

doi:10.3969/j.issn.1001-2400.2013.02.026

小型宽带 GIS 局放检测内置天线设计

郭宏福¹, 许彩祥¹, 唐金锋¹, 付咪¹, 白丽娜²

(1. 西安电子科技大学 理学院, 陕西 西安 710071;
2. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 针对用于气体绝缘封闭式组合电器(GIS)局部放电超高频检测天线应具有宽频带、高增益、小尺寸的性能要求, 基于对称振子天线阻抗与带宽关系, 对天线振子结构变形演变, 设计了一种新型的异型椭圆平面内置天线. 采用 HFSS 仿真软件对天线结构尺寸参数进行优化分析, 选取一组最优参数, 制作了天线实物. 实测结果为: 天线尺寸为 90 mm×45 mm 时, 实测频带为 781 MHz~2.00 GHz, 驻波比小于 2.5, 天线最大增益为 3.55 dB. 仿真和实测结果吻合. 放电试验验证该天线满足局部放电超高频检测的要求.

关键词: 宽带内置天线; HFSS; 超高频(UHF); GIS; 局部放电

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2013)02-0159-05

Design of a miniature broadband internal antenna for PD detection in GIS

GUO Hongfu¹, XU Caixiang¹, TANG Jinfeng¹, FU Mi¹, BAI Li'na²

(1. School of Science, Xidian Univ., Xi'an 710071, China;
2. School of Mechano-electronic Engineering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: According to the analysis of the relationship between the impedance and bandwidth of the dipole antenna, a novel elliptical plane internal antenna feeding by a coaxial line is presented. It consists of an elliptical monopole and a rectangular grounding piece and has the virtues of broad band, high gain and small size. The antenna can be used for ultrahigh frequency (UHF) partial discharge (PD) detection in the gas-insulated switchgear (GIS). The size is achieved by using the simulation software Ansoft HFSS and the optimum size of total antenna is 90 mm×45 mm. A prototype is constructed and studied, and then measured. The antenna covers a large band from 781 MHz to 2.00 GHz, with the VSWR less than 2.5 and a max gain of 3.55 dB. Simulated and tested results are in good agreement and the radiation pattern and gain characteristics are given.

Key Words: broadband internal antenna; HFSS; UHF; GIS; partial discharge

气体绝缘封闭式组合电器(GIS)设备在长期运行过程中, 由于缺陷、绝缘老化等原因可能造成电力设备局部放电, 放电除了产生一些光谱信号外^[1], 还可以向周围辐射 300 MHz~3 GHz 的超高频信号, 因此可以采用超高频(UHF, 0.3~3 GHz)天线进行局部放电检测^[2]. 超高频(UHF)法与其他局部放电检测方法相比, 具有信噪比高、可对放电源初步定位、有效排除干扰信号、可带电测量等优点^[3-4], 其有效性得到 CIGRE 联合工作组的一致认同. 同时 UHF 检测中内置天线较外置天线灵敏度高、抗干扰能力强^[5]. 目前, 用于 GIS 局部放电检测的超高频内置天线主要存在尺寸和带宽的问题. 本文设计的天线利用单极子天线阻抗与带宽关系, 实现天线的小型化和宽带化, 很好地解决了超高频天线的尺寸和带宽问题, 同时也为同种内置天线的设计提供了一种简单实用的设计方法.

目前, 用于局放检测的典型内置天线有西安交通大学邱毓昌研究的平板天线和锥形天线, 频带为 0.2~

收稿日期: 2012-04-27

网络出版时间: 2012-11-16

基金项目: 陕西省科技攻关资助项目(2011K06-44); 榆林市校地合作资助项目(55)

作者简介: 郭宏福(1964—), 男, 高级工程师, E-mail: hfguo@xidian.edu.cn.

