

# 基于分布参数模型的 T 型输电线路 电流差动保护新原理

王增平, 林富洪

(电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室(华北电力大学), 北京市 昌平区 102206)

## A New Current Differential Protection for Three-Terminal Transmission Lines Based on Distributed Parameters Model

WANG Zeng-ping, LIN Fu-hong

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control

(North China Electric Power University), Ministry of Education, Changping District, Beijing 102206, China)

**ABSTRACT:** Due to the fact that the distributed capacitive current in three-terminal transmission lines significantly influences the protection performance, such influence should be taken into account in the protection principle. On the basis of new research findings of current differential protection for two-terminal transmission lines, a new distributed parameter model based principle of current differential protection for three-terminal transmission lines is proposed. Translating original current differential protection for three-terminal transmission line into two current differential protections for two-terminal transmission lines, which are similar in principle, the correctness of such a translation is strictly proved by distributed parameter model. Comparing with traditional post-fault current differential protection for three-terminal transmission lines, new protection criterion is not influenced by distributed capacitive current, so it is suitable to three-terminal high voltage transmission lines. Simulation results show that the proposed criterion is correct and feasible.

**KEY WORDS:** relay protection; three-terminal transmission lines; differential protection; distributed parameters model

**摘要:** 在目前双端线路电流差动保护新研究成果基础上, 提出一种基于分布参数模型的 T 型输电线路电流差动保护新原理, 将原三端线路电流差动保护问题转化为 2 个原理相似的双端线路电流差动保护问题, 并分析了这种转化的正确性。与传统 T 型线路全电流差动保护相比, 新保护判据不受分布电容电流的影响, 适用于 T 型高压输电线路。仿真结果表明了该判据的可行性和正确性。

**关键词:** 继电保护; T 型线路; 差动保护; 分布参数模型

## 0 引言

由于客观条件的限制, 或从节省投资等方面考虑, T 型线路已越来越多地出现在高压和超高压电力网中。这些线路常常联系着大电厂和大系统, 发生故障后要求保护能够快速可靠地动作<sup>[1-5]</sup>。

由于 T 型线路有其自身的特殊性, 如发生外部故障时近故障端电流互感器易发生饱和, 发生内部故障时某侧有故障电流流出等, 在两端线路中具有良好性能的距离高频保护和方向高频保护应用于 T 型线路时存在一些问题<sup>[4-7]</sup>。对此, 很多文献提出了 T 型线路电流差动保护判据<sup>[4-13]</sup>, 主要分为故障分量差动保护<sup>[4,6,8-10]</sup>和工频稳态量差动保护<sup>[5,7,11-13]</sup> 2 种。故障分量差动保护虽然不受过渡电阻和负荷电流的影响, 但因故障分量存在时间较短, 保护只能在故障初始阶段短时开放, 不能应对高阻缓慢爬升性故障情况。目前所提出的工频稳态量差动保护在原理上仍受分布电容电流的影响, 为了避免保护误动, 定值要躲开分布电容电流, 从而降低了保护的抗过渡电阻能力<sup>[5,11-15]</sup>。在高压输电线路中, 分布电容电流是影响电流差动保护灵敏度和选择性的主要因素<sup>[14-21]</sup>, 因此, 如何从原理上避免分布电容电流对 T 型线路稳态量电流差动保护动作特性的影响值得深入研究。

本文在目前双端线路电流差动保护研究成果<sup>[14-21]</sup>基础上提出一种基于分布参数模型的 T 型输电线路电流差动保护新原理。该原理将原为 3 端线路的电流差动保护问题转化为 2 个原理相似的双端

电流差动保护问题，并分析这种转化的正确性。与传统 T 型线路全电流差动保护比较，该保护不受分布电容电流的影响，适用于 T 型高压输电线路。

### 1 双端线路故障的理论推导

图 1 为双端线路内部故障时的正(负、零)序等值网。选取 k 点为参考点<sup>[14-19]</sup>。由图 1 可得

$$\begin{cases} \dot{U}_{fi} = \dot{U}_{mi} \cosh(\gamma_i l_{mf}) - \dot{I}_{mi} Z_{ci} \sinh(\gamma_i l_{mf}) \\ \dot{I}_{mfi} = \dot{I}_{mi} \cosh(\gamma_i l_{mf}) - \dot{U}_{mi} \sinh(\gamma_i l_{mf}) / Z_{ci} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{fki} = \dot{I}_{mfi} - \dot{I}_{fi} \\ \dot{U}'_{mki} = \dot{U}_{nki} \end{cases} \quad (2)$$

$$\dot{I}'_{mki} = \dot{I}_{fki} \cosh(\gamma_i l_{fk}) - \dot{U}_{fi} \sinh(\gamma_i l_{fk}) / Z_{ci} \quad (3)$$

