

电网线路自适应相间距离保护新方法

由于过渡电阻和负荷电流所带来的附加阻抗会严重影响传统相间距离保护的動作性能,使得保护不能正确動作,从而影响电力系统的安全稳定运行。为克服这一不足,采用集总参数建模,利用线路相间短路故障后的电压、电流相对相量关系计算线路保护安装处到相间短路故障点这一段线路的电压降。在此基础上,进一步根据此线路电压降等于故障距离与单位长度线路电压降的相量乘积计算测量阻抗和故障距离。PSCAD软件测试显示,新方法测量准确度受负荷电流影响小,抗过渡电阻能力强,测量准确度高,在发生各种相间短路故障时都能正确可靠测量、正确可靠動作。

曾惠敏/国网福建省电力有限公司检修分公司

0 引言

继电保护是保障电网安全稳定运行的第一道防线,能否准确快速動作及对及时隔离故障和有效防止事故蔓延有着至关重要的作用^[1]。

然而,传统相间距离保护假设故障点电压为零,通过电压和电流比值测量故障阻抗。实际上,除了人为构造的金属性相间短路之外,过渡电阻基本不可能为零。过渡电阻不为零使得现有距离保护计算得到原始测量阻抗除包含反映真实故障距离的测量阻抗外,还包含因过渡电阻引起附加阻抗,附加阻抗会造成距离保护拒动或误动^[2-7]。保护拒动会使故障线路不能及时与电网隔离开来,不利于电网安全稳定运行;保护误动会使电网停电范围扩大,造成不必要的停电损失。

本文提出一种输电线路自适应相间距离保护新方法。该方法利用保护安装

处到相间故障点的电压降与故障距离呈线性关系计算故障距离和故障阻抗,原理上消除过渡电阻和负荷电流对保护動作性能的影响,具有很强的抗过渡电阻和负荷电流影响的能力。

1 线路相间短路故障阻抗算法

如图1所示,输电线路发生相间故障,假定故障选相元件正确选出故障相,线路保护安装处电压和电流可以采样获得。于是,保护安装处测量到的故障相间电压 $U_{\phi\phi}$ 与故障点电压 U_f 满足以下关系

$$U_{\phi\phi} = U_f + xz_1 I_{\phi\phi} \quad (1)$$

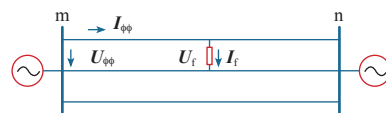


图1 输电线路相间故障示意图

式中, $U_{\phi\phi}$ 、 $I_{\phi\phi}$ 分别为保护安装处测量到的相间故障电压、相间故障电流, $\phi\phi$ 为AB、BC和CA相间; U_f 为相间短路故障点电压; I_f 为故障点流经过渡电阻的故障电流; z_1 为输电线路单位长度的正序阻抗; x 为故障点距保护安装处的故障距离。

根据相间故障复合序网图可知,故障点电压 U_f 与保护安装处测量到的相间故障电流突变量 $\Delta I_{\phi\phi}$ 之间满足: $\text{Arg}(U_f) = \text{Arg}(\Delta I_{\phi\phi})$,即故障点电压相位角等于保护安装处测量到的相间故障电流突变量的相位角。

定义相间操作电压为

$$U_{\phi\phi,op} = U_{\phi\phi} - x_{set} z_1 I_{\phi\phi} \quad (2)$$

式中, x_{set} 为保护整定范围。

线路发生相间短路故障后, z_1 为已知



曾惠敏/工程师

关键词/Keywords

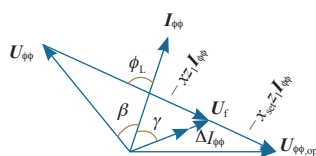
过渡电阻 ·
负荷电流 ·
集总参数模型 ·
自适应相间距离保护 ·

2015年国家电网公司科技项目资助(kj2015030216)。

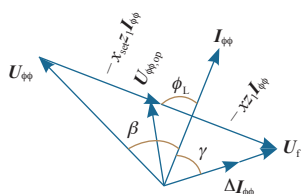
线路参数, $U_{\phi\phi}$ 、 $I_{\phi\phi}$ 和 $\Delta I_{\phi\phi}$ 可通过保护测量得到。 $xz_1 I_{\phi\phi}$ 与 $z_1 I_{\phi\phi}$ 之间仅差一个实系数 x , $x_{\text{set}} z_1 I_{\phi\phi}$ 与 $z_1 I_{\phi\phi}$ 之间仅差一个实系数 x_{set} 。 $U_{\phi\phi}$ 与 $xz_1 I_{\phi\phi}$ 的相量差等于 U_f , $U_{\phi\phi}$ 与 $x_{\text{set}} z_1 I_{\phi\phi}$ 的相量差等于 $U_{\phi\phi, \text{op}}$ 。因此, 以坐标原点为共同起始点, U_f 、 $U_{\phi\phi}$ 和 $U_{\phi\phi, \text{op}}$ 三者相量终点将位于同一直线。输电线路发生相间故障之后, 故障相间电压和故障相间电流等电气量的相对相量关系如图2所示。其中, 图2a为保护区内发生相间故障时各电气量相量关系, 图2b为保护区外发生相间故障时各电气量相量关系。

