

响,得出了通道互耦可能成为一种有利于分集的乐观因素的结论。通道互耦增大了两正交天线接收信号间的相关性,但可能有利于改善平均接收功率差异,这对于高分集增益的获取既有利又有弊,如果相关性与平均功率差异二者适当折中,通道互耦就可能提高分集性能:对于无耗对称通道,在两耦合系数均大于0.2且交叉极化鉴别度大于5dB的条件下,通道互耦提高了分集增益;对于一般并行通道,在交叉极化鉴别度等于5dB时,在强信号通道对弱信号通道的互耦系数大于0.5且弱信号通道对强信号通道的互耦系数小于0.6的条件下,通道互耦提高了分集增益,随着交叉极化鉴别度增大,通道互耦的利大于弊的条件变得更松。另外,对于通道互耦的等效分析、校正与补偿等问题,请参考本文的后续研究工作。

参考文献

- [1] W. C. Lee and Y. S. Yeh, Polarization diversity system for mobile radio, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM - 20, no. 5, 1972, pp. 912 - 923.
- [2] D. C. Cox, Antenna diversity performance in mitigating the effects of portable radio telephone orientation and multipath propagation, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM - 31, 1983, pp. 620 - 628.
- [3] S. Kozono, H. Tsuruhara and M. Sakamoto, Base station polarization diversity reception for mobile radio, *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, vol. VT - 33, no. 4, 1984, pp. 301 - 306.
- [4] R. G. Vaughan, Polarization diversity in mobile communications, *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 39, no. 3, 1990, pp. 177 - 186.
- [5] A. M. D. Turkmani, A. A. Awojolu, P. A. Jefford and C. J. Kellett, An experimental evaluation of the performance of two - branch space and polarization diversity schemes at 1800 MHz, *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 44, no. 2, 1995, pp. 318 - 326.
- [6] Carl B. Dietrich, Jr., Kai Dietze, J. Randall Nealy and Warren L. Stutzman, Spatial, Polarization, and Pattern diversity for wireless handheld terminals, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 9, 2001, pp. 1271 - 1281.
- [7] I. J. Gupta and A. K. Ksieinski, Effect of mutual coupling on the performance of adaptive arrays, *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. AP - 31, no. 5, 1983, pp. 785 - 791.
- [8] R. Janaswamy, Effect of Element mutual coupling on the capacity of fixed length linear arrays, *IEEE Antennas and Wireless prop. Lett.*, vol. 1, 2002, pp. 157 - 160.
- [9] P. N. Fletcher, M. Dean and A. R. Nix, Mutual coupling in multi - element array antennas and its influence on MIMO channel capacity, *Electro. Lett.*, vol. 39, no. 4, 2003, pp. 342 - 344.
- [10] Xin. Li and Zaiping. Nie, Effect of mutual coupling on performance of MIMO wireless channels, In Proc: 4th Inter. Conf. Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMWT)'04, pp. 150 - 153, Beijing, China, 2004.
- [11] Xin. Li and Zaiping. Nie, Effect of array orientation on performance of MIMO wireless channels, In Proc: Progress in electromagnetics research symposium (PIERS)'04, pp. 375, Nanjing, China, 2004.

正交极化天线分集系统中通道互耦的一种等效关系 *

李 忻¹, 聂在平²

电子科技大学电子工程学院, 成都, 610054

¹Y99LX@yahoo.com.cn, ²Zpnie@uestc.edu.cn

摘要:在采用网络理论分析正交极化天线分集系统中通道互耦的基础上,给出通道互耦对两分集支路的相关系数与平均接收功率差异的影响,提出该通道互耦的一种等效关系,即通道互耦等效为两天线分别偏离其初始位置一复角度。在该等效关系下,若互耦系数与传输系数为实数,等效的偏转角就是实数,且相关性与两天线偏离垂直面的等效角度无关;若两天线偏离垂直面的等效角度相等,则相关性和平均接收功率比值与该等效偏转角无关。该等效关系将通道互耦与两极化天线的角度偏差联系起来,有助于理解通道互耦。

