

基于 Matlab 的旋转抛物面天线几种特性的仿真分析

顾洪军^{1,2}, 郭颖¹, 薛顶柱¹

(1. 吉林农业大学 信息技术学院, 吉林 长春 130118;
2. 长春理工大学 电子信息工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 对旋转抛物面天线的方向图、面积利用系数、口径截获效率和增益因子以及馈源方向函数等特性进行了 Matlab 仿真分析, 得到最优化模型时的参数, 可以用来指导天线系统的性能研究。

关键词: 旋转抛物面天线; 仿真; 方向函数; Matlab

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-1374(2009)05-0561-07

Simulation and analysis of the rotating parabolic antenna features based on Matlab

GU Hong-jun^{1,2}, GUO Ying¹, XUE Ding-zhu¹

(1. College of Information and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;
2. College of Electronic Information and Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Some features such as directional pattern, area utilization coefficient, caliber capturing efficient, gain factor and directional function of the rotating parabolic antenna are simulated to obtain the optimal model parameters. Our works can offer some technical support for the practical antenna system study.

Key words: rotating parabolic antenna; simulation; directional function; Matlab.

0 引言

现代社会一方面要求天线系统功能越来越强, 性能越来越高, 构成越来越复杂; 另一方面, 要求天线系统技术研究和产品开发缩短周期, 降低成本, 提高水平。这样尖锐对立的两个方面的要求, 只有通过使用强大的计算机辅助分析设计

技术和工具才能实现。现代计算机科学技术快速发展, 已经研发出了新一代的可视化的仿真软件。这些功能强大的仿真软件, 使得对天线系统仿真设计和分析过程变得相对直观和便捷, 由此也使得天线仿真技术得到了更快的发展。

旋转抛物面天线^[1]是在通信、雷达和电文等系统中广泛使用的一种天线。Matlab^[2]提供了统

收稿日期: 2009-08-11

作者简介: 顾洪军(1979—), 男, 汉族, 吉林松原人, 吉林农业大学助教, 长春理工大学硕士研究生, 主要从事微波技术方向研究。
E-mail: ghj_dennis@163.com.

一的算法仿真与建模环境,可以针对处理的问题建立复杂的动态系统模型。天线工作时要具有高增益、高效率、低噪声、宽频带、天线指向调整范围宽等特性。抛物面天线的特点与工作原理及焦点位置等计算方法非常重要,要想在理论与实践之间有个过渡,就要运用仿真分析。通过对已知的吻合的理论与实践的研究,达到对理论进行仿真分析,且能够模仿实际情况的目的。

1 天线仿真的基本知识

1.1 天线仿真的概念

对旋转抛物面天线来说,本身也可以建立一个系统模型,仿真是衡量系统性能的工具,它通过仿真模型的仿真结果来判断原系统的性能,从而为新系统的建立或原系统的改造提供可靠的参考。通过仿真可以降低新系统失败的可能性,消除系统中潜在的瓶颈,防止对系统中某些功能部件造成过量的负载,优化系统的整体性能,因此,仿真是科学的研究和工程建设中不可缺少的方法。

实际的天线系统是一个功能结构相当复杂的系统,对这个系统做出的任何改变(如改变某个参数的设置)都可能影响到整个系统的性能和稳定。因此,在对原有的旋转抛物面天线系统做出改进或建立一个新系统之前,通常需要对这个系统进行建模和仿真,通过仿真结果衡量方案的可行性,从中选择最合理的系统配置和参数设置,然后再应用于实际系统中,这个过程就是天线系统仿真。

1.2 天线仿真的环境

系统仿真技术^[3]也称为系统模拟技术,由于计算机仿真具有精度高、通用性强、重复性好、建模迅速以及成本低廉等许多优点,尤其是近年来发展了以 Matlab/Simulink 为代表的多种科学计算和系统仿真语言,使用起来比利用传统的 C/C++语言进行仿真方便快捷得多。系统仿真技术在国内学术界和科技界的迅速普及,也大大提高了科学的研究效率。文中以 Matlab/Simulink 为仿真环境来进行系统仿真分析。

1.3 天线仿真的优点

应用 Matlab/Simulink 的计算机仿真具有经济、安全、可靠、编程简易以及试验周期短等特点,在工程领域得到了越来越广泛的应用。电子、通信领域与计算机技术有着天然的联系,使得电子与通信领域的计算机仿真应用更为活跃。

