



# 射频天线设计指导文档

V1.0

2013-09-26

CONFIDENTIAL



## Revision History

Version	Date	Changes compared to previous issue
v1.0	2013-09-26	Initial version.

CONFIDENTIAL



## 目录

1. 概述.....	4
2. 射频基础知识.....	5
2.1. 常见射频指标及单位.....	5
2.2. 射频匹配.....	5
2.2.1. 匹配的目的.....	5
2.2.2. 匹配方法.....	6
2.2.3. 匹配验证.....	7
3. 天线基础知识.....	9
3.1. 常见的天线类型.....	9
3.1.1. 半波偶极子天线.....	9
3.1.2. Monopole 单极子天线.....	10
3.1.3. IFA 天线.....	10
3.1.4. PIFA 天线.....	11
3.1.5. 陶瓷天线.....	12
3.2. 天线测试方法.....	13
3.2.1. 无源测试.....	13
3.2.2. 有源测试.....	13
3.2.3. 信号强度测试.....	13
3.2.4. 测试方法对比分析.....	14
4. 射频及天线设计指导.....	15
4.1. 天线设计.....	15
4.2. 天线选型.....	15
4.3. 射频布线.....	15
4.4. 模组及天线摆放位置.....	16
4.5. 天线验证测试.....	17
5. 实际案例分析.....	18
5.1. 案例一：匹配的重要性.....	18
5.2. 案例二：天线环境的重要性.....	19
5.3. 案例三：射频走线 50 欧的重要性.....	20
6. Declaration.....	22



## 1. 概述

现在很多消费类产品都离不开射频，很多开发者对射频的概念很模糊，在产品设计时有很多困惑。比如：很多客户反馈产品 Wifi 使用性能不佳、上网速度慢、Miracast 镜像播放视频卡顿、GSM 通话效果不好等和射频相关的问题。而射频性能的表现和天线指标及摆放位置、射频模块、射频布局走线等因素有直接的关系，应当在产品设计阶段就应该考虑这些因素，而不是等产品设计出来后才发现这些问题，花费大量时间去调试，甚至没办法调试。

因此发布此文档用于指导产品射频部分设计，提高射频性能。此文档从最基本的射频基础知识讲起，通俗易懂。

CONFIDENTIAL

## 2. 射频基础知识

### 2.1. 常见射频指标及单位

发射指标：发射功率，频率误差，EVM 等。

接收指标：接收灵敏度，灵敏度指的是能满足指定误码率要求的最小接收功率。

功率的单位是 W，由于发射功率往往是接收功率的数十亿倍，采用 W 来做单位的话，很不容易表示。所以数学家发明了采用对数表示功率的方法，常用的功率单位是 dBm，dB。

dBm 是一个表征功率绝对值的单位，计算公式为： $10 \lg (\text{功率值}/1\text{mW})$ 。

例如：如果发射功率是 1W，则换算成 dBm 后的值应该为： $10 \lg (1\text{W}/1\text{mW}) = 30\text{dBm}$ 。

dB 是一个表征功率相对值的单位，计算公式为： $10 \lg (\text{甲功率}/\text{乙功率})$ 。

例如：如果甲功率是乙功率的 2 倍，那么换算成 dB 后的值为： $10 \lg 2 = 3\text{dB}$ ，也就是说甲的功率比乙的功率大 3dB。试想一下：如果功率倍数达到数十亿倍，换算成 dB 后只有 100dB 而已，是不是很方便描述呢？

如果甲的功率是 30dBm，乙的功率是 20dBm，则说明甲的功率比乙的功率大 10dB（注意：是 dB，不是 dBm，因为是相对值，不是绝对值）。

常见的换算方法：3dB 表示功率大 1 倍，10dB 表示功率大 10 倍，20dB 表示功率大 100 倍。同理-3dB 表示功率小 1 倍，-10dB 表示功率小 10 倍，-20dB 表示功率小 100 倍。注意，dB 只能进行加或减运算，不能乘或除。

### 2.2. 射频匹配

#### 2.2.1. 匹配的目的

匹配是什么？拿水管来打个比方，当两个管径不一样的管子接在一起时，必然会漏水，导致水不能全部从一端流到另外一端。

同理，在射频电路里，当两个特性阻抗不一样的线路连接在一起时，必然会造成能量反射，只有一部分能量传输过去。当两个阻抗严重不一样时，就会造成绝大部分的能量被发射回来，如图 1 示。

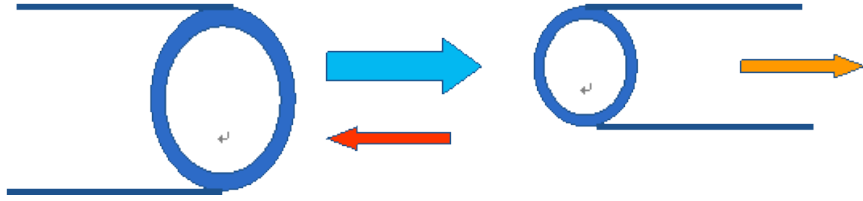


图 1 射频匹配能量传输图

在低频电路里，当负载的电阻等于电源的电阻时，负载就能获得最大的功率。在高频电路里，当负载的阻抗和源端的阻抗共轭匹配时，负载就能获得最大的功率。

为了统一标准，国际上定义射频线路的特性阻抗为 50 欧，因此所有的射频走线都因该遵循 50 欧。

为了保证能量不反射，只要有射频信号传输，就存在前后匹配的问题，常见需要匹配的地方有，PA，LNA，双工器，天线等。考虑到目前都采用模组方案，PA，LNA，双工器都已经集成到模组内部，内部已经做了匹配设计，模组外部只留了天线部分，同时模组已经保证输出阻抗为 50 欧，因此天线的阻抗匹配变得非常重要，匹配与否直接影响整机的性能表现。

天线和模组之间，常见的匹配网络形式有  $\pi$  型、T 型和 L 型。 $\pi$  型和 T 型实际上是两个 L 型的串联。T 型和 L 型都具有一定的局限性，建议采用  $\pi$  型匹配网络。

### 2.2.2. 匹配方法

匹配需要遵循“往前看，往后退”的方法，否则匹配出来的完全不正确。

具体方法如下：首先断开匹配网络和模组，单独看天线的输入阻抗，并在 Smith 圆图中设为起点。然后根据需要串、并联合适的电感，电容，并从匹配网络一级一级往后退着看，直到阻抗调整到 50 欧为止，如图 2。匹配网络中不建议使用电阻，因为电阻会损耗一部分能量。

