# Anpassungsschaltungen und Balun-Übertrager für die Mischer-Familie RFFC207x und RFFC507x, Teil1



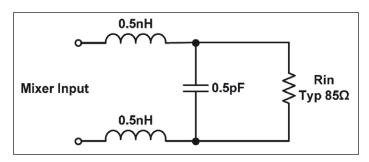


Bild 1: Mischereingang mit parasitären Komponenten

# 1. Einführung

RFFC207x und RFFC507x sind monolitische Mischer mit integrierter Frequenzerzeugung durch einen Fractional-N-Synthesizer und einen VCO. Die Mischer sind breitbandig ausgeführt und können für Aufwärtsund Abwärtsmischung verwendet werden. Der RFFC207x deckt den Frequenzbereich von 30 MHz bis 2700 MHz ab, der RFFC507x ist bis zu 6000 MHz geeignet.

Da die Mischer mit doppeltsymmetrischen Gilbert-Zellen aufgebaut sind, müssen alle Anschlüsse symmetrisch oder differentiell sein. Der LO-Port des Mischers wird intern über symmetrische Puffer-Verstärker angesteuert. Bei vielen Anwendungen können die Mischer-Einund Ausgänge über geeignete Anpass- bzw. Symmetrierglieder direkt verbunden werden, wie z.B. SAW-Filter, LNAs oder ZF-Verstärker. Bei Anwendungen, in denen der Mischer mit nichtsymmetrierten, oder einseitig geerdeten Komponenten verbunden wird, ist ein externer Balun erforderlich. Neben der Umwandlung von symmetrisch zu unsymmetrisch kann der Balun auch eine Impedanz-Transformation bzw. die Anpassung an die charakteristischen System-Impedanzen von  $50\,\Omega$  oder  $75\,\Omega$  übernehmen.

Diese Applikation beschreibt die Implementierung von Baluns und Anpassschaltungen für die Mischer-Ports der Bauelemente-Familien RFFC207x und RFFC507x. Die geeignetste Implementation hängt von der Anwendung und dem Frequenzschema ab. Die Kompromisse zwischen den verschiedenen Möglichkeiten werden diskutiert.

### 2. Die Mischer-Anschlüsse

Dieser Abschnitt beschreibt die differentiellen Mischer-Einund Ausgänge. Einfache Port-Modelle werden vorgestellt, zusammen mit den Anforderungen an die Anpassungs-Schaltungen und Baluns.

#### 2.1 Mischer-Eingänge

Der Mischer hat einen breitbandigen Eingang mit gemeinsamem Gate. Die Eingangs-Impedanz wird durch den Term 1/g<sub>m</sub> bestimmt, der umgekehrt proportional zur Höhe des eingestellten Mischerstroms ist. Am Mischereingang liegt eine geringe Shunt-Kapazität, die Gate-Kapazität des Bauelements. Bei höheren Frequenzen treten zusätzliche parasitäre Impedanzen auf, die immer bedeutsamer werden, z.B. die Induktivität des Bond-Drahtes von ungefähr 0,5 nH, gemeinsam mit Gehäuse- und PCB-Streukapazitäten. Das Modell in Bild 1 liefert eine gute Annäherung der Mischer-Eingangsimpedanz.

Der Widerstandsterm  $R_{\rm IN}$  beträgt ungefähr 85  $\Omega$  bei der vorgegebenen Mischer-Strom-Einstellung, (100). Tabelle 1 zeigt, wie sich der Widerstand bei verschiedenen Strömen ändert.

Am Mischereingang sind ein Balun und eine Anpassschaltung erforderlich, um eine unsymmetrische 50-Ω-Quelle auf die vorhandene, komplexe symme-

Mischerstrom Einstellung	001	010	011	100	101
Mischerstrom (mA)	5	10	15	20	25
Typisch $R_{IN}(\Omega)$	135,0	105,0	90,0	85,0	77,5

Tabelle 1: Änderung des Widerstands in Abhängigkeit vom eingestellten Strom

Unter Verwendung der Integrated Synthesizer/Mixer Application Note: "Matching Circuits and Baluns for the Product Families RFFC207x and RFFC507". RF MICRO DEVICES www.rfmd.com

2

hf-praxis 10/2016

trische Impedanz zu transformieren. AC-Kopplung ist ebenfalls erforderlich. Die Eingangsschaltung könnte dann wie in Bild 2 aussehen.

