

# T型输电线路三端差动保护工程应用实践

李瑞生<sup>1</sup>, 贺要锋<sup>2</sup>, 樊占峰<sup>1</sup>, 曹丽璐<sup>1</sup>

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许昌供电公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** T型输电在输电线路中得到了广泛应用。但是T型接线增加了二次继电保护设计和整定的复杂性, 现有的常规保护难以适应T型接线的要求。在许昌薛坡-魏都-灞陵 110 kV T型输电线路三端差动保护工程实践中, 采用三端光纤差动保护作为主保护, 利用自适应主从定位方法解决三端数据同步, 并保证在任一通道发生故障情况下, 不失去差动保护, 提出适用于T型输电线路的综合阻抗保护新原理、T型线路故障测距技术、三端差动保护方案及配置。

**关键词:** T型接线; 三端差动保护; 自适应主从定位; 应用实践

## Application of current differential protection for T connection transmission lines

LI Rui-sheng<sup>1</sup>, HE Yao-feng<sup>2</sup>, FAN Zhan-feng<sup>1</sup>, CAO Li-lu<sup>1</sup>

(1. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Power Supply Company, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** The T connection transmission line is widely applied in transmission line. But the T connection transmission lines increase complexity of relay protection's design and the setting, the conventional protection is difficult to adapt to the T connection. In the 110 kV T transmission line current differential protection project of Xuchang Xuepo-Weidu-Baling, this paper takes three-terminal current differential protection as the main protection, uses the self-adaptive master-slave location to solve three-terminal data synchronization, and ensures that differential protection will not be lost in any channel fault. It also proposes a new comprehensive impedance protection principle, a new T connection lines fault location technology, and three-terminal differential protection scheme and the configuration to suit T transmission line.

**Key words:** T connection transmission lines; three-terminal differential protection; self-adaptive master-slave location; application

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0119-03

## 0 引言

随着电力负荷的增长和国内电网密度的增加, 现代电力系统结构的日益复杂、输电线路的输送容量和电压等级不断提高、远距离输电线路日益增多, 从设备投资的经济效益与征地的困难出发, 综合考虑客观条件的限制和节省投资等方面因素, T型线路已越来越多地出现在中压和高压电网中, 这些线路又常常联系着大电厂和大系统, 因而发生故障后要求保护能够快速动作, 并及时、准确地找到故障点, 保证整个电力系统的安全稳定和经济运行。当前常规保护整定困难, 配合复杂, 故障测距不准确, 不能满足T型输电线路运行及故障定位要求。光纤差动保护原理简单, 天然选相, 但必须保证进行计算的三端电流的采样时刻一致, 工程实际中由于

三侧保护装置上电时刻不同、采样晶振偏差, 数据传送延迟, 无法保证进行计算的三端电流的采样时刻一致, 因而需要设定一端的采样时刻为参考基准, 另两端参照基准调整自己的采样时刻, 如何合理实现主从定位和采样时刻的同步调整, 一直是电力工作者研究的热点。

## 1 T型输电线路三端差动保护工程应用

### 1.1 许昌薛坡-魏都-灞陵 110 kV T型输电线路三端差动保护工程简介

许昌 110 kV I 薛灞 T型输电线路(如图 1)连接薛坡、魏都、灞陵变电站, 担负着许昌市区和许昌西部经济开发区电力负荷的供应任务, 但是存在着设备陈旧老化, 保护装置技术落后, 运行维护困难等诸多问题。

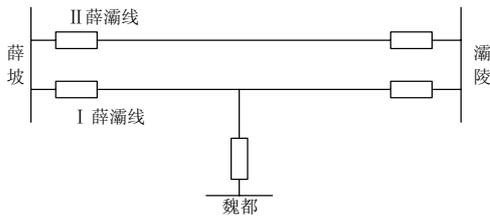


图1 许昌薛坡-魏都-瀑陵 110 kV T型输电线路  
Fig.1 T connection transmission lines of Xuchang Xuepo-Weidu-Baling substation

工程实践过程中，在各项功能满足现有 T 型输电线路安全运行和系统稳定性的前提下，重点对 T 型输电线路三端差动保护判据、主从定位技术、故障测距技术、三端差动保护通讯技术、工程设计、现场安装调试、运行维护进行了专项技术研究和技术创新，提出了 T 型输电线路的三端差动保护方案及配置，并研制出了 T 型输电线路的三端差动保护装置，提高了该 T 型线路的技术水平，克服了现有常规保护由于主、后备保护定值整定困难、相互配合复杂、保护可靠性差、难以适应 T 型接线等缺点。

