

有源相控阵天线在通信对抗中的应用

张建强 何小煜

(信息产业部电子第三十六研究所 嘉兴)

摘 要 介绍了有源相控阵天线基本组成及简单工作原理,根据其特点提出了有源相控阵天线在通信对抗装备的几种典型应用。说明有源相控阵天线在通信对抗领域具有广阔的应用前景。

关键词 通信对抗 相控阵天线

近年来,随着通信技术的不断发展,对通信对抗的要求越来越高。如超大功率干扰的要求,这是采用原来单个天线及单个大功率功放很难实现的。然而,采用有源相控阵天线技术体制的“空间功率合成”技术很好地解决了这一问题。不仅如此,除了用空间功率合成代替了单个固态功率功放外,作为天线阵列与计算机控制技术结合的产物,有源相控阵天线较之于单个天线具有许多“智能化”的优势。在通信对抗系统中科学、合理地加以应用,一定能得到非常好的效果。

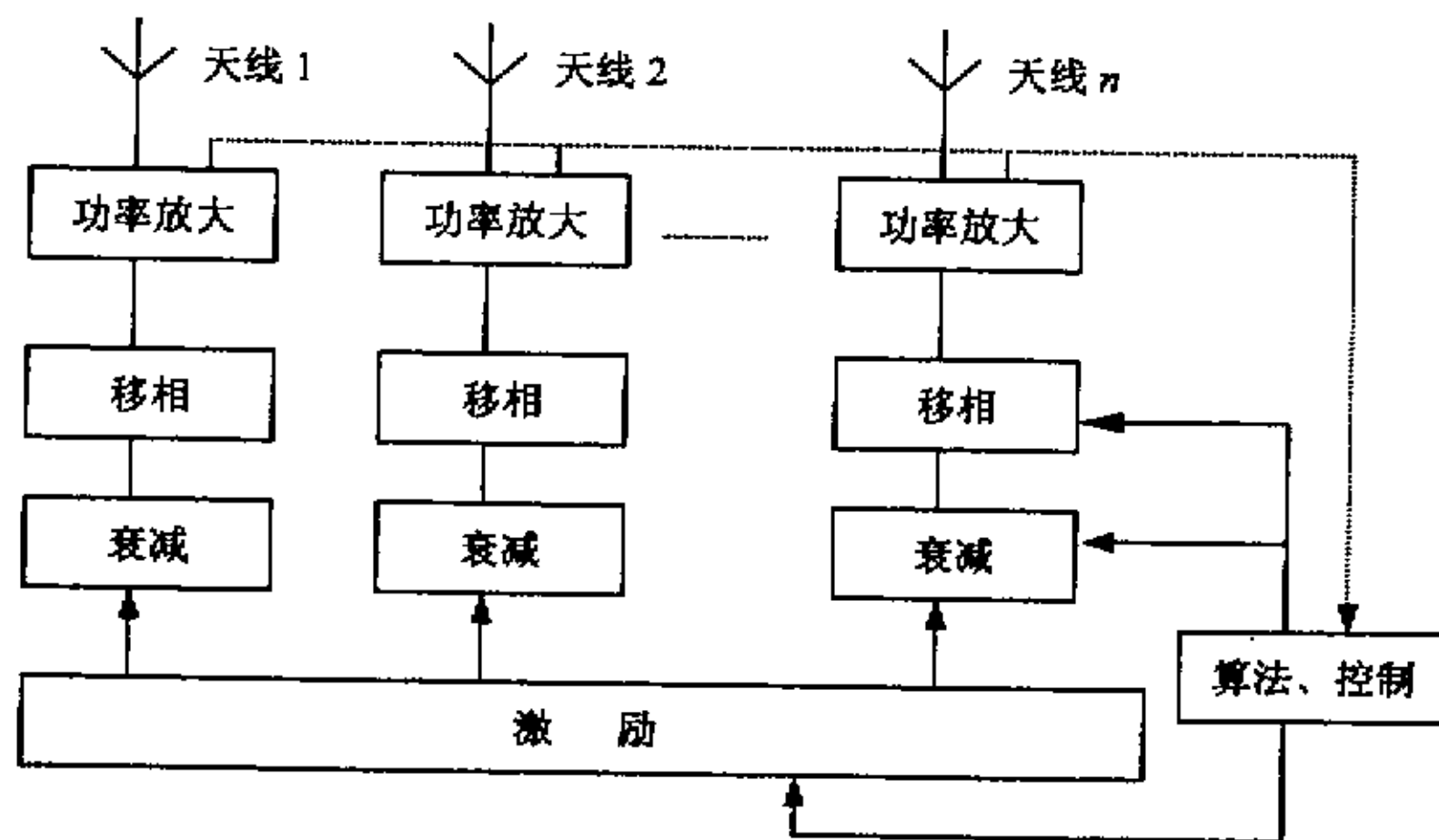


图1 有源相控阵天线基本组成图

1 有源相控阵天线基本组成

有源相控阵天线主要由天线阵、功放、数字移相器、数字衰减器、信号激励和相位幅度控制等组成。在通信对抗中,考虑到系统的特殊性,增加了实时相位补偿算法及控制的功能。由于该种相控阵天线的每个阵列支路都含有一个独立的功放即“有源”单元,所以

称为有源相控阵天线。

当阵列天线馈送的是同一频率的相干信号时,天线阵列的远区辐射场为:

$$F = \sum_{i=1}^N f_i(\theta, \rho) \cdot I_i \exp\left[\left(j \frac{2\pi}{\lambda} d_i \cos\theta\right) + \Delta\Phi_i\right] \quad (1)$$

