

CC2340 系统降低成本的方案剖析

Albin Zhang

Wireless connectivity solution

摘要

德州仪器 (TI) CC2340R 产品是系列面向 2.4GHz 频段应用的超低功耗无线 SoC，结合 TI 的 SDK，可以实现蓝牙，Zigbee，Thread，私有无线等通信网络协议。具有集成度高、宽温度范围、低成本、低功耗、优秀的射频性能等特点。包括了一颗高性能 RF core、ARM cortex-M0+ 处理器、电源管理以及丰富的外设资源。

CC2340R 系列产品主打中低端 2.4GHz 频段市场，具有非常实惠的价格和低成本的硬件设计架构。

本文针对 CC2340R52E0RKPR 5.0mm X 5.0mm QFN40 封装的参考设计做了进一步的降低成本的分析，主要从 PCB 叠层结构、射频前端的匹配电路、电源的架构、参考时钟晶体的选项等方面，提供了具体的分析和验证。为客户提供了几种降低系统成本方案参考。

目录

1	CC2340 简介	3
1.1	CC2340	3
2	参考设计介绍	3
2.1	原理图解析	4
2.2	Layout 解析	6
3	降成本的方案	7
3.1	电源的外围电路	7
3.2	休眠外部时钟的简化	8
3.3	射频前端的简化	8
3.4	叠层结构的简化 – 1 layer PCB	9
3.4.1	PCB layout	9
3.4.2	射频线阻抗控制	10
3.4.3	电源的处理	11
3.4.4	测试报告	12
3.4.5	通信距离仿真	25
4	总结	25
5	参考文档	25

Figures

图 1	CC2340R5 的系统框图	3
图 2	开发板 LP-EM-CC2340R5 + LP-XDS110ET	4
图 3	参考设计电源外围电路	4
图 4	电源系统框图	5
图 5	射频低通匹配电路的传输函数仿真	6
图 6	PCB 板的叠层结构	6

图 7 Layout	7
图 8 电源电路的 LDO 模式	7
图 9 LDO 和 DCDC 模式电压/电流曲线	8
图 10 不使用 32.768kHz 晶振	8
图 11 直通射频 LF 匹配电路的发射功率和杂散	9
图 12 双面板更改到单面板	10
图 13 射频微带线 CPW 的计算	11
图 14 电源电容的接地回流处理	11
图 15 灵敏度测试报告	14

1 CC2340 简介

1.1 CC2340

德州仪器（TI）CC2340R 系列是一款面向 2.4GHz 频段应用的超低功耗无线 SoC；是高度集成、低成本的解决方案，包括了一颗高性能 RF core、ARM cortex-M0+处理器、电源管理以及丰富的外设资源。系统框图如图 1 所示。详细资料请参考产品规格书【1】。

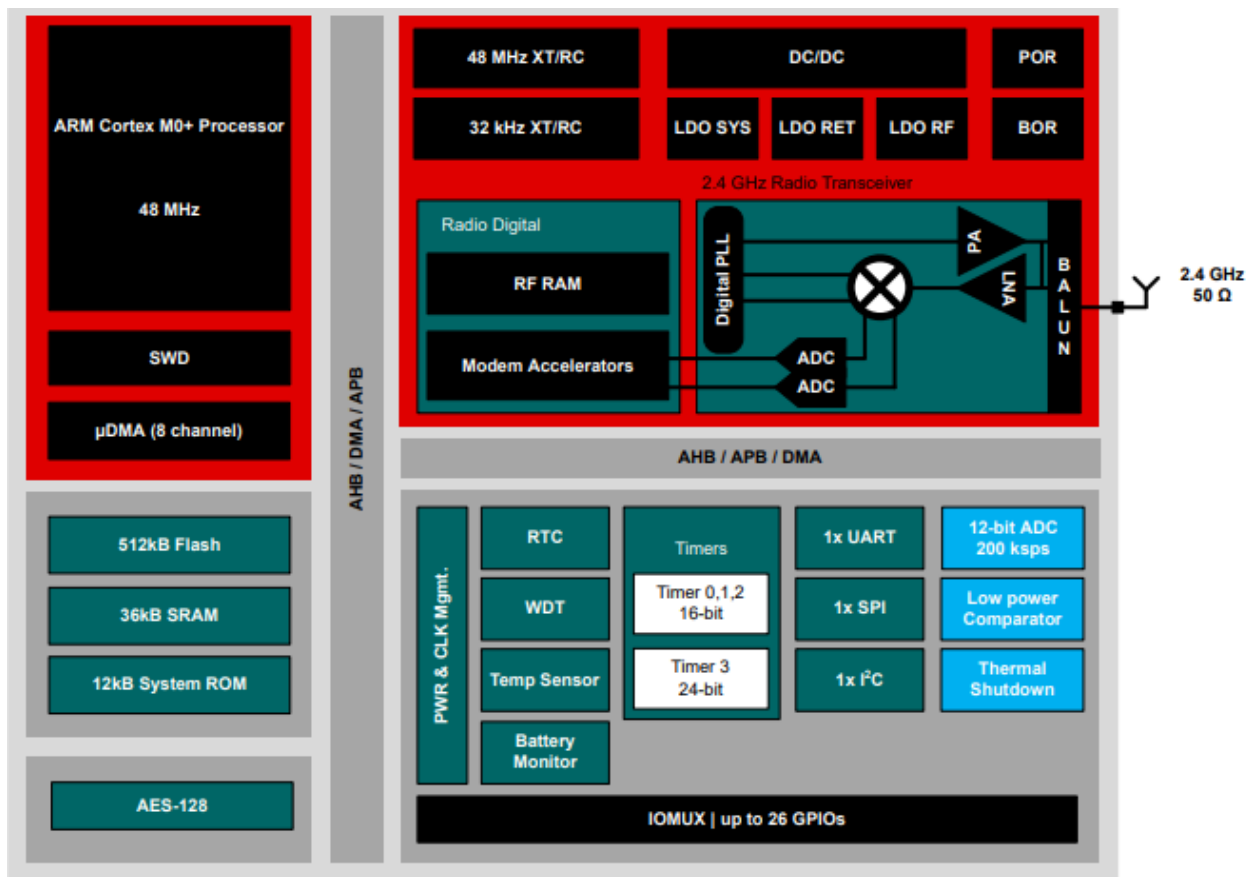


图 1 CC2340R5 的系统框图

该系列芯片有 512KB QFN40/QFN24 和 256KB QFN24 三个版本的芯片。并具有车规级 CC2340R52E0WRHBRQ1 蓝牙方案。

2 参考设计介绍

硬件开发板 [LP-EM-CC2340R5](#) 是针对 CC2340R5 硬件、射频参考设计。配套 LP-XDS110 或 LP-XDS110ET（附带 energy trace 功能）可以实现仿真、调试的功能。这些开发板在 TI 的线上商城都可以申请。



图 2 开发板 LP-EM-CC2340R5 + LP-XDS110ET

LP-EM-CC2340R5 的设计文件可以在 TI 产品目录下下载。参考文档【2】

如图 3 所示，参考设计采用了 2-layer PCB 的叠层结构，除了仿真接口和 DIO 之外，核心参考设计还包括射频电路、Power on Reset RC 电路、电源及时钟电路构成。本文也重点分析射频、电源、时钟和 PCB 叠层的降成本方案和相应的指标影响。

