



GR533x RF PA应用指南

版本： 1.5

发布日期： 2025-04-22

版权所有 © 2025 深圳市汇顶科技股份有限公司。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得对本手册内的任何部分擅自摘抄、复制、修改、翻译、传播，或将其全部或部分用于商业用途。

商标声明

GOODiX 和其他汇顶商标均为深圳市汇顶科技股份有限公司的商标。本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人持有。

免责声明

本文档中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

深圳市汇顶科技股份有限公司（以下简称“GOODiX”）对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。GOODiX对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。

未经GOODiX书面批准，不得将GOODiX的产品用作生命维持系统中的关键组件。在GOODiX知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

深圳市汇顶科技股份有限公司

总部地址：深圳市福田区梅康路1号汇顶科技总部大厦26楼

电话：+86-755-33338828 邮编：518000

网址：www.goodix.com

前言

编写目的

本文档主要介绍GR533x RF PA应用设计指导，包括PA选型、匹配电路设计、应用配置，旨在帮助开发者快速构建GR533x RF应用电路。

读者对象

本文适用于以下读者：

- 芯片用户
- 开发人员
- 测试人员
- 技术支持工程师

版本说明

本文档为第6次发布，对应的产品为GR533x系列。

修订记录

版本	日期	修订内容
1.0	2023-10-18	首次发布
1.1	2023-11-08	更新RF PA应用配置。
1.2	2024-01-16	• 更新GR5331 SPA/UPA 7元件匹配电路中的C4电容值。 • 新增GR5331 SPA FCC谐波抑制方法。
1.3	2024-06-06	更新匹配电路参数。
1.4	2024-09-18	新增GR5330芯片支持。
1.5	2025-04-22	• “SPA/UPA 7元件匹配”中增加GR5331 BGA45芯片的匹配电路说明。 • 更新“芯片系列配置”和“系统电源配置”中的代码。

目录

前言..... I

1 GR533x RF收发机..... 1

 1.1 GR5332 RF收发机..... 1

 1.2 GR5331/GR5330 RF收发机..... 2

2 GR533x RF PA介绍..... 3

 2.1 HPA.....3

 2.2 SPA..... 3

 2.3 UPA.....4

3 GR533x RF PA匹配电路.....5

 3.1 GR5332 RF PA匹配电路..... 5

 3.1.1 HPA/SPA 6元件匹配..... 5

 3.2 GR5331/GR5330 RF PA匹配电路..... 6

 3.2.1 SPA/UPA 7元件匹配..... 6

 3.2.2 UPA 5元件匹配.....7

4 GR533x RF PA应用配置.....10

 4.1 应用场景..... 10

 4.2 软件配置..... 10

 4.2.1 芯片系列配置.....10

 4.2.2 PA配置..... 11

 4.2.3 系统电源配置.....11

1 GR533x RF收发机

GR533x芯片集成2.4 GHz射频（Radio Frequency，RF）收发机，具有出色的RF性能，并支持根据产品型号适配功率放大器（Power Amplifier，PA），为用户提供灵活选择，以满足不同的发射功率应用需求。