2 抛物面天线的基础知识

2.1 旋转抛物面天线

所谓旋转抛物面是由抛物线绕其对称轴旋转而构成的抛物面,抛物线必须是按其定义所形成的轨迹曲线。该天线是应用最广泛的天线之一,它由馈源和反射面组成。天线的反射面由形状为旋转抛物面的导体表面或导线栅格网构成,馈源是放置在抛物面焦点上的具有弱方向性的初级照射器,它可以是单个振子或振子阵、单喇叭或多喇叭、开槽天线等。利用抛物面的几何特性,抛物面天线可以把方向性较弱的初级辐射器的辐射反射为方向性较强的辐射。

2.2 抛物面天线的方向系数

2.2.1 天线的方向系数

方向图^[4-5]参数虽能从一定程度上描述方向图的状态,但它们一般仅能反映方向图中特定方向的辐射强弱程度,未能反映辐射在全空间的分布状态,因而不能单独体现天线的定向辐射能力。为了更精确地比较不同天线之间的方向性,需要引入一个能定量地表示天线定向辐射能力的电参数,这就是方向系数,其定义是: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 S_{\max} (或场强 $|E_{\max}|$ 的平方) 和无方向性天线(点源)的辐射功率密度 S_0 (或场强 $|E_0|$ 的平方)之比,记为 D 。用公式表示如下:

$$D = \frac{S_{\max}}{S_0} \Big|_{P_r = P_n} = \frac{|E_{\max}|^2}{|E_0|^2} \Big|_{P_r = P_n}$$

式中: P_r —— 实际天线的辐射功率;

P_n —— 无方向性天线的辐射功率。

无方向性天线本身的方向系数为 1,因为无方向性天线在 r 处产生的辐射功率密度为:

$$S_0 = \frac{P_n}{4\pi r^2} = \frac{|E_0|^2}{240\pi}$$

所以,由方向系数的定义得:

$$D = \frac{r^2 |E_{\max}|^2}{60P_r}$$

2.2.2 抛物面天线的方向系数^[5]

方向系数 D 可以表示为:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \iint_S E_y(x, y) dx dy \right|^2}{\iint_S |E_y(x, y)|^2 dx dy}$$

2.2.3 抛物面天线的辐射场^[1]

E 面、H 面的方向函数为:

$$F_E = \int_0^{2\pi} \int_0^{\Psi_0} F(\Psi, \xi) \tan\left(\frac{\Psi}{2}\right) e^{j2k f \tan\frac{\Psi}{2} \sin \xi \cos \xi} d\Psi d\xi$$

$$F_H = \int_0^{2\pi} \int_0^{\Psi_0} F(\Psi, \xi) \tan\left(\frac{\Psi}{2}\right) e^{j2k f \tan\frac{\Psi}{2} \sin \xi \cos \xi} d\Psi d\xi$$

2.2.4 面积利用系数、效率及增益因子^[5]

抛物面天线的方向系数也可表示为:

$$D = \frac{4\pi S\nu}{\lambda^2}$$

式中: ν —面积利用系数;

S —抛物面的口径面积, $S = \pi R_0^2 = 4\pi f^2 \tan^2 \frac{\Psi_0}{2}$ 。

超高频天线中,由于天线本身的损耗很小,可以认为天线效率 $\eta_A \approx 1$,所以 $G \approx D$,但在抛物面天线中,天线口径截获的功率 P_n 只是馈源所辐射的总功率 P_r 的一部分,还有一部分为漏射损失。定义口径截获效率 $\eta_A = \frac{P_n}{P_r}$,其增益系数 $G = D\eta_A = \frac{4\pi S\nu\eta_A}{\lambda^2} = \frac{4\pi Sg}{\lambda^2}$,其中, $g = \nu\eta_A$ 称为增益因子,口径截获示意图如图 1 所示。

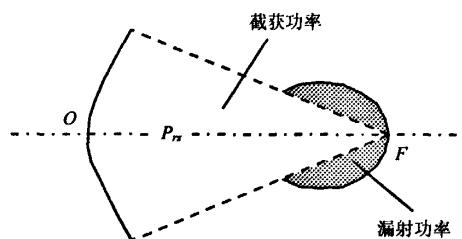


图 1 口径截获示意图

如果馈源也是旋转对称的,其归一化方向函数为 $F(\Psi)$,由 $E_S = F(\Psi) \frac{\sqrt{60 P_r D_{f_{max}}}}{\rho}$ 可以得到面积利用系数为:

$$\nu = \frac{\iint_s |E_S|^2 ds}{S \iint_s |E_S|^2 ds} = 2 \cot^2 \frac{\Psi_0}{2} \frac{\left| \int_0^{\Psi_0} F(\Psi) \tan \frac{\Psi}{2} d\Psi \right|^2}{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}$$

口径截获效率为:

$$\eta_A = \frac{P_n}{P_r} = \frac{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}{\int_0^{\pi} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}$$

在多数情况下,馈源的方向函数近似地表示为下列形式:

$$F(\Psi) = \cos^{\frac{n}{2}} \Psi, \quad 0 \leq \Psi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$F(\Psi) = 0, \quad \Psi \geq \frac{\pi}{2}$$

式中, n 越大, 则表示馈源方向图越窄, 反之, 则越宽。

3 旋转抛物面天线的特性仿真研究^[6]

3.1 馈源的方向函数的近似计算曲线

由于在多数情况下,馈源的方向函数近似地表示为下列形式:

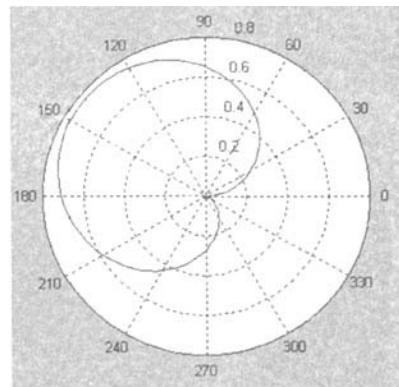
$$F(\Psi) = \cos^{\frac{n}{2}} \Psi, \quad 0 \leq \Psi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$F(\Psi) = 0, \quad \Psi \geq \frac{\pi}{2}$$

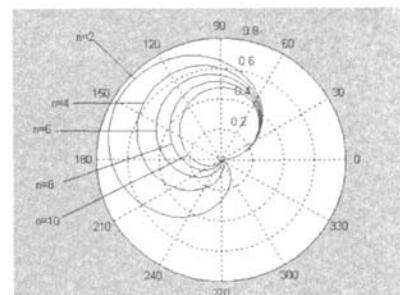
Ψ 在 $[0, \frac{\pi}{2}]$ 的范围内对其表达式建立数学模型,从表达式可以看出与 n 的大小有关,为了计算容易,取 n 为 2 的整数倍,如 2, 4, 6, 8, 10 等。

3.1.1 极坐标下仿真图

极坐标下仿真图如图 2 所示。



(a) $n=2$



(b) $n=2, 4, 6, 8, 10$

图 2 馈源极坐标仿真图

由图中可以看出, n 越大, 方向图越窄。图 (a) 所对应的立体图如图 3 所示。

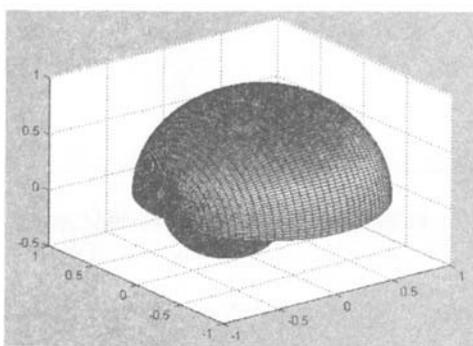


图3 饲源立体仿真图

3.1.2 直坐标下仿真图

多个 n 值仿真分析 ($n=2, 4, 6, 8, 10$)，仿真图如图 4 所示。

从图中可以看出， Ψ 为抛物线上任一点 M 到焦点的连线与焦轴 OZ 之间的夹角，离散点即 Ψ_0 为口径张角，同时，方向函数值会随着口径张角的增大而减小，所以，口径张角不宜太大。随着 n 的增大，馈源方向图越窄，反之，则越宽，与理论完全符合，说明 Matlab 语言的可视化图形输出方法可

