

复合阻抗对接地距离保护的影响

潘露, 吕艳萍, 于芳, 王汉斌

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 复合阻抗安装在光纤复合架空地线 OPGW (Optical Fiber Composite Overhead Ground Wires)与地之间用于减少逐杆接地 OPGW 上的能量损耗。在说明复合阻抗导通后对系统零序阻抗产生影响的基础上,更进一步地分析了由于系统零序阻抗变化而造成的对接地距离保护的影响,然后提出了相应的改进措施,最后结合一条 220 kV 实际线路验证了分析结论。

关键词: 复合阻抗; 光纤复合架空地线; 零序阻抗; 接地距离保护

中图分类号: TM77; TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)10-0001-03

0 引言

为了防止 OPGW 在遭受雷击或线路故障时承受过高的电压而损坏,OPGW 通常逐基接地运行。且为了降低 OPGW 在实际运行中的能量损耗并防止 OPGW 在线路故障或遭受雷击时因过压或过流而损坏,在 OPGW 与大地之间安装有复合阻抗,使得 OPGW 在线路正常运行时保持与大地可靠的绝缘,减少能量损耗;而在线路故障或遭受雷击时迅速导通将大电流入地,以保障 OPGW 的正常运行。

本文分析了复合阻抗安装前后,以及复合阻抗安装后导通个数的不同时 OPGW 自阻抗的变化,然后在此基础上研究了由于 OPGW 的自阻抗的变化而导致输电线路零序阻抗发生改变,从而对接地距离保护造成一定的影响;最后提出了相应的解决措施。由于篇幅的原因,本文只讨论了对单相接地时的影响。

1 复合阻抗的物理模型^[1]

复合阻抗相当于一个非线性电阻,具有在高电压下导通,而在低电压下绝缘隔断的特性,利用一个压控开关 K 和一个小电阻 r 的串联电路作为复合阻抗的等效模型,如图 1 所示。

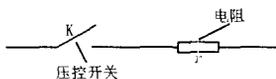


图 1 复合阻抗的等效模型

Fig 1 Equivalent model of composite impedance

其中:压控开关 K 两端电压在小于某一闪络电压 U_f 时开断,从而保证 OPGW 与大地绝缘断开 (U_f 远大于输电线正常运行时 OPGW 中的感应电压,为

9 000 V);而当 K 两端电压大于 U_f 时导通,保证 OPGW 与大地连通,阻值 r 约为 0.01 Ω ,用于限流。

2 复合阻抗对接地距离保护的影响

2.1 复合阻抗对 OPGW 自阻抗的影响

2.1.1 复合阻抗安装前

复合阻抗安装前 OPGW 逐基接地,其自阻抗为:(以下阻抗单位均为 Ω/km)^[2]

$$Z_{g0} = 3(r_c + r_g + j0.1445 \lg \frac{D_e}{D_{sg}}) \quad (1)$$

式中: r_c 为大地等值电阻,取为 0.05 Ω/km ; r_g 为 OPGW 单位长度的电阻; D_e 为地中虚拟导线的等值深度; $D_e = 660 / \sqrt{\epsilon} / f$; ϵ 为大地电阻率; f 为电流频率; D_{sg} 为 OPGW 的自几何均距。

2.1.2 复合阻抗安装后

复合阻抗安装后 OPGW 与大地的交流回路可以用卡松线路来模拟,如图 2 所示。

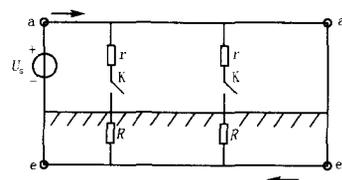


图 2 “单导线-大地”回路

Fig 2 Circuit of “single line-earth”

此时 OPGW 与大地形成回路的自阻抗 Z_{g0} 为^[3]:

$$Z_{g0} = 3(r_c + r_g + \frac{nR}{L} + j0.1445 \lg \frac{D_e}{D_{sg}}) \quad (2)$$

