

胡东¹ 钱文海¹ 杜志航² 于月东³ 杨文炳⁴

以电流分档的热稳定试验方法的不足及试验分析

摘要

为了验证电涌保护器(SPD)的热稳定性能,需要按 IEC61643.1 进行以电流分档的热稳定性试验,研究中发现:1)热稳定测试中实验室环境下无法模拟真实环境下氧化锌压敏电阻的老化劣化效果,热稳定试验模拟真实环境的充分性有待考量;2)不同参考电压的压敏电阻对电压的敏感程度不一样,当交流电压从 640 V 变化到 680 V 时,导通时间变化 68.3%,电流变化了 289.6%;3)标准要求的电流 $\pm 10\%$ 误差,很大程度上受设备灵敏度的限制而达不到要求.在现有电涌保护器热稳定测试技术的基础上,发现并分析了以电流分档进行的热稳定试验对实际情况模拟的不足之处,这对提高电涌保护器的热稳定测试技术有一定的工程价值.

关键词

电涌保护器;压敏电阻;热稳定性试验;分档试验

中图分类号 TM93

文献标志码 A

收稿日期 2012-04-16

资助项目 国家自然科学基金(41075025)

作者简介

胡东,男,助理工程师,主要从事雷电防护相关的监测评估以及避雷器测试等技术工作.
ghost_d@163.com

1 枣庄市气象局,枣庄,277000

2 西安交通大学 电气工程学院,西安,710049

3 南京云凯防雷科技有限公司,南京,210039

4 德和盛电气(上海)有限公司,上海,201108

0 引言

近几年来,随着压敏电阻的广泛应用,基于 IEC61643.1 对电涌保护器的测试测量技术得到了极大的发展.在热稳定试验方面,国内外取得了丰富的研究成果.为了满足电涌保护器(SPD)热稳定试验系统的全程监控,文献[1]设计并研制了基于 SOA(Service-Oriented Architecture)和 ESB(Enterprise Service Bus)的测试系统.文献[2]讨论了热稳定试验系统中应监测的电流,并提出以阻性电流的有效值(或相应峰值)代替标准条款中定义的试验电流的有效值(或相应峰值)的技术建议.文献[3]对比分析了 YD/T1235.1 和 IEC61643.1 中规定的电涌保护器热稳定试验要求,并提出热稳定性能试验的要求应更多考虑故障电压下 SPD 的安全性能.

从现有文献中可以看出,IEC61643.1 中对试品进行的热稳定试验在实际运行中遇到了很多问题^[1-4].本文对其试验方法中的不足之处进行了理论和试验分析^[5-9],这对 SPD 的应用测试有一定的工程价值.

1 IEC61643.1—2005 中试验方法的不足之处

1) 标准规定的试验条件不能充分模拟实际运行情况

SPD 压敏模块在过电压的作用下多次动作后,会一定程度上引起性能的改变.漏电流会增加,绝缘电阻减小,这样可能在正常电源电应力下就会发生劣化,也就是系统电压没有超过模块标称的参考电压 U_{1mA} ,也有可能产生劣化故障.按照标准测试时使用新样品,强迫升压使模块击穿,这种试验方法并没有模拟出劣化情况.试验过程中,电流被恒定,这与实际低压系统环境也不太相符.回路包含非线性器件的实际系统,电流既不恒定又不会在毫安级就被限制.

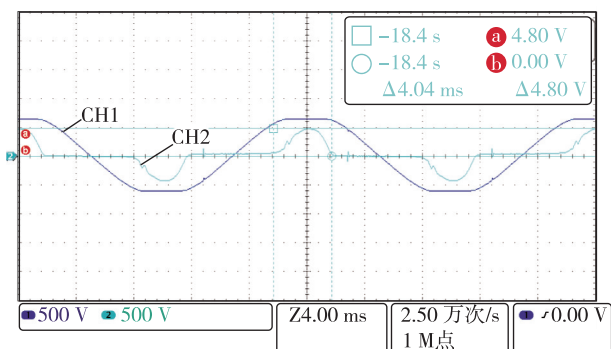
从模块劣化角度讲,也很难在恒流下发生.SPD 劣化时,泄漏电流增加会加剧模块的发热,失去热调节能力,成为热不平衡的状态,发热将使电流进一步急剧上升.恒流的条件限制了电流的急增,本应劣化的模块在电流被限制后可能不劣化了,这掩盖真实情况.单纯的恒流环境是一种假象条件,实际系统中很难找到,这样的试验条件不具备广泛代表性.

