

# 风电场并网与重合闸配合的探讨

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:** 随着风电在电网的比例增大,在电网故障时,风机应具备一定的故障穿越能力,也就是风机的低电压穿越(LVRT)能力。含 LVRT 能力的风机的风电场在并入电网后,首先是改变了系统的结构,另外,系统故障时,风力发电机也表现了其特有的故障特性,因此,使系统原有保护不可靠动作。主要讨论了风电场并网后对重合闸前加速、后加速分别造成的影响,并根据不同的影响给出了相应的改进措施,并由此得出在不同的故障位置下,风电场并不能全部进行低电压穿越运行的结论。

**关键词:** 低电压穿越; 故障特性; 重合闸; 改进措施

**Abstract:** As the proportion of wind power increases in power grid, the fan should have the fault ride-through capability when the grid fails, that is, the low voltage ride-through (LVRT) capability of fan. After the wind farms including wind turbines with LVRT capability connect to the grid, the structure of the system is changed firstly. In addition, when the system has failures, the wind turbines also show its unique fault characteristics. So the existing protection of the system cannot act reliably. The respective influences of wind farm after its connection to the grid on the former and the back acceleration reclosure brakes are mainly discussed, and the corresponding improvement measures are given according to the different influences. And thus the conclusions are obtained that not all of wind farm will be able to run across a fault in different fault locations.

**Key words:** low voltage ride-through (LVRT); fault characteristics; reclosing; improvement measures

中图分类号: TM773 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)04-0010-04

## 0 引言

含低电压穿越(low voltage ride through, LVRT)能力的双馈风机的风电场在并入电网后,首先是改变了系统的结构,另外,系统故障时,风力发电机也表现了其特有的故障特性,因此,使保护不能可靠动作,大量学者对其进行了探索研究,提出了一些方法。除此之外,实际中应该注意的是,风电场接入后被改变的结构系统,其原来配置的保护和安稳装置都将会受到影响。因此,除了对上述保护改善除外,其他还有众多待处理问题,例如:风机并入电网后对电网的影响;之前电网自身所带保护与改进后的风电场并网处保护之间的协调配合;具有低电压穿越能力的风电场接入情况下,系统不同位置故障时不同重合闸方式的动作策略等。只有将这些问题都大致弄清楚的情况下,才能使风电机组在接入电

网后更好地实现低电压穿越并网运行。

## 1 故障统计

在电网故障中,有很多种原因,表 1 是某地区 110 kV 线路在 5 年内引起故障原因的比例,对这些故障进行分类,即分成永久性故障和瞬时性故障<sup>[1]</sup>。如表 2 所示,从表可以看出,在统计的 5 年内,42 起永久性故障,占总故障的 25.77%,而瞬时性故障发生 121 起,占总故障的 74.23%,因此,瞬时性故障占到总故障的 3/4,因此,自动重合闸应用,可以明显提高供电系统的供电可靠性<sup>[2]</sup>。

假设并入电网的风电场具备 LVRT 能力的风机,在系统线路发生不同故障下,系统继电保护、风电机组、重合闸的动作情况以及系统的最终运行情况<sup>[3]</sup>见表 3。当并网点测量电压小于 20%  $U_N$  时,无论风机是否带有低电压穿越功能,所有的机组都会全部跳闸,脱网运行,符合中国对风机的低电压穿越要求。

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)

表 1 故障原因统计

事故原因	1	2	3	4	5	总计
异物挂线	4	6	7	9	4	30
外力破坏	7	9	8	9	12	45
恶劣天气	3	5	4	11	6	29
弓子线烧断	0	0	0	0	2	2
越级跳闸	2	0	1	1	1	5
污闪	2	5	3	4	4	18
未知原因	4	8	7	6	9	34
总计	22	33	30	40	38	163

表 2 故障性质统计

类别	永久性故障	瞬时性故障
第 1 年	6	18
第 2 年	8	22
第 3 年	8	18
第 4 年	12	33
第 5 年	8	30
合计	42	121
比例 / %	25.77	74.23

