文章编号:1674-7070(2010)04-0353-04

雷电冲击试验中的压敏电阻性能

杨仲江[1,2]　陈琳[2]　孙涌[3]

摘要

为研究在雷电冲击下的压敏电阻的性能,利用冲击试验分析了压敏电阻主动能量配合的残压变化,对于各种能量配合方式做出了分析,发现当压敏电阻在暂态过程中吸收的能量过大时,实际损坏形式以雪崩击穿为主. 压敏电阻主动能量配合的一组串并联试验结果表明:与单个压敏电阻相比,多个压敏电阻并联可以给出较低的箝位电压,提高泄放暂态过电流的能力,还可以减缓各压敏电阻的性能退化;压敏电阻的串联都是不可取的.

关键词

电涌保护器;压敏电阻;特性;冲击试验;残压;主动能量配合

中图分类号 TM644

文献标志码 A

收稿日期 2010-03-22

资助项目 公益性行业科研专项(GYHY2008-06014);南京信息工程大学科研基金(E30JG-0730)

作者简介

杨仲江,男,副教授,研究方向为雷电防护、电磁兼容. mashimaro2974@126.com

陈琳(通讯作者),男,硕士生,研究方向为SPD的研发与设计. chenlinjerry@163.com

1 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 大气物理学院,南京,210044

3 北京雷电防护装置测试中心,北京,100176

0 引言

Introduction

电气电子设备的广泛使用需要强大稳定的电力供应,需要架设高压输电网,与此同时,雷电也通过各种途径严重危害着高压输变电设备以及建筑物内的电气电子设备. 早期的线路防雷击电涌保护器主要采用空气间隙,后来,人们发现了金属氧化锌半导体变阻器(压敏电阻),其伏安特性好,并具有响应时间快、通流容量大、无后续跟随电流等优点[1],成为目前市场防雷主流产品的核心器件.

压敏电阻在雷击电涌冲击条件下的性能将直接影响电涌保护效果. IEC 61643-1:1998 和 GB 18802.1—2002 规定了动态性能测试方法[2-3]. 寇晓等[4]对不同故障状态的压敏电阻的复合波响应进行了试验研究,结果表明:不同故障状态的压敏电阻由于伏安特性的差异将呈现不同的复合波响应特征,利用其响应特征可以判别压敏电阻是否存在故障及具体故障类型. 李军浩等[5]研究发现:氧化锌压敏电阻在给定幅值的冲击下所吸收能量的多少与其老化程度有密切的联系,通过对比历史记录,可以判断出其老化程度.

以上的研究结果在进行压敏电阻状态检测时确实比较有效,在判断氧化锌压敏电阻的老化程度方面也很有意义,但由于所做冲击实验的电涌电流幅值过小,因而结果可能还不能真正反映受到大电流冲击后的实际情况. 而且实际的电涌保护器常常是一些器件的组合,所以还有必要以冲击试验的形式,利用先进的高压冲击设施(北京雷电防护装置测试中心的 Haefely 产品:浪涌测试系统 PSURGE 30.2 等)分析压敏电阻主动能量配合的残压变化,并对各种器件的串并联及能量配合方式做出分析.

1 压敏电阻性能分析

Performance analysis of varistor

压敏电阻是电压敏感型元件,当加在压敏电阻两端的电压低于压敏电压时,它的电阻可达几百兆欧以上,近似于绝缘体;而一旦超过压敏电压值后,电阻值便急剧下降,可减小到欧姆级甚至于毫欧姆级,进而成为一个导体,响应时间为纳秒级[6-7]. 利用压敏电阻这个非线性特点,可应用其做成过电压保护器. “绝缘到导通”的转折点,通常以有 1 mA 电流流过时的电压来表示,称为“压敏电压”.

1.1 试验中的伏安特性

压敏电阻的伏安特性曲线与两个特性一致的背对背连接的稳压管非常相似,因此压敏电阻对瞬变电压的吸收作用是通过箝位方式来实现的. 其伏安特性曲线如图 1 所示.