2.1 原理图解析

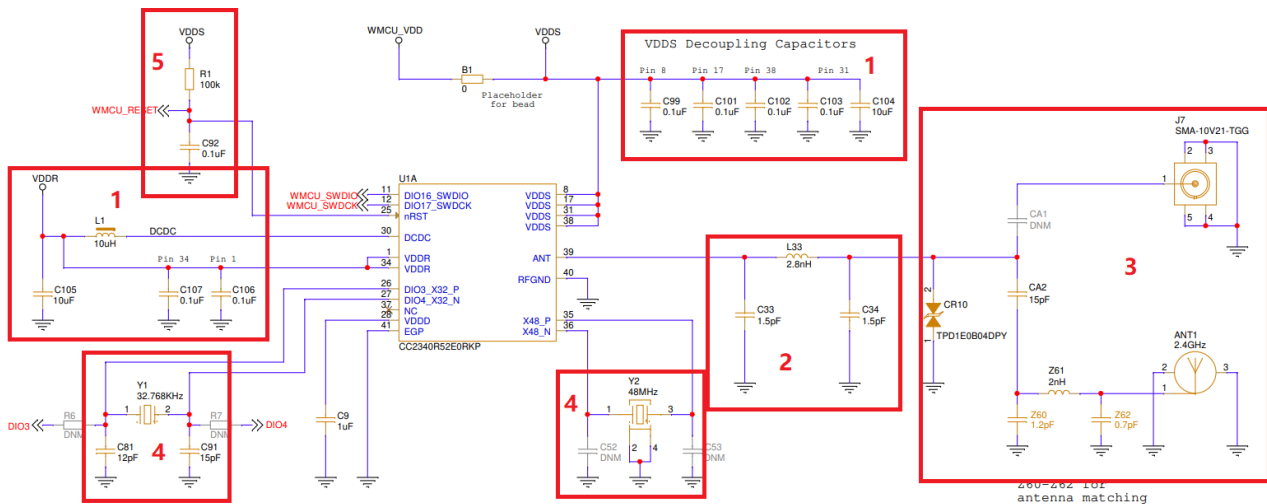


图 3 参考设计电源外围电路

下面针对参考原理图做如下解析，方便对于后续降本方案的理解。

1. 电源：

下图为芯片内部的电源系统框图，主电源由两种电源架构二选一为芯片内部不同电压域供电，分为全局 LDO mode 和 DCDC mode。默认的参考设计为 DCDC 模式，外围电路由输入电容、输出电感和电容以及给相应管脚的退耦电容构成。

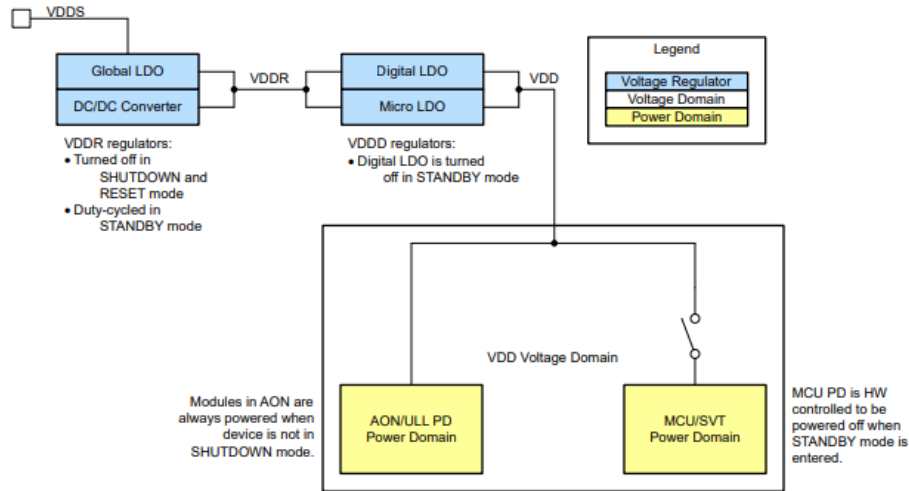
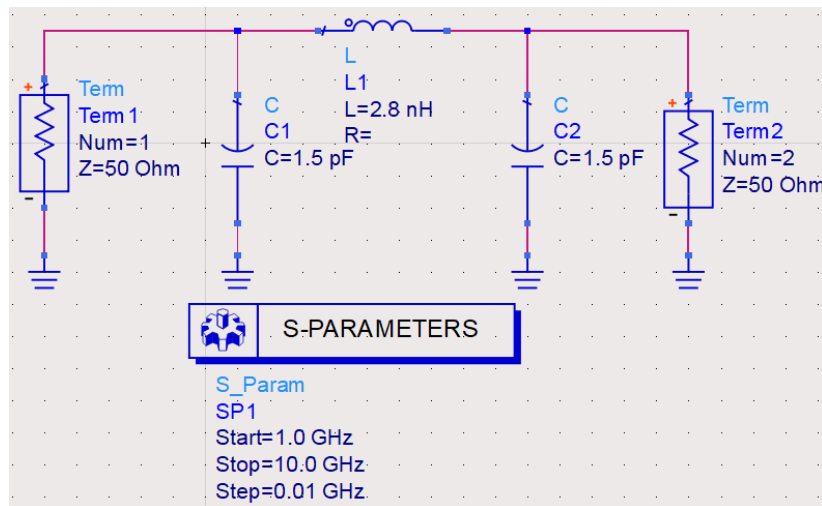


图 4 电源系统框图

2. 低通匹配滤波电路

参考设计采用了 Pi型的低通型匹配电路，在优化匹配的同时，提供了低通的传输特性用来抑制高次谐波。如下图 5 为按照集总参数模型对 S21 传输函数的仿真结果，可以看到，该电路对高次谐波有很好的抑制性能，并且通带插损也在可接受范围。



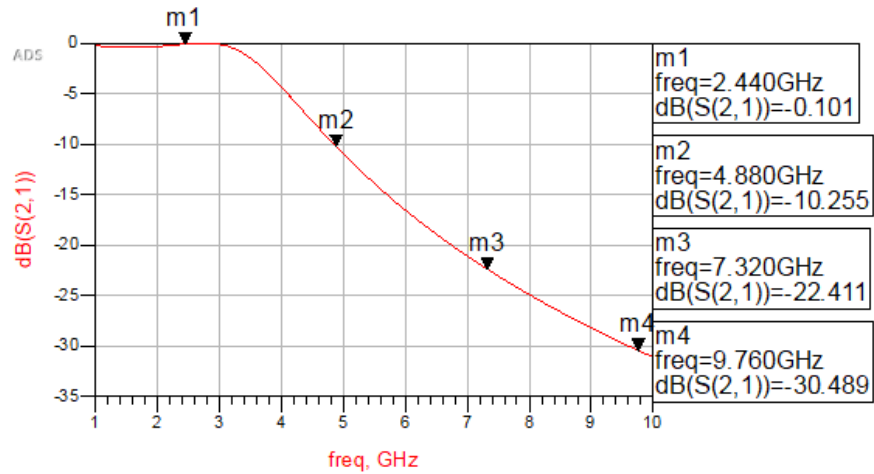


图 5 射频低通匹配电路的传输函数仿真

3. 天线匹配及防 ESD 电路。在实际设计当中，如果天线不会暴露在 ESD 场景中，ESD 二极管可以不需要。
4. 时钟源电路。包括休眠时钟和射频参考时钟。
5. Reset RC 电路。

2.2 Layout 解析

CC2340 的 layout 采用了低成本两层的叠层结构。具体参数如图 6 所示。

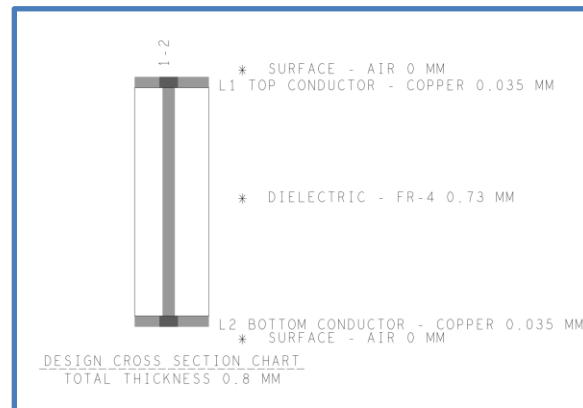


图 6 PCB 板的叠层结构

图 7 为参考设计的截图，源文件为 Cadence 格式，可以在 TI 的产品目录下下载。[LP-EM-CC2340R5 Design Files](#)

