

电气照明中的电磁兼容

汪永锡

1 引言

随着科学技术的不断发展，越来越多数字化、高速化的电气和电子设备被社会各个领域广泛使用，在推动社会发展的同时，伴随着电气和电子设备应用而产生的电磁骚扰问题也给社会带来了电磁污染。电磁污染与水污染、空气污染被称为当今社会的三大污染源。

电磁兼容是研究在有限的空间、时间和频谱资源下，各种设备或系统在电磁的环境下能正常工作的一门科学。电气照明所涉及到的技术领域和服务对象几乎包括了所有的用电的或电磁的设备。目前，包括欧共体、北美等越来越多的国家已把电磁兼容标准作为电气电子产品中必备的或产品性能的评价依据。我国在2003年8月1日开始执行的“CCC”强制性认证，也把电磁兼容标准作为评价依据。

本文将概括的介绍电磁兼容技术的基本概念，电气照明电磁兼容标准和技术的现状，使对电磁兼容技术感兴趣的照明行业工程技术人员有一个简明清晰而确切的初步了解。

2 电磁兼容基础

电磁兼容(EMC)中包括电磁干扰(EMI 干扰度)和电磁敏感度 (EMS 抗扰度) 两个方面。

电磁干扰产生有三个要素即：干扰源，干扰途径或媒体，干扰对象；三者缺一不可。

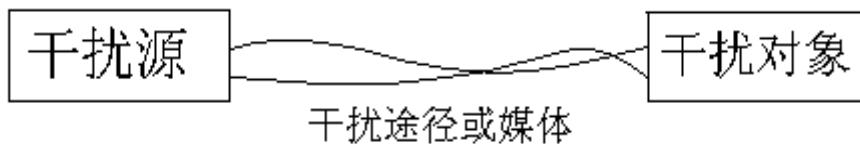


图 1

要符合电磁兼容性，三个要素只要消除或对其中一个要素采取有效措施，电磁干扰就不会发生。所以，只要设法减弱干扰源的发射电平，切断或隔离干扰途径或媒体，提高干扰对象的抗干扰能力就能解决电磁兼容的问题。

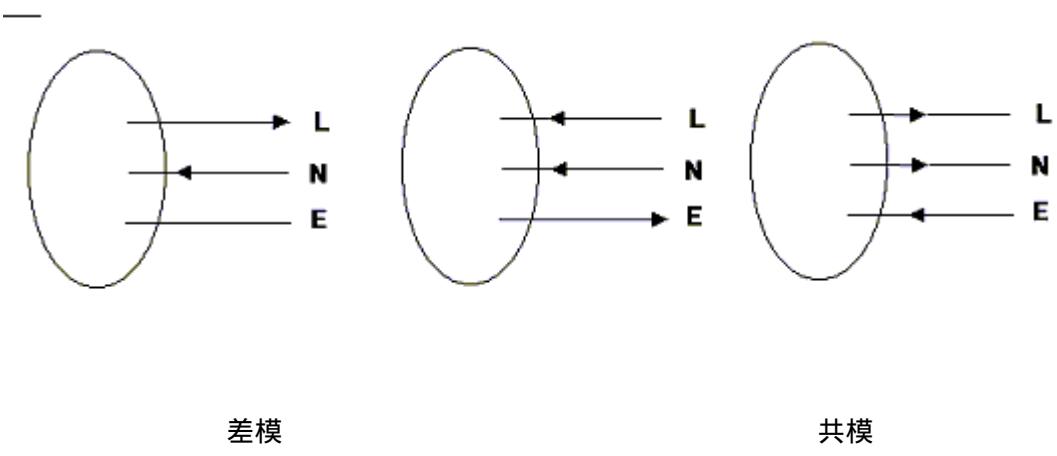
干扰源是产生干扰的电气或电子设备，干扰对象除了电气或电子设备系统外、还包括有生命的物质（包含人/宠物等）。干扰源和干扰对象的身份实际上是双重的，设备或系统在产生干扰的同时也在被其他设备所干扰。

