



# ROYOLE 天线基础知识培训

吴泽恒

Royole Corporation  
EMAIL: Henry.Wu@royole.com  
DATE:20190215

# Contents

- 1 天线原理和基本概念
- 2 天线的分类
- 3 OTA测试系统
- 4 天线设计要求

- 天线的基本定义

天线是无线移动通信中必须器件，它把传输线上传播的导行波，变换成在无界媒介（通常是自由空间）中传播的电磁波，或者进行相反的变换（将外部电磁波转化为传输线的导行波输送给接收机）。

发射电磁波时，天线将电路中的高频电流或馈电传输线上的导行波有效地转换成某种极化的空间电磁波，向规定的方向发射出去；接收电磁波时，则将来自空间特定方向的某种极化的电磁波有效地转换为电路中的高频电流或传输线上的导行波。

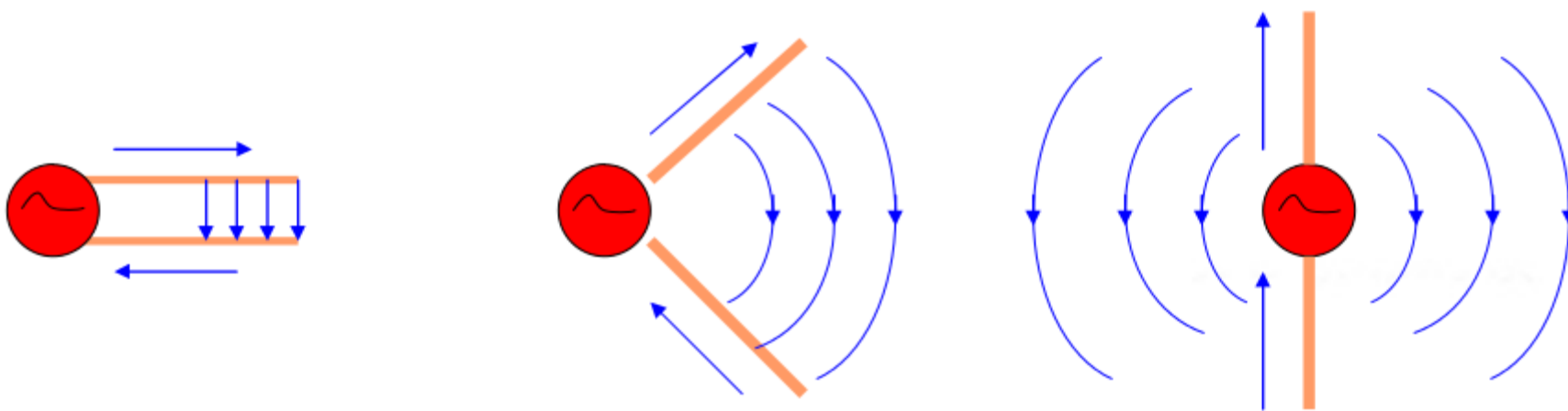
从本质上讲天线是一种能量转换装置，是外部电磁波和内部电路联系的桥梁和纽带。

# 天线的辐射原理

导线载有交变电流时，就会辐射电磁波，其辐射能力与导线的长短和形状有关。

若两导线的距离很近，电场被束缚在两导线之间，因而辐射很微弱；将两导线张开，电场就散播在周围空间，因而辐射增强。当导线的长度远小于辐射电磁波的波长，辐射很微弱；当导线的长度可与辐射的电磁波波长相比拟时，导线上的电流就大大增加，形成较强的辐射。

通常将上述能产生显著辐射的直导线称为振子，振子就是一个简单的天线。



# 天线的基本概念

## 无源参数:

反射系数 ( Reflection Coefficient ) , **驻波比 (VSWR)** 和**回波损耗 (Return loss)**

极化 (Polarization)

方向性系数 (Directivity)

方向图 (Radiation pattern)

**效率 (Efficiency)**

增益 (Gain)

## 有源参数:

**TRP**(Total Radiated Power)\总辐射功率

我们平时说的发射功率应该是NHPRP(Near Horizon Partial Radiated Power): 反映在产品的在面附近天线的发射功率的参数。

**TIS**(Total Isotropic Sensitivity)\全向接收灵敏度

我们平时说的接收灵敏度应该是NHPIIS(Near Horizon Partial Isotropic Sensitivity): 反映产品在H面附近天线的接收灵敏度的参数。

# 反射系数 驻波比(VSWR) 回波损耗(Return loss)

- 1.反射系数(Reflection Coefficient ), 驻波比 (VSWR) 和回波损耗 (Return loss) 这三个参数主要反映的是天线与馈线连接匹配优劣。
- 2.天线匹配工作就是消除天线输入阻抗中的电抗部分, 使电阻分量尽可能的接近馈线的特性阻抗。
- 3.三个参数之间有固定的数值关系, 具体使用哪一个参数来衡量天线性能由个人使用情况决定。

反射系数是反射波电压与入射波电压的比值。

反射的产生是由于馈线特性阻抗和天线输入阻抗不匹配引起的, 因此 $\Gamma$ 也可以表示为 
$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

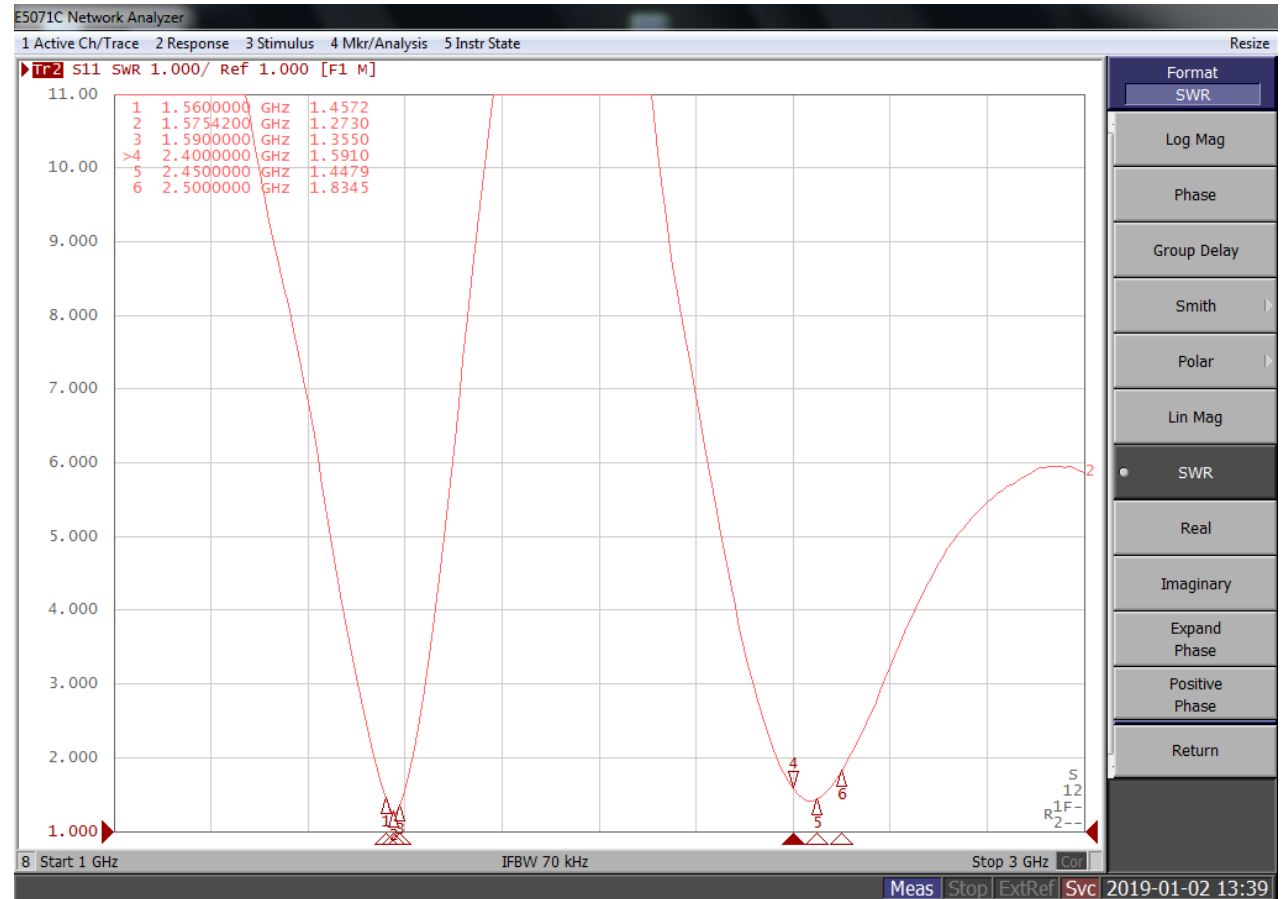
# 驻波比 (VSWR)

