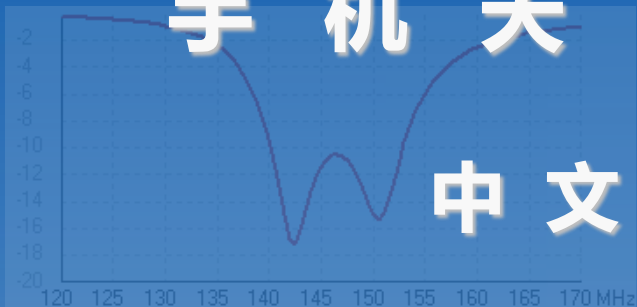


手机天线设计培训

中文视频课程



易迪拓培训 (www.edatop.com)、微波EDA网 (www.mweda.com) 联合出品

第三讲：天线基本工作原理和性能参数

主讲：李明洋

易迪拓培训(www.edatop.com)

❖ 天线的基本工作原理

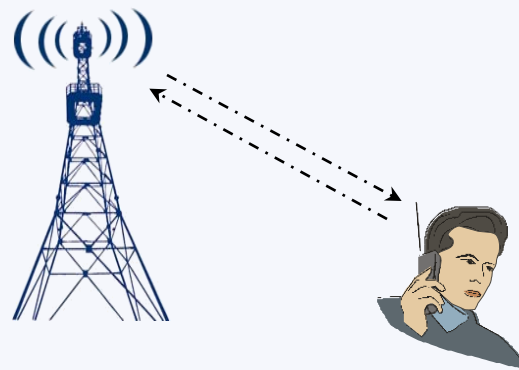
- 什么是天线
- 天线的基本工作原理

❖ 天线的主要性能参数

- 工作频率和带宽
- 输入阻抗
- 电压驻波比、回波损耗
- 天线辐射方向图
- 方向性系数，效率和增益
- 极化方式
- 隔离度
- TRP、TIS、SAR

❖ 什么是天线?

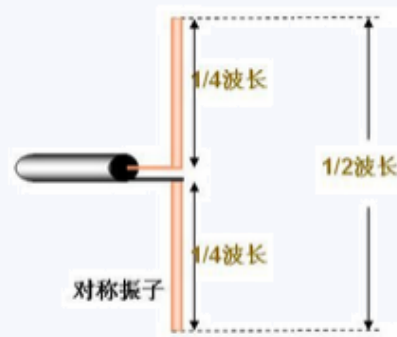
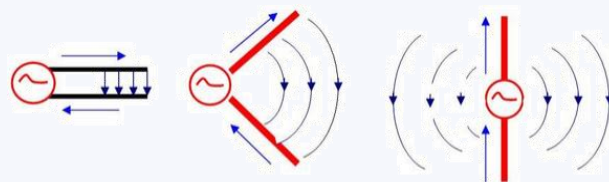
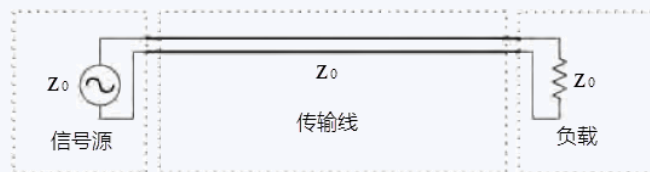
- 天线是无线通信设备中用于发射和接收特定频段无线电波的一个重要器件
 - 把电信号转换为无线电波发射到空间：无线电发射机输出高频信号，通过馈线输送到天线，由天线以电磁波形式辐射出去
 - 接收空间的无线电波产生电信号：电磁波到达接收地点后，由天线接下来，并通过馈线送到无线电接收机
- 天线是发射和接收电磁波的一个重要的无线电设备，天线性能的好坏将会直接影响到通信系统的品质，没有天线也就没有无线电通信
- 天线是一种互易元件
 - 同一副天线既可用作发射天线，也可用作接收天线；同一天线作为发射或接收的特性参数是相同的
 - 后面内容都是基于把发射天线展开讲解的