干扰途径或媒体：主要有传导干扰和辐射干扰。

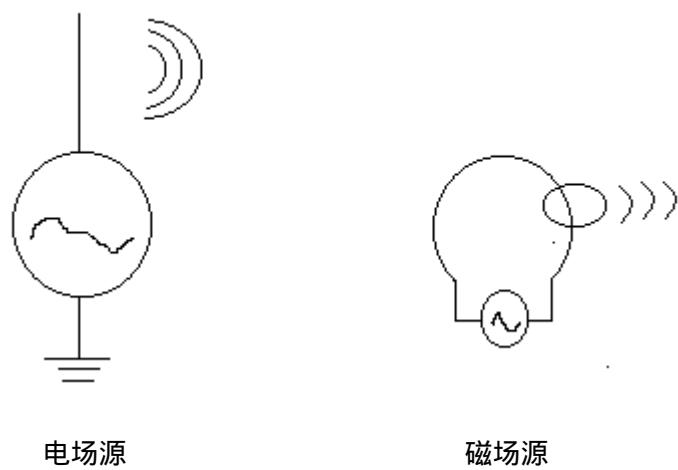
传导干扰顾名思义就是以电流的形式沿着导体的传输。

辐射干扰就是以电磁波的形式通过空间传播。

传导干扰可分共模和差模。



辐射干扰有电场源和磁场源。



冬 3

解决电磁兼容技术措施有三个：接地、屏蔽、滤波。

下面左侧的照片是测试插入损耗的布置,中间是测试传导骚扰 , 右侧是测试辐射骚扰的布置。



3 电气照明 EMC 标准现状

在电气照明领域内,由于科学技术的发展,电气照明从光源到电器部件都采用了目前世界上最新的技术。光源控制装置、电子镇流器、电子变压器、电子节能灯、无极灯,微波硫灯和新型的气体放电灯光源普遍使用而导致了电气照明的多样化,但随之也带来了对周围电磁环境的污染,如大量使用电源电流谐波含量

高的灯具会导致对电网的污染,大功率的高频电子元器件和霓虹灯会对周围用电器造成干扰,等等例子数不胜数。

为了保证电气照明和灯具在其电磁环境下能正常工作和有效防止其他用电器对电气照明和灯具正常工作的干扰,电气照明和灯具的电磁兼容性问题被提到议事日程上。国际电工委员会(IEC)下属国际无线电干扰特别委员会(CISPR),电气设备(包括网络)之间的电磁兼容性的技术委员会(TC77)和灯泡及其设备技术委员会(TC34)分别制定了相应电磁兼容标准电气照明

到目前为止,电气照明和灯具的四个 EMC 标准现全部转化为我国国家标准,EMI 标准三个;EMS 标准一个。

GB 17743-1999/ idt CISPR 15 :1996+A1:1997《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》,该标准由上海市照明灯具研究所负责起草;

GB 17625.1-2003/ idt IEC61000-3-2:2001《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值(设备每相电流 16A)》,该标准由武汉高压研究所负责起草;

GB17625.2-1999/ idt IEC61000-3-3:1994《电磁兼容 限值 对额定电流不大于 16A 的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁限制》,该标准由广州电器科学研究所、上海电动工具研究所负责起草;

GB/T18595-2001 / idt IEC61547:1995[一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求]由北京电光源研究所,飞利浦亚明照明有限公司负责起草;

GB/T18595-2001 主要引用了 GB17626 系列 (idt IEC61000-4 系列中) -2 ; -3 ; -4 ; -5 ; -6 ; -8 ; -11 七个抗扰度标准;

上述四个标准中用斜体字的就是在“3C”强制性认证中必须满足要求的标准。

4 电气照明 EMC 剖析

1) 骚扰源

电气照明的骚扰源主要有以下两种:

a 气体放电灯:荧光灯和 HID 灯

由于放电作用而形成的等离子体产生的电磁噪声,它的频谱范围在 0.1MHz ~ 10MHz,其中荧光灯为 0.3MHz ~ 3MHz;这类骚扰源是人为造成的无意骚扰源。

b 镇流器/变压器 :

镇流器/变压器等必须要发射电磁波的有意骚扰源是主要的。它包含电感和电子两大类,其中电子类解决的技术和手段比电感类复杂,引发的问题较多。

2) 解决方案

对于电感镇流器/变压器,由于它的原理和电气结构所决定,在谐波电流、插入损耗、传导干扰、和辐射骚扰方面都很容易解决,技术也很成熟。

电气照明对于带启动器启动的荧光灯灯具的电源端子传导干扰是用插入损耗这一指标来衡量的。荧光灯具在工作时产生的骚扰电平的一部分,通过灯具自身损耗而不反映到电源网络,即所谓的插入损耗。插入损耗越大越好。为什么要用插入损耗来衡量电源端子的传导骚扰呢?众所周知插入损耗是滤波器的一个非常重要的指标。从图 4 荧光灯稳态时的等效电路来看,镇流器和启动器内抗无线电干扰的电容不就是构成了 LC 滤波器吗?所以荧光灯本身发射的电磁波就是由 LC 滤波器来衰减的。