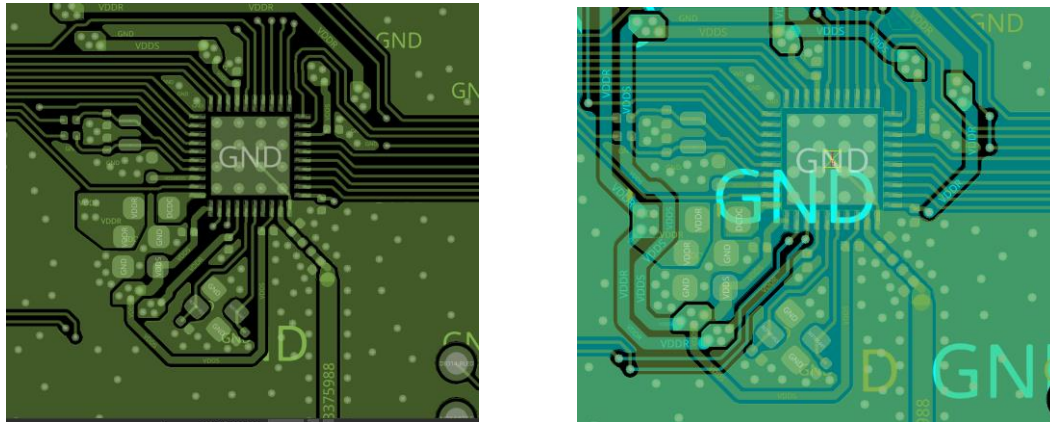


图 7 Layout

从图中可以看出，这个布板设计对射频线和时钟电路都做了非常好的保护，以及为主电源DCDC的输入输出电容的接地回流设计了很好的通路。

3 降成本的方案

3.1 电源的外围电路

如在 2.1 章节中描述，芯片的主电源为全局 LDO 模式或者 DCDC 模式。TI 默认的参考设计为 DCDC 模式，参考设计中，需要的基础外设为输入输出电容 10uF 和输出电感 6.8uH。对于功耗不敏感的设备来说，为了降低成本，可以采用节省 eBOM 的 LDO 模式。

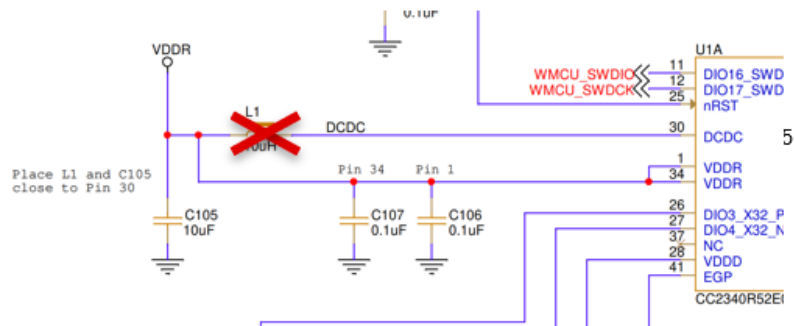


图 8 电源电路的 LDO 模式

但是，由于 LDO 的特性，势必会影响整机的工作电流，特别是在发射、接收、处理器工作的情况下。下图 9 为评估 DCDC 模式和 LDO 模式的方法。具体曲线可以参阅规格书的相关章节。

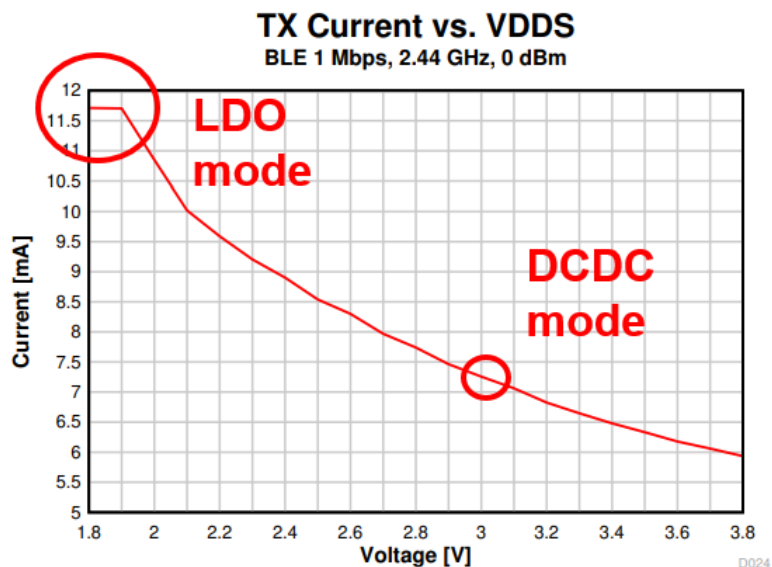


图 9 LDO 和 DCDC 模式电压/电流曲线

3.2 休眠外部时钟的简化

不同协议下对于休眠时钟精度的要求是不一样的，比如蓝牙协议栈定义了休眠时钟精度为 500ppm。CC2340R 内部集成了 RC 振荡电路，在满足一定条件下可以提供满足协议栈休眠时钟 sleep clock accuracy (SCA) 要求。

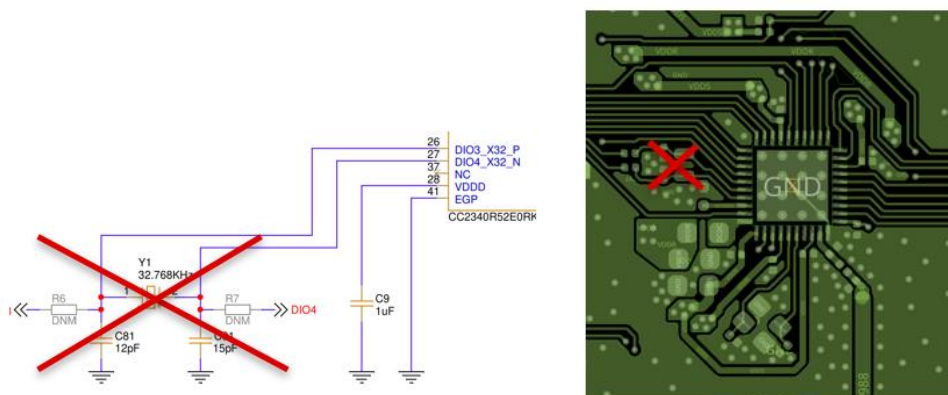


图 10 不使用 32.768kHz 晶振

具体关于不使用 32.768kHz 外部时钟晶体的使用方法和场景限制，请参考文档 [Running Bluetooth® Low Energy on CC13x2/CC26xx Without a 32 kHz Crystal \(Rev. C\)](#)

总的来说，尺寸和价格会大大减小，但是功耗会略有增加。

3.3 射频前端的简化

首先说明，射频前端的设计 TI 强烈推荐客户复制 TI 在原理图和 layout 的参考设计。而且本章节实验证明，这部分电路是必须需要的。

有些客户提出是否可以节约射频前端器件，从而不但节约了射频器件成本，而且可以让贴片成本进一步降低。但是如 2.1 章节对于射频前端电路的分析，这一部分电路对于高次谐波的抑制以及带内匹配很重要。

