

AN2731

用于 2.4 GHz 通信的紧凑型平面天线

NXP EVK 板中的设计和应用

Rev. 4 — 11/2020

Application Note

URL : <https://www.nxp.com.cn/docs/en/application-note/AN2731.pdf>

1 简介

随着许多应用引入 2.4 GHz 频段用于商业和消费用途，天线设计已成为很多客户的绊脚石。使用射频信号在基板上移动能量，与在相同的基板上移动低频电压非常不同。因此，在为 IEEE 802.15.4 和蓝牙低功耗应用设计电路板布局时，缺乏 RF 专业知识的设计人员只需遵循正确的 RF 应用规则即可规避缺陷。天线的设计和布局是这种做法的延伸。本应用笔记提供了关于电路板布局和天线设计的基本见解，以提高客户首次成功的概率。

天线设计是频率、应用、电路板面积、传输距离和成本的函数。无论您的应用需要绝对的最低成本，还是最小化的电路板面积或传输的最远距离，了解关键参数非常重要，这样便于进行适当的权衡。正确选择天线所需的一些参数，包括天线调谐、匹配、增益/损耗和所需的辐射方向图。

本文档不是对天线设计的详尽调查。相反，它专注于帮助客户了解足够的电路板布局和天线基础知识，从而为其应用选择正确的天线类型，并避免典型的布局错误，以避免性能问题和造成延迟。此外，还介绍了几种流行的天线，作为某些 IEEE 802.15.4 和蓝牙低功耗应用的可能解决方案。

2 天线术语

表 1 列举了以下天线术语。

术语	描述
天线增益	与参考天线（例如偶极子或各向同性辐射器）相比的天线辐射图的数学度量。增益通常以相对于偶极子的 dBs 或相对于理想各向同性的 dBi 为单位测量。在任何给定方向，负增益意味着天线辐射小于参考天线，正数意味着天线辐射大于参考天线。
分贝 (dB)	表示射频电路中功率增益或损耗的对数值。 3 dB 表示双倍功率，-3 dB 表示功率的一半，-6 dB 表示电压或电流的一半，但为功率的四分之一。

表格在下一页继续.....

目录

1	简介	1
2	天线术语	1
3	基本天线理论	3
4	阻抗匹配	4
5	天线	6
6	小型化权衡	8
7	潜在问题	9
8	推荐的天线设计	9
9	设计示例（NXP EVK 板上的天线）	10
10	其他天线设计（自定义）	34
11	总结	46
12	修订历史	47



表 1. 天线术语 (续)

术语	描述
各向同性分贝(dBi)	对数值应用于与理想各向同性天线相关的天线增益。
辐射电阻	与辐射功率相关的天线阻抗的实部。
天线效率	它是辐射功率与传送到天线输入端的功率之比。因此，效率为 50% 的天线的比率为 0.5 或 -3 dB。总效率包括天线效率和失配损失。
天线极化	所有的无线电波都是由电场和磁场构成的。电场和磁场相互垂直，也都垂直于传播方向。电场分量的振荡方向称为无线电波的极化（当无线电波在介质中传播时）。
线性天线极化	当电场在垂直或水平方向振荡时，无线电波称为线极化。
圆形天线极化	当无线电波的极化在信号传播时发生旋转时，无线电波被称为圆极化。信号旋转的方向将圆极化分为两种类型：右手圆极化 (RHCP) 和左手圆极化 (LHCP)。圆极化信号由两个幅度相等、相位相差 90 度的垂直电磁平面波组成。
VSWR (电压驻波比)	电压驻波比 - 参数 VSWR 以数字方式描述了天线与其连接的无线电或传输线的阻抗匹配程度。
传输线	一种将射频信号从一个点传输到另一个点的物理方法，由其物理特性决定了需要匹配系统的特征阻抗阻值。大多数常见系统使用 50 欧姆特性阻抗。
微带线	一种可以使用印刷电路板技术制造并用于传输微波频率信号的电气传输线。它由通过称为基板的介电层与接地平面隔开的导电条组成。
带状线	一种可以使用印刷电路板技术制造并用于传输微波频率信号的电气传输线。它由夹在两个平行接地平面之间的扁平金属条组成。基板的绝缘材料形成电介质。条带的宽度、基板的厚度和基板的相对介电常数决定了条带的特性阻抗，它是一条传输线。

表格在下一页继续.....

表 1. 天线术语 (续)

术语	描述
共面波导 (CPW)	“经典”共面波导 (CPW) 由一个导体形成，该导体与一对接地平面分开，它们都在同一平面上，位于电介质之上。在理想情况下，电介质的厚度是无限的。当接地平面位于传输线下方紧靠基板时，形成了共面波导的变体。
特性阻抗	通常写成 Z_0 ，它是沿一个方向传播的传输线传播的单个波的电压和电流幅值之比。
失配损耗	由于阻抗不匹配和信号反射而无法在输出上获得的以分贝表示的功率量。
电阻损耗	由于波沿传输线传播时欧姆电压降低而导致的功率损耗分量，以分贝表示。

3 基本天线理论

评估天线的常用方法是查看天线增益模式。天线增益模式是天线方向性的度量。理论上完美的全向天线在所有方向上均等地辐射，它的场看起来像一个完美的球体。然而，实际生产制造的天线不能在所有方向上均等地辐射。因此，所有实际使用的天线都有一定的增益。增益越高，天线的方向性越强。实际上，远距离固定位置应用需要强方向性天线，而通用局域网通常需要全向天线。

理论上，任何金属结构都可以用作天线。然而，某些结构在辐射和接收 RF 功率方面比其他结构更有效。传输线用于在无线电和天线之间以尽可能小的电阻、失配和辐射损耗传输信号。以下示例解释了这些概念。

传输线具有多种形状，如微带、共面波导、带状线、同轴线等。对于建立在 FR4 基板上的 IEEE 802.15.4 和蓝牙低功耗应用，传输线的方法通常采用微带或共面波导 (CPW) 的形式。这两种结构由电路板材料的介电常数、线宽、线与地之间的板厚以及对于 CPW 而言，线与顶部边缘地平面之间的间隙决定。这些参数用于定义无线电和天线之间传输 RF 能量的传输线的特性阻抗。

通常，来自 IEEE 802.15.4 无线电和蓝牙低功耗应用的 RF 端口是差分或平衡的。无线电中这些端口的射频阻抗在 $100\ \Omega$ 范围内。NXP 的应用通常使用巴伦将平衡信号转换为特征阻抗为 $50\ \Omega$ 的单端输出。因此，NXP 建议使用具有 $50\ \Omega$ 馈电的天线。

IEEE 802.15.4 无线电和蓝牙低功耗应用的典型网络包括无线电端口（通常是差分射频端口）和天线之间的匹配网络。为了最大限度地减少损耗并简化匹配，巴伦通常与 NXP 的应用板一起使用，在巴伦和巴伦差分侧的无线电之间进行组件匹配。然后，为了抑制频谱中的任何 2 次谐波杂散，在巴伦和巴伦单端侧的天线之间放置了一个 2 次谐波抑制器。巴伦差分侧的传输线通常是高阻抗但长度较短，因此，它们的尺寸更适合制造优化而不是 RF 性能，对性能的影响很小。巴伦本质上是一个变压器，可以选择 1:1、2:1 或 4:1 的各种比率以实现最佳匹配。二次谐波抑制器由一个用于最小损耗的高 Q 电容器组成，此电容和它的自感及电路板的电感在二次谐波或大约 4900MHz 产生串联谐振，。这种谐振在二次谐波处出现 RF 短路，将大部分不需要的信号分流到地。

陷波电容器增加了基频的损耗。这种基频损耗可以通过两种方式最小化。首先，通过在电容器的自感上增加电感。这允许电容器使用较低值的电容器产生谐振。电容值越低，对基频损耗的影响越小。其次，通过创建在基频 (2445 MHz) 下谐振的开路谐振电路。这是通过将电感器与并联陷波电容器并联来实现的，它们一起构成 2445 MHz 的开路谐振电路。

与射频场的波长相比，天线结构应具有合理的尺寸。自然尺寸是波长的一半。在 2.4 GHz ISM 频段中，半波长大约为 6 cm (在空气中)。这个尺寸是有效的，因为当它在中心点被馈入射频功率时，该结构在半波频率下谐振。将尺寸减小到自然谐振长度以下会导致效率低下。并非所有结构都能制成高效天线。

虽然已经设计了许多提供良好效率和良好阻抗匹配的结构，但其中大部分源自一些基本结构。本文稍后将简要介绍 NXP 推荐的基本天线以及有关如何成功应用这些天线的一些建议。包含有关天线理论的复杂公式超出了本文档的范围。本指南提供了有关天线的基本信息，使用户能够以较少的样本天线获得合理的性能。

对通过复杂计算和天线仿真优化天线性能感兴趣的客户，可以查阅有关天线理论和设计的丰富文献。通常，复制 NXP 的现有设计可以确保实现合理的性能。然而，影响性能的因素很多，例如天线类型、匹配阻抗、天线增益（方向性）、基板厚度、基板介电常数和天线效率。

4 阻抗匹配

4.1 从无线电到天线

客户首次成功的最佳方式是完全复制 NXP 的参考设计。但是，某些应用需要使用与推荐的印刷电路板的基板的层数或厚度不同。有时，印刷天线或应用电路中的组件可能与射频区域相邻，因此空间不够用。通常，产品的塑料封装也会影响性能。

如果客户要实现无线传输的最大性能，则必须遵循电路板布局的一些重要规则。这包括确保天线下方或周围没有 NXP 参考设计中未提及的金属。此外，一个常见的错误是：在第 2 层接地的 RF 部分下方铺设走线，从而切断了接地参考平面，该平面是 RF 走线保持设计阻抗所需的。所有这些错误都会导致无线电负载或回波损耗很高。如果发生这种情况，要传输到天线进行辐射的信号会被反射回无线电。因此，对匹配网络布局和天线设计给予同样的关注同样重要。

一个好的做法是检查布局的 RF 部分中所有组件并移除所有多余的金属；也就是说，“填充”在组件周围和无线电 IC 引脚周围的金属。此外，避免布线靠近或平行于 RF 传输线或 RF 偏置线。RF 信号会耦合到这些金属片上，这些金属片通常接地，因此会使信号失真，从而导致过大的 VSWR。如前面所述，避免在接地层上进行任何可能导致射频线下方接地的布线。保持 RF 走线下方的连续接地，对于保持该线路的特性阻抗至关重要。推荐的叠层如下：从顶部开始：顶部 - 传输线的射频布线，L2 - 地，L3 - 直流布线，底部 - 直流布线。

尽管存在能够匹配差分阻抗的天线，但本应用笔记仅限于单端或不平衡匹配。这仅限于馈电阻抗为 50 欧姆的天线。目标是在印刷电路板 (PCB) 上安装一个匹配阻抗为 $50 + i0 \Omega$ 的天线。通过这种方式，天线作为 50 Ω 负载接到为其馈电的无线电输出端。因此，匹配（如果正确完成）加载无线电的差分端口以获得无线电信号的最大功率、最小接收灵敏度和最小失真，同时在天线和无线电之间以最小损耗传输信号。

天线放置在靠近地面的位置时，可能会承受很大的负载（增加 VSWR）。靠近地面会影响辐射电阻，这会导致匹配大大偏离 50 欧姆，这反过来又会造成匹配不良，从而影响匹配网络进一步影响无线电输出。

在电路板布局期间，请做好准备以测量天线 VSWR。即使您可以完全按照 NXP 的规定复制天线形状，材料参数也可能差异很大，导致天线频率偏移。如果发生这种情况，那么将部件调谐到最大功率可能无关紧要，因为如果 VSWR 较高，大部分功率会反射回无线电。为避免这种情况，请将天线作为一个端口进行测量，并通过对其进行微调或添加金属以将最小 VSWR 居中于频段进行调整。这种方法只控制 VSWR 的一个参数，对增益或效率没有任何影响。这必须通过设计来解决。如果您的应用需要不同的叠层或材料特性，或者使用可能会使 RF 响应失真的相邻组件，请将天线长度增加一毫米并进行微调以获得可接受的回波损耗（-10 dB 或更少）。

4.2 从天线到 50 Ω

可以采用三种方法来测量与匹配网络分离的天线：RF 微动开关、到 SMA 连接器的替代路径（如 NXP 的 MC13233-MRB 上所示），或由焊接到电路板上的同轴电缆制成的尾纤。

1. 一些NXP的参考设计中使用了射频微动开关，其中评估天线或无线电性能的方法是：将特殊连接器卡在微动开关上。微动开关放置在所有匹配和过滤之后、在天线之前。特殊连接器通过微同轴电缆连接到 SMA 连接器。限制是开关是有方向的，当连接特殊连接器时，必须提前确定开关朝哪个方向。也就是说，当插入特殊连接器时，它可以“查看”无线电的输出，或者它可以“查看”天线，但不能同时“查看”两者。可以为每个方向构建有限数量的电路板，以便可以评估无线电的 RF 输出和天线的输入。
2. 微带转SMA。为了让客户无需进行空中测量即可评估 NXP 的某些电路板，电路板边缘 SMA 连接器中包含一条微带线。微带可以从谐波陷波器天线侧（通常在巴伦和天线之间）的巴伦单端侧选择。微带线可以使用朝向 SMA 而不是朝向天线旋转的电容器来选择。在这种情况下，如果您小心地放置电容器，而不是在 SMA 连接器的 RF 输出路径或来自无线电的天线之间进行选择，则可以将电容器放置在 SMA 和天线的连接之间。在这种情况下，SMA 可用于查询天线的 VSWR，无需任何特殊连接器或特殊准备电路板，如同方法三所要求的那样。

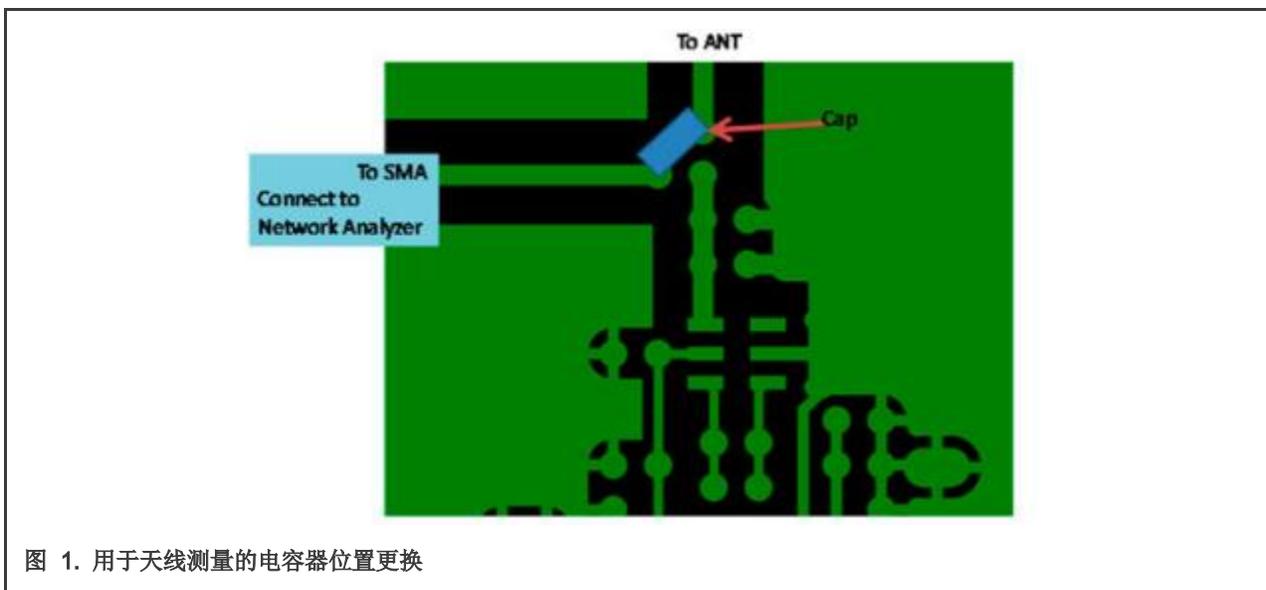


图 1. 用于天线测量的电容器位置更换

3. 尾纤。当不方便为特定应用设计 SMA 的替代路径时，且设计验证只需要很少的连接器和微动开关时，客户通常不希望承担特殊的微同轴连接器和微动开关的成本。在这种情况下，如果有足够的接地层可用并且客户小心地保持组件清洁，则可以将一端带有 SMA 连接器的同轴电缆焊接到接地层的板上，并且中心引脚可以连接到天线馈源。当您生产许多电路板时，此方法并不适用，但当您只调整和评估少数电路板时，它很有用。如果设计验证需要很多板，建议使用方法1或2。

最常见的天线是倒F天线。本节介绍如何调整倒 F 天线馈电阻抗以实现 50 欧姆特性阻抗。调整倒 F 天线使其在适当的频率下工作是一件简单的事情。理想情况下，最小回波损耗必须集中在 2445 MHz 左右。如果频率有一点偏移（这在频段边缘看天线至少有 10 dB 的回波损耗），就足以实现良好的传输距离和接收器灵敏度。使用上述三种方法之一，将天线连接到网络分析仪。调整网络分析仪显示的带宽，使天线共振的自然点在显示窗口中可见。使显示视图足够宽，以便如果天线谐振低或高几百 MHz，它仍然可见。目的是要知道是将天线频率调高还是调低。如果自然谐振低于所需频带，则天线对于此应用来说太长，并且可以通过调整长度轻松地将其调谐到中心频率。在长度上进行非常小的切割（对于大多数 NXP 设计，这指代基板的顶部和底部）并重新测量 VSWR。重复这个过程，直到天线在波段居中。如果自然谐振高于所需频带，则天线已经比该频带所需的短，必须小心地在天线长度上添加铜箔，以降低谐振点的频率。如果必须添加箔片以增加长度，则可添加足够多的箔片，以便可以通过切割来完成后续调整。完成此操作后，转到阻抗匹配过程。

4.3 阻抗匹配元件

由于NXP的许多客户无法使用昂贵的设备，因此NXP没有提供使用仿真器进行匹配的精细方法。NXP的大部分无线电都允许客户进行微小电路板的更改。但是，由于电路板参数差异、应用组件的干扰或封装的不同，作为 NXP 参考设计副本的客户电路板，可能会出现达不到参考设计的性能的情况。在这种情况下，必须重新调整客户电路板以优化 RF 性能。NXP不维护用于匹配的参考库。取而代之的是，NXP提供了通过仔细复制而达到的稳健的参考设计。通常，为 NXP 板选择的元件值几乎不需要在客户电路板上进行调整。作为重新调整客户应用电路板的第一步，用下一个增量值（向上或向下）替换串联匹配电感。然后测量和评估 发射 功率、误差矢量幅度 (EVM) 和 接收 灵敏度。通常在差分输出两端放置一个并联电容或电感。可能还需要调整此值。根据需要调整调谐值。通常，组件值不必修改超过一个增量（向上或向下）。

5 天线

5.1 四分之一波单极天线

如果半波偶极子天线的一部分被移除并被替换为无限大的地平面，则偶极子的剩余一半“镜像”在接地层中。这个接地层有时被称为地线。

出于所有实际目的，单极子表现为“半波”偶极子。即它具有相同的环形辐射图，辐射电阻是半波偶极子的一半。它可以像偶极子一样弯曲或折叠，并且可以应用相同的加载和馈送技术。偶极天线的馈电点阻抗对其电长度和馈电点位置敏感。因此，偶极子只能在相当窄的带宽上发挥最佳性能。该阻抗的实部（电阻）和虚部（电抗）分量是电气长度的函数。四分之一波单极天线的阻抗为 $(73 + i43)/2 \Omega = 36 + i21 \Omega$ 。