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1076.TN.20121116.0924.201302.197.016.html>

0.4 GHz 和 2.45~2.65 GHz^[6]; 重庆大学孙才新、唐炬等人研制的圆板和圆环天线^[7], 频带在 0.6~1.5 GHz 附近; 日本的 Hitachi 公司研制的半圆板偶极子和二次元对数周期型天线^[8], 频带范围为 0.6~1.3 GHz; 汉阳大学 Kim, Wang 等人制作的胖偶极子和对数周期天线^[9], 频带范围为 1~1.5 GHz. 另外, 西安电子科技大学^[10]、清华大学^[8]、上海交通大学^[4]、华北电力大学^[11]等在局部放电超高频检测方面做出了很大的贡献. 这些研究成果在 UHF 局放检测内置天线设计方面有着重要的指导意义. 考虑 UHF 局放信号的主要能量分布在 0.5~3 GHz 范围内, 设计一宽带天线具有重要的意义. 超宽频带局部放电检测技术具有测量频率高、频带宽、信息量大等优点, 可以较全面地研究局部放电的本质特征, 为后续的局放信号的分析、判断、类型识别提供较完整的局放信息, 有利于局放 UHF 检测技术的发展.

本文基于对单极子天线阻抗与带宽关系的分析, 提出一种通过改变天线单极子面积大小, 形成异型小型宽带内置天线的设计方法. 天线由一矩形接地片和椭圆金属片组成, 采用同轴馈电结构, 利用 HFSS 进行天线尺寸优化, 获得了较理想的设计结果, 在天线尺寸为 90 mm×45 mm 时, 天线实测频带为 781 MHz~2.00 GHz, 驻波比小于 2.5, 最大增益为 3.55 dB. 和现有局放测试中使用的内置天线相比, 该天线频带宽, 尺寸小, 成本低, 易加工, 因此具有一定的实用价值.

1 设计原理

根据镜像原理, 长为 h 的单极子天线的阻抗特性类似于自由空间的对称振子的阻抗特性. 输入阻抗可以利用传输线法来分析^[12].

根据传输线理论, 长为 h 的有耗传输线输入阻抗为

$$Z_{in} = Z_c \frac{\text{sh}(2\beta h) - (\beta/\alpha) \sin(2\alpha h)}{\text{ch}(2\beta h) - \cos(2\alpha h)} - j Z_c \frac{(\beta/\alpha) \sin(2\beta h) + \text{sh}(2\alpha h)}{\text{ch}(2\beta h) - \cos(2\alpha h)}, \quad (1)$$

其中, β 为有耗线的衰减常数, α 为有耗线的相移常数, Z_c 为有耗线的特性阻抗. 考虑到对称振子与传输线的一些差异, 用对称振子的参数 Z_A 、 β_A 、 α_A 代替公式中的传输线特性参数 Z_c 、 β 、 α , 得到:

$$Z_{in} = Z_A \frac{\text{sh}(2\beta_A h) - (\beta_A/\alpha_A) \sin(2\alpha_A h)}{\text{ch}(2\beta_A h) - \cos(2\alpha_A h)} - j Z_A \frac{(\beta_A/\alpha_A) \sin(2\beta_A h) + \text{sh}(2\alpha_A h)}{\text{ch}(2\beta_A h) - \cos(2\alpha_A h)}, \quad (2)$$

其中, β_A 和 α_A 分别为对称振子等效衰减常数、电流相移常数.

对称振子通常工作在 $0 < h/\lambda \leq 0.35$ 和 $0.65 < h/\lambda \leq 0.85$ 的范围内, 根据文献[12], 式(2)可近似为

$$Z_{in} = R_s / \sin^2(\alpha_A h) - j Z_A \cot(\alpha_A h). \quad (3)$$

式中, R_s 为对称振子的辐射电阻; Z_A 为对称振子的特性阻抗, 可用对称振子的平均特性阻抗表示, 其表达式为

$$Z_A = \frac{1}{h} \int_0^h 120 \ln\left(\frac{2z}{r}\right) dz = 120 \left[\ln\left(\frac{2h}{r}\right) - 1 \right], \quad (4)$$

其中, r 和 h 为振子的半径和高度.

由式(4)可知, 在 h 一定的情况下, r 越大, 平均特性阻抗越小, 电抗部分变化就越平缓, 从而天线的带宽就越宽. 也就是说, 采用加粗振子半径、增大振子面积、改变振子形状等方法可以改善振子天线阻抗带宽.

