

一种适用于两相式输电线路的相组合差动保护

何建宗¹, 徐晓春², 曾子县¹, 王蕙菁¹, 曾伟忠¹, 李园园², 赵青春², 刘革明²

(1. 广东电网公司东莞供电局, 广东 东莞 523000; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:通过对两相式输电线路和三相式输电线路的结构和运行特征的对比, 结合目前两相式输电线路的继电保护配置方式, 总结出两相式输电线路对常规继电保护装置的影响, 同时指出了目前两相式电力牵引供电线路保护配置存在的缺陷。结合光纤电流差动保护的优点以及目前差动保护的应用情况, 该方法提出了一种适用于两相式输电线路的相组合的差动保护方法, 可以根据线路的实际运行方式投入对应相的差动以及和流差动功能。该方法可以满足 220 kV 两相式输电线路快速跳闸的需求, 能够极大地提高系统的稳定性和对牵引系统的供电可靠性。

关键词:牵引站; 两相式; 超高压; 相组合; 差动保护

A new phase combined line current differential relay for two-phase transmission line

HE Jian-zong¹, XU Xiao-chun², ZENG Zi-xian¹, WANG Hui-qiang¹, ZENG Wei-zhong¹,
LI Yuan-yuan², ZHAO Qing-chun², LIU Ge-ming²

(1. Dongguan Power Supply Bureau, Dongguan 523000, China; 2. NARI-RELAYS Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

Abstract: Based on the comparison of the structure and operation characteristics between the 220 kV two-phase transmission line and three-phase transmission line, and combined with the normal protection configuration of two-phase transmission line at present, this paper summarizes the influence of two-phase transmission line on conventional relay protection device and figures out the disadvantages of the protection configuration of two-phase electric traction power supply line. Considering the advantages of optical line current differential protection and application of differential protection, this paper proposes a new phase-combined line current differential relay for two-phase transmission line. This protection relay contains phase current differential relay and neutral current differential relay. It can satisfy the demand of fast tripping of the 220 kV two-phase transmission line which can greatly improve the stability of the power system and power supply reliability of traction system.

Key words: traction substation; two-phase; UHV; phase combined; differential relay

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)04-0073-04

0 引言

电力牵引以其特有的优势成为了铁路的重要牵引动力, 我国《中长期铁路规划》将电气化铁路作为今后铁路建设的主要任务。国内现有电气化铁路的供电电压等级大多数为110 kV, 由于220 kV供电方式相比110 kV供电方式能够有效减小电力机车负荷对系统的影响, 因此, 牵引变电所供电电压等级正在逐渐向220 kV发展。电气化铁路供电系统是一种三相不对称结构, 特别是两相式供电系统的特殊接线形式使得区域内 220 kV高压输电网发生了显著的三相不对称。随着两相式供电系统的普遍应用, 这种输电方式对电力系统的影响也随之加深^[1-3]。

目前, 一般的 220 kV 电力牵引线路, 往往仅在

系统侧配置仅采集单端电气量的保护装置, 采用反应接地故障的和流保护以及反应相间故障的相间距离保护相组合的方案, 在牵引变侧不设置保护装置^[4-8]。对于这种保护方式, 当线路上发生故障时只能通过系统侧的保护去跳闸, 没有明确的区间选择性, 而且对于经过渡电阻的故障, 保护动作时间会很长甚至不能动作, 无法满足 220 kV 线路快速跳闸并隔离故障的需求, 同时采用这种保护方式时, 保护装置定值的整定和配合会比较复杂。

差动保护具有天然的选相能力, 原理简单, 可靠性高, 不存在保护定值整定配合问题, 能够反映各种类型的故障, 从而保证保护区域内发生故障时差动保护能够快速、可靠动作。相比于单端电气量保护, 其具有更高的可靠性和选择性, 可以极大地缩短保护

隔离故障尤其是经高过渡电阻故障的时间,可以提高电力系统的稳定性和对牵引系统供电的可靠性。

为此,本文在结合差动保护的优势以及两相式输电系统的特殊性的基础上,提出了一种适用于两相式输电线路的相组合差动保护。这种相组合差动保护具备根据实际的接线方式选择差动保护计算相别的功能,可以极大程度地保障电力系统对牵引负荷的供电可靠性,具有很大的应用前景,有较高的经济意义和社会意义。

1 一般牵引站的供电方式和特点

目前,国内对牵引变电站供电方式主要有三相式供电方式和两相式供电方式。

1.1 三相式供电方式

典型的三相式供电系统如图 1 所示。从对称的三相输电系统中抽取 A、B、C 三相给 V/V 变压器(或者其他三相变压器)供电,此时,虽然 V/V 变压器是一个三相参数不对称的元件,但是三相输电线路本身仍然是一个参数对称的元件。在这种牵引供电模式下,牵引变电站进线为三相线路,直接利用电力系统的三相对称电源,能够减少负序功率,削弱电力机车负荷对系统侧的影响。