式中： $i=1,2,0$ ； $Z_{ci}$ 、 $\gamma_i$  ( $i=1,2,0$ ) 分别为线路正(负、零)序波阻抗、传播常数； $l_{mf}$  为线路 m 端到故障点的距离； $l_{fk}$  为故障点到参考点的距离。

由式(1)~(3)得

$$\dot{I}'_{mki} = \dot{I}_{mki} - \dot{I}_{fi} \cosh(\gamma_i l_{fk})$$

于是得

$$\dot{I}_{mki} + \dot{I}_{nki} = \dot{I}_{fi} \cosh[\gamma_i (l_f - l_k)] \quad (4)$$

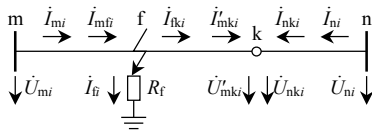


图 1 区内故障时线路正(负、零)序等值网络

Fig. 1 Positive (negative, zero) sequence equivalent circuit of transmission lines with internal fault

## 2 T 型输电线路差动保护新原理

### 2.1 T 型线路区内故障类型

图 2 列出了 T 型线路区内发生故障的类型，图中： $\dot{I}'_R$  表示由其它端电量推算出的 R 端注入电流； $\dot{I}_R$  表示 R 端实际注入电流； $l_{SP}$ 、 $l_{RP}$  和  $l_{TP}$  分别表示 SP、RP 和 TP 支路的线路长度；选 R 端为参考端。

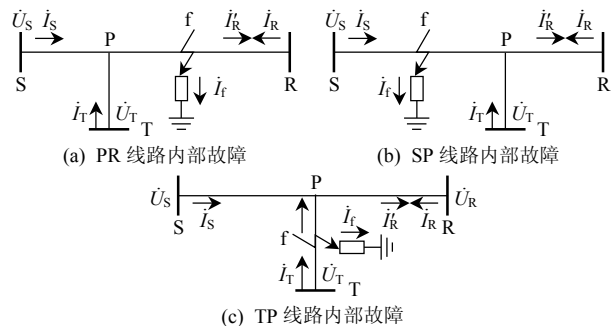


图 2 T 型线路区内发生故障的类型

Fig. 2 Fault occurs at the different line section

### 2.2 线路 PR 内部故障

PR 支路内部故障情况如图 2(a)所示。S、T 两

端分别向 R 端推算时，满足如下关系：

$$\dot{I}'_{Ri} + \dot{I}_{Ri} = \dot{I}_{fi} \cosh[\gamma_i (l_f - l_{RP})], \quad i=1,2,0$$

于是对于某一相  $\phi$  存在动作量和制动量：

$$\dot{I}_D = \dot{I}'_{R\phi} + \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{RP})] + \dot{I}_{f0} \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{RP})]$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_{R\phi} - \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{RP})] + \dot{I}_{f0} \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{RP})] - 2\dot{I}_{R\phi}$$

式中  $l_f$  为故障点距 P 节点的距离。

### 2.3 线路 SP 内部故障

SP 支路内部故障情况如图 2(b)所示。

1) 由 S 端向 R 端推算时满足如下关系：

$$\dot{I}'_{Ri} + \dot{I}_{Ri} = \dot{I}_{fi} \cosh[\gamma_i (l_f - l_{SP} - l_{RP})], \quad i=1,2,0$$

此时对于某一相  $\phi$  存在动作量和制动量：

$$\dot{I}_D = \dot{I}'_{R\phi} + \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{SP} - l_{RP})] + \dot{I}_{f0} \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{SP} - l_{RP})]$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_{R\phi} - \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{SP} - l_{RP})] + \dot{I}_{f0} \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{SP} - l_{RP})] - 2\dot{I}_{R\phi}$$