局部放电检测用的内置天线一般需要安装在具有一定形状尺寸的部件中, 本设计要求的安装部件结构如图 1 所示, 为一介电常数为 4.5 的尼龙圆形凹槽, 其内直径为 100 mm、高度为 20 mm.

本文根据局部放电检测内置天线尺寸和形状要求, 基于天线理论和单振子天线结构, 通过对单振子和接地片变形演变, 增大振子面积, 改变振子形状, 设计了一种阻抗带宽宽的异型椭圆单极子天线, 天线由椭圆形单极子和矩形接地片构成, 矩形接地片紧贴圆形安装盘内壁, 结构如图 1 所示.

2 天线参数优化及仿真结果

2.1 天线参数优化

设计的天线结构模型如图 2 所示, b 为矩形接地片的高度, a 为矩形接地片的长度, h 为椭圆的长轴, l 为椭圆的短轴, d 为馈电点的间距. 考虑设计要求, 结构尺寸确定时, 椭圆长轴 h 为 90 mm 保持不变, 由式(3)、(4)可知, 矩形接地片的高度、长度和椭圆的短轴、馈电点的间距对天线的带宽有一定的影响. 因此, 必须对天

线的 4 个参数进行优化,展宽天线的带宽.

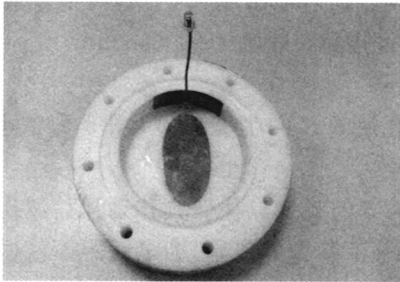


图 1 圆形凹槽和天线结构

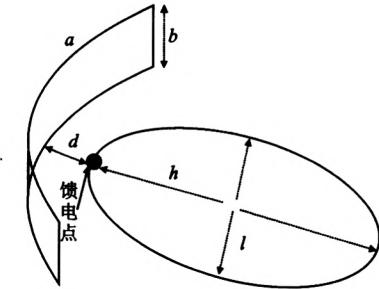


图 2 天线结构示意图

2.1.1 矩形接地片高度的分析

矩形接地片的不同高度对天线的带宽会产生影响.其他参数保持不变,对高度 b 分别取 5 mm、7.5 mm、10 mm、12.5 mm 和 15 mm.图 3 为 b 取不同值时天线的驻波比.

由图 3 可以看出,高度对带宽的影响很小,1.2 GHz 附近的驻波比随着高度的增加而降低.在 770 MHz~2.3 GHz 范围内,驻波比整体较低.由于圆形凹槽的最大高度为 20 mm,考虑到安装和其他一些因素,矩形接地片高度 b 选择为 15 mm,此时的驻波比也是最小的.

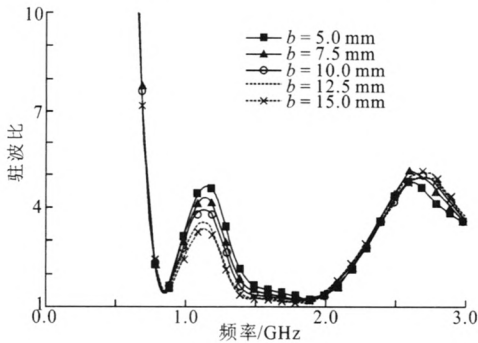


图 3 不同 b 时的驻波比

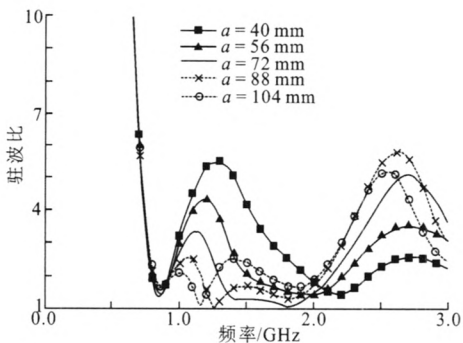


图 4 不同 a 时的驻波比

2.1.2 矩形接地片长度的分析

其他参数保持不变,对矩形接地片长度 a 分别取 40 mm、56 mm、72 mm、88 mm 和 104 mm.天线驻波比优化结果如图 4 所示.