关键词:等效关系;极化天线分集;通道互耦;相关性;交叉极化鉴别度

*国家863计划资助项目(No.2002AA123032)

¹作者简介:李忻(1975-),男,博士生,主要从事新一代无线通信技术以及新型天线与分集技术的研究。

An equivalent relation of channel coupling in the orthogonal polarization antenna diversity system

Li Xin¹, Nie Zaiping²

College of Electr. Engineering, Univ. of Electr. Science and Techn. of China, Chengdu, 610054

¹Y99LX@yahoo.com.cn, ²zpnie@uestc.edu.cn

Abstract: An equivalent relation of channel coupling, which states that channel coupling is equivalent to each antenna deviating a complex angle from its original position, is proposed, based on the analysis of channel coupling in two – branch orthogonal polarization antenna diversity system by applying a network theory framework. The effects of channel coupling on both the correlation and the mean power difference between two branches are also presented. For this equivalent relation, if the channel coupling and transmission coefficients are real, the equivalent deviation angles are also real and the correlation is independent of the deviation angles from the vertical plane; further more, If the deviation angles from the vertical plane are equal, both the correlation and the mean power ratio are independent of the angles. This equivalent relation bridges channel coupling and antenna deviation angles, and results in more easy understanding of channel coupling.

Keywords: an equivalent relation; polarization antenna diversity; channel coupling; correlation; cross-polar discrimination (XPD)

1. 引言

多天线空间分集技术已广泛应用于无线通信系统^[1~5],其较大的天线单元间距是限制分集支路数目的实际因素,因为大间距增大了整个天线系统,且各支路的平均接收功率差异增大,而小间距导致天线单元间的相关性较高,均不利于分集。由于同址放置的极化天线分集具有与空间分集相当的分集性能,且可以减小极化失配影响^[2~6],因此,用于移动通信的双极化天线分集引起了广泛的研究兴趣^[2~6]。先前的研究主要集中在两极化分集天线支之间的相关性与平均功率差异^[1~6],以及天线单元间的互耦影响^[7~10]等方面,很少研究分集系统接收机通道间的互耦(或通道串扰)影响,以及将通道互耦与两极化天线的位置偏差联系起来。但在实际工程中,特别是在多人多出(MIMO)^[10]接收机中,包含射频与中频的各接收通道一般具有相似的设计形式而集成在一起,其通道间的互耦影响在所难免,且分集天线的位置偏差也客观存在。本文采用网络理论分析正交极化天线分集系统中的通道互耦,推导出通道互耦对两分集支路的相关系数与平均功率差异的影响,提出该通道互耦的一种等效关系,将通道互耦与两极化天线的角度偏差联系起来,有助于分析与理解通道互耦的影响。

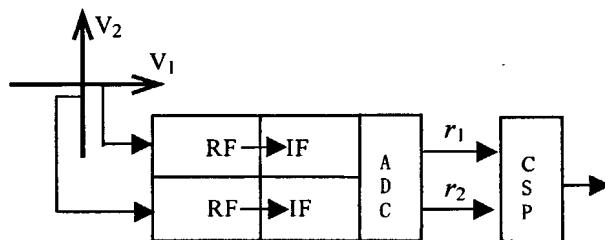


图 1 正交双极化天线分集接收系统

2. 通道互耦分析

典型的双支正交极化天线分集系统如图 1 所示,两天线 V_1 与 V_2 同址正交放置, V_1 水平极化, V_2 垂直极化。两天线的接收信号分别经过各自的射频(RF)与中频(IF)接收通道以及模数转换模块(ADC)后,进行合并信号处理(CSP),形成处理后的信号输出。通常假定两接收通道间的隔离足够高,而忽略互耦影响。实际上,通道间的互耦是客观存在的。