一个非常重要的区别是天线馈电点不是平衡的，而是单端的。正因为如此，并且因为大多数 RF 电路都是非平衡型，这种天线类型非常流行，单极子有很多变化，主要设计为匹配 50 Ω 。

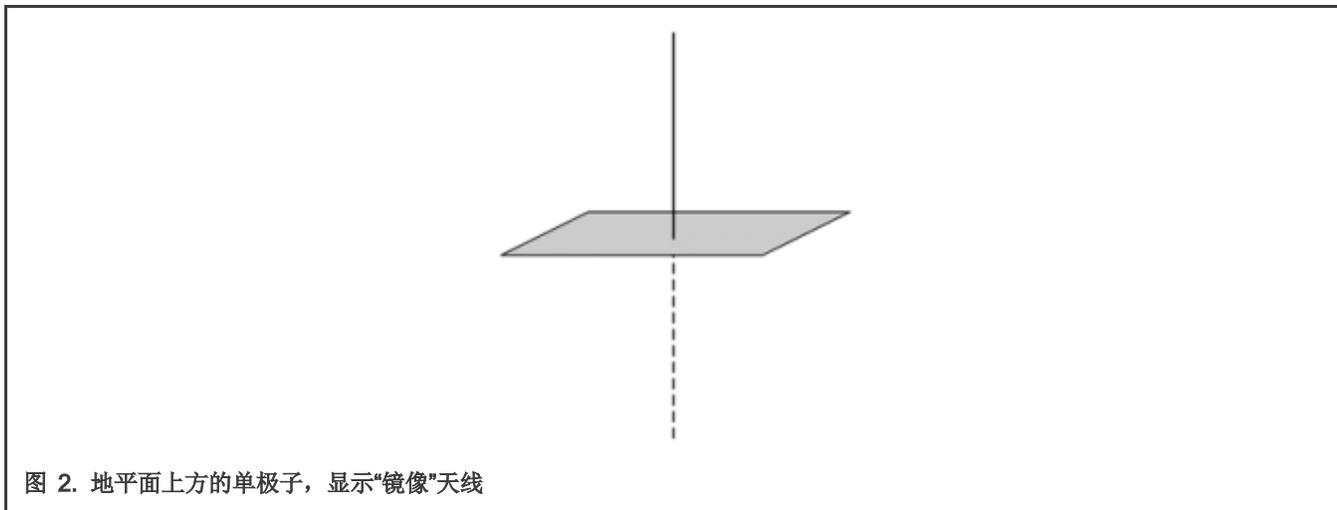


图 2. 地平面上方的单极子，显示“镜像”天线

请注意，“鞭子”只是天线的一半，其余部分由地平面（或配重）组成。在实际应用中，接地层通常由 PCB 的其余部分（接地层和电源层、走线和组件）和/或设备的金属外壳（如果有的话）组成。

与天线相比，接地平面应该是一个合理大小的区域，并且应该尽可能连续。如果在非常小的 PCB 上使用单极子，即使只有很小的铜面积，其效率也会受到影响，并且天线难以调谐。组件和 PCB 走线会引入额外的损耗并影响馈电点阻抗。

对于偶极子，通常在比波长的 1/4 稍短的长度上获得共振。通过弯曲天线来改变辐射电阻。与偶极子一样，可以减少理论辐射图中的零点。通过弯曲天线元件，辐射电阻和效率会下降，因此天线不应离地太近。与偶极子一样，如果电路板空间需要，单极子也可以在拐角处折叠和弯曲。它可以加载串联线圈。

在存在的众多变体中，以下部分重点介绍了最常见的变体。

5.1.1 开路短截，倾斜天线

如果将单极子弯曲并沿着接地平面跟踪，它会更紧凑，并且辐射方向图中的零点会部分消除。天线不应离地太近，最好不要接近波长的 1/10（1 厘米），因为它会降低效率。在如此近的间距下，辐射电阻非常低（大约 $10\ \Omega$ ），以至于需要匹配网络。如果单极子离地非常近，它就充当传输线而不是天线，几乎没有辐射或根本没有辐射。

5.1.2 倒F天线

F 天线类似于倾斜的鞭子，其中阻抗匹配是通过在天线宽度上的适当阻抗点处，连接天线来实现的。这种天线被广泛使用，因为它相当紧凑，具有相当于全向的辐射模式，效率高，而且非常简单。请注意，接地腿中的电流很高，并且需要足够的接地层才能获得良好的效率。

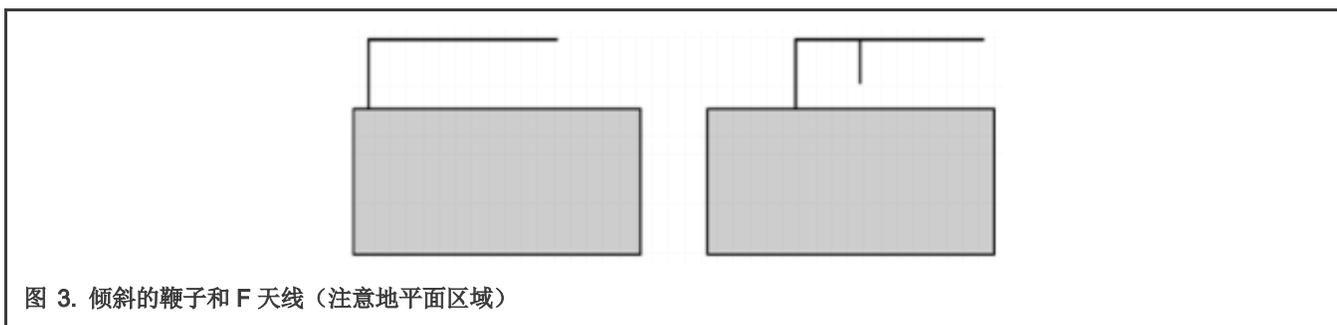
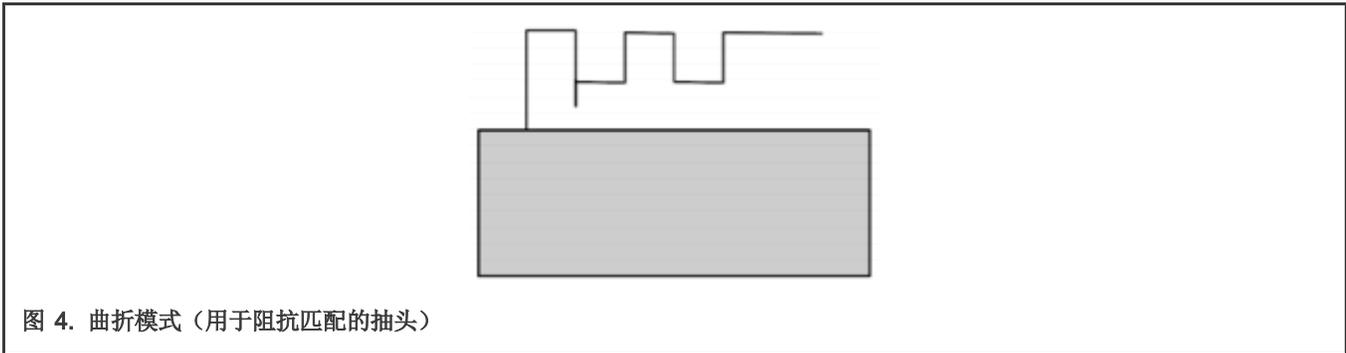


图 3. 倾斜的鞭子和 F 天线（注意地平面区域）

5.1.3 曲折天线

曲折天线或曲折模式是一种导线来回折叠的天线，与其他方式一样，这种更紧凑的结构能够发生共振。

曲折天线、spiral天线和helix天线的相似之处在于：它们的谐振是通过以不同方式压缩导线而在紧凑空间中获得的。在所有三种情况下，随着尺寸的减小和调谐变得越来越重要，辐射电阻、带宽和效率都会下降。阻抗匹配可以通过抽头实现（与 F 天线一样）。曲折和helix天线，或这两者的组合，很容易在 PCB 中实现，许多陶瓷芯片天线都基于这些天线类型实现的。



5.2 元件天线

5.2.1 芯片天线

许多商用芯片天线可以获得。详细调查显示，这些天线中的大多数都基于螺旋、曲折或贴片设计。为确保正常运行，遵循制造商关于芯片天线的占地面积、接地面积和安装的建议非常重要。天线周围的“隔离”区域尤其重要。由于附近物体的失谐，即使遵循这些建议也不一定能保证良好的性能。需要对天线和/或匹配网络进行微调，以确保获得令人满意的性能。由于芯片天线通常（但并非总是）使用比通常的 FR4 具有更高介电常数和更低损耗的陶瓷材料，因此可以构建具有合理效率的更小天线。

效率并不是特别高，通常在 10-50% 的范围内，这对应于 3-10 dB 的损耗（-3 到 -10 dBi）。较小的数字说明这是具有高固有损失的劣质产品。购买贴片天线并不能保证良好的性能。虽然芯片天线提供了尽可能最小尺寸的天线解决方案，但尺寸的减小是以性能和价格为代价的。

如果可以使用比芯片天线所需的稍大的 PCB 面积，并且可以将“隔离”区域分配给 PCB 天线，PCB 天线比芯片天线可以得到相同甚至更好的性能。

6 小型化权衡

6.1 天线尺寸

减小天线尺寸会导致性能降低。一些受到影响的参数有：

- 效率（或增益）降低
- 更短的传输距离
- 更窄的有用带宽
- 更关键的调整
- 增加对元件和 PCB 扩散的敏感性
- 对外部因素的敏感性增加

一些性能因素会随着小型化而恶化，但一些天线类型比其他类型更能适应小型化。给定天线的尺寸可以减少多少取决于对传输距离、带宽和可重复性的实际要求。天线可以减少到其自然尺寸的一半，对性能有中等影响。减少 1/2 后，随着辐射电阻迅速下降，性能逐渐变差。由于负载和天线损耗通常会随着尺寸的减小而增加，因此效率会迅速下降。

可以容忍的损失量取决于传输距离的要求。带宽会降低，这会导致频带两端出现额外的失配损失。可以通过电阻加载来增加带宽，但这通常会引入比失配损耗更多的损耗。低带宽与重负载相结合，需要进行全面分析，以确保在组件值和 PCB 参数变化的情况下具有足够的性能。如果电路板空间允许，通常最好不要过多地减小天线尺寸。即使传输距离要求不需要最佳天线性能，生产问题和传播也会被最小化。最好在天线和附近物体之间保持一定的间隙。尽管可以重新调谐天线以补偿周围物体引入的负载，但调谐会变得更加重要并且辐射方向图可能严重失真。

6.2 巴伦

本文中提到的许多天线都是单端天线，其馈电点阻抗设计为接近 $50\ \Omega$ 。需要巴伦连接这些天线以平衡输出/输入。巴伦将单端输入转换为平衡输出以及可选的阻抗转换。输出是差分的。也就是说，每个引脚上的输出电压幅度相等，但相位相反。输出阻抗通常表示为在两个输出引脚之间测得的差分阻抗。巴伦是双向的。平衡端口既可以是输入也可以是输出。

有几种分立电路可用作巴伦，但其中大多数对输入和输出负载以及 PCB 布局问题很敏感，这需要繁琐的微调。此外，所有这些都需要至少两个片式电感器。在 2.4 GHz 频段，有一些易于使用且对 PCB 布局不太敏感的小型陶瓷巴伦，其标准输出阻抗为 50、100 和 200 Ω 。

分立巴伦的成本与陶瓷巴伦相当，而且陶瓷巴伦需要更少的电路板空间。大多数设计都推荐使用陶瓷巴伦。

7 潜在问题

天线设计可能会出现许多问题。以下列表提供了一些可以作为最终设计的注意事项。其中许多问题对于有经验的天线设计人员来说似乎是显而易见的，但其中许多问题在实践中经常遇到。本列表不完整：

- 切勿在天线下方放置接地层或走线。
- 切勿将天线放置在离金属物体太近的地方。
- 在最终产品中，确保布线和组件不会太靠近天线。
- 单极天线需要合理的接地平面区域才能有效。
- 在最终产品外壳中执行最终调谐，而不是在裸露环境中。
- 切勿将芯片天线安装在与参考设计截然不同的布局中，并期望它无需调谐即可工作。
- 不要为天线使用金属外壳或金属化塑料。
- 测试塑料外壳的高射频损耗，最好在生产前进行。
- 切勿在未重新测试的情况下使用低 Q 负载组件或更改制造商。
- 不要使用太窄的 PCB 走线。走线宽度应该相对较宽（在空间允许的情况下）。

8 推荐的 antenna 设计

针对 BLE 或 IEEE 802.15.4 协议兼容硬件，NXP 对天线设计建议使用两种基板天线设计和一种芯片组件设计：

1. 倒F 天线以获得最佳传输距离性能
2. 曲折天线以减小尺寸
3. 芯片天线设计以加快上市速度

所有推荐的天线设计都具有 50 欧姆单端接口。在电路板空间至关重要的情况下，倒 F 天线有其局限性。如果传输距离不是问题，则可以通过曲折的倒 F 天线来权衡电路板空间大小和传输距离。倒 F 和曲折倒 F 天线是定向天线，天线在板上的方向会影响传输距离范围。对于调谐良好的收音机来说，这通常不是一个大问题，它们只能在相对较小的空间内工作，例如客厅，在那里收音机用作遥控器。

虽然倒 F 和曲折倒 F 天线是天线成本最低的选择，但由于需要对其进行调试，它们不一定是能最快上市的最佳选择。如果将最终产品推向市场的时间非常急迫的话，那么在早期生产中采用芯片天线可以很快产品上市并产生收益，同时可以开发和实施更便宜的板级倒 F 天线作为降低成本的措施。

9 设计示例 (NXP EVK 板上的天线)

以下部分展示了一系列设计示例。其中每一个都针对特定设计进行了调整，因此剪切和粘贴方法不一定能确保最佳性能。但是，这些设计是进一步优化的良好起点，它们说明了天线的大致尺寸。

9.1 倒 F 天线 (IFA)

NXP FRDM 测试套件用于基于 BLE 或 IEEE 802.15.4 协议标准的低功耗无线网络节点。这些网络可能采用构建在 BLE 或 IEEE 802.15.4 层之上的更高级别的网络协议。与 FRDM 板设备一起使用的天线必须由开发人员选择，本章提供了适用于高性能 IFA 的辐射图。FRDM 板的优势在于将 RF SMA 连接器用于其他可用的单极天线，或者将 RF 路径用于平面 IFA 测量。

