

基于 PTC 材料的短路限流保护方案及 PTC 限流特性研究

杨 锋¹, 李志², 毛海涛¹

(1. 海军工程大学电气与信息工程学院, 湖北 武汉 430033; 2 海军驻 427 厂军事代表室, 广东 广州 510715)

摘要: 分析了现有电力系统短路限流保护技术在低压独立电力系统中应用存在的问题, 提出了一种基于 PTC 材料的可恢复型断路器的拓扑结构并说明其工作原理; 完成了 PTC 热敏电阻应用于蓄电池组电源短路限流的试验测试, 给出了不同电流下 PTC 材料电阻变化过程的试验结果, 并对于将 PTC 材料应用于短路限流保护的电阻变化特性进行了分析, 试验表明, 应用该拓扑结构限流效果显著, 具有良好的应用前景。

关键词: PTC 材料; 短路保护; 电阻变化特性; 可恢复型断路器

Research on PTC current limiting characters and fault current protection scheme based on PTC material

YANG Feng¹, LI Zhi², MAO Hai-tao¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. Navy Representation Office in 427 Factory, Guangzhou 510336, China)

Abstract: This paper analyses the problem of existing fault current limiting technology's application in low-voltage independency power systems. A topology scheme of resumable breaker based on PTC heat-sensitive resistance is put forward and its working principle is explained. The fault current limiting device based on PTC heat-sensitive resistance is tested with the accumulator source and the testing results is presented. The resistance change characters of PTC material applying in fault current limiting is analyzed. Testing results shows that the PTC material which can limit the fault current effectively has a nice prospect of application.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Hubei Province(No.2004ABA026).

Key words: PTC material; short-circuit protection; resistance change characters; resumable breaker

中图分类号: TM471; TM77

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)12-0010-05

0 引言

在船舶、地铁、石油钻井平台等低压独立电力系统中, 随着电力系统的容量的不断增加, 系统的短路电流也不断增大, 目前, 广泛采用断路器对短路电流全额分断以保护系统的安全运行, 但是现有断路器的分断能力已越来越不能满足系统短路电流增长的需要。过大的短路电流带来的巨大电动力和热效应会给系统用电设备造成严重危害, 短路引发电网电压突降, 破坏系统运行的稳定性, 甚至导致电力系统崩溃。若利用快速熔断器实现保护, 则破坏了保护的选择性, 降低了系统运行的自动化水平。因此, 亟待对于低压大电流电力系统中短路保护技术开展研究^[1,2]。

1 短路限流保护技术研究现状

从上世纪 70 年代开始, 世界各国对于短路限流

保护技术开展了较深入的研究, 现有的短路限流保护方式基本可分为机械开关型、超导型、电力电子型和混合型几种。

机械开关型限流保护装置主要通过提高灭弧性能, 在分断时将短路电流大小限制在可分断水平以下。但是由于其分断时间过长, 对于限制短路电流峰值效果不大^[3]。超导型保护装置利用超导材料在发生失超时电阻急剧上升的特性来实现限流, 其动作速度快且无需外加的电流检测装置, 保护后可重复使用, 但由于材料和冷却等技术原因, 尚处于试验和研究阶段。目前已试运行的高温超导型限流装置均体积较大, 由于上述低压电力系统环境条件的限制, 超导型限流装置距离实际应用还有一段距离^[4,5]。

新兴的电力电子型限流保护装置主要是利用电力电子器件的快速通断特性实现线路的切换, 在发生故障时迅速切入限流阻抗实现限流功能^[6-8]。其动作迅速且理论上可无限次重复使用, 能够抑制短

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2004ABA026)

路电流的快速上升,但是通态损耗较大和电力电子器件本身的额定电压和电流的限制是其主要缺点。

混合型一般采用快速隔离装置(如爆炸桥、超快速开关等)和其他快速限流分断器件(如熔断器、电力电子器件等)并联,正常工作电流从快速隔离装置流过,故障时迅速动作成隔离状态,此时电流换流至熔丝或电力电子器件,由其完成电流的迅速分断,混合型短路限流保护技术是未来大电流限流器技术的主要发展方向。典型采用爆炸技术完成电路开断的混合型限流器有 ABB 公司的基于爆炸桥技术的 I_S 限流器和法国 FERRAZ 公司基于爆炸活塞技术的混合式限流熔断器,采用爆炸技术能大幅提高电路的分断速度,降低分断时刻电流峰值水平,但是两者均只能一次性保护使用,更换成本较高^[9]。因此有必要对动作速度快且可重复使用的限流保护技术进行进一步研究。

