

## 针对 STM32WB/WB0 MCU 使用带 2.4 GHz 无线电的低成本 PCB 天线进行曲率设计指南

### 介绍

本应用笔记专门针对STM32WB和STM32WB0系列微控制器。

使用印刷电路板 (PCB) 天线的主要原因之一是无线电模块的总体成本降低。精心设计和实施的 PCB 印刷天线具有与 SMD (表面贴装器件) 陶瓷等效天线类似的性能。

一般来说,陶瓷 SMD 天线的占用空间小于 PCB 印刷天线。对于 PCB 印刷天线解决方案,相对于天线所需空间,PCB 尺寸的增加意味着无线电模块更大,从而增加了 PCB 的成本。但是,PCB 解决方案通常比 SMD 陶瓷天线便宜。

STM32WB 和 STM32WB0 系列的演示和开发板根据本应用说明实现 PCB 印刷天线。



1 一般信息

本文档适用于STM32WB和STM32WB0系列基于 Arm® 的设备。

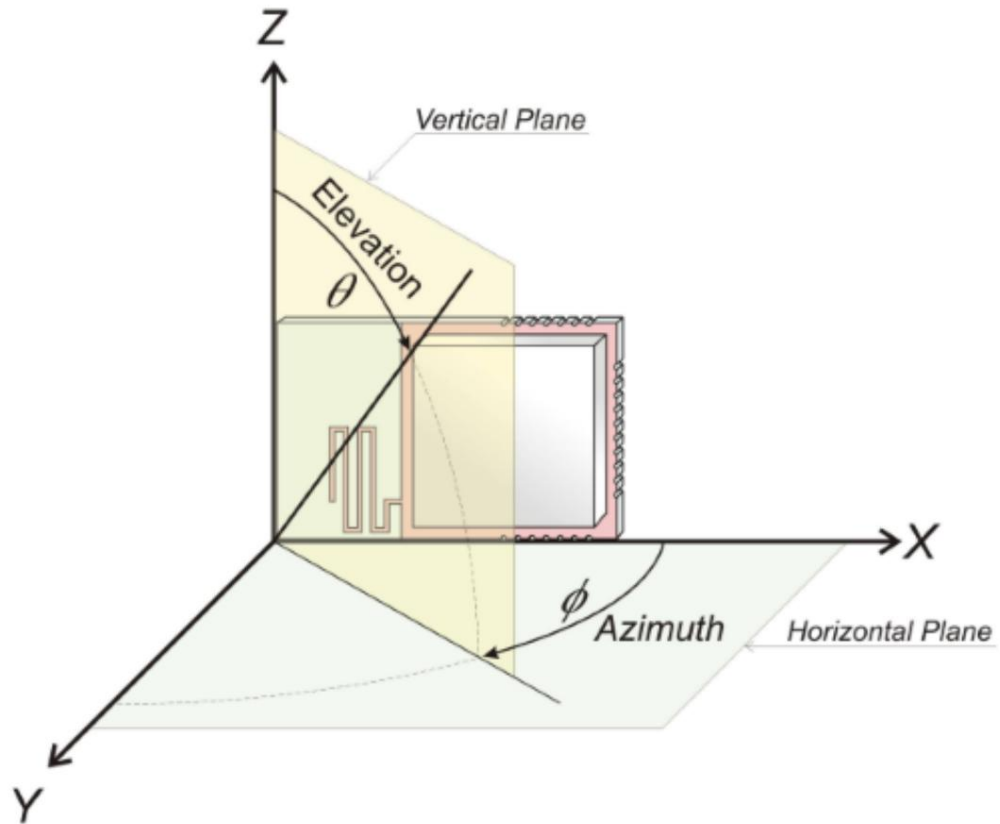
笔记： Arm 是 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他地方的注册商标。



## 2 坐标系

为了本文的目的,使用下图所示的球面坐标系。

图 1 球面坐标系



PCB 模块垂直放置 (平面 XZ), 位于坐标系原点附近。方位角从 X 轴向 Y 轴辐射, 仰角从 Z 轴向水平 XY 平面辐射。

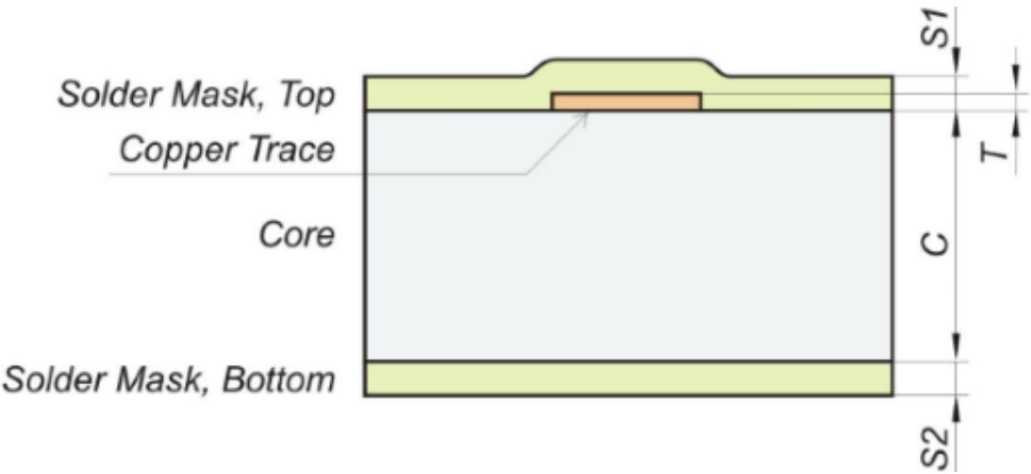
有时, 与地理和导航系统一样, X 轴称为“北轴”, Y 轴称为“东轴”, Z 轴称为“天顶轴”。





