

良导体地线限制超高压输电系统工频过电压的作用

李红玉¹, 黄燕艳², 施 围³

(1. 北京邮电大学, 北京 100876; 2. 株洲电力机车研究所, 湖南 株洲 412001;
3. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

Effect of ACSR on Suppressing Power Frequency Overvoltage of EHV Transmission System

LI Hong-yu¹, HUANG Yan-yan², SHI Wei³

(1. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 2. Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute, Zhuzhou 412001, China; 3. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 通过比较不同型号良导体地线的波阻抗,分析了零序阻抗对不对称接地工频过电压的影响。计算了各种采用光缆复合架空地线情况下线路的工频过电压。指出利用良导体地线降低工频过电压可以减小线路并联补偿容量,降低安装成本和维护费用。最后分析了良导体地线降低工频过电压的制约因素。

关键词: 工频过电压; 良导体地线; 零序阻抗

中图分类号: TM751, TM84 **文献标识码:** A

Abstract: The influence of zero-sequence impedance on power-frequency overvoltage of asymmetric eathing fault is researched though comparing surge impedance of different types of ACSR as ground-return wires. The power-frequency overvoltage is calculated in various conditions with OPGW. It is lower for the smaller surge impedance of ACSR consequently, parallel compensation capacity could be decreased to save the cost. The restrictions of using ACSR to limit power-frequency overvoltage are analyzed too.

Key words: power-frequency overvoltage; aluminum clad steel reinforced(ACSR); zero-sequence impedance

1 引言

长线电容效应,突然甩负荷和不对称接地是产生工频过电压的3个因素。不对称接地线路两端的工频暂态过电压幅值与该线路的零序阻抗有关,零序阻抗越小,过电压越低。限制过电压通常采用并联电抗器,对于地线限压作用的研究比较少。

架空输电线路采用带有部分良导体材质的避雷线(简称良导体地线),除作为避雷线外还具有如下4方面作用^[1,2]:①降低潜供电流;②降低工频过电压;③改善对通信线路的干扰;④实现高频载波通道。其实质,前3种效用都是利用了良导体地线中零

序阻抗较小的特征因素。光缆复合架空地线(OPGW)是将送电线路的地线与通讯光缆的特点和性能综合考虑,是新型的地线材料,既有普通地线的作用,又具有通讯光缆的功能^[3]。英国 BICC 公司 1976 年首先开发^[4],我国自 1985 年开始引进使用,目前已有 10 多条在高压线路上运行^[5]。

良导体在我国高压电网中的应用越来越广,其对工频过电压幅值的影响逐渐被人们重视。文[6]计算了减小良导体地线零序阻抗 40%。通常良导体地线与 OPGW 联合使用。笔者针对各种型号的地线,研究其零序波阻抗,及对工频过电压的影响。通过对一个 750 kV 输电系统的对比计算,结果表明,不同的地线对工频过电压的影响有差异,良导体地线可有效降低过电压幅值,线路越长,降低过电压幅度越大。据此提出利用良导体地线可减小线路的并联补偿容量。

2 零序阻抗与工频过电压

图 1 是一个双电源输电系统,线路均匀换位。 E_1 为电源端电势, E_2 为电网等值电势。首末端电源与变压器的阻抗分别为: R_1, R_2, X_{d1}, X_{d2} 。长线两端均并联电抗器 X_p, X_N 为小电抗。线路长 l km,故障发生在线路上,距首端 x km,见图 2。单相接地三相开断和两相接地三相开断,健全相故障电压升高 K_{j1} 和 K_{j2} 分别为:

$$K_{j1} = \frac{U}{U_0} = \frac{\sqrt{3(1+K+K^2)}}{K+2}$$

$$K_{j2} = \frac{U}{U_0} = \frac{3K}{K+2}$$

$$K = Z_{r0} / Z_{r1}$$

式中: U, U_0 为健全相故障电压、正常电压; Z_{r0}, Z_{r1} 分别为从故障点看进的零序、正序阻抗。可以看出,不

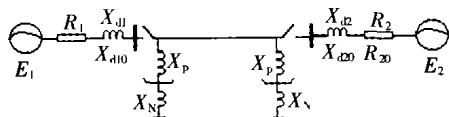


图1 单回路超高压输电系统

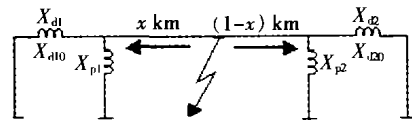


图2 系统故障图

对称接地故障的过电压幅值和零序与正序阻抗的比值 K 有关。

3 导线参数

750 kV 输电导线为 6 分裂的钢芯铝绞线 LGJ-400/50, 分裂间距为 400 mm。通常选用的良导体地线有铝包钢绞线 JLB, LBGJ 和钢芯铝绞线 LGJ。JLB I, II 的导电率分别为 20%, 27%, LBG I, II 的导电率分别为 20.3%, 30%。LGJ I, II, III 是 70/40, 95/15, 95/20 3 种。两根地线一根为良导体地线, 另一根为 OPGW-bbE9/125(AA/ACS)。为了与 OPGW 的机械特性和导电性相匹配, 选择以下几种良导体地线。

普通地线为钢质地线, 具体参数见表 1。导线沿线土壤电阻率取 $500 \Omega \cdot m$ 。

表 1 导线参数

导线型号	直流电阻/ $(\Omega \cdot km^{-1})$	外径/mm	钢比/%	面积/ mm^2
LGJ400/50	0.072	27.63	11.48	451.55
普通地线	1.540	13.00	100.0	100.88
OPGW	0.354	14.10	27.76	156.15
LBGJ(I)	0.860	13.00	78.27	100.88
LBGJ(II)	0.580	13.00	59.62	100.88
JLB(I)	0.716	11.08	100.00	120.00
JLB(II)	0.716	12.20	100.00	90.40
JGJ70/40	0.414	13.60	36.84	110.40
JGJ95/15	0.306	13.61	13.97	109.72
LGJ95/20	0.302	13.87	16.51	113.96

表 2 为计算的导线零序和正序波阻抗 (Z_0 和 Z_1)、电感和容抗。分别考虑各型号良导体地线与 OPGW 配合, 及两根都为良导体地线, 和两根为普通钢质地线。接良导体地线的线路 Z_0 低于普通地线的, 可降低 15%, Z_1 几乎相同。有 OPGW 的地线 Z_0 低于无 OPGW 的, 可降低 5%。LBG II 零序波阻抗低于 LBG I 的, JLB I 与 JLB II 相近, LGJ95 的零序波阻抗低于 LGJ70。

表 2 传输线参数

线型	无 OPGW						有 OPGW					
	Z_0/Ω	Z_1/Ω	$L_0/(\Omega \cdot km^{-1})$	$L_1/(\Omega \cdot km^{-1})$	$C_0/(\mu F \cdot km^{-1})$	$C_1/(\mu F \cdot km^{-1})$	Z_0/Ω	Z_1/Ω	$L_0/(\Omega \cdot km^{-1})$	$L_1/(\Omega \cdot km^{-1})$	$C_0/(\mu F \cdot km^{-1})$	$C_1/(\mu F \cdot km^{-1})$
普通	568.78	248.05	0.919 0	0.266 7	3.011 0	4.339 7						
LBJ I	530.80	247.95	0.794 5	0.266 5	3.011 0	4.339 0	505.68	247.84	0.735 0	0.266 3	3.012 3	4.339 8
LBJ II	506.52	247.84	0.731 1	0.266 3	3.011 0	4.339 7	495.98	247.78	0.708 1	0.266 1	3.012 3	4.339 8
JLB I	519.79	247.91	0.765 2	0.266 4	3.006 1	4.339 4	501.28	247.81	0.722 9	0.266 2	3.009 9	4.339 7
JLB II	519.37	247.90	0.764 1	0.266 4	3.009 1	4.339 6	501.10	247.81	0.722 6	0.266 2	3.011 3	4.339 8
LGJ I	491.09	247.75	0.697 1	0.266 1	3.012 5	4.339 8	488.31	247.73	0.691 5	0.266 0	3.013 0	4.339 9
LGJ II	482.42	247.67	0.680 7	0.265 9	3.012 5	4.339 8	484.02	247.69	0.683 4	0.265 9	3.013 0	4.339 9
LGJ III	481.91	247.67	0.679 6	0.265 9	3.013 1	4.339 9	483.76	247.69	0.628 9	0.265 9	3.013 4	4.339 9

4 计算实例

选择表 2 中较低的零序波阻抗, 一根为 LBGJ II, JLB II, LGJ 95/20, 另一根为 OPGW 的良导体地线和两根均为钢质普通地线的线路, 线路长度为 300 km, 表 3 给出了 K, K_{j1} 和 K_{j2} 。普通地线的零序阻抗大, 所以 K 大, 接地系数大。良导体地线的单相接地系数较普通地线的降低约 5%~7%, 两相接地系数降低约 3%~5%。

选择一根为 LBGJ II, 另一根为 OPGW 的良导体地线和两根均为钢质普通地线, 线路长度分别取

表 3 接地系数

导线型号	K	K_{j1}	K_{j2}
普通	3.445 8	1.284 8	1.309 9
LGJ	2.365 2	1.187 7	1.238 2
JLB	2.714 5	1.223 1	1.266 7
LBGJ	2.661 0	1.217 9	1.262 7

150, 300, 600 km。良导体地线与普通地线的系统的电源和输送潮流相同, 并联补偿容量相同。分别计算首、末端单相接地和两相接地的首末端工频过电压, 计算结果见表 4 ($1 \text{ p.u.} = 800/\sqrt{3}$)。表 4 同时给出了良导体地线较普通地线的首端电压降低的百分比。

由于良导体地线的零序波阻抗小, K 小, 过电压

表 4 地线对工频过电压的影响

故障类型	故障位置	p.u.														
		150 km			300 km			600 km								
		普通	良导体	首端降低的百分比/%	普通	良导体	首端降低的百分比/%	普通	良导体	首端降低的百分比/%						
单相接地	首端	1.16	1.01	1.10	0.94	4.93	1.19	0.96	1.13	0.92	5.54	1.31	0.94	1.22	0.92	6.43
	末端	1.30	1.40	1.28	1.36	0.70	1.25	1.39	1.24	1.35	0.88	1.30	1.42	1.28	1.33	1.77
两相接地	首端	1.19	0.98	1.15	0.98	3.53	1.20	0.94	1.15	0.95	3.75	1.26	0.94	1.22	0.94	3.79
	末端	0.95	1.12	0.91	1.03	4.22	1.00	1.23	0.96	1.13	4.28	1.06	1.36	1.01	1.25	4.38

的接地系数就低,工频过电压低。对于 150 km 较短的线路,接普通地线时系统工频过电压最高为 1.40 p.u.,而接良导体地线时为 1.36 p.u.,后者工频过电压低。对于 600 km 较长的线路,接普通地线的系统工频过电压最高为 1.42 p.u.,接良导体地线的系统工频过电压最高为 1.33 p.u.,后者工频过电压较低。接良导体地线的系统较接普通地线的系统,单相接地过电压降低约 5%~7%,两相接地过电压降低约 4%。首端故障时,对单相接地末端工频过电压,接良导体的系统略低;对两相接地末端工频过电压,良导体的作用不明显。良导体导线对工频过电压的降低幅度与线路长度有关。随着线路长度增加,过电压降低幅度增加。对于长线路良导体地线对工频过电压的降低效果更明显。但是良导体地线降低工频过电压的作用有许多制约因素,与系统的结构、参数和线路长度有关。在一定线路长度范围内,良导体可以降低过电压。所以不能夸大良导体地线的作用。