2) 由 T 端向 R 端推算时满足如下关系：

$$\dot{I}'_{Ri} + \dot{I}_{Ri} = \dot{I}_{fi} \cosh(\gamma_i l_{RP}) \cosh[\gamma_i (l_f - l_{SP})], \quad i=1,2,0$$

此时对于某一相  $\phi$  存在动作量和制动量：

$$\dot{I}_D = \dot{I}'_{R\phi} + \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh(\gamma_1 l_{RP}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{SP})] + \dot{I}_{f0} \cosh(\gamma_0 l_{RP}) \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{SP})]$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_{R\phi} - \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh(\gamma_1 l_{RP}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{SP})] + \dot{I}_{f0} \cosh(\gamma_0 l_{RP}) \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{SP})] - 2\dot{I}_{R\phi}$$

式中  $l_f$  为故障点距 S 端的距离。

### 2.4 线路 TP 内部故障

TP 支路内部故障情况如图 2(c)所示。

1) 由 S 端向 R 端推算满足如下关系：

$$\dot{I}'_{Ri} + \dot{I}_{Ri} = \dot{I}_{fi} \cosh(\gamma_i l_{RP}) \cosh[\gamma_i (l_f - l_{TP})], \quad i=1,2,0$$

此时对于某一相  $\phi$  存在动作量和制动量：

$$\dot{I}_D = \dot{I}'_{R\phi} + \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh(\gamma_1 l_{RP}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{TP})] + \dot{I}_{f0} \cosh(\gamma_0 l_{RP}) \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{TP})]$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_{R\phi} - \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh(\gamma_1 l_{RP}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{TP})] + \dot{I}_{f0} \cosh(\gamma_0 l_{RP}) \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{TP})] - 2\dot{I}_{R\phi}$$

2) 由 T 端向 R 端推算存在如下关系：

$$\dot{I}'_{Ri} + \dot{I}_{Ri} = \dot{I}_{fi} \cosh[\gamma_i (l_f - l_{TP} - l_{RP})], \quad i=1,2,0$$

此时对于某一相  $\phi$  存在动作量和制动量：

$$\dot{I}_D = \dot{I}'_{R\phi} + \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{TP} - l_{RP})] + \dot{I}_{f0} \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{TP} - l_{RP})]$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_{R\phi} - \dot{I}_{R\phi} = (\dot{I}_{f1} + \dot{I}_{f2}) \cosh[\gamma_1 (l_f - l_{TP} - l_{RP})] + \dot{I}_{f0} \cosh[\gamma_0 (l_f - l_{TP} - l_{RP})] - 2\dot{I}_{R\phi}$$

式中  $l_f$  为故障点距 T 端的距离。

以我国京津唐 500 kV 超高压输电线路仿真  $\cosh(\gamma_1 x)$  和  $\cosh(\gamma_0 x)$  的幅相特性，见图 3。由图 3 可知， $\cosh(\gamma_1 x)$  和  $\cosh(\gamma_0 x)$  幅值最小分别为 0.949 2、0.947 3，与最大值 1 分别相差 0.050 8、0.052 7， $\cosh(\gamma_1 x)$  和  $\cosh(\gamma_0 x)$  相角最大分别为 0.225°、0.504°。因此，无论是由 S 端向 R 端推算还是由 T 端向 R 端推算，动作量都近似等于故障电流，动作量理论上都能真实反应故障点的短路电流情况。

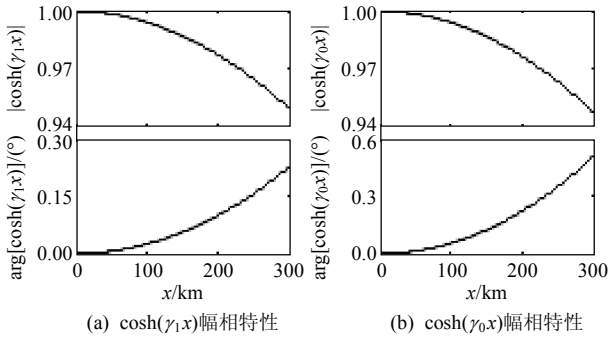


图 3  $\cosh(\gamma_1 x)$  和  $\cosh(\gamma_0 x)$  的幅相特性分析

Fig. 3 Amplitude and phase property analysis of  $\cosh(\gamma_1 x)$  and  $\cosh(\gamma_0 x)$  function