下图显示了 PCB 天线区域基板的典型横截面。

图 3.天线区域的 PCB 横截面



建议使用具有下表所定义参数的基材。

表 1.推荐的基板规格

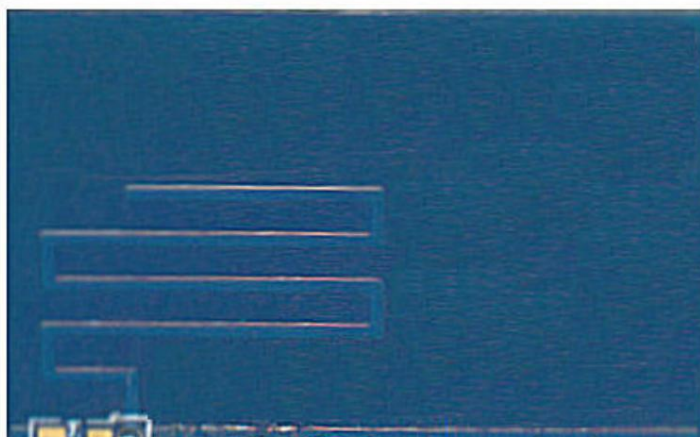
层	方面			介电常数 R
	标签	价值 (百万)	值 (μm)	
顶部阻焊层	S1	0.7	17.78	4.4
铜迹线	铜膜	1.6	40.64	-
核	碳	二十八	711.2	4.4
阻焊层,底部	S2	0.7	17.78	4.4

## 4 阻抗匹配

通过将阻抗电路与 $\pi$ 拓扑匹配,可以将蛇形PCB天线调整到所需的50  $\Omega$ 阻抗。在图2中,阻抗匹配区域用虚线标记。在标称条件下,该天线的阻抗非常接近所需的标称阻抗 (50  $\Omega$ )。

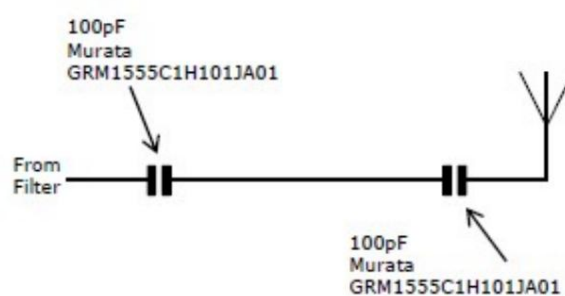
为了检查此设计的性能,我们制造了一个样品天线 (根据本文档涵盖的规格)。下图显示了该天线。

图 4.带有蛇形天线的 802.15.4 和 BLE PCB 的一部分 (比例约为 4:1)



假设制造的样品表现出预期的性能 (不需要阻抗匹配),则阻抗匹配电路由两个串联的 100 pF 电容器旁路,如下图所示。

图 5 绕过阻抗匹配电路 - 直接 RF 连接



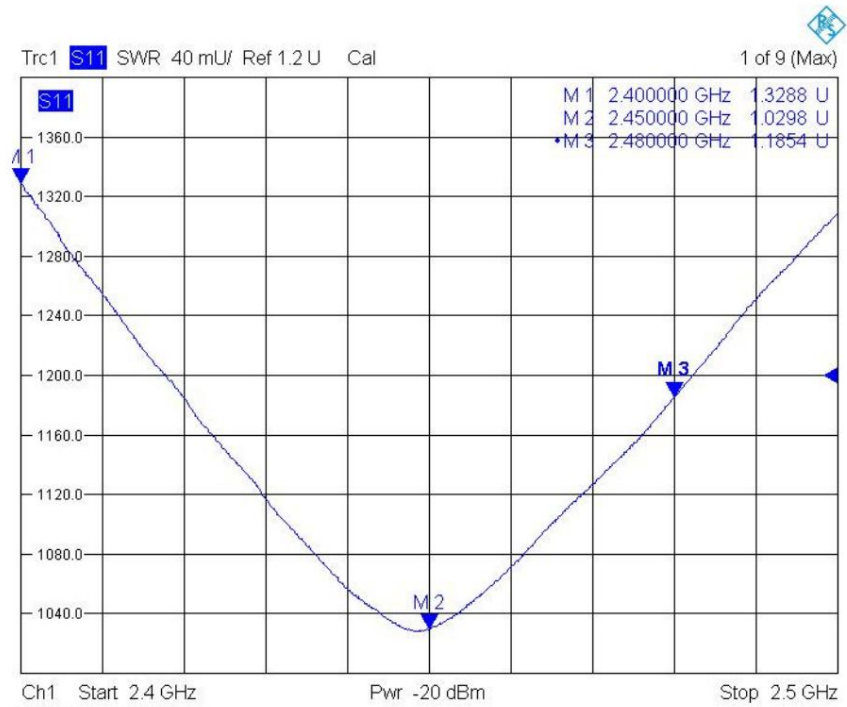
在连接到带通滤波器 (BPF) 时,已经测量了蛇形天线的电气参数,频率范围覆盖 2.4 GHz 至 2.5 GHz。