2) 电压敏感型器件不适宜用恒流源进行试验

压敏模块是典型的电压型器件,伏安关系为 $I = AU^n$,其中 I 是流

过的电流, U 是端电压, γ 是电压指数, $\gamma = \frac{U}{I} \times \frac{dI}{dU} \gg 1$.

从伏安关系式中可以看出, 电流和电压呈指数关系, 非线性程度很高. 为了验证器件对电压的敏感程度, 对压敏电阻参考电压为 680 V 的器件进行了工频 640 和 680 V 的试验. 图 1 和 2 分别是压敏电阻在工频 640 和 680 V 的波形. 比较图 1 和 2 可以看出, 当压敏电阻两端电压从 640 V 变化到 680 V 时, 仅仅升高了 6.25%, 但导通时间从 4.04 ms 变化到 6.80 ms, 增加了 68.3%, 而电流从 48 mA 变化到 187 mA, 增加了 289.6%. 可见, 压敏电阻对电压变化敏感程度很高, 很小的 ΔU 会引起模块特性很大的变化. 模块中有电流流过是电压作用的结果, 要保证电流恒定就要不断调节电压, 这不但改变了试验环境的条件, 也改变了器件本身的性能条件. 这种在试验环境和试验样品都动态变动中作出的结果, 重复性差, 不同模块之间的可比性差, 所以, 对电压敏感型器件做恒流试验不合适.



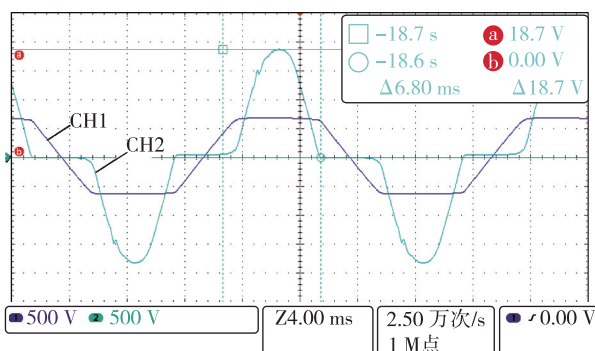
注: CH1 为电压波形, 500 V/格; CH2 为电流波形, 10 mA/V; 横轴为导通时间, 单位 4 ms/格.

图 1 AC640 V 下电压-电流波形

Fig. 1 Voltage-current waveforms of EUT under A.C 640 V

3) 标准规定 $\pm 10\%$ 误差的恒定试验电流源较难控制

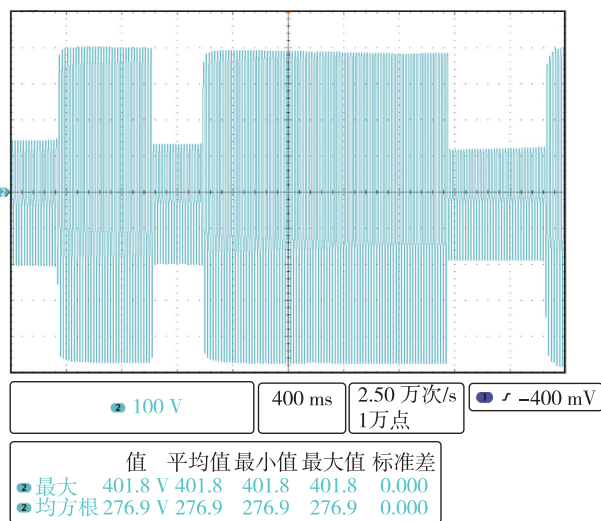
对于内含一个单片的单模块进行热稳定试验时, 其电流波动较小, 相对好控制, 但对于某些多片并联的模块, 试验过程中的电流会发生反复突变. 图 3 是一个多片并联的模块在 1 A 电流等级下的热稳定试验电流波形. 从图 3 中可以看出, 试验过程中, 电流从 1 A 跃变到 3 A, 又从 3 A 跃变到 1 A, 跃变了数次, 跃变的时间间距从 400 ms 到 2 s 不等. 跃变发生的时间点取决于模块当时的试验状态, 突变时间点无法预测. 除非实验设备具有很灵敏的反馈系统, 极短时间内能改变试验条件, 否则难以控制电流.



注: CH1 为电压波形, 500 V/格; CH2 为电流波形, 10 mA/V; 横轴为导通时间, 单位 4 ms/格.