于是构造 T 接线路电流差动保护判据如下：

$$(I_D > I_h) \cap (I_D > k_1 I_B) \cap (I_B < 3I_h) \quad (5)$$

$$(I_D > I_h) \cap (I_D > k_2 I_B - I_h) \cap (I_B > 3I_h) \quad (6)$$

式中： $I_h$  为电流门槛值； $k_1$ 、 $k_2$  为制动系数。由 S 端向 R 端推算和由 T 端向 R 端推算时，若某一相  $\phi$  都满足式(5)或式(6)时，则该相保护发出动作信号。当发生高阻接地故障时，可采用零序电流分量构成零序电流差动保护。

常规 T 型线路全电流差动保护采用  $|I_S + I_R + I_T|$  为动作电流，未考虑分布电容电流的影响，使得动作电流存在较大差流，这极大地影响了电流差动保护在外部故障时的安全性和在内部故障时的可靠性。为防止保护在电容电流影响下误动，需提高启动元件和延时以躲过空载合闸时电容电流的影响<sup>[1-4,14,19]</sup>。

本文基于分布参数模型提出的电流差动保护考虑了分布电容的影响，无需进行电容电流补偿，从而避免了分布电容电流的影响。

### 3 仿真比较

参考京津唐 500 kV 超高压输电线路参数建立的 EMTDC 仿真模型如图 4 所示，其参数如下：

1) 线路参数。 $R_1 = 20.83 \text{ m}\Omega/\text{km}$ ， $L_1 = 0.894 8 \text{ mH}/\text{km}$ ， $C_1 = 12.9 \text{ nF}/\text{km}$ ， $R_0 = 114.8 \text{ m}\Omega/\text{km}$ ， $L_0 = 2.288 6 \text{ mH}/\text{km}$ ， $C_0 = 5.23 \text{ nF}/\text{km}$ 。

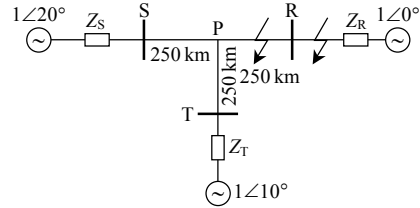


图 4 3 端系统单相仿真模型

Fig. 4 The one-line diagram of the simulated three-terminal line system

2) S 侧系统参数。 $\dot{E}_S = 1\angle 20^\circ$ ， $R_{S1} = 1.051 5 \Omega$ ， $L_{S1} = 0.137 43 \text{ H}$ ， $R_{S0} = 0.6 \Omega$ ， $L_{S0} = 0.092 6 \text{ H}$ 。

3) T、R 侧系统参数。 $\dot{E}_R = 1\angle 0^\circ$ ， $\dot{E}_T = 1\angle 10^\circ$ ， $R_{T1} = R_{R1} = 26 \Omega$ ， $L_{T1} = L_{R1} = 0.142 98 \text{ H}$ ， $R_{T0} = R_{R0} = 20 \Omega$ ， $L_{T0} = L_{R0} = 0.119 27 \text{ H}$ 。

图 5 为 RP 支路内 A 相接地故障时 2 种分相电流差动保护三相动作量的变化曲线。图中  $I_D$  为本文判据的动作量， $I_B$  为传统保护判据的动作量。由图 5 可知，对于本文判据，无论由 S 端向 R 端推算还是由 T 端向 R 端推算，故障相故障后的动作量为故障前动作量的几十倍左右，二者差别很大，容易选取合理的整定值。由 S 端向 R 端推算时和由 T 端向 R 端推算时，A 相故障后动作量最大分别为 5 134.578 A 和 5 141.516 A，故障前一采样时刻的动作量分别为 58.027 A 和 121.440 A，前者分别是后者的 88.486 倍和 42.338 倍。而对于传统保护而言，故障相故障后的动作量只为故障前动作量的 4 倍左右，差别远小于本文判据，不易选取整定值。传统保护 A 相故障后动作量最大为 4 457.395 A，故障前一采样时刻动作量为 953.33 A，前者为后者的 4.676 倍。