下图显示了驻波比（SWR）。

图 8.天线驻波比 (SWR)



以下变化会影响PCB天线的辐射阻抗：

- 板尺寸变化
- 金属屏蔽
- 使用塑料盖
- 天线附近有其他组件

最佳性能阻抗匹配电路可补偿这些影响,从而对于工作频率实现最佳的 50 Ω 阻抗。



## 5 辐射模式,3-D 可视化

针对中心 ISM 频段频率 2.44175 GHz 进行了辐射模式 (电远场幅度  $|E|$ ) 的三维 (3-D) 可视化。

图 9. 3-D 辐射模式概览

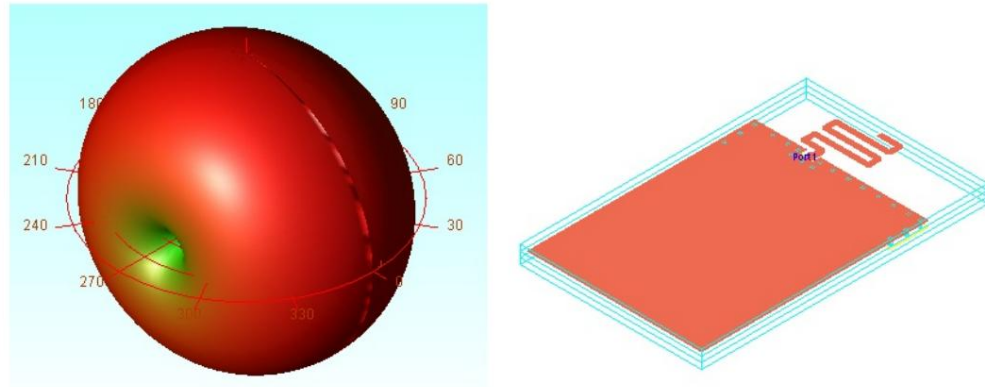
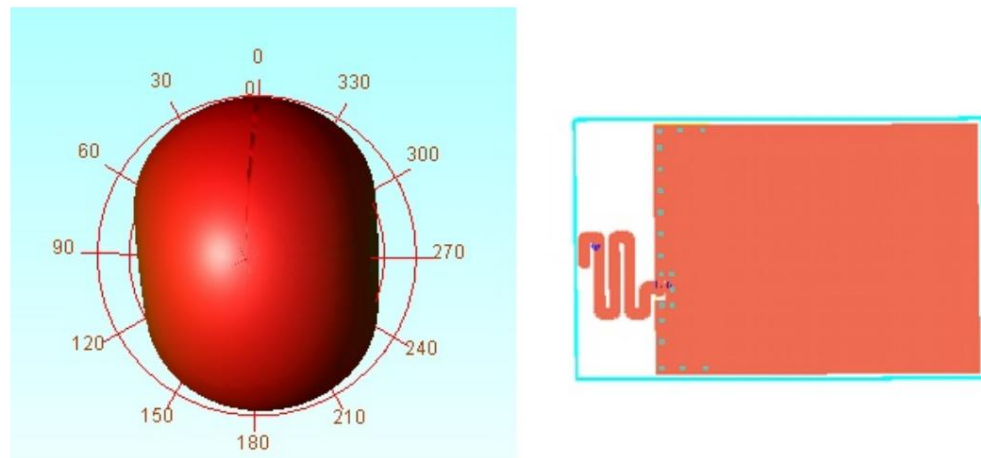


图 10. XZ 平面上的辐射模式



## 6 辐射模式,二维可视化

在本节中,所有辐射模式均与电远场  $|E|$  的幅度相关,该幅度已归一化并以对数刻度显示 (单位为 dB)。这意味着最大全局辐射模式 (电远场  $|E|$  的最大幅度) 以 0 dB 级表示。