表 3 线路故障时重合闸对风电机组的影响

线路故障性质	继电保护	机组	重合闸	机组	效果
单相瞬时接地	并网点电压低于 $20\% U_N$ 保护正确快速切出故障	全部跳闸	动作成功	维持脱网	电网恢复, 风电全部脱网
	并网点电压高于 $20\% U_N$ 保护正确快速切出故障	继续并网运行	动作成功	维持并网运行	电网恢复, 风电全部并网运行
	并网点电压低于 $20\% U_N$ 保护正确快速切出故障	全部跳闸	动作不成功, 保护三相跳闸	维持脱网	全部风电机组立即跳闸, 电网二次冲击且切除升压站
单相永久接地	并在 $20\% U_N$ 和 $U_{FR}$ 之间 保护正确快速切出故障	继续并网运行	动作不成功, 保护三相跳闸	全部跳闸	全部风电机组重合时跳闸, 电网二次冲击且切除升压站
	并网点电压高于 $20\% U_{FR}$ 保护正确快速切出故障	继续并网运行	动作不成功, 保护三相跳闸	全部被切除	电网二次冲击且切除升压站及全部穿越二次故障的风电机组
多相故障	保护正确快速切除三相	全部跳闸或被切除	不重合	维持跳闸或被切除	升压站及所带机组被切除

其中  $U_{FR}$  为风电机组能渡过故障穿越的电压。为了充分利用重合闸快速切断系统发生的故障, 一般采用前加速重合闸和后加速重合闸与继电保护来配合着使用。在具有 LVRT 能力的风电场接入系统馈线模式下, 在不同线路位置故障时, 会对风电场主馈线与输电线上的保护引起种种问题, 以及不同位置保护与前加速、后加速重合闸的协调运作问题, 通过对这些问题解决来增强风机的低电压穿越能力, 是对与具有 LVRT 能力的风电机组并网与系统继电保护相配合研究的延伸和有效补充。

## 2 对重合闸方式的影响

对电源单侧供电的系统而言, 一般采用三相一次重合闸, 由于只有一侧电源, 所以不用对重合闸重合时检同期<sup>[4]</sup>。但是, 具有 LVRT 能力的风电机组接入电网后, 系统就变成了双端供电系统, 而双端供电需要检同期才能进行重合。而且, 还要求在解除

故障点前, 若风电机组在规定的电压跌落和低电压持续运行时间区域内, 风电场对电网进行不间断供电。所以, 不论是系统重合闸还是送出线重合闸都将受到极大的挑战。由于故障时, 重合闸前加速和重合闸后加速的重合时间和次序不同, 所以受到的影响也不尽相同。下面分别对这两种方式受到的影响进行分析。

### 2.1 对重合闸前加速的影响

重合闸前加速是指当线路任意一段发生故障时, 如不考虑选择性的原则, 首次都由离电源侧最近的保护瞬时动作, 继之保护以重合; 若能再次合闸, 说明故障时瞬时性故障, 电网对旗下用户恢复供应电能; 若于永久性故障情况下重合, 保护再逐级按时限配合关系有选择性地切除故障。一般前加速与几段辐射线配合使用, 而重合闸设备只安排在靠近电源的一段线路上, 这样能够在瞬时故障情况下快速切除, 确保对用户的供电。然而, 当线路采用重合闸前加速时, 具有 LVRT 能力的风电场的接入, 会对重

合闸带来一定的影响,现以风电场通过 110 kV 母线接入系统为例(如图 1 所示),对系统故障时风电场的接入对重合闸前加速的影响进行分析。

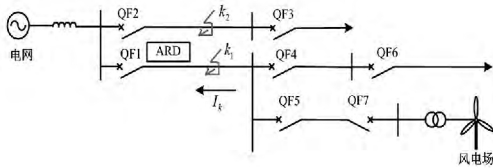


图 1 不同故障位置下保护的影响

图 1 中, QF1、QF2、QF3、QF4、QF5、QF6、QF7 代表断路器, ARD 为自动重合闸装置(此处采用重合闸前加速),本线路故障时,离电源最近保护处的 QF1 跳闸,重合闸重合,但是在重合闸装置准备重合前,风电场必须与电网断开,否则即使是瞬时性故障也将无法进行重合。因为风电场继续并网运行时,将不断向故障点输入短路电流,导致电弧不会熄灭。另外,保护 1 处断路器跳闸后,风电场与电网失去电气联系,无法同步并联运行,否则,非同期合闸不仅引起很大的冲击电流,而且会危及机组的安全运行。