如果 $Z_{in} \neq Z_o$ 则传输线反射系数  $\Gamma \neq 0$ ,

此时天线入射端电压和电流均由入射波和反射波叠加引起, 因此定义电压振幅最大值与电压振幅最小值的比值为电压驻波比VSWR

$$VSWR = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

简单点说, 驻波比反映了天馈系统的匹配情况。它是以天线作为发射天线发射出去和反射回来的能量比 (强调的是能量关系)。天线的阻抗与馈线的阻抗&接收机的阻抗一致, 驻波比就小。驻波比大的天馈系统, 表明信号在馈线中的损失很大。

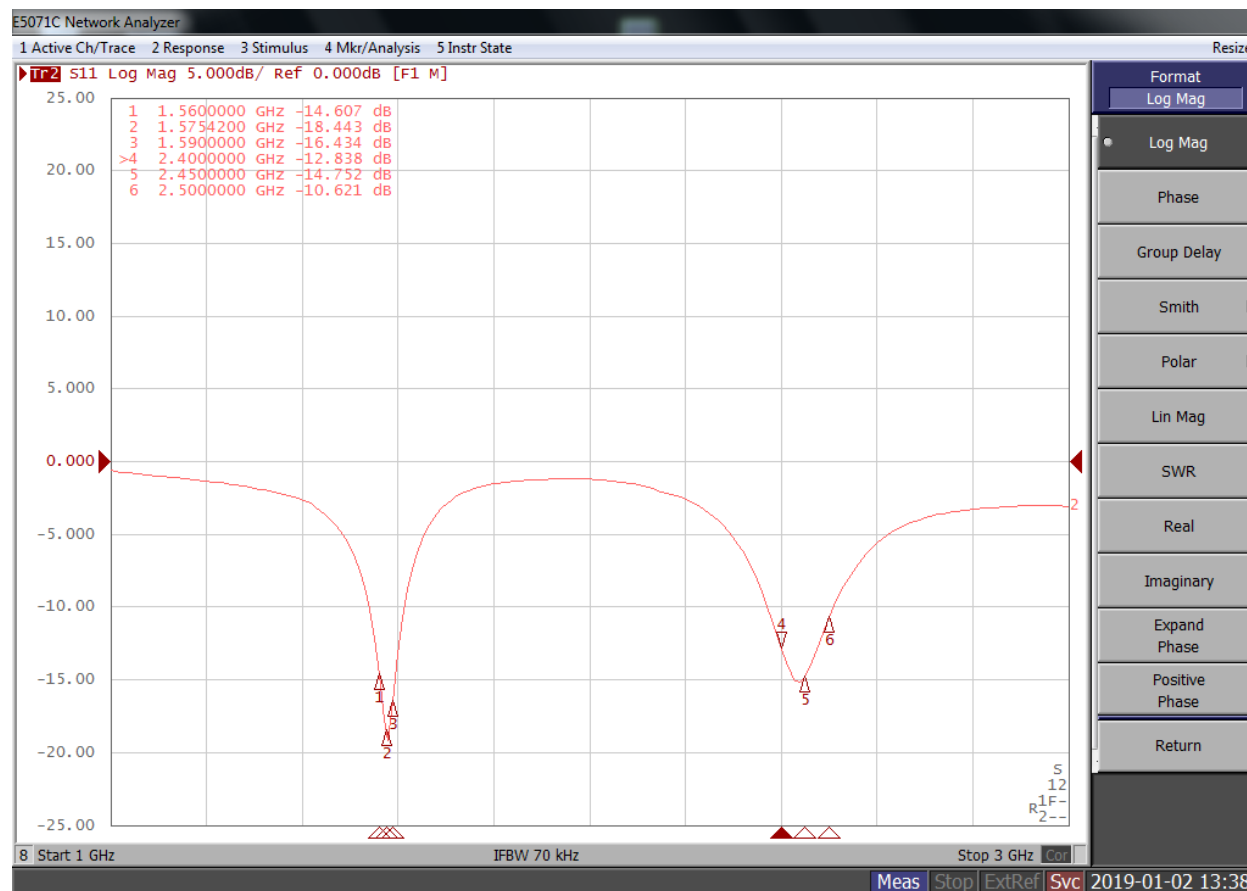


# 回波损耗 (Return loss)

由于反射系数使用不太方便，人们还引入另一个量：**回波损耗 (Return loss)**

$$\text{Return Loss} = 20\log(|\Gamma|)$$

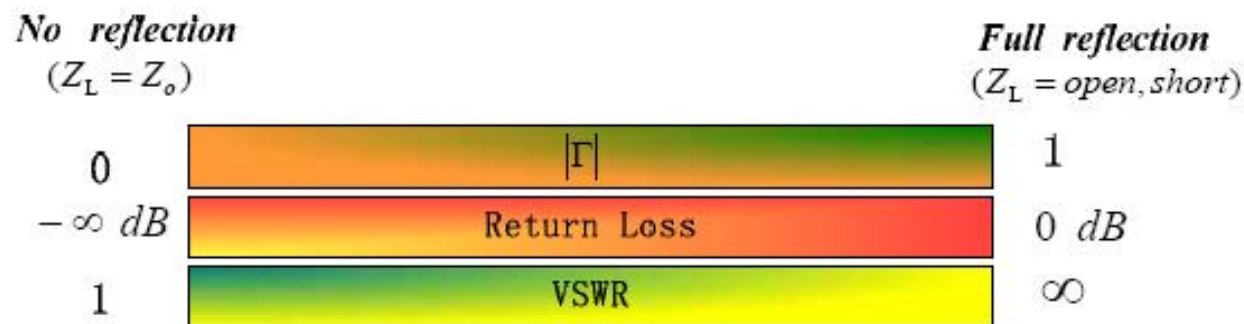
回波损耗是指某一点（对于天线来说是馈电点）反射波的功率与入射波功率之比的 $10 \cdot \log$ 值。由于反射系数小于1，所以回波损耗是负数。





# 反射系数 驻波比(VSWR) 回波损耗(Return loss)

反射系数,驻波比 (VSWR) 和回波损耗 (Return loss) 是用来衡量天线匹配优劣的三个参数, 三个参数之间有固定的数值关系, 具体使用哪一个纯属个人习惯, 在我们的天线报告中使用较多的是驻波比和回波损耗, 下图是三者间的范围关系。



# 极化(Polarization)

天线的极化特性是以天线辐射的电磁波在最大辐射方向上电场强度矢量的空间取向来定义的，是描述天线辐射电磁波矢量空间指向的参数。由于电场与磁场有恒定的关系，故一般都以电场矢量的空间指向作为天线辐射电磁波的极化方向。