2 PTC 材料限流保护特点

传统的 PTC(positive temperature coefficient)热敏电阻主要应用于弱电领域,如作为高精度温度传感器、应用于小电流的过流保护以及液晶显示器等智能化设备。

PTC 材料的电阻—温度特性是其最大特点,这种材料在温度上升到材料居里温度点时(正温度特性的起点称为居里点),其阻值会以指数形式陡然增加,从而对电路短路电流进行限制和保护。其典型的电阻—温度特性曲线如图 1 所示。

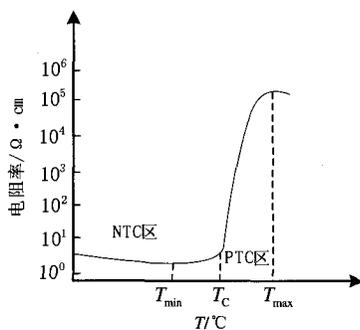


图 1 PTC 电阻—温度特性曲线
Fig.1 Resistance-temperature characteristic curve of PTC resistance

传统以 $BaTiO_3$ 、 V_2O_5 为主的陶瓷类 PTC 材料具备大规模生产能力,但是由于陶瓷材料室温电阻很难做得很低,加工成型较困难,而有机高分子 PTC 热敏电阻采用特殊处理的聚合树脂(polymer)及分布在里面的导电粒子(carbon black)组成。该材料具有质软、常温电阻率低、易加工成型等优点,现已成为

PTC 材料开发研制的热点,被称为“可重复使用的保险丝”(reset-able fuse)。该产品是符合 IEEE-1394 标准的解决过流保护的理想器件^[10,11]。

3 应用 PTC 材料的限流保护方案

3.1 串联 PTC 材料限流保护方案分析

现有的应用 PTC 材料进行限流的方案如图 2 所示,将 PTC 元件与一常值附加电阻并联,再与微型断路器或塑壳断路器串联组合以提高断路器的分断能力。图中 R_0 为常值附加电阻, K 为微型断路器或塑壳断路器。当 PTC 为高阻值时,并联回路电阻呈现为附加电阻大小,当 PTC 为低阻值时,并联回路电阻决定于 PTC 电阻。

如 ABB 公司向市场推出的称为 PTROLIMTM 的保护限流器^[12,13]是一种导电聚合物 PTC 元件,专门用于和微型断路器组合,其额定电压 400/500 V,额定电流 25/36 A,反应时间在 50 kA 时为 0.5 ms。可将微型断路器分断能力由 6 kA 提高到 50 kA。

上述应用方案不足之处在于正常工作时,PTC 材料并联常值电阻将流过额定电流,存在通态损耗及 PTC 通流约束,虽然分断能力有提高,但额定电流仍然较小,应用场合受限。

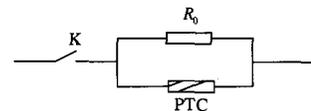


图 2 串联 PTC 电阻限流断路器拓扑结构图
Fig. 2 Topology structure of the fault current breaker with PTC resistance in series

3.2 并联 PTC 材料限流保护的方案

为充分利用 PTC 材料的限流特性且提高限流保护设备的额定通流能力,本文给出了并联 PTC 材料应用的限流方案,其拓扑结构如图 3 所示。

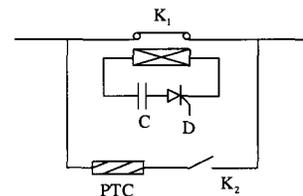


图 3 并联 PTC 电阻的混合型限流器拓扑结构图
Fig. 3 Topology structure of the hybrid fault current breaker with PTC resistance in parallel

其中 C 为脉冲电容, D 为大功率晶闸管。 K_1 为基于电动斥力技术的超快速分断开关, K_2 为微型断路器。 K_1 为额定大电流的快速分断开关(额定电流可达 4 000 A 以上),采用汤姆森电动斥力驱动原

理^[4], 电容 C 在瞬时放电时驱动线圈中通过巨大电流, 利用在动盘中感应出的电流与驱动线圈电流产生的斥力分断 K₁ 触头。其分断时间可控制在 150 μs 以内。

3.3 基于 PTC 材料的混合型限流器拓扑结构设计及原理分析

正常状态时, K₁ 与 K₂ 均处于闭合状态。由于 K₁ 接触电阻很小, K₂ 串联 PTC 元件支路电阻是 K₁ 接触电阻的几百倍, 故回路的大部分电流由 K₁ 流过, 流经 PTC 元件与 K₂ 支路的电流很小, PTC 元件在电路中呈现低阻状态。此时电容 C 处于充电完成状态, 大功率晶闸管 D 截止。

当电力系统发生故障时, 通过电流 *i* 幅值大小和电流上升率来综合判断是否处于短路状态或过载状态。一旦处于短路, 控制电路迅速发送信号使得大功率晶闸管 D 由截止变成导通, 脉冲电容 C 迅速放电, K₁ 在 150 μs 以内断开主回路, 电流换流至 PTC 元件与 K₂ 串联支路。短路电流使得 PTC 元件迅速发生电阻突变, 主回路电流被限制到一个较小的值, 之后给出 K₂ 分断指令, 完成整个短路故障支路的切除。

本方案的优点:

- 1) 限流分断元件 PTC 材料和超快速开关均具有可重复使用特点, 因此文中所设计装置为可恢复型限流保护装置。
- 2) 通过并联 PTC 材料, 降低了对于 PTC 元件的额定通流要求, 可实现较大的额定通流能力, 应用范围更广;
- 3) 利用了 PTC 元件电阻突变快的特性, 与超快速开关配合, 可大幅提高限流保护速度。

4 PTC 材料的限流保护特性分析

在实验室对 WH60-065 和 WH60-375 型 PTC 热敏电阻分别进行了限流保护特性试验, 其试样参数表见表 1。测试电源采用 4 块铅酸蓄电池串联, 电压 50.1V。试验时将蓄电池直接短路, 在短路时刻断开超快速分断开关, 以测试 PTC 热敏电阻限流能力。用 DW94 型框架式断路器作为短路开关, 分别对单样品和样品并联方式进行测试。

表 1 PTC 试样参数表

Tab.1 Parameter of PTC sample

型号	最大工作电流 /A	最小动作电流 /A	最大工作电压 /V	常态电阻 /Ω	功耗 /W
WH60-065	0.65	1.30	60	0.6	0.88
WH60-375	3.75	7.00	60	0.03	3.20

WH60-065 单样品限流测试试验波形如图 4(a)、(b)、(c)所示, 依次为 25 A、40 A、85 A 时 PTC 电阻限流波形。

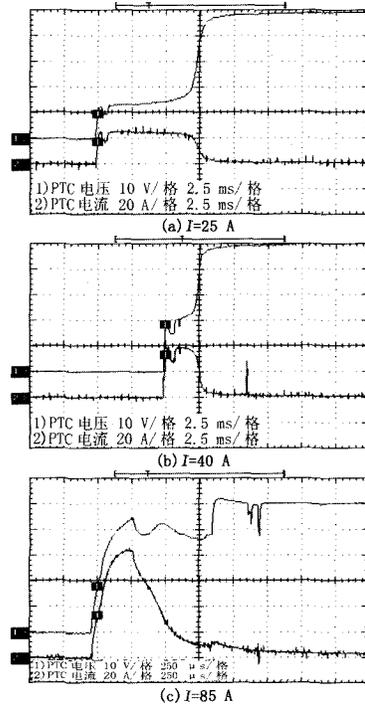


图 4 PTC 材料限流波形

Fig. 4 Current limiting waveforms of PTC

从图 4 中可见, 电流 25 A 时 PTC 热敏电阻对应的动作时间 7.5 ms, 40 A 时对应的动作时间 2.5 ms, 而电流 85 A 时, 从电流开始上升到电流达到峰值的时间只有 300 μs, 电流下降过程 500 μs 左右。利用 Matlab 作出图 4(c)中 PTC 热敏电阻对应的电阻值变化曲线如图 5 所示, 其电阻仅在 1.2 ms 内就从 0.6 Ω 变化到 16 Ω, 从电阻增大时刻开始, 系统电流随之下降, 由 PTC 热敏电阻完成电流幅值的限制。

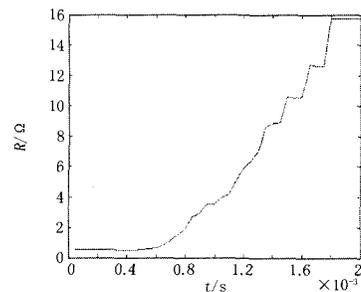


图 5 电流 85 A 时 PTC 电阻变化曲线

Fig. 5 Resistance-change curve of PTC resistance when $I = 85 \text{ A}$

同时, 从图 4(a)~(c)中可见, 随着主回路最大

电流的增加, PTC 热敏电阻动作时间迅速加快。预期短路电流越大, 则电流限制速度越快。因此, 通过选择合适的 PTC 热敏电阻, 完全可以达到预期限流效果。

为测试在较大短路电流下的 PTC 热敏电阻限流特性, 在同一试验条件下, 选择了常态电阻较小的 WH60-375 试样完成了限流测试试验, WH60-375 试样在常态时的通态电阻为 0.03Ω , 而系统预期短路电流 1000 A , 其试验波形如图 6 所示。

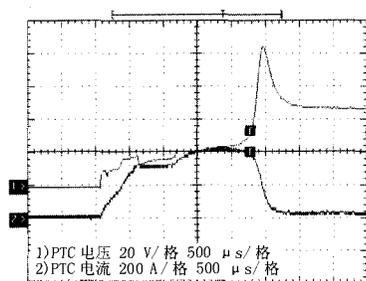


图 6 电流 400 A 时 PTC 电阻限流波形

Fig. 6 Current limiting waveforms of PTC when $I = 400 \text{ A}$

从图 6 中可见, 在系统发生短路时, PTC 热敏电阻能将预期电流 1000 A 限制在 400 A 。此时 WH60-375 型 PTC 热敏电阻对应的整个限流过程小于 2.5 ms 。另外电路在限流过程中产生了一个约 40 V 的过电压, 这是由于线路存在电感, 限流过程中由于电流下降过快, di/dt 过大而引起的分断时刻的过电压。预期在更大短路电流条件下, WH60-375 型 PTC 热敏电阻限流过程将进一步缩短, 更好地抑制短路电流。

5 PTC 材料热容量计算

根据表 1 中 PTC 试样参数, 应用环境温度为 25°C , 试样开关温度 125°C , 可求得 WH60-065 型试样最大耗散系数约为:

$$\delta = \frac{P}{T_b - T} = \frac{1.3^2 \times 0.6}{125 - 25} = 10.14 \text{ mW}/^\circ\text{C}$$

按动作时间 70 ms 计算, 其热容量约为:

$$C = \delta \cdot t = 10.14 \text{ W}/^\circ\text{C} \times 70 \text{ s} = 0.7098 \text{ J}/^\circ\text{C}$$

同理, 可求得 WH60-375 型试样最大耗散系数约为:

$$\delta = \frac{P}{T_b - T} = \frac{7.5^2 \times 0.03}{125 - 25} = 16.875 \text{ mW}/^\circ\text{C}$$

按动作时间 200 s 计算, 其热容量约为:

$$C = \delta \cdot t = 16.875 \text{ W}/^\circ\text{C} \times 200 \text{ s} = 3.375 \text{ J}/^\circ\text{C}$$

从上述计算可以看出, 选择温度系数大的 PTC 元件可降低其热容量要求, 另外, 需根据系统短路特性选择 PTC 元件功率。由于本文中为原理性限流实验, 故仅采用了一般性元器件。在实际应用中, 可通过选择具有更大温度系数的 PTC 元件, 以达到更快的限流响应速度。

6 结论

1) 本文提出了将 PTC 热敏电阻并联超快速分断开关应用于短路电流限制中的新型拓扑结构, 并阐述了其工作原理。

2) 完成了两种不同型号的 PTC 热敏电阻短路限流试验, 试验表明, 在增加流经 PTC 材料短路电流的情况下, 短路电流越大, 限流速度越快。

3) 试验证明, 采用本文提出的拓扑结构, 有效提高了限流装置的额定通流能力, 充分利用了 PTC 材料的电阻快速变化特性, 提高了装置限流能力, 降低了 PTC 材料额定通流要求, 具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 马伟明, 胡安, 袁立军. 十二相同步发电机整流系统直流侧突然短路的研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(3): 31-36.
MA Wei-ming, HU An, YUAN Li-jun. Sudden DC-side Short Circuit of a 12-phase Synchronous Generator-rectifier System[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(3): 31-36.
- [2] 庄劲武, 张晓锋, 杨锋, 等. 船舶直流电网短路限流装置的设计与分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(20): 26-30.
ZHUANG Jin-wu, ZHANG Xiao-feng, YANG Feng, et al. Analysis and Design of Fault Current Limiter for Ship DC Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(20): 26-30.
- [3] 钱杞, 张培铭. 低压直流断路器的限流技术[J]. 电气开关, 2000, (1): 14-17.
QIAN Gi, ZHANG Pei-ming. Current Limiting Technologies for DC Low Voltage Circuit Breakers[J]. Electric Breaker, 2000, (1): 14-17.
- [4] 孙晶, 宗曦华, 何砚发, 等. 感应屏蔽型高温超导故障电流限制器模型机研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(10): 81-84.
SUN Jing, ZONG Xi-hua, HE Yan-fa, et al. Study on Inductive High- T_c Superconducting Fault Current Limiters[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 81-84.
- [5] 叶林, 林良真. 超导故障限流器在电力系统中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(10): 81-84.