相邻线路 k2 故障时,风电场会向故障点提供反向故障电流,由于近年来风电场容量的迅速增加,而且在保护 1 处的保护不具备判别方向的能力,所以可能会导致保护 1 的误动,因此需要对 1 处的保护进行重新整定。所以,只有在保护 1 处不误动的情况下,风电场持续向非故障馈线供电,风电机组才能实现 LVRT 运行,对电网的恢复起到一定的作用。

最后,当风电场在离变电站近的位置接入时,如图 2 所示,此时,当故障时,断路器 QF1 检测到系统流过的短路电流,迅速跳闸,继之重合闸前加速重合。当风电场接入后,使断路器 QF1 检测到的短路电流变小了,降低了保护动作的灵敏度,严重的时候还可能导致保护拒动。

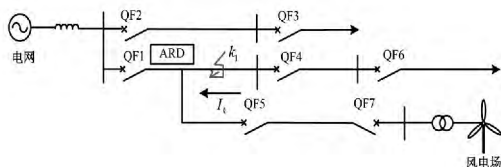


图 2 灵敏度分析图

由此可得,风电机组并不是在所有的电网内故障时都能够进行低电压穿越运行。对于放射结构下的重合闸前加速方式,只有发生在本主馈线以外的

线路下的故障,风电机组才能实现低电压穿越运行。而当本馈线支路故障时,风电机组必须尽快断网。另外还会使保护的灵敏度降低。

### 2.2 对重合闸后加速的影响

重合闸后加速是指当线路第一次故障时保护有选择地动作,然后进行重合<sup>[5]</sup>。永久性故障时,断路器闭合后再加速跳闸切除故障,与首次时限无关。

当相邻线路故障时,如图 3 所示,根据重合闸后加速动作原理,断路器 QF2 的动作时间有可能比 QF1 的时间长,断路器 QF1 可能在风电场提供的反向电流下误动,使正常线路的保护误动作。

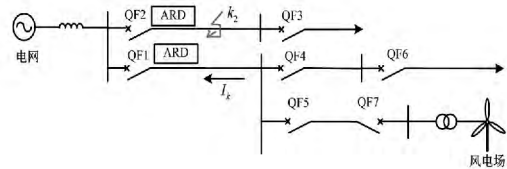


图 3 上游保护误动图

另外,当风电场接入线路的下游时,如图 4 所示,在重合闸后加速方式下,当上游故障时,风电场提供的短路电流通过断路器 QF4,当电流达到 QF4 的整定电流时,就会导致其误动。

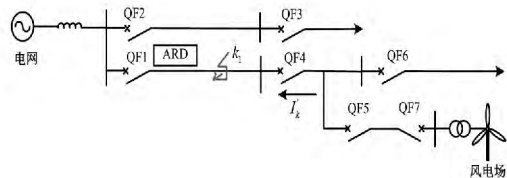


图 4 下游保护误动图

因此,当电网故障时,若风电机组的电压下降和低压运行时间在故障穿越范围内,则风电机组在故障被切除前仍可持续向电网供电。所以,同重合闸前加速类似,采用重合闸后加速方式时,必须要保证在本主馈线保护在相邻馈线故障(例如故障点 k2)时不误动,才能实现风电场的 LVRT 运行。

## 3 重合闸合理配合改进方式

通过上述分析,当具有 LVRT 能力的风机并入电网后,会不同程度的对重合闸前加速和重合闸后加速产生影响,其中主要影响有:线路故障时,风电场接入的线路上游断路器误动或者拒动以及下游断路器的误动。

