

典型架空输电线路电磁取能地线的选择

刘益岑¹, 薛志航¹, 龚奕宇¹, 蒋兴良², 谢彦斌², 胡建林²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 重庆大学, 重庆 400044)

摘要: 地线取能是输电线路在线监测装置较为理想的供电方式, 地线取能设计首先面对的是取能地线的选择。以四川省电力公司所属的某 500 kV 线路为基础, 借助 EMTP-ATP 程序对光纤复合地线(OPGW)和普通地线在取能功率、雷电冲击影响以及工程可行性(主要指安装实施)3 方面的表现进行分析比较。分析表明, OPGW 在取能功率和防雷性能上较优, 但取能装置安装不方便(只宜在光纤接续塔处安装);普通地线则在取能功率和防雷性能上较差, 但是安装比较方便, 且安装位置不限(几乎可以在线路上任何一基杆塔上安装)。最后以此为基础, 讨论了选择取能地线的基本原则和方法。

关键词: 输电线路; 架空地线; 在线取能; 取能功率

Abstract: Tap-off power from ground wire is an ideal method for on-line monitoring devices of transmission line. The first step to design tap-off power from ground wire is the selection of ground wire of tap-off power. Based on 500 kV lines of Sichuan Electric Power Company, the performances of optical power ground wire (OPGW) and ordinary ground wire in power, lightning impact and engineering feasibility (the installation and implementation) are compared with EMTP-ATP. The results show that OPGW works better in power and lightning impact, while the installation of power-tapping devices isn't convenient (only available at the connecting point of OPGW), and for the ordinary ground wire, it behaves better in installation basically with no limits of installation (almost available for every tower), while it has worse performance in the other two aspects. Finally, the basic principles and methods to select ground wire of tap-off power are discussed.

Key words: transmission line; overhead ground wire; on-line power tapping; tapping power

中图分类号: TM726.3 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)05-0021-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.005

0 引言

架空输电线路在线监测装置一般采用架设专用低压线、太阳能电池、小型风力发电机等供电。这些供电方式的主要缺点是经济性很差、输出功率小和装置体积大^[1-2]。而近期基于相线电流的电磁感应取电^[3-5]对大多数在线监测装置并不适用。作为一种较为理想的在线供电方式,地线取能近年已成为在线取能领域的研究热点。

架空地线的能量来自于输电线路周围空间的电磁感应和静电感应^[6-7],如图 1 所示。

图 1 中相线电流在周围空间产生交变电磁场并与“地线-大地”回路交链,从而在该回路上形成涡旋感应电势,俗称纵向电势;静电感应则源于相线中静电荷的库仑电场在地线上形成的对地静电感应电压。

项目名称: 四川电网复杂运行工况下的在线监测装置适应性评估及运维关键技术研究(521997135062)

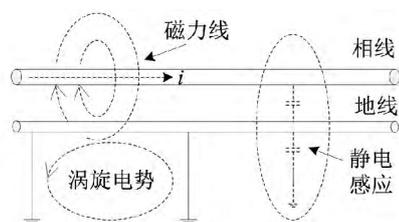


图 1 输电线路架空地线电磁感应现象示意图

典型架空输电线路通常包括两根架空地线,即分段绝缘的普通地线和逐塔接地的光纤复合地线(OPGW)^[8-11]。由于两者均接地,其静电感应电压为 0,因此不宜采用静电取能方式;但无论是否接地,地线总是存在纵向感应电势,因此,只讨论基于地线电磁感应的取能方式。

对于典型架空输电线路,两根地线都可以和大地或者彼此之间形成闭合回路,换言之从两根地线上都可以实现电磁取能。此外,取能装置还可以通过电流互感器(TA)以电磁转换的形式从地线取能^[12-13],但这种方法难以获得较大的功率,除非 TA 的尺寸足够

大,但过大的 TA 尺寸必然会带来其他风险,因此对此方法不予详细讨论。一般架空地线在线取能设计需要考虑的因素主要有取能功率、取能装置运行可靠性(主要指雷电冲击、接地故障等的影响)以及工程可行性(主要指安装实施);而普通地线和 OPGW 在这 3 方面的表现显然是不同的,因此有必要对架空输电线路取能地线的选择进行探讨。

关于典型架空输电线路地线电磁取能的研究,文献[14-15]中研究了基于电磁感应的地线取能方法并介绍了取能电路的初步设计,但并未就取能地线的选择进行探讨。因此,以四川省电力公司所属的某 500 kV 线路为基础,借助 EMTP-ATP 仿真程序,主要从取能功率、防雷性能、安装工程 3 方面讨论典型架空输电线路电磁取能地线的选择。