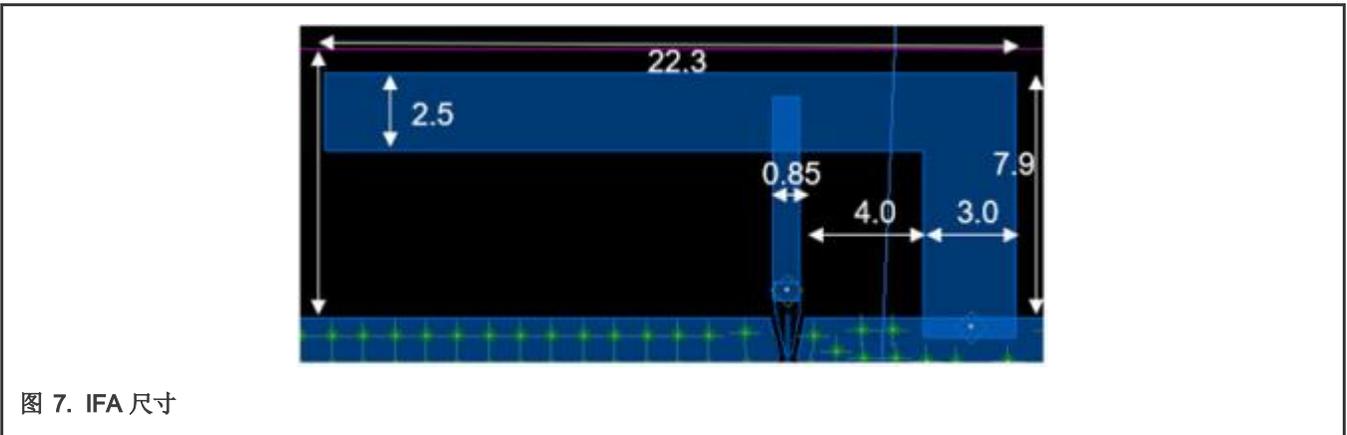


图 5. FRDM-KW36 测试板



9.1.1 IFA 尺寸

图 7 展示了 FRDM 板使用的倒 F 天线尺寸。所有尺寸均以毫米为单位。



9.1.2 反射系数测量

S 参数 (S11) 的测量是通过断开 C55 和 C57 电容器并连接所标记的绿线来执行的 (IFA 直接连接到 SMA 连接器)。

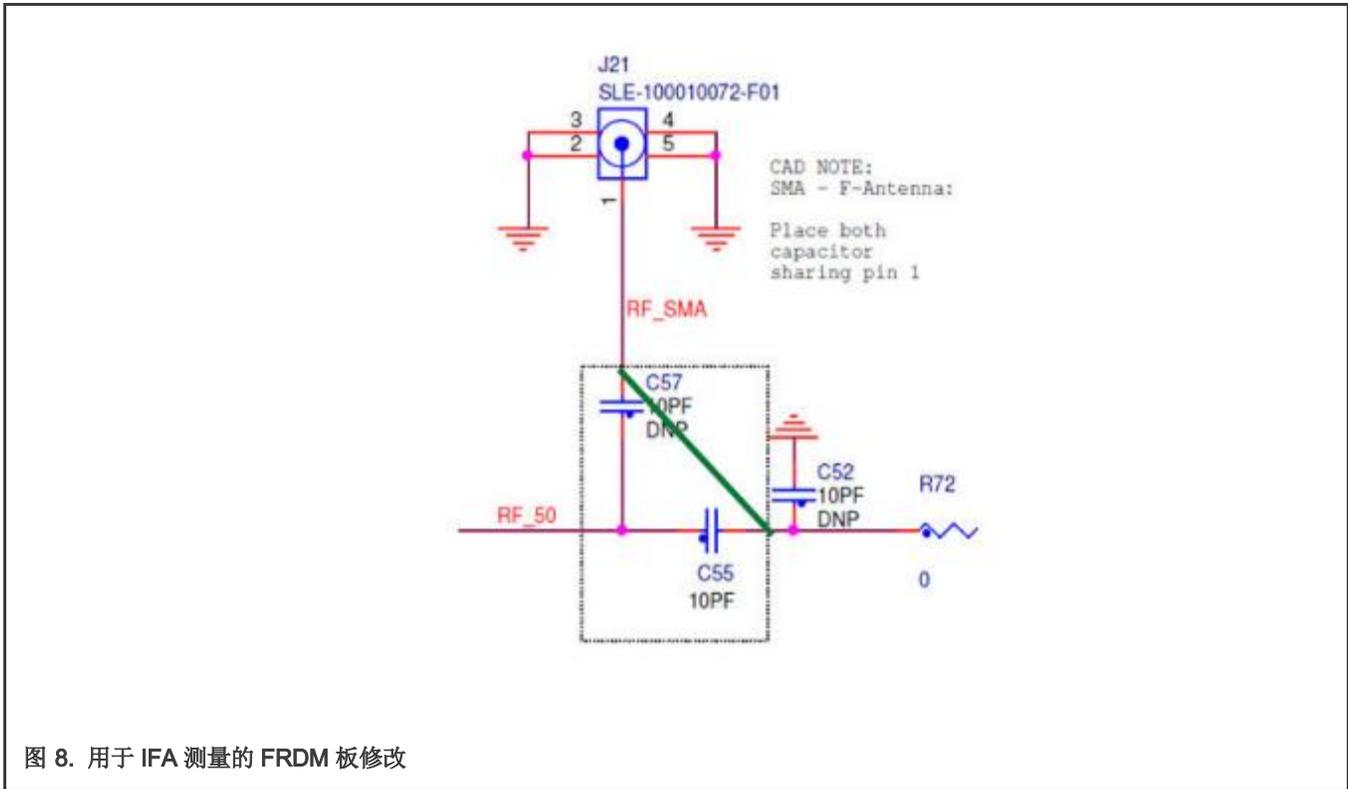


图 8. 用于 IFA 测量的 FRDM 板修改

反射系数 S11 的结果展示在下图中。以下两个标记展示了这些值：

S11 [2.4 GHz] = -10.49 dB

S11 [2.48 GHz] = -14.68 dB

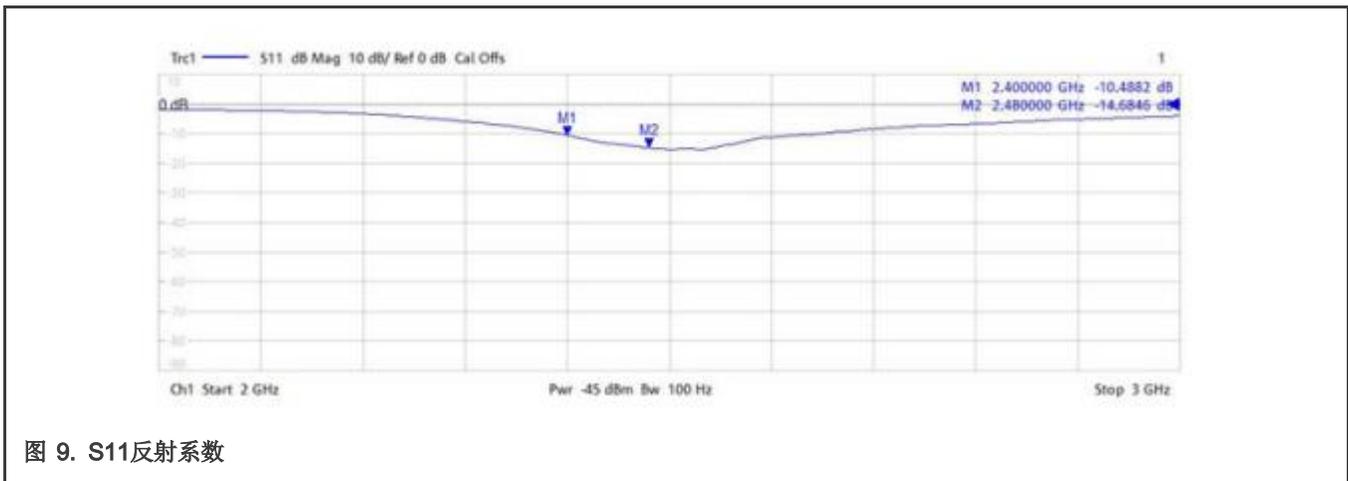


图 9. S11反射系数

图 10 展示了 S11 反射系数的测量值，包括 IFA 阻抗。

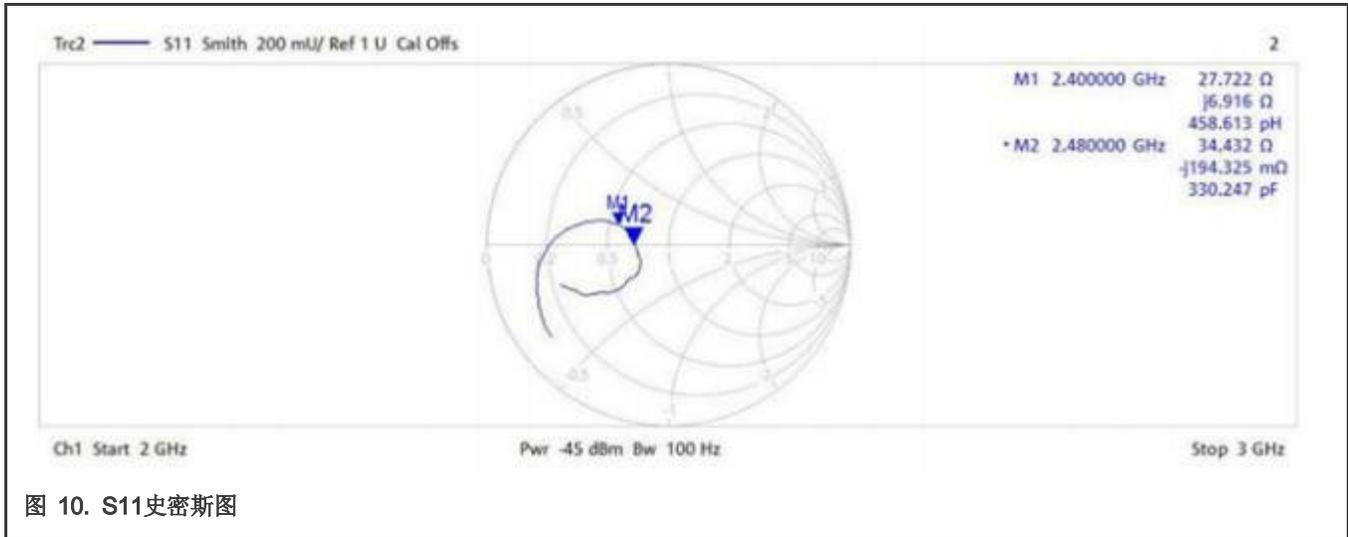


图 10. S11史密斯图

9.1.3 IFA 辐射方向图

辐射模式的测量是在吸波暗室内进行的。图 11 和图 12 展示了水平 FRDM 板的方向。

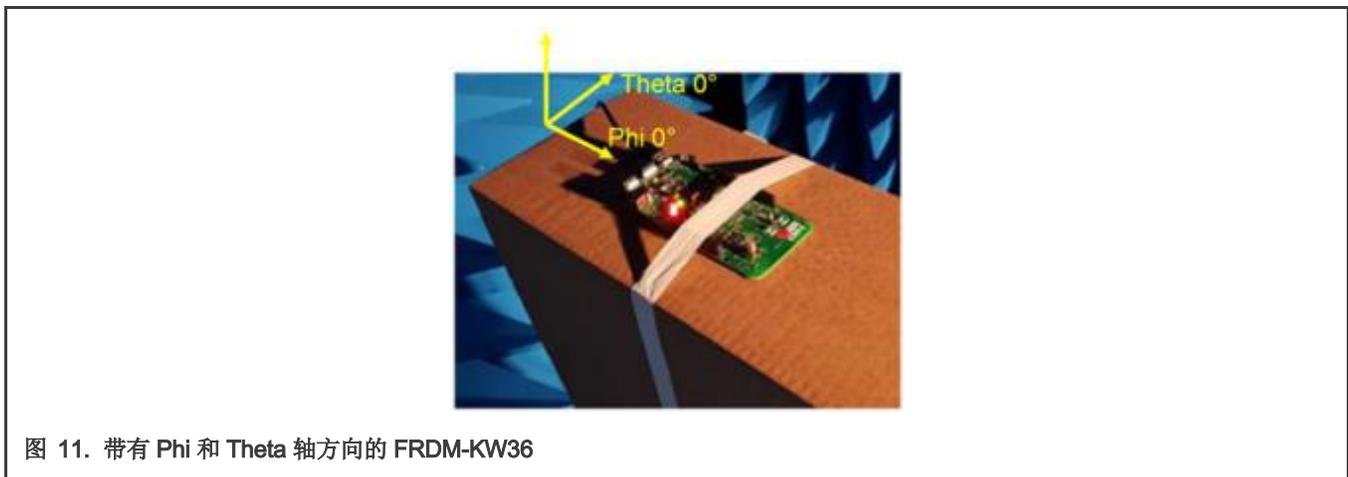


图 11. 带有 Phi 和 Theta 轴方向的 FRDM-KW36

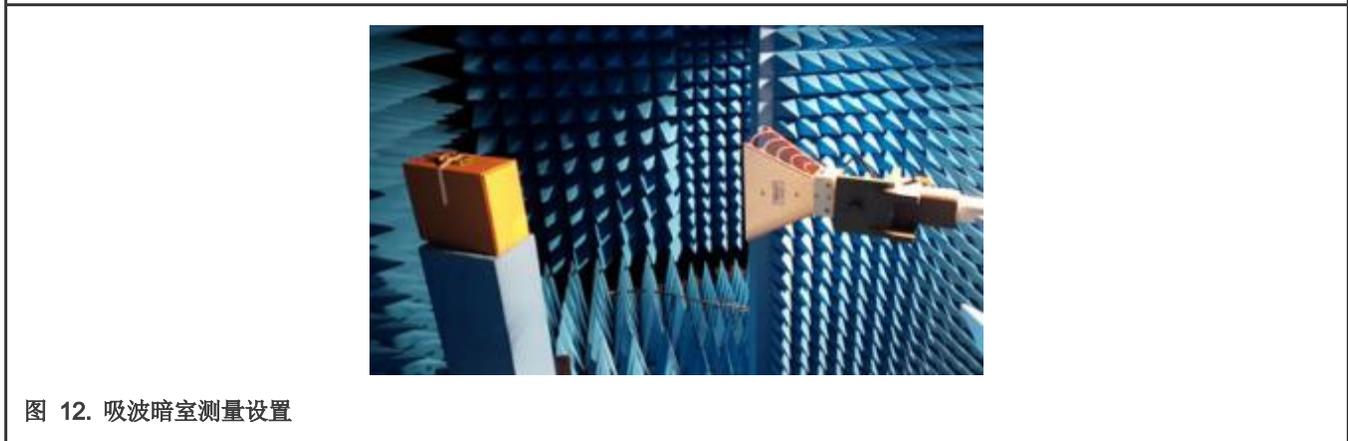


图 12. 吸波暗室测量设置

参考/测量天线的方向为垂直和水平。图 13 和图 14 展示了水平和垂直 IFA 接收的天线辐射图形状。通过改变 ϕ 角度来旋转 FRDM 板。

155 度角处达到水平方向的最大增益，值为 0 dBi。参考天线垂直的情况下，在 145 度角处存在最大增益，值为 0 dBi。

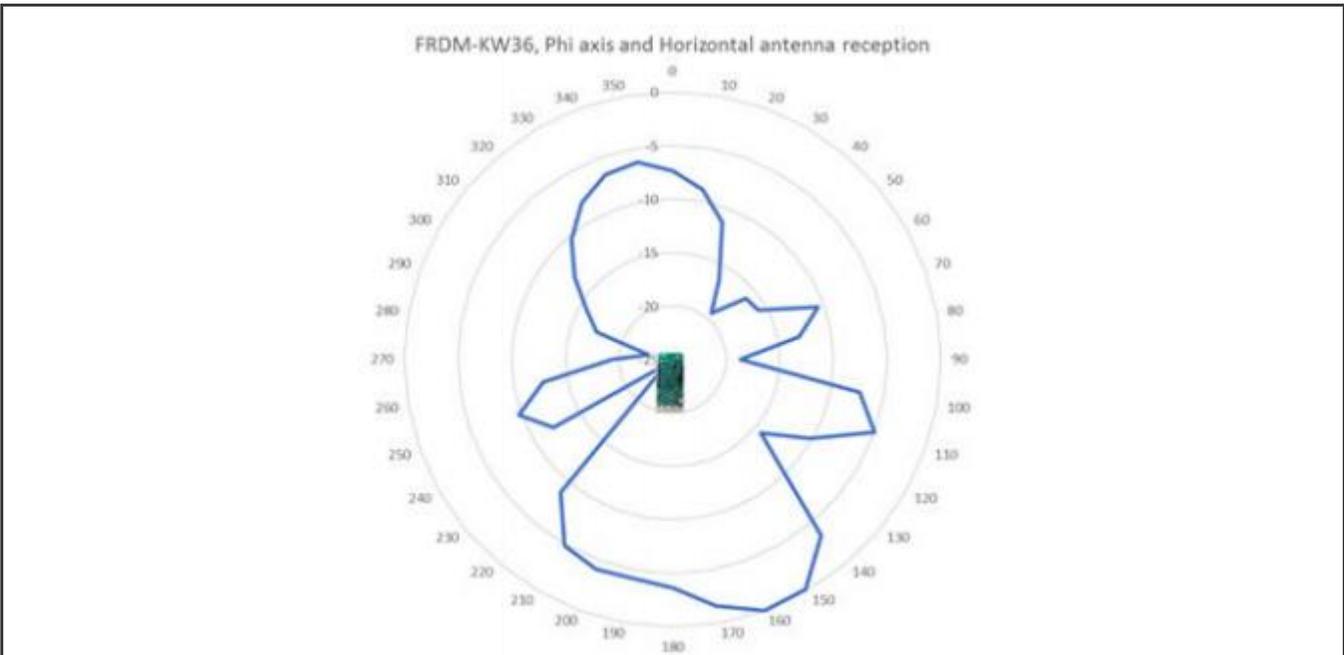


图 13. IFA 天线 - Phi 轴的增益和方向图，最大增益在155°

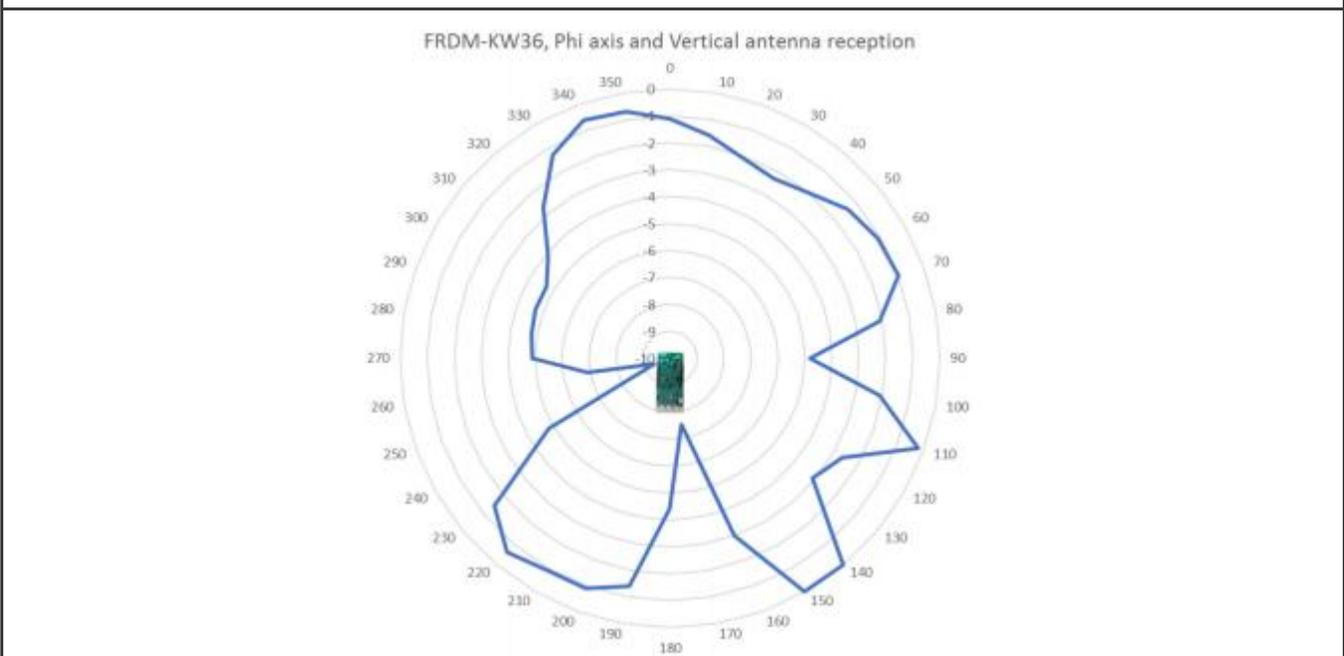


图 14. IFA 天线 - Phi 轴的增益和方向图，最大增益在 145°

垂直FRDM 板的位置如 图 15 所示。在此位置，您可以测量 θ 平面中的 IFA 天线。

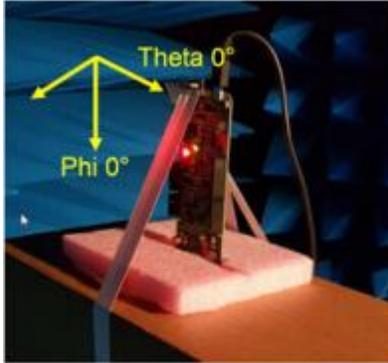


图 15. 带有 Phi 和 Theta 轴方向的 FRDM-KW36

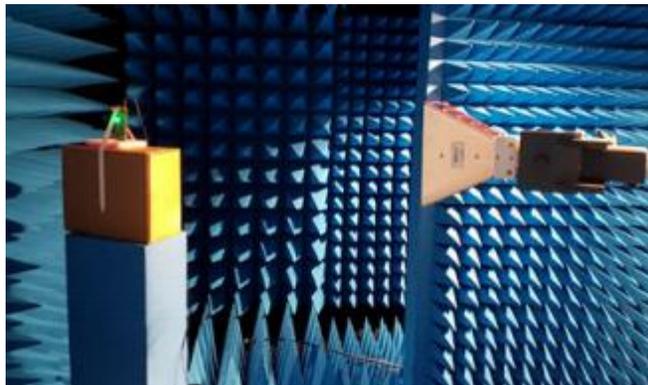


图 16. 吸波暗室测量设置

图 17 和 图 18 展示了沿 θ 角水平和垂直 IFA 接收的天线辐射图形状。旋转 FRDM 板，在 0 度角处达到水平天线接收的最大增益，其值接近 0 dBi。参考天线垂直的情况下，在 110 度和 260 度角处存在最大增益，其值最高为 0 dBi。

4下

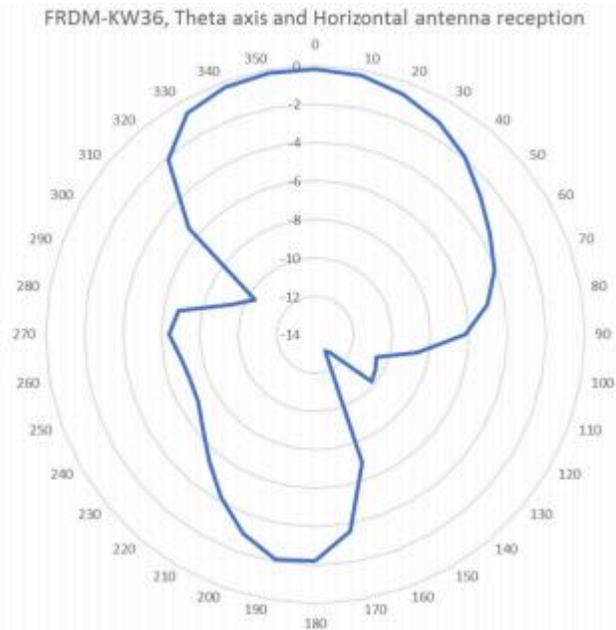


图 17. IFA 天线 - Theta 轴的增益和方向图，最大增益在0°

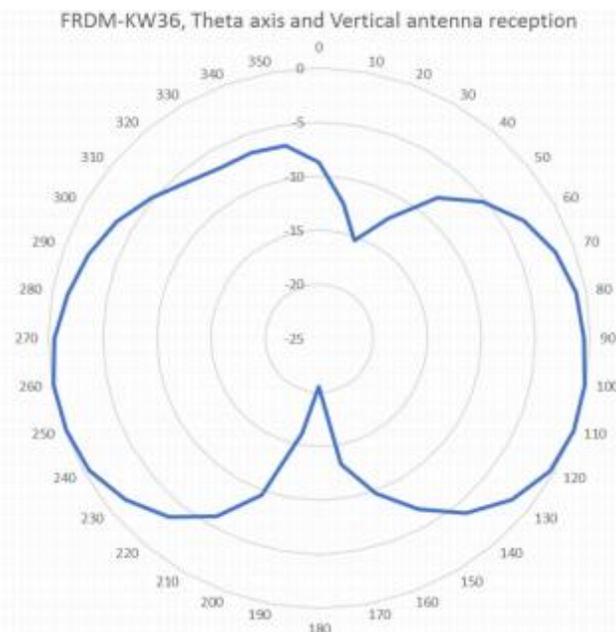


图 18. IFA 天线——Theta 轴的增益和方向图，最大增益在 110° 和 260°

9.2 曲折平面倒F天线 (PIFA)

