

风电场接地方式与零序保护整定计算

向昌明,杨宏宇,范立新,喻建
(江苏方天电力技术有限公司 江苏南京 211102)

摘要:风电场占地广、汇集线长、电容电流大,其接地方式涉及到风电场和整个电网的安全稳定运行。针对国内风电场 35 kV 系统采用的经消弧消谐柜、消弧线圈、电阻 3 种接地方式,分析了其原理和基本运行特性,给出了相应的汇集系统零序保护整定计算方法,为类似工程提供了有益的借鉴。

关键词:单相接地;电容电流;Z型接地变;零序保护;整定计算

中图分类号:TM614

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)05-0023-03

风电场由于汇集线路长且分支多,发生单相接地故障的频次相对较多,容易造成电压互感器故障、箱变避雷器烧坏、汇集线路保护动作以致风电场停机,甚至造成升压站系统侧断路器跳闸等事故。其原因是:场内汇集线路的架空线在大风时摆动或脱落,发生对横担、拉线接地;汇集线路的电缆绝缘破损对地发生间歇性放电。目前风电场 12 kV 和 35 kV 汇集线路采用中性点不接地系统,由于线路回路数较多,容性电流较大,单相接地引起系统状态瞬间改变,导致电网中电感电容回路的电磁振荡(即谐振),造成弧光接地过电压。为了消除上述影响,根据接地容性电流大小不同,目前风电场通常采用消弧消谐柜接地、消弧线圈接地及电阻接地等方式。在实际风电场运行时,上述现象经常造成保护误动。文中以某风电场送出线故障为例,对该现象进行分析,给出不同接地方式下的汇集系统零序保护的整定计算方法。

1 某风电场汇集线路故障分析

某风电场总装机容量为 50 MW,有 1.5sle 型双馈异步机组 35 台,单台风机容量 1 500 kW,每 7 台风机“T”接在一条汇集线路上,通过 5 条汇集线路的中压母线经主变升压至 220 kV,接入系统。风电场系统接线如图 1 所示。

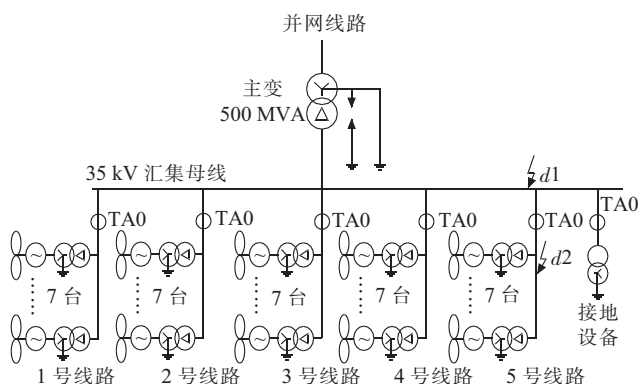


图 1 某风电场系统接线示意图

图 1 中的接地设备有消弧消谐柜、消弧线圈及经接地变的电阻等。结合实际接线,首先分析风电场不接地方式下 35 kV 母线($d1$ 点)和汇集线路($d2$ 点)发生单相接地故障时,各支路的零序电流分布情况。

该风电场 35 kV 系统发生单相接地故障时,假设线路电阻为 0,则负荷电流在电路上没有压降,故障相电压为 0,非故障相电压升高为 $\sqrt{3}$ 倍,每条线路的三相对地电容相等,分别为 $C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{04}$ 和 C_{05} ;母线及电源对地电容为 C_{0G} 。当线路 V 的 A 相发生金属性接地故障时,系统稳态的电容电流分布和零序等效网络分别如图 2 和图 3 所示^[1]。

