

500 kV 串补保护检验方法的设计

刘昌宇¹, 黄梅¹, 李刚²

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 许昌继电器股份有限公司技术中心, 河南 许昌 461000)

摘要: 根据 500 kV 串补保护的功能, 设计相应的检验方案。针对 MOV 保护的的特殊性, 给出 MOV 保护的检验方法: 提出优化输出仿真波形的方法, 达到保护动作的采样要求, 提高 MOV 高电流保护测试的精度; 提出一种基于电气量的算法准确反映 MOV 的能量变化, 结合特性曲线将作为动作判断依据的 MOV 温度通过仿真电流表示, 在规定时间内满足温度保护动作要求, 并自动计算理论温度和温升作为判断保护动作正确性的依据。实现串补保护性能的现场检验, 提高串补装置运行的可靠性。

关键词: 串补保护; 继电保护测试; MOV 保护; 差值法

Design of a method for 500kV series compensation protection test

LIU Chang-yu¹, HUANG Mei¹, LI Gang²

(1.School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Technology Center of XJ Electric Co.,Ltd, Xuchang 461000,China)

Abstract: According to the functions of series compensation protection, this paper designs feasible testing programs. According to particularity of the MOV protection, it designs a testing method. This method formulates a scheme to optimize simulating wave for improving the accuracy of MOV high-current protection testing to the request, formulates an algorithm to reflect energy of MOV, and uses simulating current instead of temperature to evaluate whether the MOV acts correctly, for satisfying the request of protection's action. Then, it calculates theoretical temperature automatically for evaluation. And the testing of series compensation protection is completed to improve the reliability of series compensation under running.

Key words: series compensation protection; relay test; MOV; interpolation method

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1673-3415(2008)15-0065-04

0 引言

目前, 500 kV 交流输电系统是我国实现大容量远距离电力传输的主要手段之一。采用输电线路串联电容补偿技术, 可以有效缩短输电线路首末端间的电气距离, 与增设输电线路相比, 其经济效益非常显著, 因此输电线路串联电容补偿技术成为提高 500kV 交流输电线路输电能力的有效手段。我国已投运串补保护的运行实践表明, 目前串补保护可靠性相对较低, 影响了串补设备装置的安全运行, 形成这种情况的原因与多种因素有关, 其中, 缺少有效的继电保护检验手段是重要原因之一。设计可靠串补保护检验方法、开发专用试验仪器势在必行。

1 串补保护

关于串补的保护大体可以分为以下十几种: 电

容器不平衡保护、电容器过负荷保护、MOV 高电流保护、MOV 温升保护、MOV 高温保护、保护平台闪络保护、放电间隙 (GAP) 保护、旁路断路器失灵保护、三相不一致保护等。

根据我国对电气设备检验的惯例, 为保证投产设备处于正常工作状态, 提高运行的可靠性和安全性, 对新投产的串补保护需进行保护定值、保护功能及保护逻辑等方面的检验。

2 MOV 保护测试

由于具有优良的非线性和快速响应特性, MOV 被广泛应用于串补设备保护。为使系统故障时 MOV 不受损坏, 对其配置高电流保护、温度保护、温升高梯度保护和温升低梯度保护。和常规保护不同, MOV 保护有其特殊性, 现今国内还没有准确有效的方法对 MOV 进行测试, MOV 保护测试问题成为

串补保护检验的难点。

2.1 MOV 高电流保护测试

高电流保护反应于流过MOV电流的瞬时值,为保证动作的快速性,保护装置可能仅需连续几个点满足动作条件即作出保护动作的判断。对于采样率为4000点/s的保护系统,瞬时电流保护的判据取为连续3点超过设定值既动作时,保护的动作用判定可以在小于1ms的时间内完成。常规试验仪只能输出正弦波电流,在动作判断时间内的采样点可能低于定值,做保护动作值试验时可能不满足整定条件,难以获得高精度。

为了保证高电流保护测试的准确性,使在动作判定时间内的采样点都能满足测试要求,本设计采用方波电流进行故障模拟。输出的方波仿真电流阶跃上升时间小于100 μs,对于采样率为4000点/s的保护系统,在不到1ms的动作判断时间内至少有4个点大于设定值,满足保护动作要求,如图1所示。