最后需要测量  $\pi$  型匹配之后的阻抗，以判断是否匹配到 50 欧。此时需断开模组，为方便测量，建议在匹配网络和模组之间预留 0 欧电阻。否则，需要把整个模组取下来。

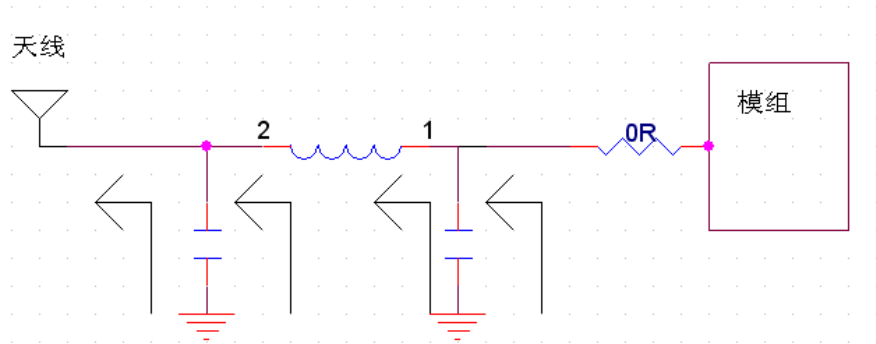


图 2 阻抗匹配图

备注：是否有同事会问，既然可以通过匹配网络使天线匹配到 50 欧，那么是不是选择天线的时候就不用关注天线本身的指标，答案是否定的。原因如下：

- 天线和匹配网络应该单独的来看，不应该把匹配网络和射频走线一起当做天线来看。
- 如果天线本身很差，即使经过匹配能做到 50 欧，天线的带宽也会非常窄，影响天线的性能。
- 匹配只是让能量能够全部传输到天线，至于天线能不能把能量高效率的向空间辐射，就需要看天线本身的性能了，如天线的方向性，效率等。如果只是匹配做到 50 欧这么简单的话，干脆把天线用 50 欧电阻代替得了，但是这样的话，能量能辐射出去吗？

### 2.2.3. 匹配验证

衡量匹配程度的指标有：S11，VSWR，反射系数等。

以图 3 为例，来解释这几个指标的含义。源端 VS 的输出阻抗是 50 欧，负载的输入阻抗是 ZIN。源端发射的总功率为 P<sup>+</sup>，反射的功率为 P<sub>r</sub>，到达负载 Z<sub>in</sub> 的功率为 P<sub>IN</sub>。则：

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_{IN} - Z_0}{Z_{IN} + Z_0} \quad VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$S_{11}(dB) = 10 \log \frac{P_r}{P^+} = 20 \log |\Gamma| \quad RL = -S_{11}(dB)$$

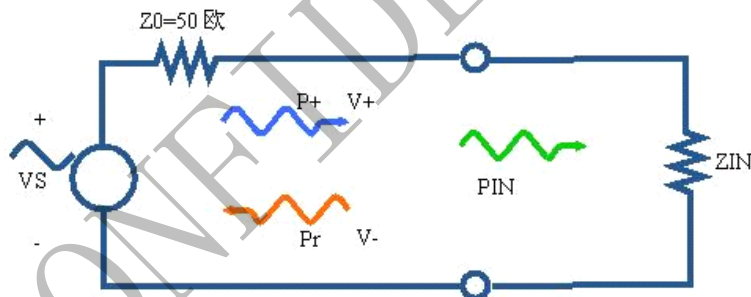


图 3 匹配示例图

反射系数是从反射电压和入射电压的比值，VSWR 反映的是波腹电压和波节电压的比值，这两个参数都是从电压的角度考虑。S11 是端口的 S 参数，输入回波损耗，RL 是回波损耗，反射功率和输入功率的比值，这两个参数是从功率的角度考虑。

从公式可以得出，当 Z<sub>in</sub>=Z<sub>0</sub> 时，能量没有反射，=0，VSWR=1，S11=负无穷大，这时达到最佳匹配情况。当负载短路或者开路时，能量全部反射回来，||=1，VSWR=正无穷大，S11=0，这时完全不匹配。考虑到实际情况不可能达到完全匹配，通常要求，在这个频带范围内 S11<-10dB，VSWR<2，||<1/3 即可，对应到 Smith 圆图上，只要 S11 落在红色圆圈区域内部即可，当然越靠近圆心，匹配越好，阻抗越接近 50 欧，如图 4。