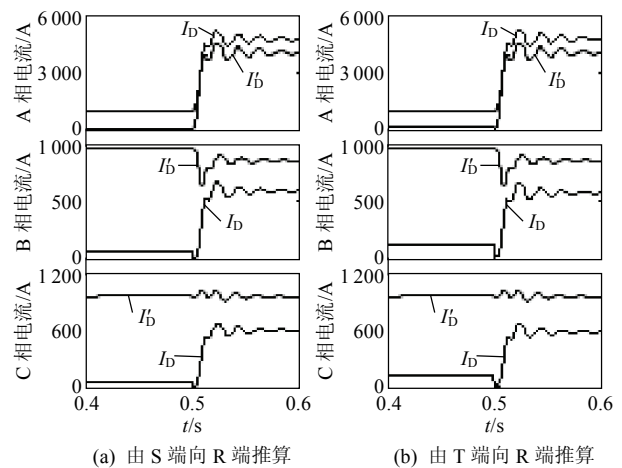


图 5 RP 支路内 A 相接地故障时 2 种保护三相动作量的比较

Fig. 5 Comparison of operating quantities of two kinds of protection in case of A-phase-to-ground fault in the RP line

图6为R端出口处A相接地故障时2种分相电流差动保护三相动作量的变化曲线。图7为RP支路内A相经200Ω接地故障时2种分相电流差动保护三相动作量的变化曲线。

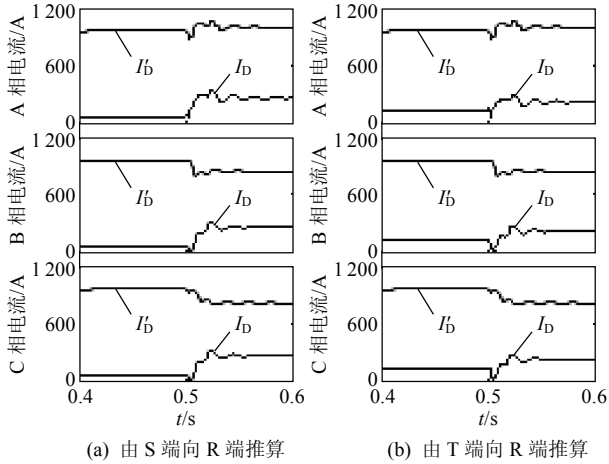


图6 R端出口处A相接地故障时2种保护三相动作量的比较

Fig. 6 Comparison of operating quantities of two kinds of protection in case of A-phase-to-ground fault near R terminal out of the protection zone

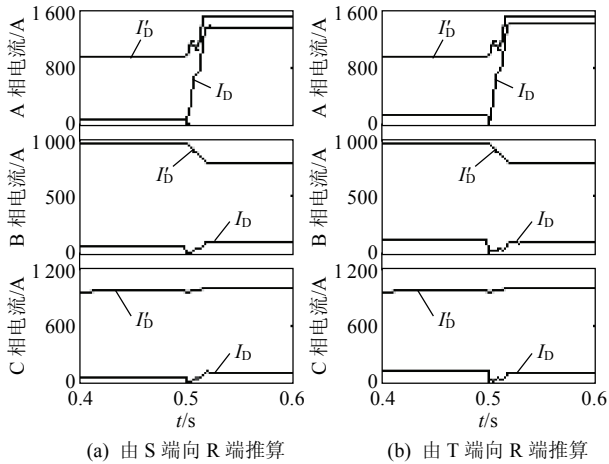


图7 RP支路内A相经200Ω电阻接地故障时2种保护三相动作量的比较

Fig. 7 Comparison of operating quantities of two kinds of protection in case of A-phase-to-ground fault with 200Ω resistance in the RP line

对于本文判据,由图6可知,由S端向R端推算时和由T端向R端推算时,A相故障后最大不平衡电流分别为332.096A和296.391A。由图7可知,由S端向R端推算时和由T端向R端推算时,A相故障后动作量最大分别为1359.834A和1390.882A。按大于最大不平衡电流整定,取可靠系数为2,则由S端向R端推算时和由T端向R端推算时,分别取定值 $I_{set}=664.192A$ 和 $I_{set}=592.782A$ ,此时故障后二者灵敏系数分别可达 $1359.834A/$