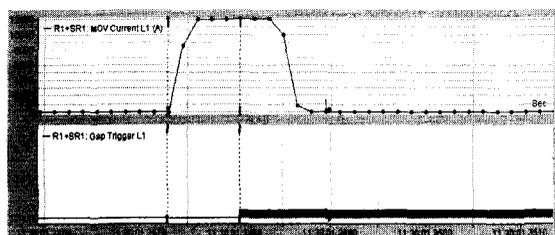


图1 方波仿真电流在MOV高电流保护测试中的采样

Fig.1 Sampling of simulating square current in the test of MOV high-current protection

2.2 MOV 温度保护测试

MOV 温度保护包括高温保护和温升保护,要检验MOV温度保护,必须解决预定故障条件下MOV温升计算方法问题。只有能够求得预定电流下MOV温升,才能以此判断MOV温度保护动作为正确性。

2.2.1 MOV 特性曲线

要进行MOV温度测试,能正确反映MOV的非线性电压-电流特性是前提。线性插值计算方便、应用很广,经常用于工程计算。但由于它是用直线去代替曲线,因而一般要求插值点之间间隔比较小,且曲线变化比较光滑平稳,否则线性插值的误差可能很大。为了克服这一缺点,一般用简单的曲线去近似地代替复杂的曲线,最简单的曲线是二次曲线。

本设计在MOV的V-A特性曲线插值运算中,为了提高计算精度,本设计选取拉格朗日插值计算中的抛物插值计算式,取三个点做一次拉氏插值构

造抛物线,有效地减小了实验误差,满足了工程要求。

构造函数 $v=f(i)$ 表示MOV上电压-电流关系,在给定互异的自变量值 i_0, i_1, i_2 上对应的函数值为 v_0, v_1, v_2 , 二次插值就是构造一个二次多项式:

$$P_2(i) = a_0 + a_1i + a_2i^2$$

使之满足 $P_2(i_n) = v_n, \quad n = 0, 1, 2$

又因过三点的二次曲线为抛物线,线性插值多项式

可写为: $P_1(i) = l_0(i)v_0 + l_1(i)v_1$

因此对二次插值多项式可设为:

$$P_2(i) = l_0(i)v_0 + l_1(i)v_1 + l_2(i)v_2$$

要想满足条件 $P_2(i_n) = v_n, n = 0, 1, 2$ 就必须有:

$$\begin{cases} l_0(i_0) = 1 & l_0(i_1) = 0 & l_0(i_2) = 0 & \text{(I)} \\ l_1(i_0) = 0 & l_1(i_1) = 1 & l_1(i_2) = 0 & \text{(II)} \\ l_2(i_0) = 0 & l_2(i_1) = 0 & l_2(i_2) = 1 & \text{(III)} \end{cases}$$

由式 (I) 知, i_1, i_2 是 $l_0(i)$ 的根, 所以有:

$$l_0(i) = \lambda(i - i_1)(i - i_2)$$

再由 $l_0(i_0) = \lambda(i_0 - i_1)(i_0 - i_2) = 1$, 可得:

$$\lambda = \frac{1}{(i_0 - i_1)(i_0 - i_2)}$$

所以 $l_0(i) = \frac{(i - i_1)(i - i_2)}{(i_0 - i_1)(i_0 - i_2)}$

同理可推得: $l_1(i) = \frac{(i - i_0)(i - i_2)}{(i_1 - i_0)(i_1 - i_2)}$

$$l_2(i) = \frac{(i - i_0)(i - i_1)}{(i_2 - i_0)(i_2 - i_1)}$$

则:

$$P_2(i) = \frac{(i - i_1)(i - i_2)}{(i_0 - i_1)(i_0 - i_2)}v_0 + \frac{(i - i_0)(i - i_2)}{(i_1 - i_0)(i_1 - i_2)}v_1 + \frac{(i - i_0)(i - i_1)}{(i_2 - i_0)(i_2 - i_1)}v_2$$

显然 $P_1(i)$ 的次数 ≤ 2 , 且满足

$$P_2(i_n) = v_n, \quad n = 0, 1, 2$$

在计算中,由于采用插值的方法,整定点的间距影响到计算误差。输入的点越多,则计算出的特性曲线越是接近MOV实际特性,MOV特性曲线生成后,能得到唯一的 $v=f(i)$ 对应关系,如图2所示。