以应用在抛物面天线的馈源的方向函数的仿真计算中。

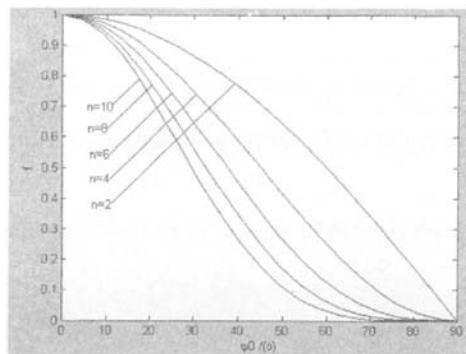


图4 方向函数的近似计算曲线

3.2 方向图的仿真分析

根据上面给出 E、H 面的方向函数，可对其进行编程仿真，由于有可能存在虚部，所以，也要考虑是否对方向图有影响，令 $n=0.8, 1.2, 1.6, 2$ （将实部，虚部画在一图上）。仿真图如图 5 所示。

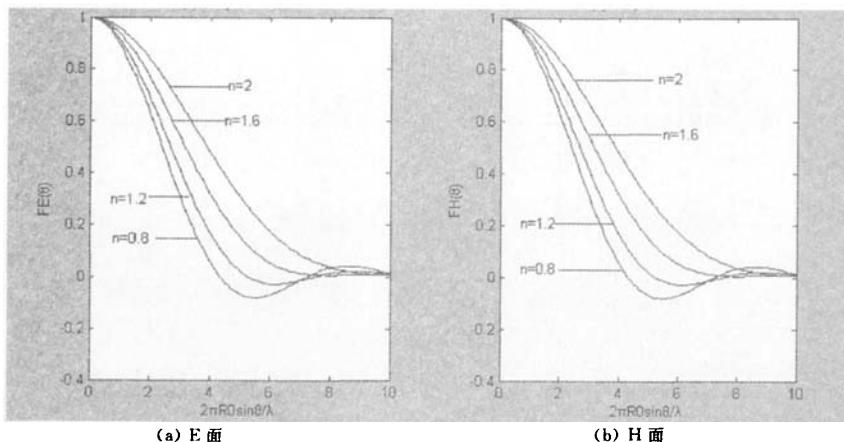


图5 饲源为近似表达式的抛物面天线方向图

从图中可以看出，E、H 的方向性与均匀性几乎相同，所以两者方向性相同，虚部值很小，且随着 n ($n=\frac{R_0}{f}$ 为口径焦距比) 的增大，虚部几乎等于零，对方向图的影响可以忽略。以下只考虑实部，同时，随口径焦距比增大，方向性增强。

3.3 面积利用系数随口径张角的计算曲线^[1]

在分析了抛物面天线的馈源的方向函数的近似表达式之后，发现与理论符合，且效果比较好，

以其为基础，分析抛物面天线的面积利用系数随口径张角的变化规律。

已知抛物面天线的面积利用系数为：

$$\nu = \frac{\left| \iint_S E_s ds \right|^2}{S \iint_S |E_s|^2 ds} = \\ 2 \cot^2 \frac{\Psi_0}{2} \frac{\left| \int_0^{\Psi_0} F(\Psi) \tan \frac{\Psi}{2} d\Psi \right|^2}{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}$$

为了了解面积利用系数与 n 的关系,可以在不同的 n 值下对表达式进行仿真分析,仿真图如图 6 所示($n=2,4,6,8,10$)。

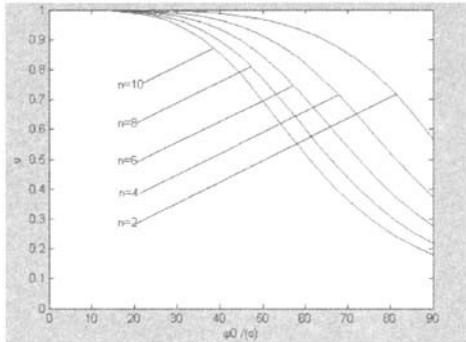


图 6 利用系数随口径张角的计算曲线

图 6 说明对于同一口径张角,面积利用系数随 n 的增大而减小,所以 n 不宜过大。

3.4 口径截获效率随口径张角的计算曲线^[4]

已知馈源的方向函数近似地表示为下列形式:

$$F(\Psi) = \cos^{\frac{n}{2}} \Psi, \quad 0 \leq \Psi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$F(\Psi) = 0, \quad \Psi \geq \frac{\pi}{2}$$