在图2a和图2b中, 由 $U_{\phi\phi}$ 、 U_f 和 $-xz_1 I_{\phi\phi}$ 构成的矢量三角形, 根据三角形边角关系可得

$$\left| \frac{U_f}{\sin(\varphi_L - \beta)} \right| = \left| \frac{U_{\phi\phi}}{\sin(180^\circ - \varphi_L - \gamma)} \right|$$



(a) 保护区内故障电气矢量关系图



(b) 保护区外故障电气矢量关系图

图2 相间短路故障电气量相量关系图

又由于 $\text{Arg}(U_f) = \text{Arg}(\Delta I_{\phi\phi})$, 所以可得相间短路故障点电压的计算公式, 即

$$U_f = \left| \frac{U_{\phi\phi} \sin(\varphi_L - \beta)}{\Delta I_{\phi\phi} \sin(180^\circ - \varphi_L - \gamma)} \right| \Delta I_{\phi\phi} \quad (3)$$

式中, $\beta = \text{Arg}\left(\frac{U_{\phi\phi}}{I_{\phi\phi}}\right)$; $\gamma = \text{Arg}\left(\frac{I_{\phi\phi}}{\Delta I_{\phi\phi}}\right)$; φ_L 为线路正序阻抗角且 $\varphi_L = \text{Arg}(z_1)$; z_1 为输电线路单位长度正序阻抗。

将式(3)代入式(1)可得, 故障点距保护安装处的故障距离和故障阻抗计算公式

$$x = \frac{U_{\phi\phi} - U_f}{z_1 I_{\phi\phi}} \quad (4)$$

$$Z_{\text{celia}} = x z_1 \quad (5)$$

2 PSCAD仿真验证

采用京津唐500 kV超高压输电线路参数建立PSCAD/EMTDC仿真模型如图3所示。



图3 双端系统单相仿真模型

线路mn两端等效电源相角差为 δ , 二者电源幅值分别为1.05倍标么值和1倍标么值。输电线路I段长为200 km, 输电线路II段长为100 km。

每千米正序、负序和零序线路参数: $r_1 = 0.020\ 83\ \Omega/\text{km}$, $l_1 = 0.894\ 8\ \text{H}/\text{km}$; $c_1 = 0.012\ 9\ \mu\text{F}/\text{km}$, $r_0 = 0.114\ 8\ \Omega/\text{km}$; $l_0 = 2.288\ 6\ \text{H}/\text{km}$, $c_0 = 0.005\ 23\ \mu\text{F}/\text{km}$ 。

m侧保护安装处系统等效阻抗参数: $Z_{m1} = 4.264\ 3 + j5.145\ \Omega/\text{km}$, $Z_{m0} = 0.6 + j9.091\ \Omega/\text{km}$ 。

n侧保护安装处系统等效阻抗参数: $Z_{n1} = 7.995\ 6 + j59.647\ 4\ \Omega/\text{km}$, $Z_{n0} = 2 + j7.469\ 7\ \Omega/\text{km}$ 。

距离保护I段、II段和III段保护范围分别整定为170 km、240 km和300 km。各段阻抗继电器动作特性圆经过坐标原点处, 圆心位于 $(1/2)Z_{\text{set}}$ 处, 半径为 $|(1/2)Z_{\text{set}}|$, 整定阻抗方向与线路阻抗方向一致。

图4为m、n两侧等效电源相角差 $\delta = 25^\circ$ 时, 距保护安装处200 km位置发生BC相间经5 Ω 电阻短路故障后150个采样点内新原理方法和传统相间距离保护方法测量故障距离的变化曲线。由图4可知,

