



天线与电波传播

郭璐

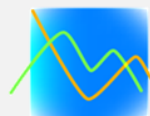
南京理工大学，电光学院通信工程系

2023年春季学期

办公室: 电光院A342

Email: lu.guo@njust.edu.cn



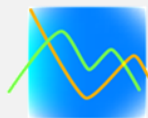


5.2 微带天线

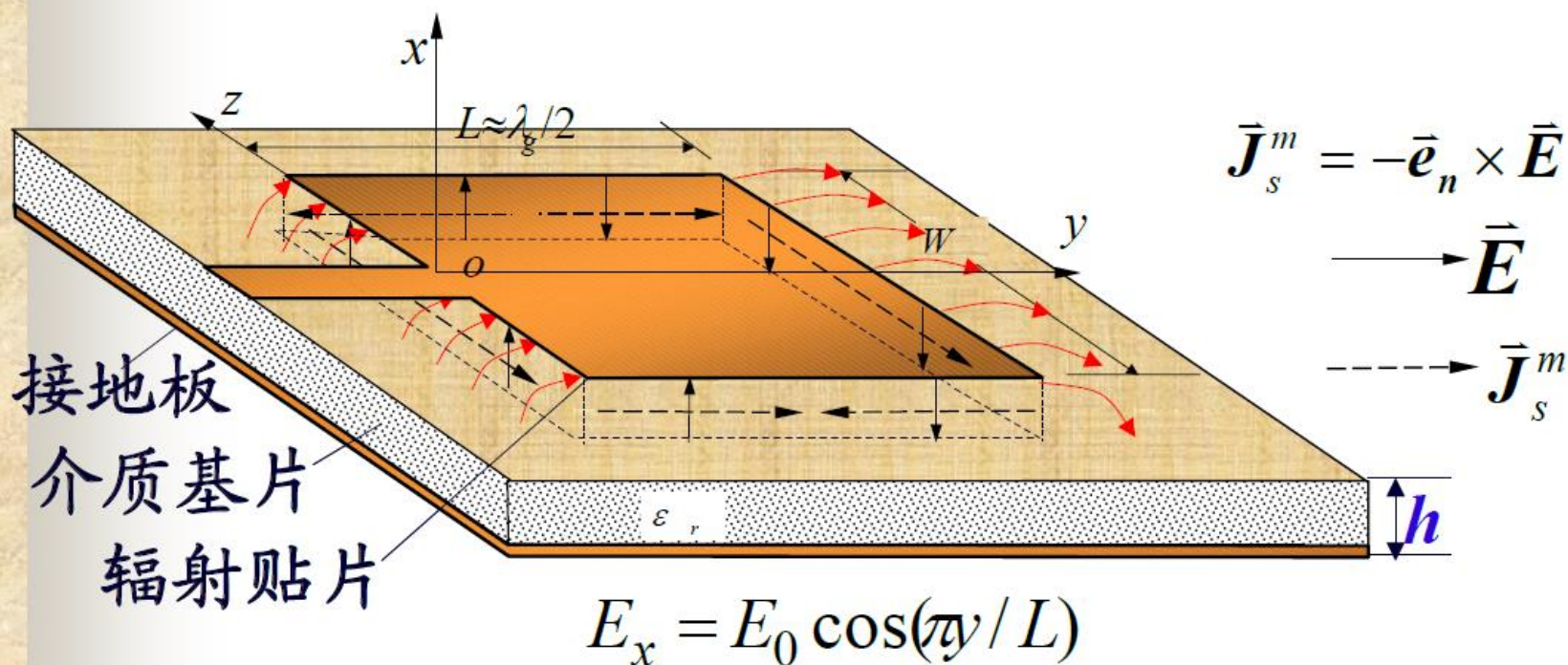
- 剖面薄，体积小，重量轻，能简便地置于仪器面板上，能与导弹等载体共形；
- 造价低，易于批量生产，可方便地与馈电网络和器件集成成块，与微电子技术紧密结合；
- 能得到单方向的宽瓣方向图，最大辐射方向在平面的法线方向；
- 易于实现线极化和圆极化，双频段、双极化等；
- 应用于卫星通信、雷达、遥感、导弹、遥测遥控、环境监测、生物医学、便携式无线电设备等；
- 100MHz ~ 100GHz。

缺点：➤功率容量不高；

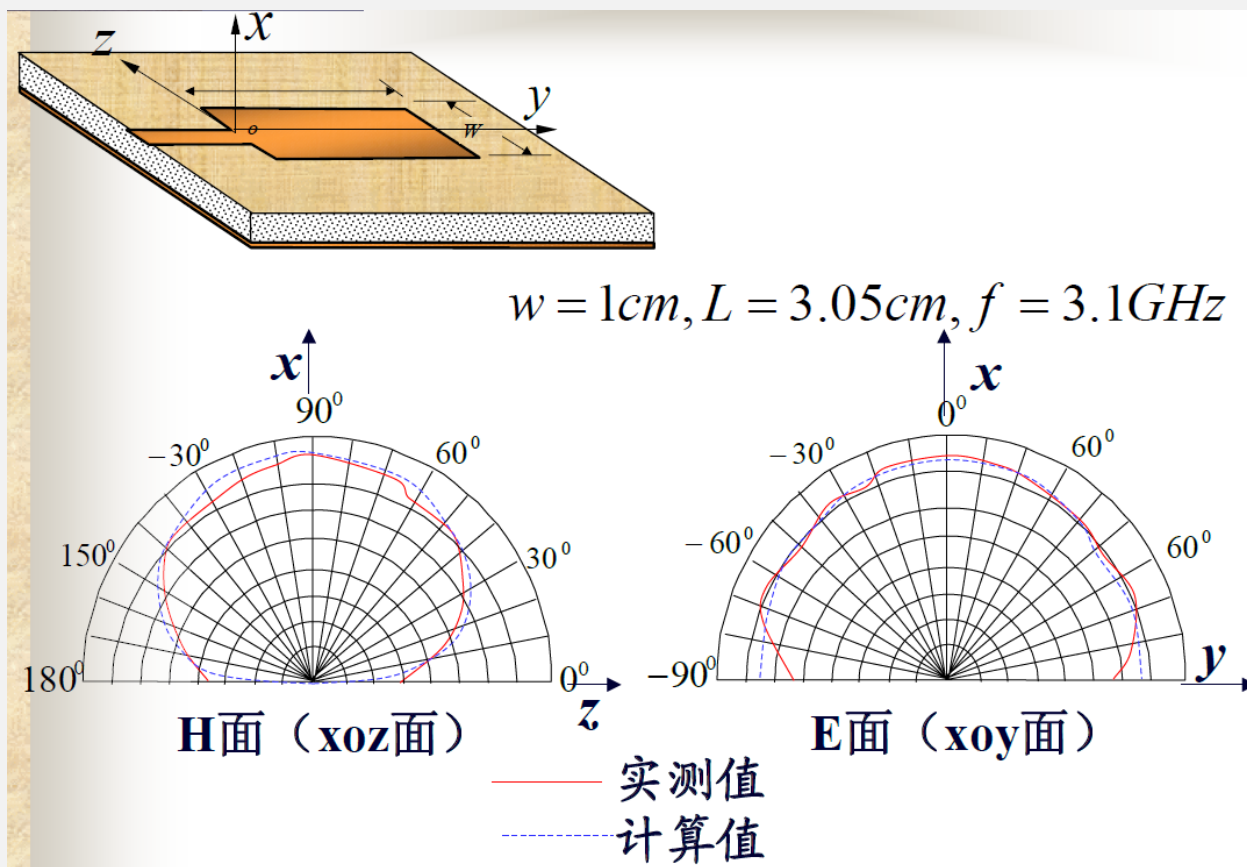
- 增益较低，由于介质损耗，通常增益4 ~ 8dB；
- 频带较窄。



5.2.1 矩形微带天线



通过贴片四周与接地板间的**缝隙**向外辐射

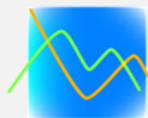


H 面($\varphi=0^\circ$, xOz 面):

$$F_H(\theta) = \left| \frac{\sin\left(\frac{1}{2}kW \cos\theta\right)}{\frac{1}{2}kW \cos\theta} \sin\theta \right|$$

E 面($\theta=90^\circ$, xOy 面):

$$F_E(\varphi) = \left| \cos\left(\frac{1}{2}kL \sin\varphi\right) \right|$$



矩形微带元的设计:

1. 选择基片

选择原则:

共形微带要求柔软的基片;

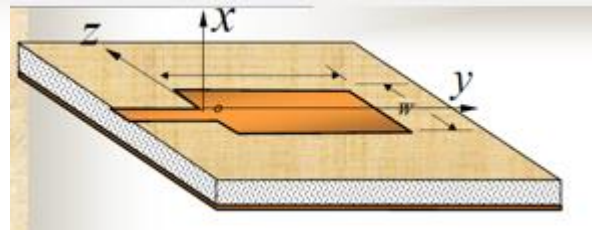
低频微带要求高 ϵ 基片, 以减小尺寸;

