

# 风电场送出线路距离保护的探究

王银萍<sup>1,2</sup>, 王维庆<sup>1,2</sup>, 张新燕<sup>1,2</sup>, 王海云<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047;

2. 教育部可再生能源发电与并网控制工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830047)

**摘要:** 风电场的电气特性必须符合新的大型风电场并网标准和要求。按照这些要求,风电场受到的约束仅仅是当时的风力条件,应该能在传统发电厂的水平上完成控制任务。例如,在电网降低输电容量时(如主干电网器件替换或检修),风电场的所有风力机可以运行,但功率水平降低。风电场也必须能参与局部平衡控制(二次调频)。主要基于具有低电压穿越能力的双馈风机,在联络线的风电场侧和网侧都采用距离保护,增加保护的可靠性,并建立保护模型,并将其与风机模型相结合进行研究。

**关键词:** 低电压穿越; 双馈风机; 风电场; 距离保护

**Abstract:** The electrical characteristics of wind farms must comply with the new integration standards and requirements of large-scale wind farm. According to these requirements, the wind farm is constrained by the wind conditions just at that moment, and it should be able to complete the control tasks on the level of the conventional power plants. For example, when the grid reduces the transmission capacity (such as the device replacement or repair of main power grid), all the wind turbines of wind farms can still be in the operation, but the power level is low. And wind farms also must be able to participate in local balance control (secondary FM). Based on doubly-fed induction generator with low voltage ride through (LVRT) capability, the distance protection is adopted in the wind farm side and the grid side of the link line in order to increase the reliability of protection. Then the protection model is established and studied combining with the induction generator model.

**Key words:** low voltage ride through (LVRT); doubly-fed induction generator; wind farm; distance protection

中图分类号: TM773 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)03-0007-03

## 0 绪论

在风电场如何联网的争论中,它的特点就是综合了保护的复杂性和系统的安全性。简单的投切式连接或用熔丝 T 接对配电等级是可以接受的,但对输电等级就不能接受。距离保护(Weedy 和 Cory, 1998)是人们经常使用的系统之一,但这种保护很可能发生误动作,因为它把 I 区范围的末端“看成”必须保护的主干电路,这种保护方案会越限进入甚至超过向风电场供电的变压器。因此风电场内的主干系统可能会因扰动而跳闸。

## 1 采用双馈风机的变速恒频风电机组概述

为了使机组转速能够快速跟踪风速的变化,必

须对发电机的转矩实施控制,为此,只需在发电机与电网之间接入变流器,使发电机与电网之间解耦,就允许发电机变速运行了。由于变流器通过发电机的全部输出功率,因此,变流器的容量较大、成本较高。当变速恒频风电机组不需要大范围的变速运行,而只需在较窄的范围内实现变速控制时,可选择双馈(绕线转子)感应发电机,发电机的定子绕组直接与电网相连,用于变速恒频控制的变流器接到发电机转子绕组与电网之间<sup>[1]</sup>。这时,需要对双馈感应发电机实行转速和转矩的 IV 象限控制。实际上,采用双馈感应发电机的方案在原理上与感应电动机串级调速相类似,当电机运行于第 II 象限时,电机运行于发电机状态,其电磁转矩为制动特性;当调节转子附加电动势(即变流器的电机侧电压)的大小或相位时,就改变了发电机的转子电流和电磁转矩,同时,也就改变了发电机的转速。只要令变流器的电机侧电压跟踪风速变化,发电机的转速就可以快速跟踪

基金项目: 教育部创新团队项目(IRT1285); 国家自然科学基金(51267017); 新疆研究生科研创新项目资助(XJGR12013034)

风速的变化了。

采用双馈发电机时,需要控制的只是转差功率,而转差功率一般不超过发电机额定功率的 1/3,使变速恒频双馈感应发电机组的控制成本大为降低,这也是双馈感应发电机在大型发电机组中的应用日益广泛的主要原因。双馈(绕线转子)感应发电机的运行原理与笼型感应发电机基本相同,只是由于转子使用了绕线型绕组,才使之可以实现双馈运行。所谓双馈就是电机的定子和转子都可以馈电的一种运行方式,而馈电一般是指电能的有方向传送。对于双馈感应发电机来说,定、转子的馈电方向都是可逆的<sup>[2]</sup>。在定子侧,当电能的传送方向为电机至电网方向时,电机为发电机运行,电能传送方向为电网至电机方向时,电机为电动机运行;在转子侧,在变频器的电机侧电压的控制下,电能传送的方向也是可逆的<sup>[3]</sup>。双馈感应发电机的运行状态和功率传递关系见图 1。

