

金具电晕辐射特性的实验研究

林晓宇, 陈仕修, 谢齐家, 夏长征, 孙幼林

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

Experimental Research on Radiation Characteristics of Corona Discharge of Hardware

LIN Xiao-yu, CHEN Shi-xiu, XIE Qi-jia, XIA Chang-zheng, SUN You-lin

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

摘要: 介绍了金具上电晕放电辐射电磁波极化方式和横向分布特性的实验结果。结果表明,电晕放电在地面上产生的场是干涉场,金具的电晕辐射模型可用短振子天线来等效。

关键词: 金具; 电晕; 辐射特性

中图分类号: TM216.6

文献标识码: A

Abstract: This paper reports the experimental results of both polarization characteristics and transverse feature of electromagnetic wave radiated from corona discharge of hardware. Experimental results show that what is created by electromagnetic wave radiated from corona discharge of hardware is interferential field, and its radiation model can be simulated by a short dipole.

Key words: hardware; corona; radiation characteristic

1 引言

文[1]已对闭合回路中针-板间隙的电晕和火花放电的辐射模型进行了研究,其结果为:辐射模型可用一个短振子天线与一个环形天线的组合来等效。对于发生在输电线及金具上的电晕和火花放电,由于没有明显的电流回路,所以与闭合回路中的针-板电极放电不同。以输电线上的电晕为例,放电点两侧都会有流向放电点的电流,这两部分电流沿输电线相向流动^[2],它们对辐射有何影响?其它导线上的感应电流又有何影响?在30~300 MHz或更高的频率范围内,地面已不能视为良导体平面,而是有损耗地面,有损耗地面又有何影响?所以这两种放电的辐射模型值得进一步研究。这里介绍了对盘式绝缘子串钢帽上电晕的实验情况和初步结果。

2 实验装置与场地

实验在高压实验大厅门外的半开阔场地上进

行。绝缘子串悬挂在高压大厅外上空10 m处,距离高压大厅墙壁15 m;高压直流电源放置在高压大厅内,穿墙套管的一端经蛇皮管与高压直流电源相连,蛇皮管的直径为5.1 cm;穿墙套管的另一端经不锈钢管与盘式绝缘子串相连,不锈钢管的直径为4.8 cm。所有的电气连接部分均用金属圆球光滑过渡,以保证不产生电晕。图1是实验装置示意图。

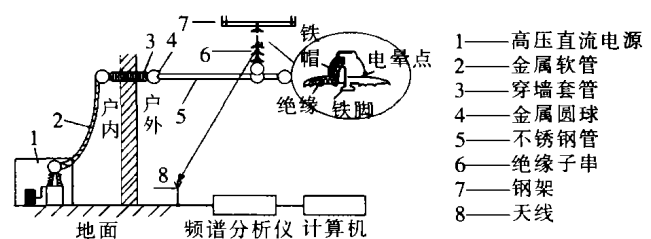


图1 实验装置示意图

测量仪器是一套宽带天线(ETS)和1台频谱仪(惠普E7040A),天线的测量范围为20 MHz~2.6 GHz。

直流电源的额定电压为140 kV,当直流电源电压升高至120 kV,在杆塔下方可听到绝缘子电晕放电噪声,第5片绝缘子钢帽下端和瓷盘表面之间有可见亮光(为减少外界的电磁干扰,实验是在晚上23时至早上6时之间进行,持续一月余)。

3 实验结果与分析

初步测量了绝缘子电晕放电辐射电磁波在30~90 MHz范围的频谱,电晕放电辐射电磁波极化特性和接收天线到绝缘子横向距离0~10 m的横向分布特性。

3.1 极化方式

对于极化方式的测量,该次实验在横向和纵向两个不同的方向上进行。

在横向方向上测量时,天线距离绝缘子横向距离分别为8 m和10 m,架设高度2 m,与绝缘子的相

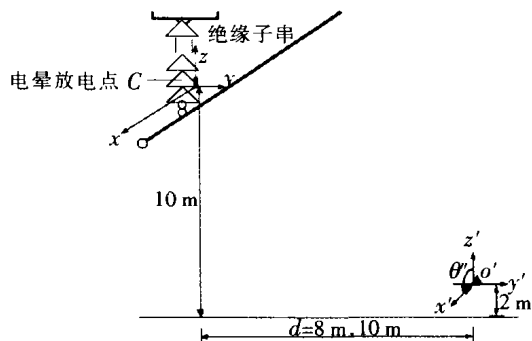


图2 绝缘子电晕放电点与接收天线的相对位置图(横向方向)

对位置见图2。绝缘子串处于 oz 轴线上,天线极轴在 $x'o'z'$ 平面内转动,其极轴与 x' 轴重合时, $\theta'=0^\circ$,与 z' 轴重合时为 90° 。选择81 MHz(波长为3.7 m),76 MHz(3.9 m),70 MHz(4.3 m),58 MHz(5.2 m),55 MHz(5.5 m),48 MHz(6.25 m),33 MHz(9.1 m)进行测量,表1,表2分别为8 m和10 m时的实验结果。

