

基于过渡电阻倾斜角的光伏并网自适应距离保护

张尧^{1,2},晁勤¹,李育强¹,王一波¹

(1. 新疆大学 电气工程学院,新疆 乌鲁木齐 830046;2. 新疆工程学院,新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要:针对光伏并网距离保护测量阻抗受过渡电阻的影响的问题,提出一种基于过渡电阻倾斜角估计的自适应距离保护。对故障分量的分析结果表明过渡电阻倾斜角 θ 完全由光伏电站的等效阻抗 X_N 决定,而 X_N 随着光伏电站发电量 P 的变化而变化。采用最小二乘法估算出 P 与 X_N 间的关系,从而确定 θ 。采用相量图获得线路短路阻抗并给出距离保护判据。仿真分析结果显示,所提方法的最大误差为2.4%,低于传统方法的最大误差14%,极大地减小了过渡电阻对光伏并网距离保护测量阻抗的影响。

关键词:光伏发电;等效阻抗;过渡电阻;自适应距离保护;继电保护

中图分类号: TM 615

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.01.005

0 引言

随着光伏发电技术的日趋成熟,全国各地大量的光伏电站并网项目逐一投运,光伏电站升压接入110 kV电网成为一种普遍现象。光伏电站升压并入110 kV电网使经过渡电阻接地距离保护测量阻抗不能准确反映故障点的位置。

现有关于光伏电站并网对保护影响的研究,主要集中在对电流保护的影响和应对措施方面^[1-8],对距离保护的影响研究较少。对于双电源供电系统经过渡电阻接地距离保护测量阻抗偏离实际值问题的解决方法有很多^[9-14]。文献[9]对测量电抗的误差进行实时估算,根据误差的正负来确定是否补偿,从而得到自适应接地距离继电器动作判据,既防止了距离保护超越误动,又扩大了距离保护的动作范围。文献[10]通过对阻抗变化轨迹的估算,提出了一种基于自适应电抗元件的四边形距离继电器的原理及实施方案,可有效防止区外经过渡电阻故障时的超越,同时区内故障耐受过渡电阻的能力增强。文献[11]基于故障前电源电势与负荷电流之间的相位关系合理地估计对侧电源阻抗角,利用传统距离保护测量阻抗的电抗、电阻分量与正序电流分支系数的相角之间的增减关系分别提出了防止保护拒动和超越的解决办法。文献[12]通过将双端电源系统的故障过渡电阻分解为2个不同电阻的并联得到2个相对独立的单端电源故障系统的组合,并测量保护安装处的有功功率补偿故障过渡电阻

对接地距离保护的影响。

但是,这些文献都没有从过渡电阻倾斜角变化角度研究探讨。因双电源供电系统经过渡电阻短路后过渡电阻 R_f 呈容性或者感性,具有倾斜角,但传统算法不考虑倾斜角的变化;当加入光伏电站后仍然采用传统算法,没有计及倾斜角随光强变化的特性,造成距离保护不能正确动作。因此,本文提出一种基于过渡电阻倾斜角估计的自适应距离保护。通过故障分量分析发现过渡电阻倾斜角 θ 完全由光伏电站的等效阻抗 X_N 决定,而光伏电站的等效阻抗 X_N 随着光伏电站发电量 P 的变化而变化。进一步分析网侧发生接地故障时光伏电站的短路电压、短路电流的规律,采用最小二乘法估算出光伏电站的发电量 P 与等效阻抗 X_N 间的关系,进而采用相量图获得过渡电阻倾斜角 θ 变化引起的测量阻抗误差 ΔZ_m 与光伏电站的发电量 P 间的关系并给出距离保护判据,最终实现了基于过渡电阻倾斜角估计的光伏并网自适应距离保护。通过仿真分析,该方法比传统的计算方法更准确,误差由14%减至2.4%,极大地减小了过渡电阻对光伏并网距离保护测量阻抗的影响。

