

一种符合 IEC 标准的电压互感器保护用真空式限流熔断器

田恩文¹, 王季梅², 杨晓辉¹

(1. 西安高压电器研究所, 陕西 西安 710077; 2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 目前,国际上还没有能够完全保护电压互感器的熔断器,以及相应的 IEC 标准。笔者研究了一种新型的真空混合式全范围限流熔断器来保护电压互感器,为制定出相应的 IEC 标准提供技术支持,并指导该类产品的的设计、制造、试验和运行。该产品是由真空熔断器和限流熔断器串联组成,采用环氧树脂工艺浇铸而成。根据熔断器的基本工作原理,利用真空熔断器具有特别陡的时间-电流特性,来开断小过载电流;利用限流熔断器来开断大过载电流和短路电流。试验结果验证该熔断器能够保证在额定电压因数波动范围为 1~1.2 时能够长期正常工作,额定电压因数为 1.9 时可以在 30 s 内可靠动作,并且顺利开断了 31.5 kA 的短路电流,实现了对电压互感器的妥贴保护。该产品具有结构新颖、性能安全可靠、性价比高等优点。

关键词: 熔断器;真空;VHFCLF;电压互感器;IEC;标准

中图分类号: TM855

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)03-0228-04

A new Type Vacuum Current-limiting Fuse for Voltage Transformer Protection

TIAN En-wen¹, WANG Ji-mei², Yang Xiao-hui¹

(1. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China;

2. Department of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: At present, there are no fuses that can protect the voltage transformer completely in the world, neither relevant IEC standards. This paper developed a new kind of vacuum hybrid full-range current-limiting fuse to protect voltage transformer. The fuse consists of a vacuum fuse in series with a current-limiting fuse, and is moulded by APG technique. In terms of the basic working principle of a fuse, it makes use of the very fast time-current characteristic of the vacuum fuse to break small overload current, and adopts the current-limiting fuse to break large overload current and short circuit current. The experimental results indicate that the new fuse can work normally when the rated voltage factor is within the range of 1~1.2, and work reliably in 30 seconds when the rated voltage factor is 1.9. It has successfully broken the short circuit current of 31.5 kA to provide a proper protection for the voltage transformer. This fuse is safe and reliable with a new structure and a high performance-cost ratio.

Key words: fuse; vacuum; vacuum hybrid full-range current-limiting fuse(VHFCLF); voltage transformer; international electrotechnical commission(IEC); standard

0 引言

应新标准要求,西安高压电器研究所与西安交通大学电气工程学院电器专业合作共同进行了符合 IEC 标准保护电压互感器用的真空式限流熔断器的研究开发工作。经过长期共同努力,国内有关电器制造公司制造出了研究课题设计的符合国际电工委员会(IEC)制订的有关保护电压互感器用的熔断器各项标准^[1]的样品。

经该课题组详细调查,在世界范围内至今还未发现能制造出符合国际 IEC 标准且能完全保护电压互感器用的熔断器^[1]。这里列举了已查到比较符合国际 IEC 标准的熔断器的时间-电流特性曲线,供读者和专家们参考。图 1 是美国 Bussmann 公司制造的用于保护电压互感器的时间-电流特性曲线^[2],表 1 该型熔断器为在 30 s 时熔体的熔断电流值。从表 1 可以看出,虽然其额定电流值已很接近 30 s 时的数据,但仍然没有一种能达到规定的要求。

收稿日期:2007-10-05; 修回日期:2008-01-10

作者简介:田恩文(1966-),男,高级工程师,从事高压电器的试验及标准的研究工作。

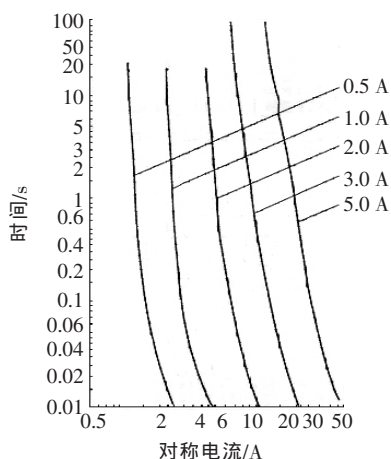


图1 美国 Bussmann 公司制造的熔断器的时间-电流特性

表1 30 s 时熔体熔断电流值(熔断器类型同图1)