为了详细显示天线辐射图,我们给出了三个二维 (2-D) 主切口。考虑球面坐标系中模块的方向,如图1所示。

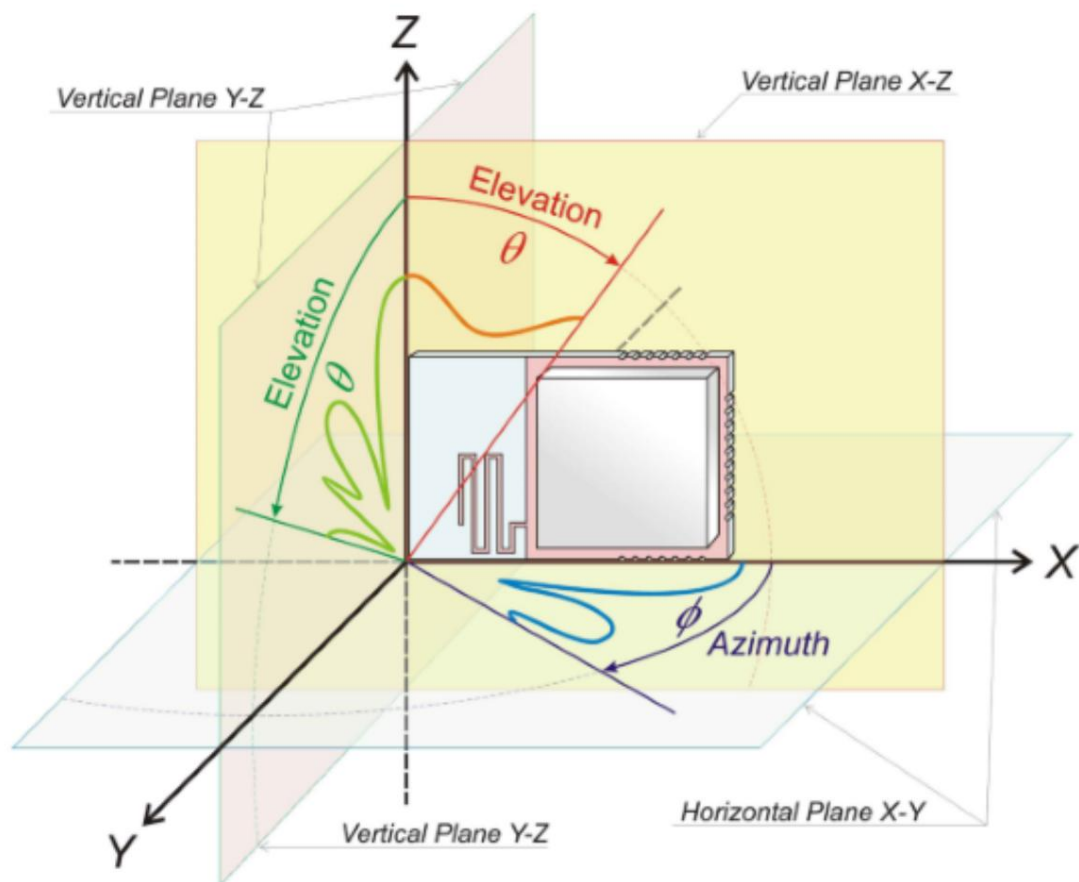
三维 (3-D) 远场辐射模式可视为 3-D 模式的三个 2-D 切口。这些切口使用以下主要平面 (见图11) :

- 一个水平 XY 平面
- 两个垂直平面 :XZ 平面和 YZ 平面

下图中各图的颜色如下:

- 蓝色图绘制在水平 XY 平面上,其中方位角从 X 轴上的  $0^\circ$  向 Y 轴辐射,直到达到 X 轴上的  $360^\circ$ 。
- 红色图绘制在 XZ 平面上,其中仰角  $\theta$  从 Z 轴上的  $0^\circ$  向 X 轴的正部分辐射,直到在 Z 轴的负部分达到  $180^\circ$ 。在此图中 (由 XZ 平面切割),当  $X < 0$  时,仰角  $\theta$  为负。
- 绿色图绘制在 YZ 平面上,其中仰角  $\theta$  从 Z 轴上的  $0^\circ$  向 Y 轴的正部分辐射,直到达到 Z 轴负部分的  $180^\circ$ 。对于此图 (按 YZ 平面切割),当  $Y < 0$  时,仰角  $\theta$  为负。