本节介绍 NXP 板上的曲折平面倒 F 天线 (PIFA) 的实现。这种类型的天线广泛应用于 USB 加密狗或扩距模块。整个 RF 部分通常更紧凑，便于进行较小的设计。天线由与接地平面平行且一端接地的单极天线组成。天线从中间点馈电，距离接地端有一定距离。PCB 本身的接地层尺寸和基板材料对天线参数有显著影响。这就是要针对不同的板子（接地层）尺寸对 PCB 天线进行微调的原因。

9.2.1 曲折天线尺寸

下图展示了两种不同 PCB 设计的曲折 PIFA 尺寸。USB 加密狗板和扩距板配备了相同的曲折天线。但是，每个天线都针对所有重要的 PCB 参数进行了轻微修改。

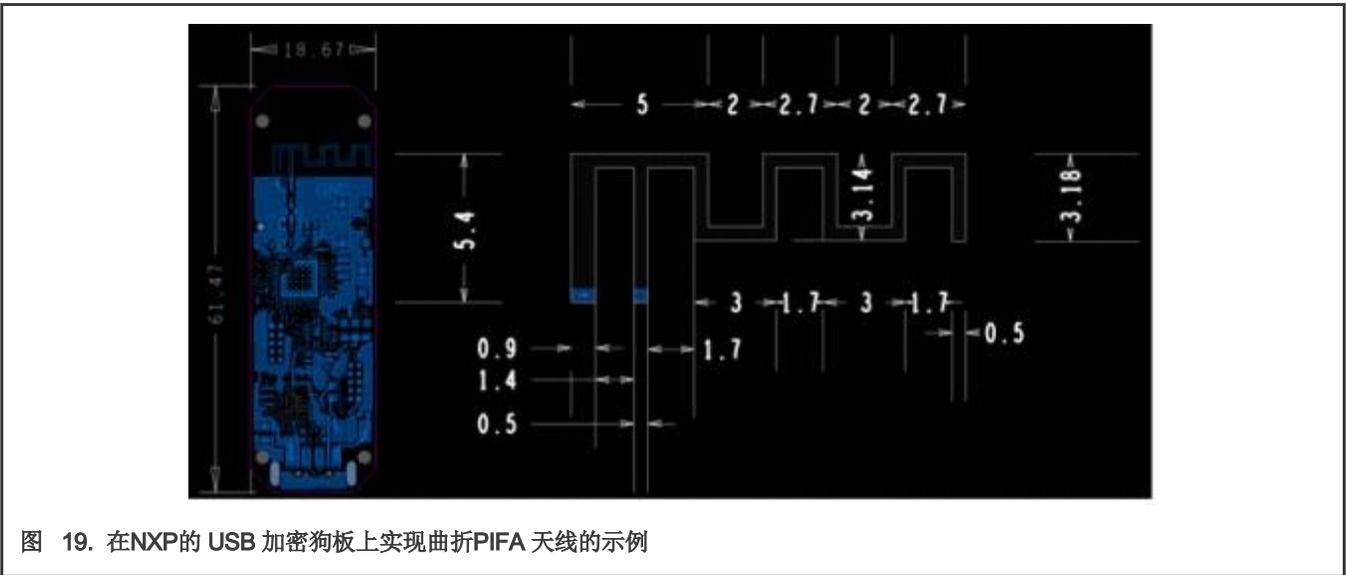


图 19. 在NXP的 USB 加密狗板上实现曲折PIFA 天线的示例

区别在于曲折天线的长度（由最后一个天线指的长度表示）和 F 天线的接地端。馈电点与接地端天线之间的距离对天线输入阻抗有直接影响。

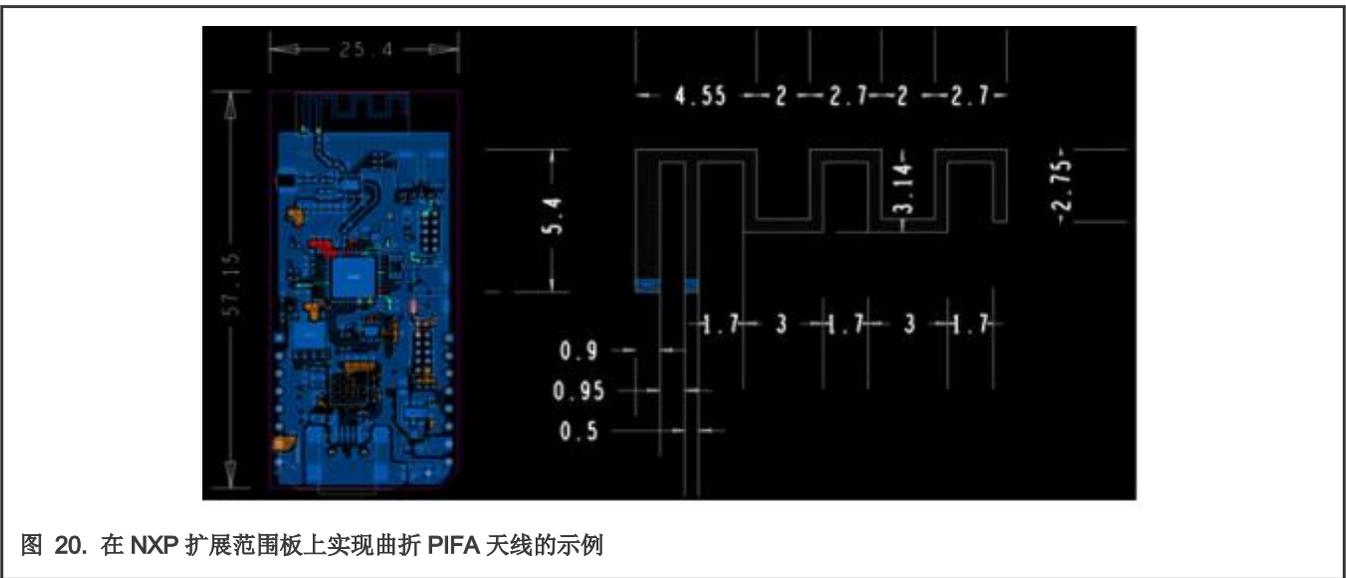


图 20. 在 NXP 扩展范围板上实现曲折 PIFA 天线的示例

两块板使用相同的基板材料和厚度。板子层叠结构如 图21 所示。重要因素之一是基板材料的质量。常用的 FR4 基板的相对介电常数在 4.3 - 4.5，范围分布较广。中心调谐天线频率的频移可能会有所不同。

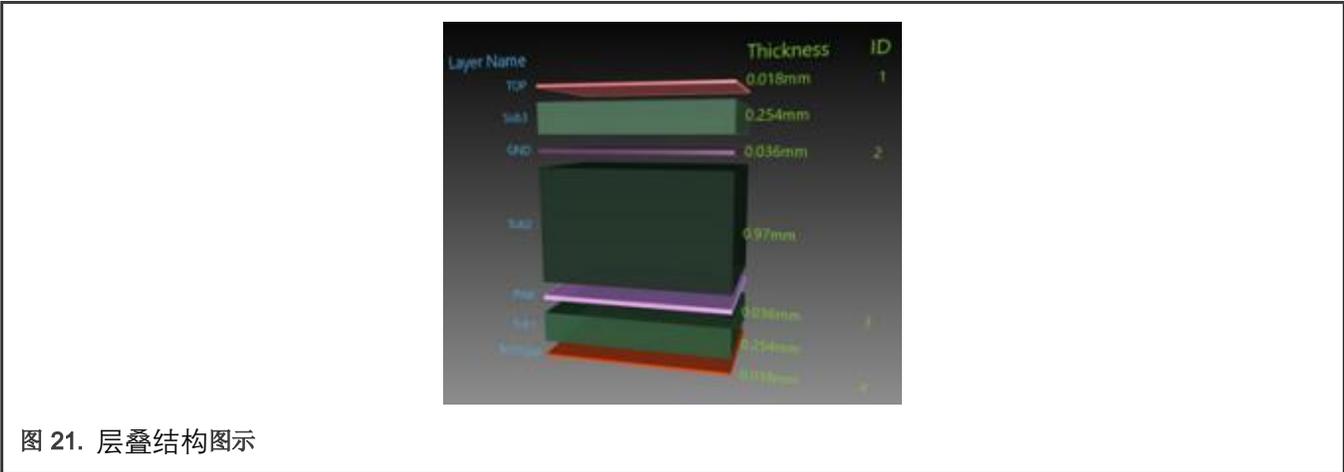


图 21. 层叠结构图示

9.2.2 简化的模型描述和仿真结果

使用 Ansys Electronics Desktop 工具创建简化的 PCB 模型。模型对应了 USB 加密狗和扩距板的物理参数。上述电路板的 3D 辐射图如下所示，带有相应的 XYZ 轴和 Theta (θ)/Phi (φ) 平面。

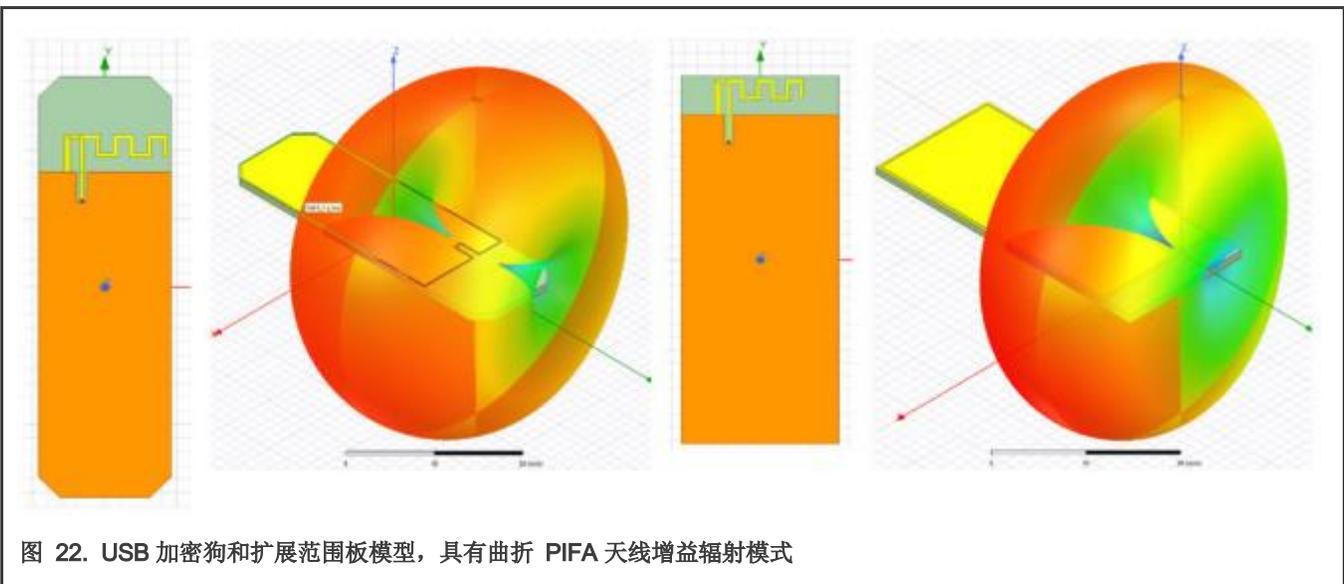


图 22. USB 加密狗和扩展范围板模型，具有曲折 PIFA 天线增益辐射模式

正 X 轴通常跟随零 φ 角。图形的形状可能会随着接地平面尺寸的不同而略有不同，如图所示。曲折 PIFA 天线性能会受到轻微影响，必须对两块板分别进行评估。

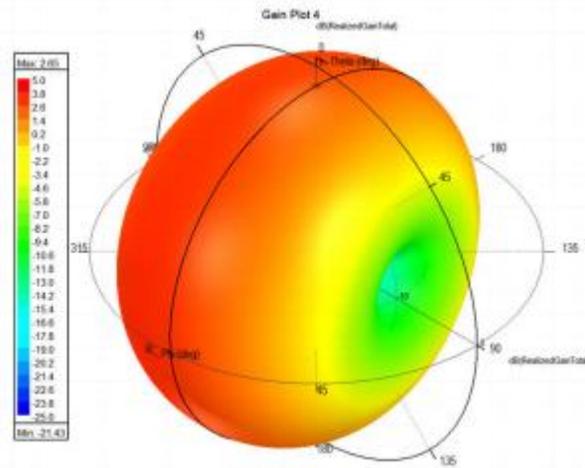


图 23. USB加密狗板的3D增益辐射图（包括角度轴）

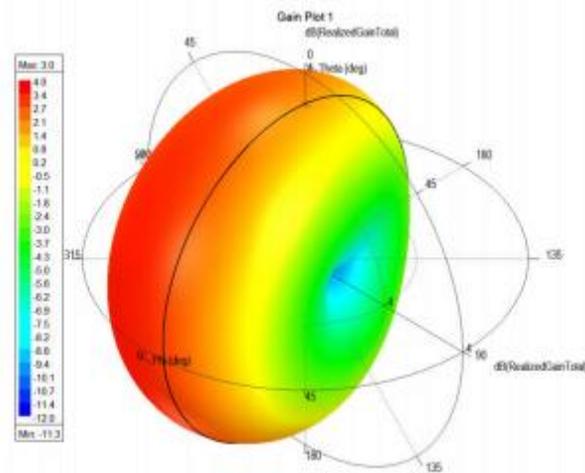


图 24. 扩距板的 3D 增益辐射图（包括角度轴）

二维极坐标图展示了两个重要的横截面。如 图 25 和 图 26 所示。红色曲线代表水平极化，对应于 φ 角 0 度的横截面。 θ 角在 ± 180 度范围内变化。绿色曲线代表垂直极化，对应于 φ 角 90 度的横截面。

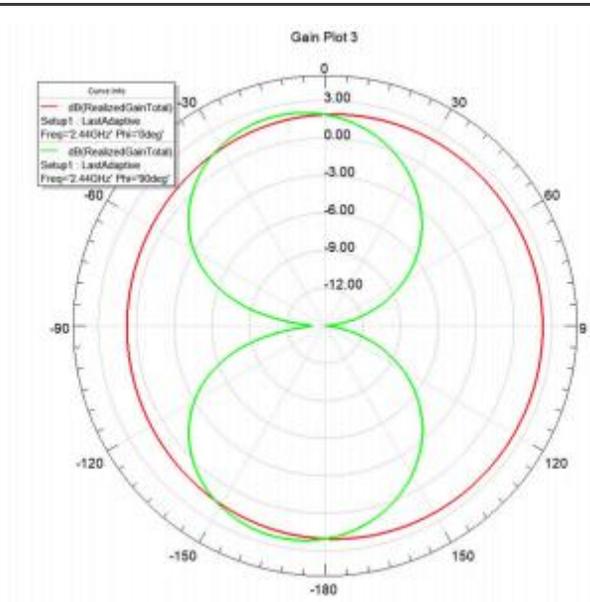


图 25. USB加密狗曲折PIFA天线辐射图，红色曲线-水平极化，绿色曲线-垂直极化

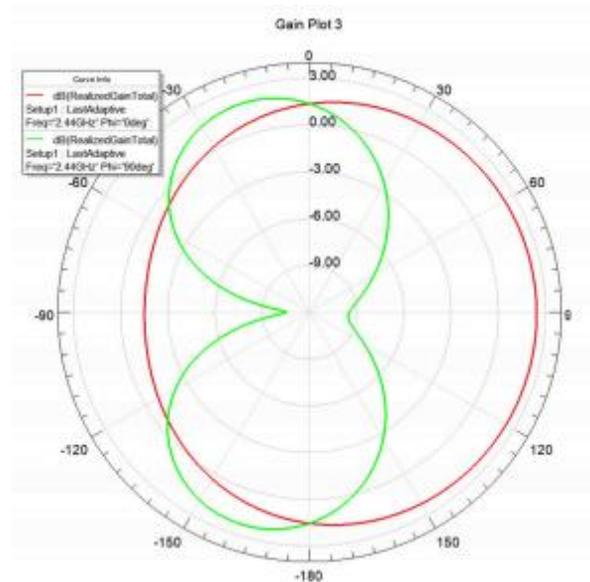


图 26. 扩距板曲折PIFA天线辐射图，红色曲线-水平极化，绿色曲线-垂直极化

图 26 展示了扩展范围板上的曲折 PIFA 天线的更多不对称辐射模式行为。

9.2.3 USB加密狗PIFA天线的反射系数结果

通常评估或测量反射系数（回波损耗） S_{11} 。图 27 展示对于FR-4 基板材料，不同相对介电常数造成的反射系数变化。史密斯圆图也可说明这种变化。曲线应尽可能接近值1。相对介电常数产生变化的原因是：不同制造商的FR-4基板材料的参数具有不稳定性。