1 输电线路介绍

下面以四川电网某 500 kV 线的典型区段为例进行分析。导、地线纵向布置如图 2 所示。

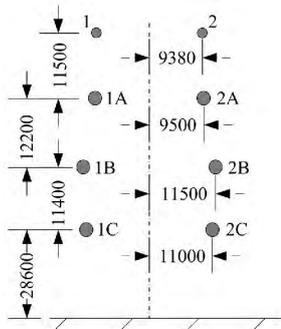


图 2 某 500 kV 线路的导、地线纵向布置示意图

图中 1 为逐塔接地的 OPGW (LBJ-150-40AC, 半径为 7.875 mm, 直流电阻为 0.293 5 Ω/km) 2 为分段绝缘的普通地线(GJ-70, 半径为 5.5 mm, 直流电阻为 1.7 Ω/km)。相线为 4 × LGJ-630/45, 半径为 16.8 mm, 直流电阻为 0.046 3 Ω/km, 分裂间距为 450 mm。土壤电阻率 ρ 为 300 Ω·m。档距为 390 m, 杆塔接地电阻均值约为 10 Ω。分段长度约 20 档。线路潮流约 360 MVA。

导线相序安排如图 3 所示。图中各换位段长度相等。

2 地线取能功率计算

取能功率的计算以上述线路为基础,通过

EMTP-ATP 程序完成。

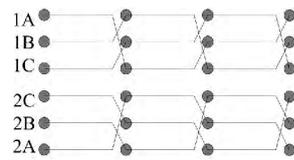
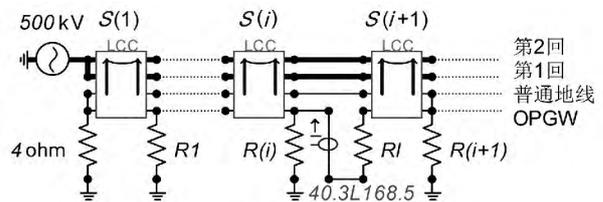


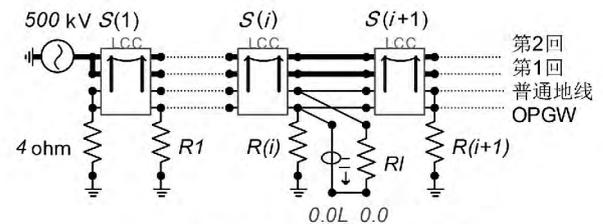
图 3 某 500 kV 线路典型区段导线相序安排

通常架空输电线路存在两种比较可行的地线取能回路,一是地线与大地组成的回路,二是地线与地线组成的回路。对于图 1 所示的同塔双回线路,两回线路左右对称,地线上的纵向感应电势幅值相位基本相同,因此可行的地线取能回路是地线与大地组成的回路。对于普通地线,将普通地线的地线绝缘子通过取能元件(记为 R_i) 并联形成接地点,再结合普通地线上已有接地点,就可以形成“地线-大地”取能回路;对于 OPGW,由于本身已逐塔接地,所以任一段地线均可和大地组成闭合回路。

仿真计算示意图分别如图 4 所示。



a) OPGW 地线取能回路仿真示意图



b) 普通地线取能回路仿真示意图

图 4 地线取能回路示意图

图 1 中 $S(1)$ 、 $S(i)$ 、 $S(i+1)$ 是 LCC 模块号, $R(1)$ 、 $R(i)$ 、 $R(i+1)$ 分别是 1 号、 i 号、 $(i+1)$ 号杆塔的接地电阻,普通地线在 $(i+1)$ 号杆塔接地。a) 和 b) 中的取能回路为 $R(i) \rightarrow R_1 \rightarrow S(i+1) \rightarrow R(i+1) \rightarrow \text{大地} \rightarrow R(i)$, 所不同的是前者的 R_1 位于 OPGW 上,后者则位于普通地线上。

分别令 R_1 为 1 Ω、5 Ω、10 Ω、20 Ω、50 Ω, OPGW 和普通地线的取能功率计算结果如表 1 所示。

表 1 中取能功率单位(W/100 A)是将相线电流换算为 100 A 时的结果,换算关系是将 100 除以相电流再取平方,然后将换算结果乘以实际

取能功率。

表1 地线取能功率计算结果

		$I / (W \cdot 100 A^{-1})$				
地线		R_1 / Ω				
		1	5	10	20	50
OPGW	1档	4.5	9.2	7.8	5.6	2.6
普通	1档	0.55	0.35	0.2	0.1	0.03
地线	10档	1.7	5.2	6.3	5.6	3.5