低损耗、抗冲击、结构强度、可粘合性等

材料: 聚四氟乙烯、聚苯乙烯、陶瓷等

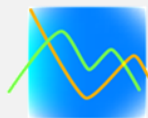


2. 单元宽度W

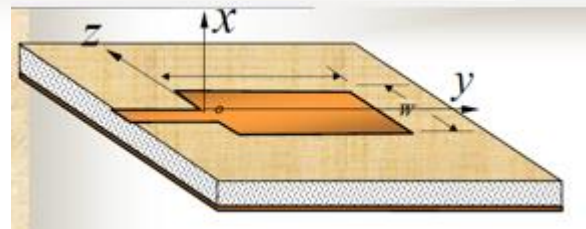


$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2}$$

小于该宽度，辐射效率降低；
大于该宽度，虽然辐射效率较高，
但产生高次模，
引起场畸变。



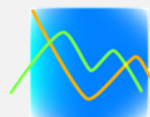
3. 单元长度L



$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L$$

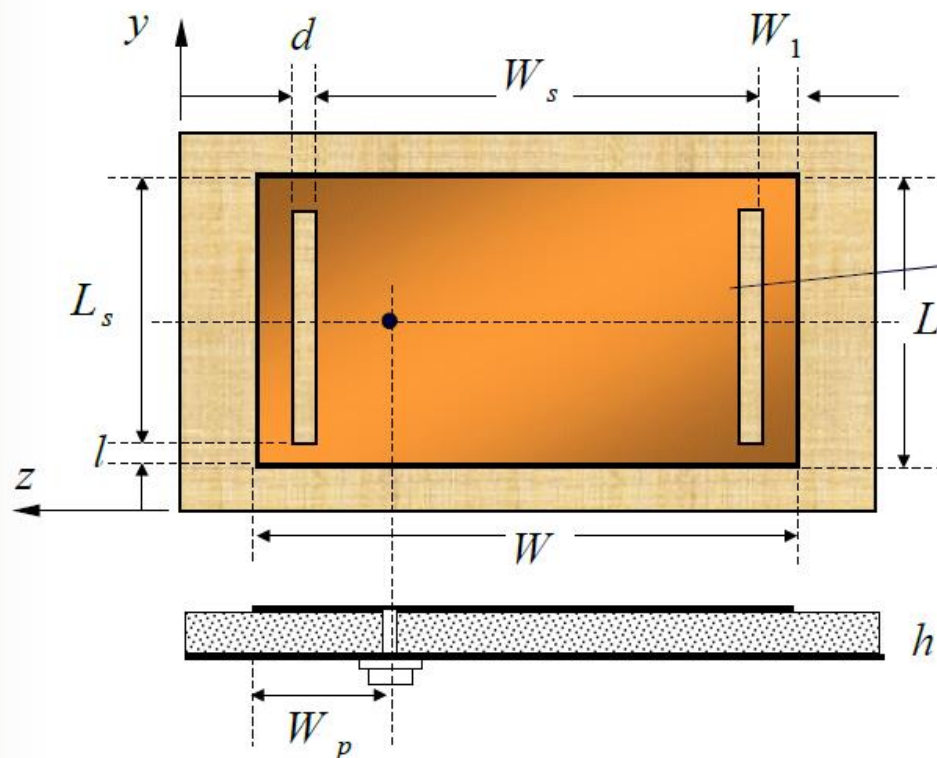
$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)}$$

$$\epsilon_e = \frac{1 + \epsilon_r}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$$



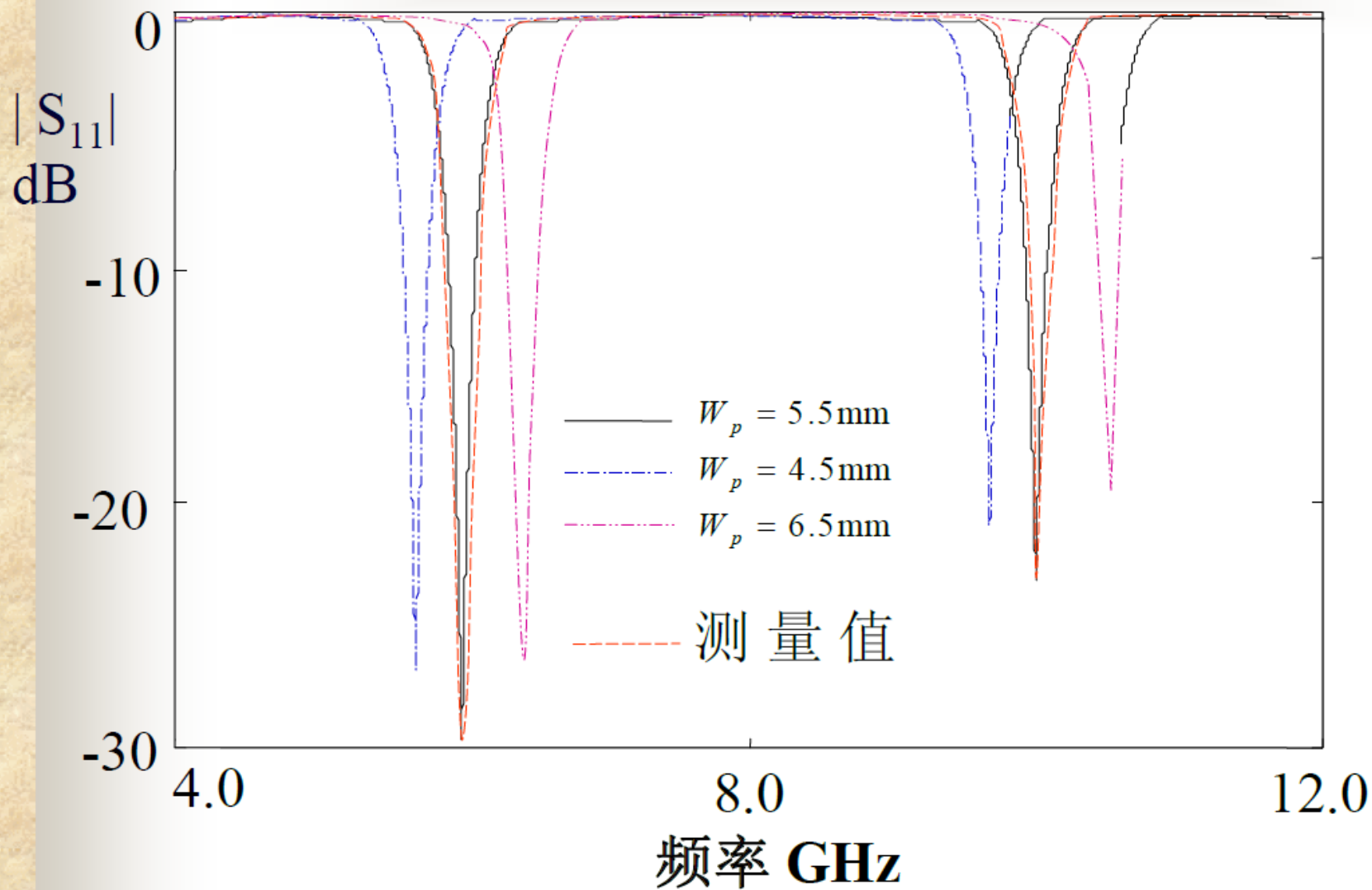
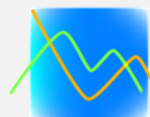
5.2.2 双频微带天线