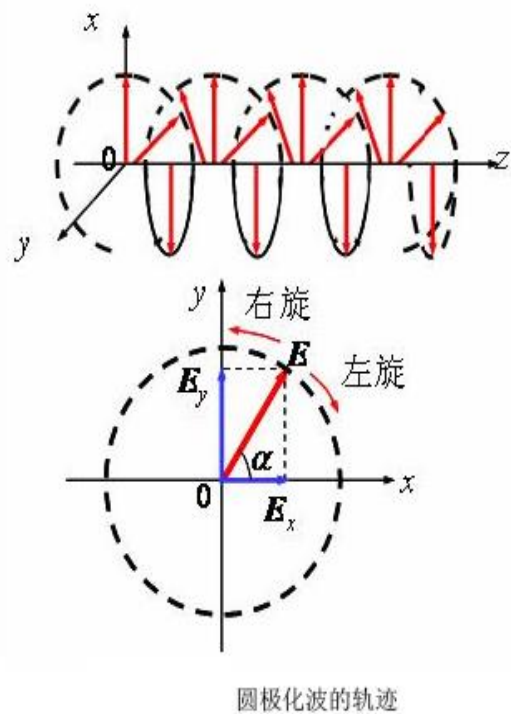
根据电场矢量的端点轨迹形状，电磁波的极化分为三种：线极化，圆极化，椭圆极化。

线性极化：垂直极化、水平极化。

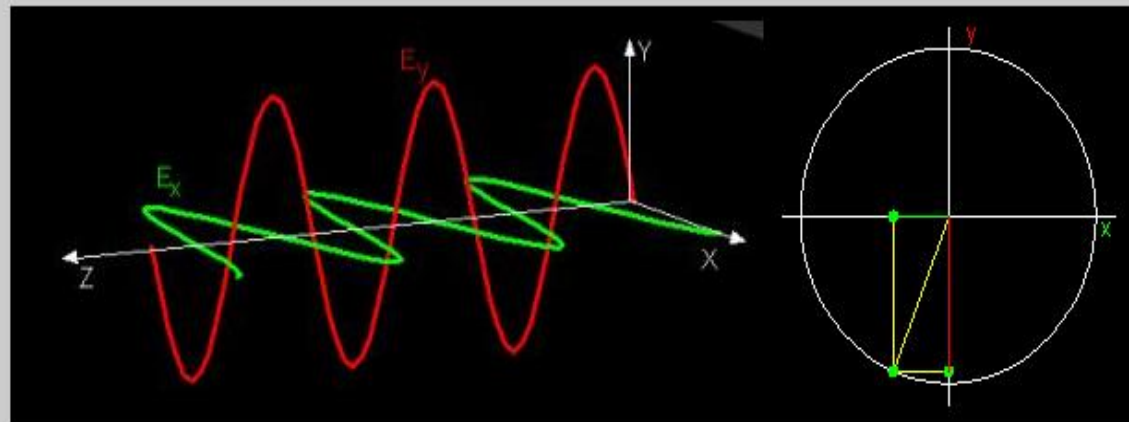
有时以地面为参数，电场矢量方向与地面平行的叫水平极化。

极化方式主要有 水平极化 、 垂直极化 、 左旋极化 、 右旋极化 等。水平极化和垂直极化为线性极化，即天线场强方向不变。水平极化时，电场强度方向平行于地面平行地面；垂直极化时，当电场强度方向垂直于地面。左旋极化及右旋极化属于圆极化，即天线场强方向会发生旋转，顺时针旋转称为左旋极化，逆时针旋转称为右旋极化。

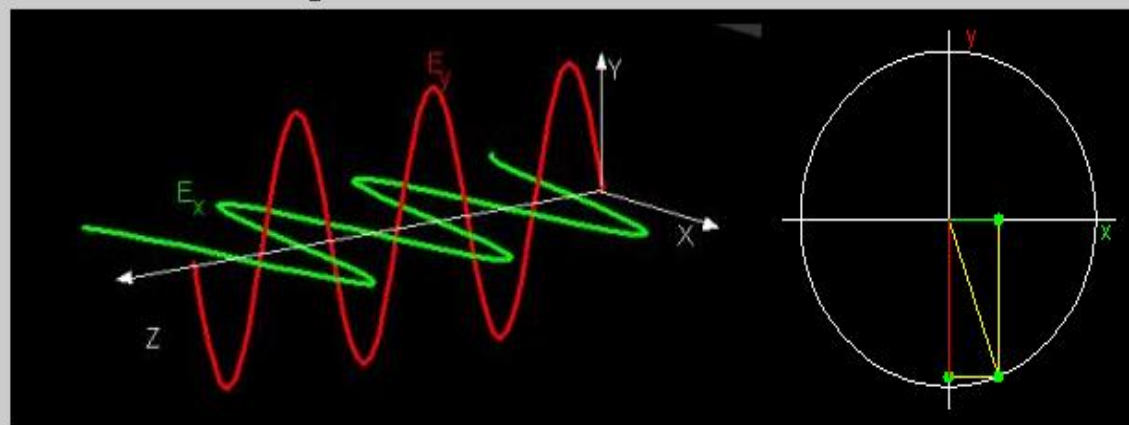
# 圆极化和线极化



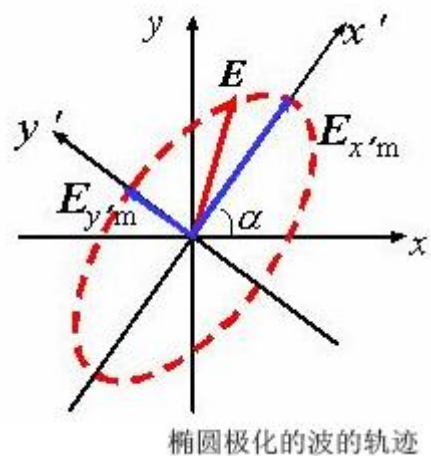
$$E_x = E_y, \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{\pi}{2}$$



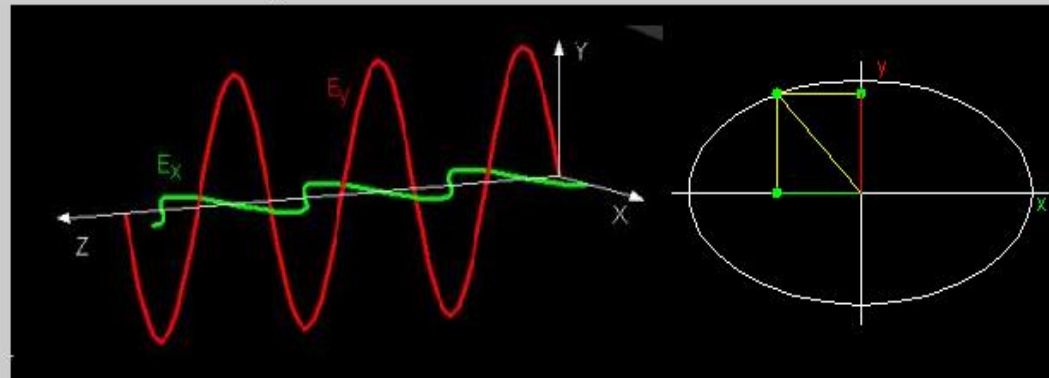
$$E_x = E_y, \quad \varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{\pi}{2}$$



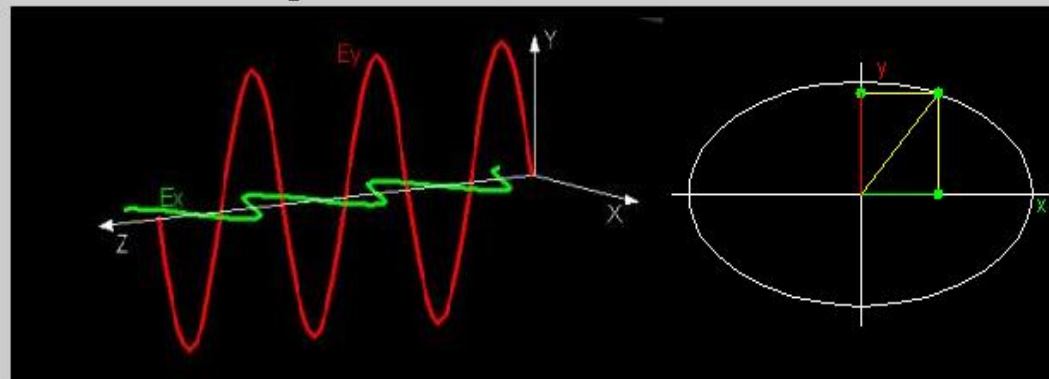
# 椭圆极化和线极化



$$E_x \neq E_y, \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{\pi}{2}$$



$$E_x \neq E_y, \quad \varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{\pi}{2}$$



# 手机天线的极化(Polarization)

- 1、目前手机天线的长度大致按照1/4波长设计的;
- 2、天线也存在H/V两种极化,垂直极化是主要的极化方式占90%多;
- 3、随着PCB宽度的增加水平极化就会增加;
- 4、当长/宽差不多时就很明显,必须想办法使水平极化降下来,但仍然会低于正常水平的;
- 5、天线极化方向用电场的方向表示, 由于水平极化天线具有良好的远区场强分布, 在同样的发射功率下可以覆盖更大的范围, 但是, 水平极化天线的近区场强分布劣于垂直极化, 特别是在潮湿、多水、多树林等环境条件下, 由于水平极化天线极化偏转的原因, 垂直极化天线的近地接收效果优势明显;
- 6、垂直极化天线很容易实现水平面内360°接收, 因此在移动接收时垂直极化的天线更合适。在发射天线采用垂直极化、接收天线也采用垂直极化天线时, 移动接收效果明显优于其它组合方式。

# 方向性系数(Directivity)

能够定量的表示天线定向辐射能力的电参数。定义：在同一距离及**相同辐射功率**的条件下，某天线在最大辐射方向上的辐射功率密度和无方向性天线（点源：能均匀辐射在任何方向）的辐射功率密度之比。

方向性系数单位为dBi，理想点源天线的方向性系数为0dBi。

对于手机天线而言，要求方向性系数越小越好，因为手机天线需要尽量做成全方向性（即没有方向性）的天线，而不是要求某个方向的辐射特别强。

**一般对WIFI天线有要求方向性系数小于4.5dBi（参考华为终端标准）**

# 增益(Gain)

能够表示天线的定向收益程度。定义：在同一距离及**相同输入功率**的条件下，某天线在最大辐射方向上的辐射功率密度和理想无方向性天线的辐射功率密度之比。

输入功率是指天线在天线馈电点处的功率，并不是天线的辐射功率，天线的辐射功率=输入功率\*效率。所以 $\text{Gain} = \text{Directivity} * \text{Efficiency}$ 。它是综合衡量天线能量转换和方向性的参数。单位是dBi，因为是同理想点源天线的对比值，对定义中的功率比取 $10 * \log$ 即可。