由表1可知:

1) OPGW地线取能功率比较大,不仅可以满足个别在线监测设备的用电需求,潮流较大时甚至可能满足输电线路在线通信的组网用电需求。

2) 普通地线的取能功率则相对很小,即使取能回路扩大10倍,其取能功率依然小于前者。可见,这种方式较适用于个别监测设备的供电。

3) 取能功率随 R_1 的变化而变化,存在最大值。

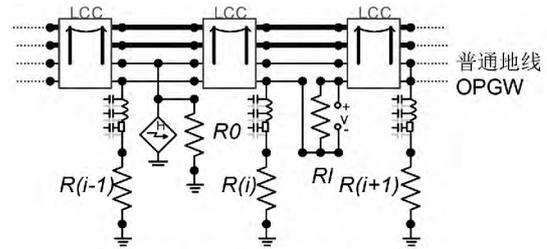
进一步仿真分析表明,取能位置、线路档距及杆塔接地电阻分布的变化对上述分析结论影响不大。但换相的影响较大,对于OPGW取能,距换相点最近时降低幅度可达70%左右,对于普通地线取能,反而有所增大,增幅可达50%以上,但功率值依然小于前者。

可见,从取能功率的角度来看,选择OPGW作为取能地线比较合理。

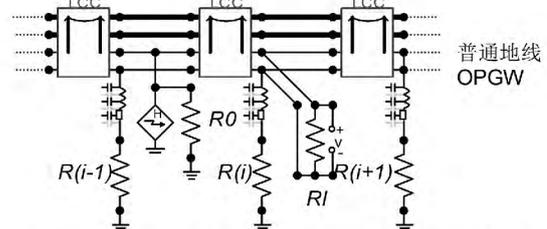
3 雷电冲击的影响

通过EMTP-ATP程序分析。杆塔模型用单波阻抗模型表示,波阻取 150Ω 。雷电波采用Heilder模型,波前和波长分别设为 $4 \times 10^{-6} s$ 和 $5 \times 10^{-5} s$,雷电通道波阻取 300Ω 。设 $(i+1)$ 号杆塔为普通地线已有接地点,取能元件 R_1 位于第 i 号杆塔的地线上并取其阻值为 10Ω (由表1可知,此时取能功率较大),雷击位置为普通地线并取雷电流峰值为 $10 kA$ 。此外,由表1可知,普通地线上的取能功率较小,一般来说需要多个档距组成取能回路方可取得较大的功率,此时雷击普通地线时落点既可能在取能环路内也可能在环路外。对于OPGW取能则不存在这种情况。设雷击位置在环路外时取能回路只含1个档距,环路内时含5个档距,则可得雷电冲击仿真截图如图5所示。

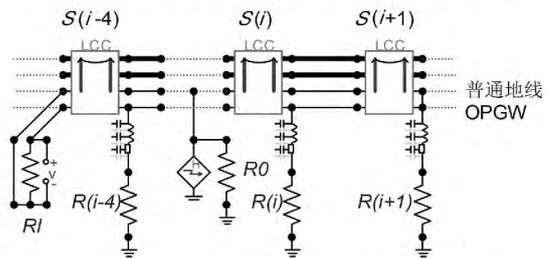
仿真结果如表2所示。



a) OPGW取能时的雷电冲击仿真截图



b) 普通地线取能时的雷电冲击仿真截图(环外)



c) 普通地线取能时的雷电冲击仿真截图(环内)

图5 架空地线取能装置的雷电冲击仿真截图

表2 R_1 所受雷电冲击电压

雷击杆塔号	$(i-4) / kV$	$(i-3) / kV$	$(i-2) / kV$	$(i-1) / kV$
a	16.3	17.5	18.3	19.4
b	56	58	57.4	65
c	69.1	53.2	42.5	36.9