从图 4 中可以看出,随着矩形接地片长度的增加,低频部分驻波比降低,高频部分驻波比升高;因此,矩形接地片不宜太长或太短.由图 4 仿真结果可知,长度为 88 mm 时,驻波比小于 3 的频率范围为 770 MHz~2.2 GHz.故选择矩形接地片 a 为 88 mm.

2.1.3 椭圆短轴的分析

由式(4)可知,椭圆短轴越大,天线的带宽越宽.短轴 l 取 19 mm、32 mm、45 mm、58 mm 和 71 mm,仿真结果如图 5 所示.

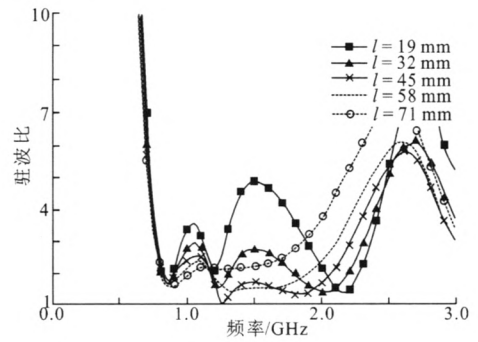


图 5 不同 l 时的驻波比

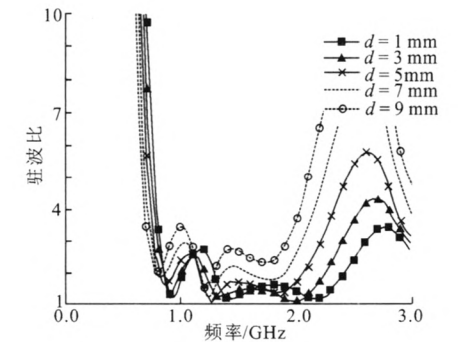


图 6 不同 d 时的驻波比

图 5 显示了短轴 l 不同时的驻波比. 由图看出, 随着短轴的增加, 驻波比小于 3 的带宽增加, 与上述理论分析一致; 短轴的进一步增加, 带宽则变窄, 主要原因是振子越粗, 辐射电阻越大, 引起的电流衰减越严重, 从而带宽会变得越窄; 当 l 为 45 mm 时, 天线总体的性能最佳. 因此椭圆短轴 l 选择 45 mm.

2.1.4 馈电间距的分析

馈电间距会影响天线的阻抗匹配, 因此, 合适的馈电距离会使天线的带宽更宽. 图 6 为馈电间距 d 取 1 mm、3 mm、5 mm、7 mm 和 9 mm 时的驻波比.

由图 6 可知, 随着馈电间距的增大, 带宽逐渐变窄, 驻波比为 3 的频率点往低频移动且驻波比逐渐上升, 高频部分驻波比上升较快. 由于实测时馈电采用同轴馈电, 考虑手工制作的限制, 馈电间距不能做到很小. 从图 6 中看出, 间距 d 为 5 mm 时, 天线的阻抗带宽已经能满足局部放电的要求.

基于以上优化结果和分析, 展宽天线的带宽需要综合考虑各种因素. 合适地选取馈电间距、矩形接地片的高度、长度和椭圆的短轴, 能使天线的性能最优. 从优化的结果和局部放电的要求来看, 选取天线的参数: $h=90$ mm, $b=15$ mm, $a=88$ mm, $l=45$ mm, $d=5$ mm.

2.2 天线仿真结果

根据选取的最优参数, 天线驻波比仿真结果如图 7 所示, 此时, 天线在驻波比低于 2.5 时的频带为 790 MHz~2.16 GHz, 由图 7 可看出, 在频带内, 驻波比有一定的起伏.