#### 2.2 Mischer-Ausgänge

Bild 3 ist ein Modell, das die typische Impedanz des differentiellen Mischerausgangs zeigt. Er ist hochohmig und besteht aus einem Widerstand von 2 bis 3 k $\Omega$  in Parallelschaltung mit einer Kapazität. Die Bonddrähte haben jeweils eine Induktivität von ca. 0,5 nH. Bei höheren Frequenzen machen sich die Induktivität und die Streukapazität stärker bemerkbar. Speziell die Streukapazität am Ausgang bewirkt den Mischverstärkungsabfall bei höheren Frequenzen.

Der Mischerausgang benötigt nicht die sonst oft erforderliche konjugierte Anpassung; er muss lediglich einen induktiven Widerstand sehen. Der Mixer-Ausgang liefert einen Konstantstrom, so dass ein höherer Lastwiderstand für höhere Ausgangsspannung und größere Verstärkung sorgt. Eine passende Parallelinduktivität kann - zusammen mit der Mischerausgangskapazität - bei der interessierenden Frequenz Resonanz erzeugen, um die Mischverstärkung zu verbessern. Diese Induktivität ist bei niedrigeren Frequenzen vernachlässigbar, da die Impedanz der Ausgangskapazität hier wenig signifikant ist.

Der Mischerausgang wurde für das Treiben einer Last zwischen  $50 \Omega$  und  $500 \Omega$  ausgelegt. Ein höherer Lastwiderstand bedeutet auch höhere Spannung und Leistung am Ausgang, und daher wird typischerweise ein 4:1-Balun vorgesehen. Er führt nicht nur die Umwandlung von symmetrisch zu unsymmetrisch aus, sondern transformiert auch die unsymmetrische Last von  $50 \Omega$  in die am Mischerausgang gewünschten 200 Ω. Der Nachteil einer höheren Lastimpedanz besteht darin, dass der Verstärkungsabfall des Mischers - aufgrund der Ausgangskapazität signifikanter ist.

Über den Balun kann auch die Versorgungsgleichspannung zugeführt werden, die an den Mischerausgangspins benötigt wird. AC-Kopplung ist an den Balun-Ausgängen erforderlich. Die typische Beschaltung der Mischerausgänge könnte so aussehen, wie Bild 4 zeigt.

Die Impedanz S22, die man beim Blick zurück vom 50-Ω-Ausgang sieht, besteht aus dem hohen Mischer-Ausgangswiderstand, der über den Balun transformiert wird. Daher liegt eine große Fehlanpassung vor. Ein 220-Ω-Widerstand (R1) über dem Mischerausgang verbessert bei einem 4:1-Balun die Ausgangsimpedanz. Diese Maßnahme verringert jedoch die Ausgangsspannung auf ungefähr die Hälfte, die restliche Leistung wird im Widerstand in Wärme umgesetzt, was die Mischverstärkung um ungefähr 6 dB reduziert. Eine Shunt-Induktivität (L1) über dem Mischerausgang kann mit der Ausgangs-Kapazität auf der Betriebsfrequenz Resonanz herstellen.