表2中a、b、c分别表示图5中a)、b)、c)3种情况对应的冲击电压。

由表2可知,取能地线为OPGW时所受雷电冲击电压比普通地线低很多,因此,就防雷的角度而言,选择OPGW作为取能地线比较合理。

值得一提的是,上述仿真结果是最严重雷击情形下的结果,比如雷击落点为OPGW时所受冲击电压一般不超过 $2 kV$,但结果并不影响上述结论。

4 工程可行性

这里的工程可行性主要是指取能装置的安装实施,因为地线属于输电线路的一次回路,安装取能装置是否可行以及安装工程对电网运行的影响,都是必须考虑的。

由图4可知,普通地线取能时, R_1 需通过普通地线连接在铁塔上,实际上只须和地线绝缘子并联即可;OPGW取能时,OPGW须先从杆塔上断开形成一个接口 R_1 才可以串接在该地线上。这种方式的安装工程只宜在光纤续接杆塔上进行,在其他耐张塔上则需要割断地线铠甲层,工程量很大。可见,就安装工程的角度而言,选择普通地线作为取能地线显然更加合理。

5 讨论

综上所述,OPGW在取能功率和防雷性能上较优,但取能装置的安装不方便,只宜在光纤续接塔处安装;普通地线虽然在前两个指标上不占优势,但是安装比较方便,而且安装位置不限(几乎可以在线路上任何一基杆塔上安装):可见,作为取能地线,无论哪一根地线都不对另一根地线具有完全的优势,具体选择应结合实际情况进行判断。

对于功率需求很大的场合(如在输电线上进行在线通信组网,或某些功率很大的监控设备),宜采用OPGW作为取能地线。如果采用地线,虽然可以通过增加取能回路的档距数来增加取能功率,但此时地线损耗必然增加,尤其是对于水平排列的单回线路(此时地线上存在环流损耗)。

对于雷电活动频繁的地区,也宜采用OPGW作为取能地线,因为即使取能装置无论采用什么防雷措施,其保护效果总是有限的,频繁的雷电冲击必然影响取能装置的安全运行。

对于功率要求较小,且用电设备位于非耐张杆塔的情况,则宜采用普通地线作为取能地线。

值得一提的是,鉴于TA取能方式安装方便(直接将TA套在地线上即可)以及抗雷电冲击(TA与地线只有磁的联系)的优点,地线电流足够大且在线监测装置所需功率不太大时应该优先考虑这种方式,此时只能选择OPGW作为取能地线,因为普通地线上只有极小的静电感应电流。

6 结语

1) 针对典型架空输电线路的地线取能地线的选择,借助EMTP-ATP程序对OPGW和普通地线在取能功率、雷电冲击影响以及工程可行性(主要

指安装实施)3方面的表现做了分析比较,并以此为基础讨论了选择取能地线的方法。

2) 分析表明,OPGW在取能功率和防雷性能上较优,但取能装置的安装不方便(只宜在光纤续接塔处安装);普通地线虽然在取能功率和防雷性能上较差,但是安装比较方便,而且安装位置不限(几乎可以在线路上任何一基杆塔上安装)。

3) 地线电流足够大且用电设备功率需求不大时应该优先考虑通过TA在OPGW上取能的方式。

4) 虽以同塔双回线路为例进行分析,但结论同样适用于水平排列的单回线路。

参考文献

- [1] 熊兰,何友忠,宋道军,等. 输变电线路在线监测设备供电电源的设计[J]. 高电压技术, 2010, 36(9): 2252-2257.
- [2] Vasquez - Arnez R L, Masuda M, Jardini J A, et al. Tap-off Power from a Transmission Line Shield Wires to Feed Small Loads [C]. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America 2010: 116-121.
- [3] 李维峰,付兴伟,白玉成,等. 输电线路感应取电电源装置的研究与开发[J]. 武汉大学学报(工学版), 2011, 44(4): 516-520.
- [4] 李先志,杜林,陈伟根,等. 输电线路状态监测系统取能电源的设计新原理[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 76-80.
- [5] Peungsungwal S., Pungsiri B., Chamnongthai K., et al. Autonomous Robot for a Power Transmission Line Inspection [J]. Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst., 2001 (3): 121-124.
- [6] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 156-161.
- [7] Horton R., Halpin M., Wallace K.. Induced Voltage in Parallel Transmission Lines Caused by Electric Field Induction [C]. Proc. 11th Int. Conf. Transm. Distrib. Construct., Oper., Live-Line Maint., Albuquerque, NM, 2006: 1-7.
- [8] 胡毅,刘凯. 输电线路OPGW接地方式的分析研究[J]. 高电压技术, 2008, 34(9): 143-151.
- [9] 吴田,胡毅,刘凯,等. 复合光纤架空地线在不同接地方式下的放电路径选择特性[J]. 高电压技术, 2012, 38(4): 878-884.

