

文章编号:1001-1609(2003)01-0053-03

悬式瓷绝缘子在线检测装置的研究

聂一雄, 尹项根, 刘 春, 文远芳

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

STUDY OF ON-LINE DETECTING DEVICE FOR SUSPENSION INSULATOR STRING

NIE Yi-xiong, YIN Xiang-gen, LIU Chun, WEN Yuan-fang

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

摘要: 介绍了一种悬式绝缘子在线检测装置的设计原理及试验结果。试验表明,这种设计方案具有结构简单、操作方便、测量准确可靠的特点。

关键词: 绝缘子; 在线检测; 测量装置; 电晕电流法

中图分类号: TM835.4

文献标识码: A

Abstract: The design principle and experimental results of an on-line detecting device for suspension insulator strings are introduced in this paper. The results show that the structure is simple, the operation is easy and the measurement is reliable.

Key words: insulator string; on-line detection; measuring device; corona current method

1 引言

多年来,高压输电线路绝缘子的在线检测一直困扰着众多的电力系统从业人员。世界各国的研究者们一直在寻找着有效的测量手段去解决这一难题。至今已有以超声波检测法、激光多普勒振动法及红外热像仪法为代表的非电量测量法和以电压分布检测法、绝缘电阻法及脉冲电流法为代表的电量测量法被尝试用于解决绝缘子在线检测问题。它们各有其特点,也存在各自的不足^[1]。新测量方法的探索及测量装置的设计制造对于解决实际生产中遇到的问题至关重要。

笔者介绍了利用绝缘子在高电压条件下电晕放电的现象实现对绝缘子绝缘状况进行检测的测量原理及装置设计,试验结果验证了设计的正确性。

2 测量原理及装置结构

正常绝缘子承受电压达到某一值以后,将会发生电晕放电现象。大量的试验表明,绝缘子在高压作

用下的电晕放电特性具有统计性。绝缘子的起晕电压与绝缘子表面污秽及大气环境,尤其是空气湿度密切相关^[2]。当线路绝缘子串中存在劣质绝缘子时,绝缘子串中各单个绝缘子所承受的电压因劣质绝缘子的个数及其劣化程度而改变,其最大承受电压值将不同程度地有所提高。此时,电晕放电现象将极易发生,且其激烈程度将因绝缘劣化的程度而异。

基于上述原理,设计了一种新颖的绝缘子劣化状况在线检测装置,通过对绝缘子电晕电流脉冲的多周期 $N-\psi$ 图的统计特性实现对其绝缘状况的检测。

所谓 $N-\psi$ 图法就是将一个周期的检测信号按等间距原则划分为若干等分(一般为200个区间,每一区间 1.8°),并统计每区间出现放电电晕脉冲次数,作出直方图加以显示,通过图形判断电晕出现的具体时间(产生脉冲的相位),从而判断放电的类型及水平的检测方法^[3]。而多周期 $N-\psi$ 图使用的一个重要前提是必须有准确的测量起始点才能获得多周期下的测量统计特性,因此,必须有一个参考基准点以利于统计测量的正确性。目前一般采用 $N-\psi$ 图的方法是参考相位法^[4],即通过一根长竿上端的低频电流传感器获取电流某相的信号作为参考基准实现对电晕电流的统计测量,进而判断劣质绝缘子的具体相位。这种方法虽然具有相位辨识的优点,但长竿的使用对于野外工作环境而言,如对于110 kV高压线路,其绝缘子距地高度超过10 m,若采用该法获取参考相位将极不方便。同时,劣质绝缘子的具体相位对于实际检测而言意义不大,因为若更换绝缘子必然会停电检修或者爬竿带电更新,此时再利用兆欧表或分布电压表作更精确的检测效果更佳。因此,设计采用了泄漏电流作 $N-\psi$ 图测量的参考点实现 $N-\psi$ 图检测。其具体的设计思路及基本前提是:假设在测量时间段,三相绝缘子泄漏电流的相量值是基本