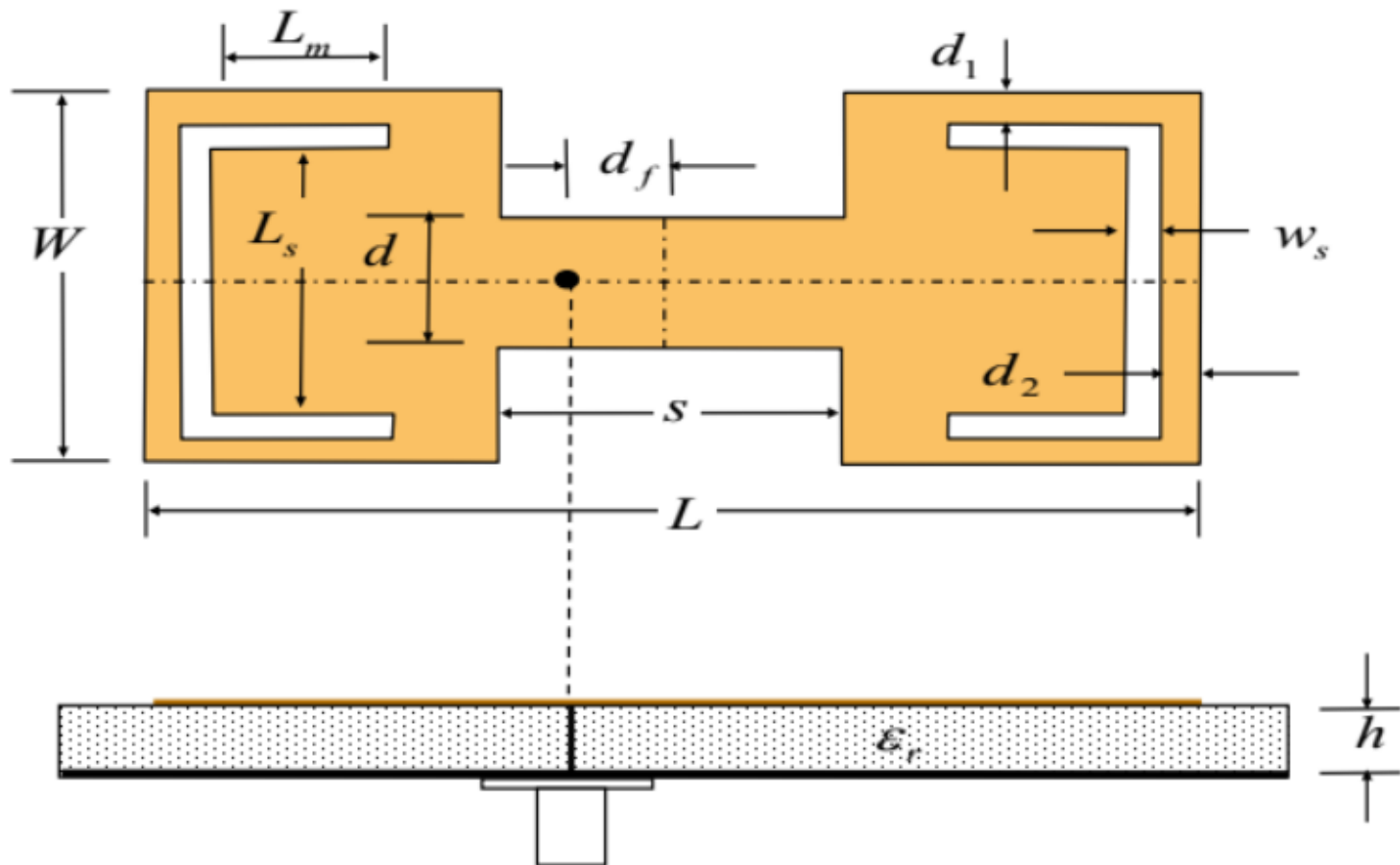
利用不同模式
同时工作



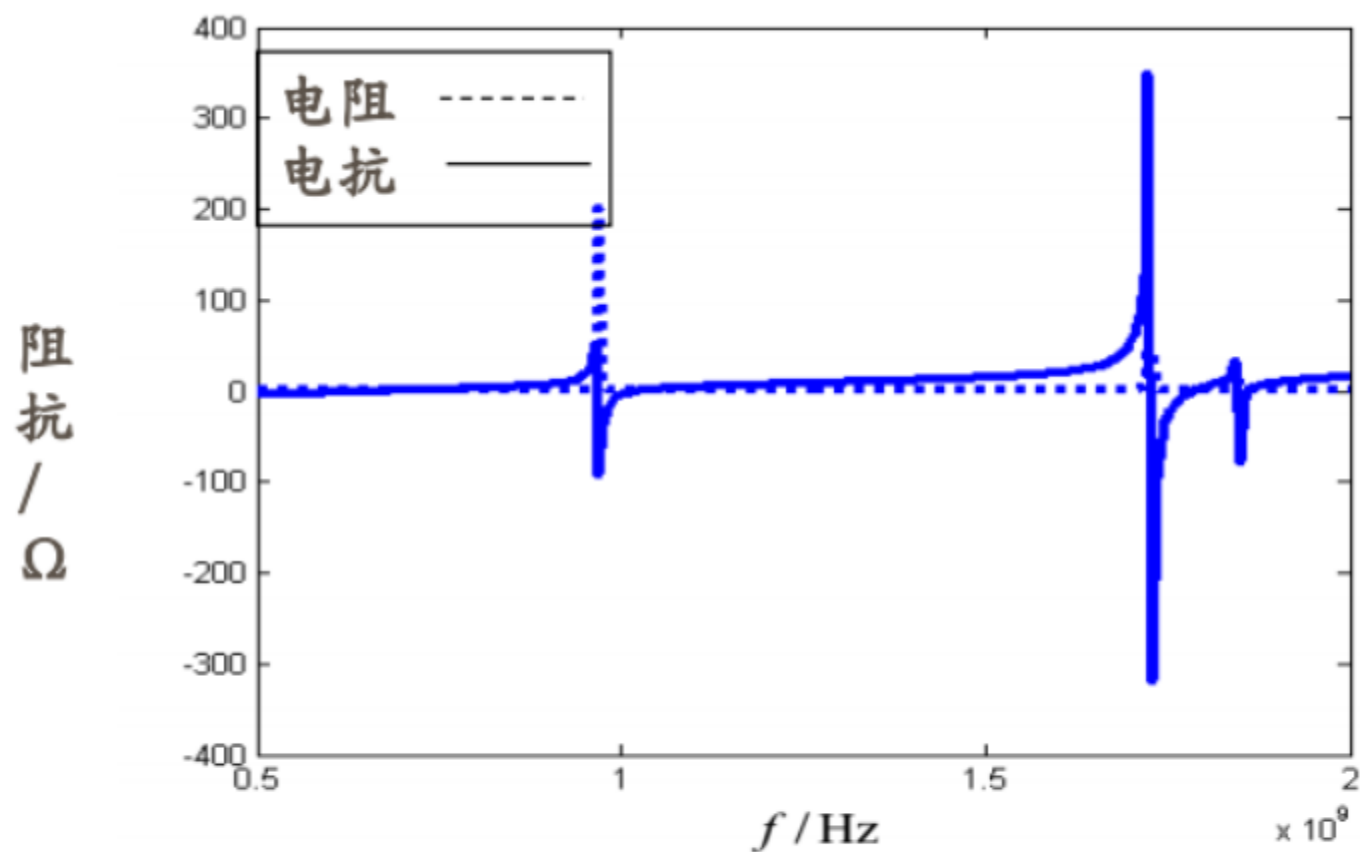
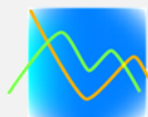
在贴片上开缝，
改变高次模谐
振频率

在矩形贴片非辐射边开两条长度相等的缝隙，在离贴片中心适当距离处馈电，能得到较好的匹配

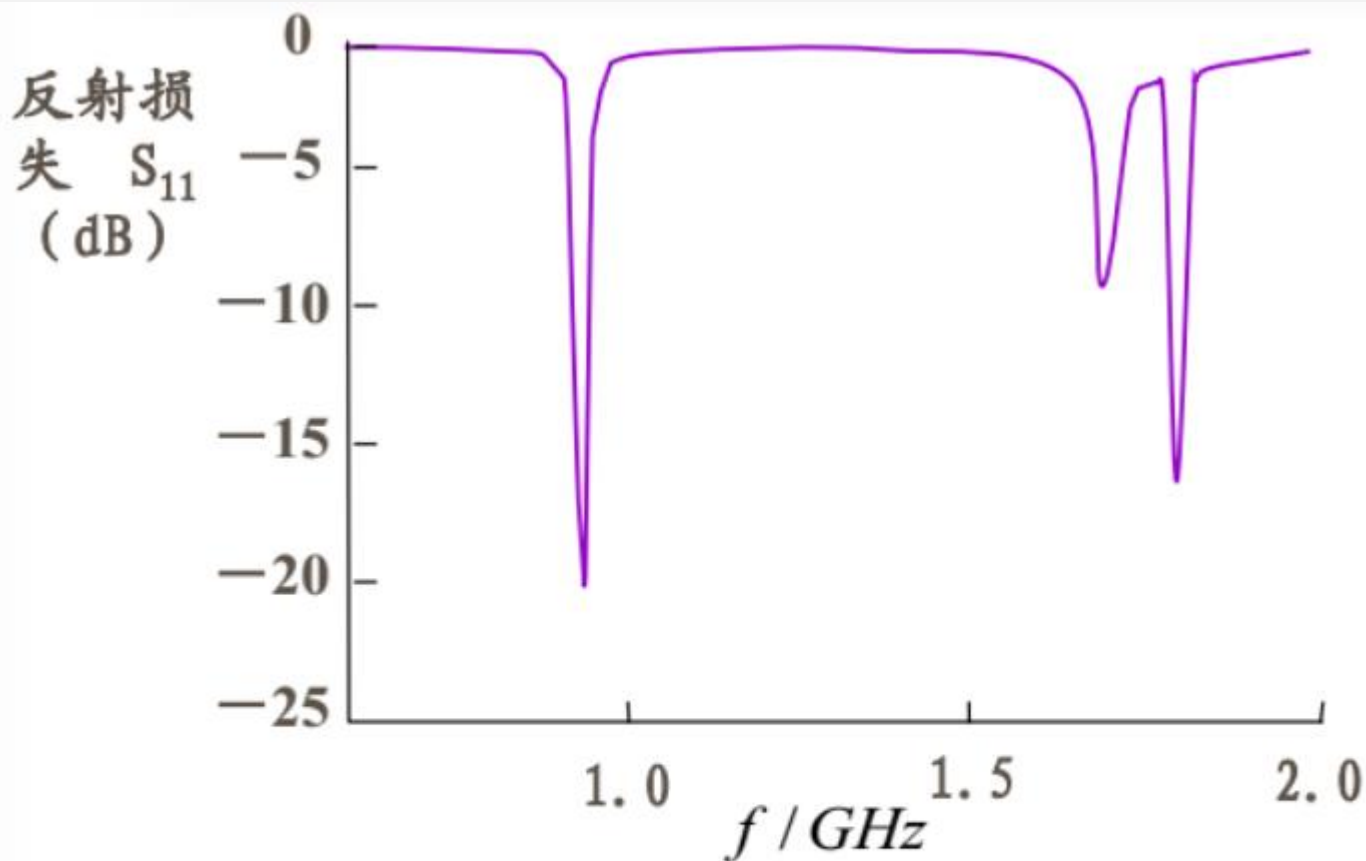
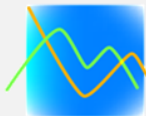