式中: $I_i = A_i \cdot I$ —幅度加权值; $\Delta\Phi_i$ —每个支路馈源的移相角; A_i —幅度的加权值。

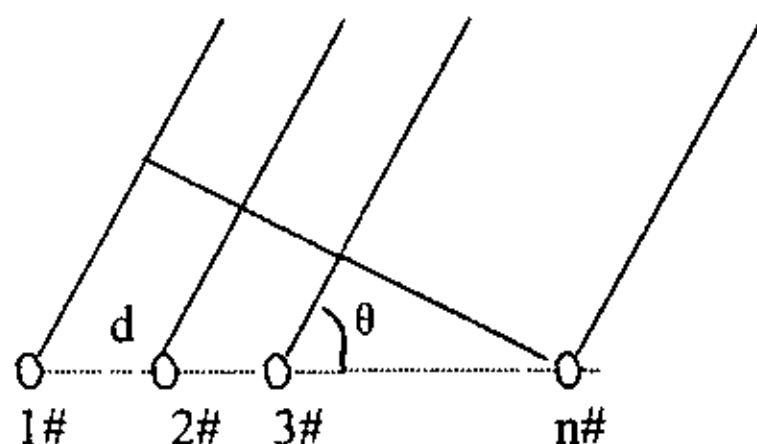


图2 辐射图

从式(1)中我们可以看到,通过控制 A_i 、 $\Delta\Phi_i$ 二个可变量,可以得到不同的辐射图 F ,以满足不同任务的需求。下面介绍几种应用。

1.1 应用1 空间功率合成

为了方便,考虑一个等幅均匀阵,即:

$$A_i = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$d_i = (i - 1) \cdot d \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

方程(1)为:

$$F = n \cdot f_i(\theta) \cdot I \exp\left[\left(j \frac{2\pi}{\lambda} d_i \cos\theta\right) + \Delta\phi_i\right] \quad (2)$$

为使合成的辐射功率在 θ 方向最大,需满足:

$$\exp\left[\left(j \frac{2\pi}{\lambda} d_i \cos\theta\right) + \Delta\phi_i\right] = 1$$