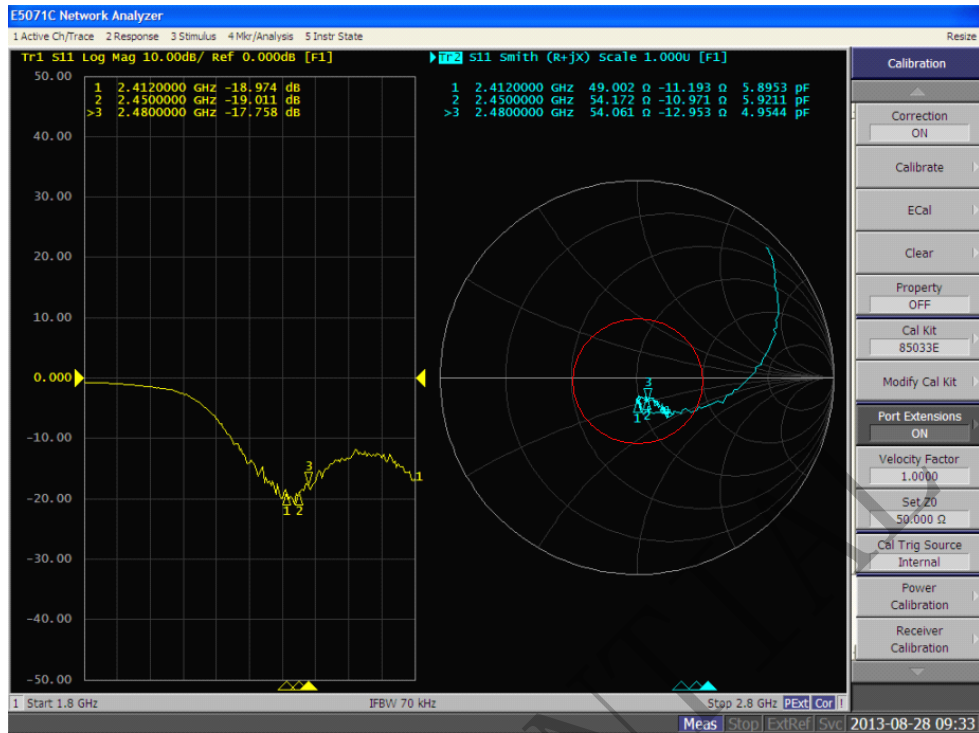


图 4 匹配情况下的 Smith 图



## 3. 天线基础知识

天线匹配完成后，能量已经全部传送到天线端了，接下来就该看天线本身的性能了，看天线能不能把能量尽可能多的辐射出去。

### 3.1. 常见的天线类型

天线分为内置天线和外置天线两大类，内置天线的形式包括微带贴片天线、IFA 天线和倒 L 天线、PIFA、陶瓷天线等等。外置天线主要有单极子天线。

天线的发展须序是：半波偶极子天线—单极子天线—倒 L 天线—倒 F 天线—PIFA 天线。

PIFA 是现在使用得最多的一种内置天线，其由倒 F 线天线演变而来，具有体积小，增益高，剖面低，带宽相对较宽的特点，是在内置天线中使用得最多的天线。

#### 3.1.1. 半波偶极子天线

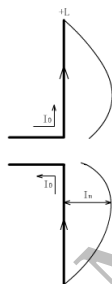


图 5 半波振子天线图

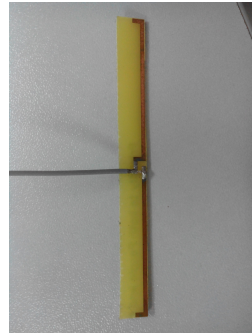


图 6 PCB 偶极子天线

偶极子天线由两根导体组成，每根为  $1/4$  波长，即天线总长度为半波长。所以偶极子天线叫半波振子，如图 5。偶极天线的振子可以水平位置，也可垂直位置。它的方向图以馈电点为对称。馈电点在半波振子的中心。馈电点的阻抗为纯电阻，近似  $75\Omega$  (约  $73\Omega$ )。

其两臂上的电荷一正一负并成正弦变化时，也就产生了交变电流（场），对外辐射。半波振子，上下臂各四分之一波长。上下臂的电流大小对称流向相同（正负电荷成对），电流强度分布是从中间馈电点处向两端点逐步由大到小。馈点处电流最大，电阻（因为正好谐振没有电抗）最小。这样的天线为平衡天线（天线上电流上下臂平衡）。

特点：天线辐射方向是全向，效率高，但是天线总长度是半波长，长度较长，一般不使用。图 6 为某 GPS 产品使用的偶极子天线。

### 3.1.2. Monopole 单极子天线

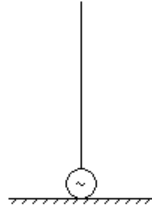


图 7 Monopole 天线

单极子天线是从偶极子天线发展过来的，如图 7。去掉偶极天线的下臂，将这一臂换成无穷大地，大地对场形成反射，根据镜像原理，一正电荷将在其镜像处感应出一负电荷，此时，天线的上臂将产生一镜像，该镜像上的电流分布完全等同于偶极天线的下臂，在这种情况下，我们称这种天线为单极天线。对于无穷大地其辐射图等同于偶极子。如果将地逐步缩小，将无法形成理想镜像，下面地的电流分布将发生变化。

特点：具有大带宽，高增益的特点，效率比 PIFA 天线高，但是 SAR 一般比 PIFA 天线大。

Layout 注意事项：Monopole 天线投影结构下不能铺地，需要净空，一般内置天线必须必须离主板 3mm（水平方向），在天线正下放到地的高度必须保证在 5mm（垂直方向）以上，可以把主板天线区域的地挖空。

图 8，图 9 为常见的单极子天线。单极子天线也可以做到 PCB 板上，天线形式也可以有多种形式，比如天线臂弯曲，从而节省空间。



图 8 外置单极子天线

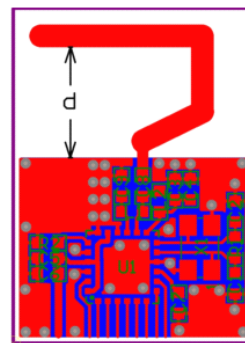


图 9 内置 PCB 单极子天线

### 3.1.3. IFA 天线

IFA 天线也叫倒 F 天线，是从单极子天线演变过来的，如图 10。和单极子天线最大的不同点是，IFA 天线有两个馈点，一个是 Feed 点，一个是短路点。天线的馈点和短路点是短路的，很多开发者不明白天线原理，说天线短路了。

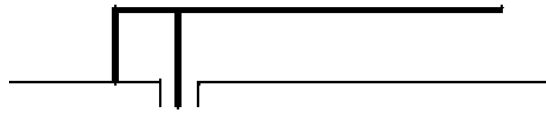


图 10 线形倒 F 天线的基本结构

特点是：频带较窄，此天线的投影区域下方要求不能铺地，需要净空。

天线的形式可以有很多种，比如天线臂弯曲，天线臂朝向改变等，图 11,图 12 是倒 F 天线的两种实例。

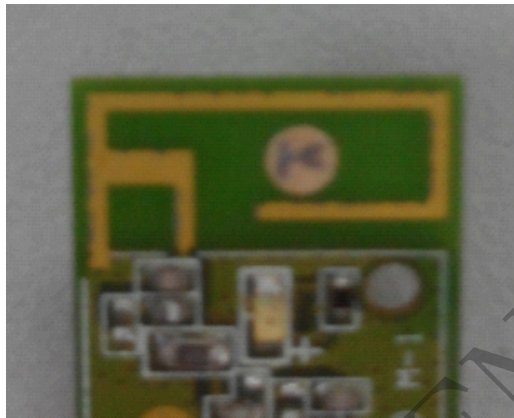


图 11 PCB 倒 F 天线



图 12 FPC 倒 F 天线

### 3.1.4. PIFA 天线

PIFA 天线叫平面倒 F 天线，是从倒 F 线天线发展而来的，如图 13。由于倒 F 天线频带范围较窄，为了展宽频带，使用平板代替倒 F 天线的导线部分。相当于大量倒 F 天线的并联，其阻抗相当于许多线型天线阻抗的并联，因此平面型天线比线型天线的输入阻抗要低一些。由此发展过程即可知天线的特性与优点。其特点是频带宽，体积小，剖面低。