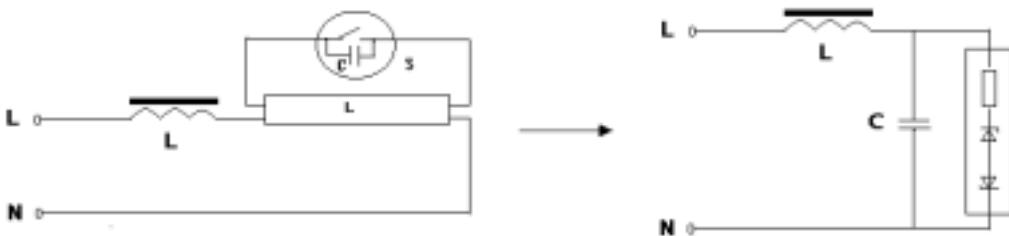


图 4 荧光灯稳态时的等效电路

实验证明装有合格的启动器插入损耗能符合要求的，2001 年在英国召开的 CISPR 年会上曾有国家提出要取消插入损耗的要求。

对于不使用启动器的荧光灯及 HID 灯镇流器如是阻抗型的，谐波和传导骚扰电压能符合要求，LC 串联谐振型只要 LC 参数匹配，谐波和传导骚扰电压也能符合要求。

对于电感镇流器/变压器由于工作频率不超过 100Hz，所以辐射骚扰没有要求。

对于电子镇流器/变压器来说情况就要比电感镇流器/变压器复杂的多了。

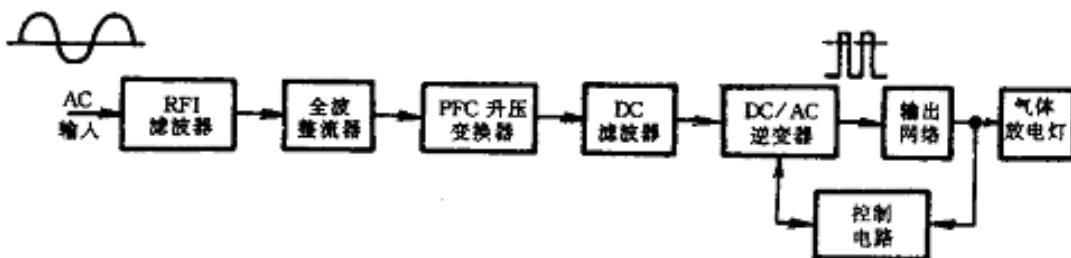


图 5 电子镇流器完整的电器原理方框图

首先电子镇流器从本质上来说是电源转换电路，目前主要采用是开关电源技术，开关电源技术的频谱范围为 0.5MHz ~ 25MHz。电子镇流器将输入的电源电流进行频率、波形和幅度方面的改变，给灯提供符合要求的能源。所以电磁兼容三个方面的指标：谐波、传导骚扰和辐射骚扰必须满足。下面就这三个指标简叙如下：

首先，电子镇流器/变压器的工作频率到底在什么范围比较恰当呢？从电磁兼容角度来看控制在 25kHz ~ 35kHz 为好。原因有三，第一，气体放电灯的光通量随着工作频率的提高而提高，但是到了 35kHz 以上随着工作频率的提高而光通量提高甚微；见图 6。

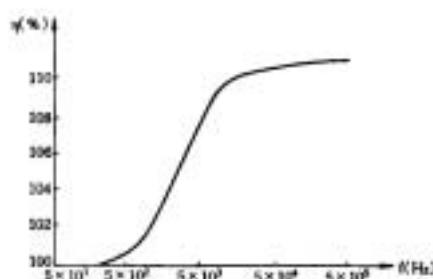


图 6 荧光灯光效随频率变化曲线图

第二，工作频率的提高对电子元器件的高频参数提出更高的要求；第三，EMC 技术要求更高。

谐波：电源电流谐波产生的原因是由于电子镇流器需要从电源中得到直流电压，得到直流电压的方法就是使用全桥整流和直流储存电容。这样的电路，只有在电源电压超过直流电容上的电压时，才从电源中吸收电流。这种技术将导致电源电流波形畸变，这种畸变像传导干扰一样会对电网造成污染必须加以控制，见图 7。