若不计通道间的互耦影响,两正交天线单元 V_1 与 V_2 接收的信号经接收通道后可表示为

$$r_i = A_i \cos(\phi_i), i = 1, 2 \quad (1)$$

根据文献[3~4]的假定, r_1 与 r_2 是不相关的零均值复高斯随机变量,服从 Rayleigh 分布, ϕ_1 与 ϕ_2 服从独立均匀分布,天线单元 V_1 与 V_2 间没有相互耦合。 r_1 与 r_2 之间的相关系数与平均功率差异已在文献[3~4]中推导出。

假定通道 1 与通道 2 之间的(电压)耦合系数为 c_{12} 与 c_{21} ,它们分别量化通道 2 到通道 1 与通道 1 到通道 2 的互耦;通道的传输系数分别为 c_{11} 与 c_{22} ,它们分别量化各通道自身的传输能力。根据网络理论,在计及通道互耦后的输出信号 r_1 与 r_2 可修正为

$$r_{1c} = c_{11}r_1 + c_{12}r_2 \quad (2)$$

$$r_{2c} = c_{21}r_1 + c_{22}r_2 \quad (3)$$

直观地,在计及接收通道互耦后,两接收信号间的相关性可能增大。类似文献[3~4]中关于相关系数的推导,在考虑到通道互耦后两接收信号间的相关系数可表示为

$$\rho_{r_{1c}r_{2c}} = \langle (r_{1c} - \langle r_{1c} \rangle)(r_{2c} - \langle r_{2c} \rangle)^* \rangle / [\langle |r_{1c} - \langle r_{1c} \rangle|^2 \rangle \langle |r_{2c} - \langle r_{2c} \rangle|^2 \rangle]^{-1/2} \quad (4)$$

式中, $\langle \cdot \rangle$ 表示总体平均,* 代表复共轭。将(2~3)代入式(4)并化简得

$$\begin{aligned} \rho_{r_{1c}r_{2c}} &= (c_{11}c_{21}^* \langle |r_1|^2 \rangle + c_{12}c_{22}^* \langle |r_2|^2 \rangle) / [(\langle |c_{11}|^2 \rangle \langle |r_1|^2 \rangle + \langle |c_{12}|^2 \rangle \langle |r_2|^2 \rangle) \\ &\quad (\langle |c_{21}|^2 \rangle \langle |r_1|^2 \rangle + \langle |c_{22}|^2 \rangle \langle |r_2|^2 \rangle)]^{-1/2} \end{aligned} \quad (5)$$

若令交叉极化鉴别度(即 XPD, 垂直天线与水平天线接收的平均信号功率之比)为

$$\Gamma = \langle |r_2|^2 \rangle / \langle |r_1|^2 \rangle \quad (6)$$

将式(6)代入式(5)得

$$\rho_{r_{1c}r_{2c}} = (c_{11}c_{21}^* + c_{12}c_{22}^* \Gamma) / (\langle |c_{11}|^2 + |c_{12}|^2 \Gamma \rangle)^{-1/2} \cdot (\langle |c_{21}|^2 + |c_{22}|^2 \Gamma \rangle)^{-1/2} \quad (7)$$

式(7)给出了在计及通道耦合后两信号间的相关系数的解析表达式,它表明:通道互耦使两正交极化天线接收的信号变相关了,其相关系数由通道耦合系数与 Γ 共同决定,它随 Γ 与互耦系数增大。

在计及接收通道互耦影响后,两支路信号的平均功率电平比为

$$L = \langle |r_{2c}|^2 \rangle / \langle |r_{1c}|^2 \rangle \quad (8)$$

将式(2~3)与式(6)代入式(8)化简得

$$L = (\langle |c_{21}|^2 + |c_{22}|^2 \Gamma \rangle) / (\langle |c_{11}|^2 + |c_{12}|^2 \Gamma \rangle)^{-1} \quad (9)$$