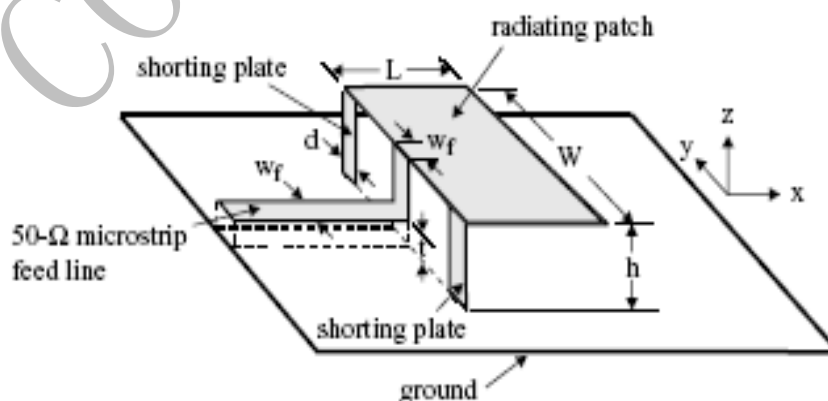


图 13 PIFA 天线图

平板单元的周长为半个波长左右时，产生谐振。天线的水平长度  $L$  可以粗调天线中心频率的范围(选定一个高度  $H$ )；天线的宽度  $W$  可以调节天线的带宽，过宽或过窄都会使带宽性能变差。天线的高

度  $H$  可调节天线的带宽范围和效率，一般  $H$  越大，带宽越宽，效率越高，但  $H$  的增加不但使重量增加而且破坏了天线低剖面的特性。天线的馈点位置也会影响中心频率和带宽，一般来说，馈点离接地端越远，中心频率也越大，为了增加天线的输入阻抗，馈电点离接地端不要太近。

Layout 注意事项：PIFA 天线要求在天线投影区域内有完整的铺地，对 PIFA 天线，天线辐射体和地面的高度是带宽的主要决定因素，高度越大越好，推荐为 7~8mm，最低不得小于 6mm。

值得一提的是：很多同事分不清 PIFA 天线和 IFA 天线，把两者搞混淆，或者把两者都叫做 PIFA 天线。其实两者对射频环境要求是完全不一样的。

### 3.1.5. 陶瓷天线

陶瓷天线是一种特别小型化的天线，如图 14。陶瓷天线的种类可分为块状陶瓷天线与多层陶瓷天线，前者是使用高温将整块陶瓷体一次烧结完成后再将天线的金属部份印在陶瓷块的表面上；后者则采用低温共烧（LTTC）的方式将多层陶瓷迭压对位后再低温烧结，所以天线的金属导体可以依设计需要印在每一层陶瓷介质层上，故可有效缩小天线所需尺寸，并能达到隐藏天线设计布局的目的。

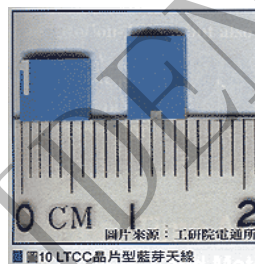


图 14 陶瓷天线图

特点：陶瓷天线只在要求天线尺寸极度小的情况下使用，其增益低，效率低，频带窄，而且成本高。陶瓷天线利用高介电常数的材料做基材，以此来减小天线的尺寸，大大减小 PCB 上净空区域的面积，多用于 PCB 板非常小，无法预留大面积净空区域的情况。

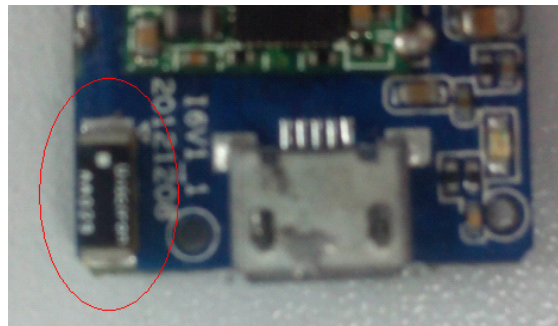


图 15 陶瓷天线布局图

图 15 为某陶瓷天线实例，此天线占用空间非常小，需要的天线净空区域非常小。

## 3.2. 天线测试方法

目前主要有三种方法对手机的辐射性能进行考察：一种是从天线本身的辐射性能进行判定，不考虑天线装配后整机的辐射性能，是较为传统的天线测试方法，称为无源测试；另一种是在特定微波暗室内，测试手机的辐射功率和接收灵敏度，称为有源测试，OTA(Over The Air)测试就属于有源测试。第三种测试较为简单，使用 wifi 分析仪 APK 工具，查看手机接收到周围 AP 信号的强度，这种方法不能考虑天线的方向性，不准确，一般只用作辅助手段来检验天线性能。

### 3.2.1. 无源测试

无源测试侧重从手机天线的增益、效率、方向图等天线的辐射参数方面考察手机的辐射性能。无源测试虽然考虑了整机环境(比如天线周围器件、开盖和闭盖)对天线性能的影响，但天线与整机配合之后最终的辐射发射功率和接收灵敏度如何，从无源测试数据无法直接得知，测试数据不是很直观。无源测试的指标有 S11, VSWR, 阻抗，无源测试需要的仪器是矢量网络分析仪。

### 3.2.2. 有源测试

有源测试则侧重从手机整机的发射功率和接收灵敏度方面考察手机的辐射性能。有源测试是在特定的微波暗室中测试整机在三维空间各个方向的发射功率和接收灵敏度，更能直接地反映手机整机的辐射性能。因此当前在射频性能测试中越来越关注整机辐射性能的测试。

有源测试的指标有 TRP, TIS, 天线效率。

**TRP(Total Radiated Power):** 通过对整个辐射球面的发射功率进行面积分并取平均得到。它反映整机的发射功率情况，跟在传导情况下的发射功率和天线辐射性能有关。

**TIS(Total Isotropic Sensitivity):** 反映在整个辐射球面手机接收灵敏度指标的情况。它反映了整机的接收灵敏度情况，跟在传导情况下的灵敏度和天线的辐射性能有关。

**天线效率:** 指的是从天线辐射出去的功率和输入到天线功率的比值。比如：模组输入到天线的功率为 16dBm，天线的效率为 50%，则从天线辐射出去的功率就只剩下 13dBm。

如果无条件在微波暗室测量天线的辐射性能，也可以通过耦合箱和综测仪测量包含天线在内的射频指标，如：发射功率，接收灵敏度，判断是否满足协议规范。

有源测试需要的仪器有：微波暗室，频谱分析仪，Wifi 综测仪 (IQEXL)，耦合箱，Wifi 非信令测试工具。

### 3.2.3. 信号强度测试

除了上述的有源测试和无源测试外，还可以使用 Wifi 分析仪 APK 工具，测量接收到周围 AP 信号的强度来判断天线好坏。这种判断方法，较为直观、简单，但是不准确，易受测试环境干扰，可靠性不高，可做为一种辅助方法。信号强度测试不需要测试仪器，只需要 Wifi 分析仪 APK 即可。