本章分别介绍GR5332和GR5331/GR5330收发机的系统框图及工作原理。

1.1 GR5332 RF收发机

GR5332 RF收发机的系统框图如下所示：

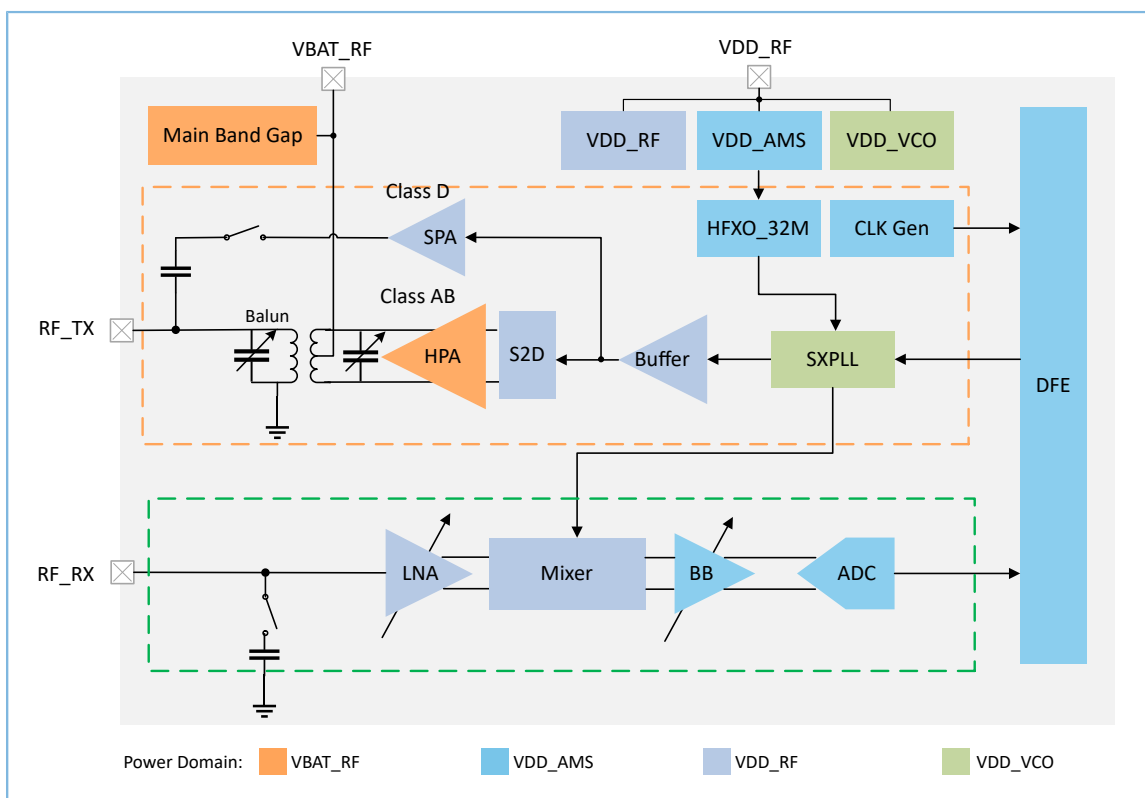


图 1-1 GR5332 RF收发机框图

- 接收机
 1. 天线接收到射频信号后，按照“低噪声放大器（Low Noise Amplifier，LNA）> 混频器（Mixer）> 基带（Baseband，BB）放大器 > 模数转换器（Analog-to-Digital Converter，ADC）”的接收路径处理并输出数字信号。
 2. 数字信号被发送至数字前端（Digital Frontend，DFE）进行解调。
 3. 数字前端提供自动增益控制（Automatic Gain Control，AGC）反馈信号，调整LNA和BB放大器的增益，以实现满足要求的最大信噪比（SNR）。
- 发射机
 1. 数字前端将数字信号传输给锁相环（SXPLL）进行高频键控（GFSK）调制。

2. 调制载波经过Buffer发送至PA（HPA或SPA）进行功率放大处理，且放大系数可由数字增益配置。
3. 功率放大后的调制载波被发送至天线，再由天线将载波通过电磁波向外辐射。

说明:

- 若PA为HPA，则调制载波进行功率放大之前还需经单端转差分结构（S2D）处理。
 - SXPll参考时钟由外部32 MHz晶振提供。
-
- 电源
 - VBAT_RF为GR5332芯片内部的主Bandgap以及HPA供电。
 - VDD_RF为RF输入电源，为VDD_RF/VDD_AMS/VDD_VCO模块供电。其中，VDD_RF为射频模拟电路供电；VDD_AMS为时钟模块和接收机基带模块供电；VDD_VCO为SXPll供电。