- YE Lin, LIN Liang-zhen. Superconducting Fault Current Limiter Application in Electric Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 81-84.
- [6] 郑敏, 李兴源, 刘俊勇, 等. 具有串联补偿作用的新型故障限流器的拓扑结构和仿真[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(6): 52-55.
- ZHENG Min, LI Xing-yuan, LIN Jun-yong, et al. Topology and Simulation of a New Fault Current Limiter with Series Compensation[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(6): 52-55.
- [7] 陈刚, 江道灼, 蔡永华, 等. 具有旁路电感的新型固态故障限流器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 200-205.
- CHENG Gang, JIANG Dao-zhuo, CAI Yong-hua, et al. Study on a Novel Solid State Fault Current Limiter with Bypass Reactor[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 200-205.
- [8] 温家良, 傅鹏, 刘正之, 等. EAST 托卡马克大功率双向直流快速晶闸管开关可靠关断理论分析及参数优化设计[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(14): 62-67.
- WEN Jia-liang, FU Peng, LIU Zheng-zhi, et al. Theory Analysis and Parameters Optimize Design of Reliability Turn-off of High Power DC Bi-directional DC Fast Thyristor Switch in EAST TOKAMAK[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(14): 62-67.
- [9] 李品德. 一种实用化的混合式高压限流开断器[J]. 西北电力技术, 2000, 28(2): 24-27.
- LI Pin-de. A Practical Hybrid-type HV Current Limited Interrupter[J]. Northwest China Electric Power, 2000, 28(2): 24-27.
- [10] Skindh j J, Glatz- Reichenbach J, Strumpler R. Repetitive Current Limiter Based on Polymer PTC Resistor[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 13(2): 489-494.
- [11] Strumpler R, Skindh j J, Glatz- Reichenbach J. et al. Novel Medium Voltage Fault Current Limiter Based on Polymer PTC Resistors[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(2): 425-430.
- [12] Hansson T. Polyethylene Current Limiters for Short Current Protection[J]. ABB Review, 1992, (4).
- [13] 陈德桂. 应用PTC限流元件的低压断路器[J]. 低压电器, 2001, (3): 3-5.
- CHEN De-gui. Low Voltage Circuit Breaker with PTC Current Limiting Element[J]. Low Voltage Apparatus, 2001, (3): 3-5.
- [14] 娄杰, 李庆民, 孙庆森, 等. 快速电磁推力机构的动态特性仿真与优化设计[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(16): 23-29.
- LOU Jie, LI Qing-min, SUN Qing-sen, et al. Dynamic Characteristics Simulation and Optimal Design of the Fast Electromagnetic Repulsion Mechanism [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(16) : 23-29.

收稿日期: 2006-11-15; 修回日期: 2007-04-03

作者简介:

杨 锋(1977-), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为舰船电力系统安全运行。Email: yangfeng_1118@163.com

许继昌南公司依靠专利提升企业核心竞争力

为适应市场需求的快速变化, 加快科技成果转化成为生产力的步伐, 许继昌南公司加快自主创新的步伐, 努力打破竞争对手在知识产权、技术专利和技术标准方面的垄断, 不断提高公司的市场竞争力。日前, 昌南公司的单、双路调制解调方法及其双路调制解调器荣获国家发明专利。

该项目采用 SDP 技术, 实现了单、双路调制及解调方法, 原来需 7 个插件完成的功能, 现在只需 1 个插件就可完成, 该技术属于国际首创。这项专利应用于昌南公司研制的 ESB900 系列载波机, 主要实现对话音、远动和远方保护发送信号的波段, 这些处理过程全部采用软件实现。使用该专利技术后, 公司的产品性能达到国际先进水平, 而且全部采用表面贴装技术, 降低了设备的成本, 消除了人为因素的影响, 大大节省了生产、调试时间, 降低了劳动强度, 节省了大量人力、物力, 提升了公司的市场竞争力。如今公司产品已销往全国及国外市场, 年均新增销售量 526 台, 年新增利润非常可观。

为了激励科研人员技术创新的积极性, 昌南公司还将科研人员收入与企业利润挂钩。在对科研人员的考核中, 公司增加了技术创新和专利申报这一项考核, 其权重占 20%。目前公司已申请了 5 项发明专利, 技术创新意识深深融入到企业文化之中, 广大员工充分认识到创造、保护和管理好知识产权对与企业发展的重要性, 专利不仅是企业的核心技术, 同时也提升了企业的核心竞争力。