

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.03.020

自动重合闸信号采样电路的设计分析

傅 炳^{1,2}, 谢振华²

(1. 中国计量学院 机电工程学院, 浙江 杭州 310015;
2. 浙江省机电产品质量检测所 低压电器研究所, 浙江 杭州 310051)

摘要:针对电网中使用的自动重合闸型漏电断路器防雷击浪涌性能不足与自动重合闸功能易失效问题,对漏电断路器自动重合闸信号采样电路的设计进行了分析研究,通过电磁兼容浪涌与模拟电网电压跌落测试,对比了分别使用电压型、电流型和机械型3种重合闸信号采样电路的漏电断路器性能,针对电压型与电流型重合闸信号采样电路的性能不足,提出了改进措施,并通过了复测验证。研究表明,使用电压型自动重合闸信号采样电路的漏电断路器浪涌抗干扰性能较差,自动重合闸功能容易失效,使用机械型与改良电流型重合闸信号采样电路具有较强的浪涌抗干扰能力与稳定有效的自动重合闸功能,机械型重合闸信号采样电路因其成本低廉,更具实际应用价值,值得推荐生产企业使用。

关键词:自动重合闸;采样电路;浪涌;电压跌落

中图分类号:TM561

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)03-0352-05

Design and analysis of automatic reclosing signal sampling circuit

FU Bing^{1,2}, XIE Zhen-hua²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310015, China;
2. Quality Low Voltage Apparatus Research Institute, Zhejiang Testing & Inspection Institute for Mechanical and Electrical Products, Hangzhou 310051, China)

Abstract: Aiming at resolving the problem of poor performance against lightning surge and automatic reclosing function's failure to the residual current circuit breaker in the grid, automatic reclosing signal sampling circuits of residual current circuit breaker were analyzed, the performance of three residual current circuit breakers with reclosing signal sampling circuits of voltage, current and machine type were compared by electromagnetic compatibility surge and simulation grid voltage drop test. Improvement measures were put forward to solve the disadvantages in voltage and current type of automatic reclosing signal sampling circuits, and the improved ones were retested. The results indicate that the residual current circuit breakers with voltage type automatic reclosing signal sampling circuit have poor performance against lightning surge and be easily failed in automatic reclosing, and the ones with current or machine type have the better performance, particularly, the machine type automatic reclosing signal sampling circuit is worth a recommendation to manufacturing enterprises which has lower cost and a higher value of practical application.

Key words: auto reclosing; sampling circuit; surge; voltage drop

0 引 言

自动重合闸型漏电断路器属于常见智能型剩余电流动作断路器的一种,其广泛用于生产及居民用电保

护,该断路器依据 GB 14048.2-2008《低压开关设备和控制设备 第2部分:断路器》标准进行强制性3C认证,国网公司甚至对其提出更严苛的性能要求。随着电网的发展,业界使用的自动重合闸型漏电断路器具有越来越

越丰富的保护与应用功能,这些功能往往通过集成的电路控制,但产品质量良莠不齐,不合理的电路设计使得自动重合闸型漏电断路器在电磁兼容和重合闸功能稳定性上存在很大的隐患,因此很有必要对漏电断路器的电路设计作进一步的分析研究,提升产品质量。

据统计,电网系统中永久性故障一般不到 10%,其余故障都是由于雷击过电压引起的绝缘子表面闪络、大风时的短时碰线、树枝落在导线上等引起的瞬时短路或电压跌落现象^[1~2];当系统出现故障时,保护立刻动作使线路或设备断电,在非常短暂的时间内,故障点的电弧就会自动熄灭,使绝缘得以恢复,此时自动重合闸装置动作,自动将断路器合上,恢复系统正常运行^[3]。

常见的自动重合闸型漏电断路器通过安装自动重合闸装置实现系统故障后的自动重合闸功能。自动重合闸装置一般由子电路控制其内的电机机械转动,实现了对断路器的自动分合闸,以此大大提高电力系统供电的可靠性,减少线路停电的次数^[4~5]。但电网线路中经常发生因为保护断路器重合闸功能失效而引起的一系列大小事故,给社会带来巨大损失^[6~8],现阶段很有必要提高漏电断路器重合闸性能的稳定性与有效性,降低电网瞬时性短路引起的停电事故发生率。

本研究从自动重合闸型漏电断路器重合闸信号采样电路出发,分析不同类型的采样电路,通过实际实验比较各自优缺点,以帮助生产研发企业分析利弊,从而有效提高该类产品的使用性能。

