

一种用于在线检测 GIS 局部放电超高频 信号的微带天线传感器研究

许中荣, 唐炬, 张晓星

(重庆大学 电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 根据现场气体绝缘组合电器(GIS)的结构和运行特点, 本文设计了适用于 GIS 现场的局部放电检测的外置超高频微带天线传感器, 该传感器安装在 GIS 盆式绝缘子处, 接收从盆式绝缘子处向外泄漏的超高频电磁波, 并对周围空间电磁干扰有较好地抑制作用。通过微带天线的理论分析, 采用了基于天线基板材料性质、形状和尺寸大小、附加匹配阻抗网络等频带展宽技术。分析和实测表明, 天线的有效工作频带为 340-440MHz (驻波比<2), 中心频率为 390 MHz, 相对带宽 25.6%, 达到了宽频带天线范围, 并且最大辐射和接收方向上的增益达到了 5.38dBi。实验室 GIS 模拟装置和现场实测数据表明该天线传感器性能良好, 具有较高灵敏度, 能适用于 GIS 现场的局部放电在线监测。

关键词: GIS; 局部放电; 微带天线; 超高频; 展频技术

1 引言

局部放电检测是气体绝缘组合电器 (GIS) 绝缘监测的重要内容。GIS 中发生放电时局部放电脉冲宽度可达 1-2 ns, 可激发频率达 1GHz 以上的电磁波^[1], 因此, 可以运用超高频(UHF) 法对 GIS 进行局部放电的检测。

GIS 局部放电 UHF 检测法中的关键技术是传感器, 即 UHF 天线。目前用于 UHF 检测的天线传感器主要有内置传感器^[2]和外置传感器^[3,4]两类。内置传感器具有灵敏度高, 检测效果好的优点, 但必须在 GIS 设备生产时嵌入进去, 对已投入运行的 GIS 实现起来有很大困难。而外置天线传感器具有不影响 GIS 内部电场、安装方便等特点, 故外置天线更有利于现场 GIS 局部放电的 UHF 信号的检测。另外, GIS 内部的局部放电信号可沿着 GIS 同轴导体的波导结构进行传播, 在 GIS 的盆式绝缘子处向外泄漏电磁波, 所以外置天线传感器安装的最佳位置是在 GIS 的盆式绝缘子处。因此, 本文研制了一种安装在 GIS 盆式绝缘子上, 用于 GIS 外置超高频局部放电检测的微带天线传感器, 用天线理论分析了所研制的 UHF 传感器的特性, 并在实验室 GIS 模拟装置和现场的 GIS 装置进行了测量, 研究结果表明: 该传感器可用于现场的 GIS 局部放电超高频检测的在线检测和故障诊断研究。

2 超高频传感器的设计与分析

2.1 超高频外置天线的选择

为了使超高频传感器能较好地耦合到发生在 GIS 内的局部放电所激发的电磁波信号, 要求超高频传感器满足以下要求: ①能较好接收信号的同时抑制干扰; ②带宽和中心频率要合适; ③驻波比小于 2, 并且具有较高的增益和灵敏度; ④整个天线接收系统阻抗要匹配, 且便于现场安装。

根据 GIS 在线监测系统的要求, 要能有效地检测 GIS 局部放电超高频段的信号, 应在线元天线、行波天线及阵列天线中选择。考虑到现场的安装和实际的尺寸以及微带天线(属线元天线的一种)具有的优点(剖面薄、体积小、重量轻; 具有平面结构、馈电网络可与天线结构一起制成; 便于获得圆极化等)^[5,6], 所以选用微带天线, 而它的主要缺点(频带较窄)可通过本文所述的展频技术来克服。

2.2 微带贴片天线的结构与工作原理

通常分析微带贴片天线采用传输线模型、空腔模型或者全波模型。本文采用空腔模型进行天线的理论分析, 在薄微带天线的前提下, 可将微带贴片与接地板之间的空间看成是上下为电壁、四周为磁壁的漏波空间, 于是可根据边界条件用模展开法或模匹配法解出该区域的内场。天线辐射场由空腔四周的等效磁流的辐射来得出, 天线的输入阻抗可根据空腔内场和馈源激励条件求得。微带贴片天线由矩形金属贴片、介质板、金属底板和馈线四部分构成, 如图 1 所示。