$664.192A=2.047$ 和 $1390.882A/592.782A=2.346$ 。

对于传统保护而言,由图6可知,A相故障后最大不平衡电流为1047.940A。由图7可知,A相故障后动作量最大为1517.231A,若取可靠系数为2,灵敏系数为 $1517.231A/(1047.940A \times 2)=0.724$ ,此时即使取可靠系数为1.5,灵敏系数仍为 $1517.231A/(1047.940A \times 1.5)=0.965$ 。实际上,在保护区内此故障情况下,传统保护已不能应用。

图8为R端电源退出运行后R端出口处B相接地故障时,2种分相电流差动保护动作量的变化曲线。图9为R端电源退出运行后RP支路内B相接地故障时,2种分相电流差动保护动作量的变化

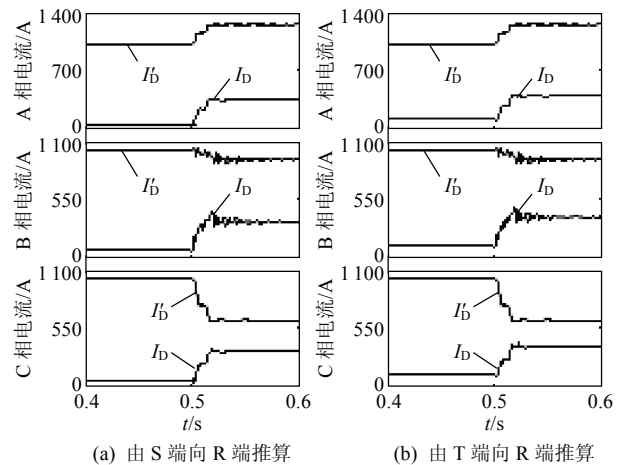


图8 R端电源退出运行后R端出口处B相接地故障时2种保护动作量的比较

Fig. 8 Comparison of operating quantities of two kinds of protection in case of B-phase-to-ground fault near R terminal out of the protection zone only with S terminal and T terminal side sources

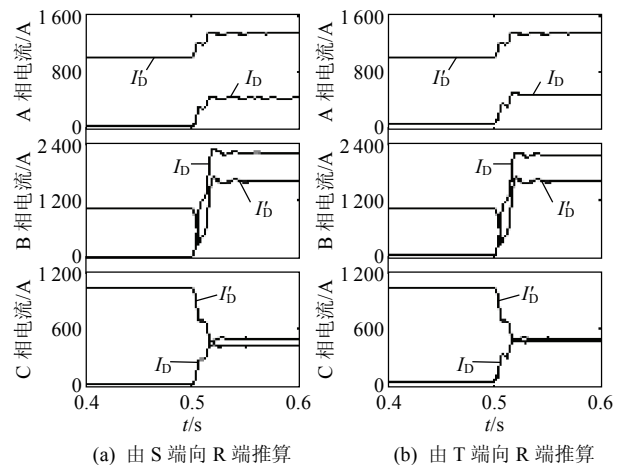


图9 R端电源退出运行后RP支路内B相接地故障时2种保护动作量的比较

Fig. 9 Comparison of operating quantities of two kinds of protection in case of B-phase-to-ground fault in the RP line only with S terminal and T terminal side sources

曲线。图 10 为 R 端电源退出运行后 S、T 两端三相合闸于 RP 支路内 B 相经  $30\Omega$  接地故障时, 2 种分相电流差动保护动作量的变化曲线。

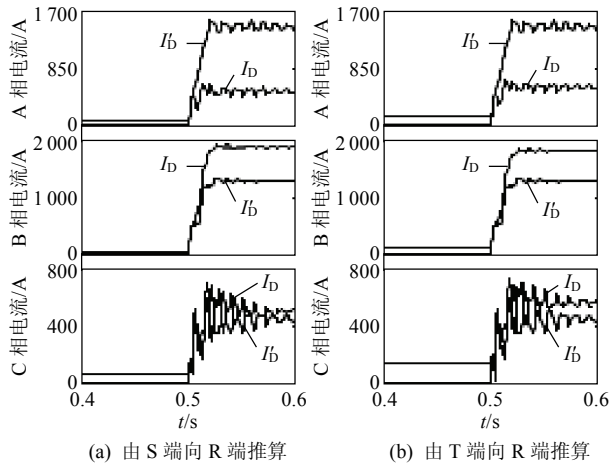


图 10 R 端电源退出运行 S、T 两端三相合闸于 RP 支路内 B 相经  $30\Omega$  接地故障时 2 种保护动作量的比较  
Fig. 10 Comparison of operating quantities of two kinds of protection in case of switching on  $30\Omega$  B-phase-to-ground fault in the RP line only with S terminal and T terminal side sources