天线的基本工作原理

❖ 天线的基本工作原理

- 导线上有交变电流流动时，就会发生电磁波的辐射
- 对于传输线，因为两根导线间距很近、电流幅度相等、相位相反，所以产生的电场被束缚在两导线之间（远区场相互抵消）不会辐射电磁能量
- 如果将两根导线张开，因为导线上的电流方向相同，所以产生的电磁场会叠加，从而辐射出电磁能量
- 辐射电磁波的能力和导线长度直接相关，当单根导线长度为1/4波长奇数倍时，会在导线上产生驻波，此时辐射出的电磁能量最大
- 最经典、应用最广泛的天线——半波偶极子天线：其单臂长度为1/4波长，全长为1/2波长



天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ 方向图
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ 极化方式
- ❖ 隔离度
- ❖ TRP、TIS、SAR

1. 工作频率和带宽

❖ 工作频率是天线最基本的参数；无论是接收还是发射天线，都是工作在一定的频率范围内的，天线的带宽就是指天线有效工作的频率范围

❖ 手机天线工作频率和带宽举例

- 小米4 联通 4G版
 - 4G 网络：FDD-LTE：频段1/3
 - 4G 网络：TDD-LTE：频段41
 - 3G 网络：WCDMA 850/900/1900/2100MHz
 - 2G 网络：GSM 850/900/1800/1900MHz
- SAMSUNG Galaxy S6 全网通工作频段
 - TD-LTE：B38, B39, B40, B41
 - FDD-LTE：B1, B3, B4, B7, B8, B28
 - TD-SCDMA：B34, B39
 - WCDMA：B1, B2, B5, B8
 - EVDO：BC0
 - GSM：B2, B3, B5, B8

天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ **输入阻抗**
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ 方向图
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ 极化方式
- ❖ 隔离度
- ❖ TRP、TIS、SAR

2. 天线输入阻抗

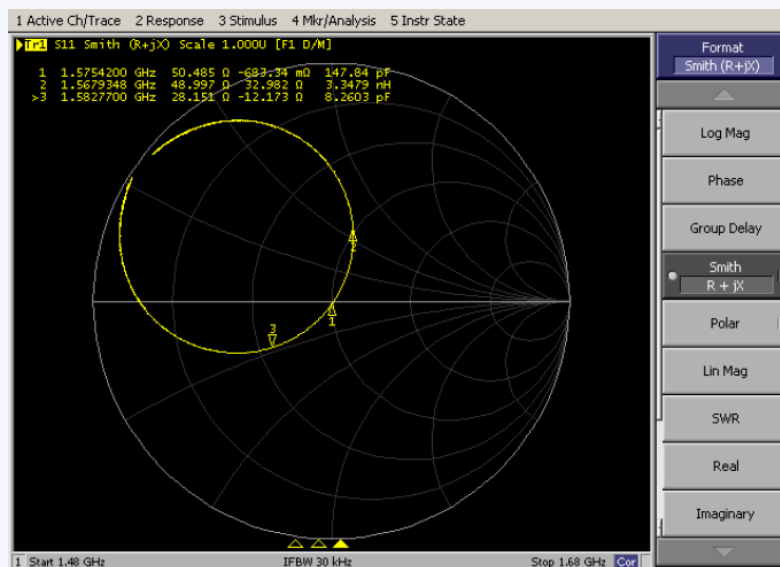
❖ 天线和传输馈线相连，从电路的角度来看，天线相当连接在传输线一端的负载。传输线和天线的连接处称为天线的输入端，天线输入端呈现的阻抗值定义为天线的输入阻抗