首先应先判断离电源最近的断路器是否闭合、

如何让上游保护不误动。另外,对于重合闸后加速而言,由于重合闸是在保护动作之后再行重合,所以有助于提高风电机组的故障穿越能力。这里从增加硬件和改变整定值两个思路对上述影响进行改进,具体如下。

首先是检测离电源最近的断路器是否闭合的方法,见图 5。

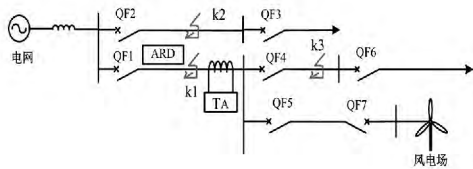


图 5 检测断路器是否闭合图

检测方法如图 5 所示,在风电场接入处的上级线路末端加一个电流互感器 TA,系统故障发生后,若 TA 无电流,则说明保护 1 处断路器断开,则风电场联络线保护(断路器 5 和 7)应快速跳闸,风电场立即与电网断开。如果电流互感器 TA 一直有电流,并小于风电场接入馈线首端短路电流,说明故障并非在本馈线,此时风电场联络线保护可不动作,持续向系统供电,以实现故障穿越运行。

(1) 增加硬件法

在接入风电场的线路末端增加断路器,如图 6 所示,在断路器 QF1 的末端增加断路器 QF8。当主馈线上游发生故障后,QF1 和 QF8 都跳闸,此时风电场与下游构成微网,继续运行。

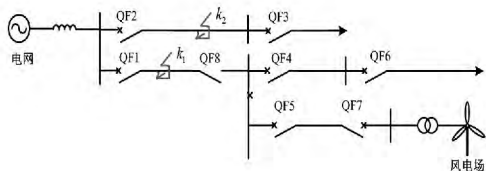


图 6 增加断路器图

(2) 改变整定值法

当故障在相邻线路上时,本线路上流过的故障电流会引起本馈线上游保护误动的问题(如图 1 和 3),增加“本馈线上游保护的整定值大于风电场供给的短路电流”这一条件,即  $I_{set1} > I_k$ 。然后和前面的复合多段式电压电流保护综合考虑,这样就不会导致上游保护误动作。

另外,对于下游断路器误动的情况(如图 4),同理。此时流过断路器的故障电流  $I'_k$  要小于 QF4 的

整定值,即  $I'_k < I_{set4}$ 。

所以,根据风电场的接入位置的不同,导致不同的断路器误动,此时应根据不同的情况进行相应的整定。

### 4 结 论

通过具有 LVRT 能力的风机并入电网后,分别讨论了重合闸前加速和重合闸后加速受风电场的影响,另外根据风电场接入位置的不同,会导致不同的断路器无法可靠动作。针对不同的问题,前面给出两种不同的改进措施,增加硬件的方法和改变整定值的方法。利用上述方法,不仅可以保证风电场和电网的安全运行,而且还提高了风电场的低电压穿越能力。

#### 参考文献

- [1] 赵跃宇,甄文波,白延博,等. 110 kV 架空输电线路故障原因分析及建议[C]. 2011 年输配电及电力系统论文集,2011,153(8):61-63.
- [2] 芮小刚. 浅析直流牵引供电系统自动重合闸原理[J]. 科技信息,2012(30):430.
- [3] 何世恩,姚旭,徐善飞. 大规模风电接入对继电保护的影响与对策[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(1):21-27.
- [4] 马同远. 中小电源系统中重合闸的改进[J]. 电力系统自动化,2000,24(1):69-70.
- [5] 王体奎,郭建强,高晓蓉,等. 自适应自动重合闸与继电保护的组合研究[J]. 现代电子技术,2011,34(16):126-130.

#### 作者简介:

王银萍(1987),硕士研究生,研究方向为风机控制与继电保护;

王维庆(1959),西安交通大学和新疆大学博士生导师,主要研究电力系统自动化和风力发电机组的智能控制;

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),博士,副教授,硕士研究生导师,研究方向为可再生能源发电与并网技术。

(收稿日期:2014-03-10)