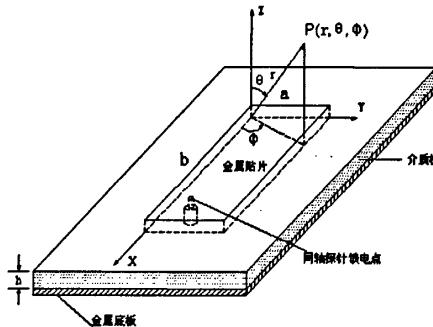


图 1 微带贴片天线的空腔模型

微带天线是由矩形金属贴片粘贴在背面有导体接地板的介质板上形成的。天线利用金属贴片和金属底板之间的缝隙接收电磁波, 并转化为高频电流, 用同轴探针作为馈线进行馈电, 并通过同轴射频电缆把信号传输到检测系统。表征微带天线性能的参数主要有:

2.2.1 谐振频率

TM_{mn} 模的谐振频率为:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \sqrt{\left(\frac{m}{a_e}\right)^2 + \left(\frac{n}{b_e}\right)^2} \quad (1)$$

其中, c 为真空中的光速; ϵ_e 为天线的等效相对介电常数; a_e, b_e 为微带天线的矩形贴片的等效宽度和长度, 比实际的物理尺寸 a, b 稍大。

矩形微带天线通常工作于 TM_{01} 模(或 TM_{10} 模), 其谐振频率为:

$$f_{01} = \frac{c}{2b_e\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2)$$

2.2.2 带宽

天线带宽的表示方法有两种：一种是绝对带宽，它是指天线实际工作的频带范围，即高端频率 f_{\max} 与低端频率 f_{\min} 之差；另一种是相对带宽，它是绝对带宽与中心频率 f_0 之比的百分数，即^[3]

$$B = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% \quad (3)$$

局部放电的脉冲能量几乎与频带宽度成正比^[7]，而微带天线是窄频带天线，微带贴片天线的窄频带特性是有其高 Q 的谐振本性所决定的，即贮存于天线结构中的能量比辐射合其他能量损耗大的多，这意味着当在谐振时实现了匹配而当频率偏离谐振时电抗分量急剧变动使之失配。天线的总的品质因数 Q 为^[6]：

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad (4)$$

式中 Q_r 、 Q_c 、 Q_d 、 Q_{sw} 分别代表由辐射功率 P_r 、导体损耗功率 P_c 、介质损耗功率 P_d 和表面波功率 P_{sw} 所引起的相应的 Q 值。

微带天线的方向图带宽较宽，其工作频带主要受阻抗带宽的限制，若微带天线在谐振频率上与馈线匹配，则其电压驻波比不大于 S 的相对带宽为：

$$B = \frac{S-1}{\sqrt{S}Q} \times 100\% \quad (5)$$

常规设计的微带天线相对带宽约为中心频率的 1%~6%，随着微带天线材料、设计和加工工艺的不断发展，新一代设计的典型值为 15%~20%。为了满足 GIS 局部放电 UHF 检测的要求，获取更多的局部放电信息，在设计时应该采取展宽频带技术。展宽频带的方法可以从降低总的 Q 值的各个方面去探求，也可以用附加的匹配措施来实现。本设计采用如下技术方法进行频带的展宽：

- 1) 采用 ϵ_r 较小的基板：介质基板选用了介电常数较低的聚苯乙烯材料，目的是降低介电常数 ϵ_r ，天线的储能因 ϵ_r 的减小而变小，使辐射对应的 Q_r 降低，从而使频带变宽；
- 2) 采用厚基板：选定材料后，为了进一步减小介电常数，在基片与金属底板间用空气做介质材料，使厚度 h 的增加而辐射电导也随之增大，辐射对应的 Q_r 和总的 Q 值降低，使得频带加宽；
- 3) 采用同轴线馈电阻抗匹配：用同轴线馈电时，其外导体与接地板相连，内导体穿过接地板上的小孔及基片介质，连接到贴片上。优点是：馈点可选在贴片内任意所需要的位置，