❖ 在微波、射频频段，传输线和元器件通常都 50Ω 标准阻抗；所以天线的输入阻抗需要设计在 50Ω 附近，以保证在工作频带内达到尽可能小的驻波比。

❖ 天线的输入阻抗取决于天线的结构、工作频率和周围环境的影响，很难用理论严格计算给出。工程中均采用近似计算或者用实验方法测量。

- 天线输入阻抗可以借助于矢量网络分析仪来测量

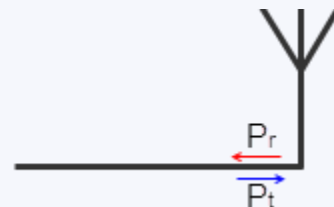


天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ **电压驻波比、回波损耗**
- ❖ 方向图
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ 极化方式
- ❖ 隔离度
- ❖ TRP、TIS、SAR

3. 回波损耗和驻波比

❖ 从电路的角度来看，天线相当于连接在传输线一端的负载。其和电路的匹配程度可以用回波损耗或电压驻波比表示

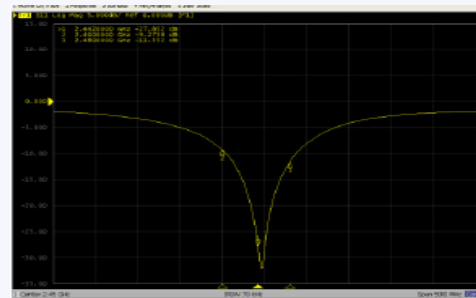
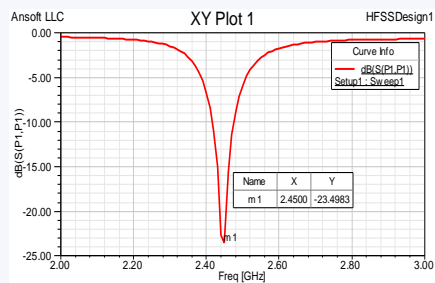


❖ 反射系数

- 定义为输入电压和反射电压的比值， $\rho = V_r/V_t = \sqrt{P_r/P_t}$ ， $\rho = |S_{11}|$

❖ 回波损耗 (Return Loss)

- 定义为入射功率和反射功率比较，用dB表示， $RL = 10\lg(P_t/P_r)$
- $RL = -20\lg(\rho) = -20\lg(|S_{11}|)$
- 仿真分析或者矢网测试回波损耗时，为了方便，通常给出的是 $20\lg(|S_{11}|)$ 的值



3. 回波损耗和驻波比 (cont.)

❖ 电压驻波比 (VSWR)

- 电压驻波比 (VSWR) 也简称为驻波比 (SWR)，定义为天线输入端口处电压最大值(波腹电压)和电压最小值 (波节电压) 的比值
- $SWR = (1 + \rho) / (1 - \rho)$
- 其值在1到无穷大之间；驻波比为1，表示完全匹配；驻波比为无穷大表示全反射，完全失配

❖ S_{11} 、反射系数、电压驻波比、回波损耗之间的关系

- $\rho = |S_{11}|$
- $RL = -20 \lg(\rho) = -20 \lg(|S_{11}|)$
- $SWR = (1 + \rho) / (1 - \rho)$
- $\rho = (SWR - 1) / (SWR + 1)$

VSWR	反射系数	回波损耗	反射功率
1	0	$+\infty$	0
1.5	0.20	14.0	4.0%
2	0.33	9.5	11.1%
3	0.50	6	25.0%
5	0.67	3.5	44.9%

❖ 手机天线设计要求

- 工作频段内 $VSWR < 3$ ， $RL > 6\text{dB}$

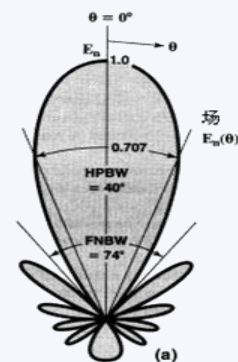
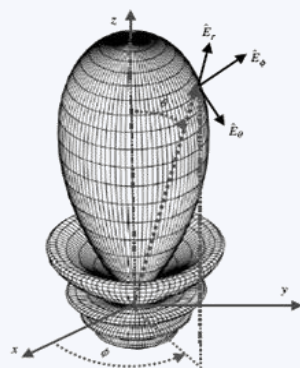
天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ **方向图**
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ 极化方式
- ❖ 隔离度
- ❖ TRP、TIS、SAR