由于良导体地线的线路过电压较低,所以可以减小电抗器容量。表 5 给出良导体地线的线路电抗器减少后的容量,150 km 线路只有末端电抗,300,600 km 线路首末端有电抗,容量见表 5 中普通地线一栏。

表 5 电抗器容量 Mvar

150 km		300 km				600 km					
普通地线		良导体		普通地线		良导体		普通地线		良导体	
首端	末端	首端	末端	首端	末端	首端	末端	首端	末端	首端	末端
0	210	0	180	300	300	270	270	720	720	660	660

对于 600 km 普通地线的线路,首末端分别接 390 Mvar 和 720 Mvar 的并联电抗器,单相接地故障时,其末端工频过电压大于 1.4 p.u.,超出了规定范围。可以采用增大并联补偿容量,以降低工频过电压,如线路末端增加 60 Mvar 的并联电抗器;也可应用良导体地线降低工频过电压,而不另外增加并联电抗器。对于这两种不同措施,前者成本高,维护工作量大;而后者显然优于前者。所以在类似这种情况下,可以应用良导体地线降低工频过电压。

所以选择零序波阻抗较低的良好导体地线可降低工频过电压,在满足国标对工频过电压规定的前提下,可以减小线路并联电抗器的补偿容量。对于有普通地线的线路,若其工频过电压略超过规定范围,可以应用良导体地线降低系统工频过电压。

5 结语

(1)通过理论和计算证明,不对称接地故障的工频过电压幅值与故障点入口处的零序阻抗与正序阻抗之比有关。地线的钢比对线路零序波阻抗的影响很大,钢比越大,零序波阻抗越大。良导体地线较普通地线的零序波阻抗小,OPGW 地线的更低,接地系数较小,工频过电压幅值较低。

(2)随着线路长度增加,良导体地线的限压作用较为明显。对于长线路,良导体地线系统可降低工频过电压 5%~7%。但是其限压作用与系统的结构、参数和线路长度等有关。在一定的线路长度范围内,用良导体地线可以降低一定幅度工频过电压,减小系统并补电抗器的容量,节约费用。

参考文献:

- [1] 吴伯华,张孝军.超高压线路绝缘地线的研究[J].中国电力,1997,30(3):20-22.
- [2] E Channoum, J P Chouteou, M Miron. Optical Ground Wire for Hydro-Quebec's Telecommunication Network[J]. IEEE Trans. on Power Deliver, 1995, 10(4): 1 031-1 035.
- [3] 方森华.复合光缆(OPGW)选择设计探讨[J].电力建设,1997,18(7):38-41.
- [4] Kim Jeong-Boo. Switching Overvoltage Analysis and Air Clearance Design on the KEPCO 765 kV Double Circuit[J]. IEEE Trans. on Power Deliver, 2000, 15(1): 381-386.
- [5] 韩崇.架空地线复合光缆张力架线施工工艺[J].山西电力,1994,14(1):43-45.
- [6] 孙铁藩,王属于.良导体地线在超高压输电线路上的综合作用[J].华东电力,1994,22(1):40-43.

作者简介:李红玉(1974-),女,现从事资产管理工作。

新书推荐

《交直流电力系统动态行为分析》

由浙江大学徐政教授撰写,机械工业出版社高水平著作出版基金资助的《交直流电力系统动态行为分析》一书已由机械工业出版社出版。该书在交直流混合电力系统的框架下阐述了交直流电力系统之间的相互作用特性及其动态行为的分析理论和仿真方法。主要内容包括直流输电系统及其控制器的数学模型,交流输电系统与直流输电系统的输送能力分析,直流输电系统的动态过电压、频率变换关系及谐波稳定性,交直流电力系统的潮流计算、机电暂态仿真、电磁暂态仿真和次同步振荡分析。该书的一大特点是十分注重已有理论的适用范围分析及其工程应用的可操作性,适合于从事交直流电力系统科研、规划、设计和运行的工程师以及高等学校电力系统专业的教师和研究生阅读。该书为 16 开本,202 页,33 万字,定价 29 元。