便于匹配；同轴电缆置于接地板下方，不会干扰天线面的辐射。缺点是：不便于集成，制作麻烦。这样馈电时，天线输入阻抗除了由内腔主模引起的阻抗 Z_R 外，还包括由高阶模引起的探针电抗 X_L ，即 $Z_{in} = Z_R + jX_L$ 。直径为 d_0 的探针电抗计算公式为：

$$X_L = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \operatorname{tg} \frac{\pi h \sqrt{\epsilon_r}}{\lambda_0} \ln \frac{1.13 \lambda_0}{\pi d_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

当基片厚时，探针感抗很大。为此需要加一电容间隙来调谐。在贴片上加一绕馈点的环形间隙。微带贴片天线的等效电路可以用一个 RLC 并联谐振电路来描述，在背馈情况下，馈电探针可视为一个电抗，此时可附加一个串联电容，与天线探针电感形成一串联谐振电路，并使它与微带贴片天线所等效的并联谐振电路在同一频率上谐振，串并联谐振回路在谐振频率附近的电抗趋于抵消，使之避免了偏离谐振时电抗的迅速变化，从而展宽了频带。

2.2.3 输入阻抗

天线的输入阻抗的大小表征了天线与发射机或接收机的匹配状况，即表示了导行波与辐射波之间能量转换的好坏，故是天线的一个重要的参数。

在薄微带天线 ($h \ll \lambda_0$) 的前提下，可将微带贴片与接地板之间的空间看成是上下为电壁、四周为磁壁的漏波空腔，于是便可根据边界条件用模展开法或模匹配法解出该区域的内场。天线辐射场由空腔四周的等效磁流的辐射来得出，天线输入阻抗可根据空腔内场和馈源激励条件来求得。

采用如图 1 的坐标系，考虑到微带天线通常都工作在低阶模（如 TM_{01} ）谐振频率附近，而远离其他谐振点，微带天线的基本特征就如同一个 RLC 简单并联谐振电路，对于工作于 TM_{01} 模时，输入电阻可简写为：

$$R_{01} = R_a \cos^2 \left(\frac{\pi y}{b} \right) \quad (7)$$

其中 $R_a = \frac{120 \lambda_0 h Q}{\epsilon_r a b}$ 。

2.2.4 天线的增益

微带贴片天线的增益公式如：

$$G_r = \frac{\epsilon_r a b}{120 \lambda_0 h Q_r} \quad (8)$$

其中 $Q_r = \frac{c \sqrt{\epsilon_r}}{4 f_r h}$ ，式中， f_r 是谐振频率，一般可取中心频率 f_0 。

天线的方向性系数为:

$$D = \frac{2}{15G_r} \left(\frac{a}{\lambda_0} \right)^2 \quad (9)$$

天线的效率为:

$$\eta_r = \frac{Q}{Q_r} \quad (10)$$

天线的增益等于方向性系数与效率的乘积:

$$G = D\eta_r \quad (11)$$

3 微带贴片天线参数计算与性能分析

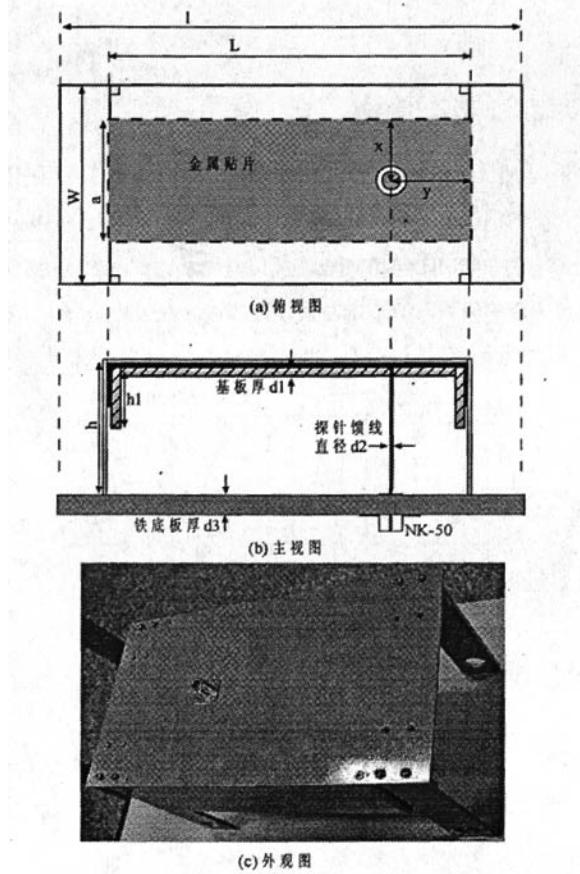


图 2 微带天线传感器的结构示意图

本文在外观结构设计和材料选用上,考虑到微带天线能有效接收盆式绝缘子处泄漏的电磁波,而对周围空间电磁干扰抑制作用,因此在 MPA 天线背面和部分侧面采用金属材料对天线进行了屏蔽,其微带天线的具体结构示意图如图 2 所示,图 2 (a), 图 2 (b) 为微带天线传感器的俯视图与主视图,图 2 (c) 为传感器的外观图,加了天线罩。屏蔽时留出靠近

GIS 盆式绝缘子缝隙的这一面, 由于微带天线的方向性, 盆式绝缘子泄漏的电磁波得到最大增益, 而从侧面耦合的干扰信号增益较小, 而且其尺寸大小与 GIS 的盆式绝缘子相匹配。在 GIS 局放监测现场, 超高频传感器用环氧树脂制成的支撑架固定在 GIS 的盆式绝缘子法兰上, 这样就尽可能在远场区范围内使微带天线传感器能够测量泄漏出的局部放电电磁波, 同时保证良好的方向性。

3.1 驻波比

工程上常用电压驻波系数 VSWR 表征天线与馈线匹配情况, 是天线的一个重要的参数, 理论公式为^[5]:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (12)$$

其中 Γ 是反映反射损耗的反射系数, 它是一个复数。它与传输特性阻抗的关系是:

$$Z_i = Z_c \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad (13)$$

其中 Z_i 是天线的输入总阻抗, 而 Z_c 是传输线特性阻抗。

图 3 中曲线 1 是采用 Ansoft HFSS 仿真的电压驻波比, 曲线 2 是利用 HP8720D 标准网络分析仪实测的微带天线的电压驻波比。由图可知, 微带矩形贴片天线的中心频率为 390MHz, 驻波比小于 2 的绝对带宽为 340MHz-440MHz, 且仿真曲线比实测曲线的电压驻波比小, 效果好, 实测的驻波比有一定的偏差, 但基本在误差范围内。在天线工程中, 相对带宽 $B < 0.1$ 为窄带天线, 而现在本文设计的微带传感器的相对带宽为 25.6%, 达到宽频天线范围。

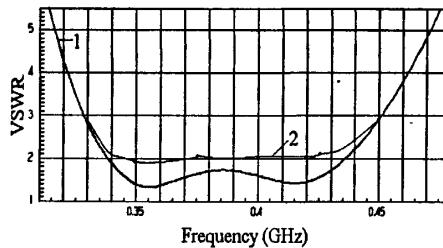


图 3 微带天线仿真与实测电压驻波比

3.2 方向图

使用 Ansoft HFSS 仿真计算可以得到在 400MHz 的频率下的微带天线在 $\phi = 0^\circ$ 时 x-z 平面和 $\phi = 90^\circ$ 时 y-z 平面的方向图, 如图 4 所示。参照图 1 的坐标系, 其中 θ, ϕ 是球坐标中的角度变量, P 点是辐射点, r 为辐射点到原点的距离。