Um den Mischerausgang an einen typischen, symmetrischen 200- $\Omega$ -ZF-Eingang anzupassen, könnte die Schaltung in Bild 5 eingesetzt werden. Die beiden Induktivitäten L1 und L2 dienen dazu, den Mischer mit VDD zu versorgen. Ihre Größe wurde so gewählt, dass die Gesamtinduktivität mit der Mischerausgangskapazität auf der ZF in Resonanz gerät. Der 220-Ω-Shunt-Widerstand, parallel zum Mischerausgangswiderstand, legt die Impedanz beim Rückblick in den Mischerausgang auf 200  $\Omega$  fest. AC-Kopplung erfolgt mit C2 und C3, die Entkopplung der Stromversorgung übernimmt C1. Der Wert dieser Kondensatoren muss sorgfältig gewählt werden, abhängig vom Frequenzplan der Anwendung.

# 3. Breitbandige Leitungstransformator-Baluns

Die Evaluation-Boards der Familie RFFC207x enthalten Leitungstransformator-Baluns von RFMD. Sie wurden vor-

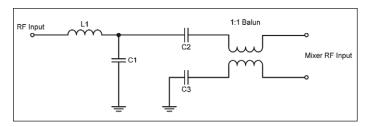


Bild 2: Eingangsschaltung des Mischers zur Umwandlung von unsymmetrisch auf symmetrisch

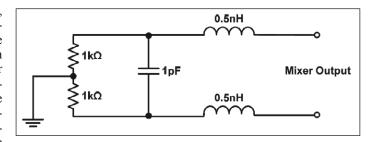


Bild 3: Typische Impedanz des Mischerausgangs

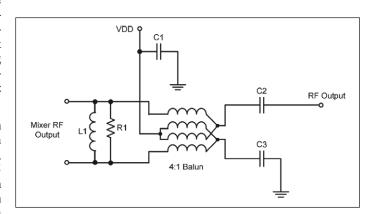


Bild 4: Typische Ausgangsbeschaltung eines Mischers

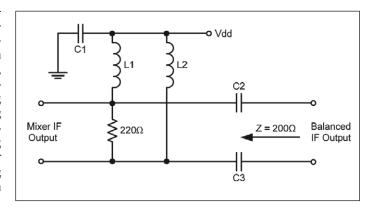


Bild 5: 200-Ω-Anpassung des Mischerausgangs

gesehen, um eine breitbandige Untersuchung und Charakterisierung des Bauelements zu ermöglichen. Breitband-Baluns sind von einer Vielzahl von Herstellern wie z.B. Mini Circuits, M/A-COM Technology Solutions, SYNERGY MICRO-WAVE und anderen erhältlich. Diese Komponenten sind ideal für Breitband-Anwendungen, denn sie haben den Vorteil, dass

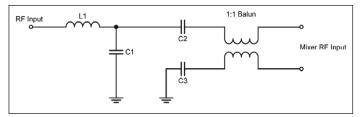


Bild 6: Eingangs-Konfiguration auf dem RFC207x-Evaluation-Board

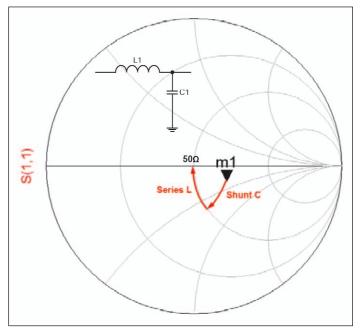


Bild 7: LC-Schaltung zur Verbesserung der Anpassung bei speziell interessierenden Frequenzen

sie an den Mischer-Ports für eine korrekte, symmetrische Last über einen weiten Frequenzbereich sowie für gute LO- und HF-Unterdrückung am Ausgang sorgen. Breitband-Baluns können auch leicht für Schmalband-Applikationen angepasst werden. Abhängig jedoch von den Anforderungen der jeweiligen Anwendung könnte ein optimierter Schmalband-Balun mit Anpassung (siehe Abschnitt 4 und 5) einen besseren Kompromiss hinsichtlich Kosten, Größe und Leistungsfähigkeit bieten.

## 3.1 Mischer-Eingänge

Die Schaltung gemäß Bild 6 kann an den Mischer-Eingängen einer Breitband-Applikation verwendet werden. Dies ist die Konfiguration auf den RFFC207x-Evaluation-Boards.

