

强化集肤效应抑制快速暂态过电压

刘卫东¹, 董琴¹, 孙会刚²

(1. 清华大学电机系电力系统国家重点实验室, 北京 100084; 2. ABB 集团中国研究中心, 北京 100016)

摘要: GIS 隔离开关投切空载母线时能够产生特快速暂态过电压 VFTO; 真空开关投切电感性负载时能够产生重燃过电压。这些快速暂态过电压具有很高的变化陡度, 能够在电力设备绝缘上不均匀分布, 产生严重危害。提出了强化集肤效应抑制快速暂态过电压的方法, 它是在导电杆上套上高频磁环串, 再在磁环串外套上电阻筒, 由此构成同轴结构。此结构能够产生强化的集肤效应, 工频电流频率较低, 主要通过导电杆, 受磁环和电阻的影响很小; 快速暂态过电压频率很高, 受高频磁环的影响显著, 被迫通过外层电阻, 从而产生幅值和陡度的衰减。通过模拟试验表明, 这一方法对快速暂态的抑制效果显著。

关键词: GIS; 真空开关; 操作暂态; 过电压保护

中图分类号: TM595

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)06-0012-03

Enhancing Skin Effect for Suppression of Fast Transient Overvoltage

LIU Wei-dong¹, DONG Qin¹, SUN Hui-gang²

(1. State Key Lab of Power Systems, Dept. of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. ABB Corporate Research China, Beijing 100016, China)

Abstract: GIS disconnecting bus results in very fast transient overvoltage (VFTO), and vacuum switch switching inductive load produces multiple restriking overvoltage. These fast transient overvoltages can make uneven distribution in the insulation of electric equipments, and make them overstressed. In this paper, an enhanced skin effect method is proposed to suppress the fast transient overvoltage. A coaxial structure, taking a conductor as the core, high frequency magnetic rings as inner layer, and a resistant tube as outer layer, is adopted to generate the enhanced skin effect. In this coaxial structure, the normal power frequency current takes a way through the central conductor, and the high frequency fast transient overvoltage is forced to the outer resistant layer due to the enhanced skin effect and is damped there. Significant suppression effect of the fast transient overvoltage is achieved in simulation tests.

Key words: gas insulated substation; vacuum switch; switching transient; overvoltage protection

0 引言

GIS 的特快速暂态过电压 VFTO 和真空开关的多次重燃过电压都是由于开关断口间隙的击穿引起的。开关断口间隙击穿产生很陡的电压波, 在电路中传播、折射和反射, 形成快速暂态过电压。快速暂态过电压的危害不仅在于其高的幅值, 还在于其高的陡度, 能够在电力设备绝缘上不均匀分布。

参考文献[1-4]介绍了用高频磁环抑制快速暂态过电压陡度的设想, 它是在导电杆上套上高频磁环串, 增大导电杆的局部电感, 当陡的行波经过时, 电感将减缓行波的陡度。然而, 试验表明, 当行波电流很大时, 会导致磁环饱和, 失去抑制行波陡度的能

力; 此外, 磁环不能产生显著的能量损耗, 抑制过电压幅值的效果有限。

在文[1-4]的基础上, 笔者进一步提出了在高频磁环两端并联电阻, 以增加损耗, 增大对快速暂态过电压的衰减。这种方法的原理类似于集肤效应, 但由于高频磁环和电阻的作用使集肤效应得到加强, 故在此称为强化集肤效应。为了检验这种方法原理上的可行性, 进行了模拟试验。

1 强化集肤效应及其实现

高频电流通过一个导体时, 由于集肤效应, 电流密度沿导体截面不均匀分布。对于一个圆截面的导体, 电流密度沿导体半径方向增大, 导体表面具有最大的电流密度。随着电流频率的增加, 集肤效应增

收稿日期: 2009-07-06

作者简介: 刘卫东(1961), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力设备在线检测和故障诊断、操作过电压分析及抑制、电力系统限流器技术等。