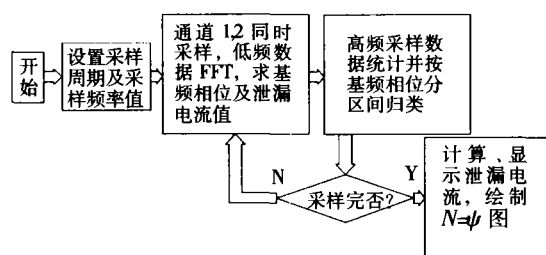
收稿日期:2002-09-24; 修回日期:2002-11-30

不变的,因此,三相合成电流的相位保持恒定,将该信号进行处理后作为 A/D 采样的触发信号,即 $N-\psi$ 图的参考相,进而实现对绝缘子电晕电流信号的统计采样和处理,得到 $N-\psi$ 图测量曲线图。为实现这一目标,高分辨率低频电流传感器的设计是首要问题。而脉冲电晕的发生概率最大区间应该是在以交流电压的峰值点为包络中心的某一范围内近乎对称分布的,而故障相电晕的出现则必然伴随有一个电晕 $N-\psi$ 图的极值点出现,虽然因线路绝缘子的等效参数的变化稍有差异,但其相差不会很大。因此,除非某相线路绝缘子产生极为强烈的电晕(从 0° 附近即开始产生电晕,此时可能会将单相电晕误判为两相或三相,但通过泄漏电流值远大于正常情况的检测可以作进一步的判断区分,因为此时三相电路负载极不平衡),通过检测 $N-\psi$ 图中各 N 值极点出现的位置,可以实现对故障相数的判断。

绝缘子运行状况检测装置的硬件电路由信号传感器、前级处理电路、A/D 转换电路及嵌入式计算机组成;软件分析部分包括泄漏电流计算与 $N-\psi$ 图的绘制、故障相数及严重程度判别分析。装置实现的原理性方框图及 $N-\psi$ 图绘制处理软件流程图分别如图 1 和图 2 所示。



图1 绝缘子诊断测量原理性方框图

图2 $N-\psi$ 图法实现软件流程图

虽然绝缘子在实际运行过程中也会偶尔产生局部放电脉冲,但因为这种放电脉冲具有随机性且大致符合平均分布,因此,在实际的信号鉴别中可以通过软件予以剔除。另外,为便于现场操作人员使用,必须通过软件的方法使检测结果的显示尽量简单明了,图 3 给出了实现这些目的的信号处理软件方框图。

绝缘子劣化程度的判断则是基于每个局部峰值附近 $\pm 30^\circ$ 范围内脉冲个数的统计分析。基于文[2]中有关电晕发生概率的统计测量试验结果,在环境条件确定的情况下,当外加电压越高时,绝缘子发生电