1 电路设计分析

自动重合闸型漏电断路器因其功能的特殊性,设计的产品往往带有自动重合闸机构,该机构通过合闸

信号采样电路同主电路控制器传递与反馈动作信号,从而实现电网短暂故障后,自动合闸复原。合闸信号判断电路的好坏直接影响漏电断路器重合闸功能是否稳定。3 种合闸信号采样电路如图 1~3 所示。

早期的重合闸信号采样电路如图 1 所示,设计者采用电阻降压驱动光耦,高低电平判断断路器合闸分闸状态。单相电压经电阻 R_{14} 降压后,信号通过光耦运作,电平值高低不同代表合闸与分闸状态,电路设计简单,而且光耦共模抑制作用良好,使用该电路的产品在市场中推出后,用户反响不错。但近几年电网的不断完善发展,用户在实际使用中经常出现自动重合闸机构运行失效现象,对生产企业带来很大的困惑,而在更加严苛的 3C 测试过程中,电磁兼容的性能越发不理想。

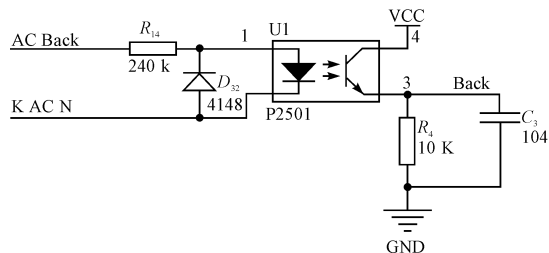


图 1 电压型合闸信号采样电路

电流型合闸信号采样电路如图 2 所示,设计者采用负载电阻取电流信号的方式,经过零序互感器与运算放大器将信号放大后进行判断合分闸状态。相对于图 1 中的电路设计,图 2 的电路加大了生产成本,零序互感器与运算放大器的配合使用,使得该电路使用性能稳定,生产企业也开始使用这种电路替换原先电压型信号采样电路。但在 3C 测试过程中也发现,因电流互感器的使用,容易造成器件间的耦合,对其他功能电路带来电磁骚扰。

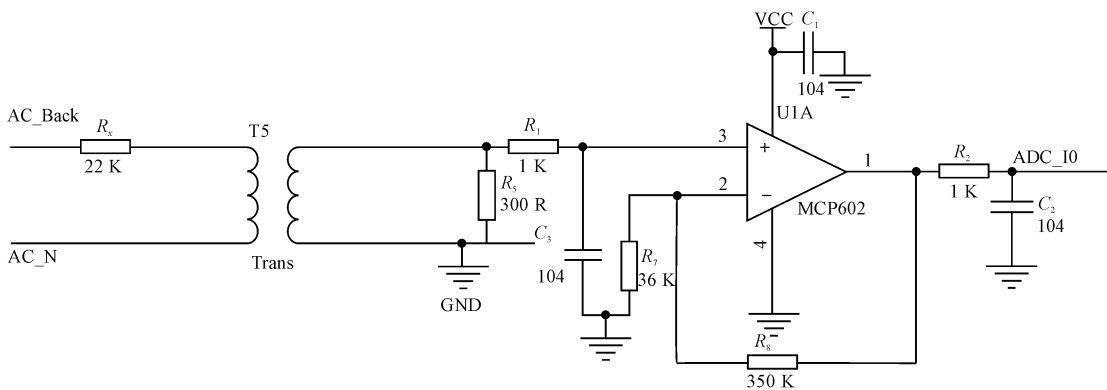


图 2 电流型合闸信号采样电路

机械型合闸信号采样电路如图 3 所示,设计者采用机械开关作为开关触点,通过判断开关位置二次传入直流电压判断断路器合分闸状态。因我国户内照明与家用电器均为单相两线制,图 1、图 2 的电路仅能判

断单一相路电信号,也可认为是一种经济可靠的方案,而图 3 的电路设计巧妙,不仅能达到三相均判断合分闸信号的效果,而且是机械信号,从本质上来说,产品使用起来的可靠性更高。机械信号的设计,降低了电