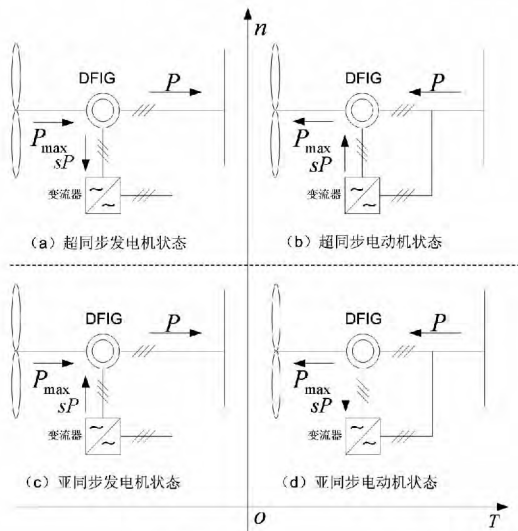


图 1 双馈感应发电机的运行状态和功率传递关系

## 2 风电场送出线路距离保护的模型分析

### 2.1 与输电系统相连的风电场距离保护

继电器可以通过相关的电压和电流有效测量阻抗。对于小阻抗距离(比如到变电站 2 距离的 80%——目的是防止超越到变电站 2 中的变压器)内的故障,故障会被无延时的 1 区保护迅速清除。2 区保护检测这一范围之外的故障,并引入一个延时。到变电站 2 距离最后 20% 区段的故障经常被检测成节点 2 的反向潮流,并会有一个加速信号送到节点 1,产生一个 1 区跳闸时间<sup>[4]</sup>。

结果是,规划人员很可能用开关设备把回路分成两段,把风电场放在两个普通馈线之间。这需要 2 至 3 台断路器。图 2 是三断路器配置,而图 3 是两断路器配置。

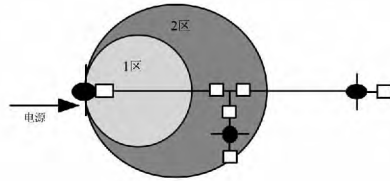


图 2 距离保护——三断路器配置

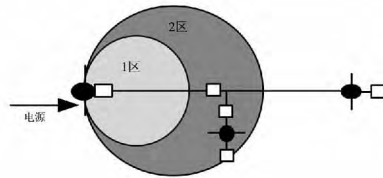


图 3 距离保护——两断路器配置

### 2.2 模型的建立

风力发电机组会对无线电磁波的传输产生干扰,因此应避免在导航设施或通讯中继站附近安装风力发电机组。风力发电机组对电视和无线电信号的干扰,很大程度上受机型和地理环境的制约。可以采用下面的经验公式来估算信号受干扰的区域。

$$r = \frac{c\eta A}{lm_0}$$

式中  $r$  为受干扰区域半径;  $A$  为叶轮的投影面积;  $\eta$  为叶轮的干扰率,金属叶片取 0.7,玻璃钢叶片取 0.3;  $l$  为电视信号的波长;  $c$  为电视发射塔,接收机和风力发电机组之间的几何位置常数:如果电视发射塔、接收机和风力发电机组三者一条线上取  $c = 2$ ,如果风力发电机组在电视发射塔所发射的电波水平线后面,取  $c = 2 \sim 5$ ;  $m_0$  为干扰强度指数,一般取 0.15。

对于电视信号受到干扰的区域,可以通过调整接收天线、安装一个小型的辅助差转台或用有线电视传输电视信号等方法消除干扰对居民生活的不利影响。

## 3 风电场送出线上故障时距离保护的动作用

如果要把远方操作、接地、SCADA、蓄电池充电器和安全配置都纳入,很可能导致保护方案过于昂贵。输电企业可能会尽可能确保 T 接设备的所有问题都配备自我保护,力图保留主干电路的安全

配置,使主干系统保持原样。尽管三段距离保护方案是可以实现的,但 T 接电路的长度和位置在决定方案的可靠性方面却非常重要。它的替代方案是通信要求很高的全三端单元保护(full 3-ended unit protection)。