4. 天线方向图

❖ 天线方向图是用于表征天线辐射性能的参数图形

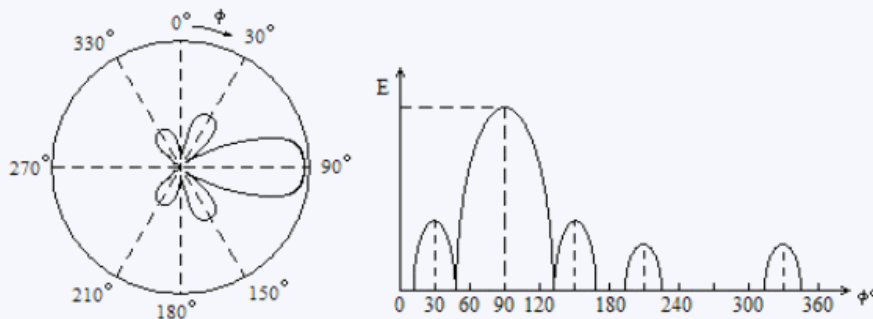
- 完整的方向图是一个三维空间图形，习惯上采用极坐标绘制，以天线相位中心为球心（坐标原点），角度表示方向，矢径长度表示测量的辐射特性(如：场强、增益等)的大小。
- 测量场强幅度，就得到场强方向图；测量功率，就得到功率方向图；测量极化，就得到极化方向图；测量相位，就得到相位方向图。
- 三维空间方向图的测绘十分麻烦，实际工作中，一般只需测得水平面和垂直面（即XY平面和XZ平面）的二维平面方向图就行了



4. 天线方向图 (cont.)

❖ 方向图的绘制

- 天线方向图可以用极坐标绘制，也可以用直角坐标绘制
- 习惯上采用极坐标绘制，其特点是直观、简单，从方向图可以直接看出天线辐射场强的空间分布特性
- 但当天线方向图的主瓣窄、副瓣电平低时，采用直角坐标绘制能清晰地给出主瓣和副瓣电平值



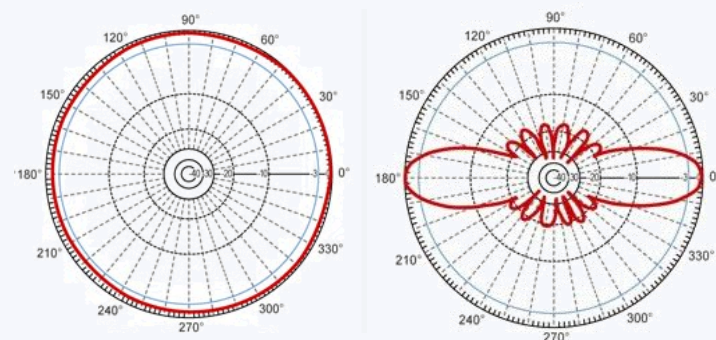
天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ 方向图
- ❖ **方向性系数、效率、增益**
- ❖ 极化方式
- ❖ 隔离度
- ❖ TRP、TIS、SAR

5. 方向性系数、效率和增益

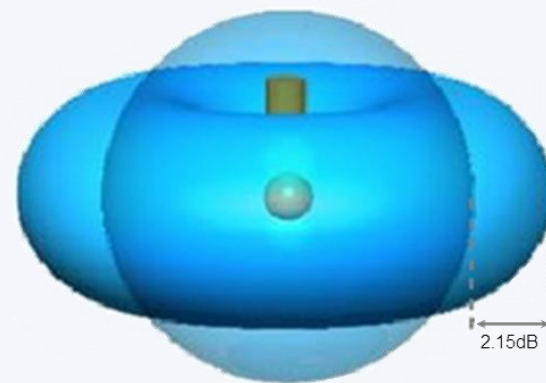
❖ 全向天线和定向天线

- 全向天线
 - 在方向图上表现为360°均匀辐射，也就是平常所说的无方向性
 - 各方向均匀辐射的理想点源天线可以看做是理想的全向天线
- 定向天线
 - 在方向图上表现为各个方向辐射强度不同，也就是平常所说的有方向性