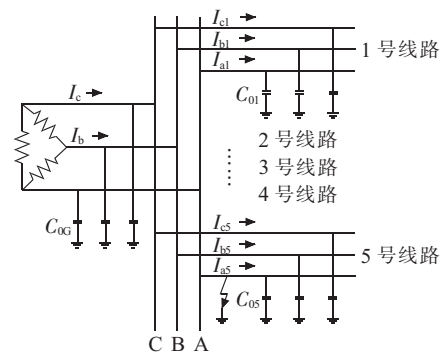


图 2 单相接地故障时电容电流分布

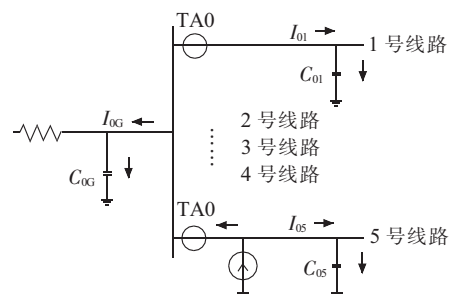


图 3 单相接地故障时零序等效网络

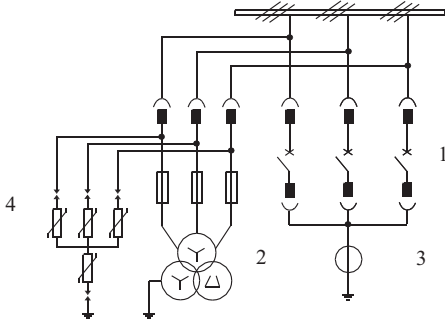
由图 2 和图 3 可以看出,35 kV 母线不接地时在 $d1$ 点接地故障下,流过这 5 条线路的零序电流是本线路对地电容电流,其方向均由母线到线路。35 kV 母线不接地时在 $d2$ 点接地故障下,正常线路(1号、2号、3号、4号线路)的零序电流是该线路的对地电容电流,其

方向由母线到线路;故障线路(5号线路)的零序电流为所有非故障元件(正常线路和主变)的对地电容电流之和,其方向由线路到母线。

2 中性点采用消弧消谐柜接地方式

2.1 消弧消谐柜的工作原理

SHK型消弧柜是较常用的消弧消谐装置。其采用微机控制方式,具有消弧功能、电压互感器(TV)功能、防止内部与外部过电压保护等功能,原理接线如图4所示。



1 为分相控制真空断路器;2 为手车式电压互感器;
3 为电流互感器;4 为过电压保护器

图4 SHK型消弧柜原理图

(1) 分相控制真空断路器。在接到微机控制器的动作命令后10ms之内完成合闸动作,使弧光接地故障在15ms之内快速转化为金属性接地。装置动作后,允许1250A的电容电流连续通过至少2h以上,用户可以先完成转移负荷的倒闸操作,再处理故障线路。

(2) 手车式TV。检测三相母线电压信号,一旦发生PT断线、单相金属接地或者弧光接地时,TV的开口三角电压立即由低电平转为高电平,启动微机控制器的中断程序来判别故障类型和相别。

(3) 零序电流互感器(TA)和接地电流表。在装置动作期间,通过接地电流表可以较准确地读出系统的接地电容电流;此时,如果健全相出现弧光接地,通过检测零序TA二次电流的突变,控制器发出跳闸指令,断路器在5ms内分闸。

(4) 过电压保护器。将相对地、相与相之间的各种过电压限制在设备绝缘允许的范围内。

2.2 经消弧消谐柜接地的零序保护整定

在中性点不接地的系统中,消弧消谐柜的功能除了TV监测、单相接地故障的检测以及故障类型的判断之外,还对单相弧光接地以及单相金属性接地的故障相直接对地短接,以减轻弧光接地带来的危害。它能保证电力系统供电的稳定性,给检修人员排除故障争取时间,但并不能消除电容电流带来的危害^[2,3]。

在以架空线路为主的风电场,电容电流较小;在以电缆线路为主的风电场,电容电流较大。应该通过合理

整定汇集线路的零序保护,迅速隔离故障,避免事故扩大。根据风电场提供的资料,计算出1~5号汇集线路的电容电流分别为6.9A,7.1A,8.5A,10.6A,9.5A。

