

基于不均匀超介质的宽带高增益天线研究

曹卫平, 彭黎黎, 李思敏, 宁丹

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 提出了一种由双层不均匀频率选择性表面(FSS)结构组成的领结型高增益天线, 对其进行了仿真分析。结果显示该天线在不加外匹配网络情况下, $|S_{11}| \leq -6$ dB 的阻抗带宽可达到 72%, 同时有很好的辐射方向图。与均匀频率选择性表面组成的天线相比较, 该不均匀性天线带宽为均匀频率选择性表面组成的天线的 1.5 倍, 并且仍然保持低轮廓。这种特性适用于点对点弱信号通信。

关键词: 领结型天线; 不均匀频率选择性表面; 高增益; 匹配网络

中图分类号: TN82

文献标识码: A

文章编号: 1001-2028 (2012) 05-0050-03

Study of a broadband and high-gain antenna based on non-uniform metamaterial

CAO Weiping, PENG Lili, LI Simin, NING Dan

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, Guangxi Zhuangzu Zizhiqu, China)

Abstract: A high gain bowtie antenna consisting of double layers non-uniform frequency selective surface (FSS) was proposed and analyzed by simulation. Results show that 72% of the impedance bandwidth of the antenna for $|S_{11}| \leq -6$ dB can be obtained without additional matching network, and the well-behaved radiation patterns are displayed. Compared with the uniform one, the bandwidth of the antenna increases 1.5 times, which keeps a low profile. It is suitable to use in point-to-point weak signal communication.

Key words: bowtie antenna; non-uniform frequency selective surface; high gain; matching network

超介质是由前苏联科学家 Veselago^[1]在 1968 年提出的。由于其具有负介电常数和负磁导率, 因而在工程和物理领域引起了广泛关注。目前, 超介质的应用已延伸至微波电路、MMIC 传输线和天线领域。在文献[2]中, 双层平面频率选择性表面 (Frequency Selective Surface, FSS) 也应用到了低频偶极子天线中。Riauka 等^[3]进一步研究了这项工作。他们的研究表明含 FSS 的偶极子天线是很好的平面高增益结构。

为了进一步改善增益和带宽, 基于法布里谐振 (FP) 天线, 笔者提出一种嵌入双层频率选择性表面结构的领结型定向天线, 并比较了均匀结构与不均匀结构对天线性能的影响, 具体研究了其高增益和带宽拓展的原因, 得到的结论是: 不均匀频率选

择性表面(FSS)天线比均匀结构的能获得更好带宽和增益, 适用于点对点弱信号环境。

1 设计原理

笔者提出的天线包含不均匀顶层频率选择性表面, 该天线具有法布里谐振腔和等离子频率特性。

1.1 法布里谐振腔理论

法布里谐振天线通常是由后接接地金属板的源辐射体和部分反射面 (PRS) 组成。当接地金属板与部分反射面的间距 (即为 FP 腔体的宽度) 为半波长的整数倍时, 同相反射回来的能量将显著加大辐射体的辐射。图 1 为基于全向辐射源的 FP 原理图, 图中给出 FP 腔体的宽度 D 及相邻金属条的间距 P_1 、 P_2 等的位置。

收稿日期: 2012-03-04 通讯作者: 曹卫平

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61071018)

作者简介: 曹卫平 (1971-), 男, 湖南南县人, 教授, 主要从事天线、微波电路、左手材料等研究, E-mail: weipingc@163.cn;
彭黎黎 (1983-), 女, 广西桂林人, 研究生, 研究方向为左手材料与天线, E-mail: 373849766@qq.com。

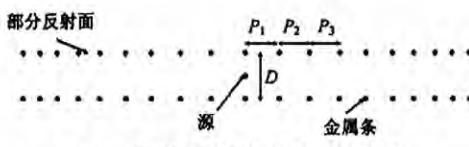


图1 内嵌全向辐射源的法布里谐振原理图
Fig.1 Principle graph of Fabry-Perot cavity embedded omni-directional radiation

腔体间距由法布里谐振腔原理可以得到。由文献[4]的法布里谐振腔谐振条件:

$$f_r = \frac{cp}{2D'}, \quad p = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

式中: f_r 为谐振频率的理论计算值; c 为光速; D' 为法布里谐振腔的理论计算值。 $p = 1$, $f_r = 1000$ MHz 时, 计算出 $D' = 150$ mm, 根据此理论计算值, 采用基于有限积分法的三维电磁场仿真软件 CST 2009 优化 D' , 得到最优谐振腔体宽度 $D = 140$ mm, 此时天线整体性能最好。