一般而言，增益越高，带宽就会越窄。实际调试中，我们往往更关注效率，而不是增益。

天线增益可以大于1，也可以小于1，但无论正负都叫增益，不像微波电路中输出输入比大于1的叫放大，小于1的叫损耗。

天线是一个无源器件，遵守能量守恒定律，不会对信号进行放大，增益之所以出现大于1的情况是由于天线具有方向性，把其他方向的能量集中到所需要的方向，和理想点源天线相比能量增加了。

# 效率(Efficiency)

天线的效率是指天线的辐射功率 ( $P_{rad}$ ) 与输入功率 ( $P_{in}$ ) 之比, 简单的说就是天线将馈电点处的输入功率辐射出去的能力。

天线效率的单位是%, 也可以用dB表示 ( $dB=10\lg(\%)$ ), 对于内置天线而言, 要求至少30% (-5.23dB) 。

以手机为例进一步说明: 手机上有一个switch, 我们一般测得手机输出功率是从手机switch上测得的 (测RF传导), 然后这个功率经过一段微带线到天线馈电点, 一部分能量由于电路的失配被反射回来, 另一部分能量进入天线记作 $P_{in}$ 。用TRP表示天线的空间辐射功率 $P_{out}$ ,  $P_{out}/P_{in}$ 就是天线效率。这里没有考虑到天线的电路失配而导致能量反射。

天线的效率是不必考虑传输线和反射损耗的。

**实际项目中, 我们评估的天线效率是将天线switch输出的功率作为 $P_{in}$ , 这样计算得到的效率包括了反射的那部分能量, 也包括了微带线上的能量损耗, 这个效率会比天线的实际效率差很多。**

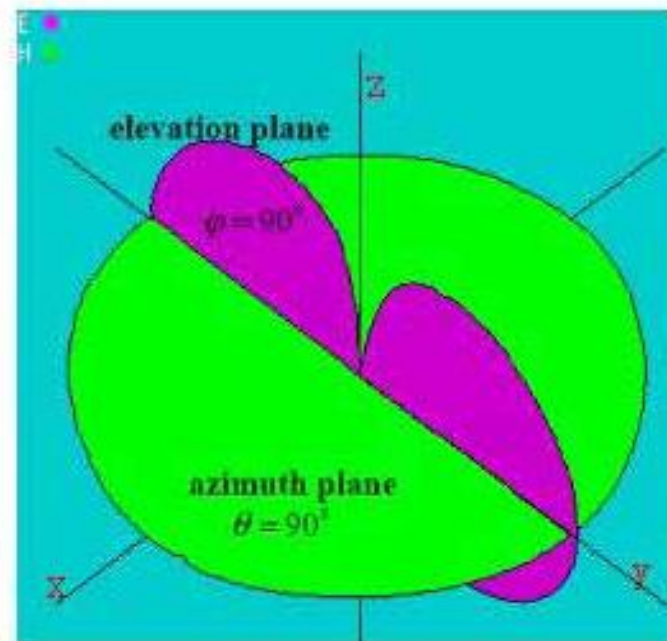
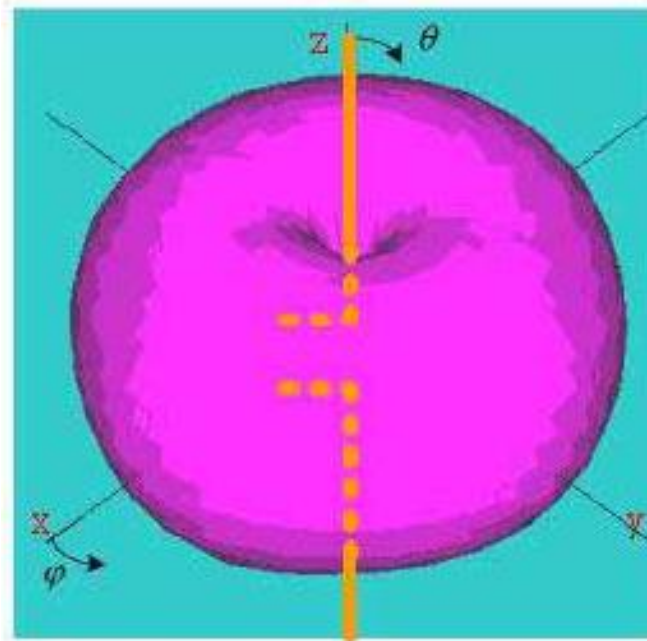


# 方向图(Radiation pattern)

所谓天线方向图是指在离天线一定距离处，辐射场的**辐射特性**随方向变化的曲线图。  
辐射特性包括场强，功率密度，极化和相位等，与此相关的称为场强方向图和功率方向图  
为了不同天线进行比较一般要对辐射特性进行归一化，使用最多的是归一化功率方向图。

$$P(\vartheta, \psi) = \frac{S(\vartheta, \psi)}{S_{\max}} = \frac{S(\vartheta, \psi)/S_0}{S_{\max}/S_0} = \frac{D}{D_{\max}}$$

从上一公式可以看出归一化功率方向图就是归一化方向性系数方向图



# 方向图(Radiation pattern)

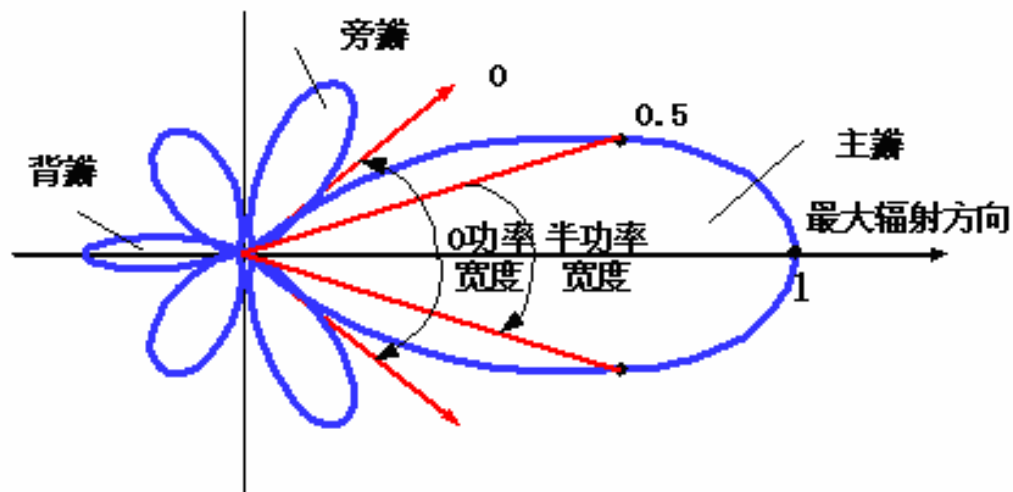
为了方便对各种天线的方向图特性进行比较，就需要规定一些特性参数。主要包括：主瓣宽度，旁瓣电平，前后比，方向系数等