### 1.2 T 型输电线路三端差动保护配置

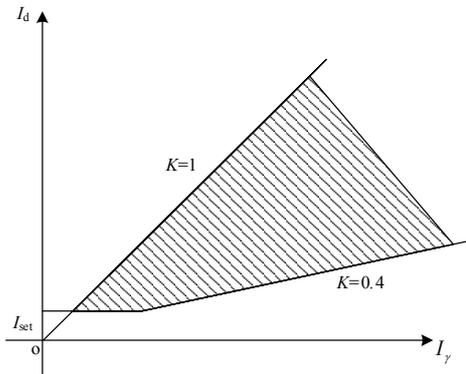


图2 差动保护动作特性

Fig.2 Operation characteristics of differential protection

稳态量差动保护动作方程：

$$\begin{cases} I_{CD\phi} > I_{set\phi} \\ I_{CD\phi} > 0.4 \times I_{\gamma} \end{cases} (\phi = A, B, C)$$

式中：动作电流  $I_{CD\phi} = |\dot{I}_{M\phi} + \dot{I}_{N\phi} + \dot{I}_{S\phi}|$ ，为三侧电流矢量和的幅值；制动电流  $I_{\gamma} = |\dot{I}_{M\phi}| + |\dot{I}_{N\phi}| + |\dot{I}_{S\phi}|$ ，为三侧电流矢量幅值和； $I_{set\phi}$  为相量差动电流定值。整定时考虑最小方式下区内故障差流值有足够的灵敏度，整定值应大于 1.5 倍线路全长电容电流，线路两端应按一次电流相同折算到二次整定。

T 型输电线路三端差动保护元件针对线路保护

区内各种故障类型配置了分相稳态量差动、分相故障分量差动及零序电流差动。稳态量差动元件设置快速区元件及灵敏区元件，快速区元件采用短窗相量自适应算法实现快速动作，使保护典型金属性故障小于 20 ms；灵敏区采用全周傅氏向量算法作为快速区的补充。故障分量差动元件不受负荷影响，对于区内高阻故障及振荡中故障性能优越，元件本身采用全周傅氏向量算法并略带延时保证其可靠性。零序电流差动元件作为稳态量差动及故障分量差动的后备延时 100 ms 动作，解决缓慢爬升的高阻故障。

同时配置自适应主从定位功能（根据各侧装置编码的大小、运行方式、光纤通道的工况自适应确认主侧、从侧。已申请国家发明专利，申请号：200810141382.4），自动实现一个主侧两个从侧定位。在任意两端之间通道发生异常时，利用两个通道都完整的第三侧采集三侧信息，仅通过这一侧的差动逻辑判断，判别结果通过远跳命令实现三端跳闸（如图 3 所示，假设 M 与 P 侧之间光纤通道出现异常，则通过 N 侧采集三侧的信息，并进行逻辑判别）。由三段式相间和接地距离保护及四段零序保护构成全套后备保护，并配置三相一次重合闸功能。

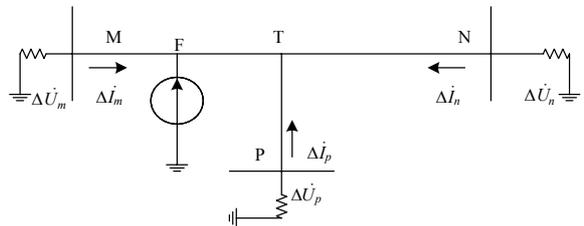


图3 三端输电线路正序故障分量网络

Fig.3 Positive sequence fault components of three-terminal transmission lines

## 2 T 型输电线路三端差动保护关键技术

### 2.1 T 型线路故障测距算法

由各端电压电流故障分量计算线路沿线电压分布公式为：

$$\begin{cases} \Delta \dot{U}_{tm} = \Delta \dot{U}_m \cosh(\gamma_m \chi_m) - \Delta \dot{I}_m Z_{cm} \cosh(\gamma_m \chi_m) \\ \Delta \dot{U}_{tn} = \Delta \dot{U}_n \cosh(\gamma_n \chi_n) - \Delta \dot{I}_n Z_{cn} \cosh(\gamma_n \chi_n) \\ \Delta \dot{U}_{tp} = \Delta \dot{U}_p \cosh(\gamma_p \chi_p) - \Delta \dot{I}_p Z_{cp} \cosh(\gamma_p \chi_p) \end{cases}$$

式中： $\Delta \dot{U}_{tm}$ 、 $\Delta \dot{U}_{tn}$ 、 $\Delta \dot{U}_{tp}$  分别为由 M、N、P 点电压电流正序故障分量计算出的 T 点电压； $Z_{cm}$ 、 $Z_{cn}$ 、 $Z_{cp}$  分别为线路 MT、NT、PT 的特征阻抗；而  $\gamma_m$ 、 $\gamma_n$ 、 $\gamma_p$  分别为线路 MT、NT、PT 的传播