例如:5号汇集线路区内故障时,流过其零序TA的电流为33.1A;区外故障时,流过其零序TA的电流为9.5A。零序I段保护定值按躲过本条线路区外单相接地时流过保护安装处的零序电流计算:

$$(3I_0)_{I.op} = K_{rel} I_k \quad (1)$$

式中: $(3I_0)_{I.op}$ 为零序I段保护定值; K_{rel} 为可靠系数,取1.5~2; $I_k^{(1)}$ 为本线区外单相接地时被保护设备供短路点的单相接地电流。系统容性电流较大,为了防止过电压,该保护宜动作于跳闸,保护灵敏度不小于1.5。

零序II段保护定值按本条线路区外单相接地时有一定的灵敏度计算:

$$(3I_0)_{II.op} = I_k / K_{sen} \quad (2)$$

式中: $(3I_0)_{II.op}$ 为零序II段保护定值; K_{sen} 为灵敏度系数,取1.2~2。所以,5号汇集线路零序I段定值19A,延时0.2s跳闸;零序II段定值7.6A,延时1s发信。其余汇集线路按上述原则整定。

3 中性点采用消弧线圈接地方式

3.1 消弧线圈接地的工作原理

在中性点不接地系统中,接地点将产生电弧,引起间歇过电压。当中性点经消弧线圈接地后,线圈产生的感性电流可补偿电缆的容性电流,熄灭电弧,避免过电压的产生^[4]。根据补偿度的不同可分为全补偿、欠补偿和过补偿。

风电场35kV侧绕组为三角形接线,正常无法直接引出中性点,需采用特殊的Z型接地变压器,人为地制造一个中性点,连接消弧线圈(接地电阻)^[5]。其特性是在电网正常供电情况下阻抗很高(即激磁阻抗),绕组中只流过很小的激磁电流;当系统发生单相接地故障时,其对正序、负序电流呈现高阻抗,对零序电流呈现低阻抗,使接地保护可靠动作。

常用Z型接地变压器为Zn,yn11,接线如图5所示。其铁心为三相三柱式,每一铁心柱上有2个绕组,匝数相等绕向相同,反极性串联成曲折形绕组。A1、B1、C1绕组末端分别与C2、A2、B2绕组末端相连,然后C2、A2、B2首端相连,即形成曲折变压器的中性点N。其通常兼做场用变压器^[6]。

某风场接地变为THT-DKSC-1400/35-200/0.4,一次容量1400kV·A,二次容量为200kV·A,额定电压为35/0.4kV,连接组别标号为Zn,Yn11,短路阻抗 $U_d=4.5\%$,零序阻抗为50.8Ω。选用接地电阻阻值为35Ω,短时允许电流600A,短时通流时间10s。

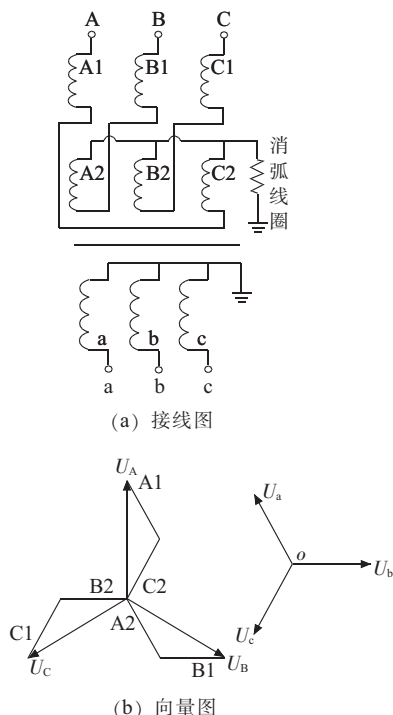


图5 ZN,yn11型接地变压器接线图及向量图

3.2 经消弧线圈接地的零序保护整定

为了防止汇集线路发生串联谐振,在风电场中普遍采用过补偿。在过补偿方式下,1号汇集线路区外故障时,流过线路零序TA的电流为6.9A,方向是由母线到线路;区内故障时,流过线路零序TA的电流为补偿后的感性电流,方向也是由母线到线路。因此,难以根据电流的方向来判别故障线路。另一方面,由于过补偿度不大,残余电流比较小,甚至小于非故障相的零序电流,所以很难根据零序电流的幅值来判别故障线路。母线单相接地故障下,流过接地变零序TA的电流约为非故障线路的电容电流之和。