路的成本,不依赖电源电压,减少电源端干扰的形成,能和主电路隔离,使得应用的可行性提高。

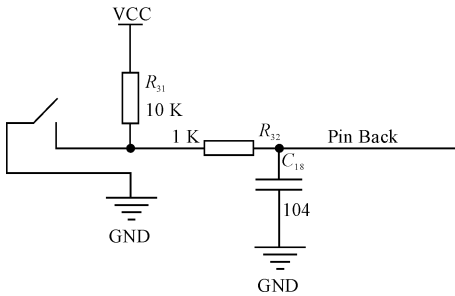


图3 机械型合闸信号采样电路

2 测试研究

现笔者对采用不同类型的自动重合闸采样电路的漏电断路器进行两类试验：

- (1)电磁兼容浪涌测试；
- (2)模拟电压跌落测试。

2.1 电磁兼容浪涌测试

2.1.1 测试方法与过程

本研究根据 GB 14048.2 – 2008《低压开关设备和控制设备 第2 部分:断路器》标准要求,考察漏电断路器交流主电路端口的线 – 线和线 – 地对发生断路或雷电瞬变引起的单极性浪涌 (冲击) 的抗干扰能力,浪涌波形如图 4、图 5 所示。

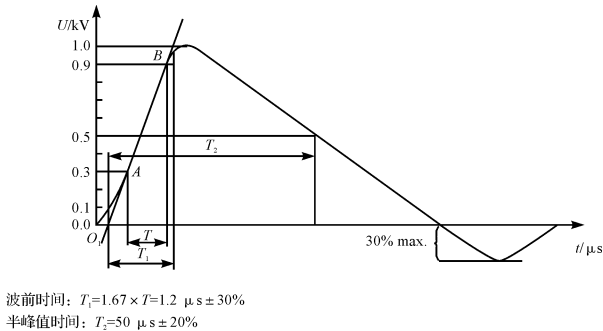


图4 开路电压波形 (1.2/50 μs)

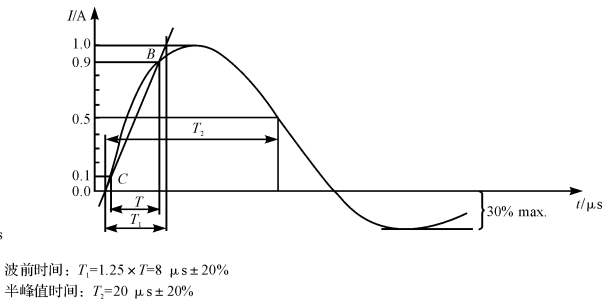


图5 短路电流波形 (8/20 μs)

测试方法详细如下：

- (1)试验等级 (电压):4/4 (差模 4 kV/共模 4 kV)；
- (2)相位角:0°、90°；
- (3)脉冲个数: ± 各 5 个；
- (4)测试时间:间隔 1 min；

(5)性能判定:试验时,漏电断路器在通以 0.3 倍额定剩余电流时不应脱扣。监控功能 (如有) 可以暂时不受影响。试验后,应在突然出现剩余电流情况下,能够正常脱扣^[9~10]。

为减少产品性能的不稳定性与测试的偶然性造成统计结果过度失真,该次测试使用同种采样电路同型号产品 3 个漏电断路器做样品,编号 A、B、C,分别测试,漏电断路器样品型号、参数及编号如表 1 所示。

表 1 测试样品型号及参数

采样电路	样品编号	产品型号	参数
电压型	A	***-200D/3N	U_e :AC380 V; I_e :100 A; $I\Delta_n$:100 mA ~ 500 mA 可调;自动重合闸时间 20 s ~ 60 s;
	B		
	C		
电流型	A	***100.3N	U_e :AC380V; I_e :100 A; $I\Delta_n$:50 mA ~ 1000 mA 可调;自动重合闸时间 20 s ~ 60 s;
	B		
	C		
机械型	A	***-100D/3N	U_e :AC380V; I_e :100 A; $I\Delta_n$:100 mA ~ 500 mA 可调;自动重合闸时间 20 s ~ 60 s;
	B		
	C		

注:为保护不同企业隐私,以 ***替代企业产品型号特征码。

2.1.2 测试结果分析

测试结果如表 2 所示。

表 2 浪涌测试记录

采样电路	样品编号	测试现象	试后检验	结果判定
电压型	A	共模 无异常	正常运作	不符合
		差模 脱扣		
	B	共模 无异常	正常运作	不符合
		差模 脱扣		
	C	共模 无异常	不能正常运作	不符合
		差模 冒烟		
电流型	A	共模 无异常	正常运作	符合
		差模 无异常		
	B	共模 脱扣	正常运作	不符合
		差模 无异常		
	C	共模 脱扣	正常运作	不符合
		差模 无异常		
机械型	A	共模 无异常	正常运作	符合
		差模 无异常		
	B	共模 无异常	正常运作	符合
		差模 无异常		
	C	共模 无异常	正常运作	符合
		差模 无异常		