### 3.2.4. 测试方法对比分析

表 1 对上述三种测试方法进行对比分析。

表 1 天线测试方法汇总表

方法	方案	测试项目	指标要求	备注	等级
有源测试	方案一 测试环境：微波暗室 测试仪器：TRP：频谱分析仪；TIS：频谱分析仪、wifi 信令分析仪	WIFI TRP 指标	大于传导下的 Tx Power-3dB	优点：能全面评估整机天线性能。	1
		WIFI TIS 指标	小于传导下的灵敏度+3dB	缺点：复杂程度最高。 如果 TRP，TIS 达标，天线性能一定好。	
	方案二 测试环境：无干扰环境 测试仪器：Wifi 测试仪、Wifi 非信令测试 APK、耦合箱	耦合情况下 WIFI TX 功率指标，RX 灵敏度指标	参照协议规范	优点：测量相关射频指标判断整机是否符合协议规范，评价客观。 缺点：耦合天线的空中损耗补偿需要准确，否则测量结果不正确。	2
无源测试	方案三 测试环境：无干扰环境 测试仪器：网络分析仪	WIFI 天线 S11参数	整个 wifi 频段的 S11<-10dB	优点：复杂程度次之。 缺点：无法全面衡量整机天线效率等参数。 如果 S11达标，天线性能不一定好。	3
用户实际体验测试	方案四 测试环境：无特殊要求 测试仪器：无 测试工具：Wifi 分析仪 APK，Iperf	1. WIFI RX 接收信号强度； 2. 数据传输带宽； 3. 播放网络视频	1. 5米范围内，使用 wifi 分析仪测量的信号强度需大于 -50dB。 2. 5米范围内，使用 Iperf 测量数据传输带宽需大于20Mbps。 3. 5米范围内，播放网络视频流畅，不卡顿等。	优点：此方案最简单，不需要昂贵的仪器测量，只需用 APK 软件测量即可。 缺点：易受干扰，测试可靠性最低。	4

注：1 为最高优先等级，4 为最认错 优先等级。

## 4. 射频及天线设计指导

### 4.1. 天线设计

在手机制造商中，为什么大家公认 NOKIA 的手机信号好呢？为什么大家都认为 MOTO 的手机信号好且性能稳定呢？主要原因是 NOKIA 和 MOTO 等大公司在天线与 RF 方面的设计流程的理念与国内厂商不一样。在他们的初期方案中就包含了与天线相关的基于外观、主板、结构等的总体环境设计。由于外观、主板、结构、天线是作为一个整体，提供给天线的预留空间及内部的 RF 环境十分合理，所以天线性能优越也在情理之中。m] 反观国内的手机设计，负责项目管理和主持项目设计的人员对天线的认识不足，同时受结构方案和外形至上的制约，到最后来“配”天线，对天线的调试匹配占了整个天线设计流程的大部份时间，这与包含天线的整体方案设计有本质的区别，往往就导致留给天线的面积和体积不足，或在天线下面安置金属后壳、喇叭、摄像头、马达、FPC 排线等元件，造成天线性能下降。

因此，在设计方案时，尤其在产品造型和结构设计阶段，让天线公司参与进来，对天线相关的一些方案提出建议，共同研讨，设计出比较合理的外观造型和射频环境结构，对提高天线的电性能指标非常重要。

### 4.2. 天线选型

如果在产品设计阶段无法联合天线厂商参与，则在产品后期天线选型的时候，需要注意：不能随意选择天线，需要天线厂商提供天线的参数，比如：前面提到的有源指标（TRP, TIS），无源指标（S11, VSWR）。

### 4.3. 射频布线

1. PCB 板上的射频走线布局在 top 层，布线宽度根据实际情况考量，要求 50 欧连续走线，射频走线下方需要有完整的地做为参考地，不可分割。
2. RF 布线越长，能量损耗越大，因此射频走线路径应尽可能的短；
3. 射频走线应尽量采用直线，如无法避免需转弯时，不能采用直角转弯，应采用弧线转弯，以减小寄生电容，且射频走线上不能有过孔，如图 16。

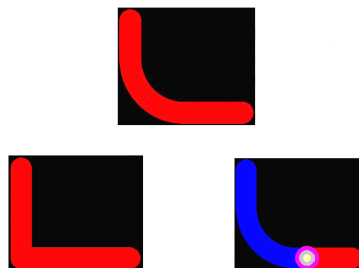


图 16 射频走线图



4. 为减少其他信号及器件对射频的干扰，射频走线应该远离高速数字信号、开关电源、振荡器、DDR、或者其他射频发生器，射频走线下方严禁有电源走线穿越。基带和其他射频器件应尽量用屏蔽盖进行屏蔽。
5. 匹配网络应尽可能的靠近天线端摆放，目的是使天线匹配到 50 欧后，与 50 欧的射频走线连接不反射。所以正确的流程是这样的，天线先匹配到 50 欧，再通过 50 欧的走线连接到模组。而不是：天线先通过馈线连接到匹配网络，再通过匹配网络匹配到 50 欧，再通过 50 欧走线连接到模组。这两者是有很大的区别的。当然如果采用 FPC 天线
6. 匹配网络的元件应尽可能的靠近摆放，并且采用正确的布局方式，以减小寄生效应，如图 17,18。