图 11.使用二维图可视化三维辐射图的主要平面

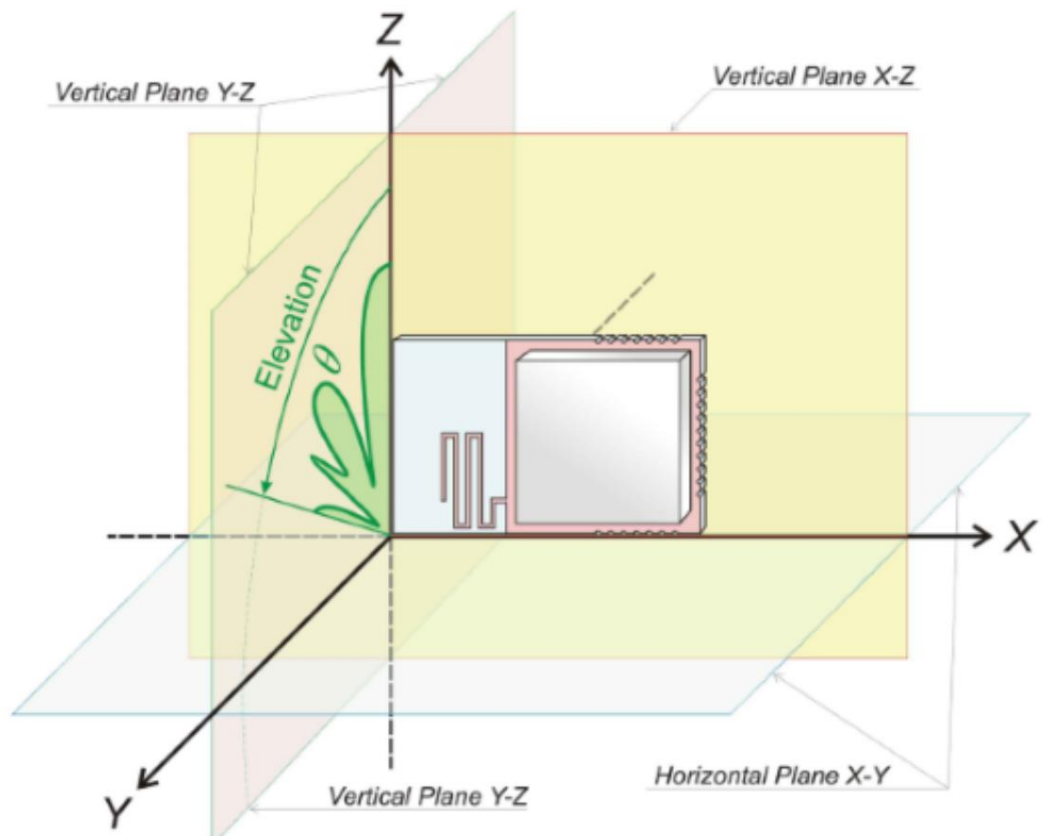


本节使用短偶极子仅用于比较和澄清的目的。

## 6.1 YZ 平面上的辐射模式

图 13和图 14中的第一个辐射模式显示了 YZ 平面上的正常电场辐射模式  $|E|$  (远场)。下图显示了模块方向与 YZ 平面的关系以及该图。

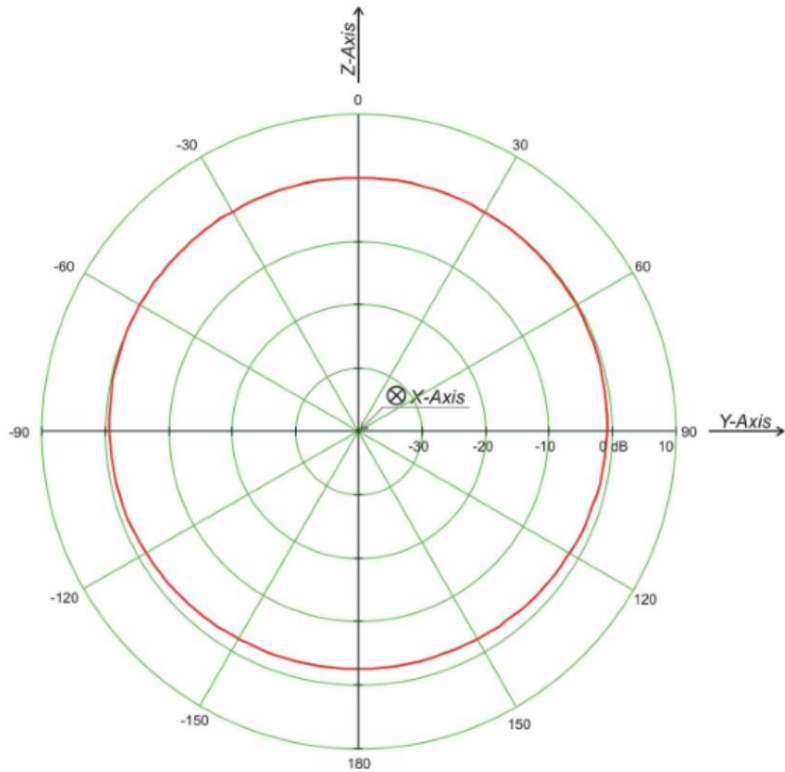
图 12. YZ 平面上绘制的远场辐射图



笔记: 辐射水平几乎恒定,并且辐射在此平面上几乎是全向的。对于垂直方向的偶极子,此模式相当于水平辐射。

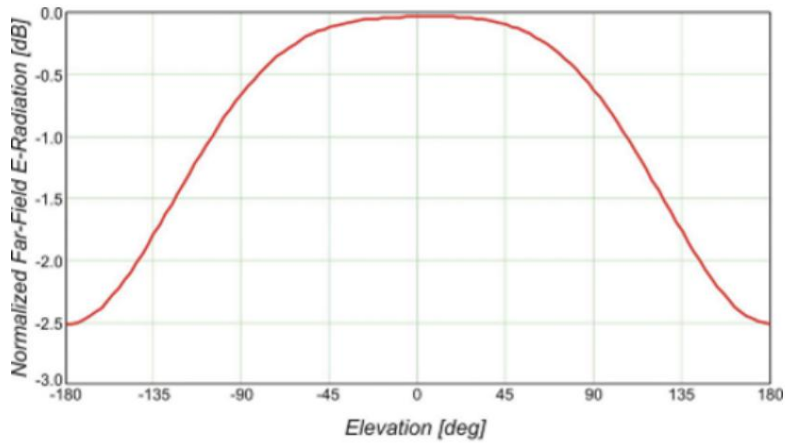


图 13. YZ 平面上的归一化辐射模式（极坐标图）