笔者对于射频前端做了直通处理，图 11 显示了这个改动对高次谐波和发射功率影响很大，结论就是必须使用这一部分参考设计。

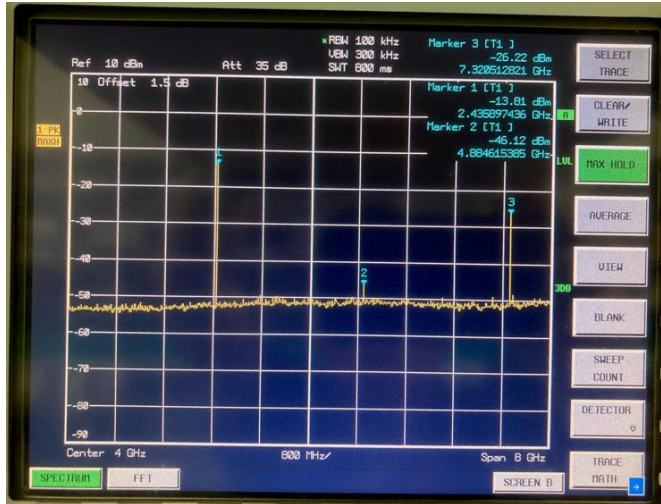


图 11 直通射频 LF 匹配电路的发射功率和杂散

3.4 叠层结构的简化 – 1 layer PCB

基于笔者对双面板和单面板市场价格的理解，价格差距约为 15% 左右。这个价格差别对于大尺寸的电路板来说，还是很具有意义的。所以，笔者对参考设计做了单面板的设计挑战。

3.4.1 PCB layout

图 12 是从双面板改为单面板的截图。本改动也最大程度的保护关键敏感电路免受干扰，比如射频晶振和射频电路，以及电源和回流地。

对于数据线和电源线的交叉，采用了跳线的方式。

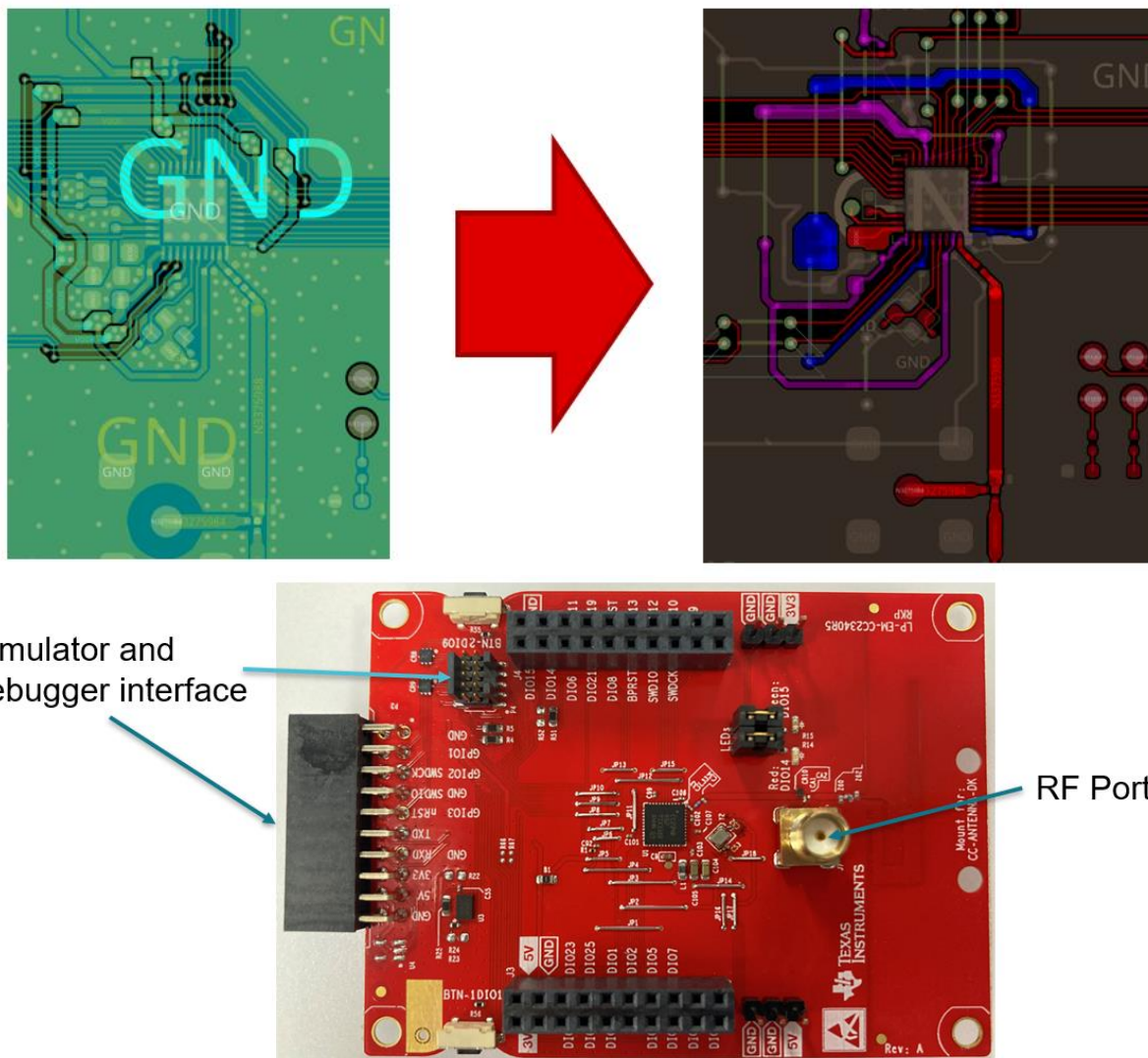


图 12 双面板更改到单面板

3.4.2 射频线阻抗控制

射频微带线的模型从双面板到单面板，也需要根据微带线模型的变化，从带地平面的共面波导 CPWG 到共面波导 CPW，图 13 为基于 CPW 模型的阻抗计算。

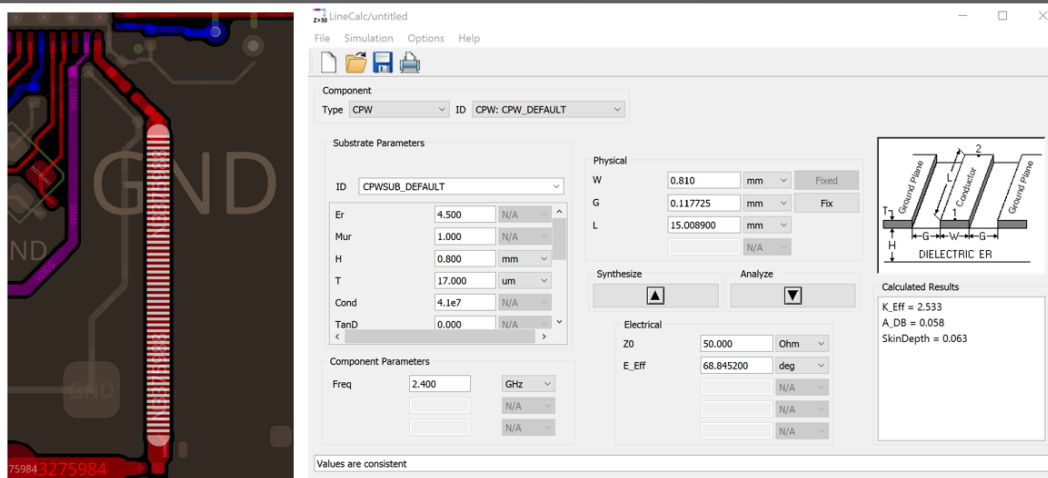


图 13 射频微带线 CPW 的计算

3.4.3 电源的处理

电源线的走线基本在核心参考设计的外围通过跳线的方式进行连接，避开时钟电路和射频电路。

但是，如果没有主地层，DCDC 的输入、输出电容就没有参考地作为电流的回流地了。在这个设计中，笔者采用了无外部休眠晶振的方案，利用休眠晶振的两个管脚接地实现了电流的回流路径。图 14 图示了 DCDC 的回流路径。但是对其他管脚的单独退耦电容，为了引出更多的管脚做了牺牲。