式中: n 为未导通的复合阻抗个数, R 为杆塔的接地电阻, L 为输电线路的长度。

显然在复合阻抗安装后且均未导通时自阻抗最大;而在复合阻抗安装前(或者安装后全部导通时)最小。最小值为: $Z_{g0(m\min)} = Z_{g0}$ 。

2.2 复合阻抗对输电线路零序阻抗的影响

当考虑架空地线时三相输电线路每相的等值零序阻抗为:^[2]

$$Z_{(0)}^{(g)} = Z_{(0)} - \frac{Z_{gn0}^2}{Z_{g0}} \quad (3)$$

式中: $Z_{(0)}$ 为无架空线时输电线的零序阻抗,

$$Z_{(0)} = 3r_c + r_a + j0.4335 \lg \frac{D_e}{D_{sT}} \quad (4)$$

r_c 为单位长度导线的电阻, D_{sT} 三相导线组的自几何均距, $D_{sT} = \sqrt[3]{D_s D_{cq}^2}$; D_s 为输电线自几何均距; D_{cq} 为三相导线间的互几何均距; $D_{cq} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}$, D_{ab} 、 D_{bc} 、 D_{ca} 分别为相线 ab、bc、ca 之间的距离。

Z_{gn0} 为 OPGW 与输电线间的零序互阻抗

$$Z_{gn0} = 3(r_c + j0.1445 \lg \frac{D_e}{D_{L-g}}) \quad (5)$$

D_{L-g} 为 OPGW 与输电线路之间的互几何均距, $D_{L-g} = \sqrt[3]{D_{ag} D_{bg} D_{cg}}$ 。

由式(3)知,输电线路的零序阻抗在复合阻抗安装后且均未导通时的值最大,其值为 $Z_{(0)(\max)}^{(g)} = Z_{(0)} - Z_{gn0}^2 / Z_{g0(\max)}$;并随着复合阻抗导通个数的增加而逐渐减小,在全部导通时(或者复合阻抗安装前)的值最小,其值为 $Z_{(0)(\min)}^{(g)} = Z_{(0)} - Z_{gn0}^2 / Z_{g0(\min)}$ 。

2.3 复合阻抗对单相接地距离保护的影响

线路的零序阻抗发生了改变而正、负序阻抗却不受影响,这样势必会导致阻抗继电器零序补偿系数的变化,从而影响接地距离保护装置的测量阻抗。由于电力系统发生单相接地故障比发生其他故障的几率高,下面以系统 A 相发生单相接地短路进行计算。

当复合阻抗安装前(或安装后全部导通时)A 相某处发生接地短路,此时的相电流与线路零序电流为:^[2]

$$I_A = 3I_0 = \frac{3E}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)l} \quad (6)$$

式中: l 表示短路点至保护安装处的距离; Z_1 、 Z_2 、 Z_0 为线路每千米的正、负、零序阻抗,且一般有 $Z_1 = Z_2$ 。

阻抗继电器采用 $U_j = U_A = Z_1 \left\{ I_A + K 3I_0 \right\}$ 和 $I_j = I_A + K \cdot 3I_0$ 的接线方式,其中 $K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$,^[4] 这

时 $Z_0 = Z_{(0)(\min)}^{(g)}$ 。

当复合阻抗安装后且有导通时,在同一地点发生单相短路时电压、电流分别为:

$$U_A = Z_1 \left\{ I_A + K \cdot 3I_0 \right\} \quad (7)$$

$$I_A = 3I_0 = \frac{3E}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)l} \quad (8)$$

Z_0 值为将式(2)中的 Z_{g0} 代入式(3)而求得

$$Z_{(0)}^{(g)} = Z_0 \text{ 值。不妨令 } r = \frac{Z_{gn0}^2}{Z_{g0(m\min)}} - \frac{Z_{gn0}^2}{Z_{g0}} \text{ 则有 } Z_0 =$$

$Z_0 + r$, Z_{gn0} 、 $Z_{g0(m\min)}$ 是常数,而 r 是随着复合阻抗导通的个数变化而变化的,在复合阻抗全部导通时 r 最小 Z_0 最小。这时的零序补偿系数为:

$$K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} = \frac{Z_0 + r - Z_1}{3Z_1} = K + \frac{r}{3Z_1} \quad (9)$$

通过式(6)、(8)得,

$$I_0 = E I_0 / (E - r I_0) \quad (10)$$

上式也说明了复合阻抗导通的个数越多时, r 越小,而线路零序电流越大。

如果阻抗继电器的零序补偿系数 K 不变,即仍取 $K = (Z_0 - Z_1) / 3Z_1$ 则此时阻抗继电器的测量阻抗应为:

$$Z_j = \frac{U_j}{I_j} = \frac{Z_1 l (I_A + K \cdot 3I_0)}{(I_A + K \cdot 3I_0)} \quad (11)$$