由图 8 可知: 由 S 端向 R 端推算时和由 T 端向 R 端推算时, B 相故障后最大不平衡电流分别为  $424.610\text{ A}$  和  $463.223\text{ A}$ ; 传统保护 B 相故障后最大不平衡电流为  $1030.226\text{ A}$ 。由图 9 可知: 由 S 端向 R 端推算时和由 T 端向 R 端推算时, B 相故障后动作量最大分别为  $2054.047\text{ A}$  和  $1998.472\text{ A}$ ; 传统保护 B 相故障后动作量最大为  $1476.562\text{ A}$ 。由图 10 可知: 由 S 端向 R 端推算时和由 T 端向 R 端推算时, B 相故障后动作量最大分别为  $2016.959\text{ A}$  和  $1961.667\text{ A}$ ; 传统保护 B 相故障后动作量最大为  $1429.459\text{ A}$ 。

对于本文判据, 按大于最大不平衡电流整定, 取可靠系数为 2, 则由 S 端向 R 端推算时和由 T 端向 R 端推算时, 图 9 灵敏系数分别可达  $2054.047\text{ A}/(424.610\text{ A} \times 2) = 2.419$  和  $1998.472\text{ A}/(463.223\text{ A} \times 2) = 2.157$ , 图 10 灵敏系数分别可达  $2016.959\text{ A}/(424.610\text{ A} \times 2) = 2.375$  和  $1961.667\text{ A}/(463.223\text{ A} \times 2) = 2.117$ 。对于传统保护而言, 即使可靠系数取为 1.5, 图 9 和图 10 的灵敏系数分别为  $1476.562\text{ A}/(1030.226\text{ A} \times 1.5) = 0.955$  和  $1429.459\text{ A}/(1.5 \times 1030.226\text{ A}) = 0.925$ , 实际在图 9 和图 10 这 2 种故障情况下, 传统保护已不能应用。

由图 5、7、9 和 10 可知, 无论由 S 端向 R 端推算还是由 T 端向 R 端推算, 故障后故障相动作量很快就达到很大值, 因此, 通过合理整定, 大部分

故障情况下, 本文判据的动作速度都将快于传统保护。

## 4 结论

基于分布参数模型提出一种 T 型输电线路电流差动保护新原理, 其特点如下:

1) 将 3 端电流差动保护问题转化为 2 个原理相似的双端差动保护问题, 理论和仿真分析都证明了这种转化的正确性。

2) 原理上避免了分布电容电流对保护动作特性的影响, 可以降低保护门槛值, 提高保护动作灵敏度。

3) 当 2 个原理相似的双端电流差动保护都检测到故障后即发出动作信号。在不影响保护快速性前提下, 一定程度上提高了保护动作的可靠性。

## 参考文献

- [1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996: 107-143.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 1981: 307-323.
- [3] 廖泽友, 鲍伟廉, 杨维那, 等. 高压线路电流差动保护的现状及其前景展望[J]. 继电器, 1999, 27(1): 4-7.  
Liao Zeyou, Bao Weilian, Yang Weina, et al. Current state and prospect of HV line current differential protection[J]. Relay, 1999, 27(1): 4-7(in Chinese).
- [4] 刘静, 郇能灵, 李坤. T 型线路电流差动保护研究[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(10): 58-63.  
Liu Jing, Tai Nengling, Li Shen. Differential current protection of T-type transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(10): 58-63(in Chinese).
- [5] 安建锋. T 接线路差动保护的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(21): 93-96.  
An Jianfeng. Application of multi-terminal lines current differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(21): 93-96(in Chinese).
- [6] 王亚强. 关于 T 接线路继电保护若干问题的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2004.
- [7] 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 Jiali. 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(in Chinese).
- [8] 葛耀中. 电流差动保护动作判据的分析和研究[J]. 西安交通大学学报, 1980, 14(2): 93-107.  
Ge Yaozhong. Analysis and study of operating criteria of differential relays[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1980, 14(2): 93-107(in Chinese).
- [9] 高厚磊, 江世芳. T 接线路电流纵差保护新判据研究[J]. 继电器, 2001, 29(9): 6-16.  
Gao Houlei, Jiang Shifang. Study on new criterion of current differential protection for teed lines[J]. Relay, 2001, 29(9): 6-16(in Chinese).