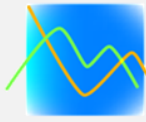
缝隙加载H形双频微带天线



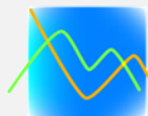
缝隙加载H形双频微带天线的输入阻抗随频率的关系



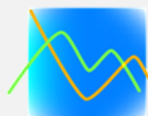
缝隙加载H形双频微带天线的
输入端反射损失随频率的关系



第6章 手机天线



伴随着移动通信业的高速发展，手机普及率越来越高，手机作为一种沟通工具已经进入了千家万户，成为人们日常生活中不可缺少的一部分。人们也越来越注重手机的通话质量以及手机辐射可能对人体造成的伤害，而天线恰是影响这两个方面的重要因素。由于市场竞争的激烈和人们对手机的性能以及外观的要求，手机趋于向小型化、重量轻以及多功能方向发展，这就使得天线的设计从一个次要的地位上升成为手机设计的重要组成部分。



■手机天线设计的核心问题就是使天线满足更为苛刻的技术要求，并且超越原有天线型式，满足新的系统要求。在许多系统中，要求优化的参数是小尺寸、宽带、坚固性、易于操作以及降低加工成本。合适的天线将提高手机整体性能，减小功率损耗，持久耐用并且能具有更强的市场竞争力。

手机天线设计必须考虑以下的电性能：

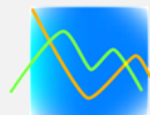
输入端的匹配

带宽增益和波束宽度

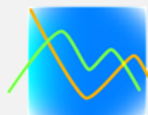
工作频率

分集手机辐射

对人体的安全性



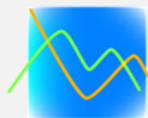
手机辐射对人体的安全性也是一个重要指标。SAR (Specific Absorption Rate, 即电磁波能量吸收比值) 是人体组织单位质量、单位时间吸收的电磁辐射能量, 单位为瓦/千克 (W/kg), 美国、欧洲均采用SAR值作为度量手机辐射的标准, 国际电联、国际卫生组织等国际组织也推荐采用SAR值, 我国正在制定的电磁辐射防护标准, 也将采用SAR值。目前通用的安全标准为美国国家标准学会 (ANSI) 标准C95.1—1982 [66] 所制定的射频对人体照射的安全规则。该标准推荐, 对30MHz—15GHz频区, 对在非控制照射条件下的人员, 非控制照射极限为: SAR限量峰值为 1.6W/kg , 人体全身平均为 0.08W/kg , 平均时间: 30min。



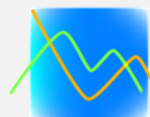
6.2.2 外置式天线

早期受制造工艺的影响手机只能采用外置天线，这种天线的优点是频带范围宽、接收信号比较稳定、制造简单费用相对低；缺点是天线暴露于机体外易于损坏、天线靠近人体时导致性能变坏、不易加诸如反射层和保护层等来减小天线对人体的辐射伤害；接收和发送必须使用不同的匹配电路等。尽管有为了手机外壳的简约美观而去掉外置式天线的趋势，但是相对于内置天线增益较低，在基站信号较弱的地方容易断话的缺点，手机外置式天线在手机业中仍占有一席之地，研究并做好、做小手机外置式天线仍是市场的需求。

最常见的手机外置式天线有单极式和螺旋天线。



PEC representation of the
modified antenna design



如图 6-2-5 所示,手机外置天线常用的还有法向模螺旋天线。该天线的方向图、极化特性类似于单极天线,但是由于其输入阻抗对频率很敏感,因而具有窄带特性。由于鞭状螺旋天线的分布加感效应,其应用长度要比 $\lambda/4$ 的单极天线短,因此短长度、低剖面的法向模螺旋天线及其变体仍然受到手机生产厂家的青睐。

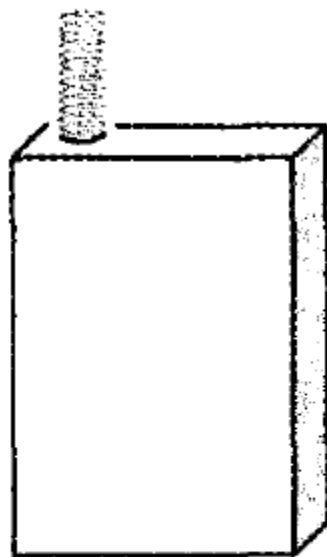
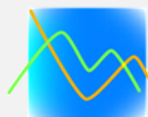
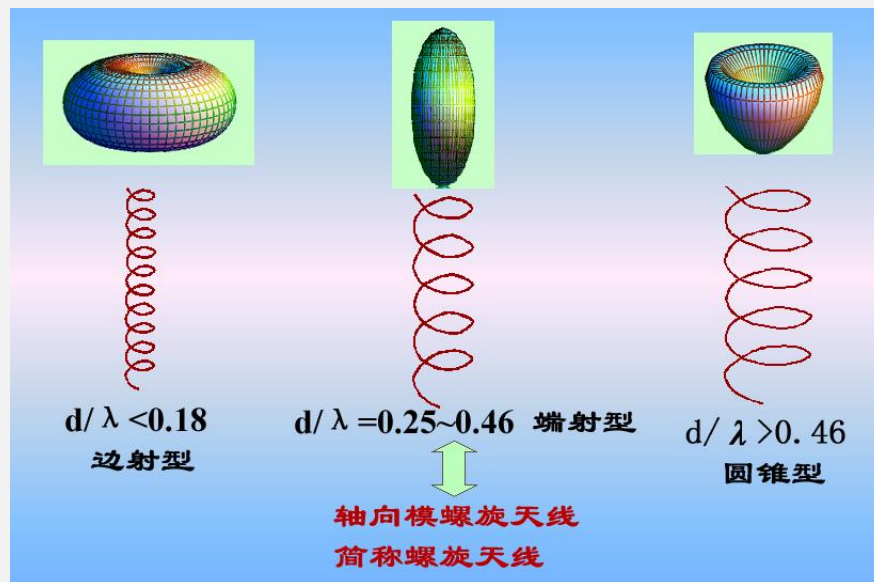


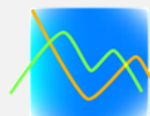
图 6-2-5 法向模螺旋天线
手机示意图



螺旋天线的辐射特性与螺旋的直径有密切关系：

- ① 当 $d/\lambda < 0.18$ 时，天线的最大辐射方向在与螺旋轴线垂直的平面内，称为法向模式，此时天线称为**法向模式天线**；
- ② 当 $d/\lambda \approx 0.25 \sim 0.46$ 时，即螺旋天线一圈的长度 c 在一个波长左右的时候，天线的辐射方向在天线的轴线方向，此时天线称为**轴向模式天线**。
- ③ 当 $d/\lambda > 0.46$ 时，天线的最大辐射方向偏离轴线分裂成两个方向，方向图呈**圆锥形状**。