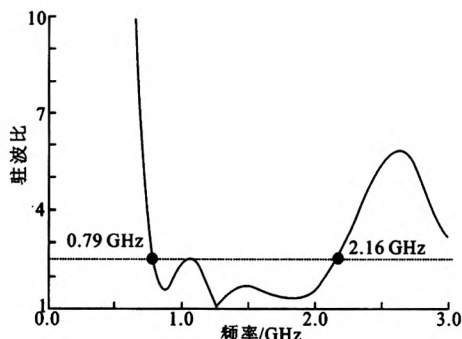


图 7 仿真驻波比

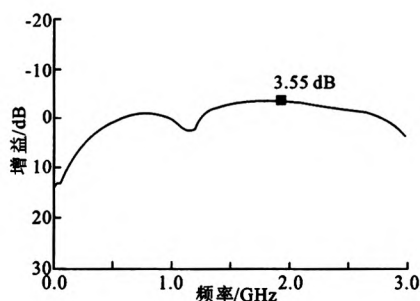


图 8 增益($\theta=0^\circ$)

图 8 为天线在 $\theta=0^\circ$ 方向上的增益, 由图 8 可以看出, 在 0.5~3 GHz 天线的最大增益为 3.55 dB, 在低频和高频部分由于天线的阻抗失配, 使得其辐射效率较低, 从而引起天线增益的降低. 图 9 为天线的 H 面和 E 面的辐射方向图, 选取的观察频率点为 0.8 GHz、1.3 GHz 和 1.8 GHz.

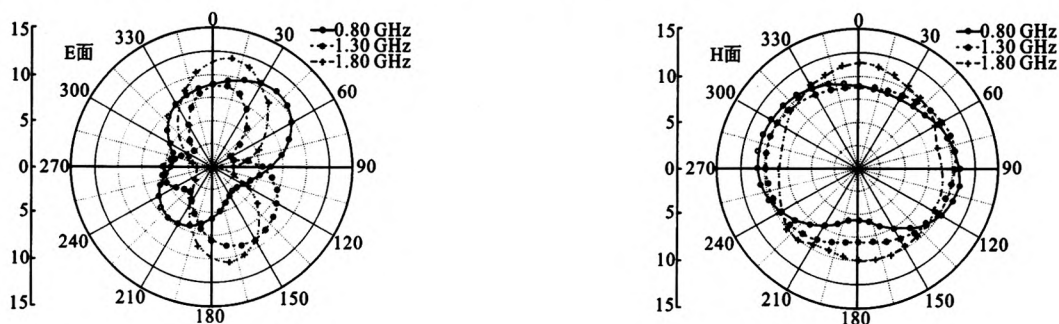


图 9 E、H 面方向图

3 实测结果分析

根据选取的参数, 制作结构如图 2 所示的天线. 利用 Agilent N5230C 矢量网络分析仪测得天线的驻波比如图 10 所示.

图 7 中驻波比小于 2.5 的频率范围为 790 MHz~2.16 GHz, 图 10 中驻波比小于 2.5 时天线覆盖的带宽是 781 MHz~2.00 GHz, 实测相对带宽高达 88%, 该频带包含于 GIS 局部放电信号的频带. 对比图 7 与图

10 的结果,实测频率往低频移动且实测驻波比更平坦. 仿真和实测的一致性,验证了天线设计的有效性.