额定电流/A	额定电流 $\times 1.9$ /A	实际在 30 s 内的熔断电流值/A
0.5	0.95	1.0
1.0	1.90	2.0
2.0	3.80	4.0
3.0	5.70	6.8
5.0	9.50	13.4

2 有关电压互感器保护用熔断器的 IEC 标准简介

目前我国向 IEC/32A 提出的“电压互感器回路用高压熔断器的熔断件的选用导则(32A/240/NP)”^[3], 实质上是参照国际标准 IEC 60044-2:2003 (与 GB 1207 等效)^[4]中电压互感器的运行要求制订的, 并且认为 IEC 标准是正确的, 该选用导则认为只有这样才能可靠地保护电压互感器在电力系统中正常可靠地运行。额定电压因数标准值见表 2。由表 2 可知: 额定电压因数值是随着电力系统的负荷变化而波动的, 其最大波动范围可以从正常额定电压因数 1 增长到 1.2。这时接入系统的电压互感器的电压因数值将从原设计的额定电压因数 1 升高到 1.2, 同时要求接入的熔断器两端电压也从 1 增长到 1.2, 并要求所设计的熔断器仍能保证继续正常工作而不发生熔断。

表2 额定电压因数标准值

额定电压因数	额定时间	一次绕组联接方式和系统接地方式
1.2	连续	任一电网的相间; 任一电网中的变压器中性点与地之间
1.2	连续	中性点有效接地系统中的相与地之间
1.5	30 s	中性点有效接地系统中的相与地之间
1.2	连续	带有自动切除对地故障装置的中性点; 非有效接地系统中的相与地之间
1.9	30 s	带有自动切除对地故障装置的中性点; 非有效接地系统中的相与地之间
1.2	连续	无自动切除对地故障的中性点绝缘系统 或无自动切除对地故障装置的共振 接地系统中的相与地之间
1.9	8 h	无自动切除对地故障的中性点绝缘系统 或无自动切除对地故障装置的共振 接地系统中的相与地之间

注: 摘录自 GB/ 1207-1997, IEC 60044-2:2003。

此外, 当电力系统因某种原因而引起额定电压因数突然上升导致额定电流升高到 1.9 时, 与电压互感器串联接入的熔断器必须保证在 30 s 内可靠熔断, 使被保护的电压互感器能与电力系统的电源隔离。

最后, 熔断器还应满足在额定短路电流下能可靠开断的要求。按国家规定的设计要求有下列的参数, 即 16、20、31.5 kA 和更高电流的开断要求。

2 真空熔断器的基本结构、工作原理和试验验证

(1) 基本结构

真空熔断器的基本结构见图 2, 由无氧铜丝作为熔体分别钎焊在直径为 $\phi 10$ mm 的无氧铜导电棒的两端, 并再向外引出, 这样, 熔体是被密封在一个直径为 $\phi 40$ mm、长为 40 mm 的高氧铝陶瓷管内, 管中呈密闭真空状态, 管内还设有金属屏蔽罩以阻挡在开断电流过程中熔体产生的金属蒸汽直接喷射到高氧铝陶瓷管的内壁上造成电路的短接, 真空熔断器的真空度一般保持在 3×10^{-4} Pa 以上。

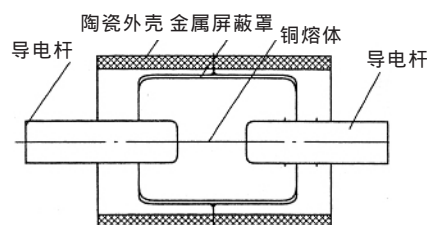


图2 真空熔断器部分的原理结构图

根据电压互感器的要求, 熔断器的额定电流可分为 0.5、1.0、1.5、2.0、3.15 A 5 个电流等级。熔体相应的参数见表 3。随着电力系统容量的不断增长也可制造出更高的额定电流等级^[5]。