1.2 频率选择性表面理论分析

由频率选择性表面组成的超介质观点来定性分析带宽如何展宽。双层金属网格都是由横向和纵向的金属条独立组成的, 双层金属网格可作为频率选择表面。当由金属网格组成的频率选择表面在横向或纵向不均匀时, 不均匀金属网格导致不同区域的电荷密度不同, 不同电荷密度将导致等离子体频率 ω_p 不同, 由于设计的为定向天线, 故设计辐射方向的顶层频率选择表面为不均匀结构, 具体公式如下^[5]:

$$n_{\text{eff}} = \frac{1}{2}(n_{\text{eff1}} + n_{\text{eff2}}) = \frac{1}{2}(n \frac{\pi r^2}{a^2} + n \frac{\pi r^2}{b^2}) \quad (2)$$

$$m_{\text{eff}} = m_{\text{eff1}} + m_{\text{eff2}} = \frac{\mu \pi r^2 e^2 n}{2\pi} \ln \frac{a}{r} + \frac{\mu \pi r^2 e^2 n}{2\pi} \ln \frac{b}{r} \quad (3)$$

$$\omega_p^2 = \frac{n_{\text{eff}} e^2}{\epsilon_0 m_{\text{eff}}} = \left(\frac{c}{ab} \sqrt{\frac{\pi(a^2 + b^2)}{\ln \frac{a}{r} + \ln \frac{b}{r}}} \right)^2 \quad (4)$$

$$f_p = \frac{c}{2\pi ab} \sqrt{\frac{\pi(a^2 + b^2)}{\ln \frac{a}{r} + \ln \frac{b}{r}}} \quad (5)$$

式中: n 为电子浓度; n_{eff} 为等效电子总浓度; n_{eff1} 为等效横向金属条电子浓度; n_{eff2} 为等效纵向金属条电子浓度; m 为电子质量; m_{eff} 为等效电子总质量; m_{eff1} 为等效横向金属条电子质量; m_{eff2} 为等效纵向金属条电子质量; a 为横向晶格常数; b 为纵向晶格常数; c 为真空中光速; e 为电子的电荷数; r 为金属条的半径。由公式(5)得知, 当其他参数固定时, a 的不同取值对应不同的等离子体频率 f_p , 基于参差调谐拓展带宽法, 当这些对应的不同等离子体频率 f_p 彼此相邻足够近, 便可扩展带宽。

2 表面设计

基于均匀性频率选择表面组成的法布里谐振天线在文献[2]中已经讨论过。为获得更宽带宽和更高增益, 笔者提出由不均匀顶层组成的频率选择表面结构。

与均匀结构类似, 底层和顶层金属网格作为法布里谐振腔的两个平板, 领结型偶极子为全向辐射源嵌入在腔体中心处。

考虑到源电流与感应电流的方向, 设计沿横向方向不均匀的顶层为不均匀频率选择表面。领结型天线嵌入顶层和底层频率选择表面之间, 结构如图2所示, 这两层频率选择表面沿 z 轴方向都是均匀对称, 底层频率选择表面沿 x 轴方向也是均匀对称的, 但顶层频率选择表面沿 x 轴方向是不均匀对称的。

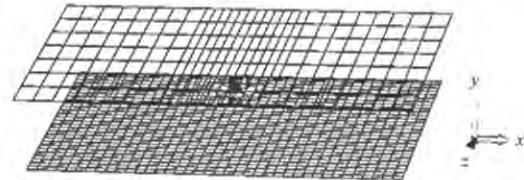


图2 双层FSS组成的领结型天线结构 (顶层为不均匀对称), $D = 140$ mm, 天顶角度为 90°
Fig.2 The structure of the bowtie antenna with double-layer FSS (the top is non-uniform) and $D = 140$ mm, the zenith angle is 90°

2.1 带宽和增益分析

为简化结构和简单有效定量分析带宽展宽原因, 可先分析沿 x 轴方向的金属条阵列 (图1)。

相邻金属条阵列的间距如表1所示, 且源辐射体左右两边的金属条阵列对称。当 $b = 100$ mm, $r = 1$ mm, 由公式(5)可得出不同 a 取值对应的等离子体频率: $f_{p1} = 1381$ MHz, $f_{p2} = 729$ MHz, $f_{p3} = 648$ MHz。

其中 a 的不同取值可由表1得到:

$$a_1 = P_1 = \dots = P_6 = 22.60 \text{ mm} \quad (6)$$

$$a_2 = P_7 = \dots = P_{11} = 43.75 \text{ mm} \quad (7)$$

$$a_3 = P_{12} = \dots = P_{14} = 50.00 \text{ mm} \quad (8)$$

表1 沿 x 轴方向不均匀顶层频率选择表面的相邻金属条间距

Tab.1 Distances between the adjacent metal rods in the non-uniform PRS on the right side of x -axis direction mm