❖ 方向性系数

- 指在总辐射功率相同的情况下，天线在某一辐射方向上的辐射功率密度与理想全向天线在该方向的辐射功率密度的比值
- 通常所说的方向性系数，指的都是最大辐射方向的方向性系数，用D表示。



全向天线和半波偶极子天线方向图

5. 方向性系数、效率和增益 (cont.)

❖ 天线效率

- 由于天线系统中存在导体损耗、介质损耗等，所以实际辐射到空间的电磁波功率要比发射机输送到天线的功率小。天线效率就是表征天线将输入高频能量转换为无线电波能量的有效程度，定义为天线辐射功率和输入功率的比值。

❖ 天线增益

- 天线是无源器件，不产生能量，天线增益只是将能量有效集中向特定方向辐射电磁波的能力
- 定义为在相同输入功率、相同距离条件下，天线在最大辐射方向上的功率密度与全向天线在该方向上的辐射功率密度的比值
- $G = \eta \times D$

❖ dB、dBi、dBd

- 天线增益和方向性系数常用dB、dBi、dBd表示
- dB和dBi单位参数标准是全向天线，dBd参考标准是半波偶极子天线
- $dBi = dB = 2.15 + dBd$

天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ 方向图
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ **极化方式**
- ❖ 隔离度
- ❖ TRP、TIS、SAR

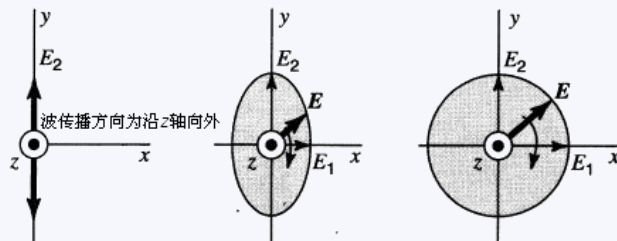
6. 天线的极化方式

❖ 极化方式

- 所谓天线的极化，就是指天线辐射出的电磁波中的电场方向。根据时变电场矢量端点运动轨迹的形状、取向和旋转方向，讲天线极化方式分为线极化、椭圆极化和圆极化
- 对于线极化，当电场方向垂直于地面时，称为垂直极化当电场方向平行于地面时，称为水平极化
- 水平极化传播的信号在贴近地面时会在地表产生极化电流，导致电场信号迅速衰减，而垂直极化方式则不易产生极化电流，保证信号的有效传播。所以手机天线都采用垂直极化

❖ 轴比 (Axial Ratio)

- 表征天线极化的性能指标，定义为极化椭圆的长轴和短轴的比值
- 对于线极化波，轴比为无穷大；对于圆极化波，轴比等于1



❖ 极化损失

- 垂直极化波要用具有垂直极化特性的天线来接收，水平极化波要用具有水平极化特性的天线来接收。右旋圆极化波要用具有右旋圆极化特性的天线来接收，而左旋圆极化波要用具有左旋圆极化特性的天线来接收。当来波的极化方向与接收天线的极化方向不一致时，发生极化损失。例如：用线极化天线接收圆极化波，只能接收到来波的一半能量。

天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ 方向图
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ 极化方式
- ❖ **隔离度**
- ❖ TRP、TIS、SAR