下图显示了与上图相同的辐射模式,以笛卡尔图表示。

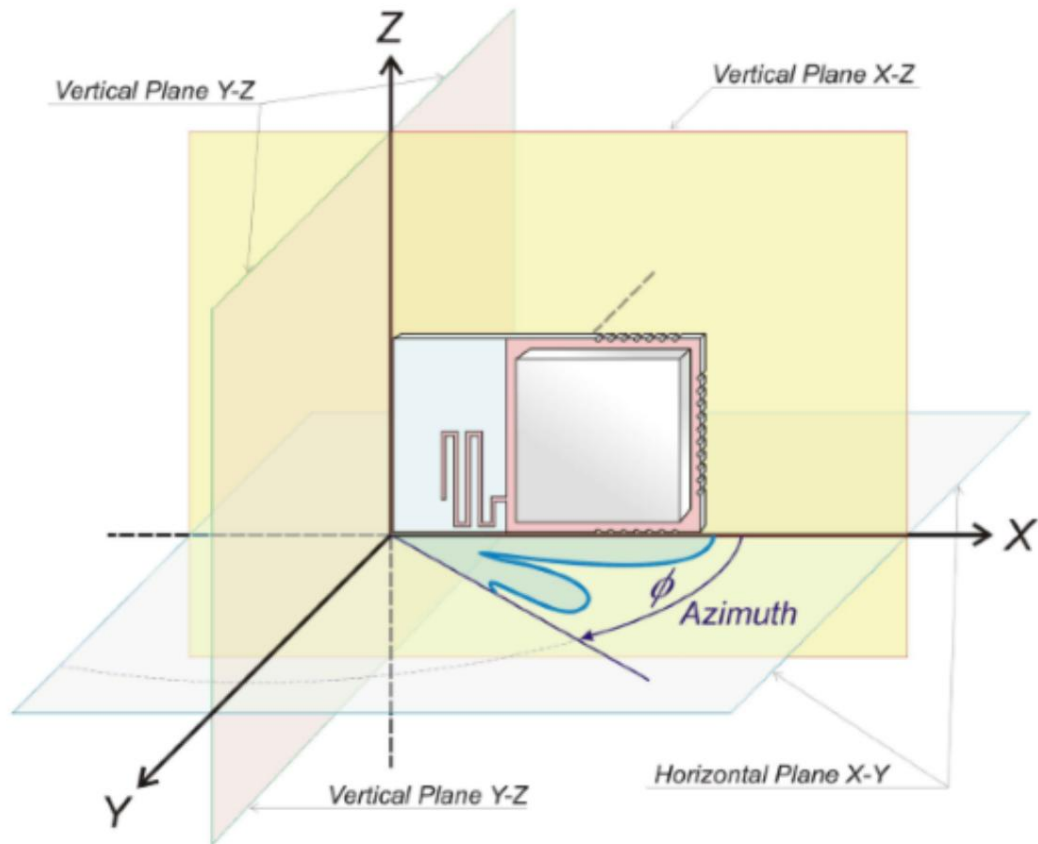
图 14. YZ 平面上的归一化辐射模式（笛卡尔图）



## 6.2 XY 平面上的辐射模式

图 16和图 17中的第二个远场辐射模式表示在 XY 平面上绘制的电场  $|E|$  的归一化幅度。下图显示了模块方向与 XY 平面的关系以及该图。

图 15. XY 平面上绘制的远场辐射模式

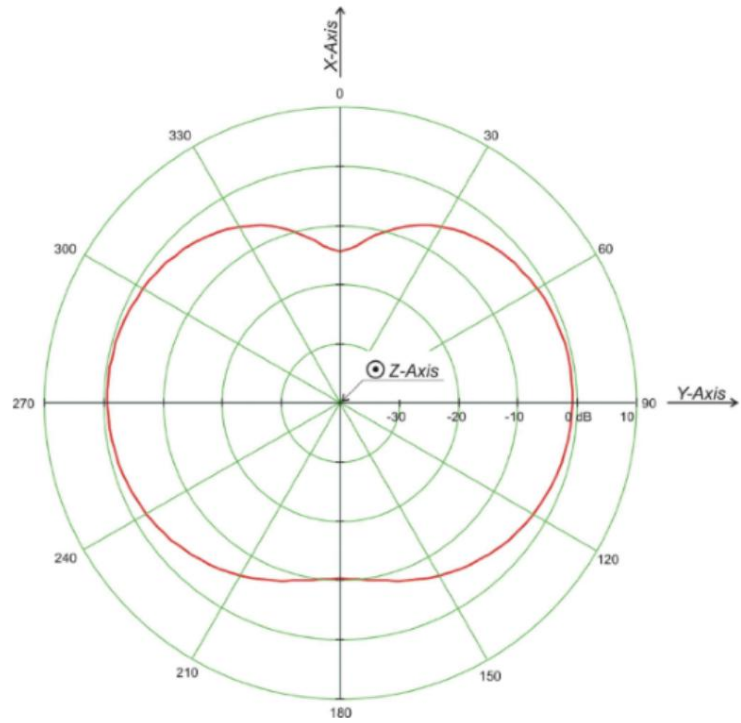


对于垂直取向的偶极子, 该模式相当于垂直辐射。

请注意, 当接收器位于偶极天线的 Z 轴时, 此解决方案不会像标准偶极天线那样呈现盲方向。在此解决方案中, 最大衰减在 XY 方向上介于 10 到 14 dB 之间。