式(9)表明,通道间的互耦改变了两支路信号的平均接收功率比。在实际系统中,通道互耦系数小于传输系数,即 $|c_{12}| < |c_{21}|$ 与 $|c_{21}| < |c_{11}|$ 。为此,可作讨论:若 $c_{12} = c_{21} = 0$, $L \approx \Gamma$;若 $c_{21} = 0$ 且 $c_{12} \neq 0$, $L < \Gamma$;若 $c_{12} = 0$ 且 $c_{21} \neq 0$, $L > \Gamma$ 。这表明,通道互耦可能改善也可能恶化接收信号的平均功率差异,它取决于通道耦合系数、传输系数与 XPD。

以上分析表明,通道互耦增大了两正交天线接收信号间的相关性,但可能有利于改善平均接收功率差异。然而,高分集增益的获取是以相关性低与平均功率差异小^[4~6]为前提的,因此,对于提高分集增益而言,通道互耦既有利又有弊,如果相关性与平均功率差异二者适当折中,通道互耦就可能提高分集性能。以最大比合并为例,将本文式(7)与式(9)代入文献[5]中的拟合公式(5),即可得到分集增益与交叉极化鉴别度和互耦系数的经验关系。数值结果表明:对于无耗对称通道,在耦合系数均大于 0.2 且 $\Gamma > 5\text{dB}$ 的条件下,计及通道互耦后的分集增益更大;对于一般通道,在 $\Gamma = 5\text{dB}$ 时,若 $|c_{12}| > 0.5$ 且 $|c_{12}| < 0.6$,计及通道互耦后的分集增益更大,且 Γ 越大,该条件变得越松。

3. 通道互耦与天线角度偏差的等效关系

对于图 1 的双支正交极化分集系统,由于实际限制,位于 xoy 面内的两正交天线单元 V_1 与 V_2 偏离了其初始位置: V_1 偏转到 V_{1d} ,它与 xoy 面成 β_1 角,在 xoy 面的投影 OP_1 偏离 x 轴 θ_1 角; V_2 偏转到 V_{2d} ,它与 xoy 面成 β_2 角,在 xoy 面的投影 OP_2 与 y 轴成 θ_2 角,如图 2 所示。若不计通道互耦,两天线单元 V_{1d} 与 V_{2d} 接收的信号可分别表示为

$$r_{1d} = r_1 \cos \theta_1 \cos \beta_1 + r_2 \sin \theta_1 \cos \beta_1 \quad (10)$$

$$r_{2d} = r_1 \cos \theta_2 \cos \beta_2 + r_2 \cos \theta_2 \cos \beta_2 \quad (11)$$

比较式(3-4)与式(10-11)可知,若二者等效,须满足:

$$\begin{cases} r_{1c} = r_{1d} \text{ (i)} \\ r_{2c} = r_{2d} \end{cases} \quad (12)$$

若满足式(12)中式(i),即有

$$\begin{cases} c_{11} = \cos \beta_1 \cos \theta_1; c_{12} = \cos \beta_1 \sin \theta_1 \\ c_{21} = -\cos \beta_2 \sin \theta_2; c_{22} = \cos \beta_2 \cos \theta_2 \end{cases} \quad (13)$$

若满足式(12)中式(ii),即有

$$\begin{cases} c_{11} = -\cos \beta_2 \sin \theta_2; c_{12} = \cos \beta_2 \cos \theta_2 \\ c_{21} = \cos \beta_1 \cos \theta_1; c_{22} = \cos \beta_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad (14)$$

这表明,对于双支水平与垂直正交极化分集系统,天线单元角度偏差等效于在通道间引入了互耦,其互耦系数与传输系数为式(13)或(14)所示,它们均为实数。若天线单元无角度偏差,则互耦系数为0,传输系数为1,则只有式(13)满足。以式(13)为例,给出一些数值结果见表1。

表1 通道互耦与天线单元角度偏差的等效关系

θ_1	θ_2	β_1	β_2	c_{11}	c_{21}	c_{12}	c_{22}
1	1	1	1	0.5382	-0.4985	0.4985	0.5382
5	5	5	5	0.6868	-0.4638	0.4638	0.6868
10	10	10	10	0.1396	-0.3465	0.3465	0.1396
20	20	20	20	0.5197	0.4996	-0.4996	0.5197
30	30	30	30	0.8321	-0.3738	0.3738	0.8321
45	45	0	0	-0.5918	-0.8061	0.8061	-0.5918