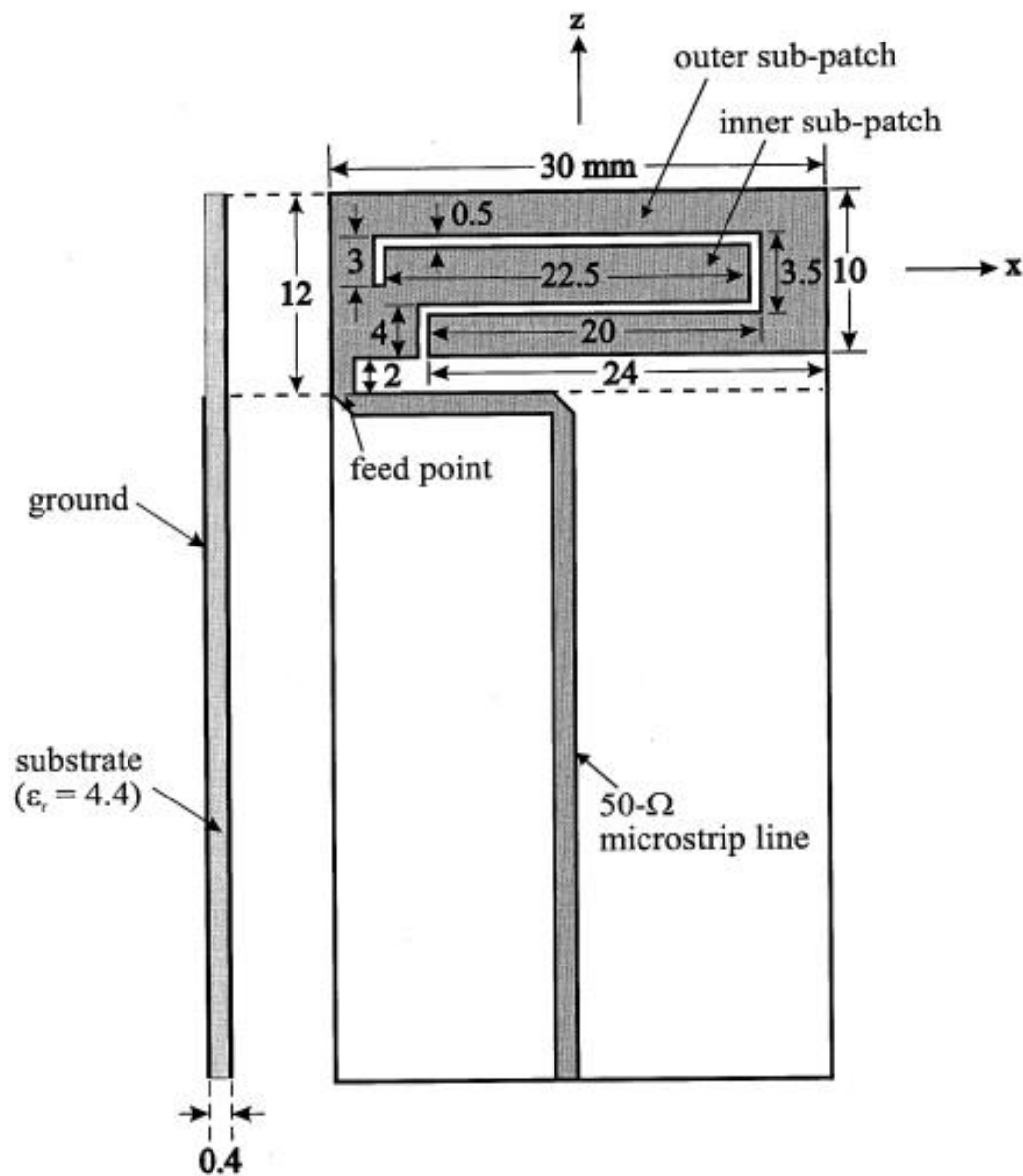
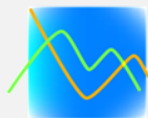


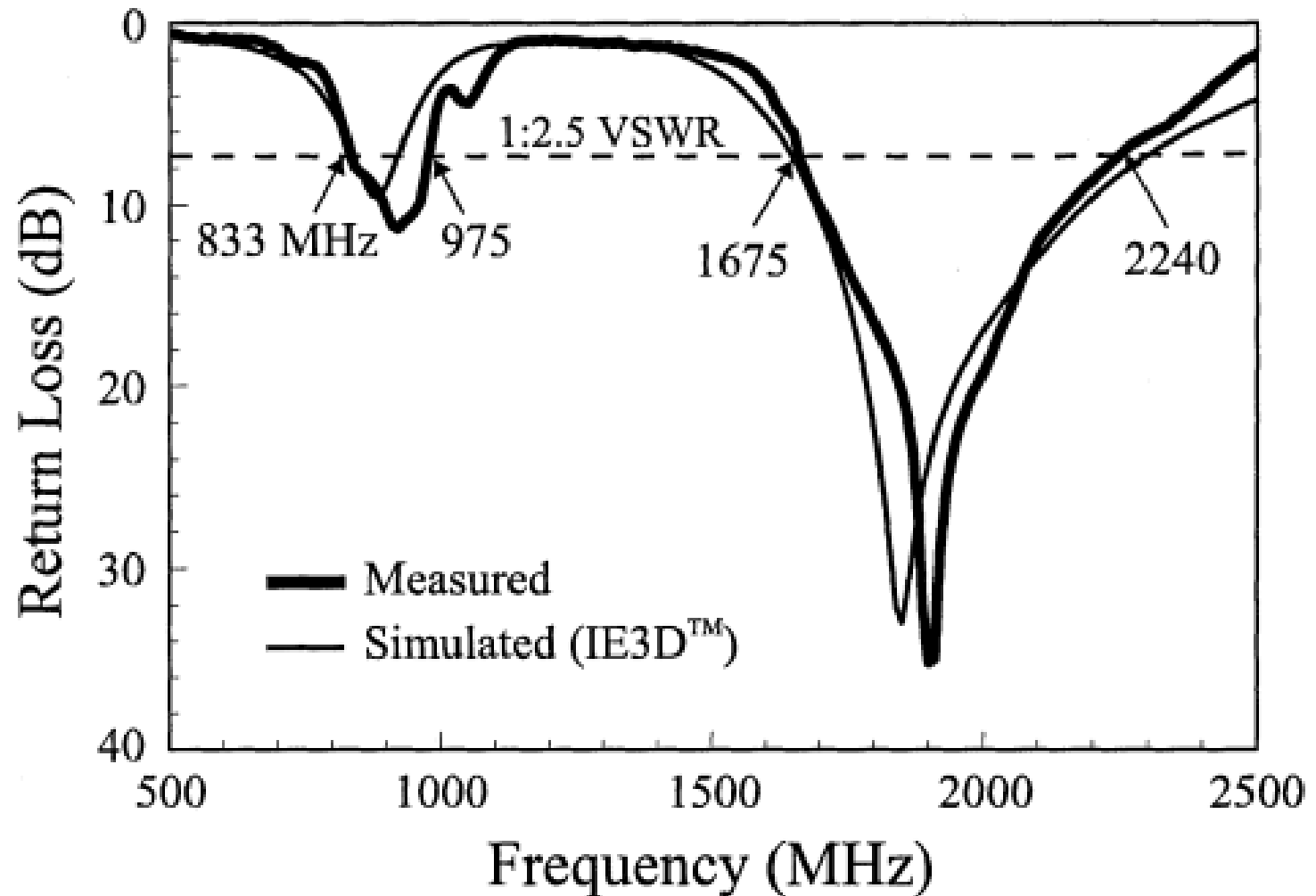
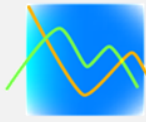