图 2 AC680 V 下电压-电流波形

Fig. 2 Voltage-current waveforms of EUT under A.C 680 V



注: 纵轴: 100 V/格, 10 mA/V; 横轴: 400 ms/格.

图 3 多片并联模块热稳定试验电流波形

Fig. 3 Current waveforms of thermal stability of EUT formed of several units

另一方面, 试验人员往往根据热稳定试验台上的监控仪表测试值来调节电流. 如果监控仪表测试值本身有很大测量误差, 自然无法对电流精确控制. 大多热稳定试验台采用数字电流表头监测试验电流, 电流表头只能测试规则波形的有效值, 对于不规则畸变的波形, 测试误差将增大. 为了验证表头的测试精度, 分别用电阻和压敏负载进行了试验. 图 4 是电阻和压敏负载下的表头误差值的比较. 从图 4 中可以看出, 电阻负载下, 电流波形是全导通的正弦波, 测量误差较小, 满足精度. 但压敏负载下, 电流波形不是全导通的正弦波, 测量误差会根据压敏电阻的导通情况而改变, 最大点超过了 20%, 这种情况下要使电流控制到 10% 的精度就很困难.

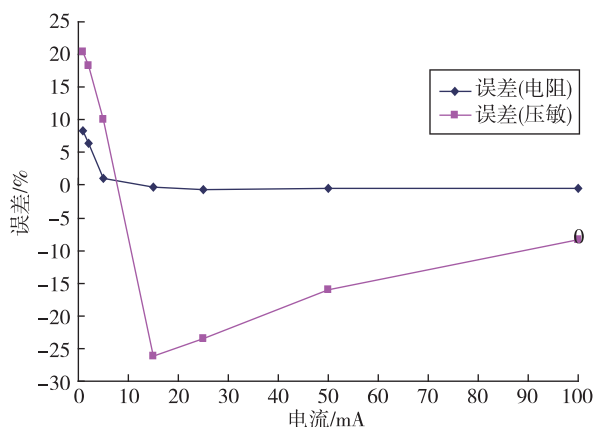


图4 监控仪表的电流测量误差

Fig. 4 Current measuring error of monitoring instrument

4) 标准规定的电流分档试验要求对高启动电压的试品不公平

应用在实际低压配电系统的模块,参考电压高则荷电率低,能在实际应用中更稳定,长期使用就相对更安全,这是在相同运行电压下的不同启动电压模块比较的实际情况。

标准规定的热稳定试验,不论启动电压的高低,统一用电流分档进行试验.在同个电流档,为了击穿模块,高启动电压升压要高很多^[10-11].图5是不同启动电压压敏模块的试验电压.可以看出,在各电流等级下,高启动电压的压敏模块升压都比低启动电压高很多.例如在80 mA等级, U_{1mA} 为420 V的模块只需升压到450 V, U_{1mA} 为680 V的模块则需升压到680 V.如果两者都应用到同个 U_c 系统,例如交流220 V供电系统,系统过电压可能会达到450 V,但

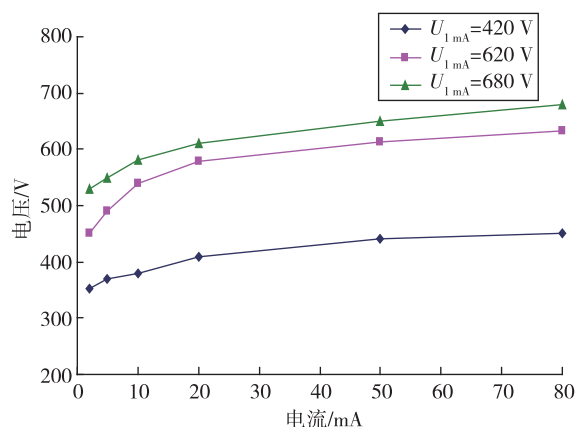


图5 不同参考电压模块在不同电流下的电压

Fig. 5 Voltage variation trends of MOV of different U_{1mA} under different currents

要达到700 V发生的概率很小.以电流分档试验,相对提高了对高参考电压的SPD的要求,也就是说使用了不同的条件进行考核,与实际情况不太一致,不太公平。

5) 不同限流电阻对试验的影响有差异

标准中热稳定试验原理如图6所示。

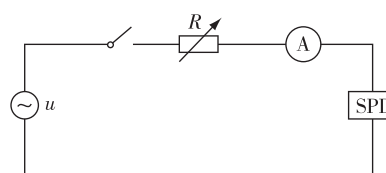


图6 热稳定试验原理

Fig. 6 Schematic diagram of thermal stability experiment

由于标准对试验设备没有特别规定,只要求电流符合要求,所以现有的热稳定试验装置按图6制造后限流电阻不尽相同.不同限流电阻的试验装置对模块试验效果是不同的.表1是在不同限流电阻条件下测试420 V压敏电阻的热稳定性数据。