由理论知口径截获效率为:

$$\eta_A = \frac{P_n}{P_r} = \frac{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}{\int_0^{\pi} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}$$

为了解口径截获效率与 n 的关系,可以在不同的 n 值(令 $n=2,4,6,8$)下对表达式进行仿真分析,仿真图如图 7 所示。

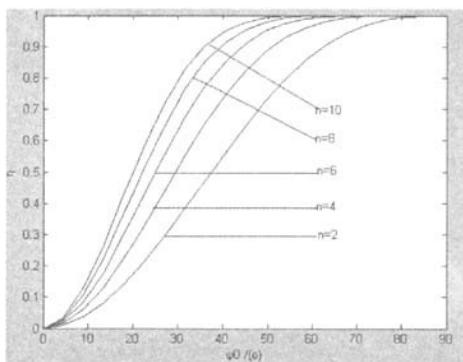


图 7 抛物面天线的口径截获效率随口径张角的计算曲线

图 7 说明随口径张角的增大,口径截获效率

增大,所以口径张角不宜太小。随口径张角的增大,面积利用系数在下降。即面积利用系数、效率与口径张角之间的变化关系恰好相反。所以,对口径张角选择很重要,应该存在最佳张角,使得某一参数(面积利用系数与效率的乘积)最大,即增益因子最大。对于同一口径张角,口径截获效率随 n 的增大而增大,所以 n 不宜过小。同样与面积利用系数随 n 的变化关系相反。所以 n 也应好好选择。

3.5 增益因子随口径张角的计算曲线

抛物面天线的增益系数 G 可写成:

$$G = D\eta_A = \frac{4\pi S v \eta_A}{\lambda^2} = \frac{4\pi S g}{\lambda^2}$$

增益因子为:

$$g = v\eta_A = \\ 2\cot^2 \frac{\Psi_0}{2} \frac{\left| \int_0^{\Psi_0} F(\Psi) \tan \frac{\Psi}{2} d\Psi \right|^2}{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi} \times \\ \frac{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi} = \\ 2\cot^2 \frac{\Psi_0}{2} \frac{\left| \int_0^{\Psi_0} F(\Psi) \tan \frac{\Psi}{2} d\Psi \right|^2}{\int_0^{\Psi_0} F^2(\Psi) \sin \Psi d\Psi}$$

为了解增益因子与 n 的关系,可以在不同的 n 值(令 $n=2,4,6,8$)下对表达式进行仿真分析,仿真图如图 8 所示。

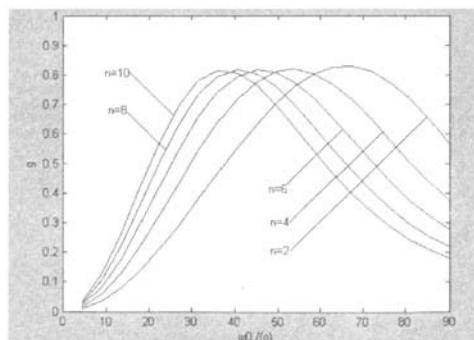
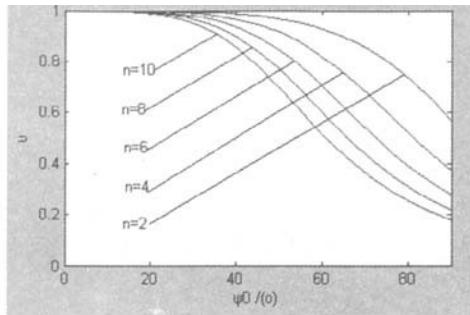


图 8 利用系数随口径张角的计算曲线

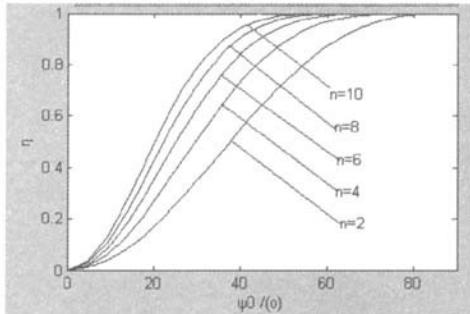
由图中可以清晰地看到,的确存在最佳张角,使得增益因子达到最大值 $g_{max} \approx 0.83$ 。且当 $n=2$ 时,达到最大值,随着 n 的增大,最大值比较稳定,只是 n 越大,达到最佳增益因子的口径张角越小,即面积利用系数与效率会不同。