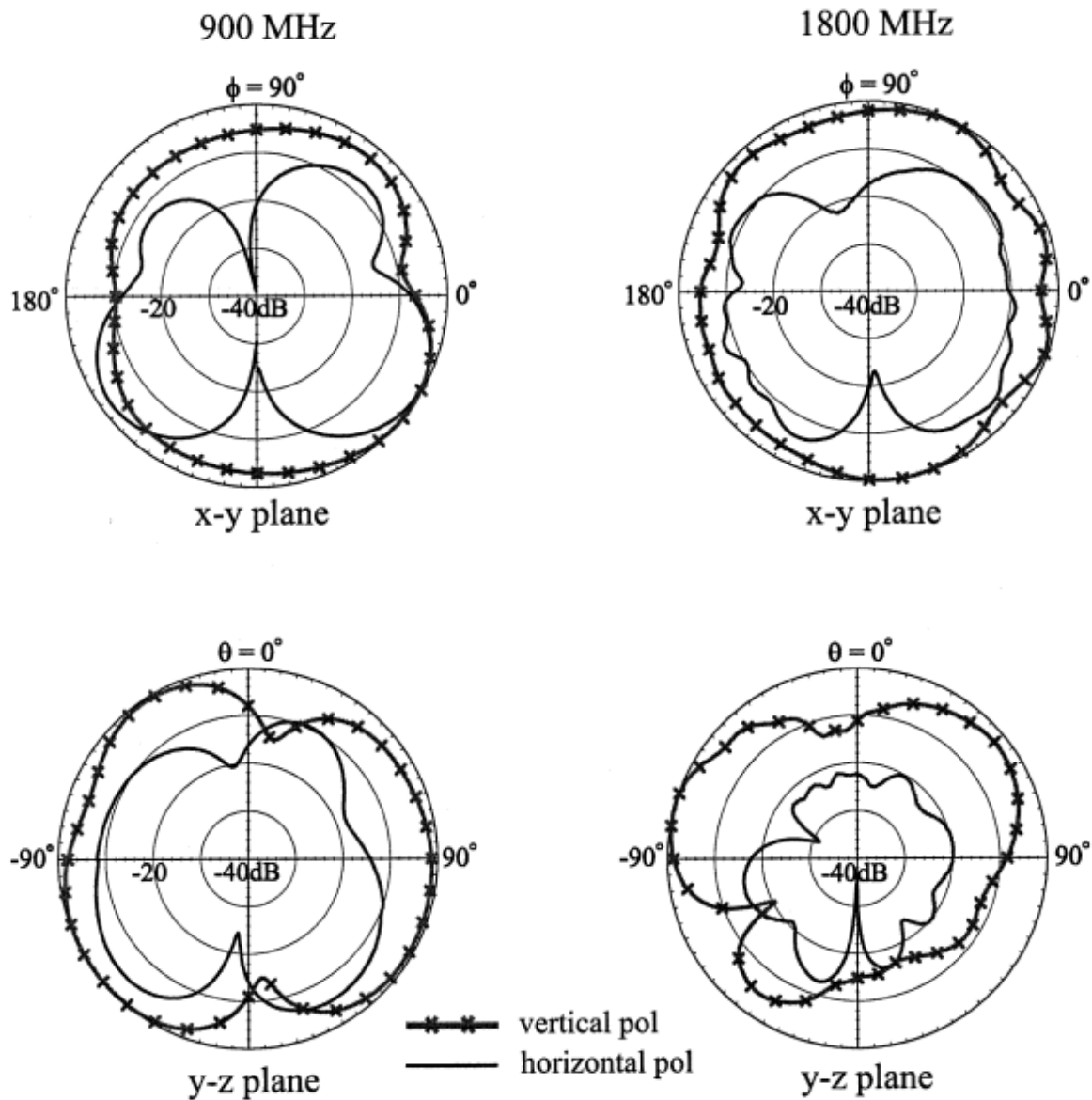
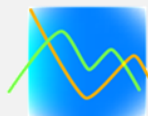
6.2.3 内置式天线

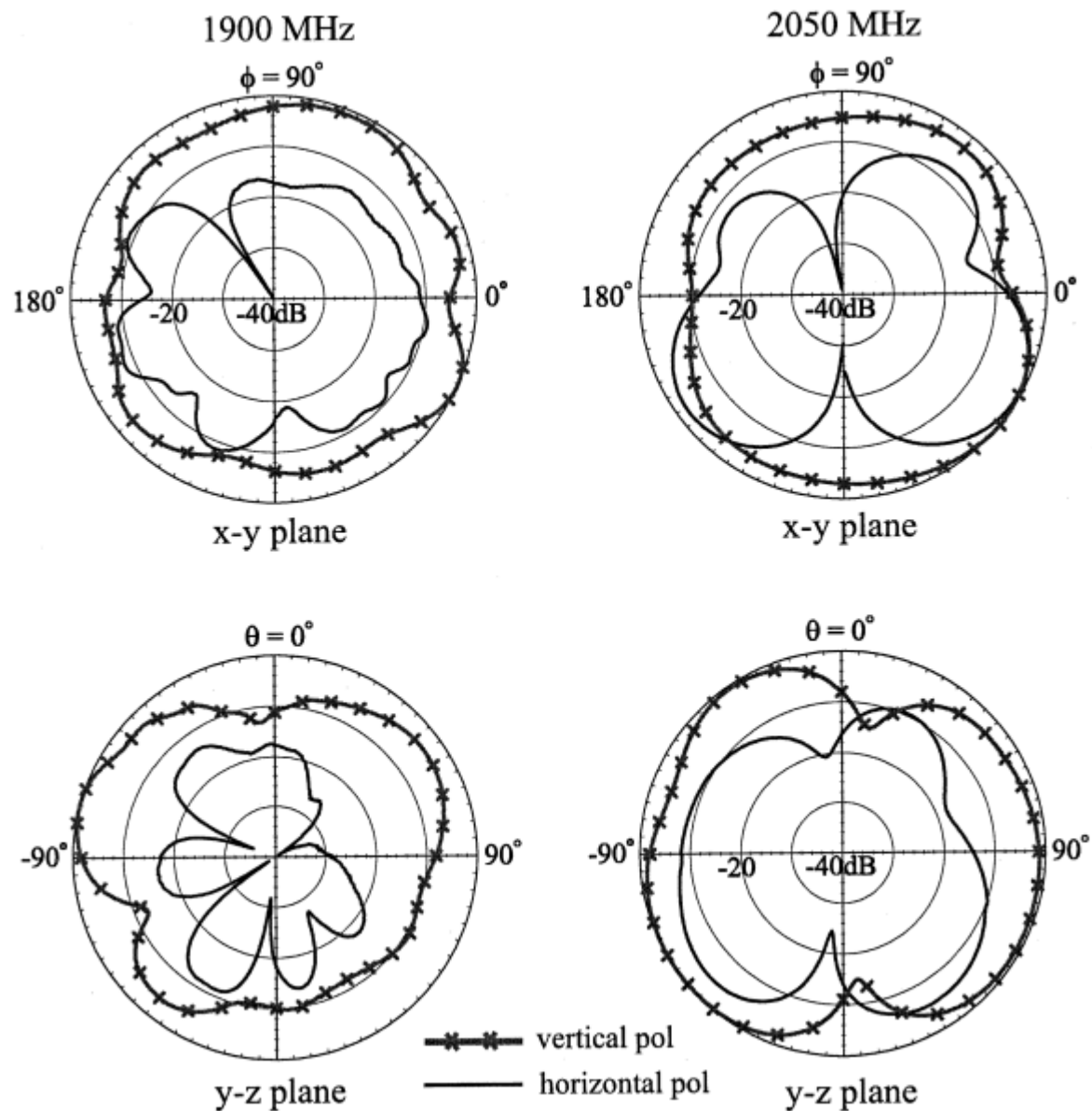
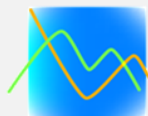
内置天线优点：内置可被集成到通信设备的印制电路板或外壳上；具有机械刚性，不易被损坏；不额外增加设备尺寸，利于手机外形的时尚设计；不要求用户在使用时小心维护天线，可以采用高水平的屏蔽技术来屏蔽天线，使其SAR值非常小，而天线几乎不受人体的影响；更重要的是可以安装多个天线，方便组阵，从而实现手机天线的智能化，这一点对未来的移动通信系统来说非常重要。由于内置天线的诸多优点，所以手机采用内置天线以成为趋势。