风电机组的感应发电机通过 0.69/35 kV 箱式变压器接入风电场内部电网。内部电网配置为 8 排(8 段),每段含 10 台风力发电机组。各排内部的风电机组都连接到 30 kV 海底电缆。同段内相邻风电机组间距为 1 500 m,而相邻段的距离为 850 m。这样的距离选择符合 5 倍风轮直径的经验值,可以保证能显著降低塔影效应。所有 30 kV 海底电缆段都连接到装有 30/30/132 kV 三绕组变压器的海上平台。再通过一条 132 kV 海底和地下电缆,将海上风电场接入陆地输电系统的连接点。这种情况下,选择交流接入输电网,进行短路故障研究之前,首先要确保线路分断本身(短路容量降低到 1 000 MVA)不会导致电网电压失稳。如果发生电压失稳,则必定是由施加于输电系统选择点的短路故障引发的。系统仿真图如图 4 所示及线路参数。

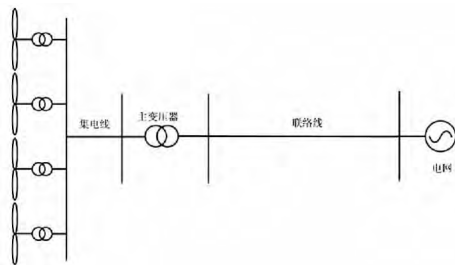


图 4 系统仿真图

表 1 线路参数

名称	长度	型号	电阻	电抗
集电线	5	LGJ-120	0.266 6	0.390 1
联络线	30	LGJ-240	0.132	0.401 1

在单相接地故障下,对保护进行仿真设置故障在 0.5 s 发生,持续时间为 0.1 s,各变量仿真图如图 5 所示。

从图 5 可看出,当风电场接入系统后,发生单相接地故障时,导致相间接地距离阻抗圆中的 AC 相落在阻抗圆内,导致保护误动,扩大了故障范围。

经常可以使用故障后自动重合闸,因为大量故障是暂时现象,如与树枝触碰、导线和鸟接触等。这种措施被视为一种减少用户用电中断时间的主要工具。但随着嵌入式发电的增长,它也会造成一些困难。即使出于安全考虑把自动重合闸排除在常规事件之外,它也经常在雷电和风暴条件下使用,以减少对检修队伍的需求。通常的规定是不允许对电缆和

变压器故障使用自动重合闸,因为它是暂时性现象,可某些风电场直接接入大电源或电网的低压侧。可以拥有这类发电设备的断路器是电业部门的决策问题,但开关设备配备的母线区保护可能需要扩展(或更换),以纳入增加的电路。它的关键节点被分为几个子段。这种保护会检测故障发生区域,并将这一区域隔离。在关键位置,还要配置断路器失效保护。在发生断路器拒跳事件时,这一保护会检测故障,跳开该节点的其他所有电路,以防止继续向故障点供电。对这一保护还需要修改,把新回路考虑在内。另一个问题是变压器是否配置逆功率保护。低负荷时,大型风电场大量发电会导致通过变压器的潮流反向。但如果变压器有能力承受这一水平的逆向潮流,那么这就只是一个保护定值问题。可以安装逆功率保护来防止故障点逆向供电<sup>[5]</sup>。

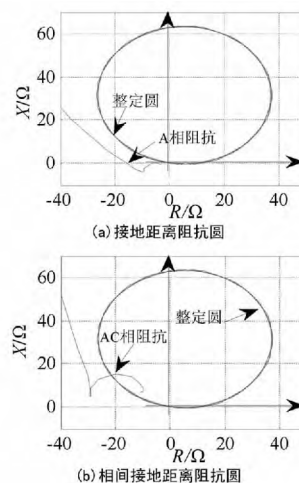


图 5 接入风电场后线路阻抗仿真图

风电机组的故障穿越能力可用定速风电机组的结构与控制来改善。这种改善基于定速风电机组的动态稳定极限,它可降低动态无功补偿的容量要求。因此,降低动态无功补偿容量要求可作为结构改进和改善定速风电机组故障穿越能力控制的度量。

### 4 结 论

因此,研究短时电压稳定性时,可以把定速主动失速控制的风电机组表示为失速控制。当动态无功补偿和其他控制都没有时,短路故障会导致大型海上风电场电压失稳。只要风电机组保持联网,大型海上风电场内不同风电机组上标注的发电机转速、机端电压和其他参数的波动就都会是同相的,不会相互反相。这样的同相波动称为相干响应,波动的固有频率等于机轴的扭曲模。

(下转第 33 页)

平衡点的重点在于牵引变压器的安装容量<sup>[4]</sup>。如果按照最大需量收取基本电费,铁路部门会把最大需量报低以节约基本电费。所以电网公司要将实际负荷中超出最大需量部分予以高倍罚款来遏止这一现象。