7. 隔离度

- ❖ 现在手机需要集成多个天线：GPS天线、WIFI/BT天线、多频段手机天线、分集接收天线（LTE手机/CDMA手机），多个天线放在一个有限的手机结构内，需要考虑天线之间的相互耦合，常用隔离度来表征这种耦合的强弱
- ❖ 天线隔离度
 - 定义为一个天线发射的信号功率与另一个天线接收到的信号功率的比值，单位为dB，即，
 - $L=10\lg(P_t/P_r)$ ， P_t 表示发射天线发射的信号功率， P_r 表示接收天线接收到的信号功率
 - 工程上可以使用S参数来表示多天线之间的隔离度，比如有2个天线，那么可以用 $-20\lg(|S_{21}|)$ 表示这两个天线之间的隔离度
 - 天线的隔离度越大，天线之间的相互影响越小

天线的基本性能参数

- ❖ 工作频率和带宽
- ❖ 输入阻抗
- ❖ 电压驻波比、回波损耗
- ❖ 方向图
- ❖ 方向性系数，效率，增益，
- ❖ 极化方式
- ❖ 隔离度
- ❖ **TRP、TIS、SAR**

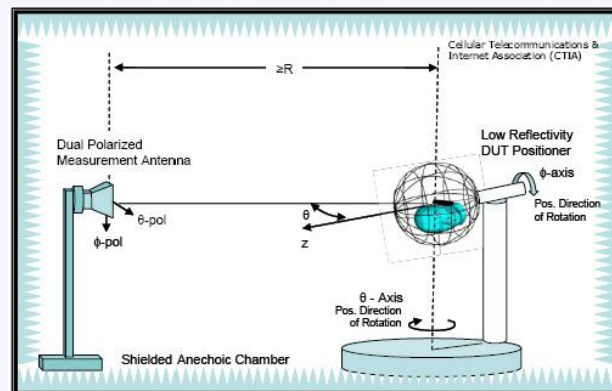
8. TRP、TIS

❖ OTA测试

- 手机天线测试包含无源测试和有源测试两种，无源测试就是测量驻波比、回波损耗、方向图、效率等参数；有源测试是模拟实际通话过程中测量天线的性能，具体是使用综测仪和手机保持通信连接，测量手机发射功率和灵敏度
- 有源测试即常说的OTA测试，OTA——Over The Air

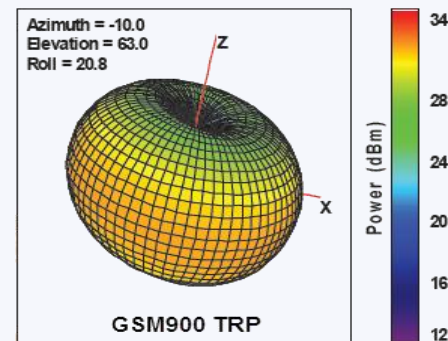
❖ TRP——Total Radiated Power，全向辐射功率

- 通过对整个辐射球面的发射功率进行面积分取平均得到
- 反映手机在3维空间实际工作状态下的发射功率性能
- 跟手机在导情况下的发射功率和天线辐射性能有关



❖ TIS——Total Isotropic Sensitivity，全向接收灵敏度

- 通过对整个辐射球面的发射灵敏度进行面积分取平均得到
- 反映手机在3维空间实际工作状态下的接收灵敏度性能
- 跟手机的传导灵敏度、手机内部高频干扰以及天线的辐射性能有关