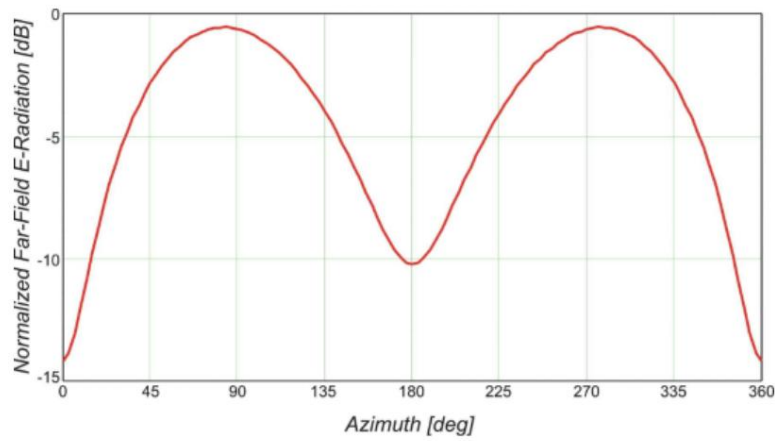


图 16. XY 平面上的归一化辐射模式（极坐标图）



下图显示了 XY 平面上的远 |E| 场辐射模式,与上图相同,以笛卡尔图表示。

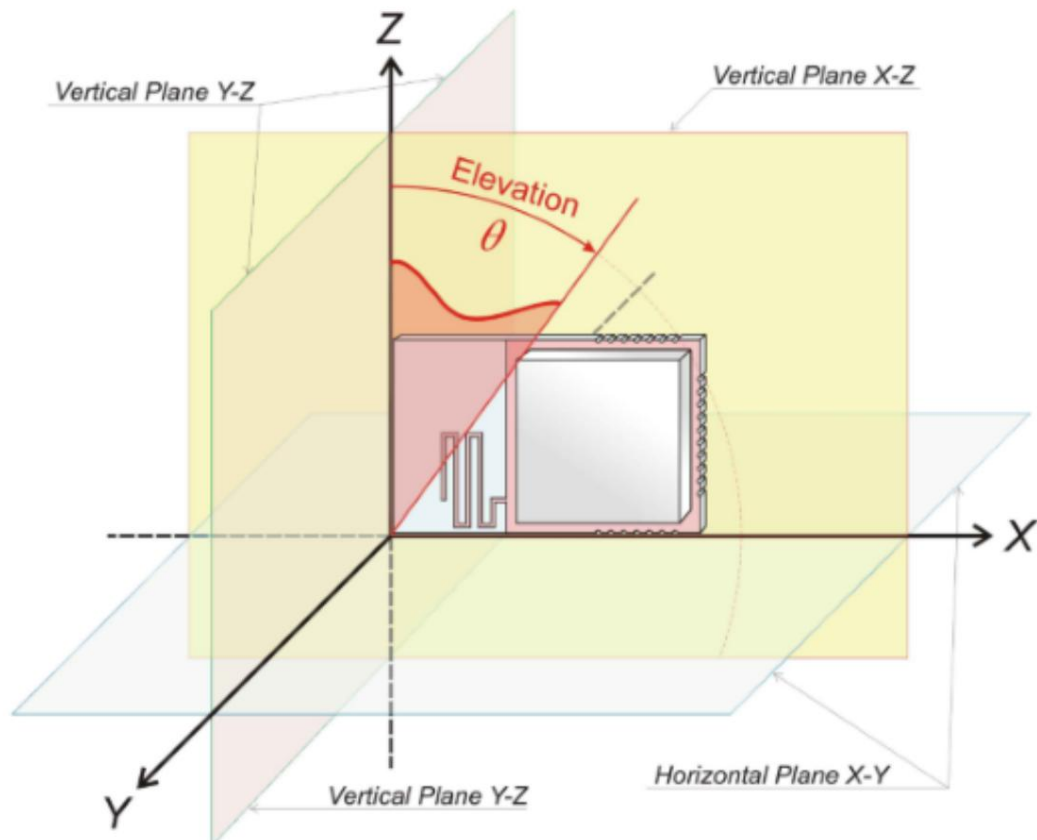
图 17. XY 平面上的归一化辐射模式（笛卡尔图）



### 6.3 XZ 平面上的辐射模式

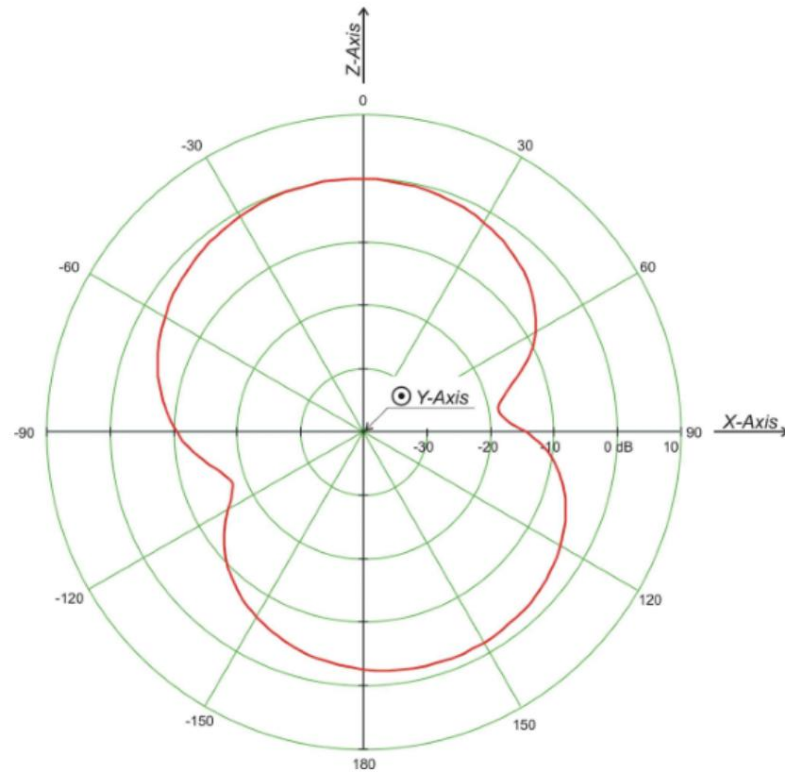
图 19 和图 20 中的第三个和最后一个辐射模式表示 XZ 平面上的归一化电场辐射模式  $|E|$  (远场)。下图显示了模块相对于 XZ 平面的方向, 此图。