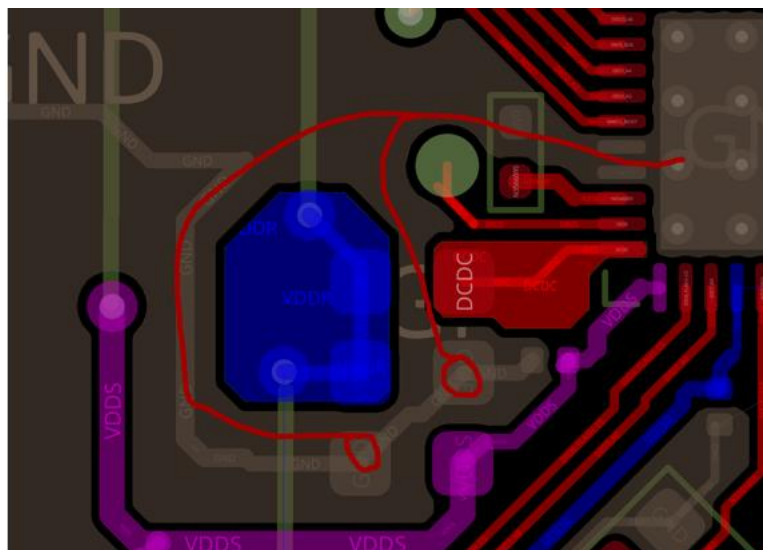
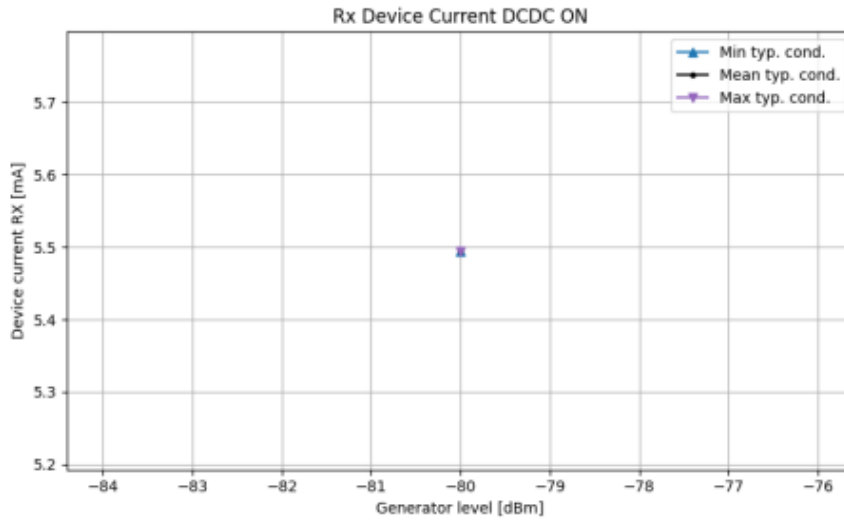


图 14 电源电容的接地回流处理

3.4.4 测试报告

下图为单面板的测试结果，该设计通过了 SIG 和 FCC 的测试规范。

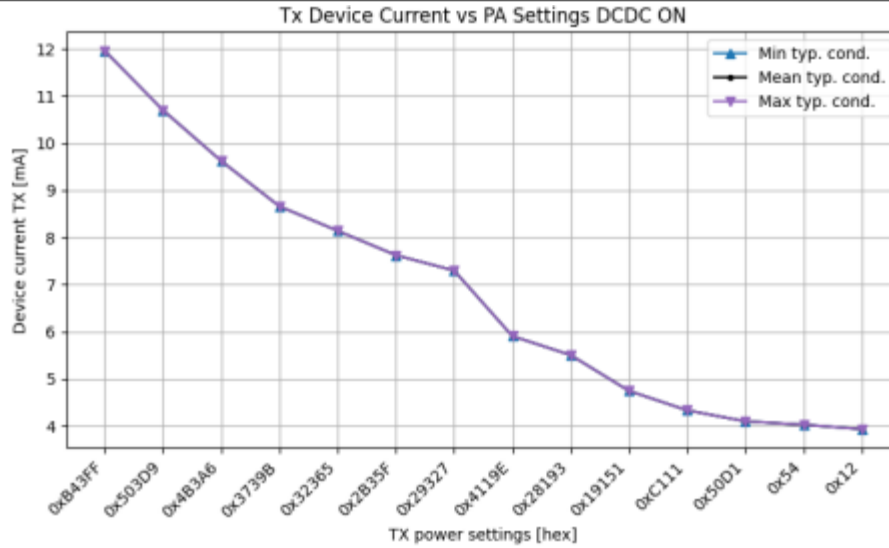


Rx Device Current DCDC ON

Generator level [dBm]	Min typ. cond. [mA]	Mean typ. cond. [mA]	Max typ. cond. [mA]
-80	5.5	5.5	5.5

1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C] 3/25

Filename	RX_Current_PM1_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	1
Register log	► Expand
Register settings	► Expand
Sequence parameters	► Expand
System comments	► Expand
Timestamp	2023-05-17 10:45:59.3661
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	► Expand
X [min, max]	[-80, -80]
X-axis label	-80
Y [min, max]	[5.495, 5.495]
Y-axis Title	Device current RX
measurement values	5.495

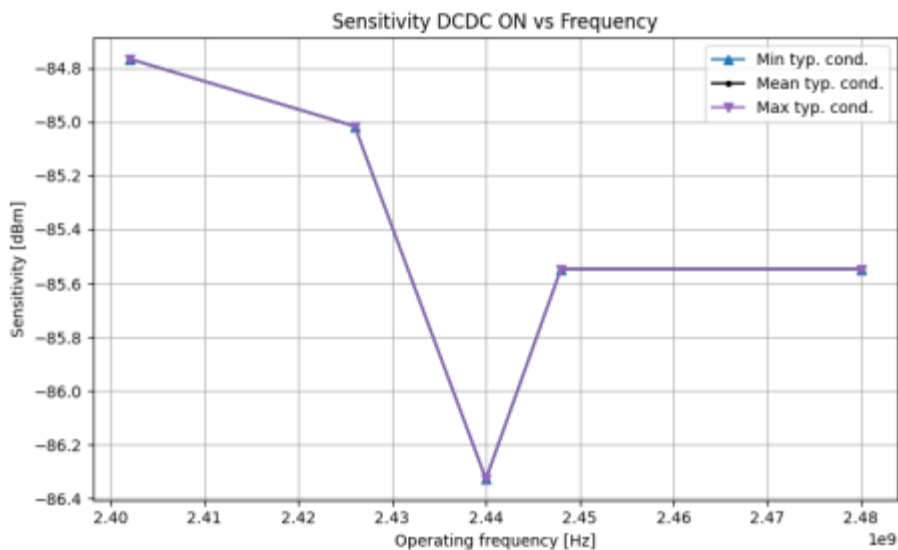


Tx Device Current vs PA Settings DCDC ON

TX power settings [hex]	Min typ. cond. [mA]	Mean typ. cond. [mA]	Max typ. cond. [mA]
0xB43FF	12	12	12
0x503D9	10.7	10.7	10.7
0x4B3A6	9.62	9.62	9.62
0x3739B	8.66	8.66	8.66
0x32365	8.14	8.14	8.14
0x2B35F	7.62	7.62	7.62
0x29327	7.3	7.3	7.3
0x4119E	5.91	5.91	5.91
0x28193	5.51	5.51	5.51
0x19151	4.75	4.75	4.75
0xC111	4.33	4.33	4.33
0x50D1	4.1	4.1	4.1
0x54	4.03	4.03	4.03
0x12	3.94	3.94	3.94