(下转第42页)

5 结 论

提出一种短路期间不平衡功率的计算方法。该方法基于叠加定理,认为故障中的电网电压由正常运行中的系统电压 和一个位于短路点、大小相位与事故前电压相同但极性相反的电源产生的电压叠加而成。计算得到机端电压后可计算出发电机不平衡功率,根据该不平衡功率可初步确定切机控制敏感点。最后在 IEEE 10 机 39 节点仿真模型上验证了该方法的正确性和有效性。

参考文献

[1] 薛禹胜,毛雪雁. 用 EEAC 法实现快关和切机[J]. 电力系统自动化,1993,17(12): 14-21.

[2] Stanton S E, Dykas W P. Analysis of a Local Transient Control Action by Partial Energy Functions [J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 1989, 4(3): 996-1002.

[3] Stanton S E, Slivinsky C, Martin K, et al. Application of Phasor Measurements and Partial Energy Analysis in Stabilizing Large Disturbances [J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 1995, 10(1): 297-306.

[4] 任伟,房大中,陈家荣,等. 基于最优控制原理的电力系统紧急控制及应用[J]. 电网技术,2009,33(2): 8-13.

[5] 李函,吴京涛. ΔP 积分作为暂稳控制切机启动判据的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版),1997,37(7): 93-96.

[6] 闵勇,李函,林姿峰. 转子绝对动能增量及其在失稳模式判别中的应用[J]. 清华大学学报:自然科学版,

2003,43(9): 1161-1164.

[7] 闵勇,李函,林姿峰. 基于绝对动能增量的扩展 0-1 规划在线准实时决策算法[J]. 中国电机工程学报,2003,23(3): 5-9.

[8] 西安交通大学,清华大学,浙江大学等合编. 电力系统计算[M]. 北京:水利电力出版社,1978.

[9] 方勇杰,范文涛,陈永红,等. 在线预决策的暂态稳定控制系统[J]. 电力系统自动化,1999,23(1): 8-11.

[10] 朱江川,薛禹胜. 关于孤立稳定域的一个实例[J]. 电力系统自动化,1997,21(2): 27-31.

[11] 檀斌,薛禹胜. 多机系统混沌现象的研究[J]. 电力系统自动化,2001,25(2): 3-8.

[12] 郭琦,赵晋泉,张伯明. 基于 OMIB 的孤立稳定现象研究[J]. 电力系统自动化,2005,29(19): 14-18.

[13] 方勇杰. 用紧急控制降低由输电断面开断引发系统崩溃的风险对印度大停电事故的思考[J]. 电力系统自动化,2013,37(4): 1-5.

[14] 汤涌,卜广全,易俊. 印度“7.30”、“7.31”大停电事故分析及启示[J]. 中国电机工程学报,2012,32(25): 167-174.

[15] 李碧君,许剑冰,徐泰山,等. 大电网安全稳定综合协调防御的工程应用[J]. 电力系统自动化,2008,32(25): 25-30.

作者简介:

刘莹(1985),工程师,主要研究方向为电网规划设计、电力系统分析与稳定;

刘晓宇(1986),助理工程师,主要研究方向为电网规划设计、电力系统分析与稳定;

余婧峰(1988),助理工程师,主要研究方向为电网规划设计、电力系统分析与稳定;

张国芳(1985),工程师,主要研究方向为电力调度自动化。
(收稿日期:2015-07-13)

(上接第24页)

[10] 文明浩,陈德树,吴伯华,等. 绝缘地线间隙放电对距离保护影响的研究[J]. 继电器,2000,29(10): 25-27.

[11] 李本良,袁兆祥,惠旭,等. 降低高压交流输电线路地线损耗的运行方式[J]. 电网技术,2011,35(3): 98-102.

[12] 毋金涛,盛戈睐,曾奕,等. 输电线路在线监测装置供电电源的设计[J]. 电工技术,2009,35(2): 33-35.

[13] 刘亚东,盛戈睐,王又佳,等. 基于功率控制法的电流互感器取电电源设计[J]. 电力系统自动化,2010,34(3): 70-74.

[14] Yamaguchi T, Takano S, Naganuma O, et al. Development of Power Supply System for Obstruction Lights Exploiting Induced Current Which Flows Through Overhead Ground Wires [C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition 2002: Asia Pacific IEEE/PES, 2002: 2176-2180.

[15] R. L. Vasquez-Arnez, M. Masuda, J. A. Jardini, et al. Tap-off Power from the Overhead Shield Wires of an HV Transmission Line [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 27(2): 986-992.

(收稿日期:2015-04-22)