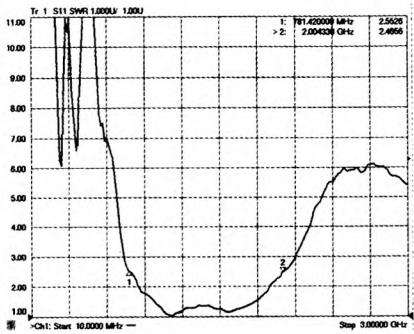


图 10 天线实测驻波比

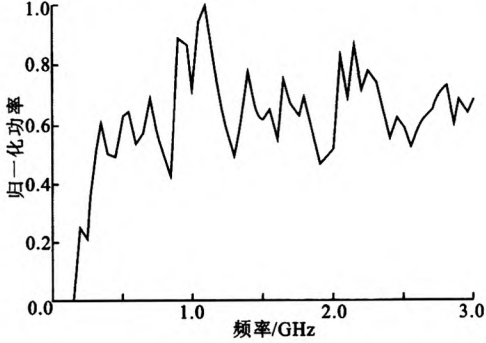


图 11 天线实测频率响应

在实验室搭建模拟平台,实验器件包括 Agilent E4438C 信号源、Agilent N9020A 信号分析仪、振子天线、椭圆天线和信号线等. 振子天线用做发射天线,椭圆天线用做接收天线. 利用信号源的扫频功能和信号分析仪的最大值保持功能,多次测得椭圆天线在不同频率点接收信号的功率大小,考虑自由空间中噪声的干扰、振子天线的辐射特性和电磁波在空间中传播的衰减,对测得的数据进行补偿,并对补偿后的数据归一化,得到的曲线如图 11 所示. 从图 11 中可以看出,在 350 MHz~3 GHz 整个频带内,椭圆天线接收信号的性能良好,与图 7、图 10 的结果比较,椭圆天线实际能接收信号的频带更宽;同时,在检测 GIS 局部放电的实际应用中,天线的后端与检波电路相连,能够在有效频段内接收到有效的放电信号.

4 结 论

本文基于对对称振子天线阻抗与带宽关系的分析,通过对单极子天线的振子和接地片变形,设计了一种新型宽带内置天线. 利用 HFSS 仿真软件对天线的各个参数给予优化,总结了各个参数对天线驻波比的影响. 最后选取一组最优参数,且制作了实物,并进行了实验测试. 实验结果和仿真结果吻合,证明该天线能很好地用于电力设备的局部放电检测.

参考文献:

[1] 王平, 许琴, 王林泓, 等. 电力设备局部放电信号的在线检测系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 190-194.
Wang Ping, Xu Qin, Wang Linhong, et al. Research of On-line Detection System for Partial Discharge signal of Power Equipments[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 190-194.

[2] 郭宏福, 付咪, 许彩祥. 宽带超高频局放检测壳装天线设计方法研究[J]. 电波科学学报, 2011, 26(6): 1212-1217.
Guo Hongfu, Fu Mi, Xu Caixiang. A Design of UHF Antenna with Metallic Shell for PD Detection[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2011, 26(6): 1212-1217.

[3] 赵煦, 孟永鹏, 成永红, 等. 变压器现场超高频局部放电信号的时域特征分析[J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(12): 82-86.
Zhao Xu, Meng Yongpeng, Cheng Yonghong, et al. Time-Domain Characteristic Site Analysis for Ultra-High Frequency Partial Discharge in Power Transformer[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2011, 45(12): 82-86.

[4] 郭灿新, 张连宏, 姚林朋, 等. 局部放电 HF/UHF 联合分析方法的现场电缆终端检测应用[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(5): 92-94.
Guo Canxin, Zhang Lianhong, Yao Linpeng, et al. Application of HF/UHF Joint Partial Discharge Analysis to On-site Power Cable Terminal Detection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(5): 92-94.

[5] Guo Hongfu, Guo Jinxi, Mei Xiaoyun, et al. The Design of Sensitive and Wide Dynamic Range UHF PD Detection Sensor Circuit[C]//International conference on Electrical and Control Engineering. Yichang: IEEE, 2011: 4128-4131.

[6] 王建生, 邱毓昌, 吴向华, 等. 用于 GIS 局部放电检测的超高频传感器频率响应特性[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(8): 42-45.
Wang Jiansheng, Qiu Yuchang, Wu Xianghua, et al. Frequency Response Characteristics of the UHF Sensors for Partial Discharge Detection in GIS[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(8): 42-45.