图 18. XZ 平面上绘制的远场辐射模式



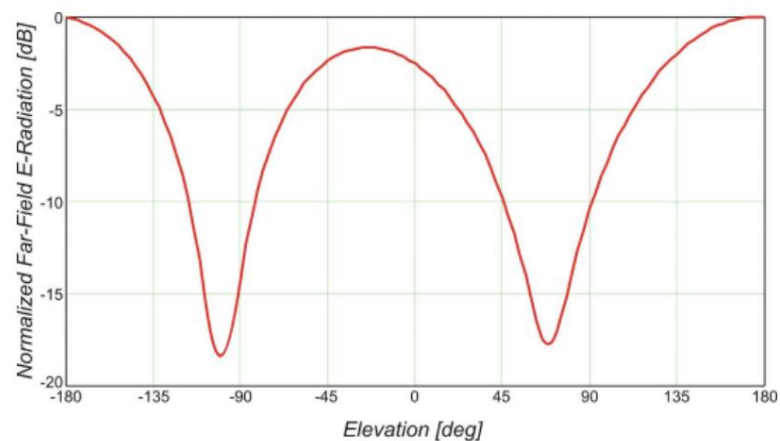
对于水平方向的偶极子,该模式相当于垂直辐射。

图 19. XZ 平面上的归一化辐射模式 (极坐标图)



下图显示了与上图相同的 XZ 平面上的远电场辐射模式,以笛卡尔图表示。

图 20. XZ 平面上的归一化辐射模式 (笛卡尔图)







## 7 表现

在中心ISM频段频率2.44175 GHz时,天线显示以下关键性能参数:

- 指向性 :2.21 dB
- 增益 :1.95 dBi
- 最大强度 :0.125 W/球面度



## 8 机械和 PCB 冲击

如果接地平面太近,这种天线在最终产品中的集成度可能会降低。在没有接地平面的情况下,天线周围必须留有足够的空间。

笔记: 任何金属物体都会影响天线和辐射模式的性能。同样,如果设备是手动操作的,用户的手和身体位置可能会影响天线的设计



修订历史

表 2.文档修订历史

日期	版本	更改
2018 年 1 月 17 日	1	初始版本
2018 年 9 月 14 日	2	更新了文件的发布范围
2019 年 2 月 25 日	3	更新了文件的发布范围
2019 年 4 月 23 日	4	更新了图 2.PCB 天线尺寸 (单位:毫米)
2024 年 4 月 12 日	5	更新: <ul style="list-style-type: none"><li>· 文件标题</li><li>· 章节介绍</li><li>· 第 1 部分:一般信息</li></ul> 常规文档清理。



内容

1一般信息.....2

2坐标系统.....3

3布局规范.....4

4阻抗匹配.....6

5辐射图,3D可视化.....9

6辐射图,2D可视化.....10

    6.1    YZ平面上的辐射模式.....11

    6.2    XY平面上的辐射模式.....13

    6.3    XZ平面上的辐射模式.....15

7性能.....17

8机械和 PCB 影响 .....18

修订历史.....19

图表目录.....21



图片列表

图 1. 球面坐标系..... 3

图 2. PCB 天线尺寸（单位：毫米） ..... 4

图 3. 天线区域的 PCB 横截面..... 5

图 4. 带有蜿蜒天线的 802.15.4 和 BLE PCB 的一部分（比例约为 4:1） ..... 6

图 5. 绕过阻抗匹配电路 - 直接射频连接..... 6

图 6. 蛇形天线的复阻抗（史密斯图） ..... 7

图 7. 对数刻度的 S11 参数（笛卡尔图） ..... 7

图 8. 天线驻波比（SWR） ..... 8

图 9. 3-D 辐射图概述..... 9

图 10. XZ 平面上的辐射模式 ..... 9

图 11. 使用 2-D 图可视化 3-D 辐射图的主要平面 ..... 10

图 12. YZ 平面上绘制的远场辐射图 ..... 11

图 13. YZ 平面上的归一化辐射图（极坐标图） ..... 12

图 14. YZ 平面上的归一化辐射图（笛卡尔图） ..... 12

图 15. XY 平面上绘制的远场辐射模式..... 13

图 16. XY 平面上的归一化辐射图（极坐标图） ..... 14

图 17. XY 平面上的归一化辐射图（笛卡尔图） ..... 14

图 18. XZ 平面上绘制的远场辐射模式 ..... 15

图 19. XZ 平面上的归一化辐射图（极坐标图） ..... 16

图 20. XZ 平面上的归一化辐射图（笛卡尔图） ..... 16



重要通知 请仔细阅读

STMicroelectronics NV 及其子公司 ( “ST” ) 保留随时更改、更正、增强、修改和改进 ST 产品和/或本文档的权利,恕不另行通知。购买者应在下订单前获取有关 ST 产品的最新相关信息。ST 产品根据订单确认时有效的 ST 销售条款和条件销售。

购买者对 ST 产品的选择、挑选和使用负全部责任,ST 对应用协助或购买者产品的设计不承担任何责任。

ST 在此不授予任何明示或暗示的知识产权许可。

如果转售的 ST 产品的规定与此处所述的信息不同,则 ST 对该产品授予的任何保证将失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。有关 ST 商标的更多信息,请参阅[www.st.com/trademarks](http://www.st.com/trademarks)。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代并替换了该文档之前任何版本中提供的信息。

© 2024 STMicroelectronics – 保留所有权利