表1 不同限流电阻下热稳定试验

Table 1 Thermal stability experiments under different current limiting resistors

限流电阻/kΩ	空载电压/V	试品端电压/V		流过试品电流/A	
		有效值	峰值	有效值	峰值
1.9	440	388	526	26	50
7.5	580	406	528	24	41
30	1 080	433	544	22	34

从表1可以看出,限流电阻越大,试验台输出的空载电压越高,限流电阻上的压降就越大.试品端电压有效值和峰值差越小,流过试品电流的有效值和峰值差也越小.这说明限流电阻的大小会影响模块的导通角度和时间.限流电阻大的,导通时间长,电流峰值低,波形平缓.限流电阻小的,导通时间短,电流峰值高,波形陡峭.前者较后者对试品的冲击更温和,模块在相同电流下更易达到热平衡.所以,不同限流电阻的试验设备在相同试验电流下对模块电应力效果有差异,结果自然有差异。

6) 试验成本高,试验结果使用价值低

防雷标准对热稳定试验等级规定如表2所示。

标准规定的试验等级多,需要的样品数量多,制造商需要花很高的试验成本来考核这项指标.实际试验存在这样的情形:小电流试验达到热平衡,大电流却不脱扣;大电流试验顺利脱扣,小电流却超温。

表2 不同标准对热稳定试验的规定

Table 2 Requirements for thermal stability experiment in different standards

标准	电流	等级数
IEC 61643.1—2005 ^[12]	2 mA~最大功耗的电流	≥6
GB 18802—2002 ^[13]	2、5、10、20、40、80、160、320、640、1 000 mA	10
YD/T 1235.2—2002 ^[14]	20、80、320、1 000、2 500、5 000	6
TB/T 2311—2008 ^[15]	2 mA~最大功耗的电流	≥6
QX 10.1—2002 ^[16]	2、5、10、20、40、80、160、320、640、1 000 mA	10

如果对试品进行改进,试验必须重新进行,因此,每档电流试验结果彼此不包含,没有继承性,单个等级热稳定试验结果由于无法使用,工程价值低。

从应用角度来讲,最需要了解的是 SPD 应用到自己系统中的安全性,而用户系统以电压来分档,标准却不分应用环境和样品的不同,统一用电流来做分档试验,两者没有对应关系,就算热稳定试验合格,也不能直接说明可以应用到那个电压等级系统,客户难以直接使用结果。

2 结语

定性探讨了以电流分档进行的热稳定试验方法的不足.在进行热稳定试验时,需要对这些问题进行考虑,这有助于减少对试验结果的判定失准,有助于了解试验结果对真实性能的反应程度,便于工程师衡量试品安全性能.热稳定试验作为检验 SPD 电气安全性能的重要试验,需要在细节上规定得更严密准确。

参考文献

References

- [1] 唐善成.基于 SOA 的电涌保护器热稳定试验系统的研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (4): 894-899
TANG Shancheng. Research on SOA-based surge protective devices thermal stability test system [J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19 (4): 894-899
- [2] 沈云新.浪涌保护器热稳定试验研究 [J]. 现代建筑电气, 2011, 9 (2): 41-46
SHEN Yunxin. Research about some problems of heat stability test of SPD [J]. Modern Architecture Electric, 2011, 9 (2): 41-46
- [3] 费自豪.对 SPD 热稳定性有关标准的讨论 [C] // 中国工程建设标准化协会(电气)终端电器及过电压保护 2007 年年会, 2007: 52-56
FEI Zihao. Discussion on the standards of thermal stability of SPD [C] // The Conference on Terminal Equipments and Over Voltage Protection, China Association for Engineering Construction Standardization, 2007: 52-56