即:

$$\Delta\Phi_i + \frac{2\pi}{\lambda} d_i \cos\theta = 0, 2\pi, \dots$$

此时,天线阵增益:

$$G = n \cdot G_0(\theta) \cdot \eta$$

而有源阵的辐射功率为 $N \cdot P_i$

等效辐射功率:

$$ERP = n^2 G \cdot P_i \cdot \eta$$

对一个8单元的有源相控阵,如果: $P_i = 250\text{W}$, $G_i = 5$, $n = 8$, $\eta = 0.8$,则其等效辐射功率为: $ERP = 51200\text{W} = 51.2\text{ kW}$ 。这表明,通过空间功率合成,可用多个中等功率源实现超大功率干扰辐射。

1.2 应用2 移动平台的功率合成

在机载、舰载等移动平台的通信对抗系统中,载体的方位不断地变化,为达到全时干扰效果,通常利用全向辐射天线实现空间覆盖。如果能实现 360° 波束可控的定向干扰,则

干扰能力大大提高。采用有源相控阵天线就能很好地实现这一要求。

考虑 6 个单元圆周均匀分布的全向辐射天线图阵：

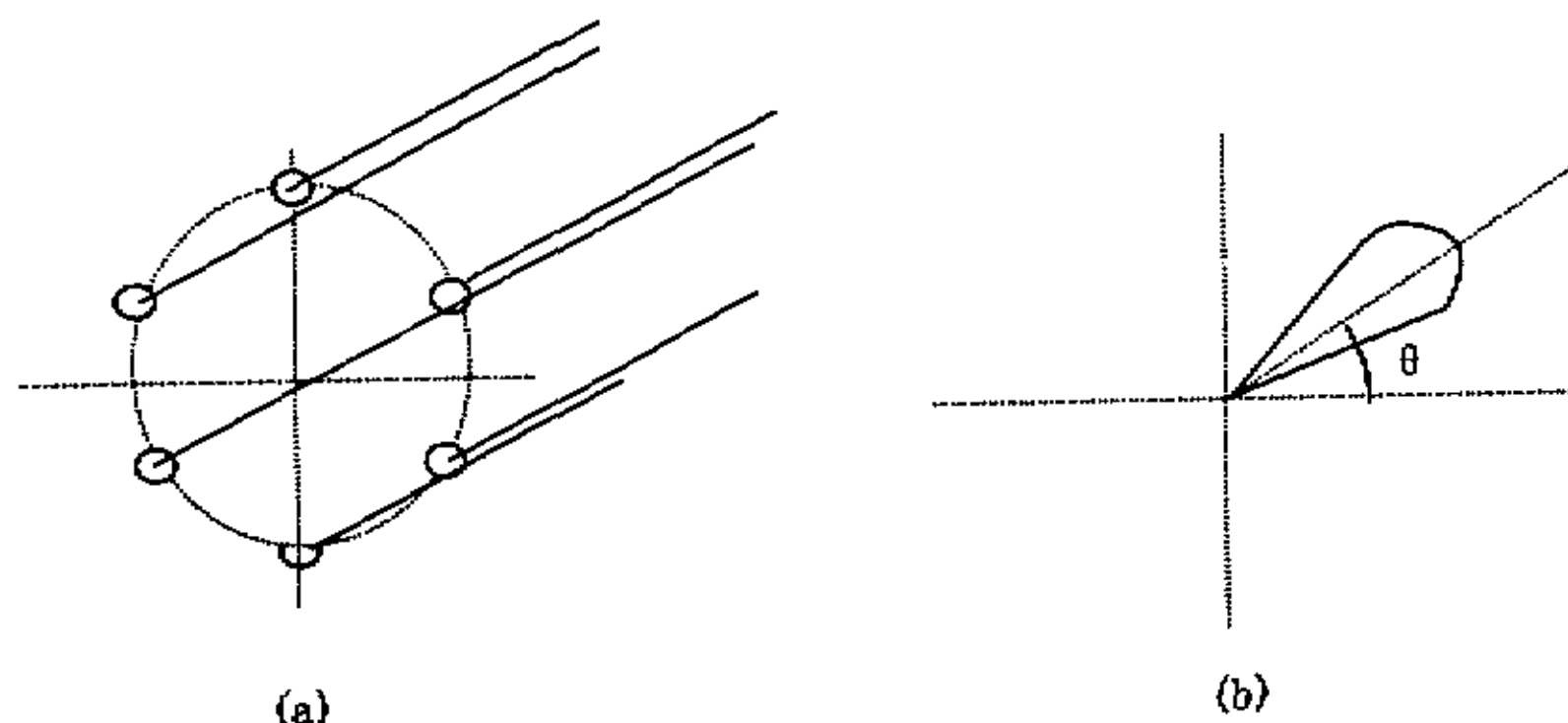


图 3 圆周天线分布及合成波束示意图

由方程(1),其合成波束:

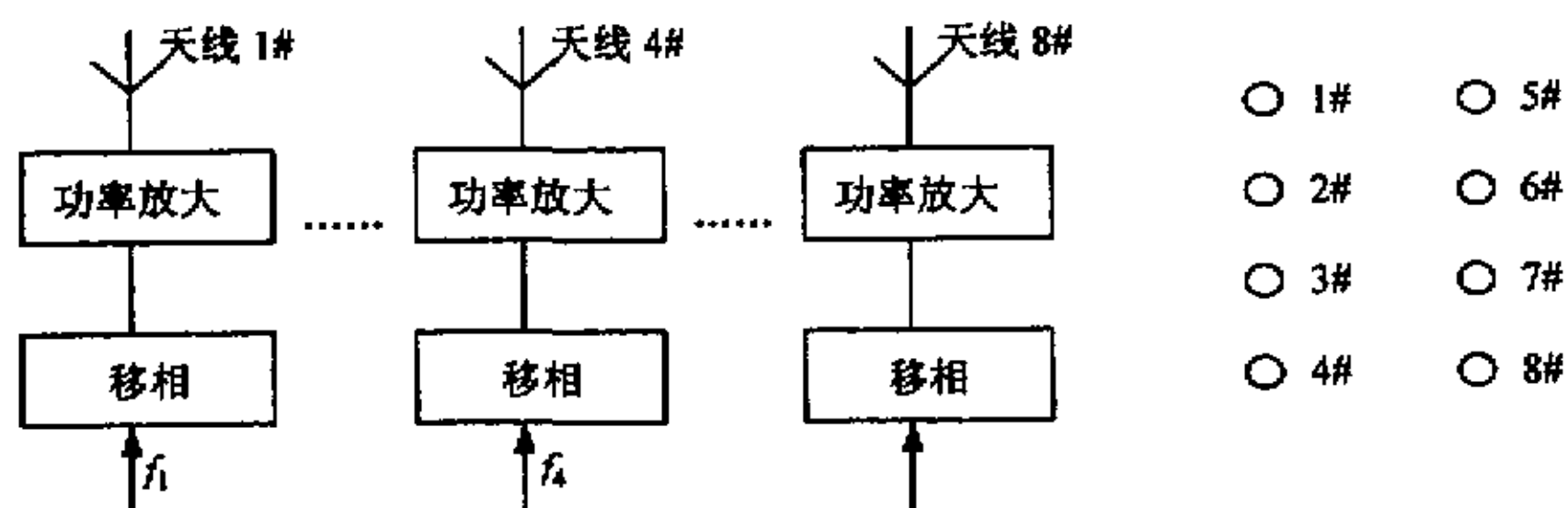
$$F = \sum_{i=1}^6 f_i(\theta, \varphi) \cdot I_i \exp\left[j \frac{2\pi}{\lambda} d_i \cos\theta + \Delta\Phi_i\right]$$

同样我们考虑各单元等幅馈电,优化选取 $\Delta\Phi_i$,可以得到如图 3(b)所示干扰波束图。一个 6 单元的合成系统可以很好地实现能量的定向辐射,不仅大大提高了干扰效率,也降低了对己方的干扰。由于天线单元及阵列排列采用的圆对称形式,因此波束的可控范围可以实现 $0 \sim 360^\circ$ 全向可调,达到全方位干扰的目的。实际上,有源相控阵天线的天线单元非规则分布时,同样可以实现上述任务,这一点对于实际使用时的天线安装带来很大的灵活性。

