Die Anpassschaltung für die LNAs der Serie XE1200 zeigt Bild 11. Dieses kleine Netzwerk besteht aus dem Balun mit CR2 und LR1, um 180° Phasendrehung für die differentiellen Eingangsanschlüsse RFA und RFB zu erzeugen. CR1 und CR3 (falls erforderlich) dienen der Impedanztransformation und somit der Anpassung an die Quelle (Source) mit ihrer Impedanz von nominal 50 Ohm. Da der LNA einen Differenzeingang besitzt, sollte das PCB Layout entsprechend ausgelegt werden, um die Symmetrie möglicht wenig zu stören. Wie das geschehen kann, sieht man in Bild 12. Der Balun mit C5 und L3 dient der Erhaltung der Symmetrie am LNA Input (RFA, RFB). In diesem Beispiel liegt ein SAW Filter im un-balanced Weg zum LNA, welches die Außerband-Bloxkingfestigkeit (Out-of-Band Blocking Immunity) des Empfängers großartig verbessert. C4 und C6 erledigen die Impedanztransformation, sodass das SAW Filter mit der nominalen 50-Ohm-Impedanz erscheint. Semtech empfiehlt ein solches SAW Filter für die meisten

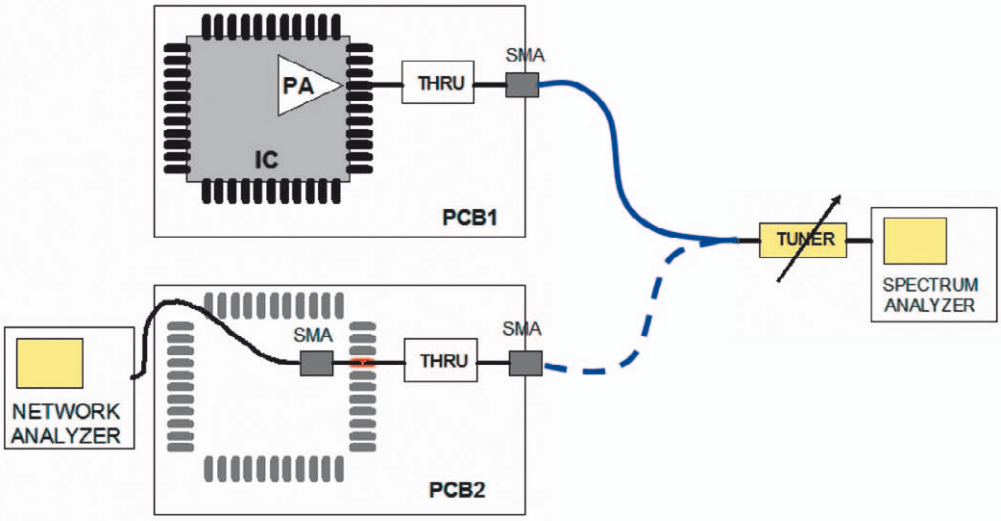


Bild 12: Beispiel für ein LNA PCB Layout

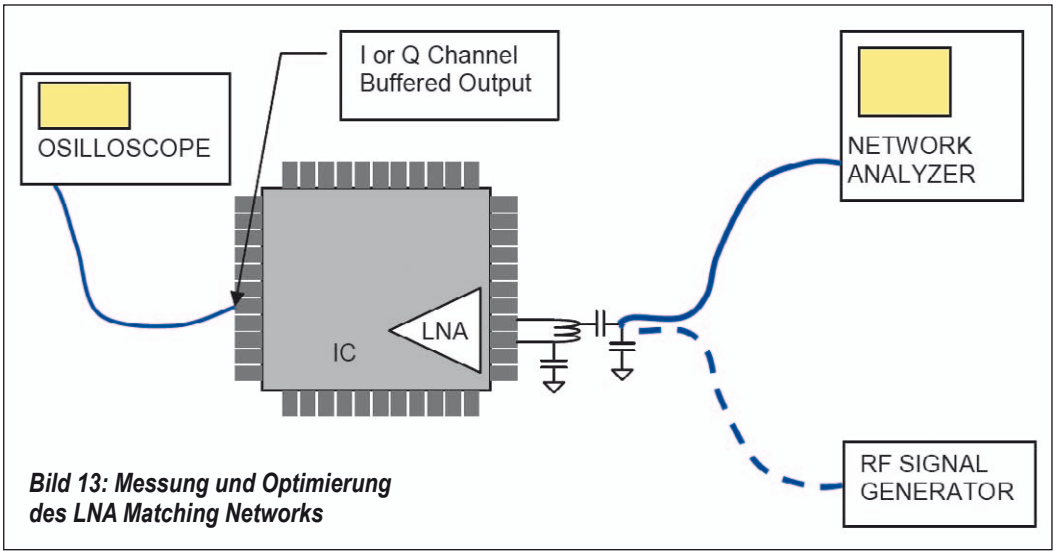


Bild 13: Messung und Optimierung des LNA Matching Networks

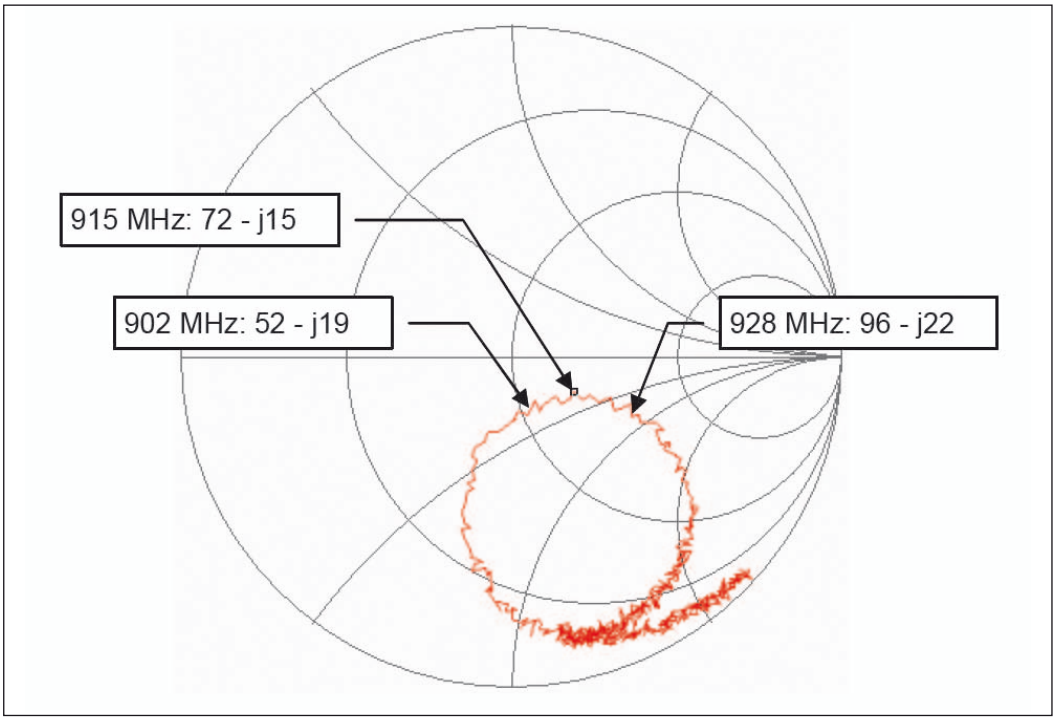


Bild 14: Reflektionskoeffizient eines optimierten LNA Matching Network Inputs bei 915 MHz

RF-Signalpegel in dBm	I/Q-Kanal-Signalpegel in mV (Spitze-Spitze)
-50	2650
-60	2500
-70	1300
-80	500
-90	150
-195	90
-100	45
-105	30

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen RF- und I/Q-Kanal-Signalpegel

Anwendungen, da ISM-Band-Geräte ihr Frequenzspektrum mit GSM/GPRS-Anwendungen teilen müssen, welche nahe am Bereich 863...870 MHz arbeiten, sowie mit Funk-Festnetzen im Bereich 902...928 MHz.