汇集线路的零序定值按本条线路区外单相接地时有一定的灵敏度计算:

$$(3I_0)_{\text{I.op}} = (3I_0)_{\text{II.op}} = I_k / K_{\text{sen}} \quad (3)$$

式中: K_{sen} 取1.2~2。所以,5号汇集线路零序保护定值7.6A,延时1s发信。其余汇集线路按上述原则整定。

接地变的零序定值按躲过汇集线路容性电流的最大值计算:

$$(3I_0)_{\text{I.op}} = (3I_0)_{\text{II.op}} = K_{\text{rel}} I_k \quad (4)$$

式中: K_{rel} 取1.5~2。所以,接地变零序保护定值16A,延时1s发信。

采用消弧线圈接地方式,在单相接地时允许运行2h,运行人员可在此期间排除故障,保证供电不受影响。当所有的零序保护均告警时,接地故障点在35kV母线或接地变支路;当某汇集线路零序保护未告警而其余设备告警时,故障点在该支路。

4 中性点采用电阻接地方式

4.1 电阻接地的工作原理

中性点经电阻接地方式,即是中性点与大地之间接入一定电阻值的电阻。该电阻与系统对地电容构成并联回路,由于电阻是耗能元件,也是电容电荷释放元件和谐振的阻压元件,对防止谐振过电压和间歇性电弧接地过电压,有一定优越性。将图5中的消弧线圈换成电阻即为风电场常用的电阻接地方式。3.1节接地变经电阻接地后的等值电路如图6所示^[7]。

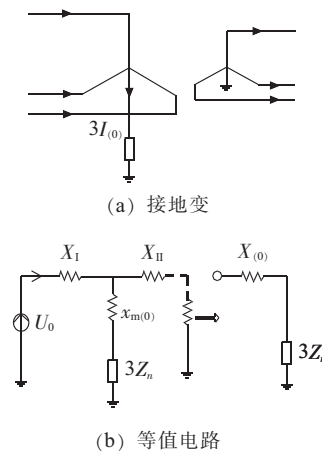


图6 中性点经电阻接地的接地变及其等值电路

4.2 经电阻接地的零序保护整定

零序I段保护定值按该线路单相接地时流过的最大零序电流有足够灵敏度计算,为:

$$(3I_0)_{\text{I.op}} = \frac{1}{K_{\text{sen}}} \times \frac{3U_N}{\sqrt{3} |3R + jX_0|} \quad (5)$$

式中: K_{sen} 为灵敏度系数,取1.5~3; U_N 为汇集线路的标称电压; R 为接地变中性点电阻; X_0 为接地变零序阻抗。此时,零序I段定值220A,汇集线路延时0.2s跳闸;接地变延时0.8s跳闸,与线路零序相配合。

零序II段保护定值按躲过正常运行时流过的最大不平衡电流计算:

$$(3I_0)_{\text{II.op}} = (0.3 \sim 0.4) I_E \quad (6)$$

式中: I_E 为汇集线路或接地变的负荷电流。此时,零序II段定值112.2A,汇集线路延时2s跳闸;接地变延时2.6s跳闸,与线路零序相配合。

5 结束语

风电场采用大量电缆或者架空线路,一旦发生接地故障,产生的弧光、过电压以及较大的接地电流对电气设备的危害十分严重。国家电网调(2011)974号文件要求:风电场汇集线系统应采用经电阻或消弧线圈接地方式,不应采用不接地或经消弧消谐柜接地方式。

(下转第29页)

- [6] 房庆辉,张长发,赵金海,等. 6 500 MV·A 冲击发电机转子平衡特点[J].大电机技术,2001(3):21-23.
- [7] 张万兵,邵桂兰,宋晓东,等. 6 500 MV·A 冲击发电机结构特点[J].电工电气,2010(9):31-33.
- [8] 张亮,刘大鹏,邵桂兰,等. 大中容量短路试验发电机主要设计特点[J].大电机技术,2011(3):28-31.
- [9] 黄实,李秉杰,张海峰,等. 4 000 kW/3 600RPM 双馈变频调速系统在 6 500 MV·A 短路发电机组中的应用[J].电气技术,2008(9):84-91.
- [10] 辜承林,陈乔夫,熊永前. 电机学[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
- [11] YODA H, FUJITA M, NAKAMURA E, et al. The World's Largest Class 8 880 MV·A Short Circuit Generator[C].Power Engineering Society Summer Meeting 2002 IEEE, 2002.