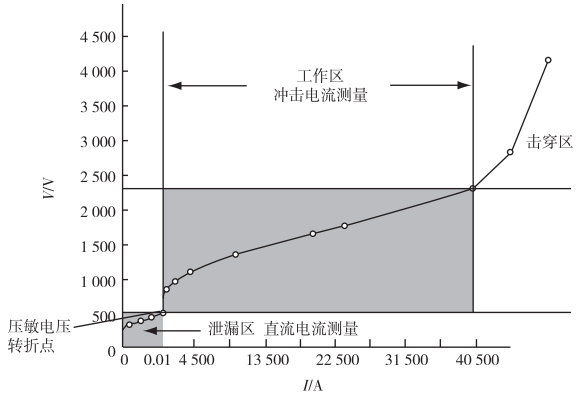


图 1 伏安特性曲线

Fig. 1 *V-I* feature curve

图 1 为实际测量出的伏安特性曲线,它仅说明压敏电阻的变压性能,决不可以将泄露区和工作区理解为一个简单的过渡过程. 在压敏电阻的泄露区,必须使用直流电流进行测量;工作区则必须用冲击电流测量. 这两种电流性质不同,测试出的电压也不同,所以在绘制特性曲线时应该注意.

1.2 其他特性

压敏电阻元件本身具有的特点.

1) 当流过压敏电阻的电流密度大于数微安每平方厘米时,压敏电阻已有相当高的非线性,即电压的变化会使电流有极大的变化.

2) 压敏电阻的参数测量的"时间"特性,即压敏电阻从一种电阻状态改变到另一种电阻状态,是需要一定时间的. 在压敏电压测量时,在通入测量电流 20 ms 后的读数值相对于稳态值的误差,才能小于 2%. 在漏电流测量时,当加上测量电压后,漏电流趋于稳态值的时间更长.

3) 压敏电阻的漏电流,应注意区分是在"最大连续直流电压"下的漏电流,还是在"比例电压"下的漏电流. 所谓"比例电压"漏电流,是指每只产品实际压敏电压值的 75% 或 83% 电压下的漏电流.

4) 压敏电阻参数测量的"方向"特性,即当流入压敏电阻的测试电流方向改变时,即使电流大小一样,所测得的电压值也会有微小的差别.

5) 压敏电阻参数具有"历史"特性,即压敏电阻参数的测量结果,与这次测量以前所经历的"加电历史"有关,连续几次测量中,第 2 次测得的压敏电压常常比第 1 次测得的高 0.3% ~0.5%.

1.3 物理结构决定因数

压敏电阻片的厚度正比于压敏电压,面积正比于电流,体积正比于能量;压敏电阻片的微观结构,主要在于晶界层,决定了它的分布电容的大小[8-9].

1.4 实际损坏形式

1) 雪崩击穿. 当压敏电阻在暂态过程中吸收的能量过大时,一般为大于 I_{max} 冲击时,引线与本体的焊接部位被电动力打断,或者压敏电阻未能承受该幅值的冲击而爆裂损坏,从而表现为开路状态.

2) 热击穿. 压敏电阻承受的电流值缓慢上升,超过其额定运行电压的稳态电压时,会造成热击穿损坏. 这种损坏先表现为短路,这时短路电流值非常大,压敏电阻继续吸收大量的能量,温度不断升高,最终导致压敏电阻本体发生爆炸.

一般采取对压敏电阻加装熔断器来保护,及时切断其中的短路电流,防止其过热损坏.

1.5 使用中的缺点

根据外形和标称压敏电压的不同,压敏电阻的分布电容量为数千和数百皮法之间,这意味着它不适宜用于高频通信线路(如信号、天馈线等),而比较适合于在工频系统中工作.

压敏电阻的箝位电压较高,随着受到电涌冲击次数和温度的增加,漏电流会增加,从而影响系统正常工作.

2 压敏电阻的主动能量配合

Varistor coordination with active energy

2.1 模拟试验

为了更好地说明压敏电阻的主动能量配合,进行了一组相关的串并联试验. 试验选取一个 3 + 1 型电涌保护器,压敏电阻的 U_c 为交流 385 V, I_n = 20 kA;放电管 U_{oc} = 1 kV. 用汇流排实现两个元件之间的串并联,其等效电路如图 2 所示. 根据低压配电系统的电涌保护器性能要求和测试方法,采用波头时间 T_1 = 8 μs、半波时间 T_2 = 20 μs 的标准 8 A/20 μs 冲击电流波形[3],分别在 +1 kA、+2 kA、+5 kA、+10 kA、+20 kA 的幅值下进行测试. 冲击电流与残压变化曲线见图 3.