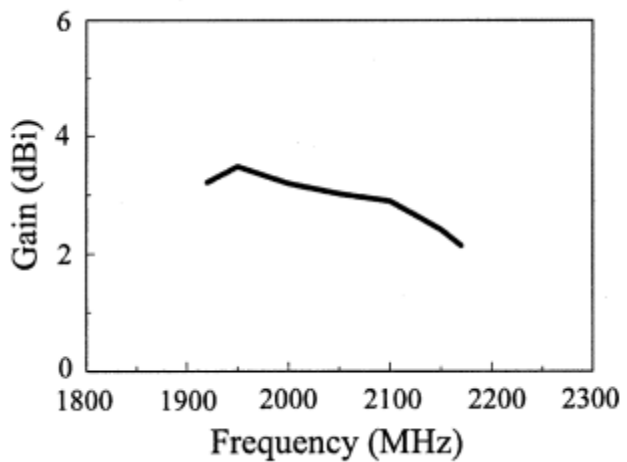
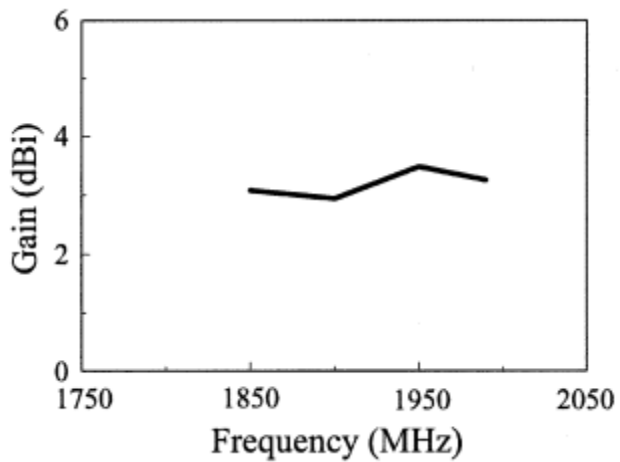
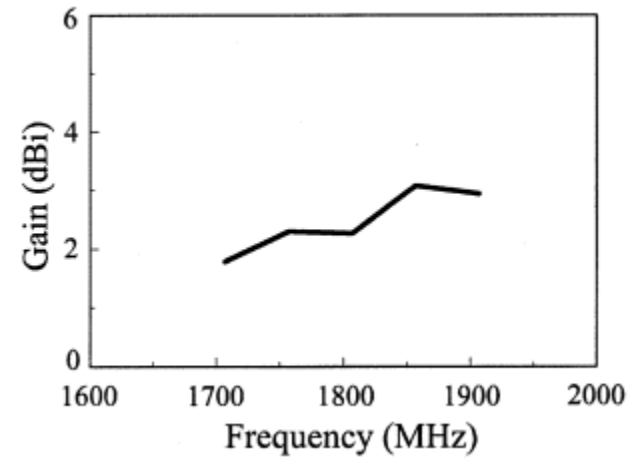
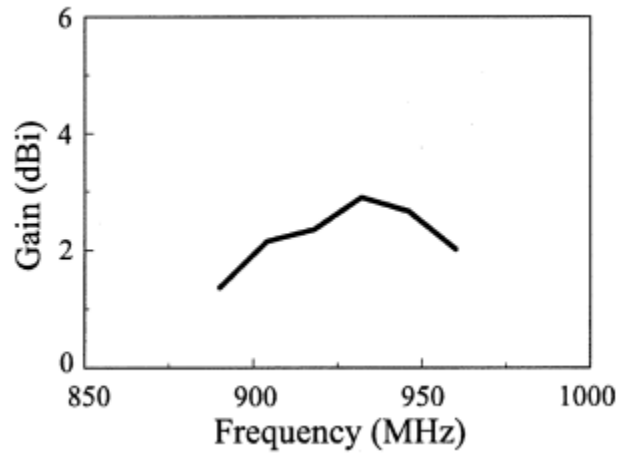
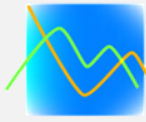


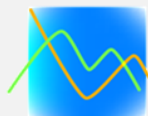




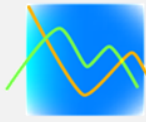




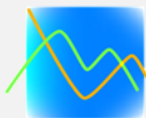




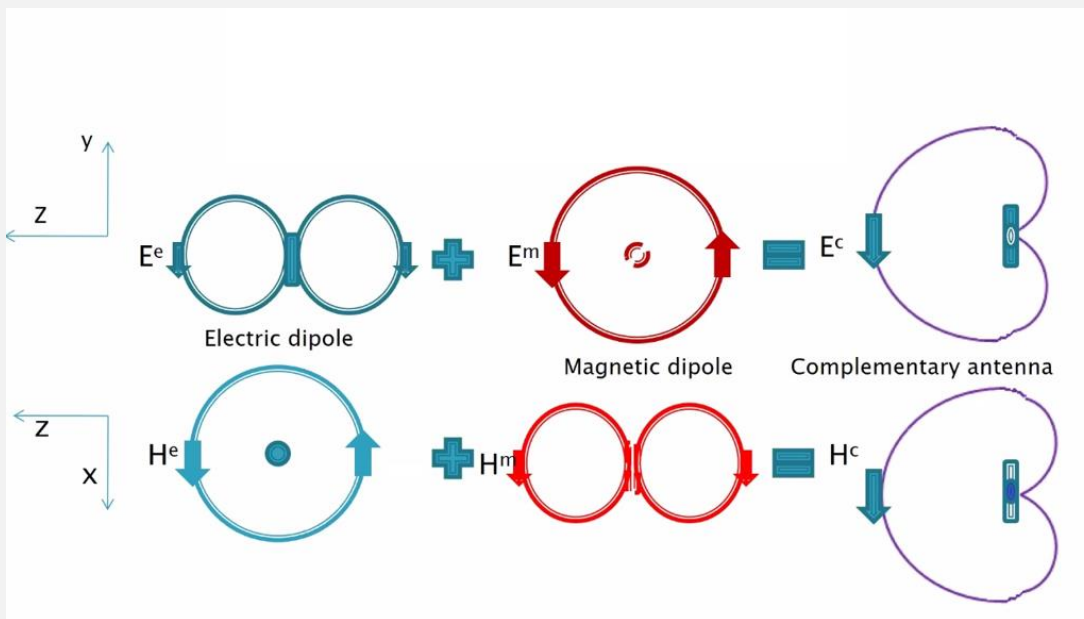
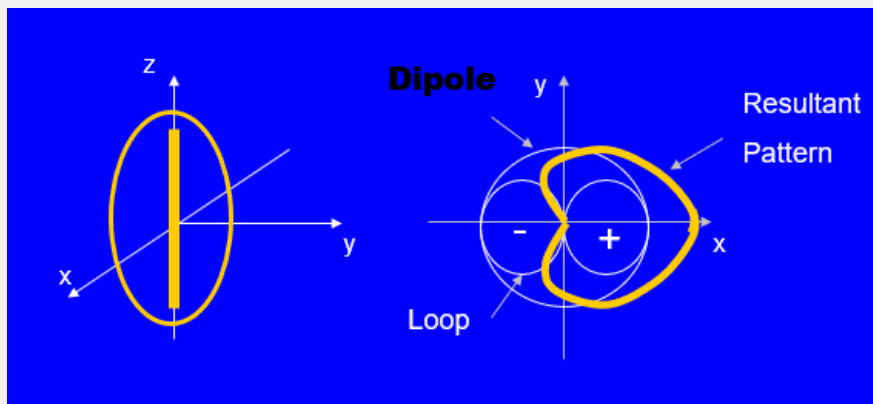
由于移动通信技术和应用的迅猛发展，有力地推动着手机系统向小型化、多模化以及高性能化方向发展，集成度高的内置天线必将是未来手机天线技术的发展方向，对这方面的研究也将逐渐加强。

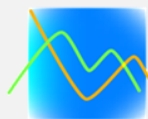


第7章 测向天线



小电流环与电基本振子构成测向器

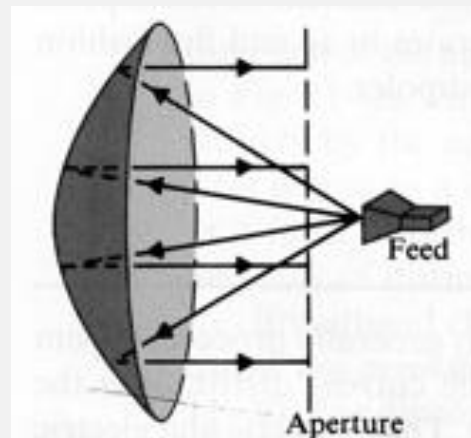
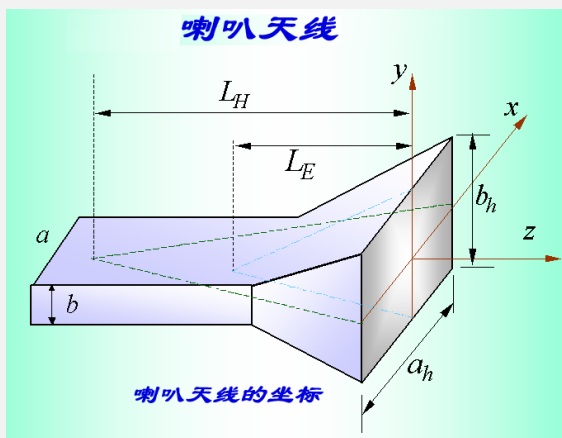




第8章 面天线

面天线的最大优点：**方向性强**。

在面天线中，为了得到高的增益，口径面的长和宽至少要达到**几个波长**，故这种天线在微波波段得到了最广泛的应用。





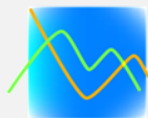
面天线的基本问题:

已知一次波源及金属体结构，求解空间任一点的电磁场，然后根据辐射场研究其电特性。

方法：口径场法或口面场法

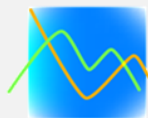
内问题：由一次波源求口面场

外问题：由口面场求辐射场



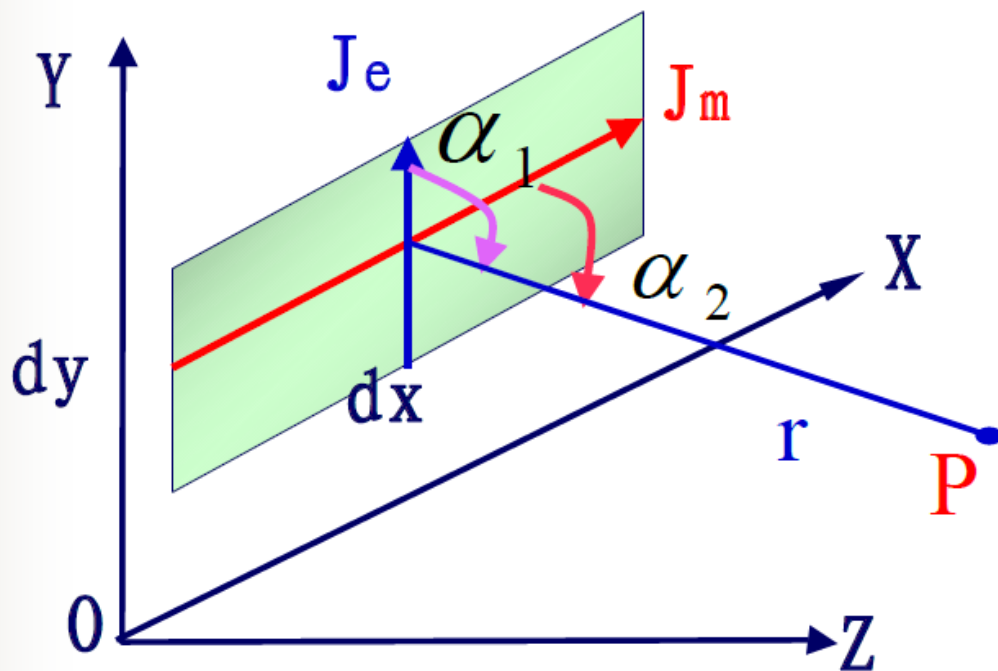
惠更斯源的辐射(基本面元)

定义：尺寸远小于波长，且其上仅有均匀分布着的切向电场和切向磁场的面元称为惠更斯元或二次辐射元。它是面天线的基本辐射元。



8.1 等效原理与惠更斯元的辐射

惠更斯元辐射场



$$I_e = H_x dx$$

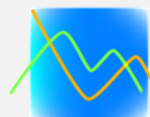
$$I_m = E_y dy$$

$$d\mathbf{E} = d\mathbf{E}_e + d\mathbf{E}_m$$

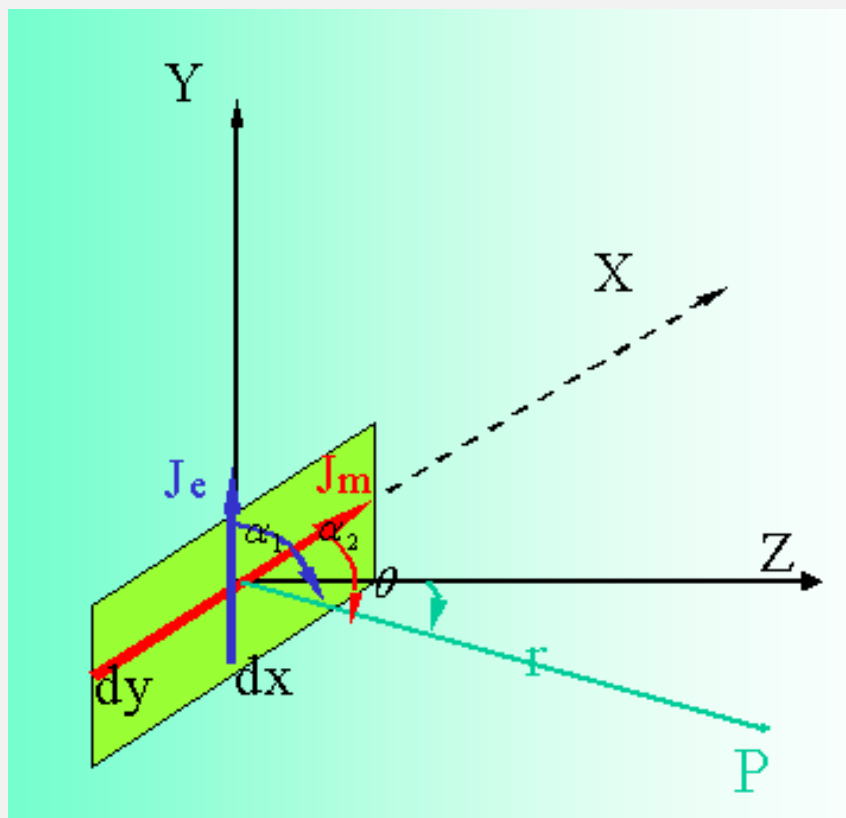
$$d\mathbf{E}_e = j \frac{60 \pi (H_x dx) dy}{\lambda r} \sin \alpha_1 e^{-jkr} \mathbf{a}_1$$

$$d\mathbf{E}_m = -j \frac{(E_y dy) dx}{2 \lambda r} \sin \alpha_2 e^{-jkr} \mathbf{a}_2$$

惠更斯源的辐射为相互正交放置的等效电基本振子和等效磁基本振子的辐射场之和

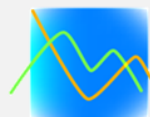


8.1 等效原理与惠更斯元的辐射

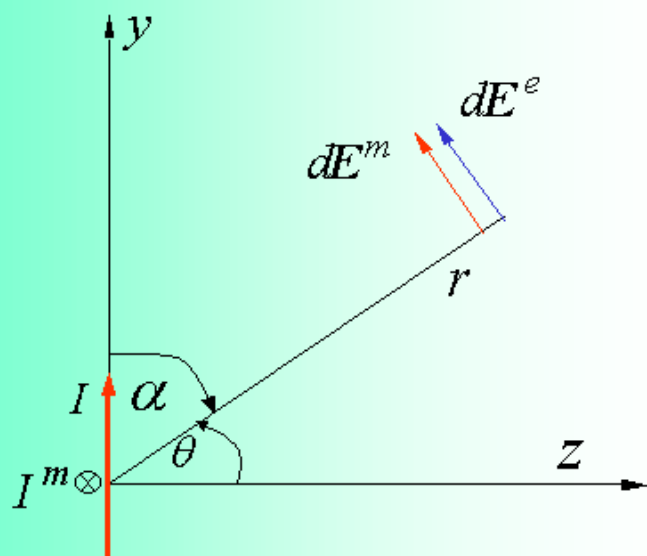


E (YOZ) 平面: $\alpha_2 = 90^\circ$
 $\alpha_1 = \pi/2 - \theta$

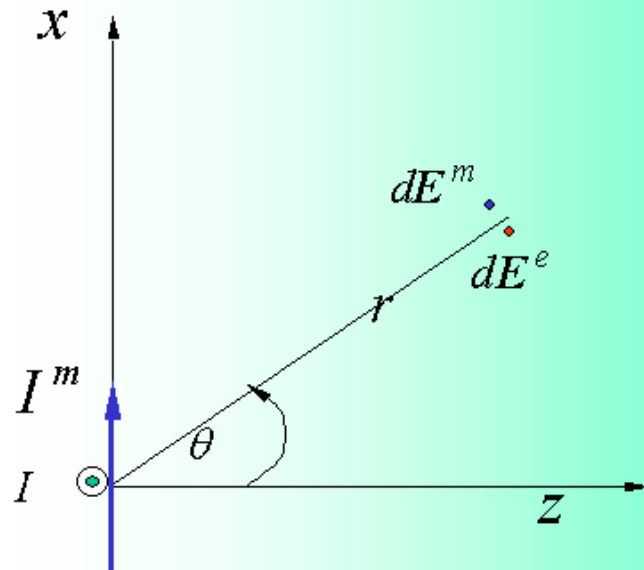
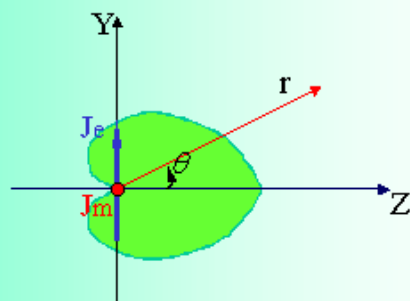
H (XOZ) 平面: $\alpha_1 = 90^\circ$
 $\alpha_2 = \pi/2 - \theta$



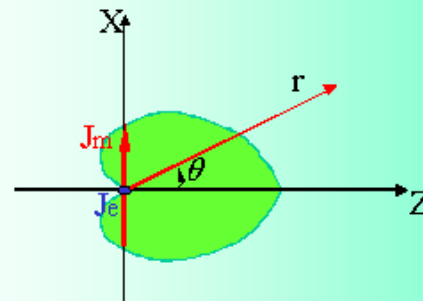
8.1 等效原理与惠更斯元的辐射



$$dE_E = j \frac{1}{2\lambda r} (1 + \cos \theta) E_y e^{-jkr} ds e_\theta$$



$$dE_H = j \frac{1}{2\lambda r} (1 + \cos \theta) E_y e^{-jkr} ds e_\phi$$



谢谢！