主瓣宽度：是衡量天线的最大辐射区域的尖锐程度的物理量。通常取天线方向图主瓣两个半功率点之间的宽度。

旁瓣电平：是指离主瓣最近且电平最高的第一旁瓣的电平，一般以dB表示。

前后比：是指最大辐射方向（前向）电平与其相反方向（后向）电平之比，通常以dB为单位。

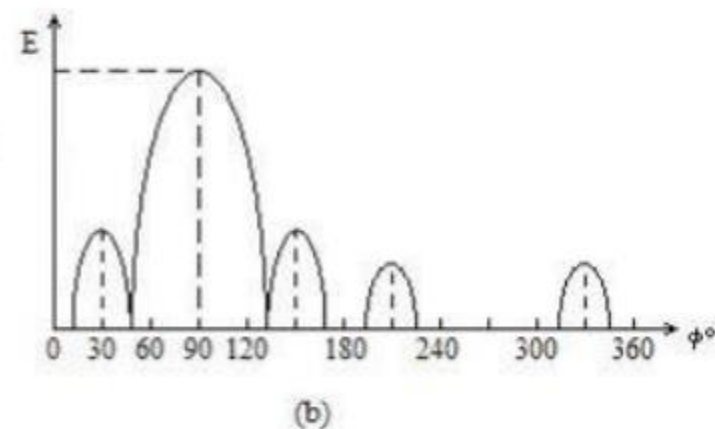
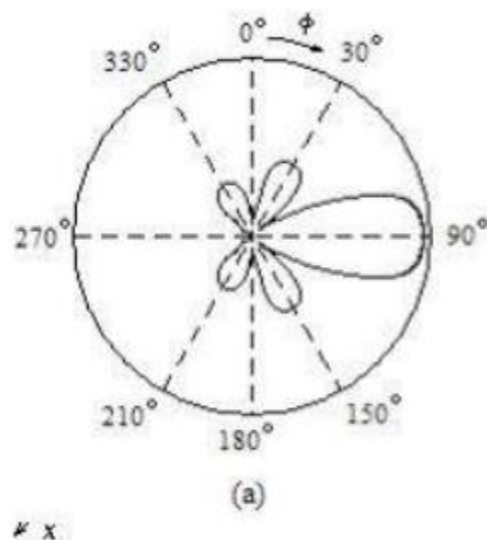
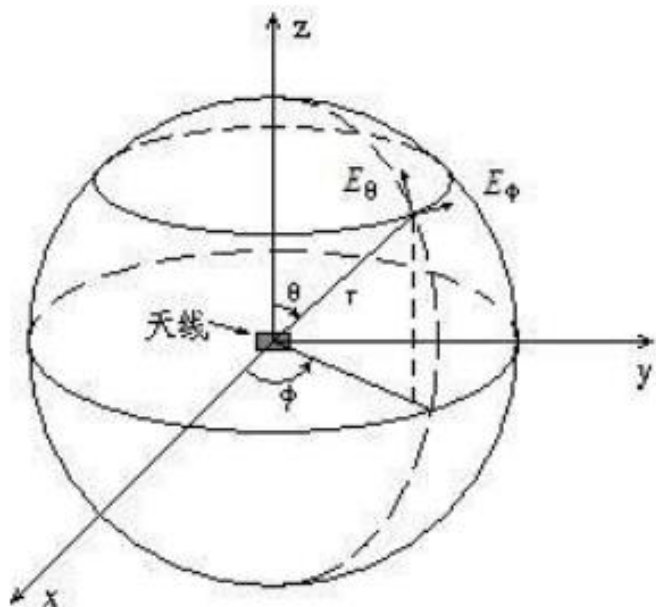
方向系数：前面介绍过了，能够定量的表示天线定向辐射能力的电参数。



# 方向图(Radiation pattern)

一般只需要测得水平面 (xy) 或垂直面(xz)的方向图就可以了。

天线方向图可以用极坐标表示也可以用直角坐标表示，极坐标：直观、简单，从方向图可以直观看出天线辐射场强的空间分布特性；直角坐标：数据性强，表示角度的横坐标和表示场强的纵坐标可以任意选取，例如即使不到 $1^\circ$ 的主瓣宽度也能清晰地表示出来，而极坐标却无法绘制。



# 天线的分类

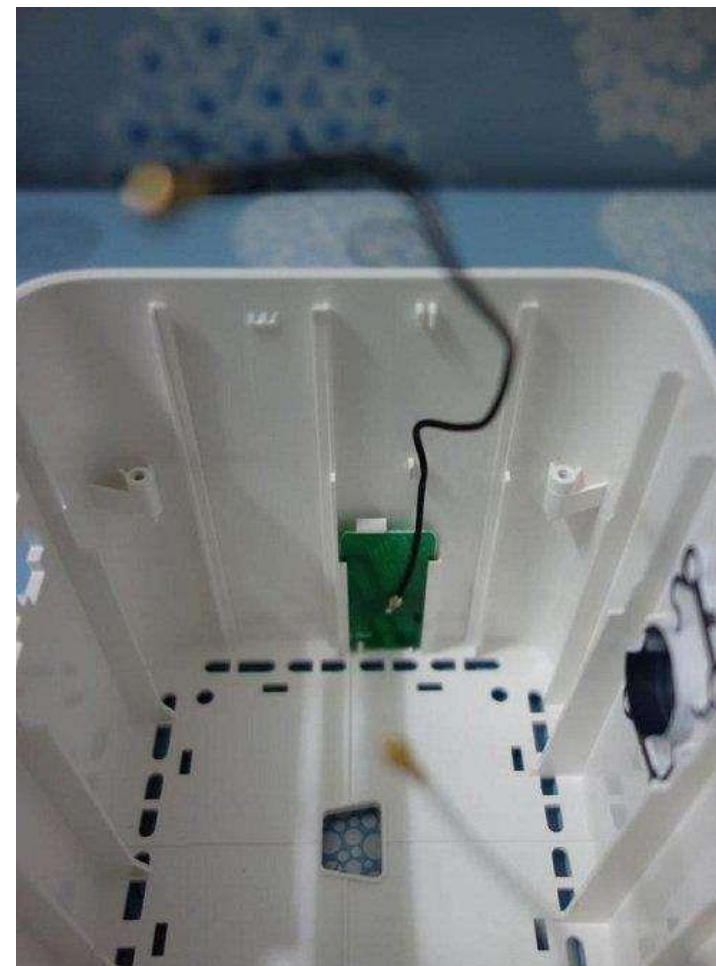
- 1、按工作性质可分为发射天线和接收天线。
- 2、按方向性可分为全向天线和定向天线等。
- 3、按工作波长可分为超长波天线、长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线、微波天线等。
- 4、天线按材质不同可以分为：钢片天线、FPC天线、LDS天线、板载PCB天线、陶瓷贴片天线、LCP天线等

下面介绍比较常见的天线

# 板载PCB天线

- **板载PCB式天线：**

采用PCB蚀刻而成，成本低，但是只适合单一频段，不同批次的PCB天线性能会有一定偏差，一般用于蓝牙、WiFi无线通信模块。

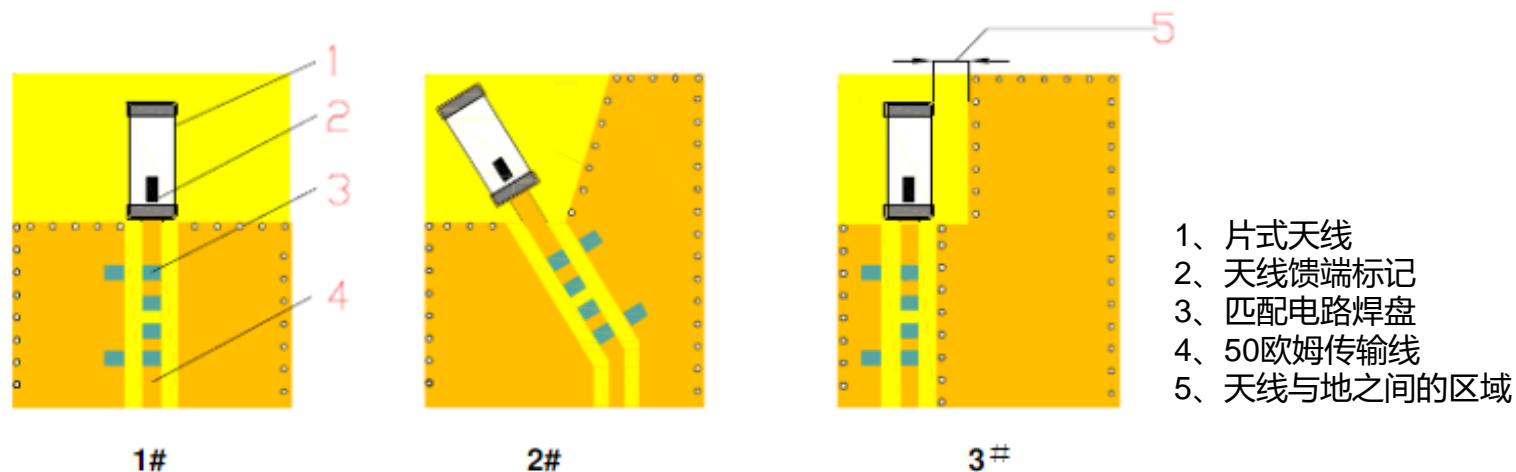


华为荣耀路由器PRO：板载天线+单端子同轴线

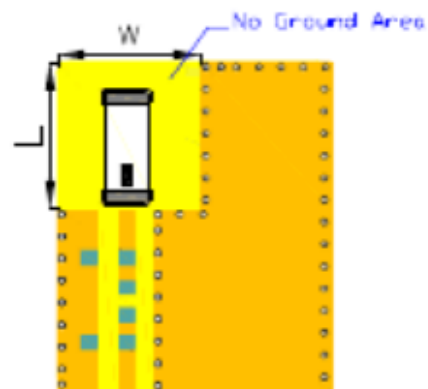
# SMT贴片天线（陶瓷天线）

## ●SMT贴片天线：

陶瓷天线，占用面积少，集成度高，容易更换，适用于对空间要求小的产品，但是该类型天线价格稍贵且带宽偏小。



如果PCB板有足够空间，建议使用布局1。若因为空间局限可参考使用2或3。



天线尺寸(mm)	无敷地区域L*W(mm)
3.2*1.6	3.6*6.8
5.0*2.0	5.4*6.8
6.0*2.0	6.4*6.8
7.2*2.0	7.6*6.8
8.0*1.0	8.4*6.8
9.0*2.0	9.4*6.8