(4) 无功计量可采用反送正计,谐波功率也纳入计费范围。因此其基本电价应该在按照牵引变压器容量或者最大负荷需量的基础上再加上一定的罚款,以此来督促铁路部门对电铁的谐波、无功进行治理。

(5) 电力部门必须在电铁投运前作出充分的实地调研,包括电能质量、继电保护及自动装置、电能计量准确性、系统无功补偿等,将电铁产生的危害降到最小,并对已投运电铁进行实测,对不满足要求的,尽快提出整改意见。

(6) 供电部门可以根据铁路部门月用电量或年用电量寻求电价计费方式<sup>[2]</sup>新方案,制订合理的方案供铁路部门选择,这样在督促用电客户提高用电设备或最大负荷的利用率的基础上,对牵引变压器电网容量占有进行合理的收费。

## 5 结 论

综上所述,综合评价技术经济性,单相接线最好,其次是 V/v 和平衡接线,YNdll 接线最差。由第 3 节实测数据分析可知,在两条供电臂负荷的随机分布下,不同接线牵引变压器的负序电流恒有以下结果:平衡接线最小,三相接线次之,单相接线最大。铁路部门只有根据实际情况合理选择变电所接入的系统电压等级和选用合适的牵引变压器才能够起到改善变电所系统三相电压不平衡的作用,采取措施提高容量利用率及系统功率因数,减小负序电流及

高次谐波的干扰,在保证正常供电和达到电能质量标准的基础上,尽量减少变压器容量才是降低容量电费问题的根本方法,供电公司要根据实际牵引变电所接线方式和负荷状况制定合理的技术标准,并采取惩罚措施来规范和督促铁路部门对不平衡牵引负荷的治理。

### 参考文献

- [1] 谭秀炳. 交流电气化铁道牵引供电系统(第三版) [M]. 成都:西南交通大学出版社,2009.
- [2] 李群湛,贺建闽. 牵引供电系统分析 [M]. 成都:西南交通大学出版社,2010.
- [3] 贺建闽,李群湛. 面向电力市场的电气化铁道 [J]. 电气化铁道,1997(4):1-3.
- [4] 贺建闽,黄治清. 牵引变压器容量的合理选择 [J]. 电气化铁道,2005(6):1-5.
- [5] 曹建设,臬秀芳. 牵引变压器的过负荷能力及容量的合理选择 [J]. 电气化铁道,2008(1):10-13.
- [6] 王金浩,薛磊,李蒙赞,等. 不同牵引变压器接线方式的应用研究 [J]. 现代电力,2009,26(1):33-39.
- [7] 兰青,李群湛,米天翔,等. 电气化铁道电价收费方式的探讨 [J]. 铁道运输与经济,2007(2):35-37.
- [8] 吕文利. 高速客运专线基本电费缴纳方式的探讨 [J]. 铁道建筑技术,2011(5):50-52.
- [9] 贺建闽,李群湛. 牵引变电所功率因数及其补偿措施研究 [J]. 铁道学报,1997(6):116-120.
- [10] 陈清瑞. 两部制电价制度与改进策略 [J]. 粤港澳市场价格与管理,2008(9):7-8.

### 作者简介:

仇龙刚(1988),硕士研究生,研究方向为牵引电力系统、电能质量、直流牵引供电系统等。

(收稿日期:2014-03-20)

(上接第 9 页)

### 参考文献

- [1] 徐岩,林旭涛,赵亮,等. 大型风电场对工频故障分量距离保护影响的研究 [J]. 电力系统保护与控制,2013(10):118-125.
- [2] 张保会,张金华,原博,等. 风电接入对继电保护的影响(六)——风电场送出线路距离保护影响分析 [J]. 电力自动化设备,2013(6):1-6.
- [3] 余昆,曹一家,陈星莺,等. 含分布式电源的地区电网动态概率潮流计算 [J]. 中国电机工程学报,2011(10):118-125.
- [4] 陈培育,郭小燕. 风电场风速平稳性及其平稳化处理

研究 [J]. 河南科技,2013(16):153-154.

- [5] Urmila M. Diwekar. A Novel Sampling Approach to Combinatorial Optimization Under Uncertainty [J]. Computational Optimization and Applications,2012(20):102-103.

### 作者简介:

王银萍(1987),硕士研究生,研究方向为风机控制与电力系统继电保护;

王维庆(1959),教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统自动化和风力发电机的智能控制;

张新燕(1964),博士,教授,硕士生导师,研究方向为电力系统控制;

王海云(1973),副教授,硕士研究生导师。主要研究方向为可再生能源发电与并网技术。

(收稿日期:2014-03-10)