间距编号	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
间距	22.60	22.60	22.60	22.60	22.60	22.60	43.75
间距编号	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
间距	43.75	43.75	43.75	43.75	50.00	50.00	50.00

当金属网格谐振在这三个等离子频率附近时, 由于这三个频率相邻比较靠近, 因而形成一个较大的带宽, 以此来实现带宽展宽。

图3为采用软件HFSS仿真得到不均匀频率选择表面的 ϵ_{eff} 的频响曲线。当 $f = 0.73 \sim 1.00$ GHz 时, 其等效介电常数 $\epsilon_{\text{eff}} \leq 0$, 也就是说, 当工作在一定的

频率范围时, 顶层频率选择表面表现为超介质。由于超介质的负折射指数特性, 由斯涅尔定律可知, 出射顶层频率选择表面的射线都近似平行法向方向, 从而获得高增益。

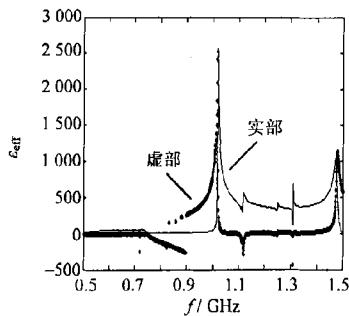


图 3 不均匀频率选择表面的 ϵ_{eff} 频响曲线
Fig.3 Frequency response curve of non-uniform FSS

再从另一角度来分析带宽展宽的原因。如图 2 所示, 顶层金属网格不均匀性表现为沿 x 轴方向的一个范围内越来越密集。根据文献[7], 对于均匀结构的每个单元, 全透射发生有如下公式:

$$a \frac{f}{c} = 1 - 0.41 \left(\frac{\delta}{a} \right) \quad (9)$$

式中: $\delta = \frac{a - c}{2}$; c 仍为真空中光速; a 仍为横向常数。对多数实际的平板而言, 有 $\frac{\delta}{a} \leq 0.3$, 全透射发生在当横向常数 a 略小于一个波长处, 数学关系式为:

$$a \approx \lambda = \frac{c}{f} \quad (10)$$

式中: f 为工作频率。然而, 对于不均匀结构, 横向常数则变化为不同的等效间距, 其取值分别为: $a_1 = 22.60 \text{ mm}$, $a_2 = 43.75 \text{ mm}$, $a_3 = 50.00 \text{ mm}$, 故公式(9)和公式(10)的修正式为:

$$Ka \frac{f}{c} = 1 - 0.41 \left(\frac{\delta}{a} \right) \quad (11)$$

$$a \approx \frac{\lambda}{K} = \frac{c}{Kf} \quad (12)$$

式中: K 为修正系数, 此设计中, $K=8$ 。将公式(11)代入公式(12)得到相应的频率: $f_1 = 1659 \text{ MHz}$, $f_2 = 875 \text{ MHz}$, $f_3 = 750 \text{ MHz}$ 。

对于不均匀结构, 从公式(12)可得, a 与 f 成反比, 三个相邻 a 值 (a_1 , a_2 , a_3) 对应三个不同 f (f_1 , f_2 , f_3), 当这三个谐振频率无限靠近时, 则会形成一个较宽的带宽, 也就是说, 带宽得以拓宽。结果如图 4 所示, 原理类似于对数周期天线的带宽拓展原理。

2.2 仿真结果

图 4 所示为均匀频率选择表面和不均匀频率选择表面的 -6 dB 带宽仿真曲线, 分别为 600 MHz 和 900 MHz。表 2 为仿真得到的均匀频率选择表面增益 G_1 和不均匀频率选择表面的领结型天线的增益 G_2 比较, 可看出不均匀频率选择表面天线有更宽的增益带宽 Δf 。

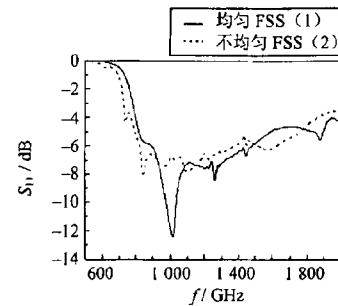


图 4 均匀频率选择表面和不均匀频率选择表面的领结型天线的 S_{11} 曲线
Fig.4 S_{11} curves of bowtie antennas with uniform FSS and non-uniform FSS