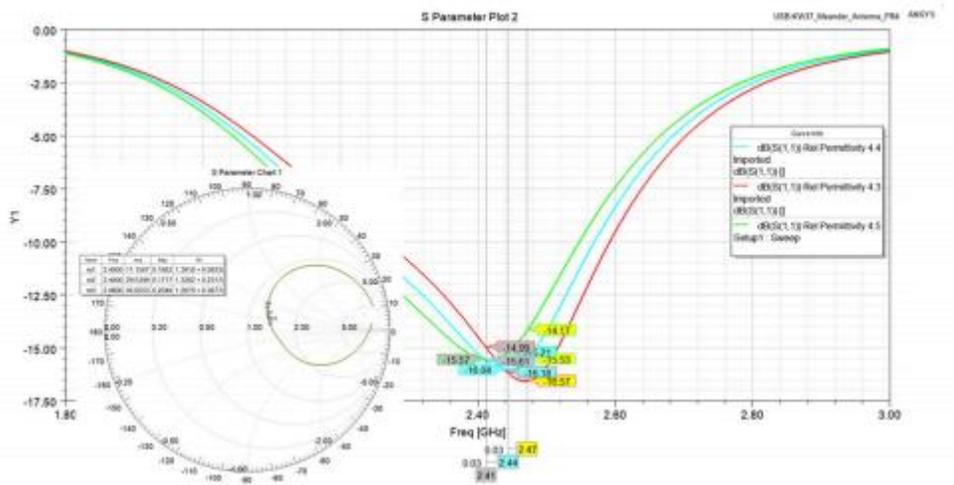


图 27. USB 加密狗曲折天线 - 反射系数 S11 与史密斯圆图, S11 随相对介电常数变化

在相对介电常数变化为 0.1 的范围内, 反射系数的最低调谐值可以偏移 ± 35 MHz。

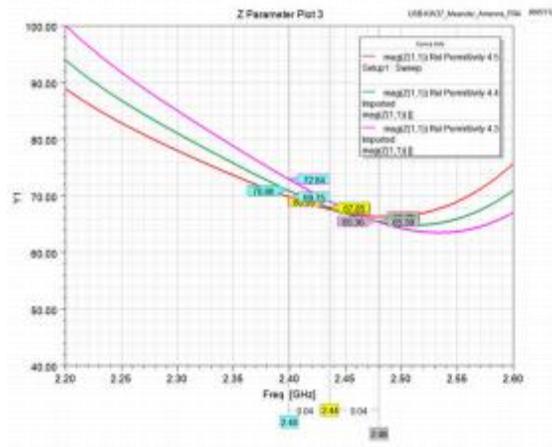


图 28. USB 加密狗 - 曲折 PIFA 天线的输入阻抗

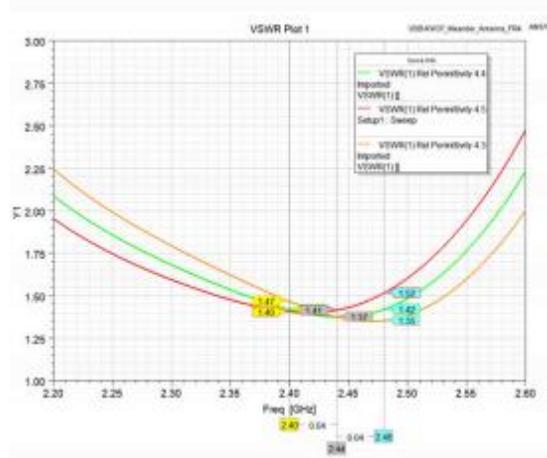


图 29. USB 加密狗 - 曲折PIFA天线的 VSWR

当前的 PIFA 天线设计展现出对相对介电常数变化的一些抗干扰能力，因为天线有用频带（S11 值低于 -10 dB）等于 300 MHz。

从 S11 反射系数导出的其他参数是天线输入阻抗和 VSWR。这些特性如 图 28 和 图 29 所示。输入天线阻抗应尽可能接近 50 Ω。VSWR 说明了天线匹配的质量。低于数字 2 的值说明天线匹配良好。

9.2.4 扩距 PIFA 天线的反射系数结果

扩距的曲折 PIFA 天线结果显示非常相似的特性。在 图 30 中对反射系数 S11 进行了说明，其中包含 FR-4 基板材料的相对介电常数变化。也附上了史密斯图。随着相对介电常数变化 0.1，反射系数的最低调谐值可以移动大约 ± 20 MHz。

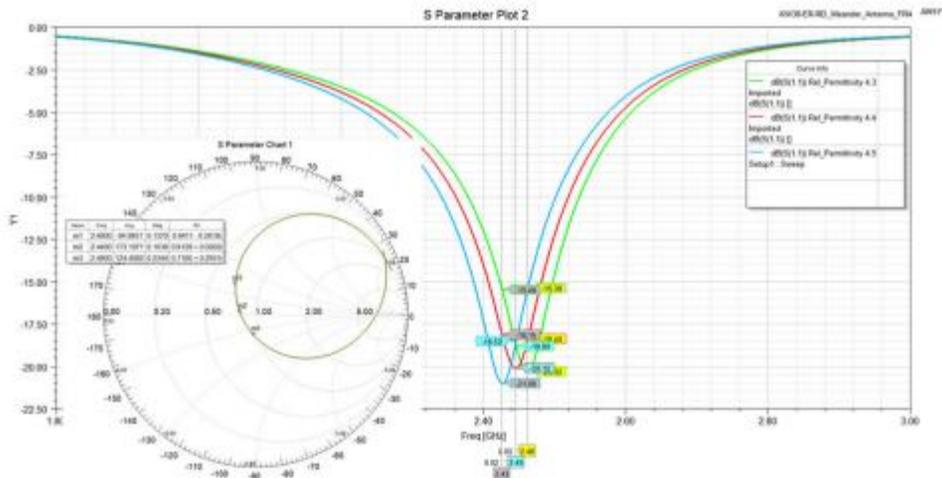


图 30. 扩距板——曲折 PIFA 天线反射系数 S11 与史密斯圆图，S11 随相对介电常数变化

在这种情况下，曲折 PIFA 天线更具选择性。根据天线的可用频段，相对介电常数变化和相应频移的抗干扰度约为 200 MHz。图 31 和 图 32 展示了从 S11 反射系数导出的其他参数。输入天线阻抗达到接近 50 Ω 的值。VSWR 值也达到了数字 1（理想频率匹配）。

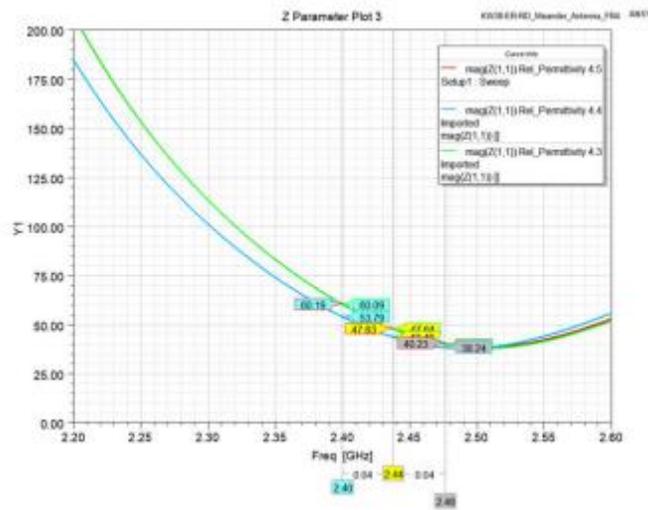


图 31. 扩距板——曲折天线的阻抗

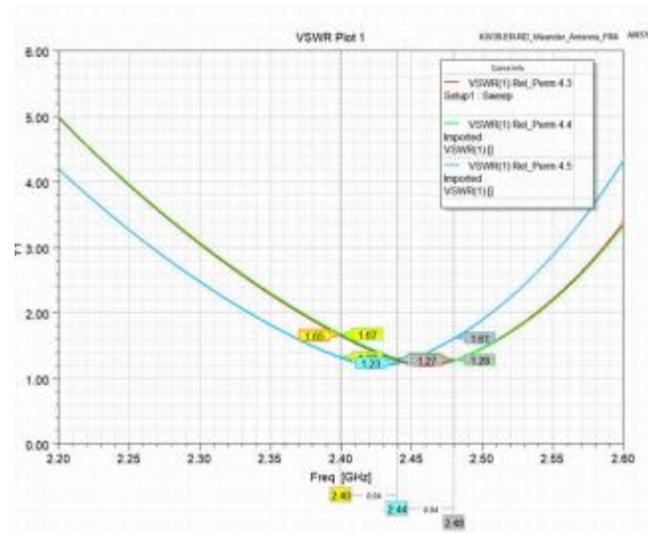


图 32. 扩距板 - 曲折天线的 VSWR

9.3 圆形贴片天线

圆形贴片是一种低剖面天线，它也可以像其他平面天线一样安装在平坦的表面上。它由安装在较大导电接地平面上的扁平圆形电导体组成。贴片的形状可能不同（矩形、正方形、星形等）。本示例使用圆形。同一基板上的多个贴片天线可用于制作天线阵列。圆形贴片天线通常比弯曲平面倒 F 天线或倒 F 天线大。

9.3.1 圆形贴片天线示例

以下示例展示了放置在 3 层 PCB 板上的圆形贴片天线。贴片直径为 34.1 毫米，矩形板尺寸为 80x80 毫米。下图展示了一个简化模型。它是使用 Ansys Electronics Desktop 工具创建的。

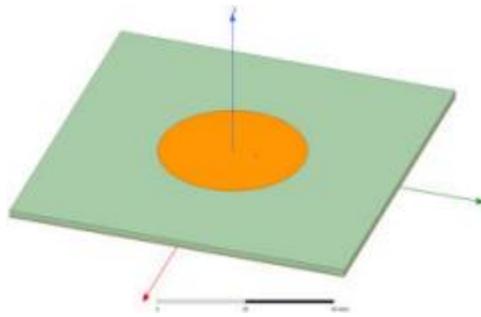


图 33. 带有 PCB 示例的圆形贴片天线模型

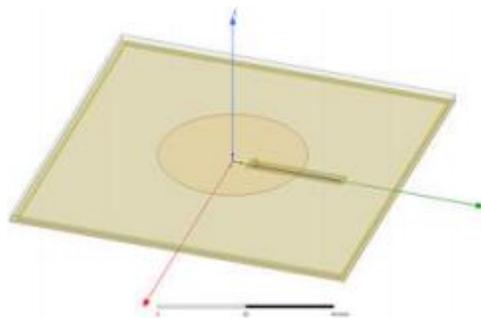


图 34. 底部带有同轴探头和馈线的圆形贴片天线模型

圆形贴片使用同轴探头进行馈电。共面波导在底部用作馈线，如 图 34 所示。同轴探头放置在距圆形贴片中心 5.5 mm 处。

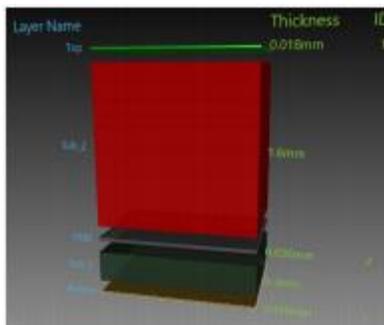
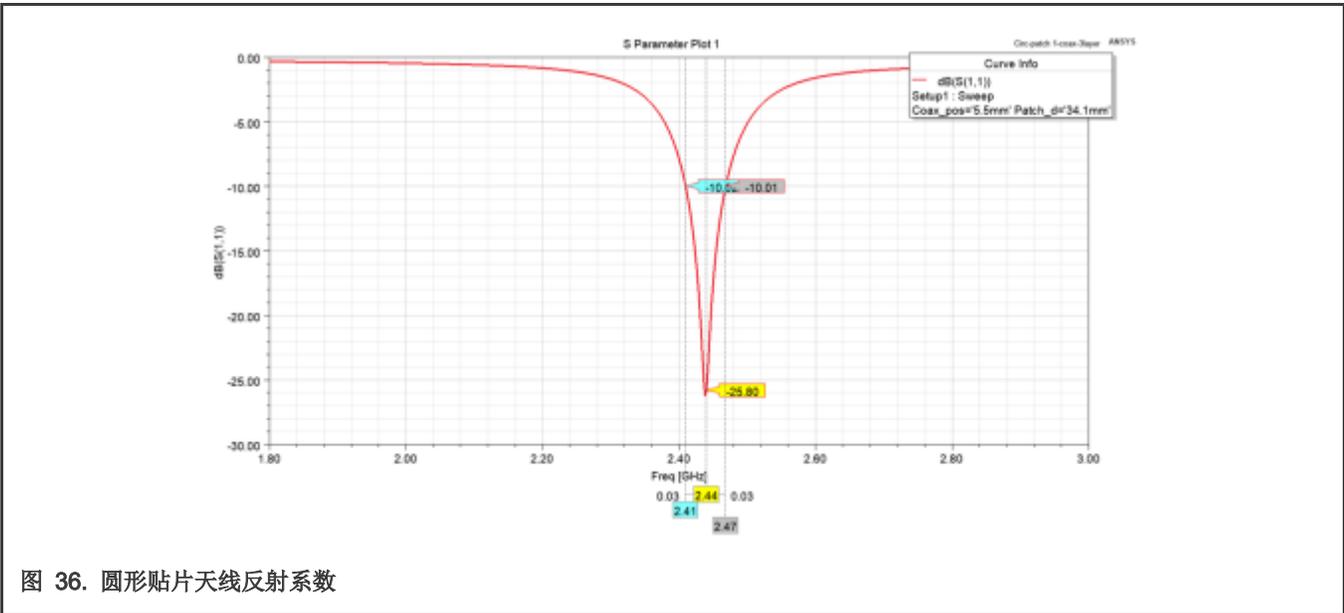


图 35. 圆形贴片天线PCB板层叠结构图

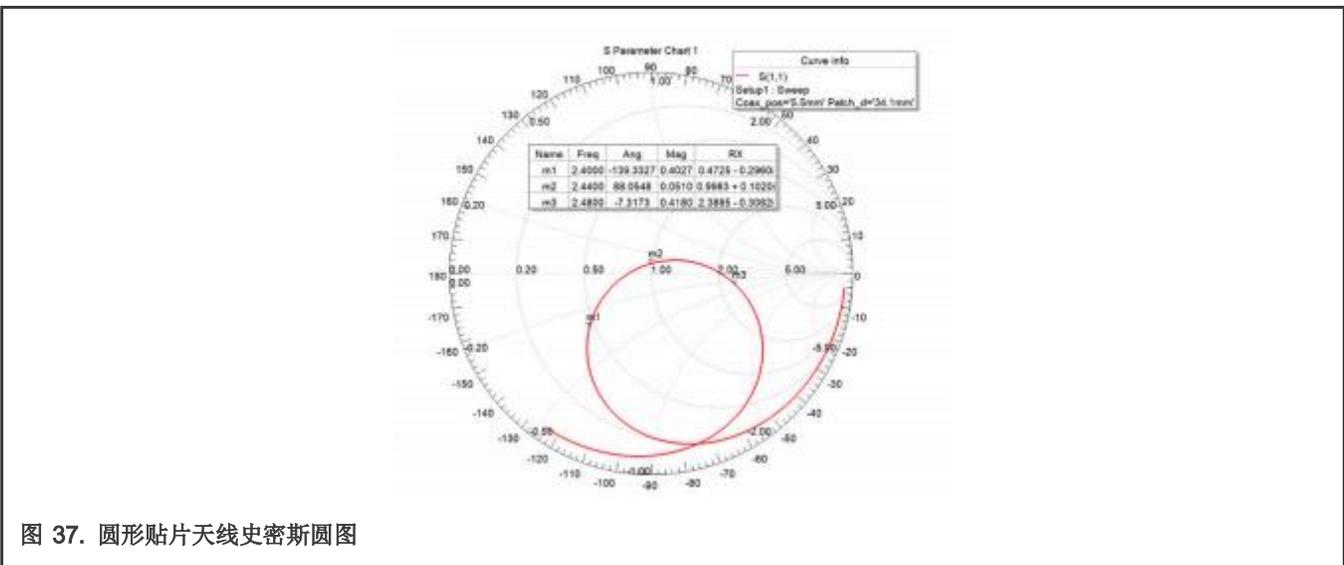
基板材料和厚度对应于 图 35 中的电路板层叠结构。Top 和 GND 层之间的距离为 1.6 mm，GND 和 Bottom 层之间的距离为 0.3 mm。中间接地平面层作为圆形贴片的镜子，为共面波导提供良好的接地。天线调谐到满足当前条件。选用常用的 FR4 材料作为基板，其相对介电常数在 4.3 - 4.5 范围内。

9.3.2 圆形贴片天线反射系数仿真结果

本章展示了圆形贴片天线的反射系数以及阻抗和驻波比的仿真结果。图 36 展示了圆形贴片天线的反射系数。它的天线谐振频率为 2.44 GHz。最小值达到-25 dB。



与其他天线相比，圆形贴片的频率带宽略窄。当前情况的带宽大约为 60 MHz（图中标记所示）。对应于这种情况的史密斯圆图如图 37 所示。谐振频率接近史密斯圆图的中点 1。