(下转第 171 页)

- Zero-slice [J]. Journal of Xidian University, 2010, 37(2): 285-289.
- [4] 王磊, 姬红兵, 史亚. 基于模糊函数代表性切片的运动雷达辐射源识别[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(8): 1630-1634.
- Wang Lei, Ji Hongbing, Shi Ya. Moving Radar Emitter Recognition Based on Representative-cut Feature of Ambiguity Function [J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(8): 1630-1634.
- [5] 王磊, 姬红兵, 史亚. 基于模糊函数特征优化的雷达辐射源个体识别[J]. 红外与毫米波学报, 2011, 30(1): 74-79.
- Wang Lei, Ji Hongbing, Shi Ya. Feature Optimization of Ambiguity Function for Radar Emitter Recognition [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2011, 30(1): 74-79.
- [6] Hotelling H. Relations between Two Sets of Variates [J]. Biometrika, 1936, 28(3-4): 321-377.
- [7] Horst P. Relations Among m Sets of Measures [J]. Psychometrika, 1961, 26(2): 129-149.
- [8] Kettenring J R. Canonical Analysis of Several Sets of Variables [J]. Biometrika, 1971, 58(3): 433-451.
- [9] Nielsen A A. Analysis of Regularly and Irregularly Sampled Spatial, Multivariate, and Multi-Temporal Data [D]. Lyngby: Technical University of Denmark, 1994.
- [10] Yuan Y, Sun Q, Zhou Q, et al. A Novel Multiset Integrated Canonical Correlation Analysis Framework and Its Application in Feature Fusion [J]. Pattern Recognition, 2011, 44(5): 1031-1040.
- [11] Tucker J D, Azimi-Sadjadi M R. Coherence-Based Underwater Target Detection from Multiple Disparate Sonar Platforms [J], IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2011, 36(1): 38-52.
- [12] Li Y, Eichele T, Calhoun V D, et al. Group Study of Simulated Driving fMRI Data by Multiset Canonical Correlation Analysis [J]. Signal Processing Systems, 2012, 68(1): 31-48.
- [13] Zhang L, Liao L, Sun L. Towards the Global Solution of the Maximal Correlation Problem [J]. J Glob Optim, 2011, 49(1): 91-107.
- [14] Yang J, Zhang D, Yang J. Constructing PCA Baseline Algorithms to Reevaluate ICA-based Face Recognition Performance [J]. IEEE Trans on SMC, Part B: Cybernetics, 2007, 37(4): 1015-1021.

(编辑: 郭 华)

(上接第163页)

- [7] 唐炬, 侍海军, 孙才新, 等. 用于GIS局部放电检测的内置传感器超高频耦合特性研究[J]. 电工技术学报, 2004, 19(5): 71-75.
- Tang Ju, Shi Haijun, Sun Caixin, et al. Study of UHF Frequency Response Characteristics of the Inner Sensor for Partial Discharge Detection in GIS[J]. Trans of China Electrotechnical Society, 2004, 19(5): 71-75.
- [8] 刘卫东, 金立军, 黄家旗, 等. 日本SF6电器局部放电监测技术研究近况[J]. 高电压技术, 2001, 27(2): 76-77.
- Liu Weidong, Jin Lijun, Huang Jiaqi, et al. Review of Recent Researches on PD Monitoring in Gas Insulated Equipment in Japan[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(2): 76-77.
- [9] Kim D S, Hwang C M, Kim Y N, et al. Development of an Intelligent Spacer Built into the Internal Type UHF Partial Discharge Sensor[C]//IEEE International Symposium on Electrical Insulation. Vancouver: IEEE, 2008: 396-399.
- [10] 李亚峰, 王保保, 冯象初. 一种检测局部放电信号的新方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2010, 37(3): 529-533.
- Li Yafeng, Wang Baobao, Feng Xiangchu. New Method for Partial Discharge Signals Detection[J]. Journal of Xidian University, 2010, 37(3): 529-533.
- [11] 唐志国, 李成榕, 常文治, 等. 变压器局部放电定位技术及新兴UHF方法的关键问题[J]. 南方电网技术, 2008, 2(1): 36-40.
- Tang Zhiguo, Li Chengrong, Chang Wenzhi, et al. The Partial Discharge Location Technology of Power Transformer and the Key Issues of Newly Developed UHF Method[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(1): 36-40.
- [12] 魏文元, 宫德明, 陈必森. 天线原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985: 40-43.

(编辑: 高西全)

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>