1.3 应用 3 多目标干扰

在通信干扰时,经常需要对多部不同频率电台实现多目标干扰。目前大多采用时分干扰和频分干扰二种体制。而采用有源相控阵天线的不同有源支路也可以作为一种可选方法。

对于如下图所示的系统:



假定一个 2×4 八个单元组成的有源相控阵系统,对 f_1, f_2, f_3, f_4 , 四个目标进行干扰。可以采用以下方法:

支路 1#、5# 干扰 f_1

2#、6# 干扰 f_2

3#、7#干扰 f_3

4#、8#干扰 f_4

对于单个频率(如 f_1)的干扰功率为:

$$ERP \approx 4 \times 5 \times 200 \times 0.8 = 3200 \text{ W} \quad (1/16)$$

实际上通常的时分、频分多目标干扰,只能用相同的干扰波束,对在不同方位的多个目标实行干扰。而采用有源相控阵系统则可以用不同的天线方向图实现不同频率、不同时间、在不同的方位进行定向干扰。如:

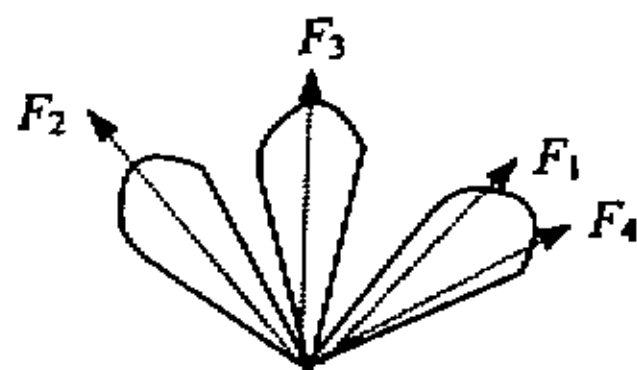


图4 不同方向多目标干扰示意图

1.4 应用4 二次空间功率合成

空间功率合成系统通常应用于超大功率干扰的场合,对于超大功率的要求组成有源相控阵单元较多。而通信对抗的工作频率低,工作波长长,组成庞大的有源相控阵天线是非常困难的。因此,可以采用模块化设计的中小功率合成系统,该系统可以单独使用,在必要时进行再组,实现二次空间功率合成。以二个 2×4 功率合成系统二次合成为例:

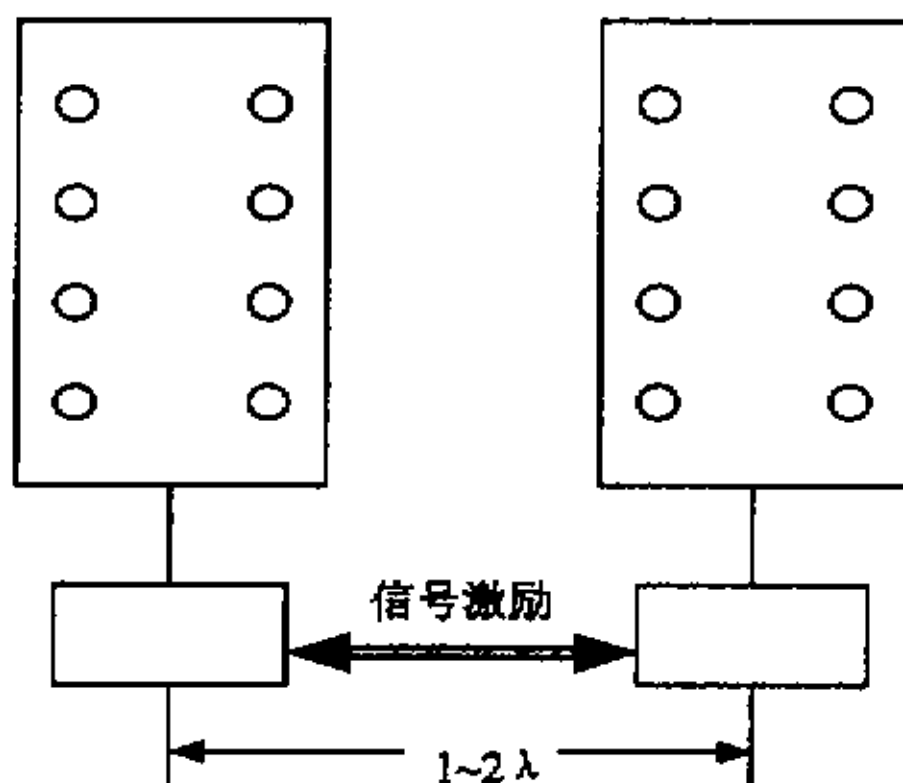


图5 二次空间功率合成示意

将每个 $ERP = 50 \text{ kW}$ 的两个系统平行排列间距 $1 \sim 2\lambda$, 将两个系统的激励部分进行同统一处理控制。得到此时阵列天线波束图:

此时等效辐射功率:

$$ERP \approx 2^2 \cdot (50 \text{ kW}) \cdot \eta \approx 150 \text{ kW}$$

采用这种方法,可使装备更加机动、灵活。

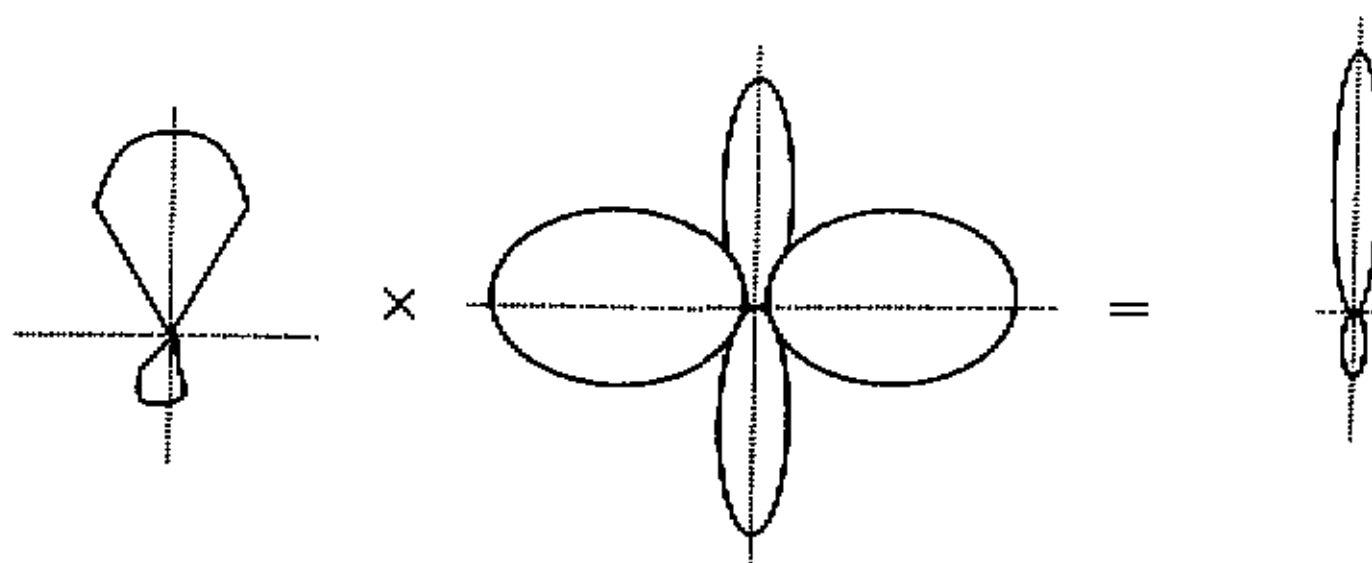


图6 干扰合成波束示意

2 结束语

有源相控阵天线是一项新的技术,还不是非常成熟。特别在通信对抗领域的研究和应用都刚刚起步,在理论研究和应用技术上都有许多问题要解决。

参考文献

- 1 谢处方等. 天线原理与设计
- 2 郭燕昌等. 相控阵和频率扫描天线原理

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>