Bei dem 1:1-Balun handelt es sich um den Leitungstransformator RFXF9503, der den Frequenzbereich von 5 MHz bis 3000 MHz abdeckt. Die Größe der AC-Koppelkondensatoren C2 und C3 muss für gute Leistung über den gesamten Frequenzbereich sorgfältig ausgewählt werden. 100 pF wurden auf den Evaluation-Boards vorgesehen.

Die LC-Anpassschaltung kann zusätzlich eingesetzt werden, um die Anpassung bei besonders interessierenden Frequenzen zu verbessern, wie Bild 7 zeigt. Über 1 GHz kann aber eine andere Anpassungs-Topologie erforderlich werden, da die Auswirkungen der Streukapazitäten sich immer stärker bemerkbar machen.

Man sieht, dass diese Konfiguration für eine gute, breitbandige Rücklaufdämpfung von 15 dB im Bereich von 750 MHz bis über 2000 MHz sorgt.

Um die Rücklaufdämpfung bei niedrigen Frequenzen noch zu verbessern, können die AC-Koppelkondensatoren auf 1 nF erhöht und zusätzlich LC-Anpassung vorgesehen werden. Zum Beispiel wurden bei 140 MHz 47 nH (L1) und 8,2 pF (C1) verwendet.

Über 2000 MHz beginnt die Leistungsfähigkeit des Baluns stetig nachzulassen, und der Einfluss der parasitären Impedanzen der PCB und des Bauelements gewinnt mehr und mehr an Bedeutung. Daher ist oberhalb von 2000 MHz Anpassung erforderlich. Dabei könnte eine andere Konfiguration des

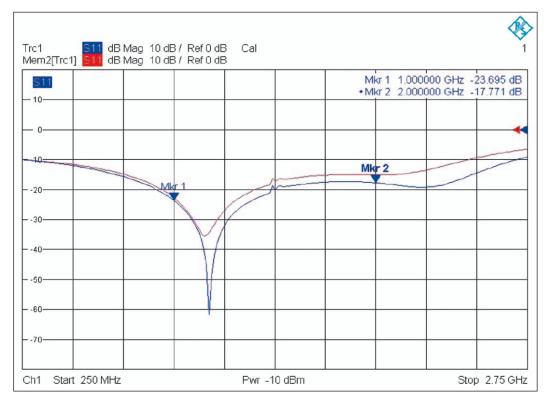


Bild 8: Verlauf der Eingangs-Rücklaufdämpfung des RFFC2071-Evaluation-Boards, gemessen am SMA-Eingang der beiden Mischer mit standardmäßiger Stromeinstellung (4/20 mA). Die rote Spur gehört zu Mischer 1, die blaue zu Mischer 2. Die Komponenten hatten – ohne Anpassung – folgende Werte (Tabelle 2):