圆形贴片天线阻抗和 VSWR 图如图 38 和图 39 所示。天线阻抗在更宽的范围内变化。天线在 2.44 GHz 频率下达到理想匹配。

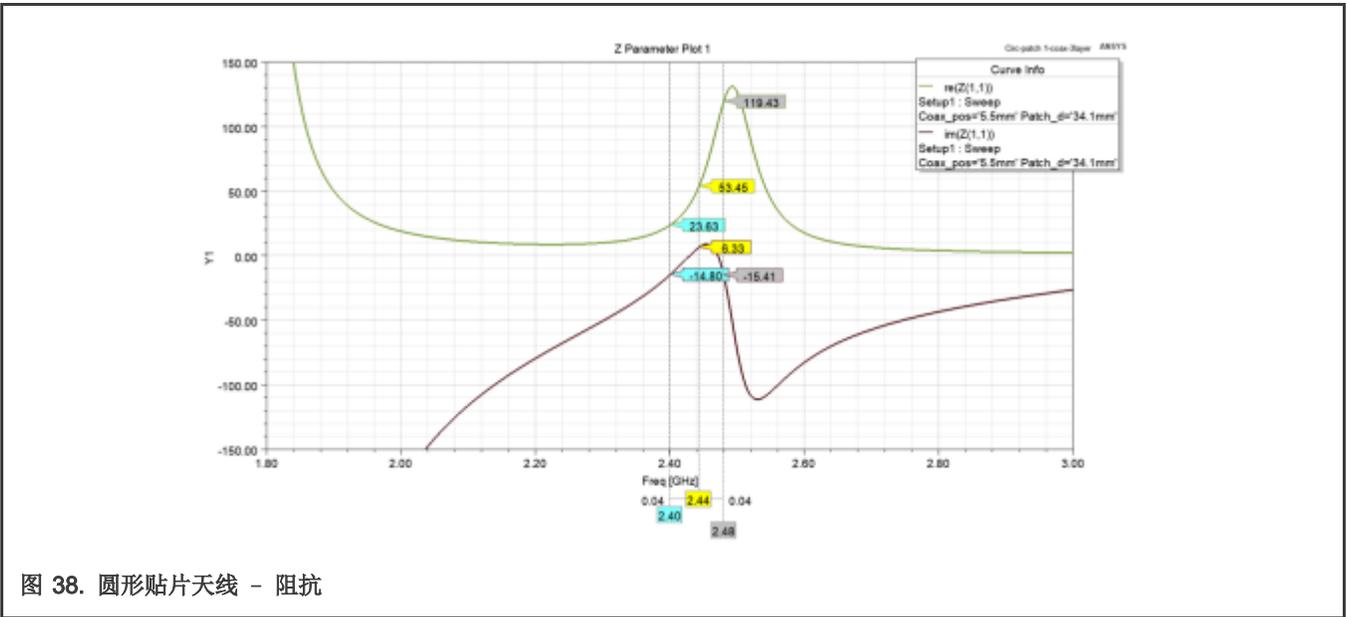


图 38. 圆形贴片天线 - 阻抗

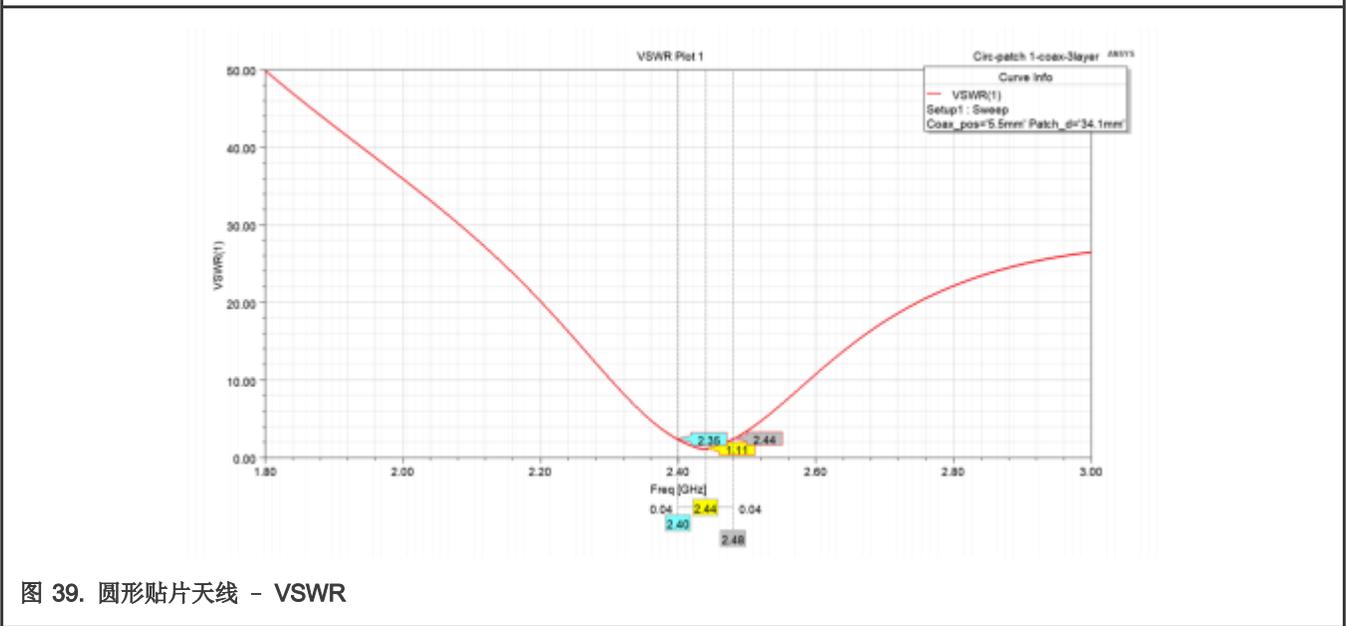


图 39. 圆形贴片天线 - VSWR

9.3.3 圆形贴片天线辐射方向图仿真结果

下图展示了带PCB的圆形贴片天线的3D辐射图。最大强度用红色表示，增益达到3.4 dBi。

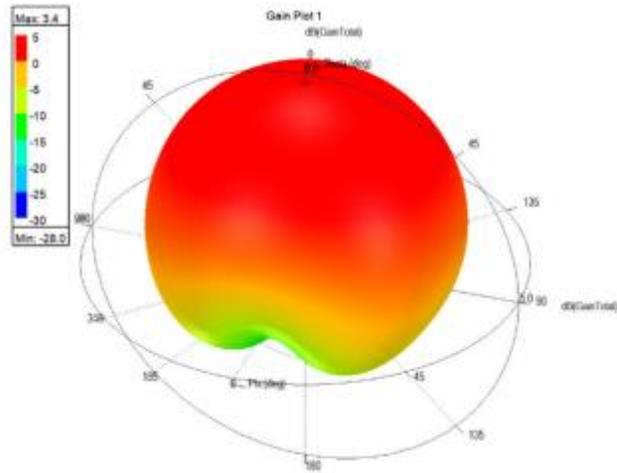


图 40. 圆形贴片天线的 3D 增益辐射图

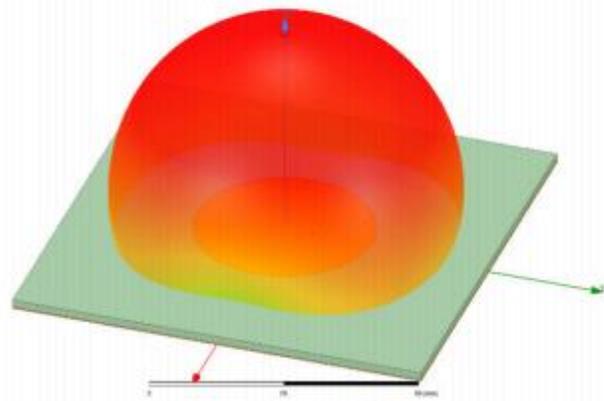


图 41. 带 PCB 的圆形贴片天线的 3D 增益辐射图

图 42 展示了使用最重要横截面（在 ϕ 轴上）的 2D 辐射图的极坐标图。

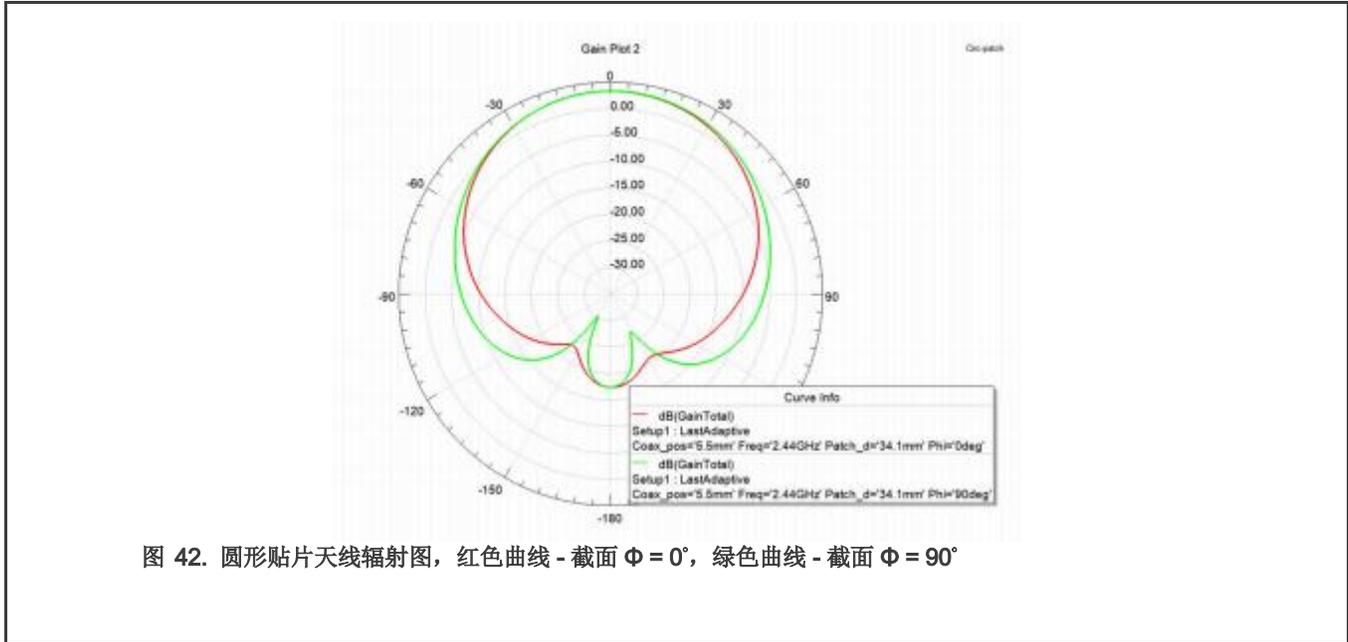


图 42. 圆形贴片天线辐射图，红色曲线 - 截面 $\Phi = 0^\circ$ ，绿色曲线 - 截面 $\Phi = 90^\circ$

9.4 芯片天线

有许多芯片天线的设计，NXP强烈建议仔细遵循天线制造商关于接地、禁用区域等的指导。

芯片天线通常具有高于/低于 2.44 GHz 的谐振频率，并且在没有调谐/匹配组件的情况下，2.44 GHz 的回波损耗可能很差。必须通过插入与馈电点串联的芯片线圈或在另一端添加 PCB 走线来调整天线，以将谐振频率匹配到 2.44 GHz。天线必须针对特定的 PCB 进行调谐，该 PCB 由最终产品的接地平面尺寸和外壳来决定。下面的章节展示了一个使用 Johanson 2450AT42A100 芯片天线的例子。

9.4.1 Johanson 2450AT42A100 天线示例

以下示例展示了放置在PCB两个角的Johanson芯片天线。选择的型号为2450AT42A100。使用Ansys Electronics Desktop工具创建简化的PCB模型。图43展示了具有两个芯片天线的3D创建模型。该示例表明即使是工厂生产的成品芯片天线，也需要特定的调谐以实现更好的天线匹配和辐射。

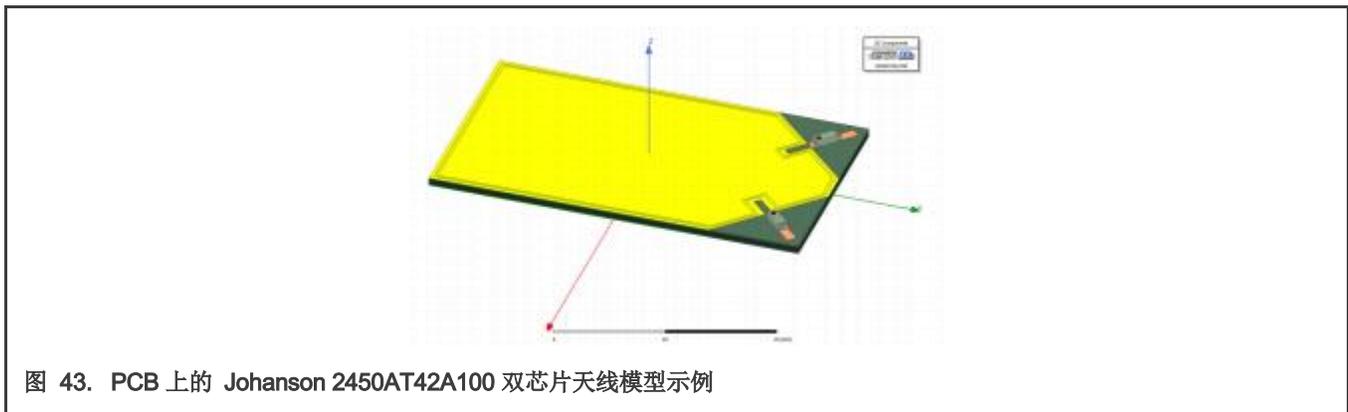


图 43. PCB 上的 Johanson 2450AT42A100 双芯片天线模型示例

Johanson 建议天线部分下方没有接地层。基板材料和厚度对应于下图中的层叠结构。本示例使用四层PCB板设计。

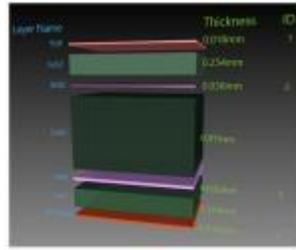


图 44. 芯片天线PCB层叠结构

选用常用的FR4材料作为基板。它的相对介电常数在 4.3 - 4.5 的范围内。

9.4.2 Johanson 2450AT42A100 反射系数仿真结果

本章展示了芯片天线的反射系数以及阻抗和驻波比的仿真结果。首先，这些天线是在没有任何外部匹配组件的情况下进行仿真的。图 45 展示了芯片天线的反射系数。它展示了在 2.37 GHz 处偏移的天线谐振频率。反射系数的最小值 (-12.7 dB) 可能会更低。

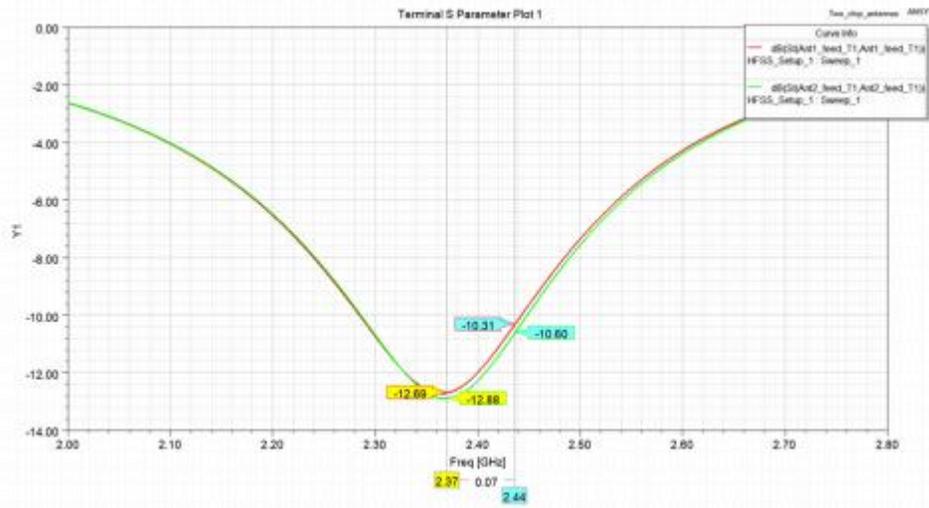


图 45. 芯片天线反射系数——匹配前

这种情况对应的史密斯圆图如图 48 所示。如果在贴片天线之前插入匹配电路，可能会带来一些改善。图 46 展示了针对当前芯片天线和 PCB 接地平面尺寸调谐的匹配电路示例。每个天线包含了一个电容器和一个电感器。

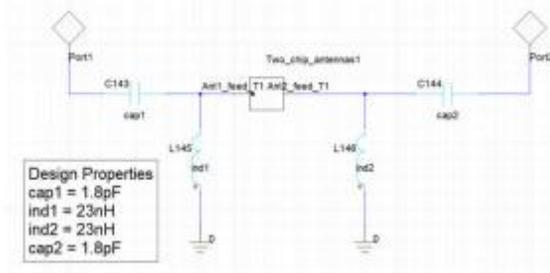


图 46. 芯片天线匹配电路示例

反射系数的改进如 图 47 所示。谐振频率发生变化，最低值达到大约 -45 dB。去除了频移，两个芯片天线都在 2.44 GHz 处谐振。在良好匹配状态下，芯片天线工作的频率带宽约为 170 MHz。