- [4] Zheng Z, Bogg S A, Imai T, et al. Computation of arrester thermal stability [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25 (3): 1526-1529
- [5] 沈祖冀.空气断路器的长延时热脱扣试验台和试验方法 [J]. 电气开关, 2001 (1): 26-28
SHEN Zuji. Test table of long time delay heat trip of air circuit breaker and test method [J]. Electric Switchgear, 2001 (1): 26-28
- [6] 陈德贵, 辜晓川, 蒋容兴, 等.瞬态热路法计算小型断路器热脱扣器的动作特性 [J]. 低压电器, 1995 (1): 17-23
CHEN Degui, GU Xiaochuan, JIANG Rongxing, et al. Calculation of thermal operation characteristics for miniature circuit breakers by using transient thermal circuit method [J]. Low Voltage Apparatus, 1995 (1): 17-23
- [7] Augustyniak, Leszek. Testing methods of surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems [C] // Proceedings of the 14th International Conference on Electromagnetic Disturbances, 2004: 173-174
- [8] Hasse P, Birkl J S. EMC test procedures for the coordination of surge protective devices [J]. Compliance Engineering, 1998, 15 (5): 120-125
- [9] Long C, Zhou W J, Wang L, et al. A new portable test system for surge protective device (SPD) [C] // 2010 Asia-Pacific symposium on Electromagnetic compatibility, 2010: 1554-1557
- [10] 姚学玲, 杜志航, 陈景亮, 等.不同源阻抗 8/20 μ s 冲击电流下的 MOV 动态性能仿真 [J]. 高电压技术, 2010, 36 (9): 2120-2126
YAO Xueling, DU Zhihang, CHEN Jingliang, et al. Simulation on dynamic characteristics of MOV under 8/20 μ s impulse current generators with different source impedances [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36 (9): 2120-2126
- [11] 杨仲江, 陈琳, 杜志航, 等.氧化锌压敏电阻劣化过程中电容量变化的分析应用 [J]. 高电压技术, 2010, 36 (9): 2167-2173
YANG Zhongjiang, CHEN Lin, DU Zhihang, et al. Application on capacitance during the degradation of ZnO varistor [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36 (9): 2167-2173
- [12] International Electrotechnical Commission. IEC 61643.1—2005 Low-voltage surge protective devices-Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems-Requirements and tests [S]. IEC Published, 2005
- [13] GB18802.1—2002 低压配电系统的电涌保护器 (SPD)

- 第 1 部分:性能要求和测试方法[S].国家质量监督检验检疫总局,2003
- GB18802.1—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, 2003
- [14] YD/T1235.2—2002 通信局(站)低压配电系统用电涌保护器测试方法[S].中华人民共和国信息产业部,2002
- YD/T1235.2—2002 Testing methods for surge protective devices connected to low-voltage distribution systems of telecommunication stations/sites[S].Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, 2002
- [15] TB/T 2311—2002 铁路电子设备用防雷保安器[S].中华人民共和国铁道部,2002
- TB/T 2311—2002 Lightning protector for electronic equipment in railways[S].The Ministry of Railways of the People's Republic of China, 2002
- [16] QX 10.1—2002 电涌保护器第 1 部分:性能要求和试验方法[S].中国气象局,2002
- QX 10.1—2002 Surge protective devices-Part 1: Performance requirements and testing methods [S]. China Meteorological Administration, 2002

Experiment analysis on deficiencies of thermal stability experiment based on stepping current

HU Dong¹ QIAN Wenhai¹ DU Zhihang² YU Yuedong³ YANG Wenbing⁴

1 Zaozhuang Meteorological Bureau of Shandong Province, Zaozhuang 277000

2 School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049

3 Nanjing Yunkai Lightning Protection Technology Co.Ltd., Nanjing 210039

4 DEHN Surge Protection (Shanghai) Co.Ltd., Shanghai 201108

Abstract According to IEC61643.1, the thermal stability experiment based on stepping current should be carried out to test the thermal stability characteristics of Surge Protective Devices (SPD). However, we found some deficiencies in the thermal stability experiment based on stepping current through practical tests. Firstly, the actual degradation of Metal Oxide Varistor (MOV) cannot be exactly simulated in laboratory environment, therefore the simulated thermal stability environment is not sufficient for actual thermal conditions. Secondly, the MOV sensitivity to voltage varied under different voltages. When voltage increased from 640 V to 680 V, the breakdown time changed by 68.3%, while the current changed by 289.3%. Thirdly, the experiment is required to be carried out under a constant current within only $\pm 10\%$ fluctuation, which is unavailable due to the limited sensitivity of test instruments. The above deficiencies, found in thermal stability experiment based on stepping current, are believed to be of engineering values for improvement in thermal stability measuring technology for SPD.

Key words surge protective devices; metal oxidized varistor; the thermal stability experiment; the stepping current experiment; the deficiencies