Balun	RFXF9503	
L1	0 Ω Link	
C2, C3	100 pF	
C1	-	

4 hf-praxis 10/2016

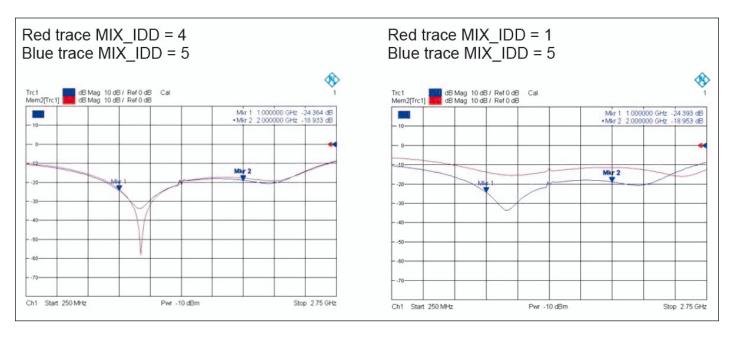


Bild 9a und 9b: Eingangs-Rücklaufdämpfung des RFFC2071

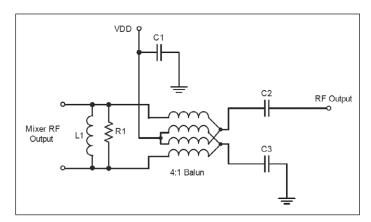


Bild 10: Breitbandige Beschaltung des Mischerausgangs

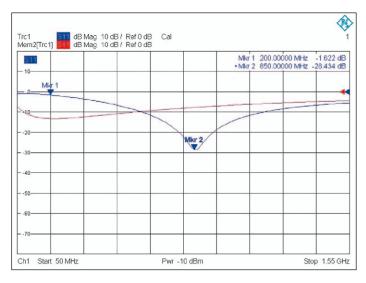


Bild 11: RFFC2071 Ausgangsrücklaufdämpfung von Mischer 2: Die rote Spur zeigt die Ausgangsrücklaufdämpfung des Mischers mit R1 = 220  $\Omega$ . Die blaue Spur gilt für R1 = 220  $\Omega$  und L1 von 33 nH, was zu einer guten Ausgangsanpassung bei 850 MHz führt

LC-Transformators notwendig werden, abhängig von der gewünschten Betriebsfrequenz und dem PCB-Layout. Die folgenden Plots zeigen den Einfluss der Mischerstrom-Einstellung auf die Rückflussdämpfung. Sie verbessert sich mit höherem Strom, während der Widerstand in Richtung zu 50 Ω abnimmt.

#### 3.2 Mischer-Ausgänge

Die Schaltung in Bild 10 kann für eine Breitband-Anwendung an den Mischer-Ausgängen vorgesehen werden. Dies ist auch die Konfiguration der RFFC207x-Evaluation-Boards.

Der standardmäßig auf den Evaluation-Boards verwendete 4:1-Balun ist der RFXF8553-Leitungsübertrager, der den Frequenzbereich von 500 MHz bis 2500 MHz abdeckt. Diese Komponente arbeitet aber auch noch unter der spezifizierten Grenzfrequenz von 500 MHz. Eine Alternative für niedrige Ausgangsfrequenzen ist der Transformator RFXF6553, der den Frequenzbereich von 10 MHz

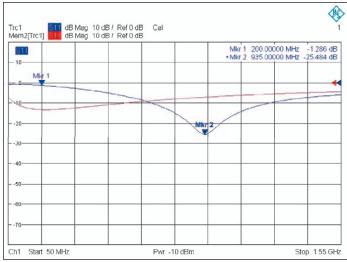


Bild 12: Die rote Spur ist der Verlauf der Mischerausgangs-Rücklaufverluste mit R1 = 220  $\Omega$ . Die blaue Spur gilt für R1 = 220  $\Omega$  und L1 = 27 nH, was für eine gute Ausgangsanpassung bei 935 MHz sorgt.

hf-praxis 10/2016 5

bis 1900 MHz abdeckt. Die Mittenanzapfung der Sekundärwicklung des Transformators wird zur Zuführung der Gleichspannung zum Mischer verwendet. Die Größe der AC-Koppelkondensatoren C2 und C3, sowie des Entkopplungskondensators C1, muss sorgfältig ermittelt werden, um gutes technisches Verhalten über den gewünschten Frequenzbereich zu erhalten; für die Evaluation-Boards wurde 100 pF gewählt. Auf den Evaluation-Boards sind R1 und L1 nicht bestückt. Diese Komponenten können dazu verwendet werden, die Ausgangs-Rückflussdämpfung bei bestimmten Frequenzen zu erhöhen, falls erforderlich.