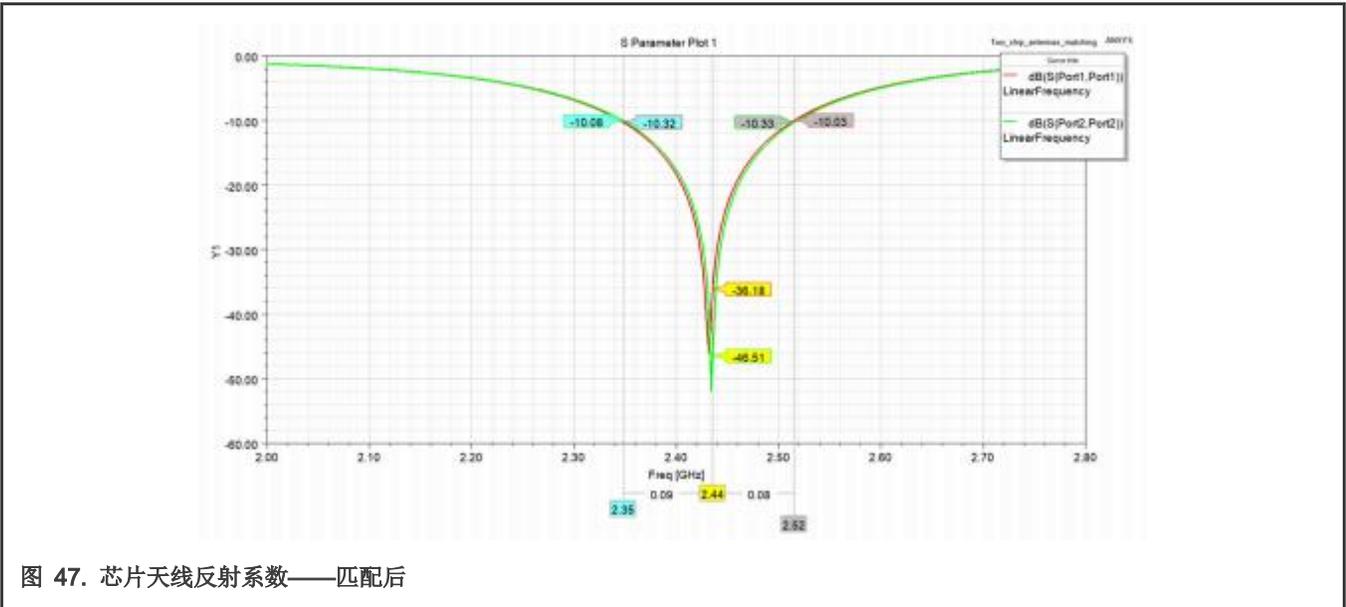


图 47. 芯片天线反射系数——匹配后

匹配电路使用了两种芯片天线之后，其史密斯圆图如图 49 所示。两条曲线在 2.44 GHz 处都与值 1 相交。

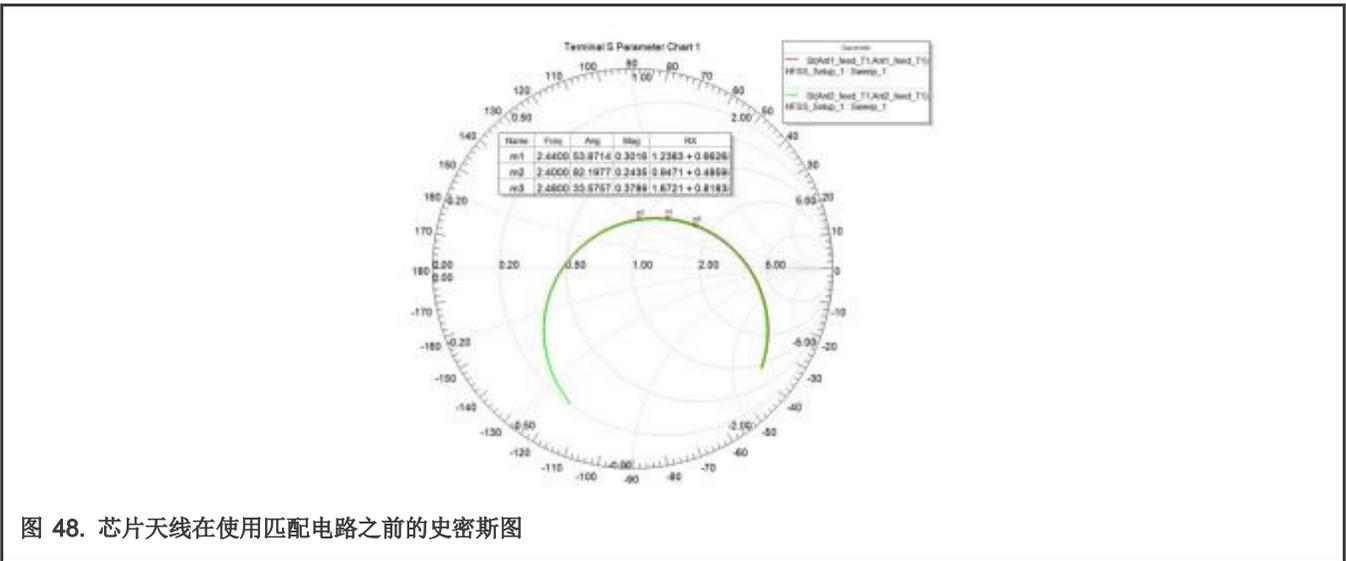


图 48. 芯片天线在使用匹配电路之前的史密斯图

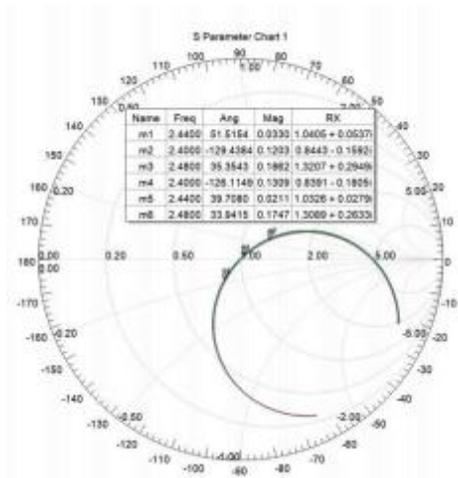


图 49. 芯片天线在使用匹配电路之后的史密斯图

图 50 和 图 51 展示了芯片天线阻抗和 VSWR 图表。这两个图表都证实了良好的天线匹配及其阻抗值。

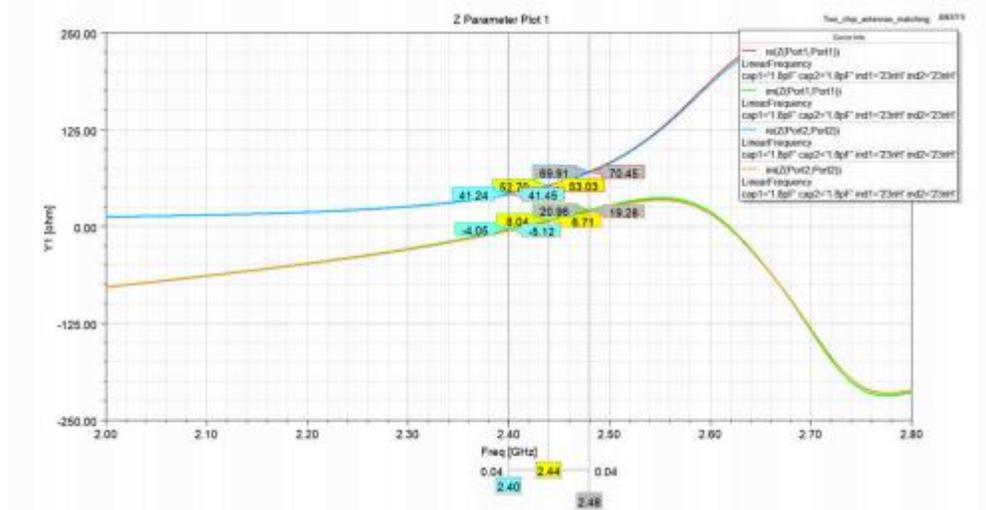


图 50. Johanson 2450AT42A100 芯片天线——匹配后的阻抗

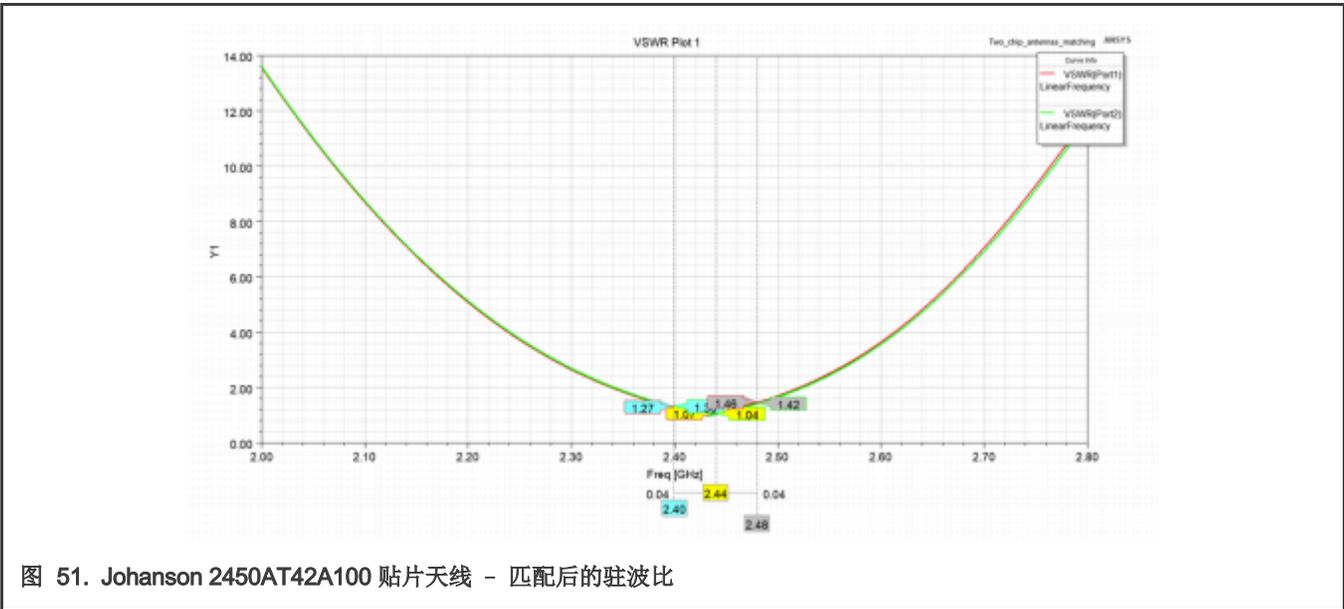


图 51. Johanson 2450AT42A100 贴片天线 - 匹配后的驻波比

低于 2 的 VSWR 值是一个较好的结果。2.4 GHz 的频率点的 VSWR 值为 1.3。2.48 GHz 的频率点的 VSWR 值为 1.45。

9.4.3 Johanson 2450AT42A100 辐射方向图仿真结果

图 52 和 图 53 展示了两个芯片天线 3D 辐射图的 PCB 板。红色代表最大辐射强度。

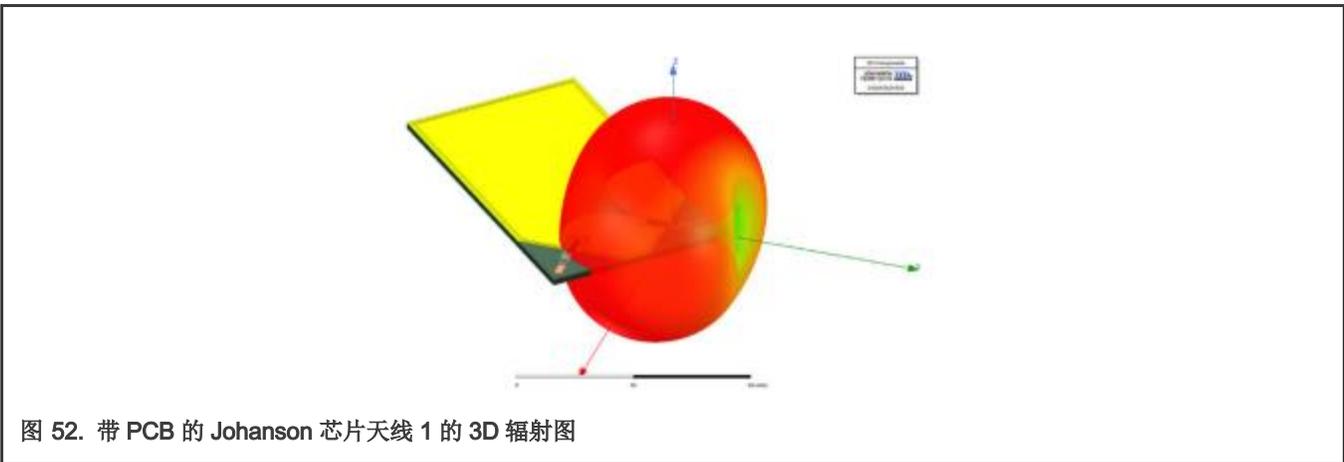


图 52. 带 PCB 的 Johanson 芯片天线 1 的 3D 辐射图

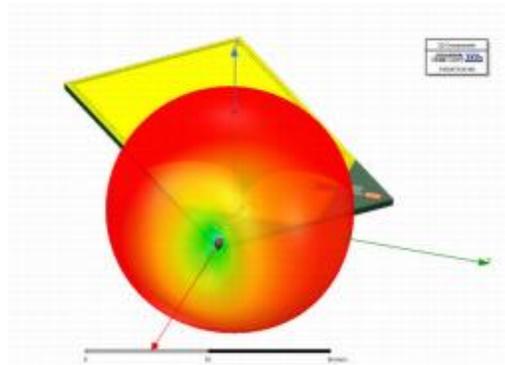


图 53. 带 PCB 的 Johanson 芯片天线 2 的 3D 辐射图

图 54 和 图 55 展示了适当比例和坐标系下的 3D 辐射图。最大天线增益约为 -0.6 dBi。Johanson 2450AT42A100 芯片天线的数据手册称其典型平均增益为 -1 dBi，其峰值为 0 dBi。

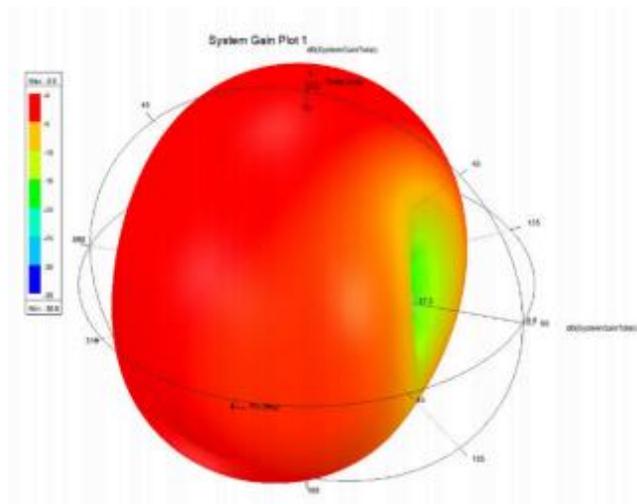


图 54. 天线 1 的 3D 增益辐射方向图，包括坐标轴

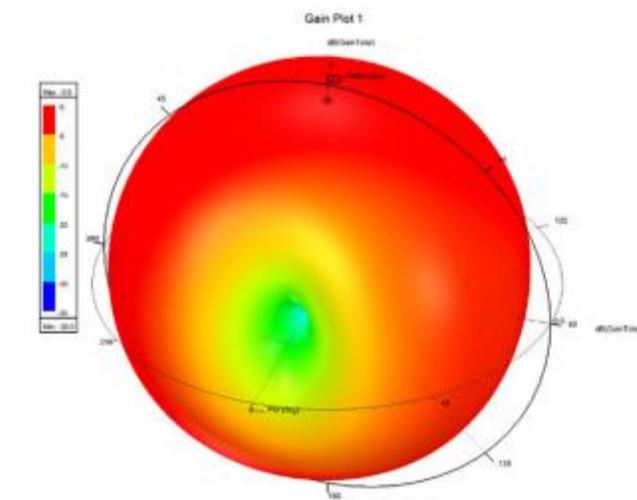


图 55. 天线 2 的 3D 增益辐射方向图，包括坐标轴

图 56 和 图 57 展示了使用最重要横截面（在 ϕ 轴上）的两个天线 2D 辐射图的极坐标图。

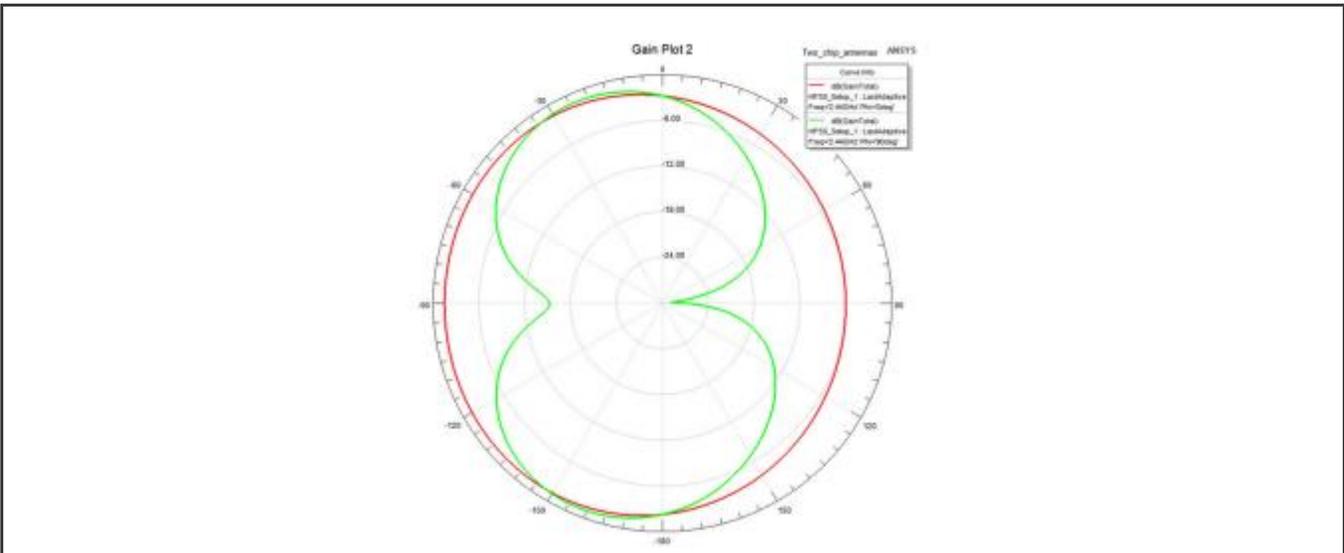


图 56. Johanson 2450AT42A100 芯片天线 1 的辐射图，红色曲线-截面 $\phi = 0^\circ$ ，绿色曲线-截面 $\phi = 90^\circ$

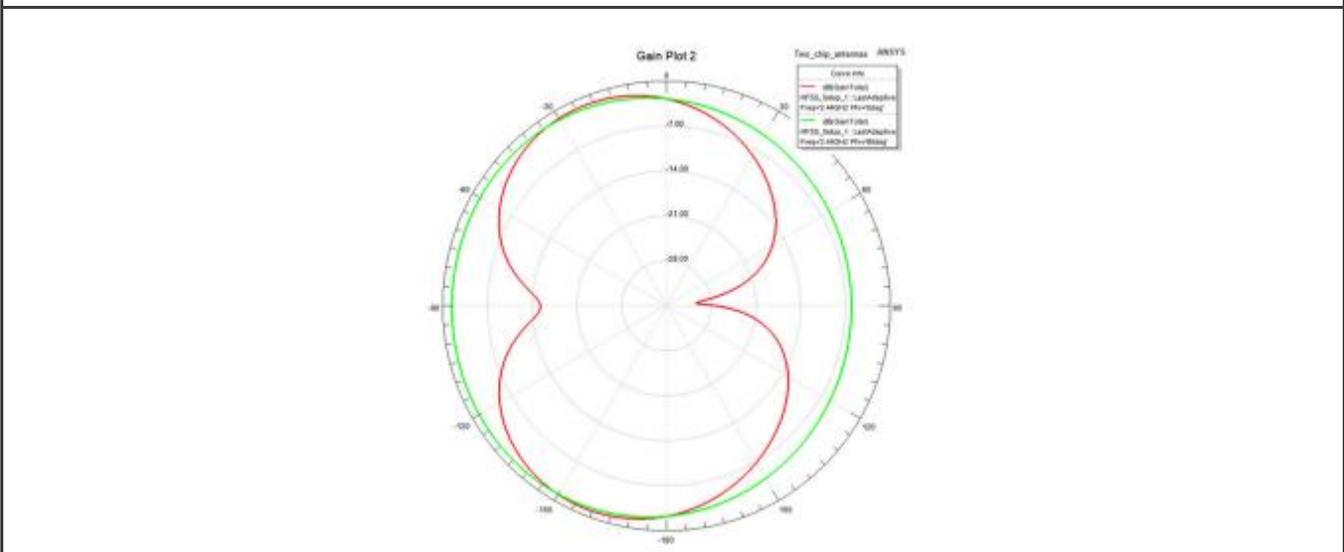


图 57. Johanson 2450AT42A100 芯片天线 2 的辐射图，红色曲线-截面 $\phi = 0^\circ$ ，绿色曲线-截面 $\phi = 90^\circ$

10 其他天线设计（自定义）

NXP 无线 MCU 设计用于基于 IEEE 802.15.4 或蓝牙低功耗协议标准的低功耗无线网络节点。这些网络可能采用建立在 IEEE 802.15.4 之上的更高级别的网络协议，例如 ZigBee PRO 或 ZigBee-RF4CE。天线始终是设计的重要部分，必须正确选择。本章描述了以下三种适合 PCB 天线的自定义设计：

- 曲折天线
- 倒F天线（IFA）
- 偶极天线

10.1 曲折天线

曲折天线仿真是使用来自Cadence 的 ADS 和来自Agilent 的 EMPro 作为两层印刷天线完成的。材料特性是：

- 基板 FR4
- 基板厚度 = 1.0 mm
- 相对介电常数 $\epsilon_r = 4.6$
- 耗散系数 $\tan(\delta) = 0.01$
- 铜厚度 = 17 μm

10.1.1 曲折天线布局

曲折天线布局如 图 58 所示。

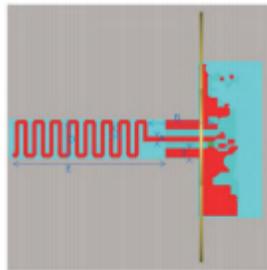


图 58. 曲折天线布局图

表 2 展示了曲折天线尺寸。

表 2. 天线尺寸

参数 (如图表所示)	尺寸 (mm)
A	0.5
B	7.7
C	1.6
D	4.5
E	17.7
F	1.1

整个天线概念还包含一个平衡器。平衡器由 0.3 mm 厚的金属镀锡板制成。3D模型如下图所示。

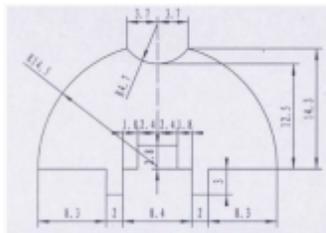


图 59. 平衡器尺寸

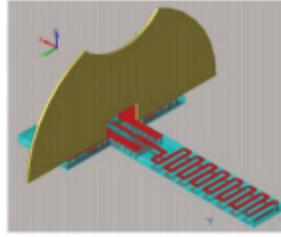


图 60. 曲折天线及其平衡器的 3D 视图

10.1.2 曲折天线仿真结果

反射系数 S11 如 图 61 所示。以下三个标记显示了结果值：

- $S_{11}[2.350 \text{ GHz}] = -4.31 \text{ dB}$
- $S_{11}[2.400 \text{ GHz}] = -4.51 \text{ dB}$
- $S_{11}[2.510 \text{ GHz}] = -4.6 \text{ dB}$