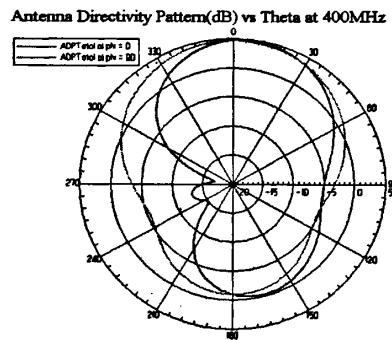


图 4 微带天线的方向图 (400MHz)

从图中可看出, MPA 传感器在 $\theta = 0^\circ$ 时, 具有最佳方向性; 当 $\phi = 0^\circ$ 时, $\theta \approx 270^\circ$ 时方向性最差, 当 $\phi = 90^\circ$ 时, $\theta \approx 120^\circ$ 时方向性最差。从图中还可知 MPA 对方向性要求较高, 当没有在最佳检测方向时, 接收性能下降较快, 所以在接收信号时要正确调整天线的方向, 来获得最大的增益。

3.3 增益

为验证所计算的增益的值, 采用两相同天线法来实测天线的增益, 涉及的参数主要有: 波长 λ_0 、间距 R 、发射功率 P_t 、发射端插损 L_1 、接收功率 P_r 和接收端插损 L_2 。实测数据如表 1。

表 1 天线增益实测数据

λ_0 (m)	R (m)	P_t (dB)	L_1 (dB)	P_r (dB)	L_2 (dB)
0.776	4.86	15.36	-0.78	-11.8	-1.04

两相同天线法实测天线增益的计算公式为:

$$L_0 = 20 \lg \left(\frac{\lambda_0}{4\pi R} \right) \quad (10)$$

$$G = \frac{1}{2} (P_r - P_t - L_2 - L_1 - L_0) \quad (11)$$

把表 1 中实测数据代入式(10)和(11)可得实测增益为 5.38dBi, 由式 (8) 计算可得天线增益的理论值为 5.7dBi, 两者基本接近, 而仿真的天线增益见图 5 为 5.4dBi。由理论值、实测值及仿真可以看出, 微带传感器的增益较高, 有利于检测微弱信号和后续阶段的信号处理。

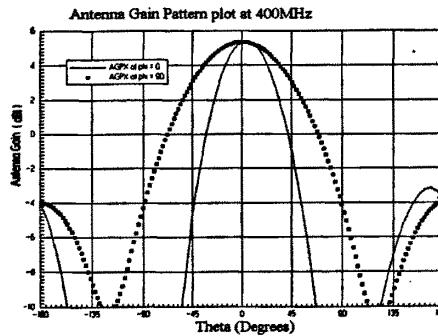


图 5 微带天线 400MHz 处的增益图

4 微带天线的实测研究

在实验室中, 为考核微带传感器检测超高频局放信号的能力, 采用 GIS 局部放电检测系统对其进行测试, 实验回路如图 6 所示, 图中 1 为内置圆环传感器、2 为内置板传感器、3 为外置环天线、4 为微带天线, 均用 10m 长的电缆与示波器相连, 在 GIS 模拟装置中充以 0.5Mpa 的 SF₆ 和 N₂ 的混合气体(体积比 4:1), 并用高速数字示波器(Lecroy Wavepro7100 XL 示波器, 带宽 1GHz, 最大采样率 20GS/s, 最大存储深度 48M)记录局部放电波形。

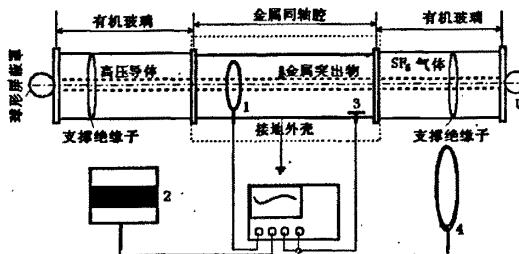
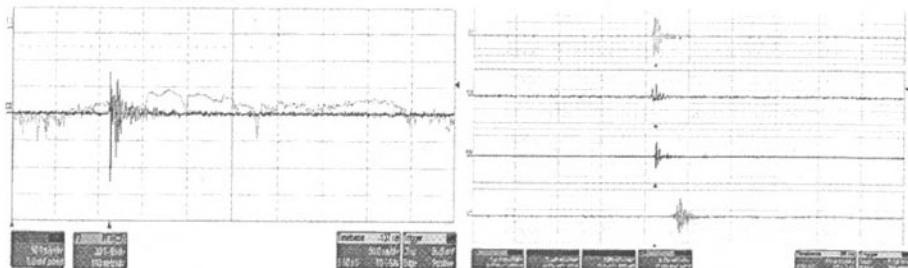