表 2 两种类型天线的增益比较
Tab.2 The gain of the two type antennas

$\Delta f / \text{MHz}$	750	800	850	900	950	1 000
G_1 / dBi	9.2	12.6	12.2	14.1	13.5	9.8
G_2 / dBi	13.7	12.8	12.1	13.7	12.3	10.3

图 5 所示为均匀频率选择表面和不均匀频率选择表面两种领结型天线结构的方向图, 可见, 不均匀结构的方向图更好。

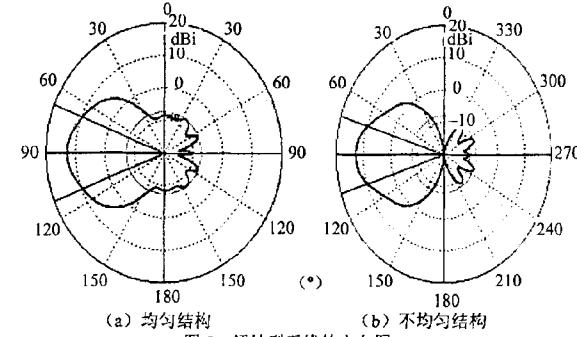


图 5 领结型天线的方向图
Fig.5 The radiation patterns of bowtie antennas

3 结论

本文研究了基于不均匀频率选择表面的低频宽带领结型天线, 带宽内天线的平均增益达到 12.5 dBi , 相比于均匀结构天线平均增益增加了 0.6 dBi , 并且不均匀结构天线的增益更稳定。

在带宽方面, 不均匀结构天线带宽可达到 900 MHz, 是均匀结构的 1.5 倍, 比均匀结构带宽增加了 300 MHz, 相对带宽达到了 72%。由此可见, 采用不均匀结构, 天线能获得更高增益和更宽带宽。这些特性使得所提出的不均匀结构天线适用于点对点的弱信号环境中。

- [9] CAO X Y, XIE L L, WANG R J. A soft chemistry synthetic method for preparing $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ with enhanced electrochemical performances [J]. *J Solid State Electrochem*, 2011, 15: 473-478.
- [10] ZHU C Q, YANG C H, YANG W D, et al. Preparation and electrochemical characterization of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode material by a modified sol-gel method [J]. *J Appl Electrochem*, 2010, 40: 1665-1670.
- [11] OH H S, WOON T J. Electrochemical characterization of high-performance $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode material for rechargeable lithium batteries [J]. *J Power Sources*, 2005, 140: 145-150.
- [12] WANG C W, MA X L, ZHOU L Q, et al. Study on the rapid synthesis of $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$ cathode material for lithium secondary battery [J]. *Electrochim Acta*, 2007, 52: 3022-3027.
- [13] WANG C W, MA X L, CHENG J G, et al. Effects of Ca doping on the electrochemical properties of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode material [J]. *Solid State Ionics*, 2006, 177: 1027-1031.
- [14] XIANG J F, CHANG C X, ZHANG F, et al. Effects of Mg doping on the electrochemical properties of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode material [J]. *J Alloy Compd*, 2009, 475: 483-487.
- [15] FEY G T K, CHEN J G, SUBRAMANIAN V, et al. Preparation and electrochemical properties of Zn-doped $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ [J]. *J Power Sources*, 2002, 112: 384-394.
- [16] KIM W S, CHUNG K I, CHOI Y K, et al. Synthesis and charge-discharge properties of $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{M}_y\text{O}_2$ ($\text{M} = \text{Al, Ga}$) compounds [J]. *J Power Sources*, 2003, 115: 101-109.
- [17] JU S H, KIM J H, KANG Y C. Electrochemical properties of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.1$) cathode particles prepared by spray pyrolysis from the spray solutions with and without organic additives [J]. *Met Mater Int*, 2010, 16: 299-303.
- [18] TANG H W, ZHAO F H, CHANG Z R, et al. Synthesis and electrochemical properties of high density $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2-x}\text{Ti}_x\text{O}_2$ for lithium batteries [J]. *J Electroch Soc*, 2009, 256: A478-A482.
- [19] LI L J, LI X H, WANG Z X, et al. Synthesis of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ cathode material by chloride co-precipitation method [J]. *Trans Nonferrous Met Soc Chin*, 2010, 20: S279-S282.
- [20] JU S H, KANG Y C. Fine-sized $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Mn}_{0.05}\text{O}_2$ cathode particles prepared by spray pyrolysis from the polymeric precursor solutions [J]. *Ceram Int*, 2009, 35: 1633-1639.
- [21] SIVAPRAKASH S, MAJUMDER S B. Understanding the role of Zr^{4+} cation in improving the cycle-ability of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Zr}_{0.05}\text{O}_2$ cathodes for Li ion rechargeable batteries [J]. *J Alloy Compd*, 2009, 479: 561-568.
- [22] CHOWDARI B V R, SUBBA RAO G V. Cathodic behavior of (Co, Ti, Mg)-doped LiNiO_2 [J]. *Solid State Ionics*, 2001, 140: 55-62.
- [23] FEY G T K, CHEN J G. Electroanalytical and thermal stability studies of multi-doped lithium nickel cobalt oxides [J]. *J Power Sources*, 2003, 119/120/121: 658-663.
- [24] ZENG Y W, HE J H. Surface structure investigation of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ by AlPO_4 coating and using functional electrolyte [J]. *J Power Sources*, 2009, 189: 519-521.
- [25] HU G R, DENG X R, PENG D Z, et al. Comparison of AlPO_4 - and $\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$ -coated $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode materials for Li-ion battery [J]. *Electrochim Acta*, 2008, 53: 2567-2573.
- [26] XIANG J F, CHANG C X, YUAN L J, et al. A simple and effective strategy to synthesize Al_2O_3 -coated $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ cathode materials for lithium ion battery [J]. *Electrochim Commun*, 2008, 10: 1360-1363.
- [27] CHUNG Y M, RYU S H, JU J H, et al. A surfactant-based method for carbon coating of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ cathode in Li-ion batteries [J]. *Bull Korean Chem Soc*, 2010, 31: 2304-2308.