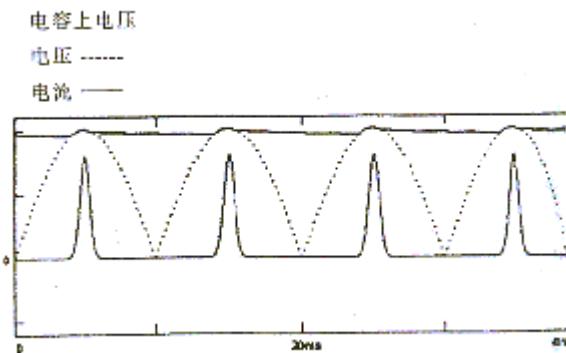


图 7 电容器电压、整流电压、电流波形

解决谐波方法就是在线路上采用功率因数校正电路简称 PFC（英文 Power Factor Correction）电路。PFC 电路的基本功能就是增大整流二极管的导通角，抑制电源电流的波形畸变，提高线路功率因数。

PFC 技术分无源 PFC（Passive PFC）和有源 PFC（Active PFC），二者差异就是有源 PFC 使用了具有放大作用的有源元件。国内大量使用的是无源 PFC 电路。目前在解决谐波电流技术方面，国内在技术上是很成熟的。

辐射骚扰：电子镇流器中主要的发射源是电路中流动的电流。元件内部互相连通的行为就像小天线。当电流通过通道时就会发射电场，经过脉冲变压器时就会形成磁场，这种辐射骚扰通常与较高的频率有关。一般可以用不同的屏蔽技术加以解决。目前电子镇流器的工作频率基本上为 20kHz ~ 50kHz 范围内，大部分为 25kHz ~ 35kHz，少量工作频率超过 50kHz。由于电子镇流器的工作频率不是很高，高频功率不是很大，只要 PCB 板设计合理；电子元器件选用合适，排列正确；脉冲变压器磁芯质量可靠，辐射骚扰应该没有问题的，到目前为止，荧光灯灯具辐射骚扰电压没有过关的几乎没有。

传导骚扰：传导骚扰属于低频现象，电子镇流器的传导骚扰主要是有以下几个部分组成的；第一，通过电路不同部分的晶体管开关电流；第二，IC 电路中的逻辑信号；第三，逆变器工作时产生的干扰。由以上构成的传导骚扰的特点是电压幅度高而频率低，很难消除。因此电子镇流器要装电源滤波器。

上面已谈到传导干扰分为共模干扰和差模干扰两种形式，所以有必要要考虑两种模式的差异。

图 8 是一个典型的滤波器，它同时抑制了共模和差模两种传导干扰。这个滤波器包含共模电感 L1，接在中性线和相线之间的电容 Cx1 和 Cx2，接在相线与地线、中性线与地线之间的电容 Cy。

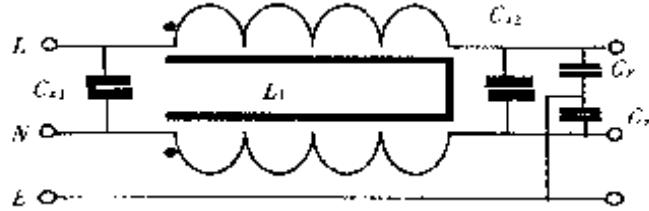


图 8

其中电感 L_1 (又称共模电感) 是由相同的导线直径、相同的匝数、相同的方向绕在同一个高磁导率的磁芯上组成。对于共模信号，按同名端参考，一个绕组流入干扰电流时，另一个绕组也以相同的方向流入干扰电流，因此在两个线圈磁芯中产生的磁力线因方向相同而增加，其结果对于共模信号，等效电感量增加；对于差模信号，一个绕组流入干扰电流时，另一个绕组同时以相反的方向流出干扰电流，则两个绕组中的磁力线大小相同方向相反在铁芯中相互抵消，电感量几乎为零。因此这种结构的滤波器能有效的抑制共模干扰，而对于差模干扰，特别是低频信号作用比较小。 L_1 的典型值在 $1\text{mH} \sim 10\text{mH}$ ，以便共模干扰信号从 C_y 电容流到地线。