系数： $\chi_m$ 、 $\chi_n$ 、 $\chi_p$ 分别为距母线M、N、P的距离。

比较 $\Delta\dot{U}_m$ 、 $\Delta\dot{U}_n$ 、 $\Delta\dot{U}_p$ 的大小，由故障点所在线路母线端电压电流计算出的T点正序故障分量幅值是最大的，如果三者大小相等，则为T点故障。

对于三端系统来说，首先根据基于故障分量的故障分支判断方法或基于全量的故障分支判断方法找出故障点所在的分支，然后将三端系统转化为双端系统，再利用基于全量或者故障分量的测距算法进行故障测距。本工程采用基于正序故障分量的测距算法利用线路故障电压的分布特性，在保证测距精度的同时大大减少了计算的复杂度，计算量小、不需迭代求解、无伪根判断问题，相对基于全量的测距算法具有明显的优势。仿真结果表明，该方法基本上不受故障位置、过渡电阻、故障类型的影响，在各分支线路发生各种故障的情况下均能正确判断出故障点所在分支，精确计算出故障距离。

## 2.2 通讯功能及同步调整

本工程根据T型输电线路的特点完成三端差动

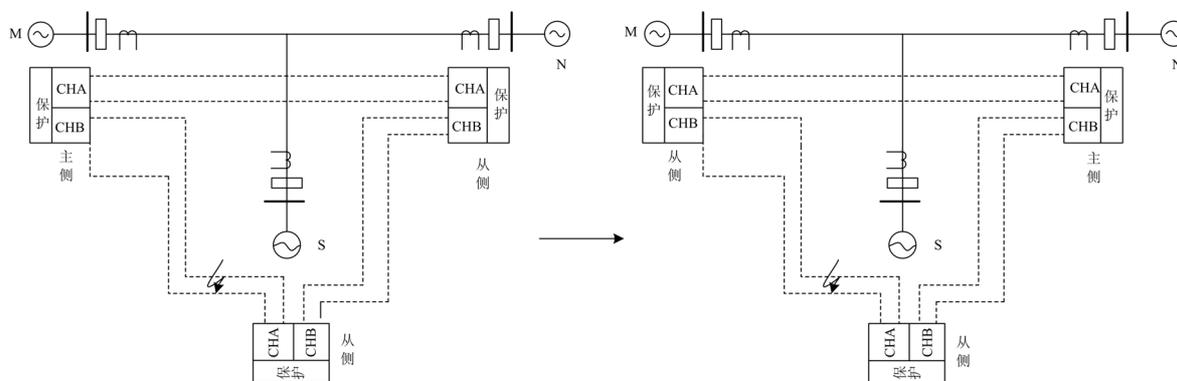


图4 T型输电线路三端差动保护自适应主从定位方案

Fig.4 Self-adaptive master-slave location of three-terminal differential protection for T connection transmission lines

## 3 结束语

许昌I薛灞线T型输电线路三端差动保护系统设备安装简单，调试方便，减轻了现场工作量，缩短了安装调试时间。自适应主从定位方式，减少了定值整定工作量，避免人为因素的影响。三端差动保护系统投运以来，信息采集清晰明确，硬件运行可靠，未发生保护误动或误报动作信号情况。改造后的许昌I薛灞线技术水平和运行可靠性得到显著提高，创造了巨大的经济效益和安全效益。本工程实施过程中提出的多项创新技术和设计方案，积累

保护通讯功能设计。三端系统设置一个主侧两个从侧，能够自适应于系统各种运行方式的变化，如三端运行、两端运行、单端自环试验、单通道异常等方式；能够利用光纤通道交换的信息、压板状态自动识别运行方式，并根据接收到的信息自动进行主从定位，避免人为因素对保护的影响；能够根据主从定位结果自动完成三端数据同步调整，并能够对通道收发延时不一致情况进行检测，避免通道收发延时不一致对保护的影响，提高可靠性。

## 2.3 通道异常情况下保护功能的完善

如图4所示，当M与S端之间光纤通道出现异常情况时，通过自适应主从定位技术自动将N端调整为主侧，M和S端为从侧，利用N端保护装置与两个从侧之间光纤通道良好，获取三端数据，并进行逻辑判别，此时如果发生区内故障则通过主侧N端的保护装置经由光纤通道发远跳命令给两个从侧，完成三端跳闸，保证在任一条通道异常情况下不失去差动主保护，提高T型输电线路的运行可靠性。当任一端保护装置的两个光纤通道同时出现异常时，退出三端差动保护，此时如果发生故障则由后备保护完成故障切除。

的工程和运行维护经验，对于T型输电线路的建设具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 郭征, 贺家李. 三端线路光纤保护的研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 57-59.  
GUO Zheng, HE Jia-li. Research of Relay Protection of Three-terminal Power Transmission Lines Using Optical Fiber Channel[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(10): 57-59.