反之,通道互耦也可以等效为天线单元的角度偏差。实际上, $\theta_1, \theta_2 \in [0, \pi/2]$, $\beta_1, \beta_2 \in [-\pi/2, \pi/2]$ 。对于式(12)中式(i),求解方程(13)即得该等效关系下的天线角度差参数

$$\begin{cases} \theta_1 = \arctan(c_{12}/c_{11}); \theta_2 = -\arctan(c_{21}/c_{22}) \\ \beta_1 = \pm \arccos(\sqrt{c_{11}^2 + c_{12}^2}); \beta_2 = \pm \arccos(\sqrt{c_{21}^2 + c_{22}^2}) \end{cases} \quad (15)$$

对于式(12)中式(ii),求解方程(14)即得该等效关系下的天线角度偏差参数

$$\begin{cases} \theta_1 = \arctan(c_{22}/c_{21}); \theta_2 = -\arctan(c_{11}/c_{12}) \\ \beta_1 = \pm \arccos(\sqrt{c_{21}^2 + c_{22}^2}); \beta_2 = \pm \arccos(\sqrt{c_{11}^2 + c_{12}^2}) \end{cases} \quad (15)$$

通常,互耦系数与传输系数是复数,故所求出的四个等效角度偏差参数也是复数。以 θ_1 为例,不妨令 $\theta_1 = \theta_{1x} + j\theta_{1y}$,其中, θ_{1x} 与 θ_{1y} 均为实数,再以 $\sin(\theta_1)$ 为例,它可写为如下指数形式

$$\begin{aligned} \sin(\theta_1) &= \alpha_{\theta_1} e^{j\tilde{\theta}_1} \\ \alpha_{\theta_1} &= [(\sin \theta_{1x} \cos h \theta_{1y})^2 + (\cos \theta_{1x} \sin h \theta_{1y})^2]^{1/2} \\ \tilde{\theta}_1 &= \arctan(\cos \theta_{1x} \sin h \theta_{1y} / \sin \theta_{1x} \cosh \theta_{1y}) \end{aligned} \quad (17)$$

这表明,天线偏转一复角度等效于对接收信号附加一实幅度与相位因子。也可将式(17)写作

$$\begin{aligned} \sin(\theta_1) &= \sin(\theta_1) e^{j\tilde{\theta}_1} \\ (\tilde{\theta}_1) &= \arcsin\{[(\sin \theta_{1x} \cos h \theta_{1y})^2 + (\cos \theta_{1x} \sin h \theta_{1y})^2]^{1/2}\} \\ (\tilde{\theta}_1) &= \arcsin(\cos \theta_{1x} \sin h \theta_{1y} / \sin \theta_{1x} \cosh \theta_{1y}) \end{aligned} \quad (18)$$

这表明,天线单元偏转一复角度等效于其偏转一新的实角度且其接收信号被附加一相位因子。

在该等效关系下,将式(13)代入式(7,9)即得天线等效偏转后的信号相关性与平均功率比为

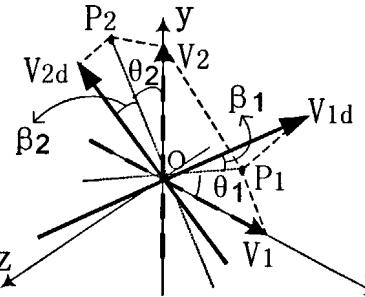


图2 双支正交极化天线角度偏离示意图

$$\rho_{r_1 r_2 c} = (\cos \beta_1 \cos^* \beta_2) |\cos \beta_1 \cos \beta_2|^{-1} \cdot (\Gamma \sin \theta_1 \cos^* \theta_2 - \cos \theta_1 \sin^* \theta_2) \cdot (|\cos \theta_1|^2 + |\sin \theta_1|^2 \Gamma)^{-1/2} \cdot (|\sin \theta_2|^2 + |\cos \theta_2|^2 \Gamma)^{-1/2} \quad (19)$$

$$L = |\cos \beta_2 / \cos \beta_1|^2 \cdot (|\sin \theta_2|^2 + |\cos \theta_2|^2 \Gamma) \cdot (|\cos \theta_1|^2 + |\sin \theta_1|^2 \Gamma)^{-1} \quad (20)$$