# 外置棒状天线

- 外置棒状天线：  
性能好，无需调试，方便更换，增益高，适用于各种终端设备。

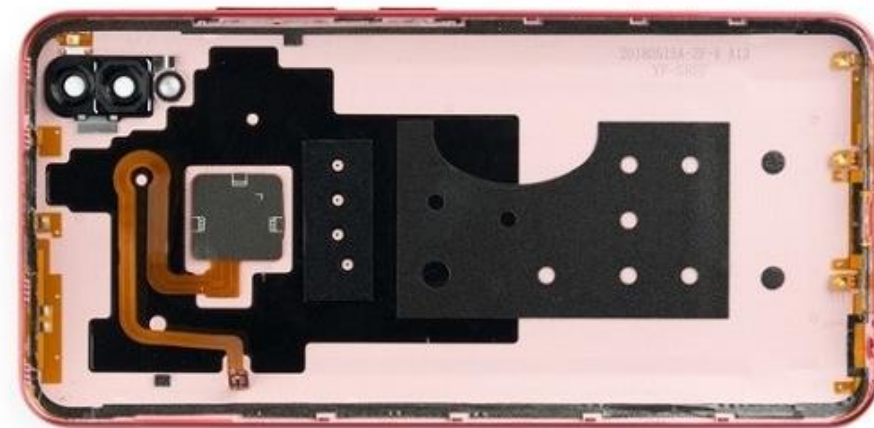


# FPC天线

- **FPC天线:**

1、FPC的特点是材质软，可贴在曲面上，还可以转折，在空间利用率上比金属有优势，对外形设计和结构设计要求比金属自由点，装配上FPC只要贴在材料表面上，只是在馈点处需要加定位柱，不像钢片天线需加热熔柱定位。

2、通过馈线连接，安装自由，增益高，通常可以使用背胶贴在机器非金属外壳上，适用于性能要求高且外壳空间充足的产品上。



VIVO Z1: FPC天线(带补强板)贴手机后壳



# LDS天线

- **LDS天线:**

LDS天线是FPC天线的进化版。空间利用率极高。目前产品由于通信频段越来越多（尤其是手机），产品内部空间非常紧凑，很难找到一大块平整的平面给天线。于是LDS天线诞生了，通过激光把天线的图形雕刻出来。可以充分利用立体空间的中的各种不规则的面，缩小天线体积。成本比FPC天线要贵一个数量级。且对产品外表面的工艺也有很多特殊要求。



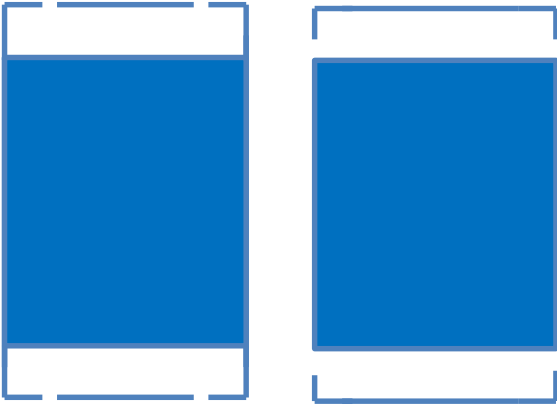
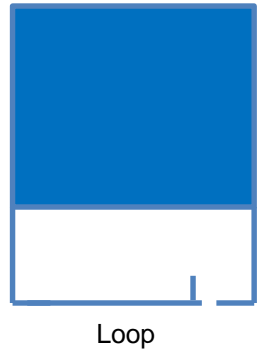
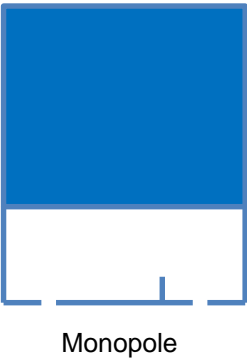
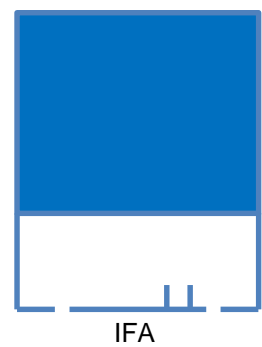
小米MIX2: LDS天线（主板支架）



华为荣耀6plus: LDS天线（BOX支架）

● 金属中框天线：

目前市面上主流的智能机都是采用金属边框的工艺，而金属边框的机器对于天线调试难度很大。金属边框天线设计主要是利用金属边框做为天线的一部分进行辐射，一般只有以下几种天线形式：**IFA**，Monopole，Loop。



常见的两种断缝形式（缝宽一般要求至少2.0mm）



## 什么是OTA测试？

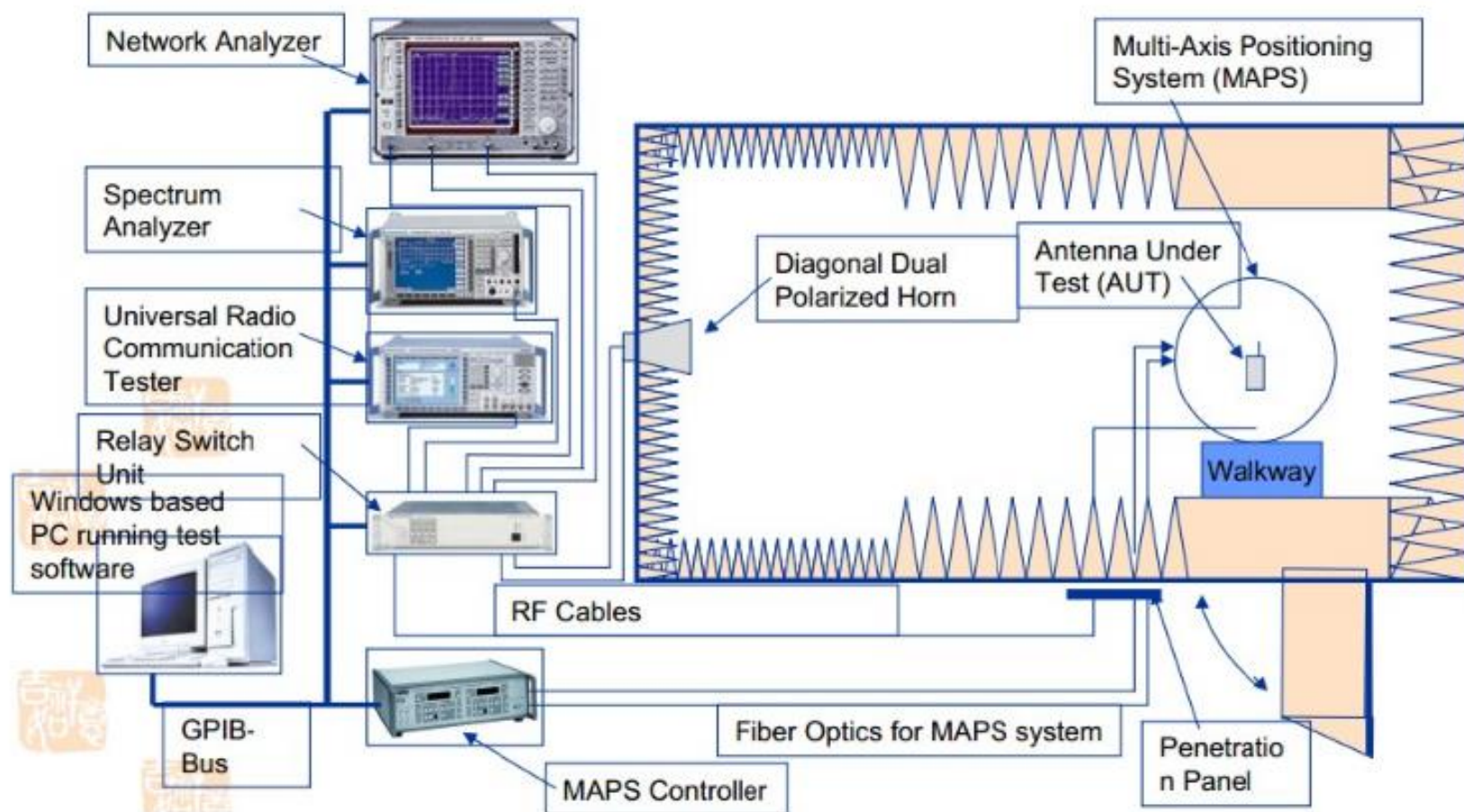
OTA测试是与RF传导测试相对应的，但与大家经常接触的RF传导有一些差异。

从连接控制方式看：RF传导测试，是通过射频线将DUT直连到测试仪表的连接方式实现，如果有测试仪表就较容易实现。而OTA测试，是通过“over the air”方式实现与测试仪表连接，除了需要测试仪表，还需要有OTA chamber，以及实现控制DUT和测试仪表的OTA系统软件。