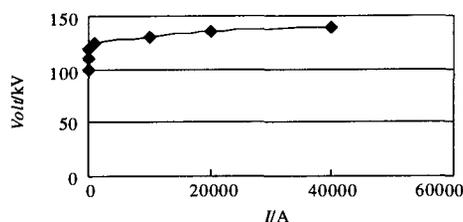


图2 插值法生成 MOV 的 V-A 特性曲线

Fig.2 Characteristic curve of MOV generated by interpolation method

2.2.2 MOV 温度计算

MOV 的氧化锌阀片密封在瓷套内, MOV 内部热量经瓷套散热的过程是以小时计算的过程。当因线路故障使 MOV 通过大电流并因此引起 MOV 温度升高时, 由于能量累积过程相对于散热过程而言极为快速, 所以可以不考虑散热对温升的影响。

故障时, MOV 替串补装置分流, 流过的大电流为冲击电流, 时间很短, 电压可用瞬时电压表示, 可近似认为计算时电压电流均保持不变, 则 MOV 吸收能量可用式(1)表示

$$E = \sum_{N=K}^{N=0} i * v * N\Delta t \quad (1)$$

其中: i 为电流瞬时值; v 为 MOV 电压瞬时值; Δt 为微小时间段, 为时间增量值; N 为电流输出的总计算点数。

MOV 流过故障电流产生的温升和达到的温度可分别用式 (2) 和式 (3) 表达。

$$\Delta T_e = \text{MOV 温升} / \text{MOV 吸收能量}$$

$$\Delta T = \sum_{N=K}^{N=0} i * v * N\Delta t * \Delta T_e \quad (2)$$

$$T_{\text{MOV}} = \sum_{N=K}^{N=0} i * v * N\Delta t * \Delta T_e + T_{\text{en}} \quad (3)$$

式中: T_{en} 为 MOV 所处环境的温度; ΔT_e 为 MOV 吸收单位能量后引起的内部阀片温升, 需由厂家提供; ΔT 为因吸收能量所引起的 MOV 温度升高值。

MOV 保护温度保护的动作为依据 MOV 吸收的能量, 对电流精度要求相对较低, 故在进行故障模拟时可采用代数关系相对简单的方波和锯齿波进行仿真, 使其能满足能量要求, 提高运算速度。本

设计采用正弦波、可调占空比的方波和锯齿波可选的方式进行仿真。

为便于获得较高试验精度 (误差小于 1%), 本设计开发的程序采用输入故障持续时间、程序自动算出故障电流的方法对保护进行试验。设置所需故障时间 $N\Delta t$ 、厂家提供 MOV 温升比例系数 ΔT_e , 如采用方波或锯齿波先确定输出波形的占空比, 然后由得出的 $V=f(i)$ 方程把电压用电流唯一表示, 和需要测试的 MOV 温升和温度带入式 (2) 和式 (3), 自动计算出需要的电流幅值, 并按照设定好的故障时间进行输出, 使 MOV 在规定时间那达到所需温度, 以检验 MOV 动作的正确性。

由于电流根据温度和输出时间计算得到, 所以, 仿真电流输出时间 (周波数) 的设置不能太小。否则, 计算出的电流可能超过实验仪器的输出范围。同时要注意输出时间不能太长, 使计算得到的电流非常小, 超出测试仪精度范围, 误差增大, 影响试验结果。仿真电流输出时间与 MOV 温度关系如图 3 所示。

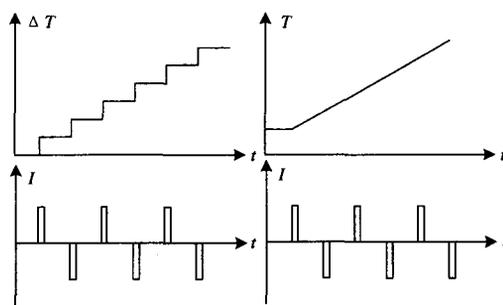


图3 MOV方波仿真电流和MOV温升、温度关系示意图

Fig.3 Relation between square simulating current and temperature of MOV

模拟MOV温升时, 根据关心的问题确定需要向串补保护注入的试验电流和加电流时间, 本设计采用式 (4) 和式 (5) 实时计算出流过此电流时MOV产生的温升和温度。计算出的温升值和温度值可以作为检验串补温升保护和温度保护是否正确的依据。

考虑到能量累积是一个积分过程, 且不考虑散热, 且认为 t_1 时刻之前 MOV 的热量累积与散热处于平衡状态, 则在 MOV 流过大电流的时间段 $t_1 \sim t_2$ 之间 MOV 的温升可以表达为式(4), t_2 时刻 MOV 温度可以表达为式(5)。

$$\Delta T = \int_{t_1}^{t_2} i_{\text{mov}} * v_{\text{mov}} * dt * \Delta T_e \quad (4)$$

$$T_{\text{MOV}} = \int_{t_1}^{t_2} i_{\text{mov}} * v_{\text{mov}} * dt * \Delta T_e + T_{\text{en}}(t_1) \quad (5)$$