图 6 GIS 局部放电 UHF 检测系统



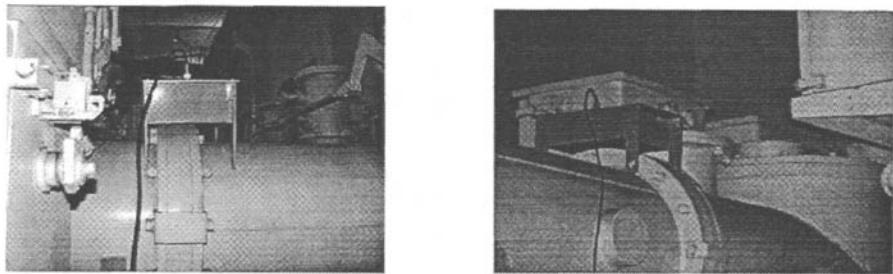
(a) 微带的 PD 波形及频谱

(b) 几种传感器采集的 PD 波形

图 7 GIS 模拟装置采集的 UHF 局部放电信号

由实验观察可知, 金属突出物缺陷的起始放电电压为 12.5kV, 随着电压的升高放电重复率和幅值增大, 信号的波形和频谱的形状变化不大。实测结果如图 7 所示, 图 7(a)为微带天线在 15.6kV 时测得的局放波形及其频谱图, 从图中可以看出所采集的局部放电的能量主要集中在稳定的带宽范围内。在图 7(b)中, 1 通道为内置圆环测得的 PD 波形, 2 通道为微带天线测得的 PD 波形, 3 通道为内置板测得的 PD 波形, 4 通道为外置环测得的 PD 波形, 且内置

传感器的灵敏度比外置传感器高得多（相差 10 倍左右），由于外置天线与模拟装置有 1m 的距离，可能导致电磁波的衰减而使幅值变小，而且信号存在时间差。

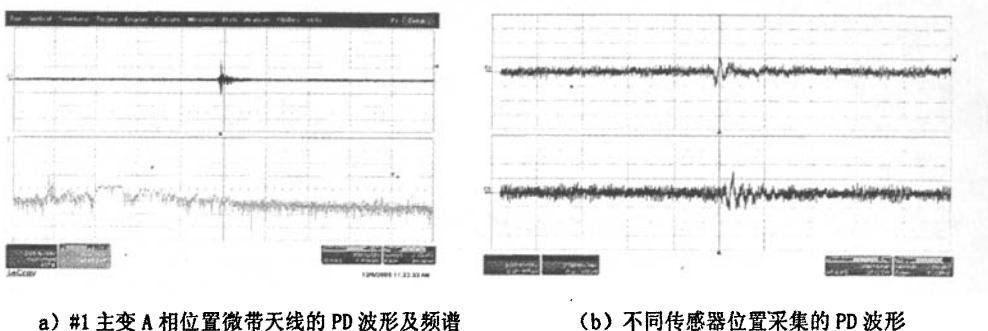


(a) #1 主变 A 相位置

(b) 1#主变 C 相位置

图 8 现场微带天线安装示意图

在某 220kV 的 GIS 变电站，将本文所研制的微带天线应用于现场的局部放电信号 UHF 检测研究。图 8 为将 2 个微带天线安装在 GIS 现场的示意图。



a) #1 主变 A 相位置微带天线的 PD 波形及频谱

(b) 不同传感器位置采集的 PD 波形

图 9 现场 GIS 采集的 UHF 局部放电信号

图 9 为现场 GIS 采集的 UHF 局部放电信号，图 9 (a) 为在#1 主变 A 相上所检测的 PD 波形及频谱图，从中可以看出所检测的 PD 信号的频率成分在 200MHz-300MHz 之间，可能 GIS 系统内存在轻微的电晕放电。从图 9 (b) 可以看出，在#1 主变的 A, C 两相间测得的波形有一定的时间差 (63.5ns)，且 C 相的幅值比 A 相大 1mV 左右。可以大体判断缺陷离#1 主变 C 相更近些。