Die Eingangsimpedanz der XE1200 TrueRF Transceiver liegt bei 6 kOhm//0,5 pF. Sie kann mit einem Vector Network Analyzer, der balanced Ports erfassen kann, genau ermittelt werden. Hat man ein einfacheres Gerät, dann kann man sich mit einem 4:1-Spannungsbalun, etwa vom Transmission-Line-Typ, behelfen. Die Eingangsimpedanz des LNAs erscheint dann aufgrund ihres gegenüber 50 Ohm hohen Wertes im Smith Chart wie ein offenes Leitungsende.

Man beginnt die Schaltungsoptimierung dennoch am besten mit den in den Datenblättern von Semtech empfohlenen Bauteilwerten und Layoutvorschlägen und macht die folgenden Optimierungsschritte:

1. Anschluss des Schaltkreises gemäß Bild 13

2. Receiver Mode einstellen und LNA in Mode A bringen, Frequenzband und Baseband-Filterbandbreite festlegen durch entsprechendes Schreiben in die relevanten Konfigurationsregister

3. Feststellen der durch den Eingangs-Reflektionskoeffizienten S11 repräsentierten Eingangsimpedanz mit Matching Network, eventuell Optimierung (typisches Beispiel: Bild 14)

4. Um sich zu vergewissern, dass das LNA Matching Network optimiert ist, nutzt man die Pufferverstärker für I- und Q-Kanal, die man durch Beschreiben der relevanten Konfigurationsregister in den Enable-Zustand bring. Dies erlaubt die Darstellung von I- und Q-Signal am Ausgang des Baseband-Filters mit dem Oszilloskop.

5. RF-Signalgenerator für ein 2-FSK-Signal einstellen und dieses auf den Eingang des optimierten Matching Networks geben. Hierbei muss die Basisband-Filterbandbreite der dynamischen Single-Sideband-Bandbreite des FSK-Signals entsprechen.

Tabelle 1 nennt typische Spitze-Spitze-Signalpegel am Ausgang des I- und Q-Pufferverstärkers in Abhängigkeit vom RF-Signalpegel am Eingang des LNA Matching Networks. Misst man S11 und die Signale in den I/Q-Kanälen, dann kann man sehr schnell erkennen, ob das LNA Matching Network optimal ausgeführt wurde.

Fortsetzung in Heft 12