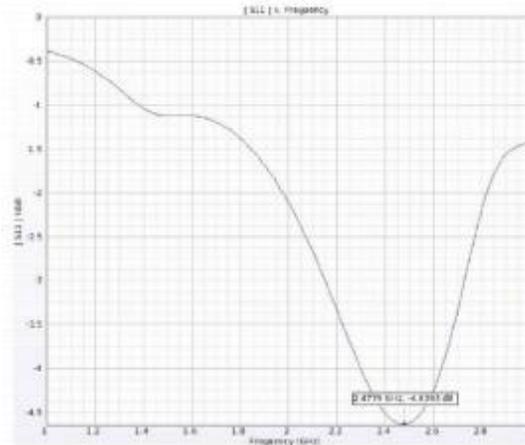


图 61. 反射系数 S11

史密斯圆图展示了包括曲折天线阻抗在内的 S11 反射系数的仿真结果。

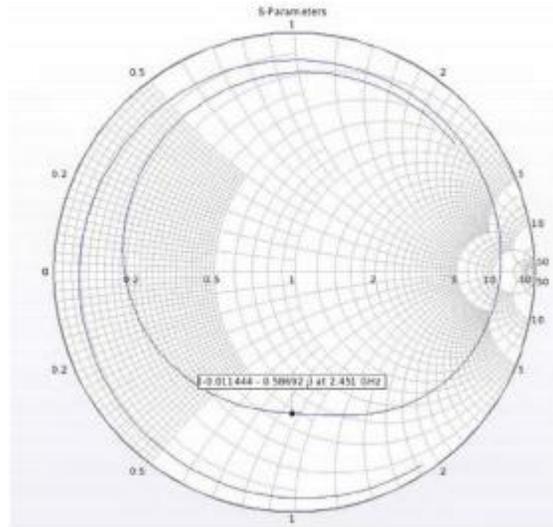


图 62. S11史密斯圆图

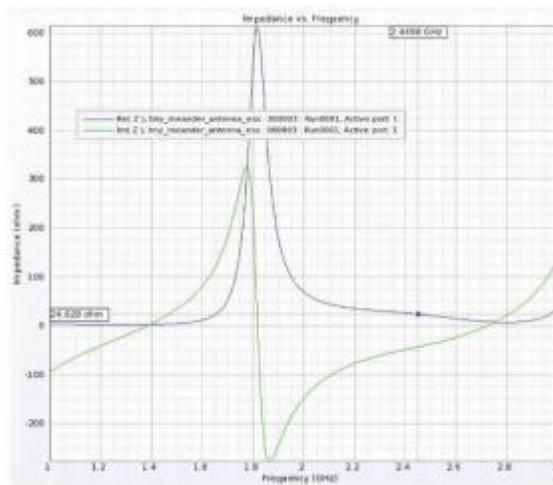


图 63. 阻抗图

3D 辐射图展示了 θ 方向的最大增益。

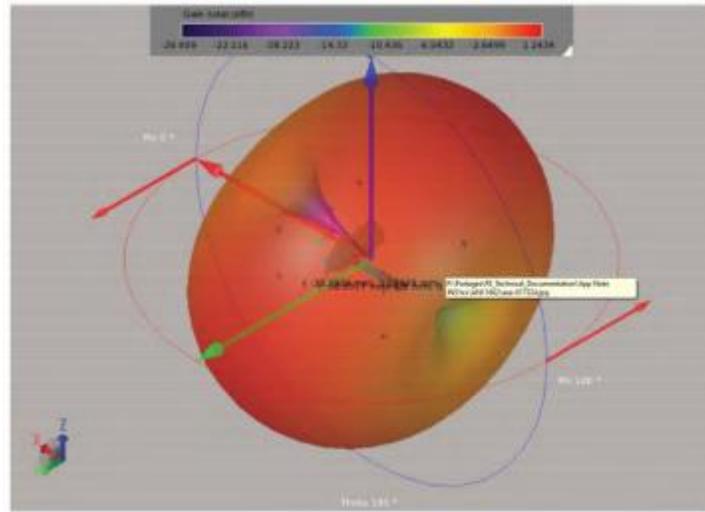


图 64. 所有方向的总增益

图 65 展示了 13° 时的最大增益为 1.2 dBi。

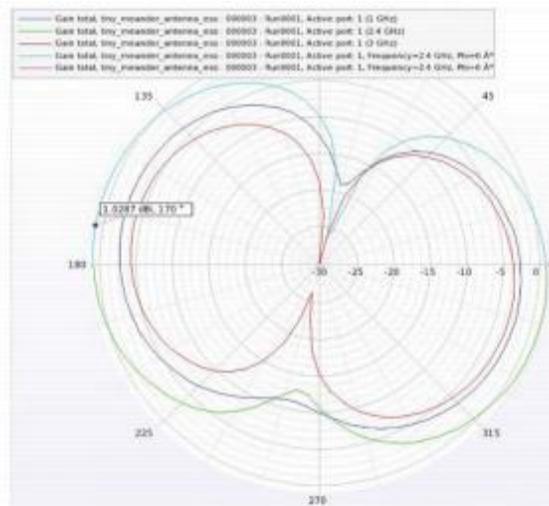


图 65. θ 方向增益

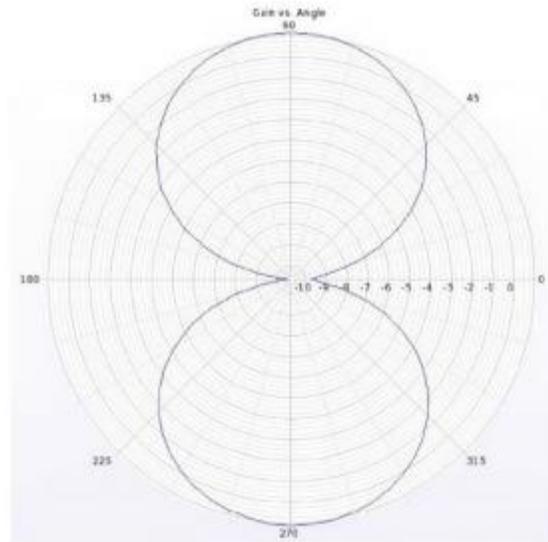


图 66. ϕ 方向增益

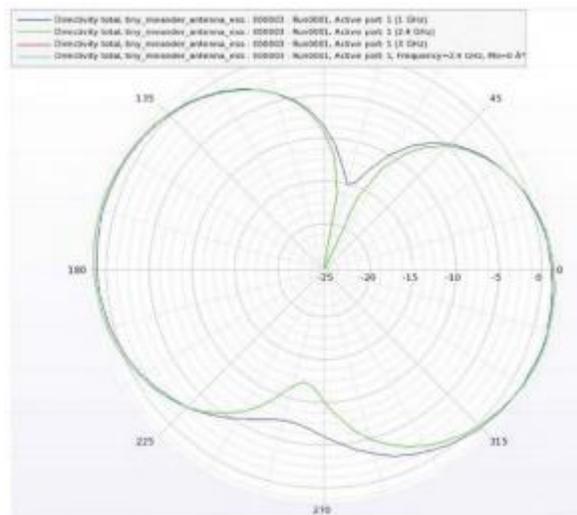


图 67. 对于 θ 的方向性

表 3 总结了多个频率下的曲折天线辐射效率。

表 3. 1 GHz、2.4 GHz 和 3 GHz 下的辐射效率

频率	效率
1 GHz	40.6 %
2.4 GHz	87.1 %
3 GHz	28.2 %

10.2 倒 F 天线 (IFA)

IFA 仿真是使用来自 Cadence 的 ADS 作为一层印刷天线完成的。PCB 材料特性为：

- 基板 FR4

- 基板厚度 = 1.6 mm
- 相对介电常数 $\epsilon_r = 4.6$
- 耗散系数 $\tan(\delta) = 0.01$
- 铜厚度 = 35 μm

10.2.1 IFA 布局

IFA 布局如 图 68 所示。



表 4 展示了 IFA 尺寸。

表 4. IFA 布局尺寸

参数 (如图表所示)	尺寸 (mm)
A	1.5
B	20.3
C	4.4
D	15.2
E	6.3
F	10.3
G	1.145
H	1.85
I	1.05
J	21

10.2.2 IFA 仿真结果

反射系数 S11 如下图所示。以下三个标记显示了结果值：

- S11[2.366 GHz] = - 19.6 dB
- S11[2.447 GHz] = - 19.8 dB
- S11[2.551 GHz] = - 44.9 dB

史密斯圆图展示了 S11 反射系数的仿真结果。

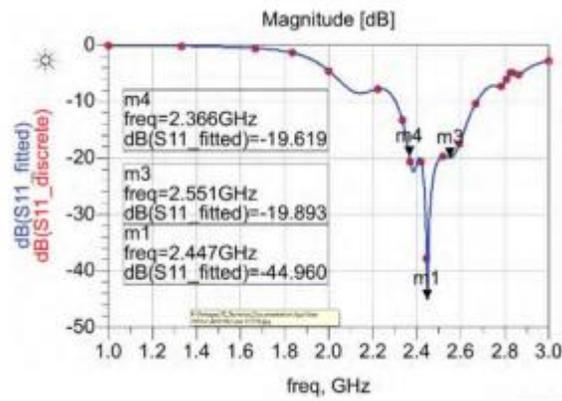


图 69. 反射系数 S11

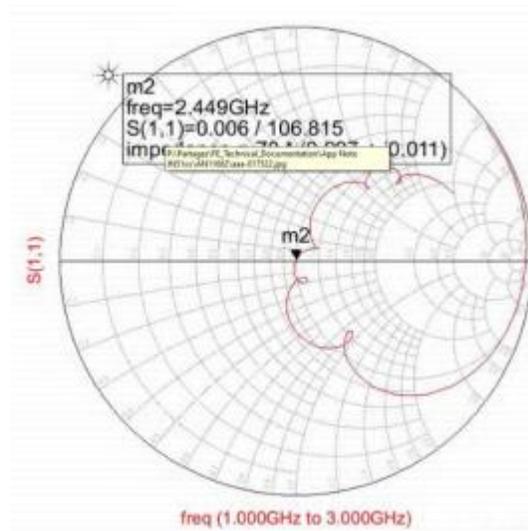


图 70. S11史密斯圆图

3D 辐射图展示了 θ 方向的最大增益。

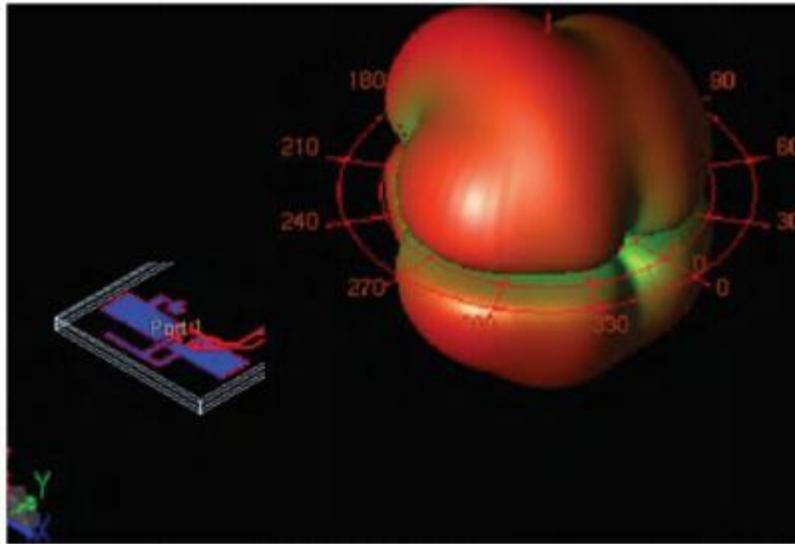


图 71. 所有方向的总增益

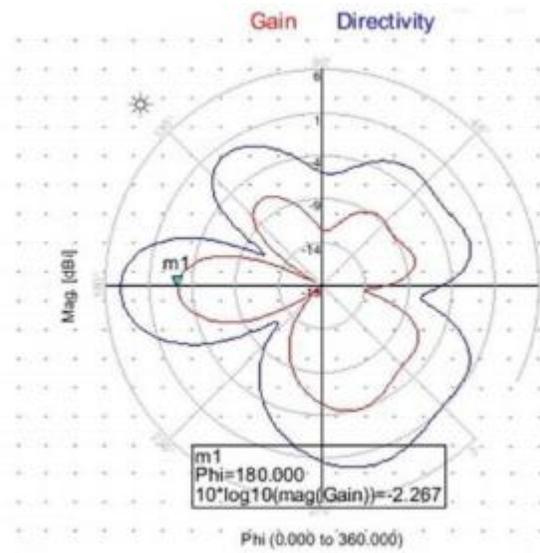


图 72. θ 方向增益

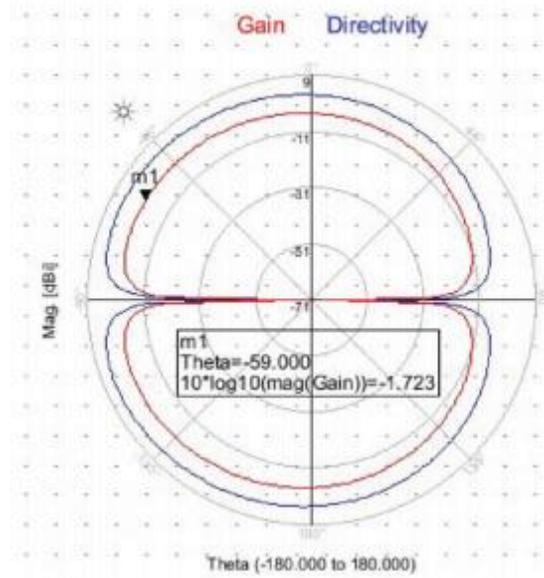


Figure 73. ϕ 方向增益

表 5 总结了几个频率下的 IFA 辐射效率。

表 5. 1 GHz、2.4 GHz 和 3 GHz 下的辐射效率

频率	效率
1 GHz	18 %
2.4 GHz	25 %
3 GHz	20.1 %

10.3 偶极天线

偶极子天线仿真是使用来自Cadence 的 ADS 作为一层印刷天线完成的。PCB材料特性为：

- 基板 FR4
- 基板厚度 = 1.6 mm
- 相对介电常数 $\epsilon_r = 4.6$
- 耗散系数 $\tan(\delta) = 0.01$
- 铜厚度 = 35 μm

10.3.1 偶极天线布局



图 74. 偶极天线布局图

表 6. 偶极天线布局尺寸

参数 (如图表所示)	尺寸 (mm)
A	22.2
B	3
C	2.2
D	0.7

10.3.2 偶极天线仿真结果

反射系数 S22 如下图所示。以下三个标记显示了结果值：

- S22 [2.367 GHz] = - 3 dB
- S22 [2.426 GHz] = - 5.8 dB
- S22 [2.547 GHz] = - 1.5 dB

史密斯圆图展示了 S22 反射系数的仿真结果。

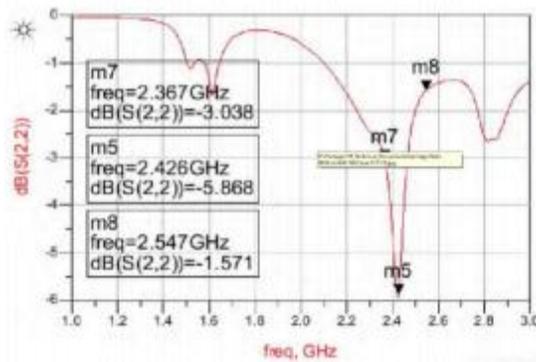


图 75. 反射系数 S22

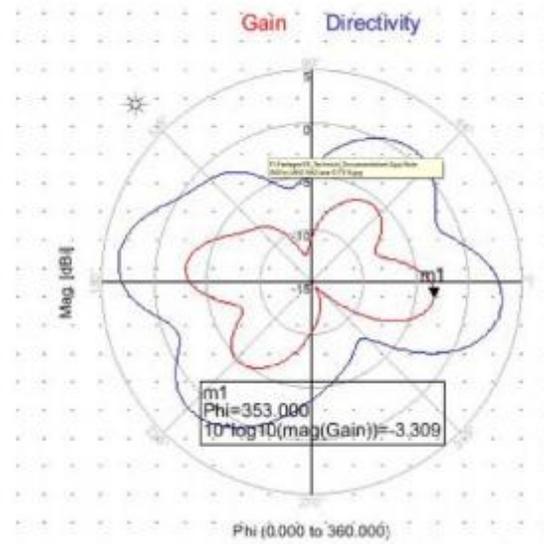


图 78. θ 方向增益

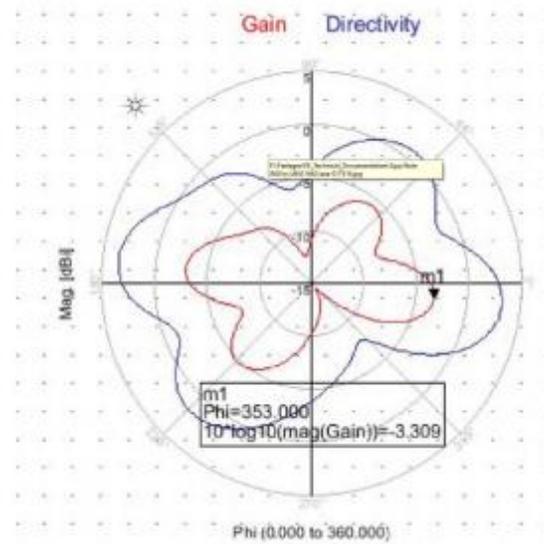


图 79. ϕ 方向增益

表 7 总结了几个频率下的偶极天线辐射效率:

表 7. 1 GHz、2.4 GHz 和 3 GHz 下的辐射效率

频率	效率
1 GHz	26 %
2.4 GHz	22.54 %
3 GHz	41.8 %

11 总结

本文档描述总结了天线理论和基本天线术语。还提到和描述了天线匹配。对几个真实的天线进行了仿真和测量。对结果进行了讨论和比较。

表 8 总结了上述天线在尺寸、增益和方向性方面的优缺点。

表 8. 天线尺寸

天线类型	尺寸	增益	多向性
四分之一波单极天线	-	-	++
倒 F 天线 (IFA)	+	+	+
曲折平面倒F天线 (PIFA)	++	-	+
芯片天线	++	++	-
贴片天线	-	++	-
偶极天线	-	-	++
曲折天线	+	+	+

本文档可帮助您快速选择天线。选择理想的天线，应针对给定的 PCB 及其参数进行专门调整。

12 修订历史

表 9 总结了对本文档所做的更改。

表 9. 修订历史

修订序号	日期	实质性变化
3	02/2020	添加了 修订历史 并更新了 图 3 。更新了文档排版外观。
4	11/2020	整个文档针对新的 NXP EVK 板进行了更新。添加了新的天线设计示例。

How To Reach Us

Home Page:

nxp.com

Web Support:

nxp.com/support

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use NXP products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document. NXP reserves the right to make changes without further notice to any products herein.

NXP makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does NXP assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in NXP data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typicals," must be validated for each customer application by customer's technical experts. NXP does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. NXP sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address: nxp.com/SalesTermsandConditions.

While NXP has implemented advanced security features, all products may be subject to unidentified vulnerabilities. Customers are responsible for the design and operation of their applications and products to reduce the effect of these vulnerabilities on customer's applications and products, and NXP accepts no liability for any vulnerability that is discovered. Customers should implement appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

NXP, the NXP logo, NXP SECURE CONNECTIONS FOR A SMARTER WORLD, COOLFLUX, EMBRACE, GREENCHIP, HITAG, ICODE, JCOP, LIFE VIBES, MIFARE, MIFARE CLASSIC, MIFARE DESFire, MIFARE PLUS, MIFARE FLEX, MANTIS, MIFARE ULTRALIGHT, MIFARE4MOBILE, MIGLO, NTAG, ROADLINK, SMARTLX, SMARTMX, STARPLUG, TOPFET, TRENCHMOS, UCODE, Freescale, the Freescale logo, Altivec, CodeWarrior, ColdFire, ColdFire+, the Energy Efficient Solutions logo, Kinetis, Layerscape, MagniV, mobileGT, PEG, PowerQUICC, Processor Expert, QorIQ, QorIQ Qonverge, SafeAssure, the SafeAssure logo, StarCore, Symphony, VortiQa, Vybrid, Airfast, BeeKit, BeeStack, CoreNet, Flexis, MXC, Platform in a Package, QUICC Engine, Tower, TurboLink, EdgeScale, EdgeLock, eIQ, and Immersive3D are trademarks of NXP B.V. All other product or service names are the property of their respective owners. AMBA, Arm, Arm7, Arm7TDMI, Arm9, Arm11, Artisan, big.LITTLE, Cordio, CoreLink, CoreSight, Cortex, DesignStart, DynamIQ, Jazelle, Keil, Mali, Mbed, Mbed Enabled, NEON, POP, RealView, SecurCore, Socrates, Thumb, TrustZone, ULINK, ULINK2, ULINK-ME, ULINK-PLUS, ULINKpro, µVision, Versatile are trademarks or registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere. The related technology may be protected by any or all of patents, copyrights, designs and trade secrets. All rights reserved. Oracle and Java are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. The Power Architecture and Power.org word marks and the Power and Power.org logos and related marks are trademarks and service marks licensed by Power.org.

© NXP B.V. 2020.

All rights reserved.

For more information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nxp.com

Date of release: 11/2020

Document Identifier: AN2731