表3 真空熔断器熔体参数(参考用)

额定电流/A	熔体直径/mm	长度/mm
0.50	0.050	12.0
1.00	0.070	12.0
1.50	0.087	12.5
2.00	0.100	12.5
3.15	0.123	12.5

(2) 工作原理

真空熔断器是利用在真空中开断小过载电流时具有特别陡的时间-电流特性, 从而在额定电压因数为 1.9 时能容易地控制熔体在小于 30 s 内熔断。表 3 是经过计算和研究性试验得出的初步结论。对称预期电流有效值见图 3, 查得的结果对比见表 4。实际的熔断时间均比计算值小, 因此选用真空熔断器能满足在小过载电流下的可靠开断^[5,6]。

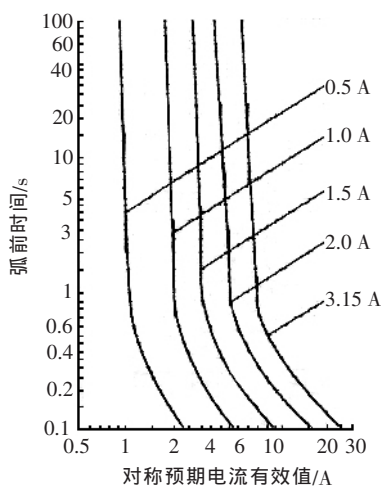


图3 对称预期电流

表4 从图3查得的结果的对比(熔断时间不大于30s)

额定电流/A	额定电流×1.9/A	从时间-电流曲线中查得的30s时刻的电流值/A
0.50	0.950	0.95
1.00	1.900	1.80
1.50	2.850	2.80
2.00	3.800	3.80
3.15	5.985	5.90

(3) 试验验证

对真空熔断器进行下列试验：①在额定电压因数下的配合试验。已经完成了在1.9倍额定电流下的熔断时间不大于30s的试验，结果见表4；②额定电压因数为1.2的情况下能长期工作的试验。已进行了多次考核，第1次时间为4h未熔断，第2次时间为8h亦未熔断，说明设计可取的参数是正确的；③关于在额定电流下的温升试验。选取了最大额定电流为3.15A的真空熔断器为试品，在室温为20℃下作了8h的温升试验，最终的温升值为25K，满足设计要求。

3 限流熔断器的结构和工作范围

限流熔断器的基本结构见图4，由纯银丝作为熔体，并绕在石英玻璃棒上，然后放入高氧铝瓷管内灌入石英砂作为熔断器的灭弧介质，其结构与动作原理和一般的限流熔断器的制造过程完全相同，额定电流值与真空熔断器完全一致，为0.5、1.0、1.5、2.0、3.15A 5个等级。限流熔断器的主要任务是用来开断大于真空熔断器的电流(即3.15A×1.9=5.985A)至31.5kA的短路电流。限流熔断器的时间-电流特性见图5。为了确保限流熔断器的可靠性，作了一次31.5kA的短路电流的开断试验。其示波曲线见图6，结果顺利开断。