将式(8)、(9)代入(11)得,

$$Z_j = \frac{Z_1 l (I_A + K \cdot 3I_0)}{(I_A + K \cdot 3I_0)} = \frac{Z_1 l (1 + K)}{(1 + K)} = Z_1 l \cdot \left[1 + \frac{r}{3Z_1 (1 + K)} \right] = Z_1 l \left[1 + \frac{r}{Z_0 + 2Z_1} \right] \quad (12)$$

3 分析说明及改进措施

3.1 分析说明

由上式可知,在安装复合阻抗后若零序补偿系数不变则会导致阻抗继电器的测量阻抗增大,特别是安装后均未导通时达到最大,从而引起距离保护装置的拒动作,导致距离保护装置一段的保护范围大大地缩短。另外由于 K 为实数,说明增大的只是阻抗的模但并没有改变其相位。

3.2 改进措施

通过修正 K 值。由式(12)可知,只需要将 K 值修正为 K ,就能使阻抗继电器可以准确地测量从短路点到保护安装处之间的阻抗。具体需要确定未导通(或者导通)的复合阻抗的个数,依据式(2)求出 Z_{g0} ,然后求出 r 值,最后代入式(9)求出 K 从而快

速的完成对零序补偿系数的修正。

4 PSCAD 实例仿真

以一个实际 220 kV 系统为例。线路架设一根架空地线,且为 OPGW,采用中心不锈钢管,截面 60 mm^2 ,铝包钢线;导线的型号为:LJG - 400/35;线路长为 $L = 40 \text{ km}$;大地电阻率 $\rho = 500 \cdot \text{m}$,杆塔接地电阻 $R = 20$,共装有 80 个复合阻抗。系统在线路末端发生 A 相接地短路。系统结构图及线路的几何平面布置如图 3、4 所示。



图 3 系统等值图

Fig 3 Equivalent circuit

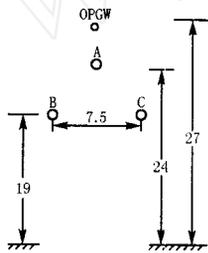


图 4 线路几何分布图

Fig 4 Configuration of the lines

$S_B = 100 \text{ MVA}$, $V_B = V_{av}$ 。等效电源的参数:
 $X_1^* = 0.02599$, $X_0^* = 0.04405$ 。线路末端发生 A 相接地短路, PSCAD 仿真模型中,架空线采用集中电阻的分布参数模型。建模仿真得到以下数据(以下阻抗均为模,单位是 Ω/km ,电压电流为有效值)

表 1 实验数据

Tab 1 Data from simulation

	$ Z_0 $	U_A/kV	$I_A = 3I_0/\text{kA}$	$ Z_1 $
安装前	1.0192	93.01	3.06	0.4353
$m = 0$	1.3369	95.09	2.93	0.4648
安 $m = 20$	1.0750	94.73	2.95	0.4595
装 $m = 40$	1.0575	94.22	2.98	0.4527
后 $m = 60$	1.0388	93.52	3.02	0.4434
$m = 80$	1.0192	93.01	3.06	0.4353

(m 表示复合阻抗导通的个数)

数据分析:由表 1 可知复合阻抗安装前与安装后全部导通时的情况是一样的;安装后线路零序阻抗会随着复合阻抗导通的个数而发生变化。且是随着导通个数的增加而减小;而线路零序电流却随着导通个数的增加而变大,以及零序补偿系数不变时会导致阻抗继电器的测量阻抗变大,这种影响会随着线路长度的增加以及复合阻抗导通个数的增加变

得更为严重。

5 结论

1)为了减少逐杆接地的 OPGW 上的能量损耗,在 OPGW 与地之间安装复合阻抗。但是线路零序阻抗会随着复合阻抗导通的个数而发生变化。

2)如果阻抗继电器的零序补偿系数不变,线路零序阻抗的变化会导致阻抗继电器的测量阻抗增大,从而引起接地距离保护装置的拒动作。

3)通过对零序补偿系数进行修正可以使阻抗继电器准确测量从短路点到保护安装地点之间的阻抗,达到改进的目的。

参考文献:

- [1] 王学峰,吕艳萍,邹江峰. 复合阻抗在 OPGW 中的应用 [J]. 电力系统通信, 2005, (4): 17-19.
WANG Xue-feng, LÜ Yan-ping, ZOU Jiang-feng Research on the Composite Impedance Application in OPGW [J]. Power System Communication, 2005, (4): 17-19.
- [2] 何仰赞,温增银,等. 电力系统分析 [M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1996.
HE Yang-zan, WEN Zeng-yin, et al Power System Analysis [M]. Wuhan: Huazhong University of Technology Press, 1996.
- [3] Thapar B, Gerez V, Lakrishnan A. Zero-sequence of Overhead Transmission Lines with Discontinuous Ground Wire [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1990, 10 (2): 190-192.
- [4] 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, 1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju Theory of Power System Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [5] 王广学,彭丰,等. 线路零序电流保护整定计算方法 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (4): 46-50.
WANG Guang-xue, PENG Feng, et al Setting Calculation Method of Line's Zero-sequence Current Protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (4): 46-50.
- [6] 王为国,尹项根,等. TCSC 动态基频阻抗对距离保护的影响 [J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (10): 9-11.
WANG Wei-guo, YIN Xiang-gen, et al The Influence of TCSC Dynamic Power Frequency Impedance on Distance Protection Relay [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (10): 9-11.

(下转第 31 页 continued on page 31)

- [6] 滕林,刘万顺,俞志皓,等. 电力系统暂态稳定实时紧急控制的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 64-69.
TENG Lin, LU Wan-shun, YUN Zhi-hao, et al Study of Real-time Power System Transient Stability Emergency Control[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 64-69.
- [7] 薛禹胜. 运动稳定性量化理论 非自治非线性多刚体系统的稳定性分析[M]. 南京:江苏科技出版社, 1999.
XUE Yu-sheng Quantitative Study of General Motion Stability and an Example on Power System Stability[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1999.
- [8] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
NI Yi-xin, CHEN Shou-sun, ZHANG Bao-lin The Theo-
- ries and Analysis of Dynamic Power Systems[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [9] 傅书遒,倪以信,薛禹胜. 直接法稳定分析[M]. 北京:中国电力出版社, 1999.
FU Shu-ti, NI Yi-xin, XUE Yu-sheng Stability Analysis Using Direct Method[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.

收稿日期: 2005-10-20; 修回日期: 2005-12-21

作者简介:

张雪焱(1975-),男,博士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制。E-mail: power_system@126.com

黄少锋(1958-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统继电保护与控制。

Closed-loop emergency control method considering the abrupt change of electromagnetic power

ZHANG Xue-yan, HUANG Shao-feng

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control of North China Electric Power University under Ministry of Education, Beijing 102206, China)

Abstract: A transient stability closed-loop emergency control method considering the abrupt change of electromagnetic power is proposed. The fact that the electromagnetic power will change abruptly when tripping generators is not considered in published papers, which might cause an insufficiency of tripping value. In this paper, the control is not taken into effect immediately after the tripping value is calculated. Instead, a verifying method of tripping value is implemented. The stability of the power system after tripping generators is estimated, and the tripping value is modified if necessary. After controlling the system by the verified generator tripping value, the system is under closed-loop supervision and control to stability. More precise control can be acquired using this method, and the effect of closed-loop emergency control is improved. The study is supported by simulating experiment with reasonable results.

Key words: transient stability; closed-loop emergency control; abrupt change of electromagnetic power; generator tripping

(上接第 3 页 continued from page 3)

- [7] 张太升,鄢安河,等. 关于 500 kV 牡郑线的绝缘地线对零序参数影响的研究[J]. 继电器, 2001, 29(3): 27-31.
ZHANG Tai-sheng, YAN An-he, et al Study on the Effect of Insulation to Earth on Zero Sequence Parameters in 500 kV[J]. Relay, 2001, 29(3): 27-31.
- 作者简介:
- 潘露(1983-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护; E-mail: panlu94395771@tom.com
- 吕艳萍(1955-),女,教授,主要从事电力系统继电保护方面的教学与研究;
- 于芳(1983-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

收稿日期: 2005-11-07; 修回日期: 2005-12-07

Influence on ground distance protection due to the composite impedances

PAN Lu, Lü Yan-ping, YU Fang, WANG Han-bin

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to reduce the power loss of OPGW installed tower-by-tower, composite impedances are installed between OPGW and ground. After analyzing the influence on zero-sequence parameters due to the composite impedances, this paper points out that the ground distance protection will be influenced as a result of the numbers of composite impedance switched on. Then a measure is put forward in order to reduce the influence. Finally, the analysis result has been proved satisfactory by a real 220 kV system.

Key words: composite impedance; OPGW; zero-sequence impedance; ground distance protection