(下转第125页 continued on page 125)

上都电厂四台机组模态频率有所区别, 如表 1 所示。TSR 在进行参数整定时, 需要根据模态频率的不同进行相应的设置。1#机组轴系扭振保护系统主要的保护定值如表 2 所示, 其它机组的 TSR 整定值类似。

以上参数能适应上都二期和远期工程的需要, 同时该定值出厂设定后, 一般不需要后续调整, 除非影响轴系疲劳损耗的机组参数(如物理构造、S-N 曲线)发生较大变化。

#### 4 保护系统在上都电厂的运行情况

本文所描述的次同步扭振保护系统于2008年9月于上都电厂试运行, 在后续的串补并网和SEDC 试验中均表现正常。相关试验过程中轴系扭振的幅度超过了TSR的启动值, TSR正确发出提示信息, 但扭振幅度均未达到动作值, 故TSR没有启动跳机, 符合预期设计目标。

#### 5 结语

针对上都电厂串补输电工程(二期)的SSR问题, 研究采用了SEDC和TSR的组合方案进行抑制。由TSR为基础所构成的轴系扭振保护系统在机理和实际运行中都表现出来了其具有的抑制SSR的效果。国内自主研发的TSR装置表现出了其实用性, 有效保护发电机机组。

#### 参考文献

- [1] Subsynchronous Resonance Working Group of the System Dynamic Performance Subcommittee. Reader's Guide to Subsynchronous Resonance IEEE Committee Report [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(1): 150-157.
- [2] IEEE SSR Working Group. Countermeasures to

Subsynchronous Resonance Problems[J]. IEEE Trans on PAS, 1980, 99(5): 1810-1818.

- [3] 杨煜, 陈陈, 伊敏—大庆 500 kV 输电系统次同步谐振分析——兼论发电机轴系共振频率[J]. 电网技术, 2000, 24 (5): 10-12.  
YANG Yu, CHEN Chen. SSR in Yimin-Daqing 500 kV Transmission System[J]. Power System Technology, 2000, 24 (5): 10-12.
- [4] 北京国电华北电力工程有限公司. 上都电厂串补输电方案次同步谐振专题研究[R]. 2005.  
North China Power Engineering (Beijing) Co., Ltd. SSR Research Report of Shangdu Generation Station with Series Capacitor Compensation [R]. 2005.
- [5] 郭锡玖. 串补输电系统次同步谐振分析及防止措施比较[J]. 内蒙古电力技术, 2006, 24 (3): 1-4.  
GUO Xi-jiu. SSR Analysis and Prevent Measures Comparison on Series Compensation Transmission Line System[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2006, 24(3): 1-4.
- [6] 李国宝, 张明, 郭锡玖, 等. 上都电厂串补输电系统次同步谐振解决方案研究[J]. 中国电力, 2008, 41(5): 75-78.  
LI Guo-bao, ZHANG Ming, GUO Xi-jiu, et al. The Solution to SSR Problem in Shangdu Series Compensation Transmission System[J]. Electric Power, 2008, 41(5): 75-78.

收稿日期: 2009-04-21

作者简介:

陈大宇(1970-), 男, 高级工程师, 从事电力生产技术管理工作; E-mail: chendayu@shangdupower.com

赵永林(1962-), 男, 工程师, 从事电力生产技术管理工作;

刘全(1970-), 男, 高级工程师, 研究领域为电力系统继电保护等。

(上接第 121 页 continued from page 121)

- [2] 王亚强, 田野. 一种三端输电线路故障定位算法[J]. 东北电力技术, 2004(11):23-25.  
WANG Ya-qiang, TIAN Ye. A Practical Fault Location Algorithm for Three Terminal Transmission Line[J]. Northeastern Electric Power Technology, 2004(11): 23-25.
- [3] 田羽, 范春菊, 龚震东. 三侧同杆双回线互联的 T 型线路测距新方法[J]. 电力自动化设备, 2007,27(9): 63-66.  
TIAN Yu, FAN Chun-ju, GONG Zhen-dong. Fault Locating Algorithm for T-type Lines with Parallel Transmission Lines on Same Pole at Three Sides[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(9):

63-66.

- [4] 刘静. T 型线路电流差动保护方案研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.  
LIU Jing. Study on Current Differential Protection Scheme for T Connection Transmission Lines[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008.

收稿日期: 2009-04-16; 修回日期: 2009-07-09

作者简介:

李瑞生(1966-), 男, 教授级工程师, 从事继电保护方面的研究; E-mail: ruishengl@xjgc.com

贺要锋(1972-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护方面工作;

樊占峰(1974-), 男, 工程师, 从事继电保护研究与开发。