RF OTA (Over The Air )测试会模拟产品的无线信号在空气中的传输场景，而此种测试方式，可将产品内部辐射干扰、产品结构、天线的因素、射频芯片收发算法、甚至人体影响等因素考虑进去，是一种在自由空间验证无线产品空口性能的综合性测试方法，非常接近产品实际使用场景。

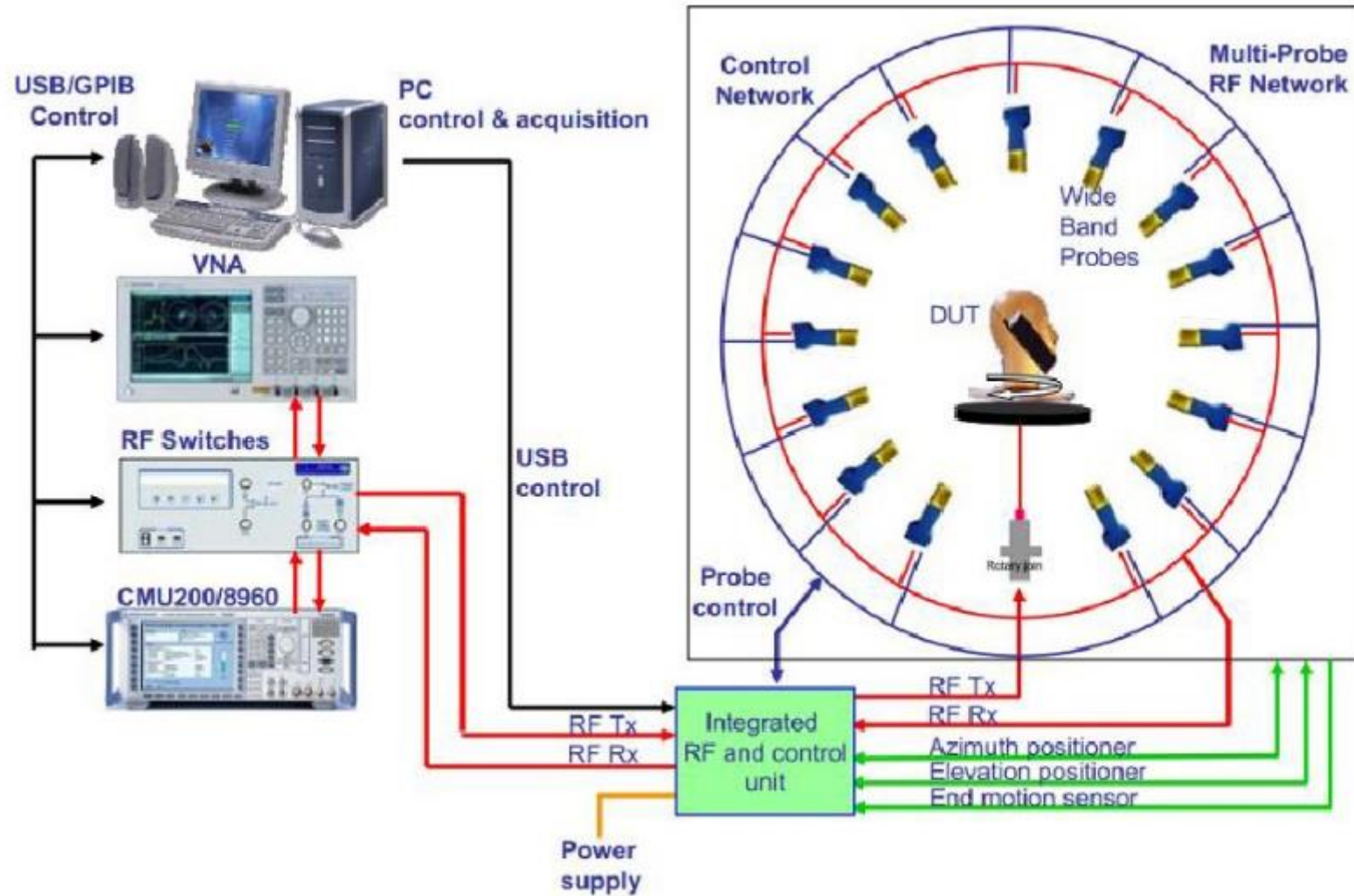
正因为较接近产品实际使用场景，很早以前，手机类产品或者智能可穿戴产品就已经对产品的无线OTA性能作了严格的要求。而随着物联网产品的无线化、智能化、多样化发展，以及对客户体验的逐步重视，一些非手机类厂商也逐渐对自家产品的无线性能的要求越来越高。

# OTA测试-ETS架构





# OTA测试-Satimo架构



## 为什么要进行OTA测试？

对RF传导测试而言：

- 1、RF传导测试无法将天线因素对整机性能的影响考虑在内，无法完整验证出整机内部不同功能单元的干扰情况；
- 2、对于硬件上没有射频端口设计的产品，传导测试会存在误差；
- 3、传导测试无法验证产品无线空口性能；
- 4、对手持式或者穿戴类产品，传导测试无法评估人体对产品无线性能影响。

而对OTA测试：

- 1、可完整验证从芯片到天线端各种因素对整机性能影响，甚至包括芯片收发算法对整机性能影响；
- 2、可验证任意相关软硬件设计变更对整机性能的影响；
- 3、通过OTA无源（passive）以及有源（active）测试为产品的整机无线性能优化提供依据及方向；
- 4、为验证产品是否符合相关的认证要求以及某些厂商的企标要求提供依据。

OTA测试主要分为有源测试和无源测试两种，下面来简单的说下这两种测试：

## 1.无源测试：

无源测试侧重测试单天线，或者天线搭配整机的效率、增益、方向图等辐射参数。此时的产品是处于未工作或者是说没有电源接入的状态。

效率（Efficiency）：天线辐射出去的功率与输入到天线馈电处的功率之比。一般来说，效率越高越好。

增益（Gain）：输入同等功率时，在空间方向上的某个位置与理想点源天线在此处的功率比值。对于部分产品来说，并不是增益越高越好，增益高会使得波瓣宽度变窄，从而方向性差。

方向图（Radiation pattern）：是指在离天线一定距离处，辐射场的相对场强(归一化模值)随方向变化的图形。

## 2.有源测试:

有源测试主要是测试整机产品在正常工作的状态下的总辐射功率和接收灵敏度。

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

接收灵敏度（TIS:Total Isotropic Sensitivity）：反映在整个辐射球面无线产品接收灵敏度指标的情况。它反映了整机的接收灵敏度情况，跟产品的传导灵敏度和天线的辐射性能有关。（TIS是负值）

# 天线标准

HW OTA 3.2 (PAD)

MA	Band	FS (dBm)		BHH (dBm)	
		TRP	TIS	TRP	TIS
GSM	GSM 850	26.0	-102.5	17.0	-93.5
	GSM 900	26.0	-102.5	18.0	-93.5
	GSM 1800	25.0	-103.0	18.0	-96.0
	GSM 1900	25.0	-103.0	18.0	-96.0
WCDMA	UMTS I	18.0	-106.0	12.0	-99.5
	UMTS II	18.0	-106.0	12.0	-99.0
	UMTS IV	18.0	-106.0	12.0	-99.0
	UMTS V	17.0	-104.0	10.0	-94.0
	UMTS VIII	17.0	-104.0	10.0	-95.0
CDMA	BC0 (CDMA800)	17.5	-102.5	9.0	-94.0
	BC1 (CDMA 2000)	17.5	-102.5	9.0	-95.5
TD-SCDMA	B34	17.0	-107.0	13.0	-100.0
	B39	17.0	-107.0	13.0	-100.0
FDD	LTE 1 (10M)	17.5	-92.0	11.0	-86.5
	LTE 2 (10M)	17.5	-92.0	11.0	-86.0
	LTE 3 (10M)	17.5	-92.0	11.0	-86.5
	LTE 4 (10M)	17.5	-92.0	11.0	-86.5
	LTE 5 (10M)	17.0	-90.0	9.0	-80.0
	LTE 7 (10M)	17.5	-92.0	11.0	-86.5
	LTE 8 (10M)	17.0	-90.0	9.0	-80.0
	LTE 12 (10M)	17.0	-90.0	9.0	-80.0
	LTE 13 (10M)	17.0	-90.0	9.0	-80.0
	LTE 17 (10M)	17.0	-90.0	9.0	-80.0
	LTE 20 (10M)	17.0	-90.0	9.0	-82.0
TDD	LTE 37 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 38 (10M)	17.5	-92.0	12.0	-87.0
	LTE 39 (10M)	17.5	-92.0	12.0	-86.5
	LTE 40 (10M)	17.5	-92.0	11.0	-86.0
	LTE 41 (10M)	17.5	-92.0	11.5	-86.0