3.6 仿真图合成比较总结

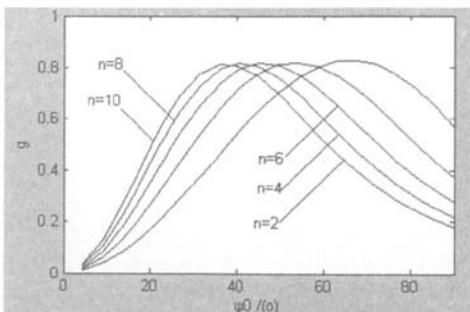
最后,对面积利用系数、口径截获效率、增益因子做个总结,从整体上看它们与口径张角及 n 的关系。仿真图^[7-8]如图9所示。



(a) 利用系数随口径张角的计算曲线



(b) 口径截获效率随口径张角的计算曲线



(c) 增益因子随口径张角的计算曲线

图9 抛物面天线的面积利用系数、口径截获效率及增益因子随口径张角的计算曲线

虽然对面积利用系数来说,口径张角越小越好, n 越小越好,但是对口径截获效率来说,口径张角越大越好, n 越大越好,但是不能以它们中的一个作为衡量标准,天线需要具有高增益,所以,对天线的增益因子进行仿真分析发现,存在最佳

张角使增益因子最大。

4 部分源程序代码

文中给出图9对应的Matlab源程序代码如下:

```
global n;
>> nn=[2 4 6 8 10];
>> posai00=0:90/20:90;
>> posai0=posai00 * pi/180;
>> for ii=1:5;
n=nn(ii);
for jj=1:length(posai0);
a(jj)=2./(tan(posai0(jj)/2)).^2.* (abs(quad('mjlyfz',
0,posai0(jj)))).^2./quad('mjlyfm',0,posai0(jj));
b(jj)=quad('mjlyfm',0,posai0(jj))/quad('mjlyfm',0,
pi/2);
g(jj)=a(jj)*b(jj);
end;
figure(6);
subplot(2,2,1);
plot(posai0,a);axis([0 90 0 1]);xlabel('ψ₀ / (o)');
ylabel('α');title('抛物面天线的面积利用系数随口径张角的
计算曲线');hold on;
subplot(2,2,2);
plot(posai0,b);axis([0 90 0 1]);xlabel('ψ₀ / (o)');
ylabel('η');title('抛物面天线的口径截获效率随口径张角的
计算曲线');hold on;
subplot(2,2,3);
plot(posai0,g);axis([0 90 0 1]);xlabel('ψ₀ / (o)');
ylabel('g');title('抛物面天线的增益因子随口径张角的计算
曲线');hold on;
end;
```

5 结语

在给出天线系统仿真理论的基础上,利用Matlab强大的仿真功能,对具体的旋转抛物面天线几种特性进行编程仿真。对仿真结果都给出了具体详实的说明和分析,发现效果显著,为实际构建提供了很好的依据。文中所使用的仿真软件具有可视化、数值计算功能,但还有其它仿真性能优异的仿真软件。所以,在今后的研究中,设计仿真模型时,可利用多种仿真软件,发挥各个仿真软件的特长,使得系统仿真效果更精确。

参考文献:

- [1] 刘学观.微波技术与天线[M].西安:西安电子科技

- 大学出版社, 2005.
- [2] 刘兴堂, 吴晓燕. 现代系统建模与仿真技术 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2001.
- [3] 薛定宇, 陈阳泉. 基于 Matlab/Simulink 的系统仿真技术与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [4] 傅文斌. Matlab 在天线方向图中的应用与研究 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] 殷际杰. 微波技术与天线 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 张立东. Matlab 语言在天线设计中的应用 [J]. 电子电器教学学报, 2004, 25(1): 34-37.
- [7] 王曼珠, 张喆民, 崔红跃. Matlab 在天线方向图中的应用与研究 [J]. 电气电子教学学报, 2004, 26(4): 25-27.
- [8] 张天瑜, 张卉. 基于 Matlab 的天线抗干扰三维运动仿真器的设计与实现 [J]. 成都大学学报, 2007, 26(1): 43-45.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

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，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 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。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直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
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，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>