“理论计算温升”是利用式(4)算出的当被保护MOV流过“计算电流”时的温升。由表1可见,“整定温升”与“理论计算温升”间的误差小于0.2度。因此,当此计算电流按所需故障时间输入串补保护装置后,MOV保护应有明确的动作行为,试验人员可以据此判断MOV温度保护动作行为是否正确。

表1 计算输出电流值准确性校验结果(归算至温升)

Tab.1 Accuracy of calculating output current (showed by temperature rise)

整定温升/(°C)	25.478	43.03	69.5
试验时间/周波数	10	50	3000
方波占空比/(%)	10	40	10
计算输出电流/kA	10	1	0.1
理论计算温升/(°C)	25.47805	43.03034	69.39545
误差/(°C)	0.00005	0.00034	0.10455

3 其他保护测试

除了MOV保护之外,串补电容器保护还包括电容器不平衡保护、电容器过负荷保护、保护平台闪络保护、放电间隙(GAP)保护、旁路断路器失灵保护、三相不一致保护等。以上保护测试原理与常规保护相类似,都是动作于常规电气量,只需按照整定要求输出电压、电流即可,本设计根据不同保护动作条件编写专用测试模版,完成实验。

4 结论

本项目研究了串补保护试验方法,针对MOV保护的的特殊性提出方案,据此设计MOV保护的可靠测试方法并进行现场验证,形成了与目前串补保护功

能相适应的完整的试验手段,填补了我国在串补保护试验领域上的空白。

参考文献

- [1] 郭剑波,武守远,李国富,等.甘肃成碧220 kV可控串补国产化示范工程研究[J].电网技术,2005,29(19):12-17.
GUO Jian-bo,WU Shou-yuan,LI Guo-fu, et al.Study on Domesticmanu-factureddemo Project of 220 kV TCSC for Power Transmission from Cheng County to Bikou in Gansu Province[J]. Power System Technology, 2005, 29(19):12-17.
- [2] 谷定燮,陈宗显,曾玉,等.河池串补线路区内故障时相关线路电压电流和MOV电流研究[Z].武汉:武汉高压研究所,2002.
GU Ding-xie, CHEN Zong-xian, ZENG Yu, et al. Study on the Voltage and Current of Related Transmission Lines and the Current of MOV for Hechi SC in the Process of Interior Line Faults[Z].Wuhan:Wuhan High Voltage Research Institute,2002.
- [3] Lucas J R, McLaren P G. An MOV Model for Series Compensation Studies[J]. CH2819-1/90/0000-0633\$01.000) IEEE.1991:633-636.
- [4] 陈葛松,林集明,郭剑波,等.500kV串补站过电压保护研究[J].电网技术,2001,25(2):22-25.
CHEN Ge-song, LIN Ji-ming, GUO Jian-bo, et al. Overvoltage Protection for 500kV Series Compensation Station[J]. Power System Technology,2001,25(2):22-25.

收稿日期:2007-11-19; 修回日期:2008-02-18

作者简介:

刘昌宇(1984-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化;E-mail:initial006@163.com

黄梅(1959-),女,教授,硕士生导师,研究方向为电力系统建模仿真及控制、继电保护和风力发电系统建模及接入系统分析;

李刚(1979-),男,本科,从事微机继电保护的研究和开发。

《电力系统保护与控制》(原刊名《继电器》)杂志社网站全新改版升级

《电力系统保护与控制》杂志社网站于2008年全新改版全新升级,建立远程稿件采编系统,是集读者、作者、审稿专家和编辑于一体的网络化期刊工作平台。

本刊原则上不受理电子邮件投稿,所有稿件均需作者登录我们的网站<http://www.dlhb.net>注册,取得用户名和设定密码后,由“作者登录”处进入投稿,并可由此随时查询稿件处理状态和处理意见;审稿专家也凭编辑部提供的用户名和密码由“审稿登录”处进入在线审稿;编辑的稿件处理工作全部在网上进行,在收到初稿、提交审稿意见时,将通过电子邮件通知注册作者。

有任何问题,请随时与本编辑部联系。联系电话:0374-3212254,0374-3212234。