两式表明,若等效转角 β_1 与 β_2 均为实数,则相关性与该等效转角参数无关;进一步,若 $\beta_1 = \pm \beta_2$,那么相关性与平均功率比均与该转角无关,这是由于该等效偏转对各自的平均功率贡献是等同的。

综上,正交极化天线分集系统中通道互耦可以等效为:两天线分别偏离其初始位置一复角度,即等效于天线单元偏转一实角度且其接收信号被附加一相位因子。在该等效关系下,若互耦系数与传输系数为实数,则该等效转角也是实数,并且相关性与两天线偏离垂直面的等效角度无关;若两天线偏离垂直面的等效角度相等,则相关性与平均功率比均与该转角无关。

4. 结论

本文采用网络理论分析了双极化天线分集系统中的通道互耦,给出了通道互耦对两分集支路的相关系数与平均接收功率比值的影响,指出通道互耦增大了信号间的相关性,但可能改善平均接收功率差异。接着,提出该通道互耦的一种等效关系,即通道互耦等效为两天线分别偏离其初始位置一复角度。分析表明,天线偏转一复角度等效于天线偏转一实角度且其接收信号被附加一相位因子。在该等效关系下,若互耦系数与传输系数为实数,等效的转角就是实数,并且相关性与两天线偏离垂直面的等效角度无关;若两天线偏离垂直面的等效角度相等,则相关性与平均功率比与该等效转角无关。该等效关系将通道互耦与两极化天线的角度偏差联系起来,有助于理解通道互耦。

参考文献

- [1] D. C. Cox, Antenna diversity performance in mitigating the effects of portable radio telephone orientation and multipath propagation, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM - 31, 1983, pp. 620 - 628.
- [2] W. C. Lee and Y. S. Yeh, Polarization diversity system for mobile radio. *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM - 20, no. 5, 1972, pp. 912 - 923.
- [3] S. Kozono, H. Tsuruhara and M. Sakamoto, Base station polarization diversity reception for mobile radio, *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, vol. VT - 33, no. 4, 1984, pp. 301 - 306.
- [4] R. G. Vaughan, Polarization diversity in mobile communications, *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 39, no. 3, 1990, pp. 177 - 186.
- [5] A. M. D. Turkmani, A. A. Awojobu, P. A. Jefford and C. J. Kellett, An experimental evaluation of the performance of two - branch space and polarization diversity schemes at 1800 MHz, *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 44, no. 2, 1995, pp. 318 - 326.
- [6] Carl B. Dietrich, Jr., Kai Dietze, J. Randall Nealy and Warren L. Stutzman, Spatial, Polarization, and Pattern diversity for wireless handheld terminals, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 9, 2001, pp. 1271 - 1281.
- [7] I. J. Gupta and A. K. Ksieinski, Effect of mutual coupling on the performance of adaptive arrays, *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. AP - 31, no. 5, 1983, pp. 785 - 791.
- [8] R. Janaswamy, Effect of Element mutual coupling on the capacity of fixed length linear arrays, *IEEE Antennas and Wireless prop. Lett.*, vol. 1, 2002, pp. 157 - 160.
- [9] P. N. Fletcher, M. Dean and A. R. Nix, Mutual coupling in multi - element array antennas and its influence on MIMO channel capacity, *Electro. Lett.*, vol. 39, no. 4, 2003, pp. 342 - 344.
- [10] Xin. Li and Zaiping. Nie, Effect of mutual coupling on performance of MIMO wireless channels, in Proc: 4th Inter. Conf. Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT) '04, pp. 150 - 153, Beijing, China, 2004.

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>