常规的继电保护装置在考虑电力牵引冲击负荷的前提下可以直接应用于这种三相式输电线路。

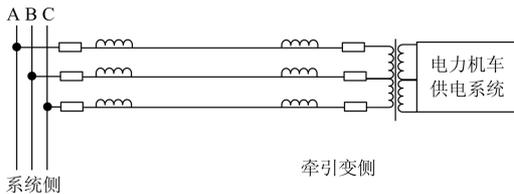


图 1 典型三相式供电方式示意图

Fig. 1 Typical three-phase power supply mode

1.2 两相式供电方式

典型的两相式供电系统如图2所示。以AB相供电为例,从对称的三相输电系统中抽取A、B两相给单相变压器供电作为牵引侧系统的电源,此时的线路和变压器均为三相不对称元件。

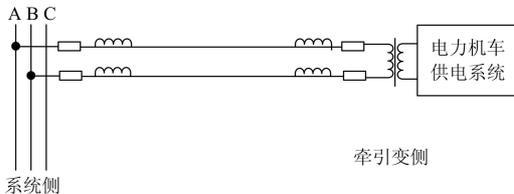


图 2 典型两相式供电方式示意图

Fig. 2 Typical two-phase power supply mode

这种牵引供电模式具有结构简单、变压器容量利用率高、运行费用低、供电可靠等特点。

对于两相式供电线路,原有的应用于三相对称系统的继电保护装置不再完全适用。在考虑机车的冲击性负荷的基础上,还要考虑两相式输电线路带来的新问题。

表 1 分别从冲击性负荷,负序电流,三相不平衡以及运行可靠性等方面分析了两相式输电线路对线路保护的影响,并从实际运行维护角度出发提出了相关针对性的需求。

表 1 两相式输电线路对线路保护的影响

Table 1 Impact of two-phase power supply mode

常规线路保护		适用于两相式输电线路的线路保护
冲击性负荷	保护装置会频繁启动	对于冲击性负荷,保护装置应不启动
负序电流	负序启动元件会启动	保护装置应不启动
三相不平衡	可能会误报 CT 断线、PT 断线	保护装置在运行时应无异常状态告警
运行可靠性	可靠性较低,非运行相的某个元器件的损坏会导致装置误动作	可靠性高,保护装置仅反映运行相的状态

应用于 220 kV 及以上电压等级的线路保护,按照运行规程均需要配置主保护。但是牵引站一般为终端负荷,且没有专门应用于两相式牵引线路的主保护,目前广泛采用的保护方式为在系统侧配置单侧保护,一般配置相间距离保护反映相间故障,配置和流保护反映接地故障。这种配置方式没有一种能够反映各种类型的故障的快速保护,尤其在高压接地故障时,保护装置动作时间偏长甚至可能不动作,且没有明确的区间选择特性,往往不能明确区分线路末端和牵引变高压侧的故障。对于一条 220 kV 线路上挂两组单相变压器的场合很可能造成停电范围的扩大。本文提出的一种适用于两相式输电线路的差动保护装置能够满足两相式输电线路这种特殊应用场合,可以极大地提高供电系统的可靠性和安全性。

2 应用于两相式输电线路的电流差动保护

本文提出了一种适用于两相式输电线路的相组合差动保护,可以根据线路的运行状态投入对应相的差动保护,非运行相的差动保护自动退出。差动保护可以适用于牵引站的不同应用场合,极大地提高了保护装置对输电线路实际运行状况的适应程度。

2.1 差动保护配置方式

将光纤电流差动保护原理应用于两相式输电线路,如图 3 所示,在系统侧和牵引站侧分别设置差动保护装置,两台装置之间通过光纤连接实现两

侧装置之间的信息交互。保护装置可以根据实际系统需要接入任意两组或三组 CT 的电流。

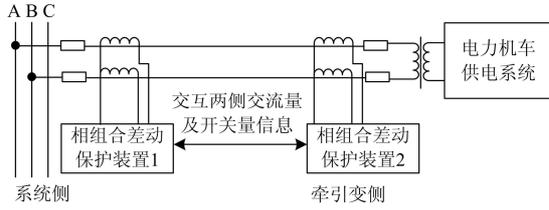


图 3 两相式输电线路差动保护配置方式

Fig. 3 Relay configuration of two-phase power supply mode

2.2 按相组合的差动保护

对于以 ABC 三相表示的三相系统, 为了方便根据线路的拓扑结构进行差动保护的方式组合, 两相式输电线路的相组合差动保护设置“AB 相差动投入”、“BC 相差动投入”和“AC 相差动投入”控制字, 根据实际的两相式接线方式, 投入对应的控制字, 这三个控制字与差动电流计算的逻辑关系如图 4 所示。