作者简介:

汪海波(1983)男,浙江台州人,工程师,从事电力拖动与大容量试验室建设工作;

万德春(1974)男,湖北麻城人,高级工程师,从事电力系统自动化与电力设备试验方面的研究;

洪深(1962)男,安徽六安人,高级工程师,从事高压电器产品的大容量试验研究。

A Research on the Short Circuit Current Attenuation Characteristic of Short Circuit Generator with Large Capacity

WANG Hai-bo, WAN De-chun, HONG Shen

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper first briefly introduces the operational principals of short circuit generators. Then from the point of view of high-power laboratory, the attenuation characteristics of the short-circuit current of China-made 6 500 MV·A generator is studied and its MATLAB-based simulation mode is established. Based on the simulations of the attenuation characteristics of short-circuit current, the best choices of force excitation multiples to meet the requirements of relevant testing standards for three typical external impedance conditions are identified. The results of this paper provide a valuable reference for future operation of high-power laboratory.

Key words: short-circuit generator; short-circuit current; high-power laboratory; force excitation; simulation

(上接第 25 页)

针对目前风电场常用的 3 种接地方式,分析了不同方式下零序电流的产生原理,给出了相应的零序保护的计算方法。合理地整定汇集线路的零序定值、充分利用其保护功能,能有效避免风机脱网事故发生,从而保障电网运行安全。

参考文献:

- [1] 汤云岩,周巧俏,陈继军.小电流接地系统单相接地选线方法介绍[J].电工电气,2012(6):56-59.
- [2] 杨华,陈式献,涂斌.XHG 消弧柜在供电系统中应用的分析[J].江西冶金,2011,31(2):21-24.
- [3] 石启新.两种新型接地消弧消谐柜的性能比较分析[J].广西电力,2006(4):24-27.
- [4] 周一峰.一种单相接地引起消弧线圈事故分析[J].江苏电机工程,2010,29(5):16-17.

[5] 许凯.接地变的参数确定和保护计算[J].机电工程技术,2011,40(7):153-155

[6] 李玲,李国庆,王振浩.小电流接地系统 Z 型接地变压器模型设计[J].吉林电力,2006,184(3):24-27.

[7] 李光琦.电力系统暂态分析[M].北京:中国电力出版社,2007.

作者简介:

向昌明(1965),男,江苏泰兴人,高级工程师,从事网源协调方面的研究工作;

杨宏宇(1979),男,河南上蔡人,工程师,从事继电保护整定计算与新能源应用的研究工作;

范立新(1966),男,安徽巢湖人,高级工程师,从事继电保护和新能源研究工作;

喻建(1987),男,江苏如东人,助理工程师,从事继电保护和电气试验方面的研究工作。

Grounding Mode and Zero Sequence Protection Setting Calculation of Wind Farm

XIANG Chang-ming, YANG Hong-yu, FAN Li-xin, YU Jian

(Jiangsu Frontier Electric Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: A wind farm covers a vast area and the capacitive current of wind farms' assemble lines are relatively large. Therefore, the grounding modes of these assemble lines are critical to the safe operation of wind farms and the entire power grid. Three kinds of grounding modes, namely through harmonic elimination cabinet grounding, through extinction coil grounding and through resistance grounding, are analyzed. Based on the analysis a method for calculating the setting parameters of zero sequence protection system is presented which provides a valuable reference for future similar projects.

Key words: single-phase grounding; capacitance current; Z-type of grounding transformer; zero-sequence protection; setting calculation