表1 天线位于横向8 m处、不同 θ' 时的测量值 dB· μ V/m

f/MHz	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	噪声
76	24	26	27	30	28	29	30	21
70	26	28	29	29	32	34	35	21
55	26	28	29	29	29	30	30	20
42	25	29	25	25	30	31	30	25
33	31	31	31	31	31	35	34	31

表2 天线位于横向10 m处、不同 θ' 时的测量值 dB· μ V/m

f/MHz	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	噪声
81	24	27	26	29	30	32	34	21
70	26	27	29	30	33	32	33	20
58	26	27	29	30	29	27	25	20
48	29	31	30	33	32	31	32	25
33	30	30	30	30	30	33	34	30

在纵向方向上测量时,天线距离绝缘子串轴线为5 m,与绝缘子的相对位置见图3。绝缘子串处于 oz 轴线上,天线极轴在 $y'o'z'$ 平面内转动,其极轴与 y' 轴重合时, $\theta'=0^\circ$,与 z' 轴重合时为 90° 。选择64.5 MHz(4.65 m),71 MHz(4.22 m)进行测量,表3

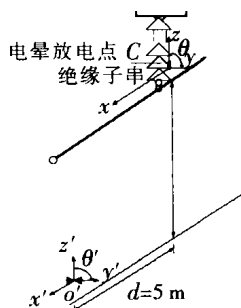


图3 绝缘子电晕放电点与接收天线的相对位置图(纵向方向)

表3 天线位于纵向5 m处、不同 θ' 时的测量值 dB· μ V/m

f/MHz	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	噪声
64.5	23	23	24	25	25	26	27	27	28	27	26	24	23	21
71	24	24	25	25	27	26	27	27	28	28	27	24	24	20

为其实验结果。

以上极化方式的测量结果可分析为:

在横向方向上,根据天线理论中对短振子的分析,随着天线的极轴与 z 轴的夹角从 0° 到 90° 逐渐增大时,测量值应增大,表1,表2中81,76,70 MHz极化测量值的变化趋势符合振子天线的模型;但其中的58,48,42 MHz和33 MHz测量值的变化趋势与振子天线不同,其原因是近区场效应和地表面波所致。在 $\theta' > 30^\circ$ 范围内,33 MHz电磁辐射场强与环境持平,是因为在低频段环境噪声的强度较高。

在纵向方向上,随着天线的极轴与 z 轴的夹角 θ' 角从 0° 到 180° 逐渐增大时,在5 m处极化方式的测量值先增大后减小,极化测量值的变化趋势符合振子天线的模型;但从表3中可见, θ' 在 120° 时极化测量值达到最大,这与振子天线等效辐射模型在 θ' 为 90° 时极化测量值为极值不一致,分析其原因是金具电晕放电的电流路径与地面不完全垂直,即在 $yo z$ 平面内与 y 轴约有 120° 夹角。

3.2 横向特性

对绝缘子电晕放电电磁波辐射横向特性的测量,天线架设高度2 m,极化轴与 $o'z'$ 轴相重合($\theta'=90^\circ$),依次改变天线与绝缘子横向距离 d ,测量电晕放电电磁波的辐射强度,表4为其实验结果。

表4 $\theta'=90^\circ$,不同距离 d 时的值 dB· μ V/m

f/MHz	10 m	8 m	6 m	4 m	2 m	0 m	环境
88	31	28	28	27	26	25	21
81	34	32	30	29	27	25	22
70	33	31	28	29	30	29	23
58	25	24	26	20	20	25	20
48	32	29	28	30	35	38	25
30	32	30	32	33	36	42	30

(1)从图2中可以看出,随着天线横向距离的变小, θ 变大而逐渐接近振子轴线。对于振子天线, θ 从 90° 到 180° 逐渐增大时,振子天线辐射场强逐渐减小,表3中88,81 MHz测量值,随着天线到绝缘子横向距离 d 的变小(也即 θ 变大)而减小,符合振子天线模型。

(2)对于相对较低的频率,如48 MHz(6.25 m),30 MHz(10 m),横向距离 d 从0 m变化到10 m,均处于近区场,以感应场为主,近场区的场强随源点到场点距离的减小而增大,测量值的变化趋势与此相符。

(3)低于70 MHz的测量值,测量结果有起伏,这是多径效应所致,即此时的场是直射波与反射波共同作用的干涉场。因为地面是具有一定导电率和介电常数的媒质,辐射场会在地面上激励起感应电流,这些感应电流作为二次辐射源向空间再辐射,二次辐射场将与原天线的场在空间形成干涉场,空间合成场强可以表示为: $E=E_0 \left| 1+R \exp \left[-j \frac{2\pi}{\lambda} (r_2-r_1) \right] \right|$;

(下转第411页)