5 结论

本文采用选择天线基板材料、厚度和形状、同轴线馈电阻抗匹配等方法进行了频带展宽，频带展宽后的微带天线的工作频带 340MHz-440MHz，中心频率为 390MHz，相对带宽 25.6%，达到宽频带天线范围；在实验室与内置圆环传感器对比测试表明，微带传感器具有较高的灵敏度，实测增益达到了 5.38dBi，有利于微弱局部放信号的检测；在结构上，对 MPA 天线背面和部分侧面采用金属材料屏蔽封装设计，提高了 MPA 天线的抗干扰能力。通过实验室的 GIS 模拟装置和现场 GIS 变电站的实测可知，该微带传感器具有优良的使用特性，在工作频带内能有效地检测超高频局部放电信号。

参考文献

- [1] 唐炬,宋胜利,孙才新等. 局部放电离散谱干扰的熵阈值抑制法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(3):54-57.
- [2] 孙才新, 许高峰, 唐炬等. 检测 GIS 局部放电的内置传感器的模型及性能研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8):89-94.
- [3] 唐炬, 朱伟, 孙才新等. 检测 GIS 局部放电的超高频屏蔽谐振式环天线传感器研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(7):705-709
- [4] 唐炬, 魏刚, 孙才新等. GIS 局部放电检测用超宽频带振子天线传感器研究[J]. 高电压技术, 2004, 30(3):29-31.
- [5] 林昌禄, 聂在平. 天线工程手册[M], 电子工业出版社, 2002.
- [6] Lin Changlu. Antenna engineering handbook[M], Publishing House of Electronics Industry.2002.
- [7] Pompili M, Mazzetti C, etc. Simultaneous ultrawide and narrow band detection of PD pulses in Dielectric liquids[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1998, 5(5): 402-407
- [8] D.Rpoder, J.S.Chatterjee and S.K.Chowdhury, On Some Broad-Band Microstrip Resonators[J]. IEEE Transactions on Antenna Propagation, 1983,31(5): 193-194
- [9] Pozar. Microstrip Antennas[J], Proceedings of the IEEE, Vol.80, No.1, January 1992:79-91
- [10] Y. J. Sung and Y. S. Kim. An improved design of microstrip patch antennas using compact microstrip resonant cell[J],2004:966-969
- [11] A.B. Smolders. Broadband microstrip array antennas[J], 1994:1832-1835
- [12] Qinjiang Rao, Tayeb A. Denidni. ect. A new aperture coupled microstrip slot antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(9):2818-2826
- [13] Edward K. N. YUNG, Wilson W. S. LEE, etc. A Dielectric Resonator on a Microstrip Antenna[J]. 1993:1504-1507
- [14] Hisao Iwasaki. A circularly polarized rectangular microstrip antenna using single-fed proximity-coupled method[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1995, 43(8):895-897
- [15] D. Judd, O. Farish, and B.F. Hampton, "The excitation of uhf signals by partial discharges in gis[J]" IEEE Trans. Dielectrics Electrical Insulation, vol.3, no.4 pp: 213-228, Oct. 1996
- [16] A. G. Sellars, et al. Calibrating the UHF technique of partial discharge detection using a PD simulator[J]. IEEE Trans. on EI, 1995,2(1)

作者简介

唐 炬: (1960-), 男, 四川蓬溪人, 教授, 博士生导师, 主要从事高压电气设备绝缘在线监测及故障诊断研究. E-mail: cq tangju@vip.sina.com

许中荣: (1979-), 男, 江苏大丰人, 博士研究生, 主要从事高压电气设备绝缘在线监测和故障诊断技术研究工作. E-mail: zhongrong_xu@163.com

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>