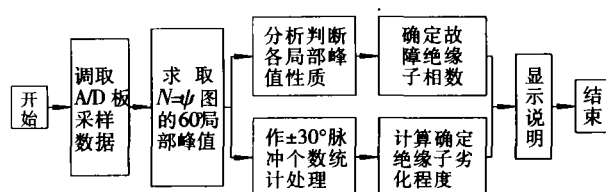


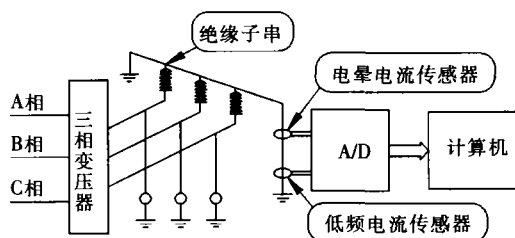
图3 绝缘子故障相数及劣化严重程度判断软件流程图

晕放电的几率越高,因此,对于确知的外界条件,通过电晕脉冲发生几率的计算判断绝缘子的运行状况是合理的。

3 试验及其结果

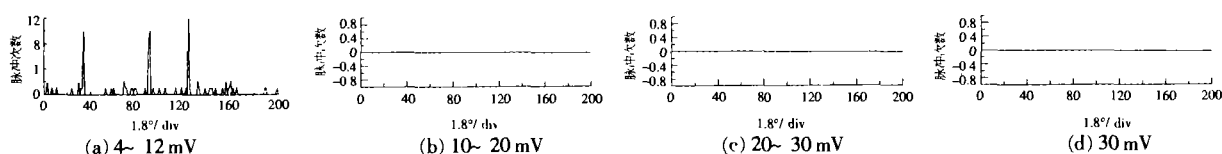
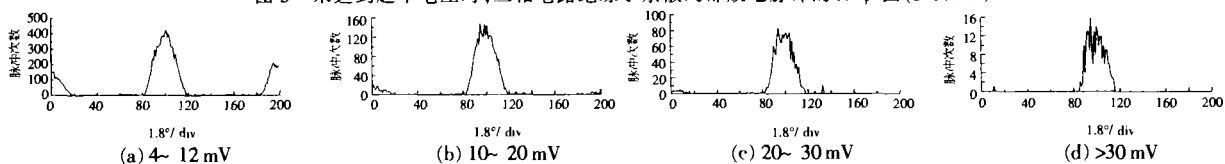
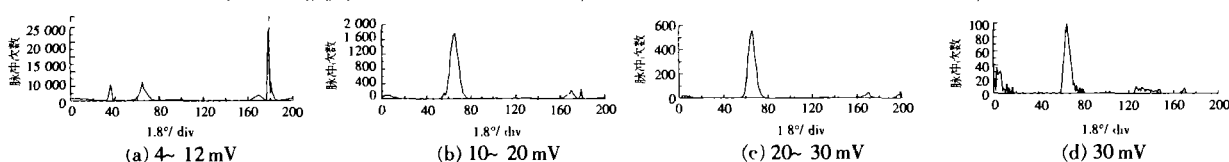
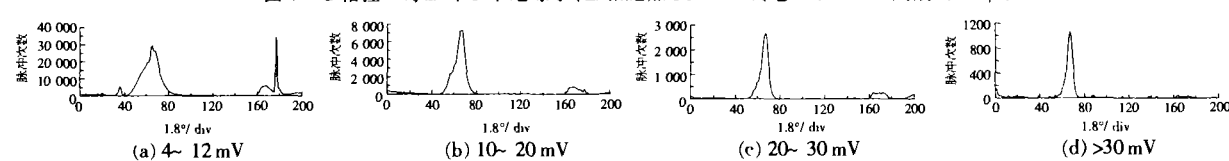
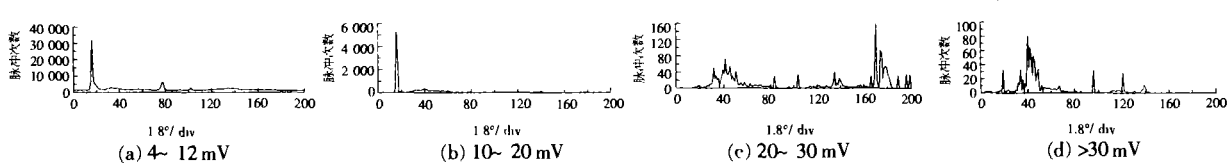
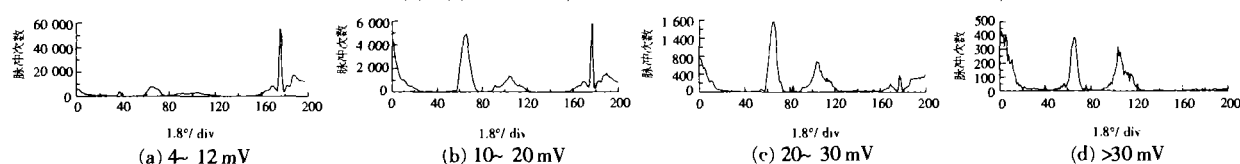
采用经过精心设计的电晕电流传感器^[5],并将传感器经过屏蔽处理后与主机之间的联系设计成插件式结构以尽量减少外界干扰的影响,便于携带,在实验室模拟现场环境进行了装置运行试验。

由于客观条件的制约,在实验室进行的模拟现场试验是在 35 kV 电压等级下进行的。虽然用于 35 kV 电压等级的线路因单只绝缘子分布电压过低难以实现轻微故障的检测,但由于在实际中该种情况并不影响电力系统的安全运行,故从理论上而言,应该是可以为现场所接受的。其试验线路见图 4。

图4 三相电路绝缘子性能测试 $N-\psi$ 图测量实现方框图

模拟现场试验是在环境温度 27°C , 相对湿度约 75% 条件下对洁净绝缘子串所进行的。模拟现场试验对绝缘子在单相、两相及三相等各种不同绝缘失效及严重性情况下的 $N-\psi$ 图及泄漏电流变化情况进行了比较,各种情况下的测量结果分别如图 5~10 所示。