周都发生,负半周放电的幅值要高于正半周。根据时域波形画出的谱图见图9。

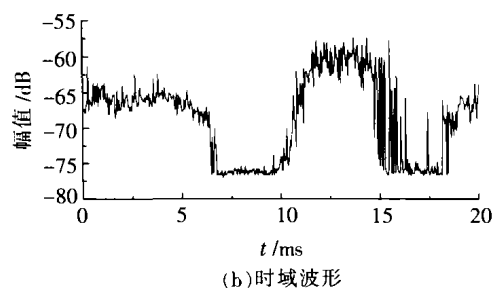


图8 盆式绝缘子表面有金属粉末的局放频谱图和时域波形

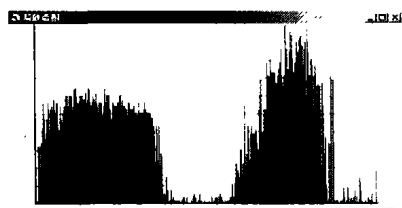


图9 盆式绝缘子表面有金属粉末的局放谱图

4 结语

研制的GIS局部放电超高频检测系统可以实现对宽频带的频域信号和高频窄带的时域信号的采

集,并且可以根据时域信号绘制谱图。对GIS中固定金属微粒导致的局部放电进行了测量,提取每种放电的特征参数,建立这几种放电的指纹库,为模式识别和故障诊断提供了有价值的数。

参考文献:

- [1] J S Pearson. Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995, 2 (5): 893-905.
- [2] M D Judd, O Farish, B F Hampton. Excitation of UHF Signals by Partial Discharge in GIS [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1996, 3 (2): 213-228.
- [3] R Kurrer, K Feser. The Application of Ultra-high-frequency Partial Discharge Measurements to Gas Insulated Substation[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 3(12): 777-782.
- [4] R Feger. Partial Discharge Classification in GIS Using the Narrow-band UHF Method [A]. IEE High Voltage Engineering Symposium[C], London, 1999.
- [5] 张鸣超, 王建生, 邱毓昌. GIS中局部放电产生的超高频电磁波及其测量[J]. 高电压技术, 1998, 24(2): 22-25.

作者简介:印 华(1979-),男,硕士研究生,从事GIS局部放电检测研究。

(上接第408页)

可简化为: $E=E_0\sqrt{1+|R|^2+2|R|\cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}+\varphi)}$ 。式中: E_0 为直射波场强, R 为地面反射系数; r_1 和 r_2 分别为源点到场点直射波和反射波的距离; φ 为反射系数的相角。由上式可以看出,在源点高度 h_1 和场点高度 h_2 保持不变时, E 随着距离的变化,在 $E_0(1+R)$ 和 $E_0(1-R)$ 之间周期性变化。辐射场反射系数与来波的频率、极化方向、波长、入射角、大地的电导率和相对介电常数有关。由极化方式的测量结果可知,金具电晕放电辐射电磁波的极化为垂直极化,因此垂直极化波地面反射系数为:

$$R = \frac{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma)\sin\varphi - \sqrt{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma) - \cos^2\varphi}}{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma)\sin\varphi + \sqrt{(\varepsilon' - j60\lambda\sigma) - \cos^2\varphi}}$$

式中: ε' 为地面相对介电常数; σ 为大地电导率; φ 为来波入射角。取地面参数湿土 ($\varepsilon'=20, \sigma=10^{-2}$), 入射角度为 60° , 计算频率 30, 70, 88 MHz 的反射系数分别为 $0.40 \angle -0.06^\circ, 0.39 \angle -0.03^\circ, 0.39 \angle -0.02^\circ$ 。但接收天线离地高度会对地面反射产生影响,当天线架设离地有一定的高度,使天线和地面不存在耦合作用,即地面对天线的辐射无影响,这也就解释了在高于 70 MHz 的频段,辐射场强没有形成干涉场的原因。

4 结语

(1)金具电晕放电横向特性:在较低频段,由于大地是具有一定导电率和介电常数的媒质,辐射场会在地面反射,反射波与直射波合成干涉场,使得地面合成场强随距离变化而周期性起伏变化;在较高频段,金具离地高度超出辐射波几个波长时,地面对电磁波的影响减弱,辐射电磁波横向特性符合振子天线模型。

(2)金具电晕放电极化特性:在较高频段,极化方式的测量值变化趋势和振子天线相一致;在较低频段,金具离地高度与电磁波波长可相比拟,对场点的测量处于辐射近场区,而天线具有一定的长度和体积,接收天线上的静电感应分量使得场强值不符合振子天线模型。

参考文献:

- [1] 陈士修, 沈远茂, 吴远利. 针-板电极电晕放电辐射电磁波的等效模型[J]. 高电压技术, 2002, 28(12): 9-11.
- [2] Robert G Olsen, Bradley O Stimson. Predicting VHF/UHF Electromagnetic Noise from Corona on Power-line Conductors [J]. IEEE Trans. on EMC, 1988, 30(1): 13-22.

作者简介:林晓宇(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为高电压绝缘与测试技术。