8. SAR

❖ SAR —— Specific Absorption Rate, 比吸收率

- 定义为单位质量的人体组织所吸收或消耗的电磁功率，单位为W/kg
- 美国标准为1.6 W/kg，欧洲标准为2.0 W/kg

❖ 国内要求

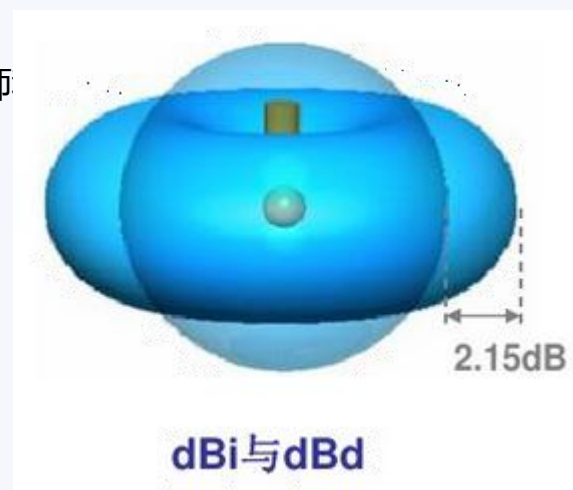
- GB 21288-2007移动电话电磁辐射局部暴露限值
- 行业标准：YD/T 1644.1——《手持和身体佩戴使用的无线通信设备对人体的电磁照射——人体模型、仪器和规程第1部分：靠近耳边使用的手持式无线通信设备SAR评估规程（频率范围300MHz-3GHz）》
- 该标准是目前电磁辐射（SAR）进网检测的方法标准
- 标准明确规定暴露限值：任意10克生物组织、任意连续6min平均比吸收率（SAR）值不得超过2.0W/kg



- ❖ 本讲主要讲解了天线的基本工作原理和表征天线的主要性能参数两个方面内容
- ❖ 天线基本原理
 - 什么是天线，天线的基本工作原理
- ❖ 天线的主要性能参数
 - 天线通用性能参数
 - 工作频率和带宽，输入阻抗，电压驻波比和回波损耗，
 - 天线辐射方向图，方向性系数，效率和增益
 - 极化方式
 - 多天线设计考量
 - 隔离度
 - 手机天线设计特别考量的参数
 - TRP、TIS、SAR

3. 天线方向图

- ❖ 人人都能看懂手机电路图设计（初级篇）——实战培训课程
- ❖ 人人都能看懂手机电路图设计（高级篇）——实战培训课程
 - 无论是有志于从事手机设计研发的手机硬件工程师、手机射频工程师
有志于自己创业的手机维修工程师，看懂手机原理图是第一步



天线是无源器件，不产生能量；天线增益只是将能量有效集中向特定方向辐射电磁波的能力

WCDMA手机工作频段

❖ WCDMA移动终端空中接口规范

- 3GPP TS 25.101: User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)

❖ WCDMA手机工作频段

- WCDMA全部频段列表
- WCDMA常用频段：
 - WCDMA2100/1900/850/900
即Band I, II, V, VIII,
- 国内中国联通的3G网络是使用WCDMA，其分配的频率资源为：
 - 上行 — 1940MHz ~ 1955MHz
 - 下行 — 2130MHz ~ 2145MHz

Band	UL Frequencies UE transmit, Node B receive	DL frequencies UE receive, Node B transmit
I	1920 - 1980 MHz	2110 -2170 MHz
II	1850 -1910 MHz	1930 -1990 MHz
III	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz
IV	1710-1755 MHz	2110-2155 MHz
V	824 - 849 MHz	869-894 MHz
VI	830-840 MHz	875-885 MHz
VII	2500-2570 MHz	2620-2690 MHz
VIII	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz
IX	1749.9-1784.9 MHz	1844.9-1879.9 MHz
X	1710-1770 MHz	2110-2170 MHz
XI	1427.9 - 1447.9 MHz	1475.9 - 1495.9 MHz
XII	699 – 716 MHz	729 – 746 MHz
XIII	777 - 787 MHz	746 - 756 MHz
XIV	788 – 798 MHz	758 – 768 MHz
XIX	830 – 845MHz	875 – 890 MHz
XX	832 – 862 MHz	791 – 821 MHz
XXI	1447.9 – 1462.9 MHz	1495.9 – 1510.9 MHz
XXII	3410 – 3490 MHz	3510 – 3590 MHz
XXV	1850 – 1915 MHz	1930 – 1995 MHz

LTE手机工作频段 (cont.)