1.2 GR5331/GR5330 RF收发机

GR5331/GR5330 RF收发机的系统框图如下所示：

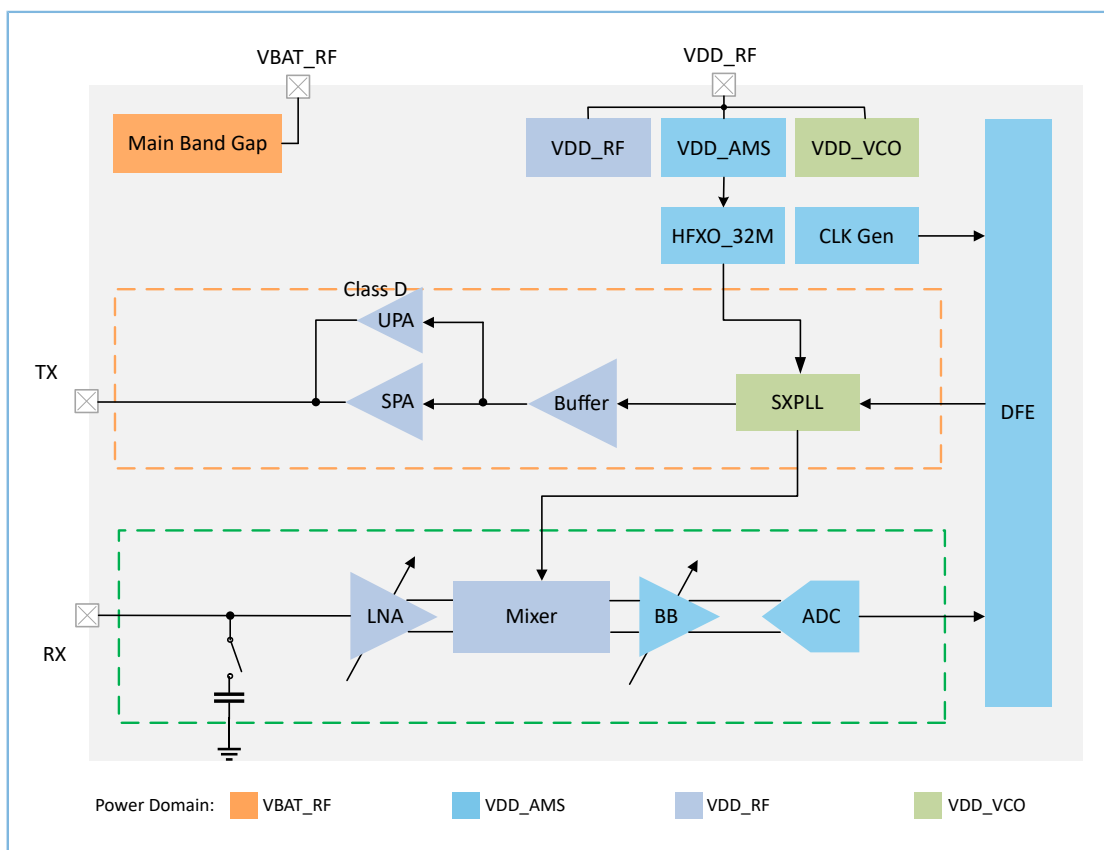


图 1-2 GR5331/GR5330 RF收发机框图

GR5331/GR5330 与GR5332的RF收发机基本类似，区别仅在于：GR5331/GR5330发射机中使用的PA为SPA或UPA，且UPA有助于实现更低功耗。

2 GR533x RF PA介绍

本章主要介绍GR533x RF PA的特性，以帮助用户快速选型。

不同类型RF PA适用于不同GR533x芯片系列，具体如下表所示：

表 2-1 RF PA适用的GR533x芯片系列

PA类型	产品系列		
	GR5330	GR5331	GR5332
HPA	/	/	√
SPA	√	√	√
UPA	√	√	/

 提示：

“√”表示适用；“/”表示不适用。

2.1 HPA

高功率放大器（High Power Amplifier，HPA）仅适用于GR5332系列芯片，其主要特性为：

表 2-2 HPA特性

适用芯片	TX输出功率范围	电源模式	PA架构	匹配器件数量
GR5332	- 10 dBm~15 dBm	SYS_LDO	Class AB	6

 提示：

- GR5332 VBAT_RF引脚为HPA供电，需连接4.7 μF去耦电容，以保证RF PHY性能。针对FCC谐波抑制，还需增加一个3.9 pF并联电容。并且，Layout时应将pF电容靠近VBAT_RF引脚。
- 当应用选择使用HPA时，系统的电源模式必须切换为SYS_LDO。如果采用DC-DC，无法驱动HPA正常工作。