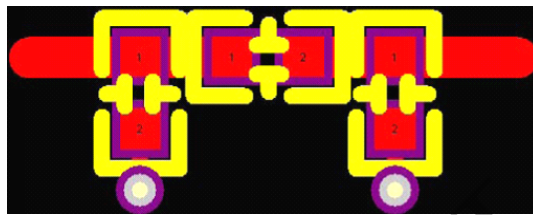


图 17 正确的布线方式

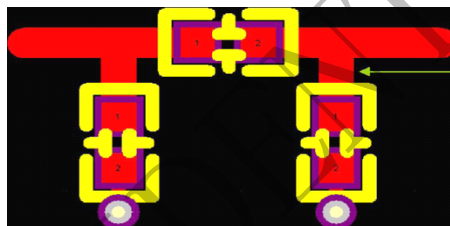


图 18 不正确的布线方式

#### 4.4. 模组及天线摆放位置

馈线越长，能量损耗越大，建议模组靠四周摆放，同时天线尽量靠近模组摆放，馈线长度小于 7cm，如图 19 所示。

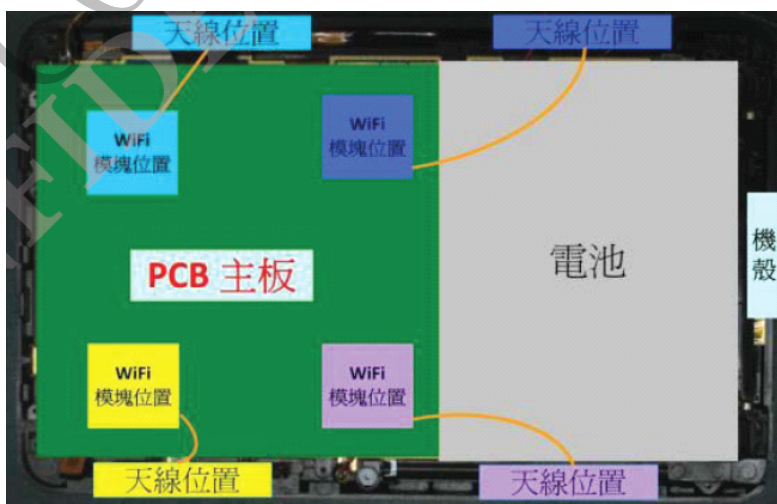


图 19 模组及天线摆放位置图



1. 天线馈线不能跨越 PCB 上的电源及时钟走线，以避免干扰信号通过馈线辐射出去，或者经过馈线进入模组的输入端。
2. 馈线需满足 50 欧。
3. 馈线摆放不能太过弯曲，避免阻抗不连续，引起射频信号发射。
4. 为保证良好的天线性能，天线距离以下金属物体 1cm 以上间距，并要求以下物体有良好的接地：LCD、摄像头、液晶屏、按键等的弯曲电缆、连接振荡器或扬声器的导线、含金属的螺丝或螺母。
5. 天线投影区域下禁止使用全金属后壳，否则即使做到天线匹配，天线性能也会大大降低。
6. 天线形式有很多种，每种要求的射频环境都不一样，天线投影区域下方是否需要铺地，需要参照具体天线厂商的 layout guide。

## 4.5. 天线验证测试

产品设计完成后，需要对整机的射频性能做测试，验证射频性能指标是否达到标准。验证分为三个级别：有源指标，无源指标，用户实际体验测试。请参照 2.2.4 章节。

1、有源测试指标要求如下：

TRP> 传导下功率 - 3dB；

TIS< 传导下灵敏度 + 3dB；

天线效率>50%；

有源指标需要在微波暗室测量，如条件有限，无法测量上述 3 个有源指标，也可使用耦合箱，Wifi 测试仪测量另外几种有源指标，如发射功率，接收灵敏度等，判断是否满足协议要求。耦合箱和微波暗室测量的区别是：耦合箱无法测量天线的方向性及效率。

2、如果无条件进行有源指标测试，则可以进行无源指标测试，来间接衡量天线性能。

无源测试指标要求如下：

天线装配到整机后，在整个频带范围内，回波损耗  $S_{11} < -10\text{dB}$ ， $VSWR < 2$ 。如不达标，可通过匹配网络来调整，使得天线输入阻抗尽量接近 50 欧。

通常情况下，天线的输入阻抗并不是 50 欧，为了减少能量的反射，需要通过匹配网络把天线阻抗调到 50 欧。

如条件有限，无源指标和有源指标可以委托天线厂商进行测量。

3、用户实际体验测试

如果也无条件测试无源指标，则可从用户实际体验的角度测量。如信号强度，Iperf 数据传输带宽，播放网络视频等。

## 5. 实际案例分析

### 5.1. 案例一：匹配的重要性

背景：

某产品 Wifi 天线采用外置单极子天线，理论上讲，外置单极子天线具有高增益，大带宽等特点，同时由于采用外置天线，不存在净空区域的问题，应该没有问题才对。但是实际使用效果并不好，Miracast 镜像播放视频 3 米就会卡顿。

分析：

使用网络分析仪测量后发现此天线本身 S11 指标不太好，只达到 -5dB，也没有调试匹配。使用电容、电感调试匹配后，S11 达到 -12dB，如图 20,21。经过实测，发现 Wifi 性能明显提升，近距离 Iperf 带宽从 20Mbps 提升到 40Mbps，miracast 可用距离从 3 米提升到 7 米。

