

关键部件刚度对环形可展开天线频率影响研究

师 甜, 肖 勇, 于新战

(中国空间技术研究院 西安分院, 陕西 西安 710100)

摘要: 针对环形桁架可展开天线的一阶振动提出了一种被动控制方法, 通过调整环形桁架可展开天线关键部件的刚度来改变环形桁架可展开天线的固有频率, 使之与激振频率错开, 从而避免共振, 最终使振动自由衰减下来, 达到振动抑制的目的。斜支撑杆为环形天线关键部件, 文中对由斜支撑杆刚度改变引起的环形桁架可展开天线频率的变化进行了计算, 分析了环形天线一阶振动时斜支撑杆的应力分布情况, 结果表明斜支撑杆轴向刚度对环形天线频率影响最大, 且越靠近斜支撑杆根部影响越明显。

关键词: 共振; 环形天线; 应力; 刚度

中图分类号: TN 821

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2013)22-0059-03

A method of modifying Hoop Column Deployable Antenna(HTDA)'s natural frequency

SHI Tian, XIAO Yong, YU Xin-zhan

(Xi'an Branch, China Academy of Space Technology, Xi'an 710100, China)

Abstract: A method of vibration control was proposed in this paper. The analytic result of the Hoop Column Deployable Antenna (HTDA) indicated that the natural frequency of the HTDA was modified by modifying the important part's stiffness. The natural frequency was different from the frequency of the force, so the sympathetic vibration can be avoided. The change of the HTDA's natural frequency caused by the skew bar's stiffness was calculated in this paper. The stress distribution of the skew bar was analyzed. The analytic result showed that the axial stiffness of the skew bar is chief for the HTDA and the stiffness of the skew bar's tip is more important than other part.

Key words: sympathetic vibration; HTDA; stress; stiffness

随着空间无线电技术的发展, 大型空间结构的应用日趋广泛。其中大型空间可展开天线作为一种特殊的空间结构得到了越来越广泛的应用与发展。

大型空间可展开卫星天线是近年内随着航天科技发展需求而诞生的一种新型空间构造物, 此类天线在地面发射时为收拢状态, 固定在运载工具有效载荷舱内, 当发射并进入轨道以后, 由地面控制中心指令其在空间轨道上按设计要求, 逐步完成展开动作, 然后锁定并保持为工作状态。目前可采用的可展开天线形式有: 花瓣型天线、伞状天线、缠绕肋天线、环柱天线、构架式天线和环形可展开天线^[1]。

大型空间可展开天线具有挠度大、阻尼小、模态频率低且密集的特点^[2]。在空间环境中受到低周扰动时容易引起结构的振动甚至共振, 这不仅影响结构的正常工作, 长期作用还会引起构件的疲劳和损伤。例如 1996 年, 美国“斯巴达人”卫星因为振动使其天线朝一个方向翻滚, 致使天线表面产生褶皱^[3]。因此对大型空间可展开天线的振动进行抑制是十分有必要的。

环形可展开天线是目前大型星载可展开天线理想的结构形式。环形天线口径可应用于 6~150 m 的范围, 结构形式简单, 在一定范围内口径的增大不会改变天线的结构形式, 质量也不会成 1 比例增加, 环形桁架可展开天线主要由 4 部分组成: 可展开的周边桁架、金属反射网面、柔性张力索网以及展开动力机构^[4]。2000 年 12 月 5 日发射的名为 Thyraa 卫星上的 2 天线采用的就是这种形式^[5]。

针对环形天线的一阶振动问题, 2007~2010 年间, 西安交通大学与中国空间技术研究院西安分院合作研制出了一种双压电堆作动器, 当环形天线一阶振动时, 该作动器可激发环形天线做与振动方向相反的运动, 从而达到振动抑制的目的。但该方法消耗能量较大, 控制系统结构复杂且可靠性低, 目前难以投入实际应用。本文针对环形桁架可展开天线的低阶振动问题, 提出一种被动控制的方法, 斜支撑杆作为环形天线关键部件, 对环形天线一阶频率影响很大, 本文通过调整环形天线关键部件的刚度来改变环形天线的一阶固有频率, 使之与激振频率错开, 从而避免环形天线的共振, 最终使振动自由衰减下来, 达到振动抑制的目的。

收稿日期: 2013-04-18

稿件编号: 201304220

基金项目: 国家自然科学基金(11290154)

作者简介: 师 甜(1987—), 男, 陕西韩城人, 硕士。研究方向: 卫星天线及星载电子设备的结构设计。

1 理论分析

对于多自由度系统(假定自由度数为 n),若不考虑阻尼,其振动方程可写为:

$$M\ddot{X}(t)+KX(t)=0 \quad (1)$$

一个多自由度系统,在外力 $F_e(t)$ 作用下通常只被激起较低的一部分振型,而大部分高阶振型被激起的分量很小,一般可忽略不计。假若对 n 阶运动方程起主要作用的是其前 q 阶振型,通常 $q \leq n$,则可将位移向量 $X(t)$ 用 q 阶振型的组合来表示,即

$$X(t)=u_1(t)\Phi_1+u_2(t)\Phi_2+\cdots+u_q(t)\Phi_q=\sum_{i=1}^q u_i(t)\Phi_i=\Phi u(t) \quad (2)$$

其中

$$u(t)=(u_1(t), u_2(t), \cdots, u_q(t))^T \quad (3)$$

是广义位移向量,而振型矩阵

$$\Phi=(\Phi_1, \Phi_2, \cdots, \Phi_q)=\begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1q} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{nq} \end{bmatrix} \quad (4)$$

是一个 $N \times q$ 矩阵。

式(2)表明,原坐标系统中描述的位移 $X(t)$ 通过振型矩阵 Φ 转化为模态坐标系统中的广义位移 $u(t)$ 。将式(2)代入式(1),得

$$M\Phi\ddot{u}(t)+K\Phi u(t)=0 \quad (5)$$

将式(5)等号左右两端分别左乘矩阵 Φ^T ,得到

$$\Phi^T M \Phi \ddot{u}(t) + \Phi^T K \Phi u(t) = 0 \quad (6)$$

由振型关于质量阵和刚度阵的正交性可知

$$\Phi^T M \Phi = \tilde{M} = \begin{bmatrix} \tilde{M}_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \tilde{M}_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \tilde{M}_{qq} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\Phi^T K \Phi = \tilde{K} = \begin{bmatrix} \tilde{K}_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \tilde{K}_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \tilde{K}_{qq} \end{bmatrix} \quad (8)$$

则式(6)可以写为:

$$\begin{bmatrix} \tilde{M}_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \tilde{M}_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \tilde{M}_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_1(t) \\ \ddot{u}_2(t) \\ \vdots \\ \ddot{u}_q(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{K}_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \tilde{K}_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \tilde{K}_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ \vdots \\ u_q(t) \end{bmatrix} = 0 \quad (9)$$

它可展开为如下 q 个独立的方程

$$\tilde{M}_i \ddot{u}_i(t) + \tilde{K}_i u_i(t) = 0 \quad (i=1, 2, \cdots, q) \quad (10)$$

系统的第 i 阶频率为 ω_i :

$$\omega_i = \sqrt{\frac{\tilde{K}_i}{\tilde{M}_i}} \quad (11)$$

通过改变系统 i 阶振动的刚度来改变系统的第 i 阶频率是可行的。

2 环形天线斜支撑杆对环形天线频率影响

对斜支撑杆刚度变化引起的环形天线频率改变进行了计算,分析了环形天线做一阶振动时斜支撑杆应力分布情况,分析结果表明沿斜支撑杆轴向的刚度对环形天线一阶频率影响最大,且越靠近斜支撑杆根部影响越明显。

2.1 无斜支撑杆环形天线对应频率

实际天线结构中,环形天线两个斜支撑杆设计的目的即为约束天线环面绕伸展臂的转动运动,将环形天线两个斜支撑杆去掉后,环形天线频率变化如表1所示。

表1 无斜支撑杆环形天线频率变化

Tab. 1 Change of antenna's natural frequency without skew bar

阶数	1	2	3	4	5	6
改变率	-40.34%	-4.87%	-4.38%	-8.78%	-8.89%	-1.24%

只去掉一个斜支撑杆环形天线各阶频率变化如表2所示。

表2 只去掉一个斜支撑杆环形天线频率变化

Tab. 2 Change of antenna's natural frequency with one skew bar

阶数	1	2	3	4	5	6
改变率	-4.59%	-6.32%	-1.12%	-7.18%	-1.44%	-0.99%

通过计算结果可知,只去掉一个斜支撑杆环形天线频率变化不大,且一阶振型由原来环形平面内绕伸展臂的左右摆动变为垂直环形平面的上下振动,而将环形天线两个斜支撑杆都去掉后,环形天线一阶频率下降40.34%,所以环形天线斜支撑杆刚度对环形天线一阶频率影响很大。

2.2 环形天线斜支撑杆不同方向刚度对环形天线频率的影响

由表1可知,去掉斜支撑杆后环形天线的一阶频率下降40.34%,因为去掉斜支撑杆可以等效看做原斜支撑杆件处刚度为零。所以斜支撑杆刚度对环形天线一阶频率影响很大。为了分析斜支撑杆各个方向刚度对环形天线频率的影响,首先建立两个坐标系,坐标系的 Z 轴与斜支撑杆重合, X - Z 平面与环形天线环面重合, Y 轴垂直于 X - Z 平面,图1给出了其中一个坐标系的位置。

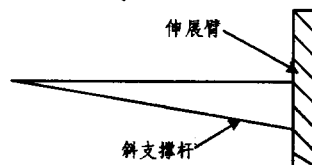


图1 坐标轴示意图

Fig. 1 Diagram of coordinate

在两个斜支撑杆上分别建立两个bush单元,bush单元为Patran&Nastran软件中的一维单元,可定义一个多参数弹簧-阻尼器系统。bush单元的3个平动和3个转动自由度分别取为:

$$X=10^6 \text{ N/m}, Y=10^6 \text{ N/m}, Z=10^6 \text{ N/m}$$

$$\vec{Y}=10^3 \text{ Nm/rad}, \vec{Z}=10^3 \text{ Nm/rad}, \vec{X}=10^3 \text{ Nm/rad}$$

Bush单元的6个方向的刚度取上述刚度时,环形天线对应频率如表3所示。

新增bush单元对环形天线固有频率几乎没有影响,可近

表 3 增加 bush 单元环形天线频率
Tab. 3 Antenna's natural frequency with bush cell

阶数	1	2	3	4	5	6
改变率	-2.19%	-1.11%	-5.82%	-2.13%	-0.8%	-0.39%

似等效为原斜支撑杆。为了分析斜支撑杆不同方向刚度对环形天线频率影响,分别让 6 个刚度的值取为 0,通过计算可得环形天线对应频率,如表 4 所示。由计算结果可知斜支撑杆 Z 向刚度,即沿斜支撑杆轴向的刚度对环形天线频率影响最大。

表 4 不同方向刚度取零值时环形天线对应频率
Tab. 4 The influence of different stiffness over the antenna

方向	阶数					
	1	2	3	4	5	6
X	-2.47%	-1.16%	-4.05%	-2.47%	-0.81%	-0.44%
Y	-2.82%	-1.14%	-4.19%	-2.31%	-0.89%	-0.47%
Z	-30.94%	-4.31%	-4.07%	-8.19%	-8.04%	-1.42%
X 转动	-2.20%	-1.11%	-4.21%	-2.13%	-0.81%	0%
Y 转动	2.24%	-1.11%	-4.05%	-2.14%	-0.81%	-0.39%
Z 转动	-2.21%	-1.11%	4.05%	-2.15%	-0.89%	-0.42%

2.3 斜支撑杆轴向不同位置刚度对环形天线频率影响

为了分析沿斜支撑杆轴向斜支撑杆不同位置刚度对环形天线频率的影响,在斜支撑杆上取 4 个点,4 个点处建立 bush 单元,4 个点的位置分别为沿斜支撑杆轴向即坐标轴 Z 向的 $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{9}{10}$ 处,如图 2 所示。令弹簧 Z 刚度取为 0,其余方向刚度为 $X=10^6$ N/m, $Y=10^6$ N/m, $\vec{Y}=10^3$ Nm/rad, $\vec{Z}=10^3$ Nm/rad, $\vec{X}=10^3$ Nm/rad。

此时 bush 单元不同位置所对应环形天线频率如表 5 所示。通过分析计算可知,越靠近根部即离展开臂越近,斜支撑杆刚度对环形天线频率影响越大。

表 5 弹簧单元位置对环形天线频率影响
Tab. 5 The influence of bush cell's location over the antenna

位置	阶数					
	1	2	3	4	5	6
1/10	-20.74%	-4.09%	-4.13%	-8.15%	-5.27%	-1.40%
1/4	-23.56%	-4.23%	16.18%	-8.39%	-5.88%	-1.43%
1/2	-29.65%	-4.41%	-4.20%	-8.66%	-7.18%	-1.49%
9/10	-32.89%	-4.33%	-4.87%	-8.25%	-8.13%	-1.43%

3 斜支撑杆应力分布

为了分析环形天线在一阶振动时斜支撑杆的受力情况,首先考虑一个静态变形情况,即在环形天线一端施加 Y 方向 20 N 的集中力,使得环形天线沿一阶振动方向发生位移,然后求出环形天线与斜支撑杆的连接节点的位移响应,再以此响应作为局部实体模型的位移激励条件,最后使用有限元分析软件对局部实体模型进行内力分析,如图 2 所示。

通过分析计算可得斜支撑杆与环形天线连接节点位移为: $x=-2.166255e-2$, $y=1.931209-2$, $z=-5.903225e-3$; 转动位

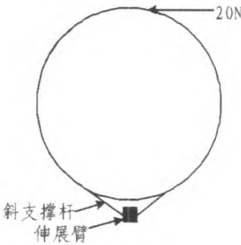


图 2 环形天线施加外力示意图
Fig. 2 Drawing of load on antenna

移: $x=-4.401577-3$, $y=-2.54959e-5$, $z=1.396378e-2$ 。所采用单位皆为国际单位。建立一个梁模型,梁的一端 6 个自由度全部约束,梁的另一端施加强迫位移,其中位移激励条件由静力分析中得到。模型如图 3 所示。

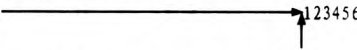


图 3 斜支撑杆受力分析图
Fig. 3 Analysis of load on antenna

分析计算结果如图 4 所示。通过计算可知,在环形天线做一阶振动时,斜支撑杆越靠近约束端所受应力越大。所以在斜支撑杆上,沿斜支撑杆轴向越靠近展开臂端的刚度对环形天线频率影响越大。

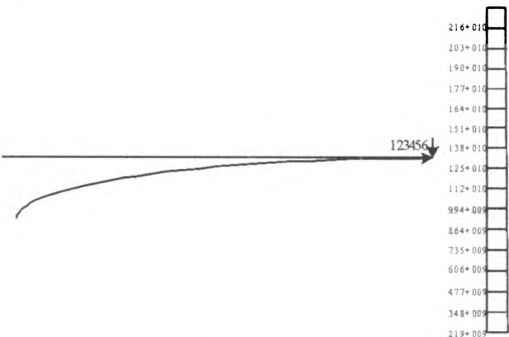


图 4 斜支撑杆应力分布图
Fig. 4 Drawing of stress distribution on skew bar

4 Z 向刚度变化对环形天线频率影响

Z 向刚度取不同值时环形天线对应的频率变化如表 6 所示。经过计算分析可知 Z 向刚度取值在 $10^3 \sim 10^5$ N/m 时,调整 Z 向刚度,环形天线频率变化明显。当 Z 向刚度大于 10^6 N/m 时,调整 Z 向刚度环形天线频率变化很小。

5 结 论

文中分析了环形天线斜支撑杆刚度对环形天线频率的影响,确定了沿斜支撑杆轴向的刚度对环形天线频率影响最大,计算了环形天线做一阶振动时环形斜支撑杆的应力分布情况,结果表明在斜支撑杆上沿斜支撑杆轴向,越靠近展开臂的位置,斜支撑杆刚度变化对环形天线频率影响越大,为以后环形天线的一阶振动抑制提供参考。

进行及时有效的预警操作;与此同时,患者也可以根据自身感觉及时触发紧急事件按钮来进行求救操作,最终达到使患者获得及时救助的目的。

3 结束语

无线传感网络具有能耗小、成本低、容易部署等一系列优点,被誉为二十一世纪最有前途的技术之一。虽然国内外已有很多关于传感器网络的研究,但是却极少有传感器网络在人体健康监控领域中的实际应用。国内虽然有复旦大学、上海交通大学、北京大学等单位提出了远程监护的原型系统,不过他们仅仅只是采用了单独的心电传感器,并没有提出使用无线传感网络技术对心血管疾病进行远程监护。本文采用无线传感器网络作为监控系统的信息采集平台,将其应用于人体健康监控领域,填补了一项国内学术界与工业界的空白。与目前国内外现有的远程医疗监护系统原型相比,本文基于无线传感网络实现的手机实时医疗监护系统具有精确度高、能耗小、部署方便、鲁棒性好、设备廉价、实时性好等一系列优势。基于无线传感网络的手机实时医疗监护系统,将能够广泛地应用于人们的医疗卫生健康监控领域。随着人民生活水平的日益提高,以及无线传感网络、无线通讯技术的进一步发展,该系统将能够占领一定的医疗监护市场空间,在创造社会效益的同时,也将创造不小的经济效益。

参考文献:

- [1] Junior F, Manoei G D, Nicolosi, et al. Performance analysis of an interpretive electrocardiograph for use in a computer-aided diagnostic system for acute coronary syndromes[J]. Revista Brasileira Engenharia Biomedica, 2012, 28(2):140-154.
- [2] 葛耀峰, 林泽涛, 陶国良. 心电信号在线数据知识化辅助诊断算法研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2006, 40(2):

238-242.

GE Yao-zheng, LIN Ze-tao, TAO Guo-liang. Knowledge discovery based auxiliary diagnosis algorithm for electrocardiograph on-line data[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2006, 40(2):238-242.

- [3] QIU Zi-xue, WU Jian, YUAN Shen-fang. A wireless sensor network design and evaluation for large structural strain field monitoring[J]. Measurement Science and Technology, 2011, 22(7):275-286.
- [4] 赵斌洁, 陈光喜. 一种基于移动无线传感器网络结构的数据采集协议[J]. 2012, 32(4):316-319.
ZHAO Bin-jie, CHEN Guang-xi. A data gathering scheme based on the mobile wireless sensor network [J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2012, 32(4): 316-319.
- [5] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4):393-422.
- [6] 李明, 石为人. 异构传感器网络成本最优节点部署机制[J]. 重庆大学学报, 2012, 35(2):55-59.
LI Ming, SHI Wei-ren. Optimal sensor deployment scheme for heterogeneous wireless sensor networks[J]. Journal of Chongqing University, 2012, 35(2):55-59.
- [7] 张斌, 毛剑琳, 李海平, 等. 群混合算法应用于异构传感网络节点的优化部署[J]. 计算机应用, 2012, 32(5):1228-1232.
ZHANG Bin, MAO Jian-lin, LI Hai-ping, et al. Swarm hybrid algorithm for nodes optimal deployment in heterogeneous wireless sensor network[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(5):1228-1232.

(上接第 61 页)

表6 调整Z向刚度环形天线频率变化
Tab. 6 The influence of different Z stiffness over the antenna

刚度	阶数					
	1	2	3	4	5	6
1 000 N/m	-32.39%	-4.32%	-4.08%	-8.23%	-8.03%	-1.43%
10 000 N/m	-28.33%	-4.20%	-4.08%	-8.02%	-7.22%	-1.40%
100 000 N/m	-13.17%	-3.29%	-4.07%	-6.41%	-3.60%	-1.13%
300 000 N/m	-6.1%	-2.24%	-4.85%	-4.43%	-1.80%	-0.80%
500 000 N/m	-4.02%	-1.72%	-4.06%	-3.39%	-1.27%	-0.61%
700 000 N/m	-3.02%	-1.40%	-4.06%	-2.75%	-1.02%	-0.50%
1000 000 N/m	-2.22%	-1.11%	-4.06%	-2.15%	-0.81%	-0.39%
5000 000 N/m	-0.61%	-0.38%	-4.06%	-0.58%	-0.41%	-0.10%
10 000 000 N/m	-0.39%	-0.27%	-4.06%	-0.32%	-0.36%	-0.06%

参考文献:

- [1] 肖倩, 王三民. 环形可展开大型卫星天线结构设计与研究[D]. 西安:西北工业大学, 2001.

- [2] 麻钰娟, 李团结. 考虑混合不确定性的柔性结构振动主动控制[D]. 西安:西安电子科技大学, 2011.
- [3] Oniario, Bravo Rafael. Vibration Control of Flexible Structures Using Smart Materials [D]. Hamilton: McMaster University, 2000.
- [4] 罗鹰, 段宝岩. 星载可展开天线结构现状与发展[J]. 电子机械工程, 2005, 21(5):30-34.
LUO Ying, DUAN Bao-yan. The study on structure of space deployed antenna[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2005, 21(5):30-34.
- [5] Thomson M W. The astromesh deployable reflector. Antenna and propagation society[J]. IEEE International Symposium, 1999(3):1516-1519.
- [6] 张亚辉, 林家浩. 结构动力学基础[M]. 大连:大连理工大学出版社, 2011.

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，一直致力和专注于微波、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>