❖ LTE FDD 频段列表:

E-UTRA Band	UE Uplink(MHz)	UE Downlink(MHz)	DuplexMode
1	1920 - 1980	2110 - 2170	FDD
2	1850 - 1910	1930 - 1990	FDD
3	1710 - 1785	1805 - 1880	FDD
4	1710 - 1755	2110 - 2155	FDD
5	824 - 849	869 - 894	FDD
6	830 - 840	875 - 885	FDD
7	2500 - 2570	2620 - 2690	FDD
8	880 - 915	925 - 960	FDD
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	FDD
10	1710 - 1770	2110 - 2170	FDD
11	1427.9 - 1447.9	1475.9 - 1495.9	FDD
12	699 - 716	729 - 746	FDD
13	777 - 787	746 - 756	FDD
14	788 - 798	758 - 768	FDD
15	1900 - 1920	2600 - 2620	FDD

E-UTRA Band	UE Uplink(MHz)	UE Downlink(MHz)	DuplexMode
16	2010 - 2025	2585 - 2600	FDD
17	704 - 716	734 - 746	FDD
18	815 - 830	860 - 875	FDD
19	830 - 845	875 - 890	FDD
20	832 - 862	791 - 821	FDD
21	1447.9 - 1462.9	1495.9 - 1510.9	FDD
22	3410 - 3490	3510 - 3590	FDD
23	2000 - 2020	2180 - 2200	FDD
24	1626.5 - 1660.5	1525 - 1559	FDD
25	1850 - 1915	1930 - 1995	FDD
26	814 - 849	859 - 894	FDD
27	807 - 824	852 - 869	FDD
28	703 - 748	758 - 803	FDD
29	n/a	716 - 728	FDD
30	2305 - 2315	2350 - 2360	FDD
31	452.5 - 457.5	462.5 - 467.5	FDD

LTE手机工作频段 (cont.)

❖ LTE TDD 频段列表

E-UTRA Band	UE Uplink & Downlink(MHz)	DuplexMode
33	1900 - 1920	TDD
34	2010 - 2025	TDD
35	1850 - 1910	TDD
36	1930 - 1990	TDD
37	1910 - 1930	TDD
38	2570 - 2620	TDD
39	1880 - 1920	TDD
40	2300 - 2400	TDD
41	2496 - 2690	TDD
42	3400 - 3600	TDD
43	3600 - 3800	TDD
44	703 - 803	TDD

❖ LTE FDD手机常用的工作频段

频段	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
简称	2100	1900	1800	1700	850	800	2600
频段	B8	B12	B13	B17	B20	B28	
简称	900	700	700	700	800	700	

❖ 国内运行商LTE手机工作频段

- 中国移动
 - TDD-LTE B38 (2575-2635 MHz)
 - TDD-LTE B39 (1880 -1900 MHz)
 - TDD-LTE B40 (2320-2370 MHz)
- 中国联通
 - FDD-LTE B3 (上行:1755 -1765 MHz, 下行:1850~1860MHz)
 - TDD-LTE B40 (2300-2320 MHz)
 - TDD-LTE B41 (2555-2575 MHz)
- 中国电信
 - FDD-LTE B3 (上行:1765 -1780 MHz, 下行:1860~1875MHz)
 - TDD-LTE B40 (2370-2390 MHz)
 - TDD-LTE B41 (2635-2655 MHz)

■■■■ 手机天线设计培训课程

易迪拓培训，李明洋主讲

约6GB容量高清视频课程，总课时长达13小时

易迪拓培训联合微波EDA网历时半年倾力制作出品，是国内最全面、系统、专业讲授手机天线设计的培训课程，没有之一。全面介绍了当前各种类型手机天线的设计，包括早期的外置螺旋手机天线设计，最常用的手机内置天线如monopole天线、PIFA天线、Loop天线和FICA天线的设计，以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计。对于计划从事手机天线设计的工程师，或者已经进入手机天线设计行业，打算深入了解各种类型手机天线的工作原理，进一步提高天线设计能力的工程师，该门课程无疑是您最佳的选择。。

视频课程，可以直接在本机播放，学习时间和地点自由掌控，学习更方便！

学习中遇到不懂的问题，可以联系我们的专家帮您答疑解惑，学习更轻松！

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/132.html>

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习!...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>



CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>