从这个案例可以看出：

1. 即使采用外置单极子天线，也需要调试匹配。
2. 天线匹配调试的重要性。

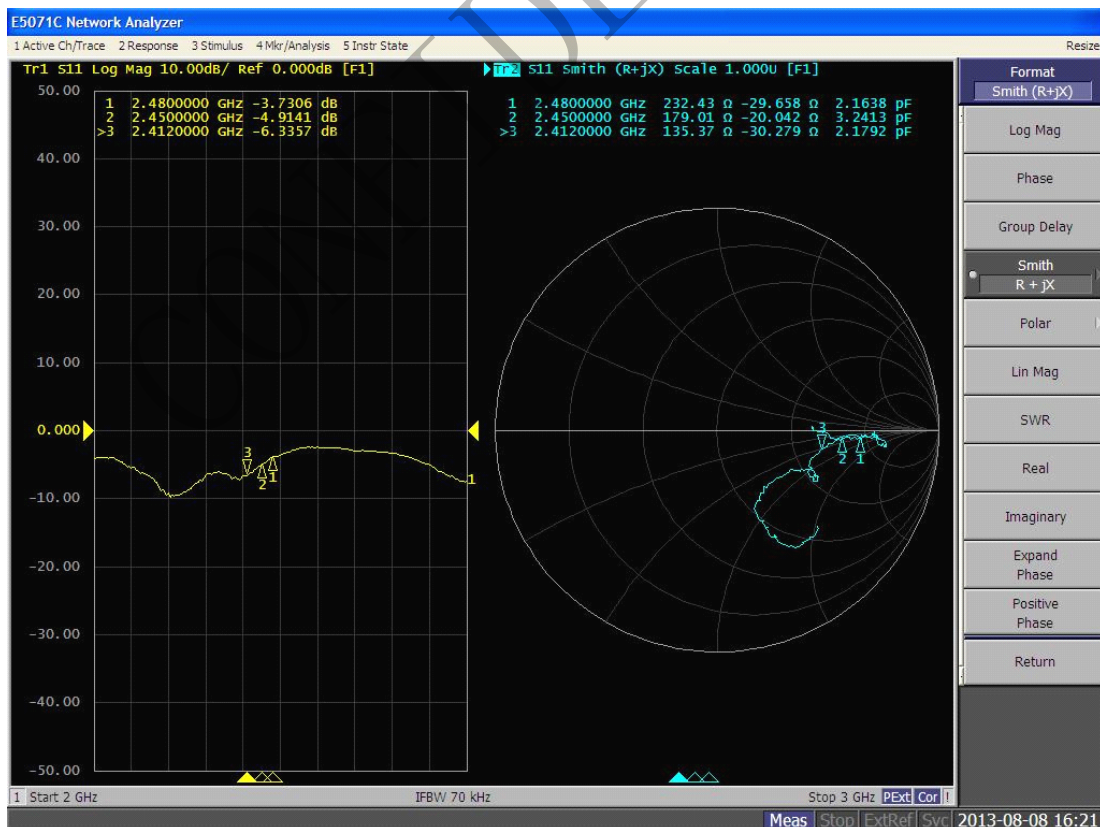


图 20 匹配前天线 S11 参数

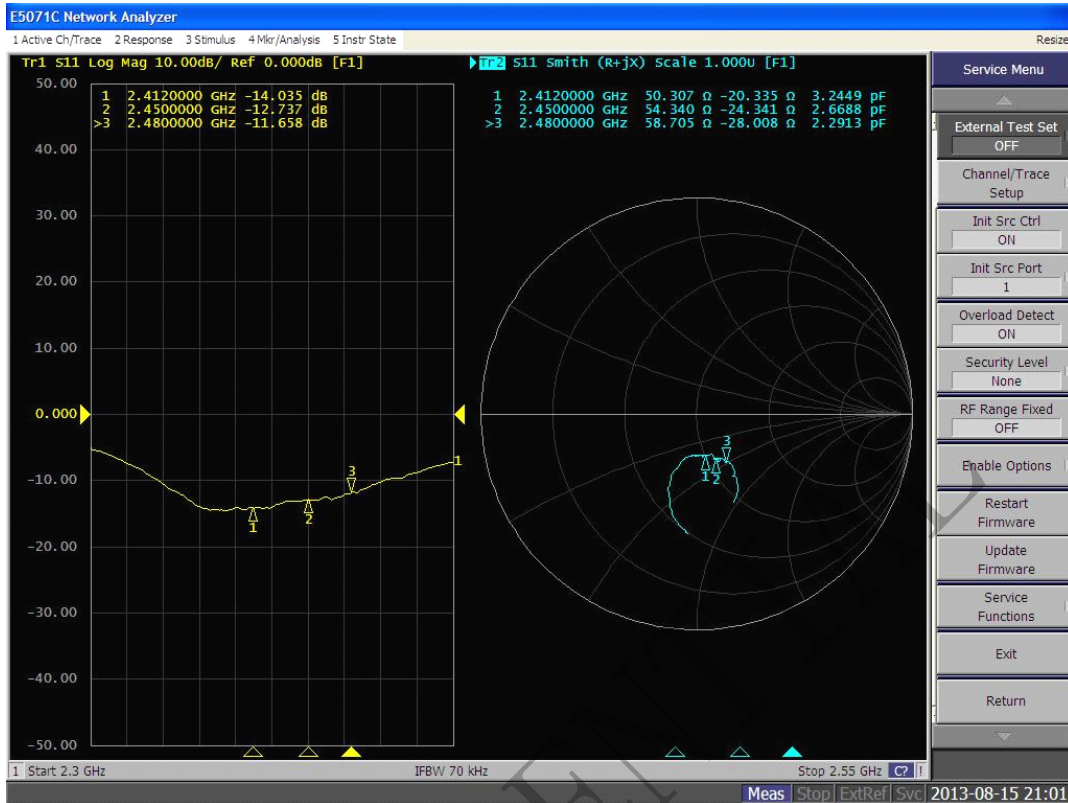


图 21 匹配后天线 S11 参数

## 5.2. 案例二：天线环境的重要性

### 背景：

某产品 Wifi 天线采用 FPC 形式的 IFA 天线，PCB 板上天线的投影区域也做了挖空处理，配置全金属外壳，天线上方的金属后壳没有做挖空处理。发现 Wifi 信号强度很弱，只有-60dB。

### 分析：

使用网络分析仪实测，发现此产品不盖后壳的 S11 指标达到-10dB，盖上后壳后 S11 指标没有多大变化，也是-10dB，从天线匹配角度讲已经满足要求，但是为什么使用 Wifi 分析仪测量 5 米范围内 AP 信号强度只有-60dB 呢？

经过实验发现，把后壳取下后，信号强度明显提升到-45dB，性能明显提升。由此可见金属外壳严重影响天线的向空间辐射能量的能力。而另外一款相同配置产品，把天线上方的金属外壳挖空，采用塑料材质。这款产品的 wifi 效果明显要好很多，信号强度为：-50dB。

从此案例可以看出：

- 1、天线垂直投影区域下，一定不能有金属覆盖
- 2、盖上金属后壳后，即使 S11 达标，整体性能也不好。由此可见，S11 达标，只能说明能量全部传输到天线。但天线能不能把能量辐射出去，和 S11 没有多大关系。

### 5.3. 案例三：射频走线 50 欧的重要性

#### 背景：

产品 A 采用 FPC 形式的 IFA 天线，天线投影区域上方和下方都没有金属，做了净空处理，经测试发现 Wifi 信号强度很弱

#### 分析：

使用网络分析仪测量天线 S11 为 -4dB，且天线没有经过匹配调试。经过匹配后，S11 达到 -20dB，匹配已经达到非常好的程度，如图 22。从理论上讲，能量已经全部传输到天线端。但是经过实测，发现信号强度没有丝毫改善。