强,电流密度分布的不均匀性增大。为了提高导体通过高频电流的能力,通常会在导体表面镀银,减小集肤效应产生的损耗。

在电力系统中,为了抑制高频暂态过电压,可以利用集肤效应,图1所示是一种可能的方法,它是在导电杆上套上高频磁环串,再在磁环串外套上电阻筒,由此构成同轴结构。当高频暂态通过时,高频磁环加强了集肤效应,迫使高频电流主要取道外表面。由于外表面是电阻材料,进一步增大了高频暂态的衰减。对于正常运行的工频电流,其频率较低,主要通过内部导电杆,受高频磁环串和电阻的影响很小。这种方法等效于在线路中增加了抑制高频暂态的合闸电阻,但它是静态的,不需要操动机构的控制,具有结构简单的优点。

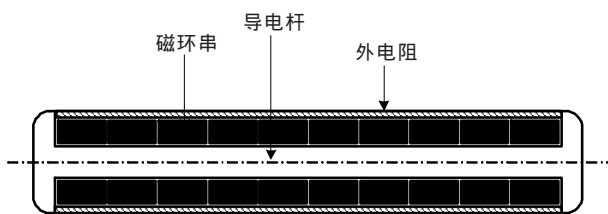


图1 强化集肤效应的实现原理图

2 模拟试验

为了验证强化集肤效应抑制高频暂态的效果,进行了模拟试验。模拟试验电路图见图2。工作过程:通过高压硅堆D对电容 C_s 充电,至真空触头间隙G击穿,产生高频暂态,作用在模拟负载 L_z 和 C_z 上, L_z 为模拟负载电感, C_z 为模拟负载电容。调整真空触头间隙的开距可改变击穿电压,从而改变高频暂态的幅值。采用电流分流器S测量高频暂态电流,采用高压电压探头测量模拟负载上的高频暂态电压。

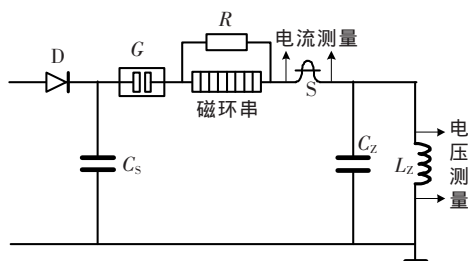


图2 模拟试验电路图

试验有3种电路情况:无磁环串,无磁环串并联电阻 R ;有磁环串,无磁环串并联电阻 R ;有磁环串,有磁环串并联电阻 R 。磁环为非晶FJ37材料,磁化特性曲线见图3,磁环串并联电阻 R 对应于图1中的外电阻。表1给出了主要试验元件和设备的参数。

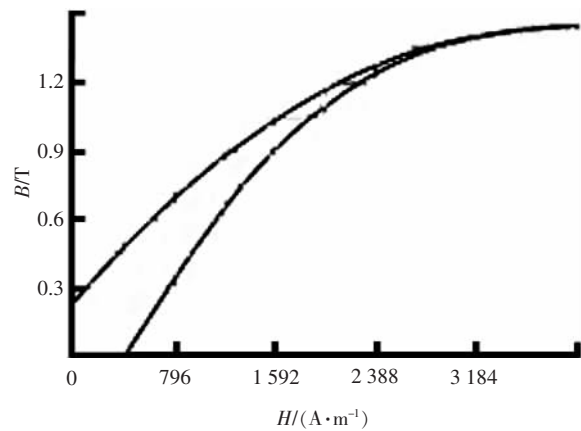


图3 FJ37非晶材料的磁化曲线

表1 试验电路元件和设备的参数

元件	参数
脉冲电容 C_s	1 μ F, DC40 kV
脉冲电容 C_l	1 nF, DC24 kV
电感线圈 L_l	23 mH
真空间隙 G	6 kV 真空接触器灭弧室
磁环串 (非晶材料FJ37)	内径26 mm, 外径40 mm, 总长度760 mm
数字示波器2台	模拟带宽200 MHz, Tek THS730A
高压电压探头	分压比1 000:1, Tek P6015
分流器 S_c (自制)	同轴无感, 电阻1.25 m Ω