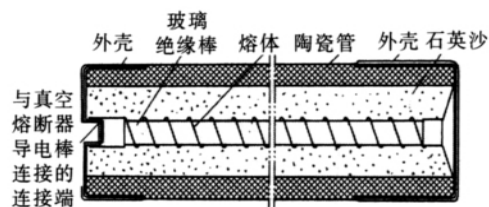


图4 限流熔断器的结构图

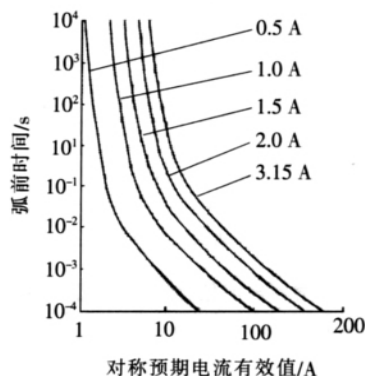


图5 限流熔断器的时间-电流特性

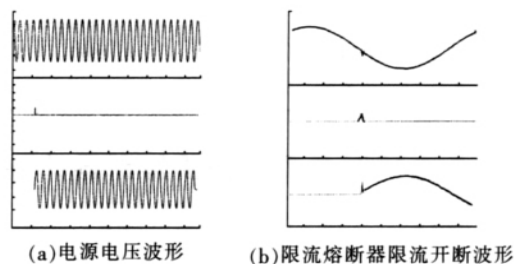


图6 开断短路电流试验波形图

4 真空混合式限流熔断器的原理结构

真空混合限流熔断器实质上是由真空熔断器和限流熔断器两部分串联组成的一种组合熔断器^[7]，见图7。串联后其时间-电流特性的交叉点可从图8中查出，当额定电流为0.5、1.0、1.5、2.0、3.15A时，其交叉点分别位于3.0、5.2、7.0、10、15A，其综合时间电流特性见图8。

当故障电流值在交叉点以上，属于低过载电流开断的范围，由真空熔断器来配合开断；当故障电流值较大，在交叉点以下时，属于大过载电流和短路电流的范围，由限流熔断器来开断^[8,9]。所组成这种形式的熔断器通常全名称为真空混合式全范围限流熔断器，英文全称为 Vacuum Hybrid Full-range Current

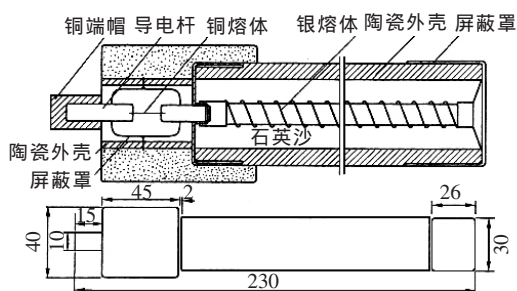


图7 真空混合限流熔断器结构图

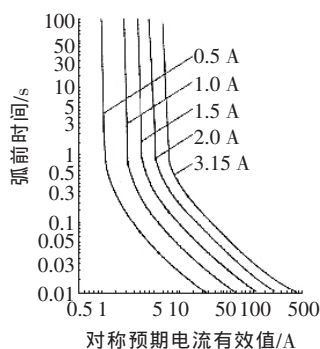


图8 对称预期电流

Limiting Fuse,其突出的优点是:①真空熔断器具有极陡的时间-电流特性,因此在开断小过载电流时的稳定性好,精确度高,结构简单,能实现可靠开断;②当遇到较大的过载电流和短路电流时,可由限流熔断器来完成,但应指出真空熔断器与限流熔断器之间的外绝缘是一个薄弱环节,故需采用环氧树脂在真空熔断器相连的部位进行绝缘封接以加强外绝缘,使两者成为一个整体绝缘结构。

试制成的这种组合式的熔断器,在西安高压电器研究所高压电器实验室进行了31.5 kA的短路电流开断试验,在无声无光的情况下,可靠地通过了开断试验,其示波图见图9。

5 结语

真空混合式全范围限流熔断器是一种创新产品,其结构新颖,性能可靠稳定,在开断电流的过程中无声无光,运行安全可靠,性价比高。该项研究开

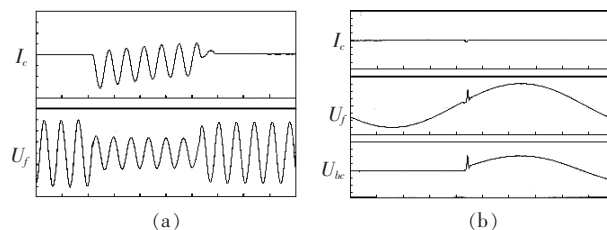


图9 31.5 kA的短路电流开断试验的示波图

发成果将作为制定 IEC 标准和国家标准的重要依据,并对保护电压互感器用熔断器的设计、制造和运行具有指导意义。

参考文献:

- [1] IEC/32A/240/NP. Guide to the Selection of the Fuse-links of the High-voltage Fuses for Instrument Voltage Transformer Circuit Applications[S]. 2005.
- [2] WANG Ji-mei, LIU Zhi-yuan. The Basic Principles and Applications of Vacuum Fuses [M]. Xi'an Jiaotong University, 2006.
- [3] 美国 Bussmann 公司. 高压熔断器产品说明书[Z]. 2004.
- [4] IEC 60044 -2. Instrument Transformers. Part2: Inductive Voltage Transformers[S]. 2003.
- [5] 王季梅. 真空熔断器及其产品开发 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] 一种真空式全范围限流熔断器. 专利号 ZL 200420041702.6. [P]. 2004.
- [7] 王季梅. 高压真空式全范围限流熔断器 [J]. 电气时代, 2002 (9): 100-101.
- [8] 王季梅. 高压支流熔断器及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [9] 王季梅. 保护单台并联电容器用特殊限流熔断器的研究[J]. 电气技术, 2005(1): 12-15.

(上接第 227 页)

68%,电导率可达 24 mS/m,较铸态提高了 14%。

参考文献:

- [1] 刘顺新, 丛吉远, 廖敏夫, 等. 真空灭弧室发展分析[J]. 高压电器, 2006, 42(5): 375-378.
- [2] MÜLLER R. Arc-melted CuCr Alloys as Contact Materials for Vacuum Interrupters [J]. Siemens Forsch. -u Entwickl. -Ber. Bd. 1988, 17(2): 105-111.
- [3] WANG Y P, DING B J. The Preparation and the Properties of Microcrystalline and Nanocrystalline CuCr Contact Materials [J]. IEEE Trans Comp Pack Tech, 1999, 22(2): 167-172.
- [4] 王江, 张程煌, 张晖, 等. 真空感应熔炼法制备 CuCr25 合金[J]. 高压电器, 2001, 37(2): 14-17.
- [5] 修士新, 傅肃嘉, 方宁象, 等. 真空熔铸的铜铬触头材料及其性能研究[J]. 高压电器, 2003, 39(1): 4-5.
- [6] SUN Z B, WANG Y H, GUO J, et al. Liquid and Solid Phase Separation During Melt Spinning and Annealing in Melt-spun CuCr Ribbons [J]. Mater Sci Eng A, 2007, 252-253(4): 411-416.
- [7] GAO J R, WANG Y P, ZHOU Z M, et al. Phase Separation in Undercooled CuCr Melts [J]. Mater Sci Eng A, 2007, 449-451(3): 654-657.
- [8] 丛吉远, 董恩源, 王毅, 等. 深冷处理对 CuCr 真空触头材料组织及性能的影响[J]. 高压电器, 2000, 36(2): 15-18.
- [9] 周志明, 蒋鹏, 王亚平. CuCr25 合金的机械变形及性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2005, 34(5): 830-832.
- [10] 刘平, 康布照, 曹兴国, 等. 快速凝固 CuCr 合金时效析出的共格强化效应[J]. 金属学报, 1999, 35(5): 561-564.
- [11] CORREIA J B, DAVIES H A, SELLARS C M. Strengthening in Rapidly Solidified Age Hardened CuCr and Cu-Cr-Zr Alloys[J]. Acta Materialia, 1997, 45(1): 177-190.
- [12] JIN Y, ADACHI K. Correlation between the Electrical Conductivity and Aging Treatment for a Cu-15 wt.% Cr Alloy Composite Formed in Situ[J]. Mater Sci Eng A, 1997, 32(5-6): 307-311.