测试结果显示,采用机械型重合闸采样信号电路的样品均能符合浪涌测试要求,同时试后重合闸功能也均能正常运作;采用电流型重合闸采样信号电路的样品,其中样品 A 符合浪涌测试要求,样品 B、C 在共模测试过程中出现脱扣跳闸现象,不符合测试要求,但重合闸功能试后检验无异常;而采用电压型重合闸采样信号电路的样品,均可通过共模测试,但差模测试都异常,样品 A、B 差模测试中断路器脱扣,但试后可以正常运作,而样品 C 差模测试过程中出现花火与冒烟现象,线路板已有损坏。

复查测试电压型采样电路样品 C,发现线路板中的光耦元件已被击穿损坏,现在同种新样品电压型与电流型重合闸采样信号电路电源端均并联一 14k681 型号压敏电阻(分别编号 D、E、F),以期减少瞬态高电压对元器件的影响,设法提高电路的稳定性,之后对该类型产品作浪涌复试,复试结果如表 3 所示。

表 3 浪涌测试复试记录

采样电路	样品 编号	测试现象		试后检验	结果判定
改良电压型	D	共模	无异常	正常运作	符合
		差模	无异常		
	E	共模	无异常	正常运作	不符合
		差模	脱扣		
	F	共模	无异常	正常运作	符合
		差模	无异常		
改良电流型	D	共模	无异常	正常运作	符合
		差模	无异常		
	E	共模	无异常	正常运作	符合
		差模	无异常		
	F	共模	无异常	正常运作	符合
		差模	无异常		

复试结果显示,复试样品中未出现线路板损坏现象,仅其中一个改良电压型信号采样电路在差模测试中依然脱扣,不符合测试要求,而改良的电流型信号采样电路均可顺利通过浪涌测试。可见,本研究在电路电源端加入浪涌瞬态抑制元件,如成本低廉的压敏电阻,对提高整体线路的抗浪涌共模与差模干扰有着不错的效果,是一个经济可靠的选择。

2.2 模拟电压跌落测试

2.2.1 测试方法与过程

在正常电网运作中,偶尔会出现电网突然停电现象。当电网运作的高压 10 kV 暂断后,实际在漏电断路器负载端的相电压 220 V 并不会立刻消失,而是会在 3 s~5 s 短时间内趋向于零,该段时间内,因残留电压的存在容易造成漏电断路器重合闸机构的误动作。

该测试正是模拟漏电断路器正常使用过程中,电网电压暂降,查看断路器重合闸机构能否正常运作。

测试方法详细如表 4 所示。为减少产品性能的不稳定性与测试的偶然性造成统计结果过度失真,该测试使用同种采样电路同型号产品漏电断路器 3 个做样品(缺相保护功能开启),编号 A、B、C,分别测试。样品型号及参数如表 1 所示。

表 4 模拟电压跌落测试方法及判定

跌落试验电压	跌落持续时间	恢复试验电压	恢复持续时间
$U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = 220\text{ V} \rightarrow 0\text{ V}$	5 s	$U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = 0\text{ V} \rightarrow 220\text{ V}$	5 s
性能判定 电压跌落,漏电断路器脱扣;电压恢复后,漏电断路器自动重合闸			

2.2.2 测试结果分析

测试结果如表 5 所示。

表 5 模拟电压跌落测试记录

采样电路	样品 编号	测试现象	结果判定
电压型	A	电压跌落,漏电断路器脱扣;电压恢复后,无法自动重合闸	不符合
	B	电压跌落,漏电断路器脱扣;电压恢复后,无法自动重合闸	不符合
	C	电压跌落,漏电断路器脱扣;电压恢复后,无法自动重合闸	不符合
电流型	A	运行正常	符合
	B	运行正常	符合
	C	运行正常	符合
机械型	A	运行正常	符合
	B	运行正常	符合
	C	运行正常	符合

测试结果显示,采用电流型与机械型重合闸采样信号电路的样品均能符合测试要求,而电压型重合闸采样信号电路的样品均不能通过测试。本研究分析试后电压型重合闸采样电路样品,发现 3 个样品均触发了自动重合闸闭锁功能,人工重合闸后,样品自动重合闸功能得以恢复。