选定真空间隙 G 的击穿电压为16 kV, 选定磁环串并联电阻 R 为75 Ω , 在3种电路情况下分别试验, 模拟试验暂态电压和暂态电流波形见图4。由试验结果可知: 当没有磁环串和没有并联电阻时, 暂态电压第一峰值约为25 kV, 上升时间约为120 ns; 暂态电流第一峰值约为150 A。当增加磁环串但没有并联电阻时, 暂态电压第一峰值仍为25 kV, 但上升时间增加到约600 ns; 暂态电流的第一峰值减小为40 A。当同时有磁环串和并联电阻时, 暂态电压第一峰值减小为20 kV, 上升时间约为600 ns; 暂态电流第一峰值为40 A。此结果表明: 磁环串减小了暂态电压的陡度和暂态电流的幅值, 对暂态电压幅值没有显著影响; 增加并联电阻后, 暂态电压幅值得到显著衰减。

试验测得磁环串的等效电感为18 μ H。在此参数下进行仿真计算, 可观察并联电阻对暂态电压衰减的影响。不同并联电阻条件下仿真计算的结果见图5。并联电阻有一个最优值, 当为70 Ω 左右时, 暂态电压幅值衰减最显著。显然, 当并联电阻很大时, 接近开路, 其衰减作用很小; 当并联电阻很小时, 接近短路, 磁环串的作用被消除, 对高频暂态的影响也