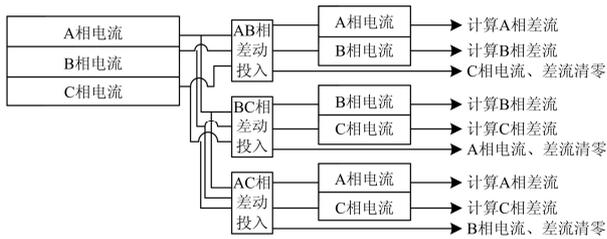


图 4 差动电流的处理方式逻辑示意图

Fig. 4 Logical diagram of differential current handling according to the binary input

以 A、B 相两相式供电方式为例, 当牵引变的单相变压器接在 AB 相上构成两相式输电方式时, “AB 相差动投入”控制字置“1”, 此时投入 AB 相的差动保护功能, 自动将 C 相的差动保护退出, 保护装置仅对 A 相和 B 相进行差动保护计算, 同时将非运行相 C 相的模拟量值和差流值强制清 0, 从而保证即使非运行相出现异常情况或者硬件损坏时, 非运行相的差动保护也不会动作, 能极大地提高保护装置的可靠性; 以 A、B 相为例, 此时相电流差动保护的方程如式(1)所示。

$$\begin{cases} \left| \dot{I}_{1\phi} + \dot{I}_{2\phi} \right| > k \times \left| \dot{I}_{1\phi} - \dot{I}_{2\phi} \right| \\ \left| \dot{I}_{1\phi} + \dot{I}_{2\phi} \right| > I_{CDMK} \end{cases} \quad (1)$$

下标 1 表示系统侧, 下标 2 表示牵引变侧(下同)。其中: k 为制动系数, 一般取值范围为 0.6~0.75,

I_{CDMK} 为差动动作门槛, 下标 ϕ 为 A 相或者 B 相。只有满足判据中的动作条件时, 差动保护才能动作并隔离故障。

适用于两相输电线路的相组合差动保护具有和流差动保护功能, 可以应对高阻接地时相电流差动保护可能无法动作的情况。和流差动保护动作条件如式(2)所示。

$$\begin{cases} \left| \sum_{\phi} \dot{I}_{1\phi} + \sum_{\phi} \dot{I}_{2\phi} \right| > k \times \left| \sum_{\phi} \dot{I}_{1\phi} - \sum_{\phi} \dot{I}_{2\phi} \right| \\ \left| \sum_{\phi} \dot{I}_{1\phi} + \sum_{\phi} \dot{I}_{2\phi} \right| > I_{CDMK1} \end{cases} \quad (2)$$

其中: k 为制动系数, 一般取值范围为 0.6~0.75; I_{CDMK1} 为和流差动动作门槛; 下标 ϕ 为 A 相和 B 相。

当“AB 相差动投入”、“BC 相差动投入”和“AC 相差动投入”控制字中有两个或两个以上置“1”时, 则投入三相的差动保护, 此时差动保护可以应用于常规的三相对称系统; 当“AB 相差动投入”、“BC 相差动投入”和“AC 相差动投入”控制条件均无效时, 退出 A 相、B 相和 C 相的差动保护。

2.3 牵引站特殊应用场合下差动保护装置的配置

应用于系统侧的差动保护装置以相组合差动保护为主保护, 同时配以相间距离保护和流过流保护功能作为后备保护, 配置重合闸功能; 考虑到牵引变的特殊情况, 从简化应用和可靠性角度出发, 应用于牵引变侧的差动保护装置仅配置相组合差动保护和重合闸功能。

差动保护动作的条件为保护装置启动且收到对侧的允许信号, 同时保护装置感受到的差流满足差动动作方程。一般情况下, 牵引站相对于系统侧变电站属于受电侧, 在空载或者轻负荷时, 线路上发生故障, 牵引侧变电站侧电流元件不能启动, 同时牵引站往往不会配置 PT, 此时无法用电压作为差动保护的辅助启动判据。考虑到牵引线路发生故障时, 系统侧的保护装置感受到的故障电流会远远大于牵引站侧保护装置感受到的电流, 为此, 适用于两相式输电线路的相组合差动保护根据设置了判断两侧电流比值启动的辅助启动元件, 即当牵引变侧感受到的电流远远小于系统侧的保护装置感受到的电流, 同时差流满足差动门槛, 牵引变侧差动保护可以辅助启动, 从而保证线路上发生故障时, 差动保护可以可靠动作。