1 基于故障分量建立过渡电阻倾斜角 θ 与光伏电站等效阻抗 X_N 间的关系

1.1 过渡电阻倾斜角 θ 的定义

光伏电站并网系统如图1所示,在线路 K 点发生经过渡电阻接地短路故障,设母线 M 处的故障电压分量为 Δu_M ,两侧母线流向短路点 K 的故障电流分量分别为 ΔI_M 和 ΔI_N ,流过渡电阻 R_f 的故障电流分量为 ΔI_f 。

母线 M 处的故障电压分量 Δu_M 为:

$$\Delta u_M = (\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0})Z_1 + \Delta I_f R_f \quad (1)$$

$$K_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

收稿日期:2014-12-14;修回日期:2015-10-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51367017);2012年高等学校博士学科点专项科研基金博导类联合资助课题(20126501110003)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51367017) and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education Class Tutors Jointly Funded Project in 2012(20126501110003)

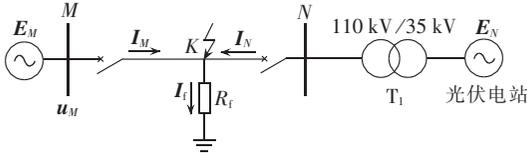


图 1 光伏电站并网系统图

Fig.1 Schematic diagram of grid-connected PV station system

其中, ΔI_{M0} 为 ΔI_M 的零序分量; Z_1 、 Z_0 分别为线路的正序和零序阻抗。

测量阻抗 Z_m 为:

$$Z_m = \frac{\Delta u_M}{\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0}} = Z_1 + \frac{\Delta I_f}{\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0}} R_f \quad (2)$$

由过渡电阻引起的测量阻抗误差 ΔZ_m 为:

$$\Delta Z_m = \frac{\Delta I_f}{\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0}} R_f = A e^{j\theta} R_f \quad (3)$$

ΔZ_m 的夹角即为过渡电阻倾斜角 θ 。

1.2 故障分量建模

图 1 对应的系统经过渡电阻单相接地短路故障分量等效网络如图 2 所示, 设短路点 K 与母线 M 相距 y (单位 km), 母线 M、N 相距 l (单位 km), r_L 、 x_L 分别为输电线路单位电阻和电抗, X_M 、 X_N 分别为 M、N 侧母线背后的系统电抗。

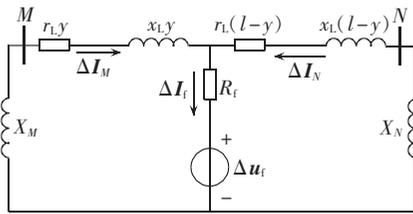


图 2 系统故障分量等效网络

Fig.2 Equivalent network of system fault components

图 2 和式(3)中的 ΔI_M 和 ΔI_{M0} 都是可测的; ΔI_f 是未知量, 但是可以求出 ΔI_f 与 ΔI_M 之间的夹角。

令 α 为 ΔI_f 与 ΔI_M 之间的夹角:

$$\alpha = \arg \frac{\Delta I_f}{\Delta I_M} = \arg \frac{\Delta I_M + \Delta I_N}{\Delta I_M} = \arg \frac{r_L l + j(x_L l + X_M + X_N)}{r_L(l-y) + j[x_L(l-y) + X_N]} \quad (4)$$

那么 ΔI_f 可以表示为:

$$\Delta I_f = 3k \Delta I_M e^{j\alpha} \quad (5)$$

其中, k 为未知量; α 可以通过式(4)求得。

1.3 θ 、 X_N 间关系推导

将式(5)代入式(3)可得式(6):

$$\Delta Z_m = \frac{3k \Delta I_M e^{j\alpha}}{\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0}} R_f = A e^{j\theta} R_f \quad (6)$$

$$\theta = \arg \Delta I_M + \alpha - \arg(\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0}) \quad (7)$$

其中, A 表示 $\frac{3k \Delta I_M e^{j\alpha}}{\Delta I_M + 3K_0 \Delta I_{M0}}$ 的幅值, 由于 k 是未知量, 所以 A 也是未知量。

由式(7)可知, θ 与 α 密切相关, α 受 M、N 两侧系统的阻抗影响, M 侧系统的等效阻抗不变, 而 N 侧系统即光伏电站的等效阻抗 X_N 实时变化, 由此获得过渡电阻倾斜角 θ 与光伏电站等效阻抗 X_N 间关系。

2 基于最小二乘法建立光伏电站发电量 P 与等效阻抗 X_N 的关系

光伏电站发电量 P 主要受日照强度和温度的影响, 而其直接影响光伏电站等效阻抗 X_N 。由于光伏电站发电量 P 实时可测, 找出其与光伏电站等效阻抗 X_N 之间的关系是确定过渡电阻倾斜角 θ 的关键。

2.1 光伏电站短路电压、电流变化特性分析

由不同光照强度光伏模块的电流电压特性曲线^[15]可知, 不同光照强度下的开路电压不同, 随着光照强度的减弱, 开路电压也随之减小。而光伏电站交流侧的输出电压基本是恒定的, 由于采用具有最大功率跟踪功能的逆变装置, 统计显示光伏组件等效阻抗的端电压最大不超过实时输出电压的 20%, 所以本文按 DC/AC 直流侧实时输入电压的 20% 来模拟电网短路时直流侧最大可升高的电压^[16]。

采用仿真软件搭建图 1 所示新疆某实际电网模块, 并设定在 1 s 时刻 K 点发生单相接地故障, 经 0.1 s 故障被切除, 电网恢复正常运行。光伏电站交流侧电流变化曲线如图 3 所示, 图中电流 I 为标幺值。

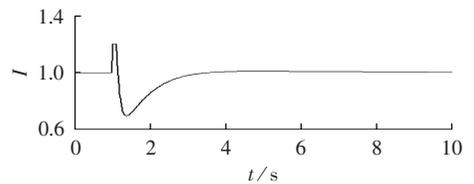


图 3 电网故障下光伏电站电流变化曲线

Fig.3 Current variation of PV station when grid fault occurs

从图 3 可以看出, 网侧发生故障时光伏发电电流突增, 在故障存在期间(1~1.1 s 内)电流被限制为 1.2 倍的额定电流。在故障结束后, 光伏发电电流能够逐渐恢复至故障前的水平。这一过程和实际光伏电站逆变器响应特性一致。所以本文按实时输出电流的 120% 来模拟短路时交流侧最大可升高的电流。

2.2 最小二乘法建立 X_N - P 关系模型

一组光伏组件+逆变器的等效阻抗 X_N' 可由电网短路时直流侧最大可升高的电压与交流侧最大可升高的电流的比值来近似, 最后根据各组光伏组件+逆变器的等效阻抗并联来求光伏电站的等效阻抗 X_N 。

光伏电站装机容量为 10 MW 时, 将由 20 组光伏组件+逆变器的等效阻抗组成, 并联后折算至 35 kV 侧可得光伏电站等效阻抗, 光伏电站发电量 P 与等

效阻抗 X_N 的对应值如表 1 所示。

表 1 光伏发电量 P 与等效阻抗 X_N 的对应值
Table 1 Power generating capacity P and corresponding equivalent impedance X_N

P/MW	X_N/Ω	P/MW	X_N/Ω
10	32.3	4	81.1
8	36.5	2	173.4
6	50.8		

在直角坐标系上取光伏电站发电量 P 为横坐标、光伏电站等效阻抗 X_N 为纵坐标, 描出表 1 各组数据的对应点并连线, 如图 4 所示。

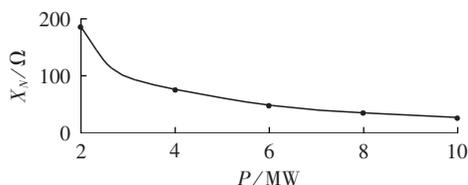


图 4 X_N-P 变化曲线
Fig.4 Curve of X_N vs. P

从图 4 中可知, 这些点的连线类似于幂函数, 可以设 $X_N=f(P)=bP^a$, 其中 a 和 b 是待定常数。利用最小二乘法来确定光伏电站发电量 P 与光伏电站等效阻抗 X_N 之间满足的关系式。

设函数 F :

$$F = \sum_{i=1}^5 (X_{Ni} - bP_i^a)^2 \quad (8)$$

对函数 F 分别求 a 和 b 的偏导:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^5 (X_{Ni} - bP_i^a) (-bP_i^a) \ln P_i = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^5 (X_{Ni} - bP_i^a) (-P_i^a) = 0$$

求出光伏电站发电量 P 与等效阻抗 X_N 满足的函数关系式如下:

$$X_N = 368.2P^{-1.0745} \quad (10)$$

3 自适应距离保护的实现

3.1 运用相量图获取线路短路阻抗 Z_d

测量阻抗 Z_m 根据式(2)可以获得, 在第 2 节确定了过渡电阻倾斜角 θ 后, 可以运用相量图的方法, 获得线路短路阻抗 Z_d 。具体步骤如下:

a. 已知测量阻抗 Z_m , 在相量图中画出 Z_m ;

b. 过测量阻抗 Z_m 画水平线, 通过第 2 节可得到过渡电阻倾斜角 θ , 然后画出与该水平线夹角为 θ 的矢量定义为 ΔZ_m ;

c. 已知线路阻抗角 β , 并画出该矢量, 与矢量 ΔZ_m 相交, 定义为 Z_d , Z_d 表示线路短路阻抗。

图 5 给出了 2 种情况。当 $\theta > 0^\circ$ 时, 如图 5 中 θ_2 所示, ΔZ_{m2} 是向上倾斜并指向 Z_m , 此时线路短路阻抗为 Z_{d2} 。当 $\theta < 0^\circ$ 时, 如图 5 中 θ_1 所示, ΔZ_{m1} 是向下倾

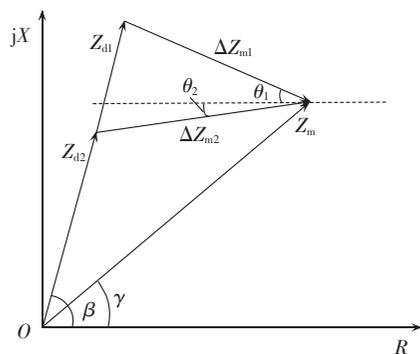


图 5 求线路短路阻抗的相量图

Fig.5 Phasor diagram for obtaining line short circuit impedance

斜并指向 Z_m , 此时线路短路阻抗为 Z_{d1} 。

图 6 为光伏电站并入系统联络线上的某一点经过渡电阻单相接地短路时, 过渡电阻倾斜角 θ 随光伏电站发电量 P 的变化情况。当光伏电站发电量为 P_1 时, 过渡电阻倾斜角为 θ_1 。当光伏电站发电量为 P_2 ($P_2 > P_1$) 时, 过渡电阻倾斜角为 θ_2 。由图 6 可知, $\theta_2 > \theta_1$, 即随着光伏电站发电量 P 的增大, 过渡电阻倾斜角也在顺时针增大。

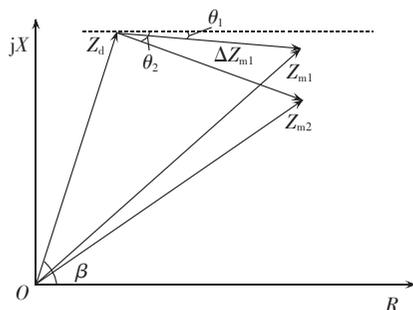


图 6 过渡电阻倾斜角 θ 的变化

Fig.6 Variation of transition resistance tilt angle θ

3.2 自适应距离保护判据

根据距离保护原理和图 5 可知, 自适应距离保护动作判据为式(11):

$$|Z_m - \Delta Z_m| = |Z_d| \leq |Z_{set}| \quad (11)$$

其中, Z_{set} 为整定阻抗。

根据三角函数正弦定理可得:

$$\frac{Z_d}{\sin(\theta + \gamma)} = \frac{Z_m}{\sin(180^\circ - \beta - \theta)} \quad (12)$$

$$Z_d = \sin(\theta + \gamma) \frac{Z_m}{\sin(180^\circ - \beta - \theta)}$$

其中, γ 为测量阻抗角, 即 Z_m 与 R 轴的夹角, 为已知量。将式(12)代入式(11), 自适应距离保护动作判据为式(13):

$$\left| \sin(\theta + \gamma) \frac{Z_m}{\sin(180^\circ - \beta - \theta)} \right| \leq |Z_{set}| \quad (13)$$

3.3 本文算法与传统算法的区别

传统算法不考虑光伏电站发电量 P 变化的影

响和过渡电阻倾斜角 θ 的变化,依据式(2),在测得 $\Delta u_M, \Delta I_M, \Delta I_{M0}$ 后即可求解得到 Z_m 并代入传统距离保护动作判据 $|Z_m| \leq |Z_{set}|$,造成测距误差较大。

本文算法考虑光伏电站发电量 P 变化的影响和过渡电阻倾斜角 θ 的变化,在线确定光伏电站发电量 P ,对传统算法求出的 Z_m 进行了修正,减小了测距误差。

4 仿真分析与验证

仿真算例采用图 1 所示的网架结构,10 MW 的光伏电站通过 110 kV 联络线并入系统,利用 PSCAD 进行仿真,系统 M 侧的参数分别为正序阻抗 $z_{M1} = 2.251 + j43.15 \Omega$,零序阻抗 $z_{M0} = j21.69 \Omega$;线路参数为正序电阻 $r_{11} = 0.105 \Omega/\text{km}$,正序电抗 $x_{11} = 1.258 \Omega/\text{km}$,零序电阻 $r_{10} = 0.315 \Omega/\text{km}$,零序电抗 $x_{10} = 3.774 \Omega/\text{km}$;线路长度为 100 km。

表 2—5 分别给出了不同光伏电站装机容量和不同过渡电阻值情况下传统算法和本文算法的接地距离保护仿真计算结果,故障类型为单相接地故障, L_f 和 L_m 分别为实际故障距离和故障距离测量结果。

表 2 $P=10 \text{ MW}, R_f=10 \Omega$ 时的仿真结果

Table 2 Simulative results when $P=10 \text{ MW}$ and $R_f=10 \Omega$

L_f/km	L_m/km		测量误差/%		$\theta/(^\circ)$	
	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法
50	51.2	51.1	2.4	2.2	—	-2.1
80	82.1	81.3	2.6	1.6	—	-3.3
100	101.9	100.9	1.9	0.9	—	-8.7

表 3 $P=10 \text{ MW}, R_f=50 \Omega$ 时的仿真结果

Table 3 Simulative results when $P=10 \text{ MW}$ and $R_f=50 \Omega$

L_f/km	L_m/km		测量误差/%		$\theta/(^\circ)$	
	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法
50	47.2	51.2	5.6	2.4	—	-2.5
80	71.6	80.9	10.5	1.1	—	-3.9
100	85.7	100.8	14.3	0.8	—	-10.1

表 4 $P=5 \text{ MW}, R_f=10 \Omega$ 时的仿真结果

Table 4 Simulative results when $P=5 \text{ MW}$ and $R_f=10 \Omega$

L_f/km	L_m/km		测量误差/%		$\theta/(^\circ)$	
	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法
50	52.1	51.1	4.2	2.2	—	-1.6
80	83.5	81.2	4.4	1.5	—	-2.5
100	102.3	100.8	2.3	0.8	—	-7.3

表 5 $P=5 \text{ MW}, R_f=50 \Omega$ 时的仿真结果

Table 5 Simulative results when $P=5 \text{ MW}$ and $R_f=50 \Omega$

L_f/km	L_m/km		测量误差/%		$\theta/(^\circ)$	
	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法	传统算法	本文算法
50	48.2	51.1	3.6	2.2	—	-1.9
80	73.3	80.8	8.4	1.0	—	-3.4
100	88.5	100.5	11.5	0.5	—	-8.9

由表 2—5 可以得出以下结论。

a. 经相同过渡电阻接地时,随着光伏电站发电

量 P 的增大,传统算法的结果会变小,而本文的算法基本不受光伏电站发电量 P 变化的影响。

b. 在光伏电站发电量 P 一定的情况下,传统算法会随着过渡电阻的增大明显减小,有可能使保护误动,而本文算法不受过渡电阻的影响,计算结果比较接近于真实值。

c. 传统算法最大误差可达 14%,本文算法最大误差为 2.4%。

d. $R_f=10 \Omega$ 时,光伏电站发电量 P 从 5 MW 变化至 10 MW,过渡电阻倾斜角 θ 的变化范围为 $-1.6^\circ \sim -8.7^\circ$ 。 $R_f=50 \Omega$ 时,光伏电站发电量 P 从 5 MW 变化至 10 MW,过渡电阻倾斜角 θ 的变化范围为 $-1.9^\circ \sim -10.1^\circ$ 。

e. 本文算法会因为光伏电站发电量 P 与其等效阻抗 X_N 的估算关系存在一定误差,这是今后需要完善的地方。

5 结语

本文提出一种基于过渡电阻倾斜角估计的自适应距离保护算法,PSCAD 仿真分析表明,该算法比传统的计算方法更准确,极大地减小了过渡电阻对光伏并网距离保护测量阻抗的影响。

参考文献:

- [1] 李斌,袁越. 光伏并网发电对保护及重合闸的影响与对策[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):12-17.
LI Bin, YUAN Yue. Impact of grid-connected photovoltaic power generation on protection and reclose, and its countermeasures [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(4): 12-17.
- [2] 石振刚,王晓蔚,赵书强. 并网光伏发电系统对配电网线路保护的影响[J]. 华东电力,2010,38(9):1405-1408.
SHI Zhengang, WANG Xiaowei, ZHAO Shuqiang. Influence of grid connected photovoltaic power system on line protection of distribution network [J]. East China Electric Power, 2010, 38(9): 1405-1408.
- [3] 孙景钉,李永丽,李盛伟,等. 含逆转型分布式电源配电网自适应电流速断保护[J]. 电力系统自动化,2009,33(14):71-76.
SUN Jingding, LI Yongli, LI Shengwei, et al. Study on adaptive current instantaneous trip protection scheme for distribution network with inverter interfaced DG [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(14): 71-76.
- [4] 张艳霞,代凤仙. 含分布式电源配电网的馈线保护新方案[J]. 电力系统自动化,2009,33(12):71-74.
ZHANG Yanxia, DAI Fengxian. New schemes of feeder protection for distribution networks including distributed generation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(12): 71-74.
- [5] 刘伟,彭冬,卜广全,等. 光伏发电接入智能配电网后的系统问题综述[J]. 电网技术,2009,33(19):1-6.
LIU Wei, PENG Dong, BU Guangquan, et al. A survey on system problems in smart distribution network with grid-connected photovoltaic generation [J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 1-6.