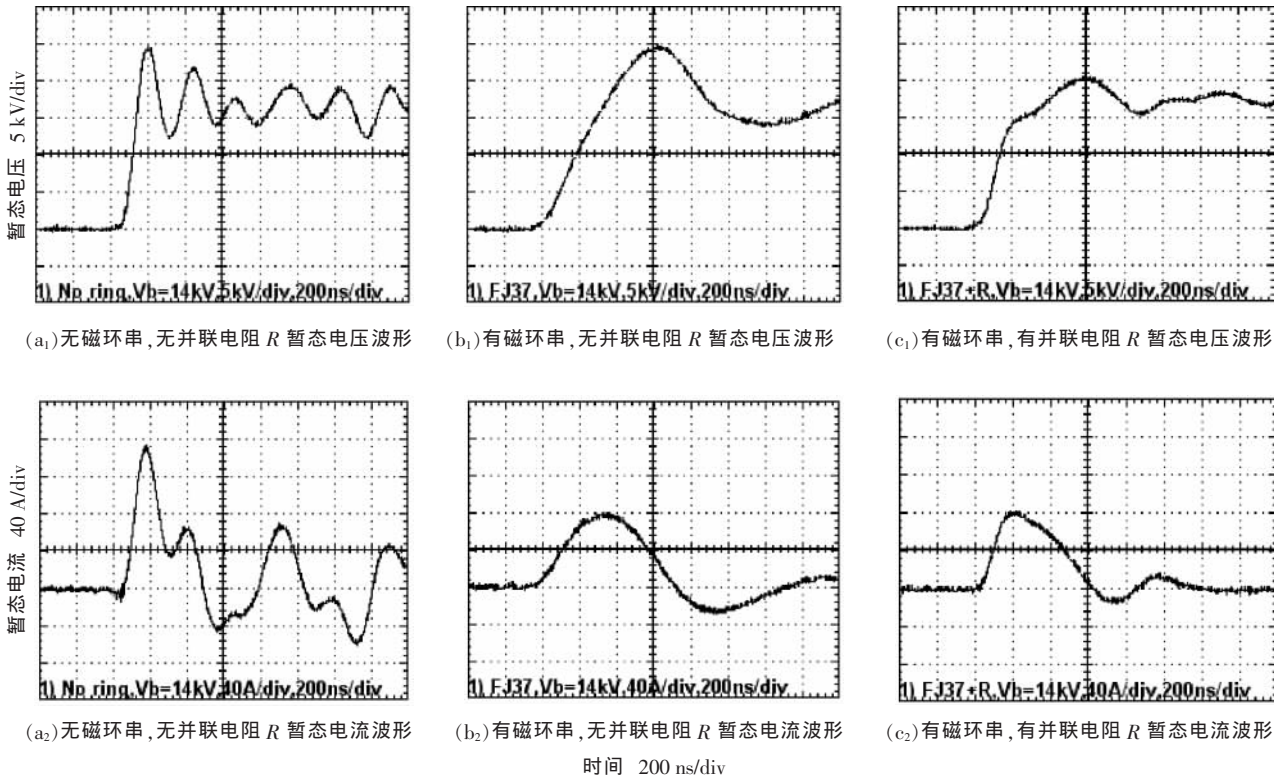


图4 模拟试验暂态电压和暂态电流波形

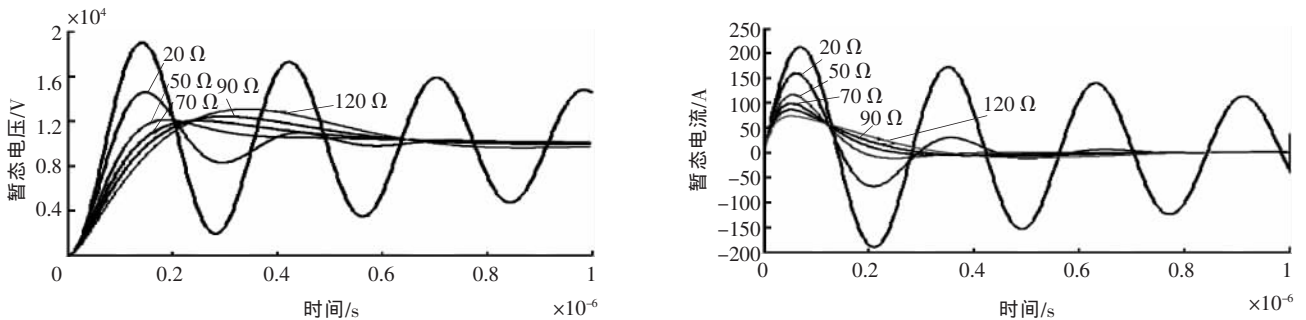


图5 并联电阻影响暂态衰减的仿真结果

消失。

磁环串并联电阻后,由于其分流作用,使通过磁环串内导体的高频电流减小,由此可减小磁环串的饱和。如果磁环串进入饱和状态,它对高频暂态的作用将消失,这是选择磁环材料和磁环尺寸时应尽量避免的。

当导电杆通过正常工频电流时,磁环串和并联电阻上都会产生工频损耗。对于磁环串上的工频损耗,有待于进一步的研究。对于并联电阻上的工频损耗,可以做以下的估计。当磁环串的等效电感为 $18 \mu\text{H}$ 时,其工频感抗约为 $5.7 \text{ m}\Omega$ 。若导电杆上通过 5 kA 工频电流,则磁环感抗上的工频电压降约为 28 V 。若磁环并联电阻为 75Ω ,则电阻上的工频损耗约为 10.7 W ,此损耗是可以接受的。对于高频暂态,磁环的感抗显著增大,压降也显著增大,并联电

阻对高频暂态的损耗显著。

3 结语

提出了用高频磁环串和并联电阻的结构强化集肤效应,实现对电力系统快速暂态过电压的抑制。模拟试验检验了这种方法的有效性。

试验结果表明:仅用高频磁环串可减小暂态电压的陡度,但没有减小暂态电压的幅值;同时使用高频磁环串和并联电阻,既减小了暂态电压的陡度,又减小了其幅值。

磁环串越长,等效电感越大,对高频暂态的抑制作用也越大。

对于一个给定的磁环串,并联电阻有一个最优取值,产生最大的高频暂态衰减。

(下转第 19 页)

(1)空域滤波法简单,编程实现容易,滤波效果与模板的大小和形状选取有较大的关系。

(2)频域低通滤波需对图像进行空域与频域上的变换处理,滤波效果与截止频率的选择和滤波函数有较大的关系,但若噪声的频谱域图像的频谱存在重叠,该方法在滤除噪声的同时对图像的细节和边缘有一定模糊。

(3)小波滤波采用多分辨率分析,可将图像进行多尺度分解,同时具有时域和频域上的分析能力,与传统的方法相比,一般来说,该方法滤波的灵活性和滤波效果优于其他几种方法,但计算量较大。