3 仿真分析

在 RTDS 系统中搭建两相式输电线路模型, 根据某条 220 kV 两相式输电线路的实际参数进行搭建, 牵引网线路采用可时变和可定时投切的负荷模

型,如图5所示:在M、N侧区外及区内设置F1~F5五个短路故障点。

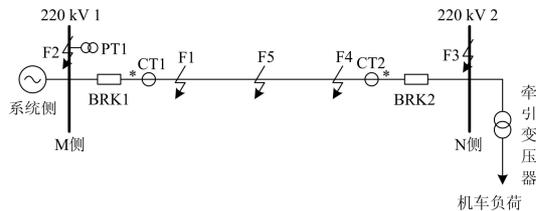


图5 RTDS仿真系统示意图
Fig. 5 RTDS simulation system

在仿真测试过程中,模拟负荷冲击、电力机车穿越牵引区间以及由电力机车产生谐波等各种运行条件。

分别在F1、F5、F4点模拟各种区内金属性故障以及永久性故障以及经 $0\sim 100\ \Omega$ 过渡电阻故障,差动保护均能正确、可靠地动作,尤其在经 $100\ \Omega$ 过渡电阻时,差动保护仍然能够快速动作。

在F2、F3点模拟各种区外故障,差动保护均不动作。

同时,还进行了常规的发展性故障、手合带故障线路以及CT断线、CT饱和PT断线等异常情况下的保护动作行为测试,测试结果均满足实际应用需求。

另外,单独模拟保护装置误感受到非运行相模拟量信息和开关量信息。差动保护均能对误采集的信息进行可靠的屏蔽。

4 结论

本文提出了一种适用于两相式输电线路的相组合差动保护方法,其具有以下的特点:

1) 相组合差动保护能够根据线路的实际运行方式实现按相投入功能,在满足两相式输电线路要求的同时能够兼容三相式输电线路方式。

2) 相组合差动保护由相电流差动继电器与和流差动继电器构成,能够反映各种类型的故障。

3) 相组合差动保护可以满足牵引变电站对于保护装置的特殊需求。

目前,具有相组合差动保护功能的适用于两相式输电线路的保护装置已在广-深-港高速铁路沿线多个牵引站应用,目前运行情况良好,具有很高的推广使用价值。对于如何更好地做到保护装置对两相式输电线路和三相式输电线路完全的兼容性,是下一步的研究目标。

参考文献

[1] 蓝智晖,徐永海. 电铁负荷特性对微机距离保护测量元件的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 59-64.

LAN Zhi-hui, XU Yong-hai. Research of the influence to the measurement unit of digital distance protection from electric locomotive loads[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 59-64.

[2] 王敬军,张予鄂,刘华,等. 基于分相法的牵引供电系统等值阻抗分析及对距离保护的校核[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 141-144, 148.

WANG Jing-jun, ZHANG Yu-e, LIU Hua, et al. Analysis on the equivalent impedances based on respective phase method in traction power supply system for electrified railway and the checkback for line distance protection[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12): 141-144, 148.

[3] 张宁,刘静琨. 影响特高压电网运行的因素及应对策略[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 109-114.

ZHANG Ning, LIU Jing-kun. The ultra high voltage grid risk analysis and its assessment framework[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(1): 109-114.

[4] 谭秀炳. 交流电气化铁道牵引供电系统[M]. 2版. 成都: 西南交通大学出版社, 2007.

TAN Xiu-bing. Analysis of electric power system[M]. Second Edition. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2007.

[5] 崔家佩,孟庆炎. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

CUI Jia-pei, MENG Qing-yan. Analysis of electric power system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

[6] 伍小杰,孙蔚,戴鹏,等. 一种虚拟电阻并联电容有源阻尼法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(10): 122-128.

WU Xiao-jie, SUN Wei, DAI Peng, et al. An active damping method of virtual resistor in parallel with capacitor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(10): 122-128.

[7] 涂春鸣,李慧,唐杰,等. 电网电压不对称对D-STATCOM的影响分析及抑制[J]. 电工技术学报, 2009, 24(8): 114-121.

TU Chun-ming, LI Hui, TANG Jie, et al. Analysis and suppression of influence on D-STATCOM under unbalanced voltage of power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(8): 114-121.

[8] 汪珣,尹项根,张哲,等. 基于遗传信息融合技术的广域继电保护[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 174-179.

WANG Yang, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. Wide area protection based on genetic information fusion technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 174-179.

收稿日期: 2013-05-27; 修回日期: 2013-07-04

作者简介:

何建宗(1974-),男,硕士,高级工程师,从事电力系统调度、继电保护方面的工作;

徐晓春(1984-),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护方面的研究。E-mail: xuxc@nari-relays.com