2.2 SPA

小功率放大器（Small Power Amplifier，SPA）适用于GR533x全系列，其主要特性为：

表 2-3 SPA特性

适用芯片	TX输出功率范围	电源模式	PA架构	匹配器件数量
GR5332	- 20 dBm~5 dBm	SYS_LDO/DC-DC	Class D	6
GR5331/GR5330	- 20 dBm~6 dBm	SYS_LDO/DC-DC	Class D	7

 提示:

- 当应用选择使用SPA时，系统电源模式可以选择SYS_LDO或者DC-DC。若系统只采用SYS_LDO供电，可以节省DC-DC电感BOM，但会增加功耗。详细功耗差异，请参考《GR533x Datasheet》中的“Radio Current Consumption”章节。
- 针对GR5331/GR5330 SPA FCC谐波抑制，VBAT_RF引脚上需连接一个2.0 pF电容。并且，Layout时应将pF电容靠近VBAT_RF引脚。

2.3 UPA

超小功率放大器（Ultra-low Power Amplifier，UPA）仅适用于GR5331/GR5330系列，其主要特性为：

表 2-4 UPA特性

适用芯片	TX输出功率范围	电源模式	供电电压	PA架构	匹配器件数量
GR5331/GR5330	- 15 dBm~2 dBm	SYS_LDO/DC-DC	$VDD_{RF} \leq 1.2\text{ V}$ 典型值：1.05 V	Class D	5

 提示:

在TX输出功率为0 dBm的应用场景中， 推荐使用UPA，有助于实现更低功耗。

3 GR533x RF PA匹配电路

本章将详细介绍GR533x RF PA匹配电路设计，包括参考原理图以及推荐BOM等。

3.1 GR5332 RF PA匹配电路

3.1.1 HPA/SPA 6元件匹配

GR5332芯片应用使用HPA或SPA时，可共用一套匹配参数，RF PA匹配电路推荐采用6元件匹配（3个电感和3个电容），参考原理图如下所示：

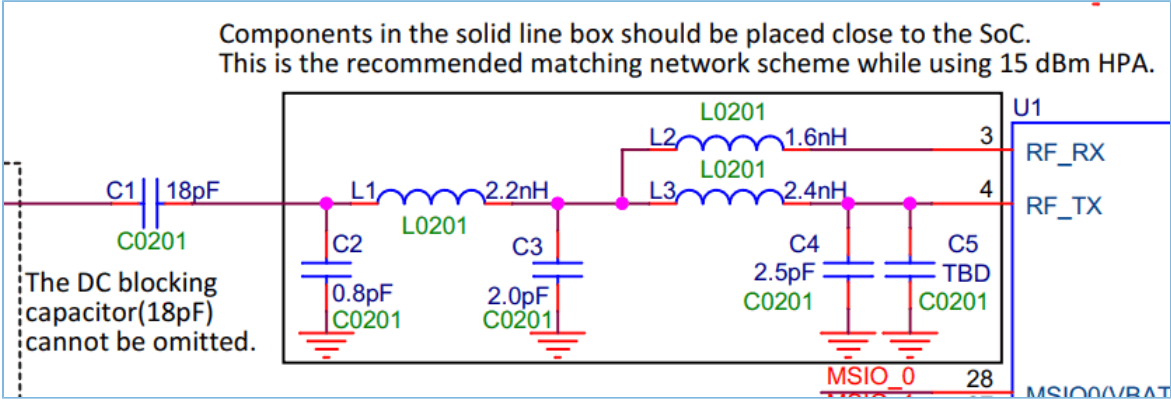


图 3-1 GR5332系列6元件匹配电路

推荐的匹配器件选型如下：

表 3-1 推荐的匹配器件（电容、电感）

位号	描述	值	封装（英制）	制造商/型号
C1	CAP、CER、18 pF、+/- 5%、NPO、0201、50 V、- 55°C~+125°C	18 pF	0201	Murata GRM0335C1H180JA01
C2	CAP、CER、0.8 pF、+/- 0.05 pF、NPO、0201、50 V、- 55°C~+125°C	0.8 pF	0201	Murata GRM0335C1HR80WA01
C3	CAP、CER、2.0 pF、+/- 0.1 pF、NPO、0201、50V、- 55°C~+125°C	2.0 pF	0201	Murata GRM0335C1H2R0BA01
C4	CAP、CER、2.5 pF、+/- 0.1 pF、NPO、0201、50V、- 55°C~+125°C	2.5 pF	0201	Murata GRM0335C1H2R5BA01
L1	Inductor、CHIP、2.2 nH、±0.1 nH、200 mohms、Q = 14@ 250 MHz、- 55°C~+125°C、0201	2.2 nH	0201	Murata LQP03TN2N2B02
L2	Inductor、CHIP、1.6 nH、±0.1 nH、150 mohms、Q = 14@ 250 MHz、- 55°C~+125°C、0201	1.6 nH	0201	Murata LQP03TN1N6B02
L3	Inductor、CHIP、2.4 nH、±0.1 nH、200 mohms、Q = 14@ 250 MHz、- 55°C~+125°C、0201	2.4 nH	0201	Murata LQP03TN2N4B02

说明:

C1（18 pF）为隔直电容且不能省略，用于连接天线匹配网络与RF PA匹配网络。

基于上述参考的6元件匹配电路，GR5332芯片的RF性能参数为：

表 3-2 GR5332 RF性能参数

PA类型	电源模式	TX输出功率 (典型值)	RX灵敏度 (典型值)	TX功耗电流(mA) @ VBAT 3.3 V	RX功耗电流(mA) @ VBAT 3.3 V	传导谐波
HPA	SYS_LDO = 1.15 V	15 dBm	- 99 dBm	86.3 @15 dBm TX output power	12	≤ - 40 dBm
SPA	DC-DC = 1.15 V	5 dBm	- 98.5 dBm	7.9 @ 5 dBm TX output power	4.9	≤ - 40 dBm
SPA	DC-DC = 1.05 V	4 dBm	- 98.5 dBm	7.7 @ 4 dBm TX output power	4.9	≤ - 40 dBm

提示:

- 相较于DC-DC电源模式，系统采用SYS_LDO电源模式时的全频段RX灵敏度可提升0.5 dBm~1 dBm。
- 采用SPA和DC-DC电源模式时，将DC-DC电压从1.05 V提高到1.15 V，SPA典型输出功率将增加1 dBm。

3.2 GR5331/GR5330 RF PA匹配电路

3.2.1 SPA/UPA 7元件匹配

GR5331/GR5330 QFN封装芯片应用使用SPA或UPA时，可共用一套匹配参数，RF PA匹配电路推荐采用7元件匹配（3个电感和4个电容），参考原理图如下所示：

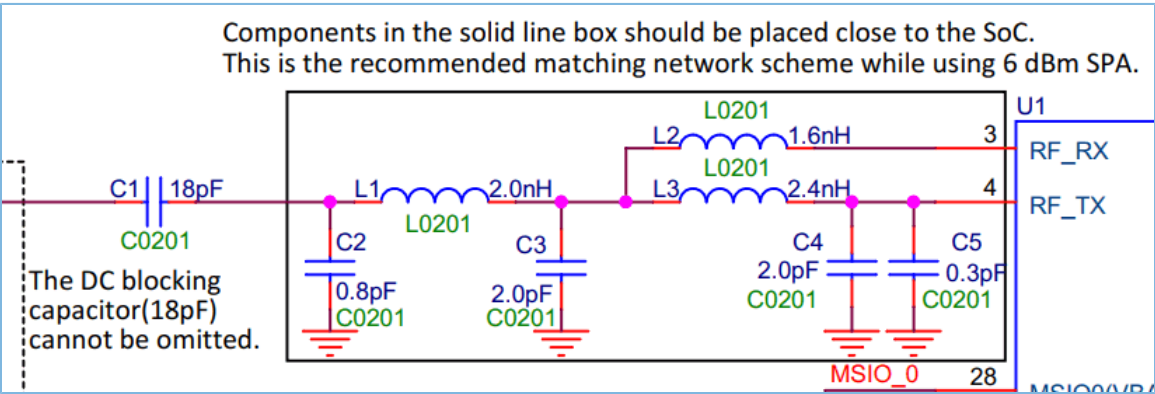


图 3-2 GR5331/GR5330系列（QFN封装）7元件匹配电路

说明:

GR5331 BGA45封装芯片（GR5331DEBI）的匹配电路与上图电路有所差异，具体请参考《GR533x Reference Design》中对应芯片的参考电路。

推荐的匹配器件选型如下：

表 3-3 推荐的匹配器件（电容、电感）

位号	描述	值	封装（英制）	制造商/型号
C1	CAP、CER、18 pF、+/- 5%、NPO、0201、50 V、- 55°C~+125°C	18 pF	0201	Murata GRM0335C1H180JA01
C2	CAP、CER、0.8 pF、+/- 0.05 pF、NPO、0201、50 V、- 55°C~+125°C	0.8 pF	0201	Murata GRM0335C1HR80WA01
C3、C4	CAP、CER、2.0 pF、+/- 0.1 pF、NPO、0201、50V、- 55°C~+125°C	2.0 pF	0201	Murata GRM0335C1H2R0BA01
C5	CAP、CER、0.3 pF、+/- 0.05 pF、NPO、0201、50 V、- 55°C~+125°C	0.3 pF	0201	Murata GRM0335C1HR30WA01
L1	Inductor、CHIP、2.0 nH、±0.1 nH、200 mohms、Q = 14@ 250 MHz、- 55°C~+125°C、0201	2.0 nH	0201	Murata LQP03TN2N0B02
L2	Inductor、CHIP、1.6 nH、±0.1 nH、150 mohms、Q = 14@ 250 MHz、- 55°C~+125°C、0201	1.6 nH	0201	Murata LQP03TN1N6B02
L3	Inductor、CHIP、2.4 nH、±0.1 nH、200 mohms、Q = 14@ 250 MHz、- 55°C~+125°C、0201	2.4 nH	0201	Murata LQP03TN2N4B02

说明:

C1（18 pF）为隔直电容且不能省略，用于连接天线匹配网络与RF PA匹配网络。

基于上述参考的7元件匹配电路，GR5331/GR5330芯片的RF性能参数为：

表 3-4 GR5331/GR5330 RF性能参数

PA类型	电源模式	TX输出功率 （典型值）	RX灵敏度 （典型值）	TX功耗电流(mA) @ VBAT 3.3 V	RX功耗电流(mA) @ VBAT 3.3 V	传导谐波
SPA	DC-DC = 1.15 V	6 dBm	- 97.5 dBm	9.7 @ 6 dBm TX output power	4.7	≤ - 40 dBm
SPA	DC-DC = 1.05 V	5 dBm	- 97.5 dBm	7.9 @ 5 dBm TX output power	4.7	≤ - 40 dBm
UPA	DC-DC = 1.05 V	2 dBm	- 97.5 dBm	4.6 @ 0 dBm TX output power	4.7	≤ - 40 dBm

3.2.2 UPA 5元件匹配

在TX输出功率为0 dBm的应用场景中，GR5331/GR5330芯片应用推荐使用UPA，且RF PA匹配电路推荐采用5元件匹配（2个电感和3个电容），可实现更低功耗，参考原理图如下所示：

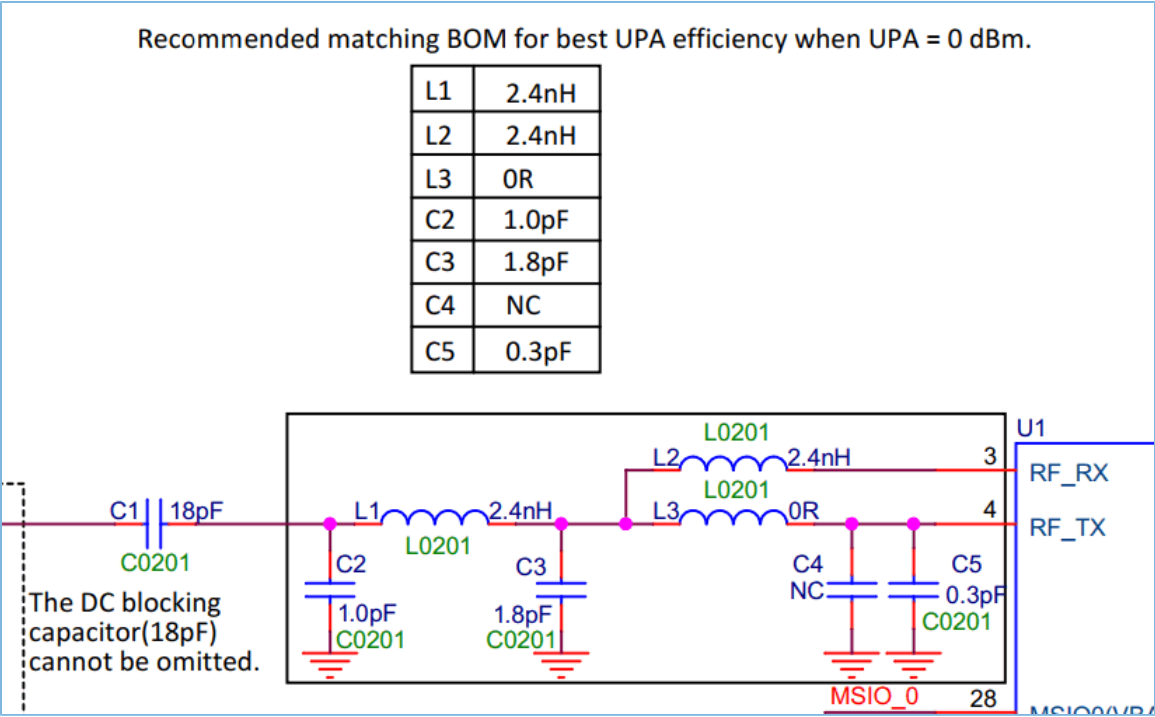


图 3-3 GR5331/GR5330系列5元件匹配电路

推荐的匹配器件选型如下：

表 3-5 推荐的匹配器件（电容、电感）

位号	描述	值	封装（英制）	制造商/型号
C1	CAP、CER、18 pF、+/- 5%、NPO、0201、50 V、- 55℃ ~+125℃	18 pF	0201	Murata GRM0335C1H180JA01
C2	CAP、CER、1.0 pF、+/- 0.1 pF、 NPO、0201、50 V、- 55℃ ~+125℃	1.0 pF	0201	Murata GRM0335C1H1R0BA01
C3	CAP、CER、1.8 pF、+/- 0.1 pF、 NPO、0201、50V、- 55℃ ~+125℃	1.8 pF	0201	Murata GRM0335C1H1R8BA01
C5	CAP、CER、0.3 pF、 +/- 0.05 pF、 NPO、0201、50 V、- 55℃~+125℃	0.3 pF	0201	Murata GRM0335C1HR30WA01
L1/L2	Inductor、CHIP、2.4 nH、+/- 0.1 nH, 200 mohm, Q = 14@250 MHz, - 55℃ to +125℃, 0201	2.4 nH	0201	Murata LQP03TN2N4B02