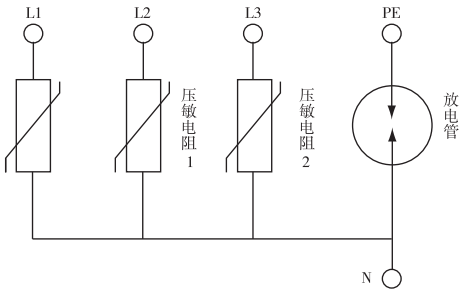


图2　3+1型SPD等效图

Fig. 2　Equivalent diagram of 3+1 SPD

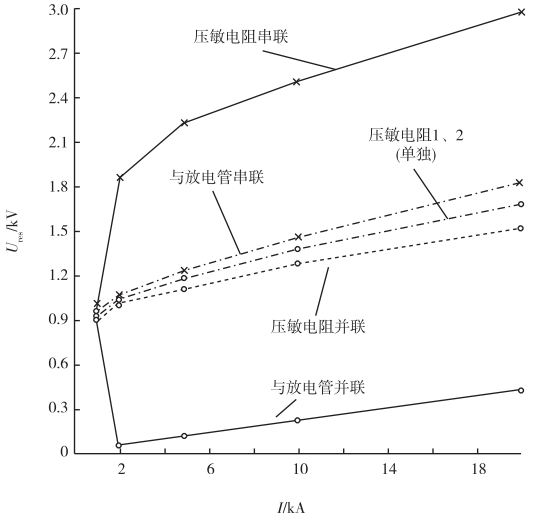


图3　电流与残压曲线

Fig. 3　I-U_{res} curve

2.2　压敏电阻与放电管配合

1）并联

由图3可知,压敏电阻与放电管并联时(图4),可以将残压限制得相当低.

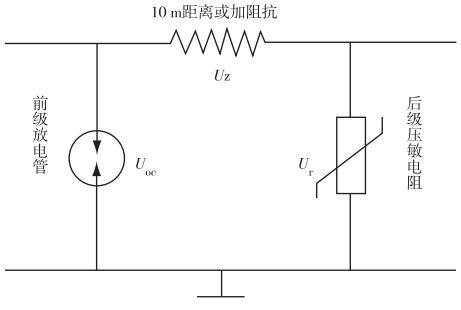


图4　压敏电阻与放电管并联

Fig. 4　Parallel connection of varistor and discharge tube

放电管没有导通之前,压敏电阻就开始动作,对暂态过电压进行箝位,泄放大电流,当压敏电阻的残压与线路压降之和达到放电管的放电电压时,放电管导通放电,它与压敏电阻进行并联分流,减小了对压敏电阻的分流压力,从而缩短了压敏电阻通过大电流的时间.压敏电阻与放电管并联可以克服在通过持续大电流后其性能退化这一缺点[10].

线路上的阻抗起了"桥(bridge)"的作用,工程上常采用电感或电阻器,该阻抗的电感值一般为15 μH,可以使许多器件配合起来.经过测量在高频下每米导线的电感量为1.2~1.4 μH,所以实际也常采用大于10 m的导线达到"桥"的目的.添加"桥"的目的是为达到前级放电管的放电电压U_{oc}提供压降补偿."桥"上的压降$U_z = L\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$,当$U_z + U_r > U_{oc}$时,前级才达到放电电压开始放电,所以10 m不是固定的,可以根据所用放电管和压敏电阻的U_{oc}、U_{res}来计算阻抗"桥"的电感量.本例中能量配合点出现在2 kA冲击时,压敏电阻的残压为+1.06 kV,可以使U_{oc}=1.00 kV的放电管开启,所以试验数据显示出了折点.在实际工程中,一般将折点选在I_n,这就需要加入"桥"来调节.

2）串联

压敏电阻与放电管串联时,残压稍高于压敏电阻单独保护时的残压.不过由于压敏电阻具有比较大的寄生电容,用于交流电源系统保护时,在正常运行状态下将产生比较大的泄漏电流.这样大的泄漏电流将对系统的正常运行产生影响.

串联时,放电管起开关作用,没有暂态过电压作用时,它能将压敏电阻与系统隔开,使压敏电阻中几乎没有泄漏电流,因此能有效地减缓压敏电阻性能的衰退;同时在暂态过电压过后压敏电阻能有效地切断放电管电弧区续流.

2.3　压敏电阻自身配合

1）并联

试验表明与单个压敏电阻相比,多个压敏电阻并联可以给出较低的箝位电压,还能提高泄放暂态过电流的能力,减缓各压敏电阻的性能退化.

采用几个压敏电阻并联比采用单个压敏电阻可靠性高.采用单个压敏电阻进行保护,有损坏的风险;而采用几个压敏电阻并联保护后,其中一个损坏,另外完好的还可备用.

泻流时存在个别并联的电阻未能导通的现象,所以在选择元件时要保证一致性,即压敏电阻的伏安特性、电气性能和物理结构都要尽可能地相同.