- [6] 庞建业,夏晓宾,房牧. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 继电器,2007,35(11):5-8.
PANG Jianye,XIA Xiaobin,FANG Mu. Impact of distributed generation to relay protection of distribution system[J]. Relay, 2007,35(11):5-8.
- [7] 张保会,李光辉,王进,等. 风电接入电力系统故障电流的影响因素分析及对继电保护的影响[J]. 电力自动化设备,2012,32(2):1-8.
ZHANG Baohui,LI Guanghui,WANG Jin,et al. Affecting factors of grid-connected wind power on fault current and impact on protection relay[J]. Electric Power Automation Equipment,2012, 32(2):1-8.
- [8] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2004:100-102.
- [9] 索南加乐,许庆强,宋国兵,等. 自适应接地距离继电器[J]. 电力系统自动化,2005,29(17):54-58.
SUONAN Jiale,XU Qingqiang,SONG Guobing,et al. Adaptive earth fault distance relay [J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(17):54-58.
- [10] 沈冰,何奔腾. 基于阻抗轨迹估计的自适应相间距离继电器[J]. 中国电机工程学报,2007,27(31):71-76.
SHEN Bing,HE Benteng. A novel adaptive distance protection based on impedance locus estimation[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(31):71-76.
- [11] 张华中,朱玲玲,张洪涛,等. 基于估算对策电源阻抗的自适应距离保护算法[J]. 电力系统自动化,2011,35(12):70-74.
ZHANG Huazhong,ZHU Lingling,ZHANG Hongtao,et al. Adaptive distance protection algorithm based on estimation of contralateral source impedance[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(12):70-74.
- [12] 邹亮,李庆民,刘洪顺,等. 计及故障限流器和故障过渡电阻的接地距离保护补偿算法[J]. 电力自动化设备,2009,29(3):56-60.
ZOU Liang,LI Qingmin,LIU Hongshun,et al. Compensation

algorithm of grounding distance protection considering FCL and fault resistance[J]. Electric Power Automation Equipment,2009, 29(3):56-60.

- [13] PRADHAN A K,JOOS G. Adaptive distance relay setting for lines connecting wind farms [J]. IEEE Trans on Energy Conversion,2007,22(1):206-213.
- [14] ANDERSON P M. Power system protection[M]. [S.l.]:IEEE Press,1998:23-24.
- [15] 戴训江,晁勤. 太阳能光伏模块电气特性的数学建模与仿真[J]. 半导体光电,2009,30(1):47-51.
DAI Xunjiang,CHAO Qin. Mathematical model and simulation analysis of photovoltaic module electrical characteristics[J]. Semiconductor Optoelectronics,2009,30(1):47-51.
- [16] 周林,张密,居秀丽,等. 电网阻抗对大型并网光伏系统稳定性影响分析[J]. 中国电机工程学报,2013,33(34):34-41.
ZHOU Lin,ZHANG Mi,JU Xiuli,et al. Stability analysis of large-scale photovoltaic plants due to grid impedance[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(34):34-41.

作者简介:



张尧

张尧(1982—),女,新疆昌吉人,讲师,博士研究生,从事继电保护及新能源方面的研究(E-mail:479510278@qq.com);

晁勤(1959—),女,湖南宁乡人,教授,博士研究生导师,博士,从事继电保护及太阳能发电方面的研究;

李育强(1977—),男,新疆乌鲁木齐人,讲师,硕士,主要研究方向为光伏并网系

统继电保护;

王一波(1977—),男,新疆乌鲁木齐人,副研究员,博士研究生,从事可再生能源系统及智能微网方面的研究。

Adaptive distance protection based on tilt angle of transition resistance for grid-connected PV station

ZHANG Yao^{1,2}, CHAO Qin¹, LI Yuqiang¹, WANG Yibo¹

(1. College of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830091, China)

Abstract: Since the measured impedance of distance protection for the grid-connected PV (PhotoVoltaic) station is affected by the transition resistance, an adaptive distance protection based on the tilt angle of transition resistance is proposed. The results of fault component analysis show the tilt angle of transition resistance, θ , is decided totally by the equivalent impedance of PV power station, X_N , which varies with the generating capacity of PV station, P . The relationship between P and X_N is evaluated by the least square method for determining θ , with which, the phasor diagram is applied to obtain the line short circuit resistance and set the distance protection criterion. The simulative results show the maximum error of the proposed method is 2.4%, lower than the maximum error of the traditional method, 14%, which sharply reduces the effect of transition resistance on the measured impedance of distance protection for the grid-connected PV station.

Key words: photovoltaic generation; equivalent impedance; transition resistance; adaptive distance protection; relay protection