试验结果表明,除了图 5 因为脉冲数量较少引起误判外,其余情况均能正确判断读出。图 5 为外加三相均不起晕电压值时的绝缘子 $N-\psi$ 曲线图,可见,此时仍然有少量量的电晕脉冲近乎平均地分布于整个 ψ 区间,它是由于外界随机信号作用的结果,在实际的信号鉴别中若不采取一定的处理措施,容易引起误判,因此,必须用有效的手段设法予以剔除。实际设计中,通过对软件增加一个判断门限值,即局部峰值电晕数必须大于某一常数(如选取 $10 + \text{采样周期数} \times 1\%$),解决了误判情况。

图5 未达到起晕电压时,三相电路绝缘子杂散局部放电脉冲的 $N-\psi$ 图(5 000 T)图6 C相挂一好一坏2个绝缘子时,三相施加28 kV线电压下1 000周期的 $N-\psi$ 图图7 C相挂一好二坏3个绝缘子,三相施加30.1 kV线电压下1 000周期的 $N-\psi$ 图图8 C相挂一好二坏3个绝缘子,三相施加31.9 kV线电压下1 000周期的 $N-\psi$ 图图9 AB两相存在劣质绝缘子时,AB两相施加35 kV线电压下1 000周期的 $N-\psi$ 图图10 AC两相存在劣质绝缘子时,三相施加35 kV线电压下2 000周期的 $N-\psi$ 图

上述试验时,三相绝缘子流经接地线的泄漏电流 I_0 如表1所示。

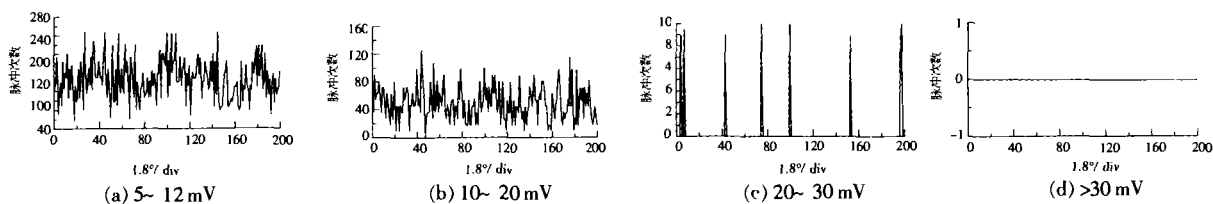
表1 流经地线的三相泄漏电流

	I_0 /mA		I_0 /mA		I_0 /mA
图 5	0.056	图 7	0.106	图 9	0.136
图 6	0.101	图 8	0.118	图 10	0.129

从上述试验可看出,当线路中存在劣化绝缘子时,从三相输电线的接地线上总是可以感应检测出电晕脉冲信号。虽然模拟试验是在35 kV电压下进

行,但仍然可以清楚地通过所设计检测装置准确地判断出线路绝缘子的故障相数及劣化程度。对于110 kV或以上电压等级的输电线路,由于在正常运行电压下,单个绝缘子承受的电压已接近起晕脉冲电压,因此,对于绝缘子的劣化程度的检测更加灵敏。同时从试验中可看出,通过测量三相泄漏电流对于检测三相不均匀劣化状况下绝缘子的绝缘有一定的作用。

2002年1~5月间曾在110 kV武-葛线上反复进行现场验证试验,两个典型实例如图11和图12所示。

图11 线路绝缘正常时,现场实测 $N-\psi$ 曲线图(2 000 T)

(下转第59页)

另一个主要部分。两个彼此独立的风扇系统用来抽取各层线圈的空气以使其维持在正常温度。这样设计是为了一旦有一个风扇出了故障仍能确保另一个风扇为变压器正常降温。如果整个出了故障,对于绝缘材料来说也并没有危险,因为主要的热源损失不再产生。另外,因为冷却介质是空气,它可以得到持续的补充,而不存在老化的问题。

考虑铁心产生的空载损耗和绕组产生的负载损耗,电缆变压器采用吸风和抽风的调速风机进行冷却。利用PT-100 热电阻传感器进行绕组电缆热点直接测量,并调节风机速度,以便更加准确地控制热点。为了提高可靠性,一般配备两组风机:一组风机工作,一组风机备用。