Für R1 kann ein Widerstand von 220 Ω über die Mischer-Ausgänge gelegt werden, um die Impedanz beim Blick rückwärts in den Ausgang zu erhöhen. Dadurch entstehen jedoch zusätzliche Verluste. Die Induktivität L1 kann hinzugefügt werden, um Anpassung bei bestimmten interessierenden Frequenzen durch Resonanz mit der Mischerausgangskapazität zu bewirken. Dies verdeutlichen die Plots in Bild 11 und 12. Die Plots in Bild 13 zeigen den Verlauf der Mischdämpfung in Abhängigkeit von verschiedenen Ausgangs-Anpassungsschaltungen mit dem Transformator RFX8553. Die Spur ohne Anpassung zeigt den Abfall der Verstärkung mit der Frequenz aufgrund der Ausgangskapazität des Mischers. Fügt man einen 220-Ω-Widerstand hinzu, um die Ausgangs-Rücklaufdämpfung zu verbessern, sinkt die Verstärkung um ca. 5 dB ab, aber man sieht, dass die geringere Ausgangslast die Verstärkungsabsenkung verringert. Die vorgesehene 27-nH-Parallelinduktivität erzeugt eine Resonanzspitze der Verstärkung bei 950 bis 1000 MHz.

Die Mischverstärkung könnte durch einen 8:1- oder sogar einen 16:1-Balun erhöht werden, jedoch werden für höhere Impedanzverhältnisse keine Breitband-Baluns angeboten. Der TC8-1 von Mini-Circuits zum Beispiel ist ein 8:1-Balun,

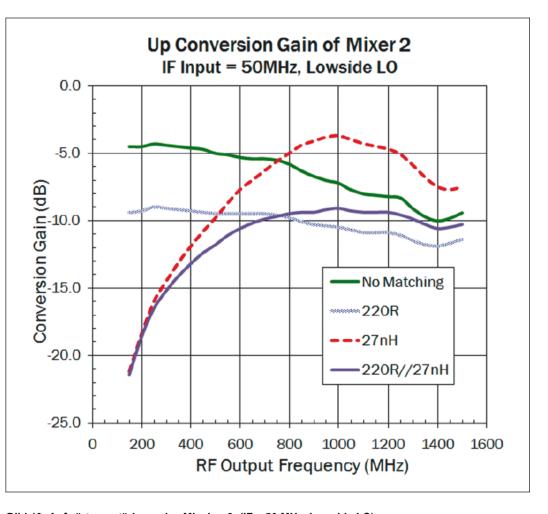


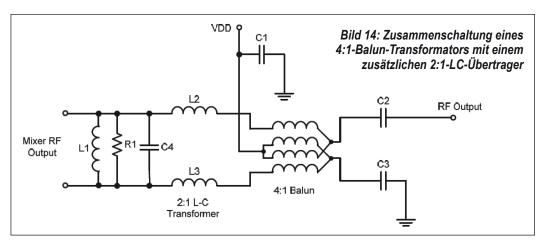
Bild 13: Aufwärtsverstärkung des Mischer 2 (IF = 50 MHz, Lowside LO)

der den Frequenzbereich von 2 MHz bis 500 MHz abdeckt. Ein 2:1-Transformator aus konzentrierten Elementen kann mit einem 4:1-Balun kombiniert werden, so dass man ein Transformationsverhältnis von insgesamt 8:1 erhält. Der 2:1-Übertrager könnte ein L-C-Transformator, ein kapazitiver Transformator, oder sogar ein angezapfter Schwingkreis-Kondensator C sein. Diese Lösung begrenzt aber ebenfalls die maximale Bandbreite. Bild 14 zeigt als Beispiel eine Schaltung für einen 4:1-Balun-Transformator mit einem zusätzlichen 2:1-LC-Transformator.

Beachten Sie, dass die Versorgungsspannung des Mixers über L2 und L3 zugeführt wird. In diesem Fall wäre R1 = 51  $\Omega$ ,

was 400  $\Omega$  parallel mit dem Mischerausgangs-Widerstand ergibt. Die Werte der LC-Komponenten im 2:1-Transformator und die Parallel-Induktivität L1 müssen justiert werden, um optimale Ausganganpassung mit der vorhandenen Mischerausgangskapazität zu erhalten.

Fortsetzung und Schluss folgen in Heft 11



6 hf-praxis 10/2016