- [10] Gao Houlei, Crossley P A. A new current differential protection scheme for teed transmission lines[C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- [11] 王绪昭, 杨明玉, 杨奇逊. 三端系统数字式分相电流差动保护跳闸判据研究[J]. 继电器, 1992, 20(3): 28-32.  
Wang Xuzhao, Yang Mingyu, Yang Qixun. Research on single-phased current differential protection on three-terminal transmission line system[J]. Relay, 1992, 20(3): 28-32(in Chinese).
- [12] 李岩, 尹项根, 马天浩, 等. T接短线微机纵差保护原理研究[J]. 电力自动化设备, 1999, 19(2): 21-23.  
Li Yan, Yin Xianggen, Ma Tianhao, et al. Research on micro-computer differential current protection principle for structure-short transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19(2): 21-23(in Chinese).
- [13] Ito H, Shuto I, Ayakawa H, et al. Development of an improved multifunction high-speed operating current differential relay for transmission line protection[C]. IEE Seventh International Conference on Developments in Power System Protection, 2001.
- [14] 郭征, 贺家李. 输电线路纵联差动保护[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(11): 1-5.  
Guo Zheng, He Jiali. Novel principle of pilot differential relay protection of transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(11): 1-5(in Chinese).
- [15] Xu Z Y, Du Z Q, Ran L, et al. A current differential relay for a 1000 kV UHV transmission line[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(3): 1392-1399.
- [16] 李斌, 贺家李, 郭征, 等. 线路中间带并联电抗器的线路差动保护[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(7): 31-36.  
Li Bin, He Jiali, Guo Zheng, et al. Differential protection in transmission line with shunt reactor installed in the middle segment [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(7): 31-36(in Chinese).
- [17] 郭征, 贺家李. 有串补电容输电线路纵联差动保护原理[J]. 天津大学学报, 2005, 38(3): 195-200.  
Guo Zheng, He Jiali. Principle of pilot differential relay protection of transmission line with series compensated capacitor[J]. Journal of Tianjin University, 2005, 38(3): 195-200(in Chinese).
- [18] 苏斌, 董新洲, 孙元章. 特高压带并联电抗器线路的行波差动保护[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(23): 41-44.  
Su Bin, Dong Xinzhou, Sun Yuanzhang. Traveling waves differential protection on UHV transmission line with shunt reactor[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(23): 41-44(in Chinese).
- [19] 张武军, 何奔腾, 沈冰. 特高压带并联电抗器线路的行波差动保护[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(10): 56-61.  
Zhang Wujun, He Benteng, Shen Bing. Traveling wave differential protection on UHV transmission line with shunt reactor[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(10): 56-61(in Chinese).
- [20] 柳焕章, 李晓华. 新型数字线路电流差动保护原理及其应用[J]. 电网技术, 2007, 31(11): 74-81.  
Liu Huanzhang, Li Xiaohua. A novel principle of digital current differential protection for transmission line and its application[J]. Power System Technology, 2007, 31(11): 74-81(in Chinese).
- [21] 王海港, 董新洲, 薄志谦. 一种灵敏可靠的输电线路电流差动保护判据[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 90-93.  
Wang Haigang, Dong Xinzhou, Bo Zhiqian. A sensitive and reliable operational criterion for current differential protection of transmission line[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 90-93(in Chinese).



王增平

收稿日期: 2009-07-29。

作者简介:

王增平(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统自动化、继电保护、变电站综合自动化等, E-mail: wangzp1103@sina.com;

林富洪(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为基于分布参数模型的线路保护及测距, E-mail: zhubolinfuhong@163.com。

(责任编辑 李兰欣)