1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C] 3/25

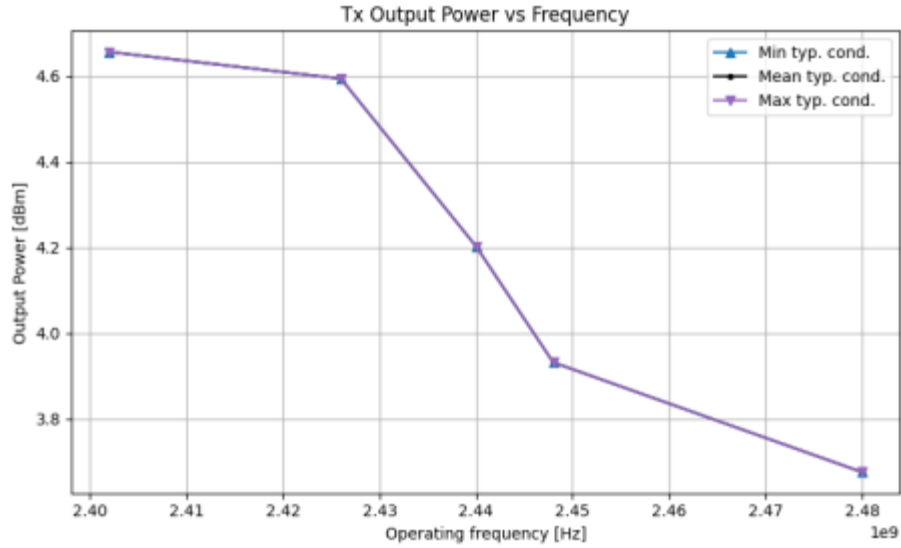
Filename	TX_Current_PM1_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	14
Register log	▶ Expand
Register settings	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:48:29.8768
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[0xB43FF, 0x12]
Y [min, max]	[3.9370000000000003, 11.959]
Y-axis Title	Device current TX



1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C] 3/25

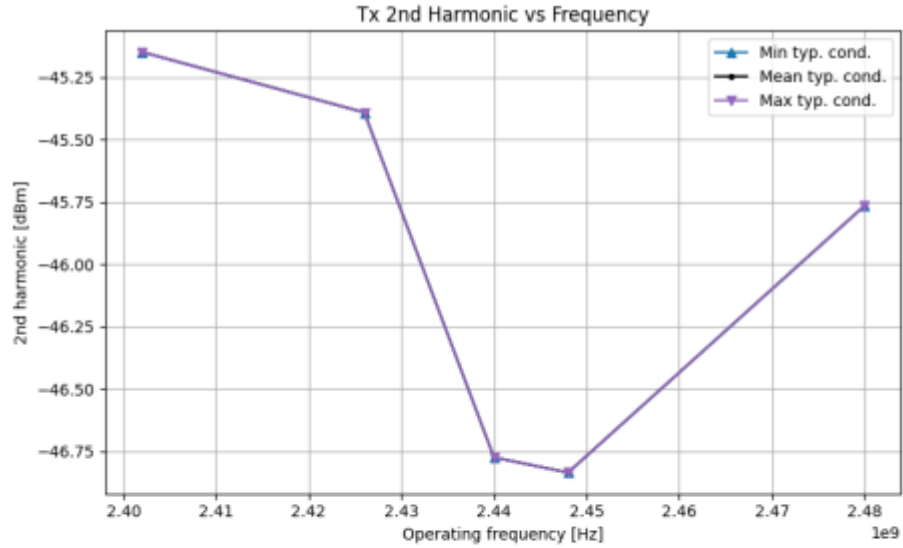
Filename	Sensitivity_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	5
Register log	▶ Expand
Register settings	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:00:17.1090
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d*]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[2402000000, 2480000000]
Y [min, max]	[-86.328125, -84.765625]
Y-axis Title	Sensitivity

图 15 灵敏度测试报告

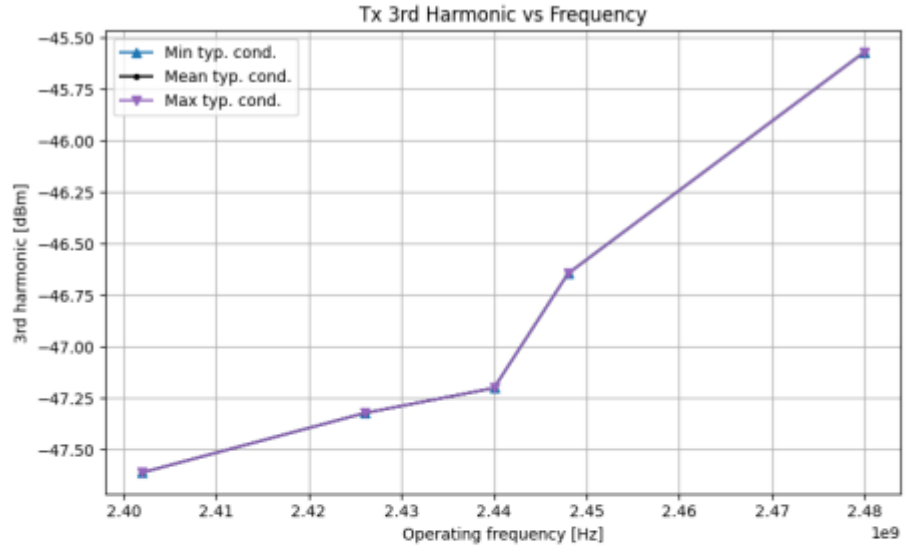


1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C] 3/25

Filename	CW_Output_Power_vs_Frequency_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	5
Register log	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 09:59:43.1313
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d*]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[2402000000, 2480000000]
Y [min, max]	[3.675753, 4.655814]
Y-axis Title	Output Power [dBm]

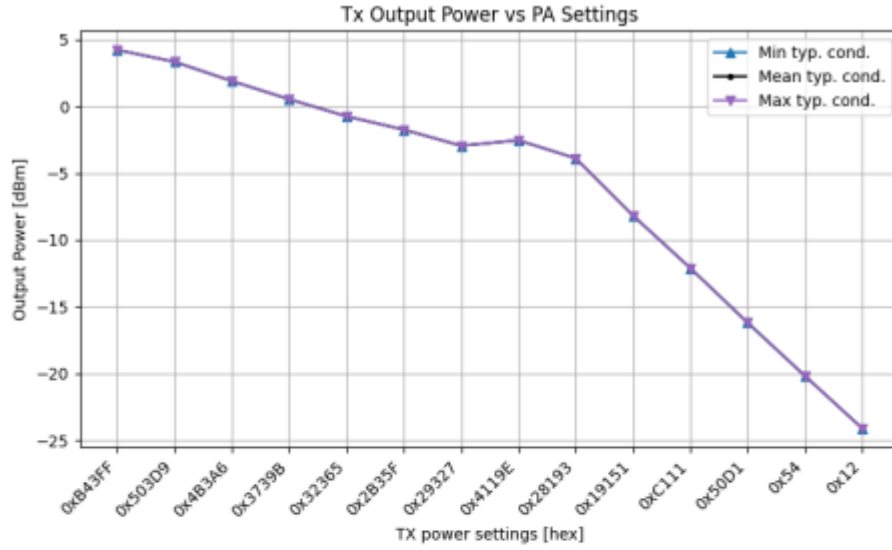


1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C]	3/25
Filename	CW_Output_Power_vs_Frequency_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	5
Register log	► Expand
Sequence parameters	► Expand
System comments	► Expand
Timestamp	2023-05-17 09:59:43.1313
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	► Expand
Warnings issued	► Expand
X [min, max]	[2402000000, 2480000000]
Y [min, max]	[-46.83562, -45.148849]
Y-axis Title	2nd harmonic [dBm]



1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C] 3/25

Filename	CW Output Power vs Frequency BLE026 DCDC On spotfire.xlsx
Number of points	5
Register log	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 09:59:43.1313
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[2402000000, 2480000000]
Y [min, max]	[-47.612676, -45.569016]
Y-axis Title	3rd harmonic [dBm]



1 Device at Voltage 3/25
[V]/Temperature [°C]

Filename [CW Output Power vs PA Table with current BLE026 DCDC On spotfire.xlsx](#)