本研究分析电压型重合闸采样电路,发现回路电源端仅提供较低电压,产生的电流就可以触发光耦驱动采样电路运行,因此在相电压 5 s 跌落过程中,该采样电路存在一短暂时间仍处于正常运作状态。与此同时,漏电断路器的控制芯片判断电源端电压消失,但在储能元件的放电过程中,得到短时的备用电源驱动,误读取采样回路的信息反馈,判断断路器状态异常,为安全起见,主电路开启重合闸闭锁功能,造成电压恢复后,也无法自动重合闸。

分析表明,电压型重合闸采样电路应存在一个游

离点电压,在电网电压跌落过程中,该电压导致断路器控制器处于执行闭锁功能的边缘。电网断电后,漏电断路器储能元件能提供的备用电力有限,在元器件功率影响控制范围内,可通过适当降低 R_{14} 电阻值,提高采样电路的驱动电流,降低游离点电压,使得主回路有较多的时间来耗完储能电力,以此回避重合闸闭锁误触发。

以下笔者进行电压型重合闸采样电路改良比对模拟电压跌落测试。本研究使用负载电阻 R_{14} 替换为 $100\text{ k}\Omega$ 的电压型重合闸采样电路的新样品 3 个,编号 D、E、F,与原始 3 个样品 A、B、C(压敏电阻 R_{14} 规格为 $240\text{ k}\Omega$) 的测试比对,测试情况如表 6 所示。

表 6 模拟电压跌落测试记录

采样电路	样品 编号	测试现象	结果判定
改良 电压型	D	运行正常	符合
	E	运行正常	符合
	F	电压跌落后,漏电断路器脱扣;电压恢复后,无法自动重合闸	不符合

测试结果表明,减小负载电阻值,能够降低电压型重合闸采样电路闭锁功能误触发的概率,但并不能完全规避,结合之前的浪涌测试,早期使用的电压型重合闸采样电路存在较多的弊端,这些弊端造成漏电断路器在实际使用中自动重合闸性能不稳定。与之相比较,机械型与改良电流型重合闸信号采样电路存在明显的优势,尤其是机械型重合闸信号采样电路,生产成本低廉的情况下,又效果显著,值得推荐生产企业使用。

3 结束语

随着电网的进一步改造,自动重合闸型漏电断路器得到了越来越广泛的使用。本研究分析了 3 种漏电

断路器重合闸信号采样电路的设计,从浪涌与电压跌落测试实验中,解析与比较电路设计的优缺点性能,并提出缺陷改进措施,通过电源端并联压敏电阻的方式,改善了电压型与电流型重合闸信号采样电路防雷击浪涌性能的不足;通过减小负载电阻值的方式,降低了电压型重合闸采样电路闭锁功能误触发的概率,提高了自动重合闸功能的稳定性。

研究表明,使用机械型重合闸信号采样电路的漏电断路器具有良好的防雷击浪涌性能与有效稳定的自动重合闸功能,而且采样电路生产成本相对较低,具有很高的实际应用价值。

参考文献(References):

[1] 艾 芊. 电能质量 讲座 第十二讲:浅谈电压跌落[J]. 低压电器. 2007(24):58-59.

[2] 周 皓,李云虎. 电力系统电压跌落的研究[J]. 供用电, 2006,23(5):4-6.

[3] 王永昌. 浅析重合闸在 500 kV 变电站中的应用[J]. 中国电子商务,2012(12):226.

[4] 施 晟. 断路器机构压力闭锁回路导致自适应重合闸异常分析及解决方案[J]. 机电信息,2015(21):1-3.

[5] 郭又华,赵 俊,朱雨. 断路器机构与自适应重合闸的配合[J]. 四川电力技术,2011(5):71-73.

[6] 刘宇翔,王 莎. 110kV 线路保护重合闸拒动原因及改进措施[J]. 科技信息. 2010,2(23):J1078.

[7] 刘 震,匡红刚. 发生 220kV 线路重合闸拒动的原因分析[J]. 电力安全技术. 2008(2):34-35.

[8] 邝文秀,杜春莉,寇振华. 地方小电源对线路重合闸的影响[J]. 农村电气化. 2005(9):33-34.

[9] GB 14048.2-2008 低压开关设备和控制设备第 2 部分:断路器[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[10] GB/T 17626.5-2008 电磁兼容试验和测量技术浪涌(冲击)抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[编辑:张 豪]

本文引用格式: