

继电保护方向元件的带负荷校验方法探讨

原爱芳, 杨兆阳, 罗明辉, 王清坚, 张玉宝, 原利敏, 王绍辉

(许继电气有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 详细说明了电力设备或线路的负荷(功率)方向选择元件的原理, 分别对相间功率方向、零序功率方向和负序功率方向保护带负荷校验方法进行了详尽的阐述。对不同的方向保护的试验方案和试验结果加以分析, 使得安装调试、运行维护人员对不同的方向元件保护的调试方法和试验结果有个正确认识, 确保电力系统安全运行。

关键词: 相间功率方向; 零序功率方向; 负序功率方向; 保护原理; 带负荷校验

Research on on-load test of the direction element relay protection

YUAN Ai-fang, YANG Zhao-yang, LUO Ming-hui, WANG Qing-jian, ZHANG Yu-bao, YUAN Li-min, WANG Shao-hui
(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper introduces the theory of the load power directional element choice of the power equipment or lines, gives a detailed explanation of on-load test method applied to inter-phase power direction protection, zero-sequence power direction protection and negative-sequence power direction protection, and analyzes the experimental projects and results in different directional protection, which enable the installation operation and maintenance personnel to have a correct understanding of different debugging methods and experimental results and ensure the safe operation of power system.

Key words: inter-phase power direction; zero-sequence power direction; negative-sequence power direction; protection theory; on-load test

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)17-0164-05

0 引言

目前, 方向元件在电力系统的主设备和输电线路继电保护中被广泛使用, 大大提高了继电保护的选择性和可靠性, 有力地保障了电力系统的安全稳定运行。方向元件根据用途、构成原理分为相间功率方向、零序功率方向和负序功率方向三种, 方向元件与某动作元件共同构成某种保护, 如: 相间功率方向与过流动作元件构成相间方向过流保护(简称方向过流保护), 若再加启动闭锁元件复合电压则构成复合电压方向过流保护; 零序功率方向与零序过电流构成零序方向过流保护; 发电机定子绕组的纵向零序电压判据的匝间保护可靠性较差, 特别是当纵向零序电压动作整定值小于1V以下时匝间保护极易误动, 直接影响发电机组正常稳定运行; 若加了负序功率方向构成负序功率方向启动纵向零序电压的匝间保护就不再误动, 可靠性大大改善。

高可靠性、高选择性、高灵敏性和高速动性的继电保护性能, 与生产厂家优良的保护装置(先进

的原理判据、先进生产工艺技术)、现场的正确安装和调试有着密切关系, 其中带负荷试验是对二次回路接线正确性和整套保护装置整定正确性进行最后的核准和验证。本文主要介绍电力设备或线路的负荷(功率)方向元件校验的正确方法^[1], 其它带负荷检查测试(如CT/PT相序、传变误差以及各差动保护差流)不作介绍。

1 相间功率方向选择元件

对于双侧或多侧电源(中性点直接接地)电网中, 电力设备或线路继电保护都要设置相间功率方向作为过流保护的选择元件, 以确保反方向故障时相应保护不会误动。定义电流互感器CT一次侧电流从母线流向被保护设备, CT二次侧靠近母线侧为极性端(正极性端), 电压互感器PT二次侧或三次侧极性定义与一次侧(电压定义高于大地)同极性端为极性端(正极性端)。

1.1 相间功率方向原理简介

当电力设备或输电线路某处发生短路故障时,

短路电流总是从靠近电源侧母线流向短路点, 短路功率是指短路时某点电压与电流相乘的有功功率。如图 1 电网相间短路功率方向元件分析图所示, 对于保护安装处 A 的方向元件 1 所测量到的短路功率, 就是短路残余 (母线电压) 电压与短路电流的乘积为 $P=U_d I_d \cos\varphi_d$ 是正值, U_d 是母线上测量到的短路残余电压, I_d 是流过保护的短路电流, φ_d 是残余电压与短路电流间的夹角 (短路阻抗角), 它等于短路点到保护安装处的短路阻抗角。对于保护安装 B 处的方向元件 2 所测量到的短路功率是 $P=U_d I_d \cos(\varphi_d+180^\circ)$ 是负值。很显然有功功率具有很好的方向选择性。

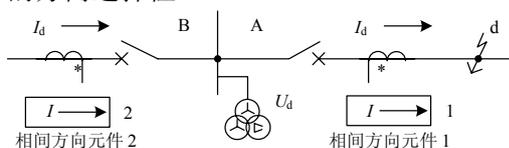


图 1 电网相间短路功率方向元件分析图

Fig.1 Analyzed diagram of inter-phase power direction element of power network

根据电网发生相间短路的特征, 相间功率方向元件判据为: $R_c[U_j I_j e^{-j\varphi_j}] = R_c[U_{BC} I_A e^{-j\varphi_{LM}}] > 0$, U_j 为方向元件的测量电压, I_j 为方向元件的测量电流,

φ_j 为测量电压与测量电流的夹角 (内角)。当内角与短路阻抗角之和等于 0° 时, 其余弦值最大为 1, 此时对应的内角就是最大灵敏角, 相间功率方向元件最大灵敏角 φ_{LM} 取值为 -30° 或 -45° 。另相间功率方向多采用 90° 接线方式, 可消除近处短路死区问题。所谓 90° 接线是指系统三相对称且为纯有功负荷时, 施加到方向元件的测量电流与测量电压夹角为 90° 的接线, 这样 A 相相间功率方向元件所加电流电压量是 I_A 、 U_{BC} , B 相功率方向元件所加电流电压量是 I_B 、 U_{CA} , C 相功率方向元件所加电流电压量是 I_C 、 U_{AB} 。

1.2 相间功率方向元件的负荷校验

用负荷电流电压校验相间方向元件的目的是检验二次回路接线 (电流电压极性) 和保护动作的正确性。首先要明确电力设备或线路的负荷功率的流向, 即负荷是感性还是容性负荷, 如果是感性负荷则负荷电流滞后于负荷电压于功率因数角, 容性负荷则负荷电流超前于负荷电压。下面以三圈变压器 A 相相间方向元件为例来说明用负荷电流电压校验相间方向元件, 其他相别同理类推。

1.2.1 试验方案及分析

要求: 检验三圈变压器高、中压侧相间功率方

向过流保护接线和动作正确性。

试验方案: 用三圈变压器的二次负荷电流、电压施加于被试保护, 检验相间功率方向过流保护或方向元件接线和动作的正确性。假设变压器负荷由高压侧流向中低压侧, 三圈变相间功率方向过流保护负荷试验网络图如图 2 所示。相间功率方向过流保护的过流元件动作整定值改为 0.8 倍负荷电流 (也可不修改), 方向元件方向整定指向变压器, 方向元件灵敏角整定为 -30° 。

分析: 根据负荷功率的流向结合方向元件的整定, 分析在负荷电流电压下方向过流保护的动作为, 决定用哪相负荷电流电压来校验方向元件的正确性。

已知三圈变负荷功率由高压侧流向中、低压侧, 高压侧有功功率和无功率都是正值, 高、中压侧相间功率方向元件正方向整定指向变压器, 方向元件灵敏角整定为 -30° , CT / PT 二次侧极性定义同 1 所述。

由图 2、图 3 分析可知, 高压侧有功功率和无功率都是正值, 负荷电流 I_A 滞后于负荷电压 U_A 于功率因数角 φ , A 相相间功率方向元件电压输入端 U_j 所加的负荷电压为 U_{BC} , 电流输入端 I_j 所加的电流为负荷电流 I_A , φ_{LM} 是方向元件最大灵敏角, 正方向动作区不大于 170° , A 相方向元件所测量的有功功率方向与方向元件整定方向相同, 有功功率实测值为正值, 处在方向元件正向动作区范围内, 高压侧 A 相相间功率方向过流保护可靠动作。而中压侧的 A 相相间功率方向元件的负荷电流与 CT 定义方向相反, 测量到的有功功率方向是元件的反方向, 实测值为负值, 所以中压侧的 A 相相间功率方向元件不会动作。因此, 可用 A 相负荷电流和 BC 相负荷电压来校验 A 相功率方向元件; 同理, 可用 B 相负荷电流和 CA 相负荷电压来校验 B 相功率方向元件, 用 C 相负荷电流和 AB 相负荷电压来校验 C 相功率方向元件。

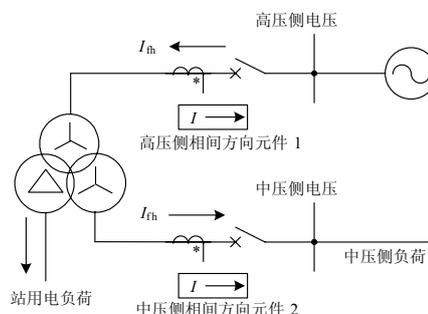


图 2 三圈变相间功率方向元件负荷试验网络图

Fig.2 Network diagram of inter-phase power direction element on-load test of three windings transformer

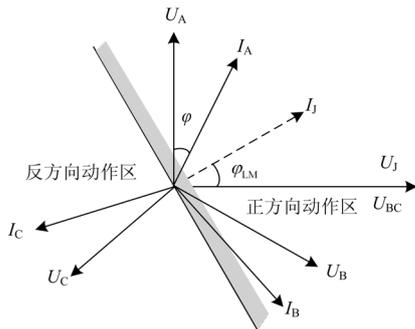


图 3 相间功率方向元件负荷相量分析图

Fig.3 Phase capacity diagram on-load test of inter-phase power direction element

如用 B 相负荷电流和 BC 相负荷电压来校验高压侧 A 相功率方向元件,即用 B 相负荷电流接入装置 A 相电流输入端时,采样实测值虽为正值但幅值极小,方向元件处在动作边界上可能动作也可能不动作;如用 C 相负荷电流和 BC 相负荷电压来校验 A 相功率方向元件,实测值为负值,方向元件可靠不动作。但这种改变负荷相别的试验方法会造成其他保护特别是变压器差动保护的误动,在运行设备上是不允许的。如果方向元件实测值或方向过流保护动作行为与上述分析结论不一致,则说明方向元件整定方向有错或接线有错。

1.2.2 用负荷校验方法

用负荷电流电压来校验方向元件或保护,首要问题是注意安全,不能因校验过程中的操作不当而出现安全事故。操作上牢记“电流回路先短接后断开,电压回路先断开后连接”的操作原则,确保负荷电流回路不因开路产生过电压或电压回路不因误短接造成负荷短路故障而伤及人员或损坏设备。试验操作前先要有试验方案及步骤,了解被测保护的整定和动作行为,以及保护的启动闭锁方式。

A、准备及试验条件

按试验方案设定好保护各项整定值,将方向过流(被试)保护退出运行,即断开投退压板,调出功率方向过流保护计算实测值液晶显示界面。被试设备并网带上大于 0.3 倍额定功率的负荷功率并保持稳定。

B、试验操作方法

用专用短接线在保护柜外侧把保护电流输入端子短接,并查看电流采样值接近零或极小后,再将 B 相、C 相电流输入端子的试验连片断开,保留 A 相电流输入端子的试验连片;断开 A 相电流端子外侧短接线,给保护通入 A 相负荷电流和三相负荷电压,微机型保护装置保证了 A 相功率方向元件所施加的电压是 BC 相间电压,此时功率方向过流保护

应动作,装置启动灯点亮,或查看 A 相功率实测值为正值(约为 0.8 倍二次负荷功率值),说明保护接线极性正确。相间功率值为负或保护不动作,说明电流电压接线极性接错或方向元件整定方向有误。一般多为电流极性接错,应及时查找出错接处加以改正或重新设定方向指向。用同样的方法可依次作 B、C 相两相功率方向元件的校验。

如果过流元件整定值不方便重新整定,仍保持原有整定值,此时所加 0.3 倍额定负荷时,过流元件不会动作,这时可通过查看实时有功功率测量值来判断接线。

试验后仍应遵守安全操作原则逐步恢复保护柜输入端子原状或修改后正确的接线及方向指向。

2 零序功率方向元件

对于双侧或多侧电源中性点直接接地(通过电源侧变压器中性点接地)电网中,由于零序电流的实际流向是由故障点流向各个中性点接地的变压器。为了保证零序过电流保护的选择性,要求电力设备或线路的零序过电流保护设置零序功率方向元件,作为选择元件构成零序方向过电流保护,以确保反方向故障时零序过电流保护不会误动作。

2.1 零序功率方向原理简介

由图 4 (A) 网络图知道,系统(线路)发生单相接地短路故障时,零序电流与零序电压关系是

$$I_0 = -U_{0d} / (Z_{0t} + Z_{0l})$$

式中: U_{0d} 是接地短路故障时短路点的零序电压,它等于零序电流流过零序网络各零序阻抗的压降之和,也是接地故障的零序电压源; Z_{0t} 是变压器 T 的零序阻抗, Z_{0l} 是短路点到变压器之间线路的零序阻抗;式中的负号表示实际零序电流与定义的电流正方向相反。就零序方向过流保护 1 来说,保护安装处母线的零序电压是 $U_0 = -I_0 Z_{0t}$, Z_{0t} 是保护背后系统的等值零序阻抗(广义说是背后输电线路和变压器的零序阻抗),其阻抗角一般约为 70° ,保护 1 测量到的零序电流超前零序电压约 110° ,如图 4 (C) 零序电流电压相量图所示。

零序功率方向元件判据为: $R_e[3U_0 3I_0 e^{-j\varphi_{LM}}] > 0$, φ_{LM} 是方向元件正方向的最大灵敏角约为 -110°

(所谓正方向是指被保护设备或线路本身的短路故障方向,而反方向是指被保护背后即反方向设备或线路的短路故障)。零序方向过流保护 1 是线路的接地故障保护,方向元件正方向应指向本线路,灵敏角是 -110° 。零序方向过流保护 2 是变压器的接地故障保护,方向应整定为指向变压器,即正方向指

向变压器, 其灵敏角也是 -110° ; 如果要作为相邻线路的接地故障远后备保护, 方向元件方向整定指向母线(即反方向), 其灵敏角为 70° 。三圈变压器或自耦变压器高、中压侧的零序方向过流保护, 其方向元件方向通常是指向母线, 作为本侧相邻母线或线路的远后备保护来整定。

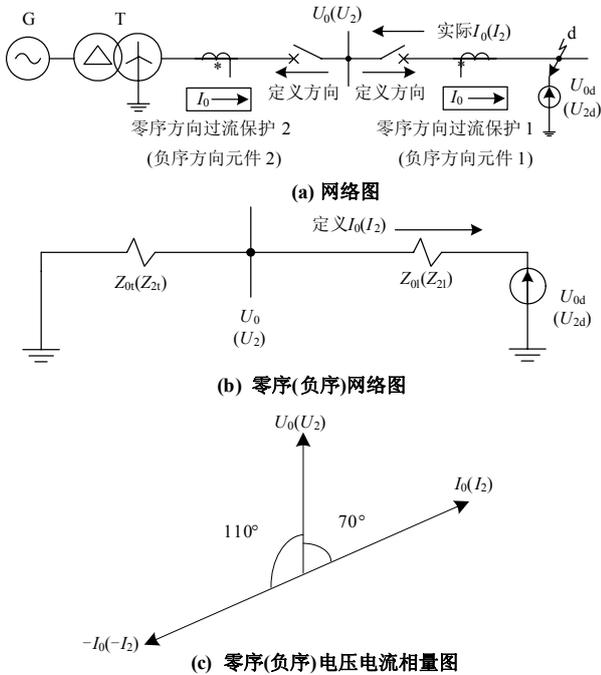


图 4 零序(负序)功率方向元件分析图

Fig.4 Analyzed diagram of zero(negative)-sequence power directional element

2.2 零序功率方向元件的负荷校验

由对称分量法知道, 零序电压为 $U_0 = (U_A + U_B + U_C)/3$, 零序电流为: $I_0 = (I_A + I_B + I_C)/3$ 。

采用单相试验法, 施加单相电流或单相电压, 则有零序电压 $3U_0 = U_\varphi$, 零序电流 $3I_0 = I_\varphi$, 式中 φ 表示各相相别(A、B、C相)。三倍的零序分量等于测试量, 零序分量的方向与测试量同相位。

2.2.1 试验方案及分析

要求: 检验三圈变压器高、中压侧零序方向过电流保护或方向元件的正确性。零序方向元件方向整定指向本侧母线, 灵敏角 70° , 是作为反方向线路的远后备。

试验方案: 用三圈变压器的单相负荷电流、电压施加于被试保护, 检验零序方向过电流保护接线和动作正确性。

分析: 单相试验法产生的零序电流和零序电压与施加的负荷电流电压同相位, 且零序电压超前零序电流功率因数角, 如图 5 所示。

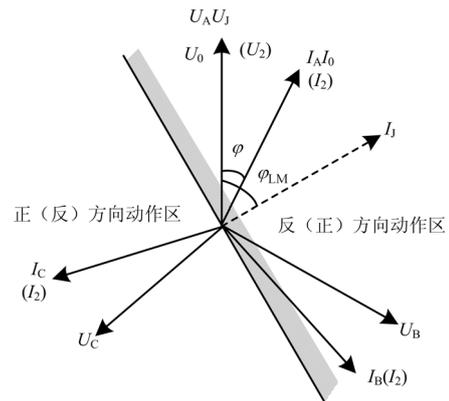


图 5 零(负)序功率方向元件负荷试验相量分析图

Fig.5 Phase capacity diagram on-load test of zero(negative) - sequence power directional element

已知高压侧方向元件方向指向高压侧母线, 中压侧方向指向中压侧母线, 零序功率方向元件的最大灵敏角应是 70° , 保护动作区是反方向动作。现变压器实际负荷是由高压侧流向中、低压侧, 电源在高压侧。对于高压侧零序方向过电流保护来说实际负荷电流与 CT 定义方向和方向元件方向指向相同, 用单相试验法所测量到的零序功率是正值, 落在反方向动作区上, 高压侧零序方向过流保护动作; 而中压侧零序方向过流保护的的实际负荷电流是由变压器流向中压侧母线线路的, 与 CT 定义方向反相, 用单相试验法所测量到的零序功率是负值, 落在正方向动作区上, 中压侧的零序方向过流保护不动作。

2.2.2 用负荷校验方法

试验操作前做好试验方案及步骤, 了解被试保护整定和动作行为, 试验操作时应遵守安全操作原则, 谨慎接线。

试验操作方法与相间功率方向试验基本相同, 零序方向过电流保护退出运行, 被试保护施加的都是单相同名相电流电压, 如分析所述。

用专用短接线在保护柜上把保护电流输入端子外侧短接, 在确保负荷电流被短接线旁路短接后, 再将 B 相、C 相电流输入端子的试验连片断开, 并断开 A 相电流端子外侧短接线, 保留 A 相电流输入端子的试验连片, 给保护施加 A 相负荷电流。再将 B、C 两相负荷电压输入端子的试验连片断开, 只给装置施加 A 相电压(装置发出 PT 断线预告信号), 此时零序方向过电流保护动作, 零序功率采样值为正值。

从图 5 看出, 做高压侧零序方向过电流保护或方向元件试验, 如用 A 相负荷电压来产生的零序电压时, 只有用同名相负荷电流作试验(三倍零序电

流相位、幅值等于负荷电流的相位、幅值), 零序功率采样值为正值, 零序方向元件才能正确动作。依次分别用其它两相电压电流接入保护, 保护相应动作或实测零序功率为正值, 说明电压电流接线和动作行为正确。图 5 可清晰看出, 如用 B 相或 C 相负荷电流与 A 相负荷电压作试验, 零序功率实测值是极小正值或负值 (B 相电流试验处在动作边界上不能可靠动作), 保护不能动作。

做中压侧零序方向过电流保护试验, 仍用 A 相负荷电压产生的零序电压, 用同名相负荷电流产生的零序电流试验, 零序功率采样值为负值, 与零序方向元件整定方向不一致, 中压侧零序方向过电流保护不动作; 反而用超前相 (即 C 相负荷电流) 的负荷电流试验, 测量的零序功率值为正值, 中压侧零序方向过电流保护将可靠动作。

目前不管是线路、母线还是发电机变压器组继电保护都是微机型保护, 零序功率方向元件的零序电流电压多为自产, 不再从三相零序回路和开口三角侧取零序电流电压, 这样零序电流电压接线极性极易满足保护性能要求, 大大的简化了现场调试试验工作量。因此对零序方向元件的校验也大大简化, 可通过查看零序功率实测值, 是否与所整定要求及分析一致。

3 负序功率方向元件

负序功率方向元件具有很强的方向选择性和很高的灵敏度, 在线路保护和发电机定子匝间保护中作为启动闭锁元件得到较广泛的应用。对于发电机等电力设备、输电线路以及用电设备发生两相不对称短路故障时, 在短路点处产生负序功率源, 其负序电流向周边电网设备流动。

3.1 负序功率方向原理简介

由图 4 (A) 网络图 (括号里为负序分量) 知道, 系统 (线路) 发生两相不对称短路故障时, 负序电压与负序电流关系是 $U_2 = -I_2 Z_{2l}$ 。

式中: U_2 是保护安装处 (母线) 的负序电压; I_2 是流过 CT 的负序电流, 负号表示实际负序电流与定义电流正方向相反, 负序源在短路点处; Z_{2l} 广义说是保护背后线路、变压器和发电机的等值负序阻抗。一般负序阻抗角约为 75° , 就负序方向元件 1 来说, 负序电流超前负序电压约 105° , 即负序方向元件 1 灵敏角为 -105° , 其负序电压与负序电流关系参看图 4 (C) 负序电流电压相量图和图 5 负

序功率方向元件负荷试验相量分析图 (括号内为匝间启动元件负序方向分量)。

负序功率方向元件的判据根据被保护对象以及 CT 极性定义和元件动作出口逻辑方式的不同而有所不同。电网主设备和线路的 CT 极性定义多为靠近母线侧为极性端 (即电流从母线流入被保护设备或线路); 而发电机机端 CT 极性定义却不同, 一般定义靠近发电机端为极性端 (即电流从发电机流出, 与送出正值的有功、无功功率一致), 还有与方向元件出口逻辑方式 (是启动还是闭锁) 有关。就发电机的纵向零序电压匝间保护的启动元件负序功率方向的判据是 $R_\phi [U_2 I_2 e^{j\alpha_M}] > 0$, 灵敏角是 75° , 即发电机内部定子绕组发生不对称短路或匝间短路时, 负序功率方向元件灵敏动作, 逻辑输出常开动作闭合启动零序电压匝间保护。

3.2 用负荷校验方法

准备及试验条件和试验操作方法与零序功率方向负荷校验方法相同, 被试保护仍采用单相试验法, 即给负序功率元件施加单相负荷电流电压, 有负序电压为 $U_2 = U_\phi / 3$, 和同相的负序电流 $I_2 = I_\phi / 3$, 负序分量等于三分之一的测试量, 负序分量的方向与测试量同相位。采用改变装置输入电流电压相别来产生负序分量的试验方法, 极易引起差动保护的误动, 试验时应注意规避, 或采取相应的防范措施。

用发电机、变压器、电抗器和线路的负荷电流电压能有效地检验保护装置的二次回路接线和各保护 (元件) 整定值的正确性。带负荷校验时应绝对保证运行设备和保护装置以及人员的安全, 严格遵守“电流回路先短接后断开, 电压回路先断开后连接”的操作原则, 同时应避免改变保护装置输入电流电压相别的试验方法来检验保护正确性, 即装置的 A 相电流电压不能接 B、C 相负荷电流电压进行校验, 以免造成其它运行保护特别是差动保护的误动。

参考文献

[1] GB/T 14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程 [S].
GB/T 14285-2006 technical code for relaying protection and security automatic equipment[S].

收稿日期: 2009-12-08; 修回日期: 2010-01-12

作者简介:

原爱芳 (1972-), 女, 工程师, 从事电力系统主设备继电保护的研究。E-mail: aifangyuan@xjgc.com