(编辑: 邓学敏)

(上接第 52 页)

参考文献:

- [1] VESELAGO V G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ [J]. *Sov Phys Usp*, 1968(10): 509-514.
- [2] YIANNIS J V, SEAGER R D. Metamaterial based antennas with super-and substrates [J]. *IEEE Trans Antennas Propagation*, 2009: 2862-2866.
- [3] RIAUKA N, CHAURAYA A, VARDAXOGLOU J C. Compact antenna integrated into flat plate FSS [J]. *IEEE APS*, 2008: 1-4.

- [4] ZHOU L, LI H, QIN Y, et al. Directive emissions from subwavelength metamaterial-based cavities [J]. *Appl Phys Lett*, 2005, 86: 1-3.
- [5] PENDRY J B, HOLDEN A J, ROBBINS D J, et al. Low frequency plasmas in thin-wire structures [J]. *Phys Condens Matter*, 1998, 10: 4785-4809.
- [6] TSAO C H, CHERN J L. Field propagation of a metallic grid slab that acts as a metamaterial [J]. *Phys Lett A*, 2006, 353(2/3): 171-178.
- [7] LEE S W, ZARRILLO G, LAW C L. Simple formulas for transmission through periodic metal grids or plates [J]. *Antenna Propagation IEEE Trans*, 1982(5): 904-909.
- [8] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995: 11-26.

(编辑: 陈渝生)

(上接第 62 页)

- [3] EVELOY V, GANESAN S, FUKUDA Y, et al. Are you ready for lead-free electronics [J]. *IEEE Trans Compon Packg Technol*, 2005, 28(4): 884-894.
- [4] SUNDELIN J J, NURMI S T, LEPISTO T K, et al. Mechanical and microstructural properties of SnAgCu solder joints [J]. *Mater Sci Eng A*, 2006, 420(1/2): 55-62.
- [5] HUANG B, DASGUPTA A, LEE N C. Effect of SnAgCu composition on soldering performance [J]. *Soldering Surf Mt Technol*, 2005, 17(3): 9-19.
- [6] LEE N C. Optimizing the reflow profile via defect mechanism analysis [J]. *Soldering Surf Mt Technol*, 1999, 11(1): 13-20.

- [7] O'HARA W B, LEE N C. Voiding mechanism in BGA assembly [J]. *Int J Microcircuits Electron Packg*, 1996, 19(3): 190-198.
- [8] MEI Y H, LIU S. Investigation to pop corning mechanisms for IC plastic packages: defect initiation [J]. *Am Soc Meet Eng, EEP*, 1995, 11: 85-97.
- [9] FAN S H, CHAN Y C, LAI J K L. Open defects in PBGA assembly solder joints [J]. *J Electron Packg Trans ASME*, 2003, 125(1): 157-161.
- [10] 颜毅林. 基于表面张力作用的 MEMS 自组装及其精度控制技术研究 [D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2008.
- [11] 路佳. 几种 SMT 焊接缺陷及其解决措施 [J]. *电子工艺技术*, 2000(5): 201-203.

(编辑: 陈渝生)

欢迎购买《无铅焊料及焊接技术专刊》

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>