说明:

C1（18 pF）为隔直电容且不能省略，用于连接天线匹配网络与RF PA匹配网络。

基于上述参考的5元件匹配电路，GR5331/GR5330芯片的RF性能参数为：

表 3-6 GR5331/GR5330 RF性能参数

PA类型	电源模式	TX输出功率 (典型值)	RX灵敏度 (典型值)	TX功耗电流(mA) @ VBAT 3.3 V	RX功耗电流(mA) @ VBAT 3.3 V	传导谐波
UPA	DC-DC = 1.05 V	2 dBm	-97.5 dBm	3.8 @ 0 dBm TX output power	4.7	≤ -40 dBm

4 GR533x RF PA应用配置

本章主要介绍GR533x RF PA的应用场景以及软件配置。

4.1 应用场景

GR533x芯片系列在不同应用场景下，可以选择不同的RF PA匹配电路参数，以实现性能与功耗的完美平衡。

表 4-1 GR533x RF PA应用场景

应用场景最大功率	15 dBm	6 dBm	2 dBm
芯片系列	GR5332	GR5331/GR5330	GR5331/GR5330
PA类型	HPA	SPA	UPA
匹配器件数量	6	7	5

4.2 软件配置

GR533x RF PA应用时，需根据应用场景需求，配置应用工程中的相关参数，包括芯片系列、PA类型以及电源模式。

表 4-2 应用工程配置参数

PA类型	HPA	SPA		UPA
芯片系列	GR5332	GR5332/ GR5331/GR5330		GR5331/GR5330
电源模式	SYS_LDO	DC-DC/SYS_LDO		DC-DC/SYS_LDO
供电电压（V）	1.15	1.05	1.15	1.05
功率范围（dBm）	[- 10, 15]	GR5332: [- 20, 4] GR5331/GR5330: [- 20, 5]	GR5332: [- 20, 5] GR5331/GR5330: [- 20, 6]	[- 15, 2]

 提示:

在应用工程的`custom_config.h`文件中进行参数配置。

4.2.1 芯片系列配置

根据实际使用的芯片，配置宏CHIP_TYPE。

```
// <o> Chip version
#ifndef SOC_GR533X
#define SOC_GR533X
#endif

// <o> Select chip type
// <0=> GR5330AENI
// <1=> GR5331AENI
```

```
// <2=> GR5331CENI
// <3=> GR5332AENE
// <4=> GR5332CENE
// <5=> GR5331DEBI
#ifndef CHIP_TYPE
#define CHIP_TYPE 4
#endif
```

4.2.2 PA配置

根据应用TX输出功率需求，选择合适的PA，配置宏RF_TX_PA_SELECT。

```
// <o> RF TX PA select
// <1=> BLE_RF_TX_MODE_SPA_MODE (-20~6 dBm TX power for GR5331/GR5330, -20~5 dBm TX power
for GR5332)
// <2=> BLE_RF_TX_MODE_UPA_MODE (-15~2 dBm TX power for GR5331/GR5330)
// <3=> BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE (-10~15 dBm TX power for GR5332)
#ifndef RF_TX_PA_SELECT
#define RF_TX_PA_SELECT 1
#endif
```

4.2.3 系统电源配置

根据实际使用的系统电源模式，配置宏SYSTEM_POWER_MODE。

```
// <o> System power mode
// <0=> DCDC MODE
// <1=> SYSLDO MODE(if BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE used, SYSLDO must be used)
#ifndef SYSTEM_POWER_MODE
#if (RF_TX_PA_SELECT == 3)
#define SYSTEM_POWER_MODE 1
#else
#define SYSTEM_POWER_MODE 0
#endif
#endif
```

提示:

选择HPA时，需特别注意将系统电源模式切换为SYS_LDO模式。