这种滤波器的差模干扰是被 L_1 的泄漏感抗及电容 C_{x1} 和 C_{x2} 衰减的。 C_{x1} 和 C_{x2} 的电容量大于 C_y 电容量，所以 C_y 对差模的信号衰减作用比较小。

由于增加电感 L_1 的泄漏感抗会降低磁芯的饱和电流，因此利用电感 L_1 的线路感抗是有限的，对差模的干扰信号的衰减增加可以通过第二个电感 L_2 (又称差模电感) 来实现，见图 9。

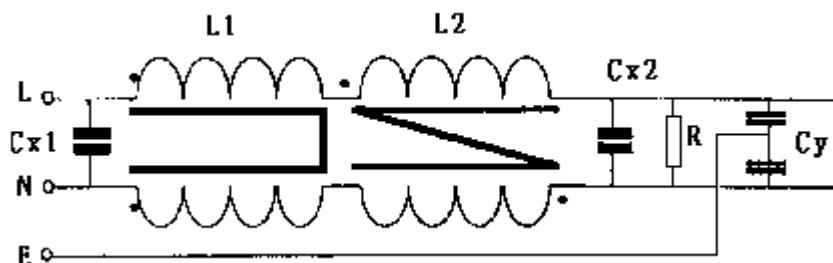


图 9

L_2 是结构相互独立的普通电感线圈， L_2 和 C_x 电容组成了典型的 π 型滤波器。这种滤波器对干扰信号的衰减量取决于 L_2 的电感量、 C_x 的电容量和干扰信号的频率。这种滤波器不仅能抑制差模信号，也能等量抑制共模信号。但是，由于 L_2 工作在 50Hz ，工作电流比较大，因此 L_2 的电感量受到限制。如果电流太大容易磁饱和。因此这种结构的电感主要是用来抑制频率较低的传导干扰信号。

值得关注的是，由于电感量更多的受到所能允许的物理尺寸的限制，而电容量则不仅受物理尺寸限制，而且受到安全的限制。滤波器中的电容要连续承受电源电压的作用，因此出于安全的目的应该使用 X 级和 Y 级的电容，必要时如图 8 中增加放电电阻。图 7 和图 8 中 C_x 和 C_y 已经表明是采用了 X 和 Y 级电容。另外在故障条件下，可能有相当数量的电流会通过 C_y 电容，因此对 C_y 电容的容量有必要加以限制。

关于这部分内容可参阅 IEC60479《人体电流效应》；IEC60984 - 14《抑制电

磁干扰和电源网络连接用固定电容器》。

电子镇流器/变压器除了要对滤波器关注外,对其他的一些技术措施也应重视,例:线路结构、印刷线路板合理设计、元器件排列、元器件的质量等。关于这方面的内容可参阅相关资料。

灯具:使用气体放电灯或镇流器/变压器或两者的组合的灯具都应符合电磁兼容性的要求,一般的来说只要镇流器/变压器能满足标准的要求,那么在谐波和辐射骚扰也就能同时满足标准的要求。但是对于带有电子镇流器/变压器的灯具的传导骚扰有可能不能满足标准的要求,这主要是耦合效应和分布效应所决定的。在实践中,电子镇流器/变压器的负载接线绝不能与电源线捆扎在一起,而应与电源线保持一定的距离。下面两张照片是负载线和电源线整改前后的两种情况。



5 结束语

从 60 年代 IEC 正式提出 EMC 以来的四十余年,随着时代进步,科学发展,特别是 90 年代以来国内外电磁兼容技术的研究发展,标准的不断更新,尤其是我国强制性“3C”认证全面开展以来,电气照明的电磁兼容领域进入了一个新的阶段。目前 CISPR15 最新版本已发展到 CISPR15:2000+A1:2001+A2:2002。其中不仅在产品类型方面较老标准有所增加,而且传导骚扰电压从原先的负载和控制端子一起考核,修改为分别考核。任重而道远,我们应面对现实,与时俱进,从照明大国走向照明强国。

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

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，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 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。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



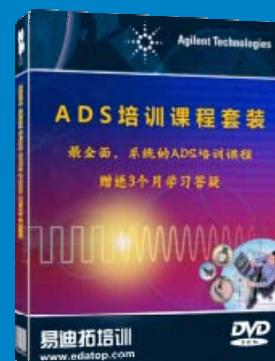
射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…



课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出，是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装，所有课程都由经验丰富的专家授课，视频教学，可以帮助您从零开始，全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装，还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



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，可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线，让天线设计不再难…

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

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验，
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授，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>