Number of points 14

Register log ▶ Expand

Sequence parameters ▶ Expand

System comments ▶ Expand

Timestamp 2023-05-17 10:25:12.0352

Typical EM name [EM3_UDP_T1_%d+]

Typical Temperature 25.0

Typical Voltage [V] 3.0

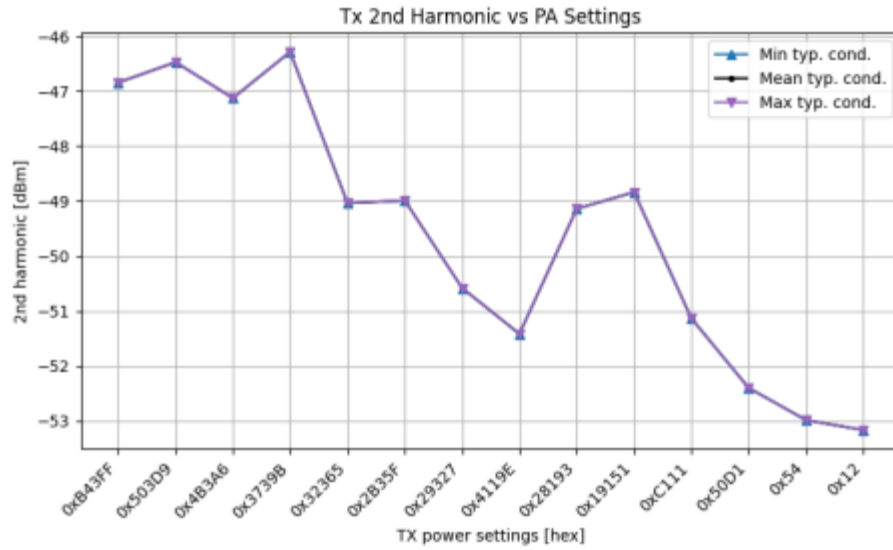
Wafer ▶ Expand

Warnings issued ▶ Expand

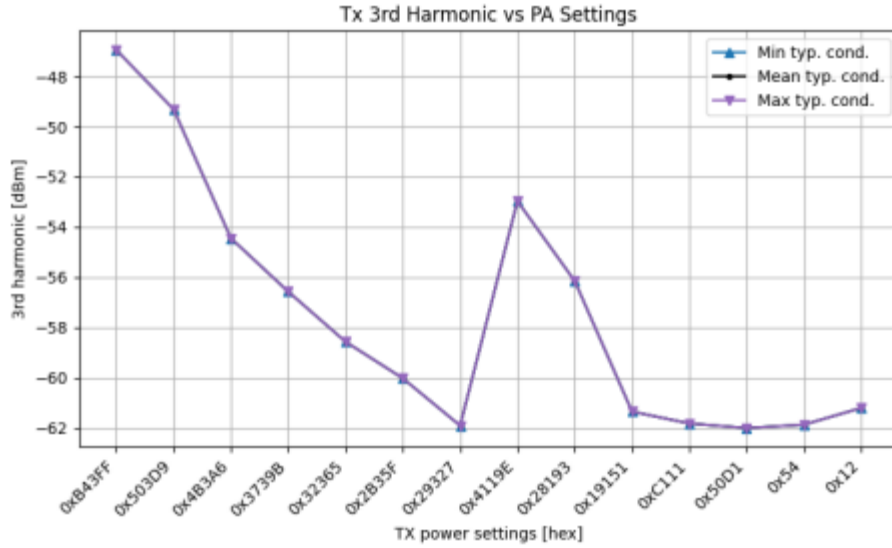
X [min, max] [0xB43FF, 0x12]

Y [min, max] [-24.126538, 4.225829]

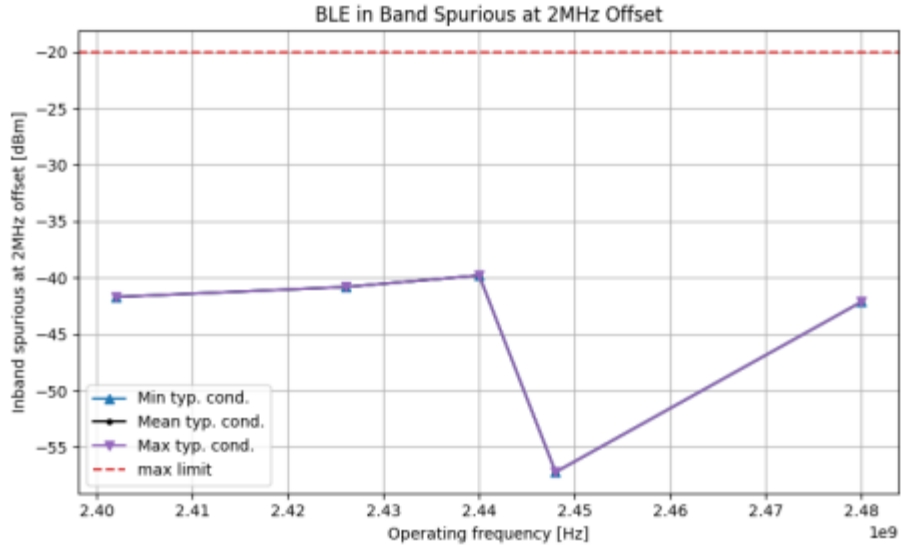
Y-axis Title Output Power [dBm]



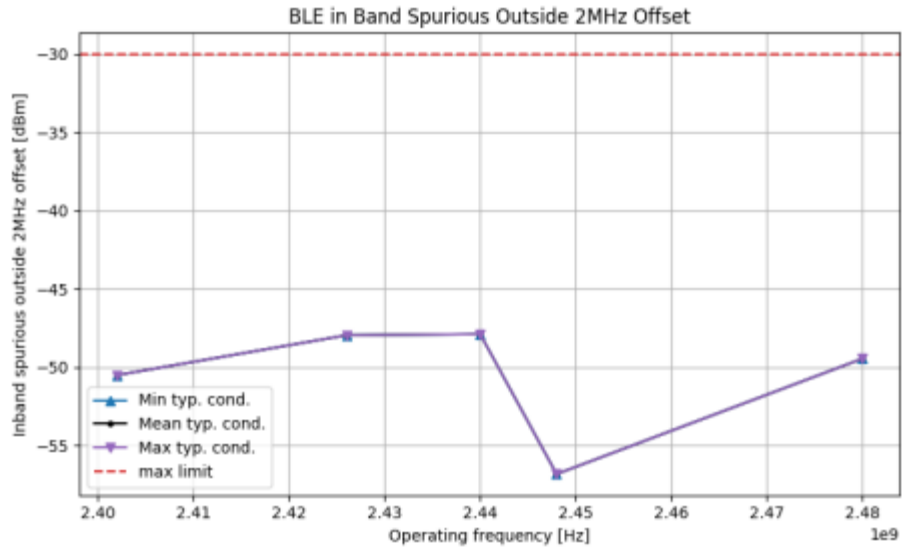
1 Device at Voltage	3/25
[V]/Temperature [°C]	
Filename	CW_Output_Power_vs_PA_Table_with_current_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	14
Register log	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:25:12.0352
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[0xB43FF, 0x12]
Y [min, max]	[-53.16673, -46.284704]
Y-axis Title	2nd harmonic [dBm]