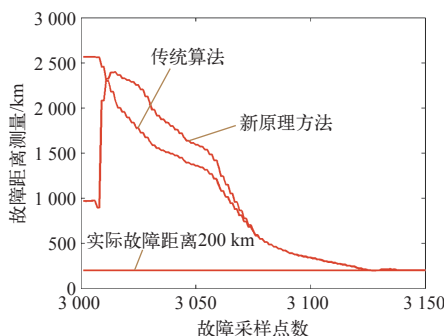


图4 距m端200 km处BC相间经5 Ω 电阻短路故障时新原理方法与传统保护测量故障距离变化曲线

在相间低阻短路故障时,新原理方法与传统相间距离保护都能正确测量故障距离。

图5为m、n两侧等效电源相角差 $\delta = 25^\circ$ 时,距保护安装处200 km点发生BC相间经5 Ω 电阻短路故障后150个采样点内新原理方法和传统相间距离保护方法测量阻抗的变化曲线。由图5可知,在相间低阻故障时,新原理方法与传统相间距离保护都能正确可靠动作。

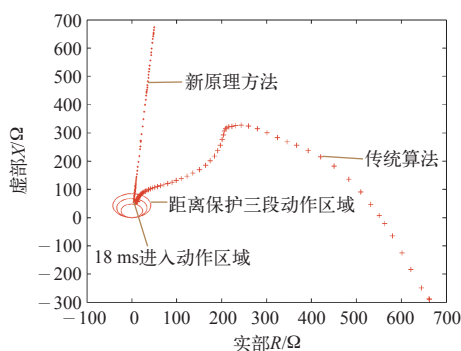


图5 距m端200 km处BC相间经5 Ω 电阻短路故障时新原理方法与传统保护测量阻抗变化曲线

图6为m、n两侧等效电源相角差 $\delta = 25^\circ$ 时,距保护安装处100 km位置发生BC相间经300 Ω 电阻短路故障后150个采样点内新原理方法和传统相间距离保护方法测量故障距离的变化曲线。由图6可知,新原理方法测量故障点至保护安装处的故障距离很快稳定于实际故障距离100 km处,位于距离保护I段的整定范围内,保护正确动作于跳闸。而传统相间距离保护方法测量的故障距离则一直落在距离保护III段整定范围外,保护一直拒动。

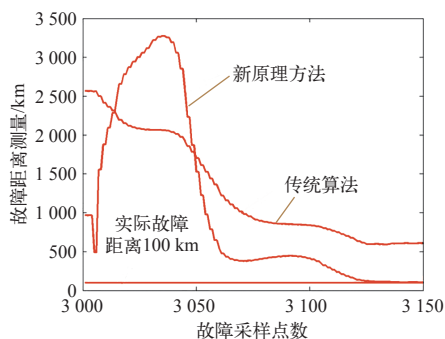


图6 距m端100 km处BC相间经300 Ω 过渡电阻短路故障时新原理方法与传统保护测量故障距离变化曲线

图7为m、n两侧等效电源相角差 $\delta = 25^\circ$ 时,距保护安装处100 km点发生BC相间经300 Ω 电阻短

路故障后150个采样点内新原理方法和传统相间距离保护方法测量阻抗的变化曲线。由图7可知,新原理方法测量阻抗在故障发生后18 ms开始进入动作区域,并很快趋于稳定,最终测量阻抗为 $Z_{\text{celia}} = 2.1597 + j29.147 \Omega$,位于距离保护I段的动作区域内,保护正确动作于跳闸。传统相间距离保护方法测量阻抗一直位于距离保护III段动作区域外,传统相间距离保护方法保护则一直拒动。

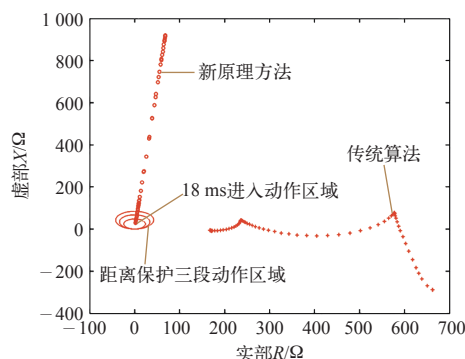


图7 距m端100 km处BC相间经300 Ω 过渡电阻短路故障时新原理方法与传统保护测量阻抗变化曲线

m、n两侧电源相角差 $\delta = 55^\circ$ 时,即重负荷情况下,距保护安装处不同位置发生BC相间经300 Ω 电阻短路故障时,新原理方法与传统相间距离保护动作情况如下表所示。由表可知,新原理方法测量的故障距离都准确落在对应段相间距离保护整定范围内,测量阻抗也都落在对应段相间距离保护动作区域内,各段距离保护都正确动作于跳闸。传统相间距离保护方法测量的故障距离和测量阻抗则一直位

表 不同位置发生BC相间经300 Ω 电阻短路故障时新原理方法与传统相间距离保护动作情况

(m、n两侧电源相角差 $\delta = 55^\circ$)