干式变压器的风扇电动机可任意选择。超载运行时可增加风扇转速制冷,在正常超载的情况下,不会影响风扇的运行和产生噪声。这样在周围环境温度 30°C 时,可以维持设备的安全。

5 结论

(1)传统的高电压交联聚乙烯(XLPE)电缆已经用于干式变压器的制造,并已初步取得成功。

(2)电缆变压器省却油介质可以大大减少对环境的污染,也使得变压器的安装场所选择范围更广。

(3)电力电缆的制造技术,甚至专用绕组电缆的采用会充分提高变压器的整体性能。

参考文献:

- [1] ABB Corp. Published Applications for Inventions BG [R]. 2001.
- [2] P Holmberg. Modeling the Transient Response of Windings, Laminated Steel Cores and Electromagnetic Power Devices by Means of Lumped Circuits[M]. ACTA Universitatis Upsaliensis Uppsala, 2000.
- [3] Tanaka. Interfacial Improvement of XLPE Cable Insulation at Reduced Thickness [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1996, 3(3): 350-356.
- [4] Li Ming. Recent Trends within Insulation Systems for Transmission and Distribution Apparatus [A]. Proceedings of the 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials [C], 2000.
- [5] Mats Leijon, Thomas Andersson. High and Dry[J]. IEE Review 2000(7): 200-205.

作者简介:王世山(1967-),男,讲师,博士生,从事新型电力变压器的研究开发。电话:(029)2668626。

(上接第55页)

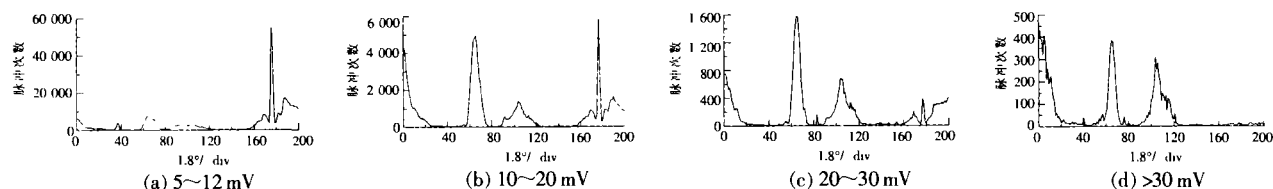


图12 线路绝缘故障时,现场实测 $N-\psi$ 曲线图

4 结论

绝缘子在高电压作用下电晕放电的起晕电压及电晕发生概率均符合统计特性,利用这一现象实现对绝缘子劣化程度的在线检测是可行的。采用流经地线的三相合成电流波形作为 $N-\psi$ 图法统计测量的参考点,实现 $N-\psi$ 图检测,经试验证明是稳定可靠的。实验室模拟现场试验及现场试验均证明了这一点。该方法的主要特点在于无需登高即可对绝缘子的绝缘运行状况进行检测。

如果在测量脉冲电晕电流的同时,通过测量绝缘子串的泄漏电流对绝缘子串的绝缘状况进行初步检测,并加入一些影响测量判断准确性的外界因素,采用现有已知的有关外界因素,如污秽、潮湿、温度、冰雪覆盖等对绝缘子串泄漏电流影响的数学模型,采取分别赋予不同外界干扰因素以不同隶属度的方

法,并利用模糊集理论综合考虑绝缘子的运行情况,则可以最终实现全天候的绝缘子在线检测。

参考文献:

- [1] 聂一雄,尹项根. 绝缘子在线检测方法述评和构想[J]. 电瓷避雷器, 2000(4): 20-25.
- [2] Nie Yixiong, Yin Xianggen, Liu Chun, et al. Research into the Corona Current Characteristic of Polluted Insulators [A]. Proceedings of International Symposium on Electrical Insulating Materials[C], Himeji, Japan, 2001.
- [3] 邱昌容,王乃庆. 电工设备局部放电及其测试技术[M]. 北京:机械工业出版社, 1994.
- [4] 程养椿,李春榕. 电晕指纹法地面检测不良绝缘子串的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(4): 54-58.
- [5] 聂一雄,尹项根,刘春,等. 一种高频电流传感器的设计[J]. 仪器仪表学报(增刊), 2001, 22(3): 196-198.

作者简介:聂一雄(1964-),男,博士,工程师,研究方向为传感器、智能检测及仪表。