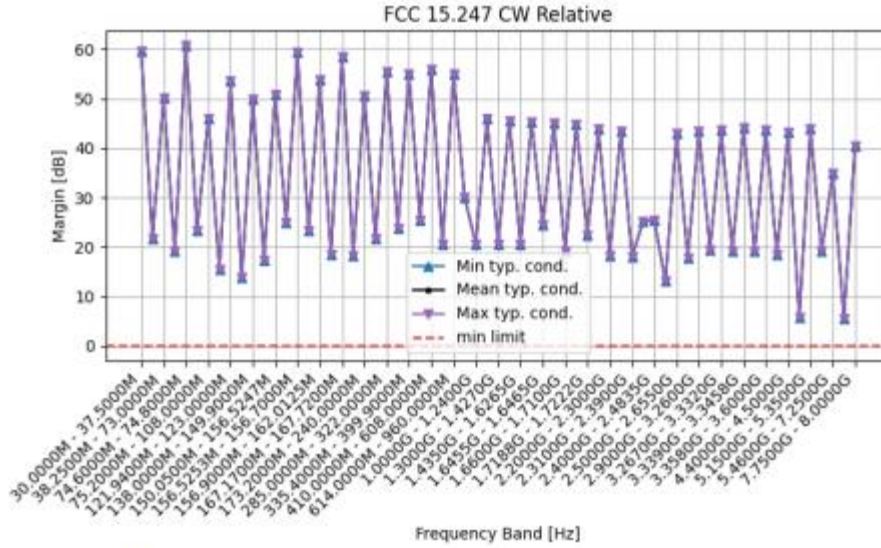
1 Device at Voltage	3/25
[V]/Temperature [°C]	
Filename	CW_Output_Power_vs_PA_Table_with_current_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	14
Register log	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:25:12.0352
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[0xB43FF, 0x12]
Y [min, max]	[-62.01031, -46.942844]
Y-axis Title	3rd harmonic [dBm]



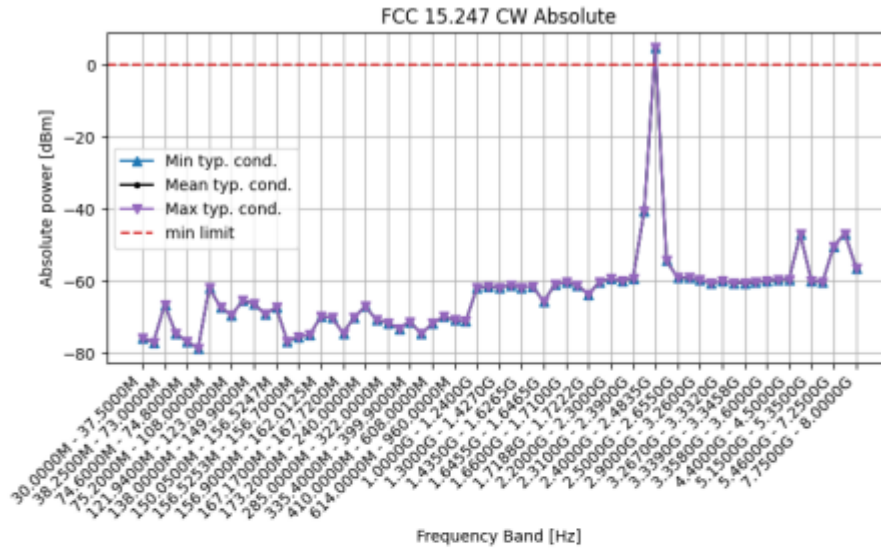
1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C]	3/25
Filename	BLE In band spurious BLE026 DCDC On spotfire.xlsx
Number of points	5
Register log	▶ Expand
Register settings	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:06:14.0363
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[2402000000, 2480000000]
Y [min, max]	[-57.221298, -39.802921]
Y-axis Title	Inband spurious at 2MHz offset
max limit	-20



1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C]	3/25
Filename	BLE_In band spurious BLE026 DCDC On spotfire.xlsx
Number of points	5
Register log	▶ Expand
Register settings	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:06:14.0363
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[2402000000, 2480000000]
Y [min, max]	[-56.815265, -47.877409]
Y-axis Title	Inband spurious outside 2MHz offset
max limit	-30



1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C]	3/25
Filename	TX_2.4GHz_mask_FCC_15_247_CW_BLE026_DCDC_On_spoilfire.xlsx
Number of points	65
Register log	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:20:58.4315
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[30.0000M - 37.5000M, 7.7500G - 8.0000G]
Y [min, max]	[5.528978, 60.661902]
Y-axis Title	Margin
min limit	0



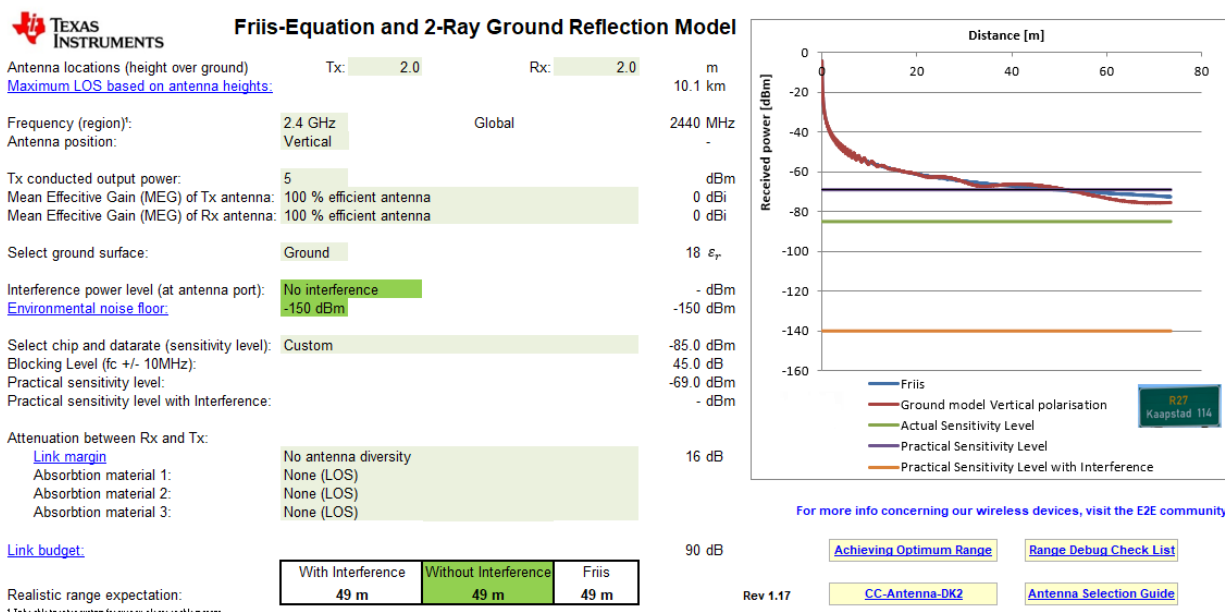
1 Device at Voltage [V]/Temperature [°C]	3/25
Filename	TX_2.4GHz_mask_FCC_15_247_CW_BLE026_DCDC_On_spotfire.xlsx
Number of points	65
Register log	▶ Expand
Sequence parameters	▶ Expand
System comments	▶ Expand
Timestamp	2023-05-17 10:20:58.4315
Typical EM name	[EM3_UDP_T1_%d+]
Typical Temperature	25.0
Typical Voltage [V]	3.0
Wafer	▶ Expand
Warnings issued	▶ Expand
X [min, max]	[30.0000M - 37.5000M, 7.7500G - 8.0000G]
Y [min, max]	[-78.500993, 4.665605]
Y-axis Title	Absolute power
min limit	0

3.4.5 通信距离仿真

由于单面板对于噪声的控制做了一些妥协，所以我们看到，灵敏度会有一些恶化。

CC2340 的 1Mbps PHY 的灵敏度为-96dBm; 该 1 层板的图 15 灵敏度测试报告显示，约为-85dBm.

下图为根据实际测试结果仿真的通信距离，开放空间下，约为 37 米，满足大部分短距连接的应用场景。



4 总结

本文通过对硬件参考设计的深度剖析，提供了几种系统降本的方法，比如 PCB 叠层结构、射频前端的匹配电路、电源的架构、参考时钟晶体的选项，并提供相应的测试报告，对于设计者提供了相应的降本指导。

5 参考文档

- [1] <https://www.ti.com/product/CC2340R5>
- [2] <https://www.ti.com/tool/LP-EM-CC2340R5>

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司