2）串联

从试验结果和工程应用上看,压敏电阻的串联都是需要避免的. 它既得不到较低的限制电压,也容易因为其中一个电阻的损毁而影响另一个甚至影响系统的正常保护.

3 结论
Conclusion

压敏电阻具有优异的非线性伏安特性及良好的自恢复能力,是现代防雷器件中不可或缺的元件. 在具体冲击环境及与其他元件配合使用时,压敏电阻会呈现以下特性:

1) 压敏电阻在受多次冲击或大电流冲击时,存在雪崩击穿和热击穿两种损坏形式;

2) 通过与各个元件配合使用得知,应避免压敏电阻串联使用,而压敏电阻与压敏电阻并联、压敏电阻与放电管并联均能降低残压,延长器件使用寿命.

参考文献
References

[1] 吴维韩,何金良,高玉明. 金属氧化物非线性电阻特性和应用[M]. 北京:清华大学出版社,1998
WU Weihan, HE Jinliang, GAO Yuming. Metal oxide nonlinear resistance properties and application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998

[2] DIN. DIN EN 61643-11—2007 Low-voltage surgeprotective devices. Part 11: Surge protective device connected to low-voltage power systems-requirements and tests(IEC 61643-1:1998 + corrigendum 1998, modified)[S]. Cerman, 2007

[3] GB 18802.1—2002 低压配电系统的电涌保护器(SPD)第一部分:性能要求和测试方法[S]. 国家质量监督检验检疫局,2002
GB 18802.1—2002 Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems. Part 1: Performance requirements and testing methods[S]. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2002

[4] 寇晓,李梅,孙宏伟,等. 基于复合波响应的压敏电阻状态检测研究[J]. 高压电器,2004,40(2):91-93
KOU Xiao, LI Mei, SUN Hongwei, et al. Study on condition detection for the varistor based on the response to combination wave [J]. High Voltage Apparetus, 2004, 40 (2): 91-93

[5] 李军浩,王晶,寇晓,等. 利用单次流通能量分析氧化锌压敏电阻老化程度的研究[J]. 电瓷避雷器,2004(4):31-34
LI Junhao, WANG Jing, KOU Xiao, et al. The aging degree study of varistor based on single passing energy[J]. Insulators and Surge Arresters, 2004(4): 31-34

[6] 陈小川. 氧化锌阀片 2 ms 方波击穿机理分析[J]. 高电压技术,1996,22(4):76-80
CHEN Xiaochuan. The mechanism of breakdown of ZnO arrester under 2 ms rectangular current pulse[J]. High Voltage Engineering, 1996, 22(4): 76-80

[7] 李军浩,梁岗岩,路俊勇,等. 钳位型 SPD 带电检测仪的研制[J]. 高压电器,2005,41(3):212-214
LI Junhao, LIANG Gangyan, LU Junyong, et al. Development on live detection device of SPD[J]. High Voltage Apparetus, 2005, 41(3): 212-214

[8] 哈塞. 低压系统防雷保护 [M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2005
Hasse P. Overvoltage protection of low voltage systems [M]. 2th ed. Beijing: China Electric Power Press, 2005

[9] 王智明,邵锦江,顾育仁. 低压电源避雷器的应用[J]. 低压电器,2000(5):57-59
WANG Zhiming, SHAO Jinjiang, GU Yuren. Application of lightning arrester for low voltage power supply[J]. Low Voltage Apparetus, 2000(5): 57-59

[10] 王茂华,胡克鳌,张南法. 电涌保护器中压敏电阻并联的方法和理论分析[J]. 电瓷避雷器,2004(6):26-28
WANG Maohua, HU Keao, ZHANG Nanfa. The method and theoretical analysis of parallel connection of varistors in surge protective devices[J]. Insulators and Surge Arresters, 2004(6): 26-28

Performance of MOV in impulsive test

YANG Zhongjiang[1,2] CHEN lin[2] SUN Yong[3]

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Beijing Center of Testing for LPS, Beijing 100176

Abstract Advanced impact testing device was employed to study the performance of the MOV under the lightning impulsion. Residual voltage change of the MOV active energy coordination, along with the coordination forms, were comprehensively analyzed in impact testing. Testing results showed that avalanche breakdown was the main damage form when the MOV absorbs more energy in the transient process. The test of MOV's AEC in serial and parallel connection indicated that compared with a single MOV, several MOV's parallel connection can provide a lower suppress voltage, increase the capability of discharging transient current, and slow down the performance degradation of the MOV. The result also showed that MOV's serial connections should always be avoided.

Key words SPD; MOV; characteristic; impact test; residual voltage; AEC