

超高压线路单相接地故障类型识别的新方法

胡亚平, 吕飞鹏

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要:在带并联电抗器超高压输电线路中,当发生单相接地故障,瞬时性故障时断开恢复电压中存在由于储能元件初始储能引起的自由分量,该自由分量幅值接近或高于其稳态基波分量的幅值,频率低于且接近于工频,因此断开相恢复电压呈拍频性质;而永久性故障时故障点始终存在,线路上各储能元件所储存的能量快速衰减,断开相电压中没有低频振荡分量而仅含有基波量。提出一种判别其两种波形的不同以区别故障性质的方法。该方法原理较简单,具有一定的工程应用前景。

关键词:超高压输电线路;并联电抗器;单相故障性质;振荡分量

Abstract When single-phase ground fault occurs in extra-high voltage (EHV) transmission line with shunt reactors the character of single-phase transient fault recovery voltage is different from the permanent fault. A method through analyzing the amplitude is developed to identify the recovery voltage, then the fault types can be distinguished according to the variation of the fault-phase voltage signals. The proposed method is simple, so it could be applied to the actual project.

Key words extra-high voltage transmission line; shunt reactor; the property of single-phase fault; oscillation component

中图分类号: TM732 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)01-0020-02

单相重合闸装置是提高电力系统运行可靠性和稳定性的重要措施,在超高压输电线路中被广泛采用。根据电网运行的经验,电力系统中大多数故障为单相接地故障,其中约 80% 为瞬时性故障。超高压输电线路广泛采用单相自适应重合闸技术以保证系统稳定和供电的连续性。如判断为瞬时性故障,则重合,如为永久性故障,则不重合,这样提高电力系统的稳定性,减少对系统的冲击^[1-9]。

在超高压长距离输电线路中,为限制工频过电压,补偿线路容性无功,一般会装设并联电抗器。所以当瞬时性故障时断开相的恢复电压中存在储能元件初始储能引起的自由分量,该自由分量幅值接近或高于其基波稳态分量的幅值,频率低于且接近于工频,所以断开相的恢复电压会呈拍频性质;而永久性故障时故障点却一直不会消失,线路对地可靠接地,线路上各储能元件所储存的能量快速衰减,因此断开相电压中仅含有基波量^[2]。文献[3]提出了识别故障性质的电压拍频判据,该判据判断结果无交叉模糊区,判断时间约为半个拍频周期。这里提出一种基于断开相恢复电压幅值的方差法新判据,本判据原理简单,且判断时间较短。

在带有并联电抗器的超高压线路上,恢复电压的瞬时值可以用下式表示^[6]。

$$U(t) = U_s \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1) + U_f e^{-\theta t} \sin(2\pi f_2 t + \varphi_2) \quad (1)$$
式中, U_s 和 U_f 为工频分量和自由分量的幅值; f_1 和 f_2 为工频分量和自由分量的频率; φ_1 和 φ_2 为工频分量和自由分量的初相; θ 为自由分量的衰减系数。

瞬时性故障断开相线路端电压的工频分量为

$$|U_s| = |U_y + 0.5U_{xL}| > 0.5U_{xL} \quad (2)$$

式中, U_y 为电容耦合电压; U_{xL} 为电磁耦合电压。

图 1 为线路中点发生单相瞬时性故障的仿真波形。根据文献[5],设定 20 ms 时单相接地故障发生,80 ms 时两侧断路器同时跳开,假设瞬时性故障 250 ms 时故障消失。

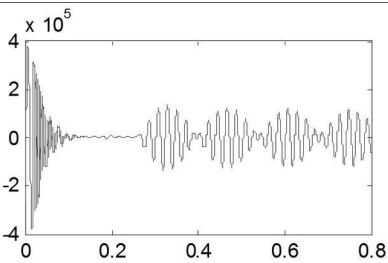


图 1 单相瞬时性故障的仿真波形

1 单相接地故障的分析

1.1 瞬时性故障

1.2 永久性故障

当线路发生单相永久性接地时,由于故障点是始终存在,线路对地电容可靠放电,导致 $U_y = 0$, 所以线

路断开相两端的电压由接地点位置、健全相负荷电流、接地电阻 R_f 以及线路的参数决定。断开相电压瞬时值可以表示为

$$U(t) = U_s \sin(2\pi f t + \theta) \tag{3}$$

图 2 为线路中点发生单相永久性故障的仿真波形。

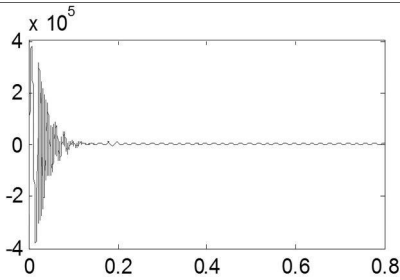


图 2 带并联电抗器输电线路单相永久性故障的仿真波形

2 判别故障性质的基本原理

电压等级为 300~500 kV 的输电线路并联补偿度一般为 70% 左右,因此可以推断出,对于超高压的瞬时性故障,并联电抗器产生的自由分量频率一般低于 45 Hz 而稳态分量频率为 50 Hz。由文献 [3] 可知,拍频周期约为 100 ms 因为其频率约为 10 Hz 即约每 20 ms 达到一次峰值,但各峰值的大小差异很大,呈正弦规律变化。而对于永久性故障,由于没有低频振荡分量而只存在频率为 50 Hz 稳态分量,所以每 20 ms 将出现一次峰值,且每次都是大小差异较小。

基于上述特征,则提出:当故障发生且断路器跳开后,分析其断开相电压,每隔 20 ms 取一个一周波的时间窗,用最小二乘法估算出这段波形的幅值,用 5 个幅值点求方差 D ,并对方差 D 归一化,分母为 5 个幅值的平均。比较两种故障时方差的大小,从而确定出一个恰当的门槛值,当方差大于此门槛值时,判定为瞬时性故障,否则为永久性故障。

3 仿真模型参数和仿真结果分析

3.1 仿真模型参数

为了验证上述理论分析的正确性,采用了 Matlab 建立一系统进行仿真。实验系统为重庆市万县至龙泉 500 kV 输电系统^[4],如图 3 所示。

系统和线路参数如下。

A 侧系统 $X_{m1}=49.34\ \Omega$, $X_{m0}=41.34\ \Omega$;

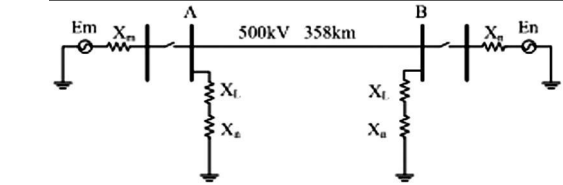


图 3 两端带并联电抗器 500kV 输电系统

B 侧系统 $X_{n1}=46.03\ \Omega$, $X_{n0}=103.36\ \Omega$;
线路参数 $r=0.0195\ \Omega/\text{km}$, $x=0.1675\ \Omega/\text{km}$, $l=0.9134\ \text{mH}/\text{km}$, $lb=2.7190\ \text{mH}/\text{km}$, $cl=14.00\ \text{nF}/\text{km}$, $cb=8.34\ \text{nF}/\text{km}$;
电抗器参数 $X_L=1680.56\ \Omega$, $X_N=434\ \Omega$ 。

3.2 仿真结果及分析

采用 Matlab 7.1 分别对单相接地故障发生在线路的首端 20%、50%、70% 和当发生永久性故障时经过不同的过渡电阻 (考虑金属性、100 Ω 、500 Ω) 接地等故障情况进行大量的 Matlab/Simulink 仿真实验。由表 1 的仿真结果可知,瞬时性故障时各时间段断开相电压幅值的方差明显大于永久性故障。根据实验仿真结果,确定断开相电压幅值方差的整定值为 100,若大于整定值,则判定为瞬时性故障,反之为永久性故障。从仿真结果看故障性质判别准确度很高,并且工程实现简单。仿真实验和理论分析基本一致。

表 1 仿真结果

短路位置	过渡电阻 / Ω	幅值的方差	整定值	判断结果
20%	瞬时	4 153	100	瞬时
	0	0.029 3	100	永久
	100	0.057 4	100	永久
	500	0.073 4	100	永久
	瞬时	430 1	100	瞬时
50%	0	0.063 9	100	永久
	100	0.077 4	100	永久
	500	0.080 3	100	永久
	瞬时	409 3	100	瞬时
	0	0.070 2	100	永久
70%	100	0.083 4	100	永久
	500	0.081 9	100	永久

4 结 论

针对带并联电抗器超高压输电线路中发生单相接地故障的特征,提出一种利用断开相电压幅值方差的超高压线路单相接地故障的故障类型判别方法。该判据原理清晰,算法不受接地电阻、负荷电流等因素的影响,且原理较简单,具有工程应用的前景。

(下转第 65 页)

性性质和本身良好的线性关系,使得在频域范围内的线性方程可以恰当地表示电力网络。但是谐波源的 $V-I$ 关系更加复杂,通常是非线性和时变的。为了找出合适的谐波源表示法已经做了许多努力,这也促使谐波分析不同方法的发展。目前的研究都在一个确定的框架内进行,考虑谐波产生源随机的特征仍然有许多领域去探索。需要确定与源谐波电流和电压有关的概率密度函数,需要从统计学的角度考虑网络怎么变化。随着增加的电源转换器的投运,电力网络变得更大、更复杂而且不断地变化,这些题目都会引起许多研究者的兴趣,需要做更进一步的研究。

参考文献

- [1] 张一中,宁元中,宋永华. 电力谐波 [M]. 成都:成都科技大学出版社,1992.
- [2] Wang Yifei S Chen S S Choi An Overview of Various Approaches to Power System Harmonic Analysis [J]. The 8th International Power Engineering Conference (IPEC 2007) 3—6 Dec 2007; 338 — 343.
- [3] George J W akileh 著,徐政译. 电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计 [M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [4] GB 14549—93. 电能质量 公用电网谐波 [S].

(上接第 21 页)

由于电源的电势与断开相恢复电压之间的电压差对合闸成功与否有重要影响,为了提高重合的成功率,重合闸装置可以实时测量断开相电压,以确定最佳的合闸时机,如何解决好合闸时机是下一步研究的重点。

参考文献

- [1] 刘浩芳,王增平,徐岩,等. 带并联电抗器的超 特高压输电线路单相自适应重合闸故障性质识别判据 [J]. 电网技术,2006, 30(18); 29—34.
- [2] 商立群,白维祖,程刚,等. 带并联电抗器的线路单相自适应重合闸故障判别原理 [J]. 电力系统自动化,2008, 32(6); 81—84.
- [3] 李斌,李永丽,贺永李,等. 750 kV 输电线路保护与单相重合闸动作的研究 [J]. 电力系统自动化,2004, 28(13); 73—76.

- [5] Zheng Xu Hongtao Liu The Harmonic Model and Its Algorithm for Coupled Multiphase Transmission Line [J]. Harmonics and Quality of Power 2000. Proceedings Ninth International Conference on Volume 3. Page (s): 938 — 941.
- [6] Grady WM. et al(1993). Power Factor Correction and Power System Harmonics Short Course New Mexico State University.
- [7] Task Force on Harmonic Modeling and Simulation Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks Part I: Concepts Models and Simulation Techniques [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, vol 11, 1996.
- [8] 陈宝林. 最优化理论及算法 [M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [9] A. T. Sario M. S. Calovic M. B. Djukanovic. Fuzzy Optimization of Capacitors in Distribution Systems [J]. IEE Proceedings—Generation Transmission and Distribution, 1997, 144(5); 415—422.
- [10] K. H. Abdul-Rahman S. M. Shahidepour A Fuzzy-based Optimal Reactive Power Control [J]. IEEE Transaction on Power Systems 1993, 8(2); 662—670.

(收稿日期:2009—12—10)

- [4] 索南加乐,孙丹丹,付伟,等. 带并联电抗器输电线路单相自动重合闸永久故障的识别原理研究 [J]. 中国电机工程学报,2006, 26(11); 75—81.
- [5] 葛耀中. 在单相自动重合闸过程中判别瞬时故障和永久故障的方法 [J]. 西安交通大学学报,1984, 18(2); 23—31.
- [6] 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.
- [7] 林湘宁,刘沛,程时杰. 超高压输电线路故障性质的复值小波识别 [J]. 中国电机工程学报,2000, 20(2); 33—38.
- [8] 李斌,李永丽,曾治安,等. 基于电压谐波信号分析的单相自适应重合闸 [J]. 电网技术,2002, 26(10); 53—57.
- [9] 范越,施围. 输电线路单相自动重合闸中电压判据的修正 [J]. 电力系统自动化,2000, 24(6); 44—47.

(收稿日期:2009—9—23)