HW OTA 4.1 (Phone)

MA	Band	FS (dBm)		BHH (dBm)	
		TRP	TIS	TRP	TIS
GSM	GSM 850	27.0	-103.5	17.0	-93.5
	GSM 900	27.0	-103.5	17.0	-93.5
	GSM 1800	25.0	-103.0	18.0	-96.0
	GSM 1900	25.0	-103.0	18.0	-96.0
WCDMA	UMTS I	18.0	-106.0	12.0	-99.0
	UMTS II	18.0	-106.0	12.0	-99.0
	UMTS IV	18.0	-106.0	12.0	-99.0
	UMTS V	18.0	-104.0	10.0	-94.0
	UMTS VIII	18.0	-104.0	10.0	-94.0
CDMA	BC0 (CDMA800)	18.0	-101.0	9.0	-91.0
	BC1 (CDMA 2000)	18.0	-101.0	11.0	-95.0
TD-SCDMA	B34	18.0	-107.0	13.0	-100.0
	B39	18.0	-107.0	13.0	-100.0
FDD	LTE 1 (20M)	17.5	-91.0	11.0	-85.0
	LTE 2 (20M)	17.5	-91.0	11.0	-85.0
	LTE 3 (20M)	17.5	-91.0	11.0	-85.0
	LTE 4 (20M)	17.5	-91.0	11.0	-85.0
	LTE 5 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 7 (20M)	17.5	-91.0	11.0	-85.0
	LTE 8 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 12 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 13 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 17 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 20 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
TDD	LTE 37 (10M)	17.0	-92.0	9.0	-82.0
	LTE 38 (20M)	17.5	-91.0	12.0	-85.0
	LTE 39 (20M)	17.5	-91.0	12.0	-85.0
	LTE 40 (20M)	17.5	-91.0	11.0	-85.0
	LTE 41 (20M)	17.5	-91.0	11.5	-85.0

BT		
TRP		
Class1	FS:自由空间	V1.2 GFSK: $\geq 2.5$
TIS		
Class1	FS:自由空间	$\leq -83$ ((BER $\leq 0.1\%$ ))

WIFI		
TRP		
802.11a(54Mbps)	FS:自由空间	8
802.11b(11Mbps)	FS:自由空间	11
802.11g(54Mbps)	FS:自由空间	9
802.11n(MCS7)	FS:自由空间	7
TIS		
802.11a(54Mbps)	FS:自由空间	-67
802.11b(11Mbps)	FS:自由空间	-79
802.11g(54Mbps)	FS:自由空间	-68
802.11n(MCS7)	FS:自由空间	-65

A-GPS		
TIS 针对CDMA设备		
AGPS-CDMA	FS:TIS	-147/-150[Limit/Target]
AGPS-CDMA	FS:UHS	-143/-146[Limit/Target]
TIS 针对的是LTE设备		
AGPS-LTE	FS:TIS	-144/-148[Limit/Target]
AGPS-LTE	FS:UHS	-140/-144[Limit/Target]

限值适用于所测试低、中、高信道的平均值，单信道的结果不得低于限值2dB。



# 天线设计要求

天线设计要求最关键的就是：净空，高度，面积。

以手机为例，由于手机屏幕上下边框变得更窄，天线与金属中框的距离更近，“净空”比传统屏幕更少。另外像目前流行的全面屏手机受话器、摄像头等器件的影响需要更高的集成度，与天线的距离也更近，给天线留下的“净空”区域比传统屏幕更少，对射频挑战更高。

以前16:9的屏幕，最终给天线留下来的净空在7-9毫米（LCM背光模组到整机底端一般会有9mm左右的主净空），现在到18:9的屏幕时，留给天线的空间大概只有3-5毫米（如三星S8的LCM背光到整机底端只有不到5mm的主净空），甚至更窄。

## Antenna Area Changed Due To The Screen



# 天线设计要求-净空

天线设计时，不仅应远离金属元件，而且还应远离电池、振荡器、屏蔽罩、摄像头等不相干的零部件，给天线留出一段干净的空间（简称净空）。

对于主天线（2/3/4G）：3-7mm [Limit-Target]

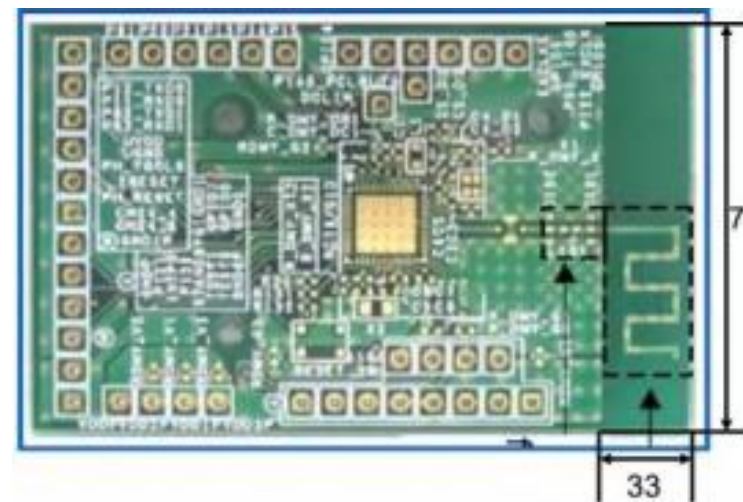
对于分集天线（2/3/4G）：2-7mm [Limit-Target]

对于BT\WIFI\GPS天线（3in1）：2-7mm[Limit-Target]

对于单BT\WIFI天线：1-4mm[Limit-Target]

对于单WIFI（5G）天线：0-4mm[Limit-Target]

对于单GPS天线：2-7mm[Limit-Target]



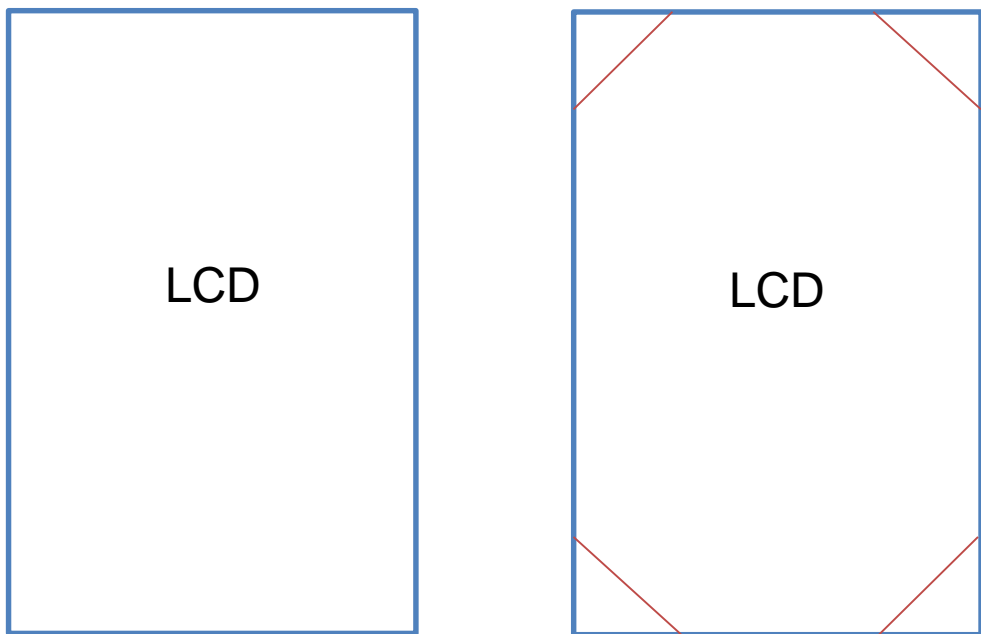
# 天线设计要求-结构材质

以手机为例，通常天线附近材料的关注介电常数，如目前流行的以金属边框天线，我们需要关注拉胶材料，一般用PC\PBT+GF30%(介电常数3.3左右)，PC\PBT+GF40%（介电常数4.2左右）。

通常，相对介电常数大于3.6的物质为极性物质；  
相对介电常数在2.8~3.6范围内的物质为弱极性物质；  
相对介电常数小于2.8为非极性物质。

# 天线设计要求

1、扩大手机内部的净空区域，对应的解决方案如屏背后金属切除（或者部分切除）、USB悬空不接地、天线附近螺丝座用铜螺母悬空等等。



- 2、减小天线所需的净空区域，对应的解决方案有LDS天线技术、整合天线与其他零件。
- 3、增加DPDT上下天线切换，拆分天线，增加调谐开关等。
- 4、尽可能的增加天线高度和天线有效走线面积。（一般受ID局限）