故障位置/km	新保护测量故障距离/km	新保护测量阻抗/ Ω	新保护动作情况	传统保护动作情况
30	32.349	$0.67383 + j9.0937$	I段动作	拒动
60	62.671	$1.3054 + j17.617$	I段动作	拒动
90	92.907	$1.9353 + j26.117$	I段动作	拒动
120	122.04	$2.542 + j34.306$	I段动作	拒动
150	152.63	$3.1793 + j42.906$	I段动作	拒动
180	183.95	$3.8317 + j51.711$	II段动作	拒动
210	213.78	$4.453 + j60.096$	II段动作	拒动
250	254.76	$5.3066 + j71.615$	III段动作	拒动
275	281.98	$5.8736 + j79.267$	III段动作	拒动

于距离保护Ⅲ段动作区域外,传统保护一直拒动。

图8、图9分别给出m、n两侧电源相角差 $\delta = 45^\circ$,且m、n两侧振荡频率为5 Hz (m侧等效系统频率为53 Hz, n侧等效系统频率为48 Hz) 时,距m端260 km处BC相间经65 Ω 过渡电阻短路后新原理方法测量故障距离和测量阻抗的变化曲线。由图8可知,新原理方法测量故障距离为256.22 km,与实际故障距离260 km相近。由图9可知,新原理方法测量阻抗在故障发生后20.833 ms开始进入动作区域,并很快趋于稳定,最终测量阻抗为 $Z_{\text{celia}} = 5.1476 + j69.469 \Omega$,位于距离保护Ⅲ段的动作区域内,保护正确动作于跳闸,因此新原理方法适用于振荡工况。

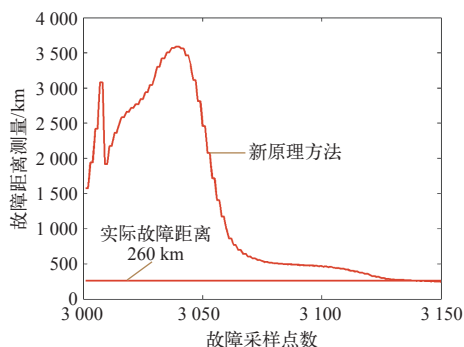


图8 振荡频率为5 Hz时距m端260 km处BC相间经65 Ω 过渡电阻短路时新原理方法测量故障距离变化曲线

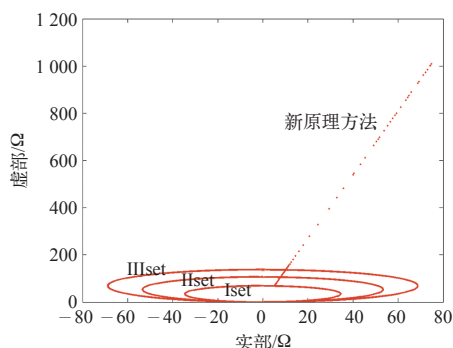


图9 振荡频率为5 Hz时距m端260 km处BC相间经65 Ω 过渡电阻短路时新原理方法测量阻抗变化曲线

由上述仿真结果可知,新原理方法具有很强的耐高阻能力和抗负荷电流能力,比传统相间距离保护方法具有更好的动作性能,满足继电保护可靠性、选择性、灵敏性和速动性要求,具有很强的实用价值。

3 结束语

提出的一种电网线路自适应相间距离保护新方法,具有如下特点。

- 1) 利用保护安装处测量到的电气量实时计算故障点电压,根据保护安装处到故障点的电压降与故障距离呈线性关系求解故障线路阻抗,原理上消除了负荷电流对保护动作性能的影响,具有很强的抗负荷电流能力。
- 2) 原理上消除了故障点电压对保护动作性能的影响,具有很强的耐高阻能力。
- 3) 无须用到系统阻抗参数,原理上不受系统运行方式的影响。
- 4) 适用于系统振荡工况。
- 5) 动作性能明显优于传统相间距离保护,满足继电保护可靠性、选择性、灵敏性和速动性要求。

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, 2007.
- [2] 国家电网电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材 (上册) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] Eissa M. Ground distance relay compensation based on fault resistance calculation [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21 (4): 1830-1835.
- [4] Xu Z Y, Jiang S J, Yang Q X, et al. Ground distance relaying algorithm for high resistance fault [J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2010, 4 (1): 27-35.
- [5] 张晶晶, 曹锐. 距离保护特性元件躲过渡电阻能力分析 [J]. 继电器, 2004, 32 (6): 17-19, 26.
- [6] 司大军, 束洪春, 陈学允. 一种新的相间行波距离保护方法 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (11): 41-44, 52.
- [7] 蒋科, 吕飞鹏, 郭亮, 等. 基于感受阻抗的相间距离保护整定计算方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (13): 129-133.

(收稿日期: 2018-02-10) **EA**