(4)对图像进行分段线性灰度变换和局部自适应直方图均衡化可改善背景图像的对比度和亮度。

需要说明的是,虽然采用的方法是针对“日盲型”紫外成像仪图像进行了处理,但对夜间型紫外成像仪(俄罗斯的非林-6紫外电子光学探伤仪)拍摄的图像进行处理同样取得了较好的效果,限于篇幅,在此不再详细论述。

参考文献:

- [1] 戴利波.紫外成像技术在高压设备带电检测中的应用[J].电力系统自动化,2003,27(20):97-98.
- [2] PINNANGUDI B,GORUR R S.Quantification of Corona

Discharges on Nonceramic Insulators [J].IEEE Trans. on D & EI,2005,12(3):513-523.

- [3] 高强,赵振兵,李然,等.基于独立分量分析的近红外图像去噪方法的研究与应用[J].中国电机工程学报,2005,25(22):94-98.
- [4] 李明喜,毛罕平.近红外图像消噪方法的对比实验研究[J].红外技术,2007,29(11):657-661.
- [5] 欧阳晶.小波变换在图像去噪中的应用研究[D].南昌:江西师范大学,2006.
- [6] 陈书汉,庞其昌,靳贵平.一种双波段图像实时融合实验系统光学技术[J].2006,32(2):277-279.
- [7] 项震.基于CCD器件特征的图像噪声消除[J].光电工程,28(6):66-68.
- [8] 彭波,王一鸣.低照度图像去噪算法的研究与实现[J].计算机应用,2007,27(6):1455-1457.
- [9] 罗军辉,冯平,哈力旦A. MATLAB7.0在图像处理中的应用[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [10] 盛道清.图像增强算法的研究[D].武汉:武汉科技大学,2007.
- [11] 刘云鹏,马国明,刘肇欧,等.低通滤波在紫外成像降噪处理中的应用[J].高电压技术,2007,23(6):129-132.
- [12] 飞思科技产品研发中心.小波分析理论与MATLAB7实现[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [13] 彭玉华.小波变换于工程应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [14] 刘成云.基于小波变换的图像去噪方法研究[D].武汉:武汉科技大学,2005.
- [15] 蔡超峰.局部直方图均衡化算法研究及其应用[D].郑州:郑州大学,2005.

(上接第14页)

磁环饱和后将失去对高频暂态的作用,应该避免。快速暂态过电压主要出现在开关投切小电流的场合,此场合不会出现工频电流导致磁环饱和的情况。然而,如果通过磁环串的快速暂态电流幅值很大,则可能导致磁环饱和,这是应用的一个关键问题。磁环串的并联电阻可分流磁环串中的高频电流,对消除磁环饱和有利。

进一步的工作是,针对电力系统条件,进行试验和仿真计算,深入研究采用强化集肤效应抑制快速暂态过电压的可行性。

参考文献

- [1] 刘卫东,金立军,钱家骊,等.铁氧体磁环抑制GIS的VFTO的可能性[J].中国电工技术学报,2002,17(4):22.
- [2] 项祖涛,刘卫东,钱家骊,等.用磁环抑制GIS的VFTO的高电压模拟试验[J].中国电工技术学报,2004,19(7):1.
- [3] 项祖涛,刘卫东,钱家骊,等.磁环抑制GIS中特快速暂态过电压的模拟试验和仿真[J].中国电机工程学报,2005,25(19):101.
- [4] 董琴,刘卫东,孙会刚.磁环抑制真空重燃过电压的陡度[J].高压电器,2007,43(1):1.

2009年输变电技术交流会暨专委会工作会议召开

简讯

挂靠在西安高压电器研究院的中国电机工程学会变电专业委员会、中国电工技术学会输变电设备专业委员会、中国电工技术学会大容量试验技术专业委员会、中国电工技术学会电工陶瓷专业委员会和陕西省电工技术学会共同组织的2009年输变电技术交流会暨专委会工作会议于10月30-11月1日在江苏省常州市召开,出席会议的共有72个单位的114名代表。会议共征集论文76篇,汇编成会议论文集,并评出了15篇优秀论文,在会议上作大会宣读。同时,各分专委会还分别召开了2009年工作会议,审议并通过了2009年工作总结和2010年工作要点报告。