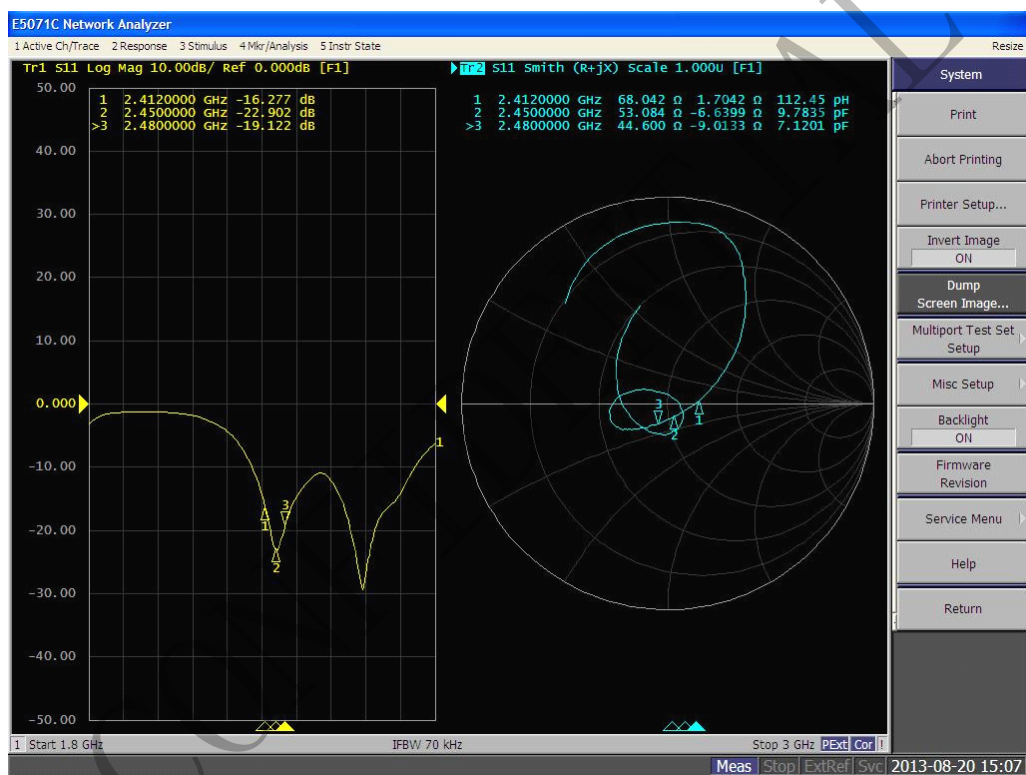


图 22 50 欧匹配

那么可能是天线本身的辐射性能不好导致的，把产品 A 的天线换到其他客户产品 B 上，发现产品 B 的 wifi 信号强度明显变好。证明此产品 A 的天线没有问题。那么是什么原因导致的呢？

使用网络分析仪的 TDR 功能测量 PCB 上射频走线，发现实测值是 30 欧，不是 50 欧走线。但是实际是按照 50 欧去匹配的，因此能量在模组和天线之间的馈线上不断的来回反射，造成能量不能很好的传输到天线。

那么如果按照 30 欧去匹配天线，会怎么样呢？如图 23。从理论上讲，把天线匹配到 30 欧，由于模组的输出阻抗是 50 欧，整个射频通路上，只有一个阻抗不连续点，只有一次反射。和按照 50 匹配的多次能量反射相比，应该会有所改善。经过实际验证发现，天线匹配到 30 欧后，信号强度确实提

高了 5 dB，但是依旧不是太好。

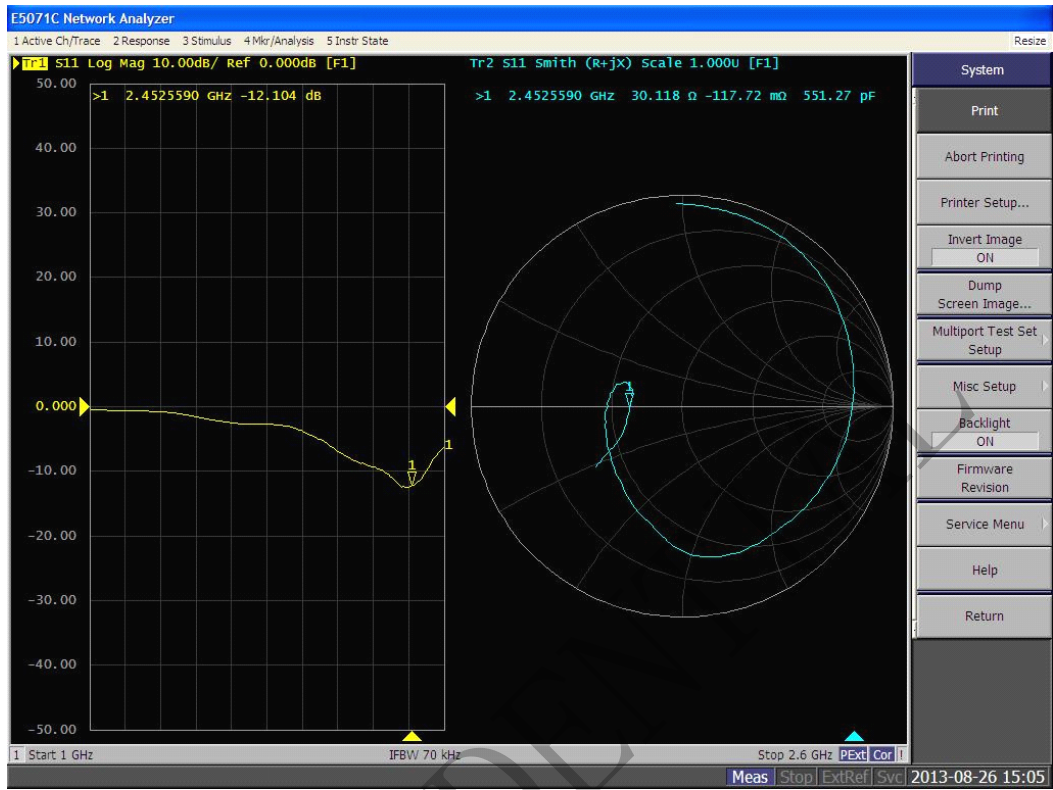


图 23 30 欧匹配

从此案例可以看出：射频走线一定要走 50 欧。

## 6. Declaration

This document is the original work and copyrighted property of Allwinner Technology (“Allwinner”). Reproduction in whole or in part must obtain the written approval of Allwinner and give clear acknowledgement to the copyright owner.

The information furnished by Allwinner is believed to be accurate and reliable. Allwinner reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Allwinner does not assume any responsibility and liability for its use. Nor for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Allwinner. This datasheet neither states nor implies warranty of any kind, including fitness for any particular application.

CONFIDENTIAL