

风力发电机低电压穿越技术

风力发电机低电压穿越技术曾称“低电压穿越”。定义：小型发电系统在确定的时间内承受一定限值的电网低电压而不退出运行的能力。

低电压穿越(Low voltage ride through, LVRT) 低电压过渡能力：Low Voltage Ride Through, LVRT ;Fault Ride Through, FRT曾称“低电压穿越”。定义：小型发电系统在确定的时间内承受一定限值的电网低电压而不退出运行的能力。

一、风力发电机低电压穿越技术

1、问题的提出

对于变频恒速双馈风力发电机，在电网电压跌落的情况下，由于与其配套的电力电子变流设备属于AC/DC/AC型，容易在其转子侧产生峰值涌流，损坏变流设备，导致风力发电机组与电网解列。在以前风力发电机容量较小的时候，为了保护转子侧的励磁装置，就采取与电网解列的方式，但目前风力发电的容量都很大，与电网解列后会影响整个电网的稳定性，甚至会产生连锁故障。于是，根据这种情况，国外的专家就提出了风力发电低电压穿越的问题。

2、LVRT概念的解释

当电网发生故障时，风电场需维持一段时间与电网连接而不断解列，甚至要求风电场在这一过程中能够提供无功以支持电网电压的恢复即低电压穿越。

目前对于风力发电低电压运行标准，主要以德国e.on netz公司提出的为参考。

双馈风力发电机由于其自身机构特点，实现LVRT存在以下几方面的难点：

- 1)确保故障期间转子侧冲击电流与直流母线过电压都在系统可承受范围之内;
- 2)所采取的对策应具备各种故障类型下的有效性;
- 3)控制策略须满足对不同机组、不同参数的适应性;
- 4)工程应用中须在实现目标的前提下尽量少地增加成本。

3、电网电压跌落后DFIG运行的暂态过程分析(感觉这部分内容需要理论推导)

在电网电压跌落情况下，风电机组中的双馈感应发电机会导致转子侧过流，同时转子侧电流的迅速增加会导致转子励磁变流器直流侧电压升高，发电机励磁变流器的电流以及有功和无功都会产生振荡。这是因为双馈感应发电机在电网电压瞬间跌落的情况下，定子磁链不能跟随定子端电压突变，从而会产生直流分量，由于积分量的减小，定子磁链几乎不发生变化，而转子继续旋转，会产生较大的滑差，这样便会引起转子绕组的过压、过流。如果电网出现的是不对称故障的话，会使转子过压与过流的现象更加严重，因为在定子电压中含有负序分量，而负序分量可以产生很高的滑差。过流会损坏转子励磁变流器，而过压会使发电机的转子绕组绝缘击穿。

二、低电压穿越技术的具体实现

目前的低电压穿越技术一般有三种方案：一种是采用了转子短路保护技术，二种是引入新型拓扑结构，三是采用合理的励磁控制算法。本周我主要看了前两种，以下分别介绍。

1、转子短路保护技术(crowbar电路)

这是目前一些风电制造商采用得较多的方法，其在发电机转子侧装有crowbar电路，为转子侧电路提供旁路，在检测到电网系统故障出现电压跌落时，闭锁双馈感应发电机励磁变流器，同时投入转子回路的旁路(释能电阻)保护装置，达到限制通过励磁变流器的电流和转子绕组过电压的作用，以此来维持发电机不脱网运行(此时双馈感应发电机按感应电动机方式运行)。

目前比较典型的crowbar电路有如下几种：

- (1)混合桥型crowbar电路，如图1所示，每个桥臂有控制器件和二极管串联而成。
- (2)IGBT型crowbar电路，如图2所示，每个桥臂由两个二极管串联，直流侧串入一个IGBT器件和一个吸收电阻。
- (3)带有旁路电阻的crowbar电路，如图3所示，出现电网电压跌落时，通过功率开关器件将旁路电阻连接到转子回路中，这就为电网故障期间所产生的大电流提供了一个旁路，从而达到限制大电流，保护励磁变流器的作用。

2、引入新型拓扑结构

这种结构与传统的软启动装置类似，在双馈感应发电机定子侧与电网间串联反并可控硅电路。在正常运行时，这些可控硅全部导通，在电网电压跌落与恢复期间，转子侧可能出现的最大电流随电压跌落的幅度的增大而增大，为了承受电网故障电压大跌落所引起的转子侧大电流冲击，转子侧励磁变流器选用电流等级较高的大功率IGBT器件，这样来保证变流器在电网故障时不与转子绕组断开时的安全。电网电压跌落再恢复时，转子侧最大电流可能会达到电压跌落前的几倍。因此，当电网电压跌落严重时，为了避免电压回升时系统在转子侧所产生的大电流，在电压回升以前，将双馈感应发电机通过反并可控硅电路与电网脱网。脱网以后，转子励磁变流器重新励磁双馈感应发电机，电压一旦回升到允许的范围之内，双馈感应发电机便能迅速地跟电网达到同步。再通过开通反并可控硅电路使定子与电网连接。这样可以减小对IGBT耐压、耐流的要求。对于短时间内能够接受大电流的IGBT模块，可以减少双馈感应发电机的脱网运行时间。转子侧大功率馈入直流侧会导致直流侧电容电压的升高，而直流侧的耐压等级依赖于直流侧电容的大小，因此直流侧设计crowbar电路，在直流侧安装电阻来作吸收电路，将直流侧电压限制在允许范围内。

这种方式的不足之处是：该方案需要增加系统的成本和控制的复杂性。考虑到定子故障电流中的直流分量，需要可控硅器件能通过门极关断，这要求很大的门极负驱动电流，驱动电路太复杂。这里可控硅串联电路如果采用穿透型IGBT的话，IGBT必须串联二极管。而采用非穿透型IGBT的话，通态损耗会很大。理论上，如果利用接触器来代替可控硅开关的话，虽通态时无损耗，但断开动作时间太长。而且由于该方案在输电系统故障时发电机脱网运行，因此对电网恢复正常运行起不到积极的支持作用。

通常双馈感应发电机的背靠背式励磁变流器采用如图5a所示的与电网并联方式，这意味着励磁变流器能向电网注入或吸收电流。为了提高系统的低电压穿越能力，文献提到了一种新的连接方式如图5b，即将变流器与电网进行串联连接，比如，变流器通过发电机定子端的串联变压器实现与电网串联连接，则双馈感应发电机定子端的电压为网侧电压和变流器输出的电压之和。这样便可以通过控制变流器的电压来控制定子磁链，有效的抑制由于电网电压跌落所造成的磁链振荡，从而阻止转子侧大电流的产生，减小系统受电网扰动的影响，达到强化电网的目的。但这种方式将增加系统许多成本，控制也比较复杂。

低电压穿越能力是当电力系统中风电装机容量比例较大时，电力系统故障导致电压跌落后，风电场切除会严重影响系统运行的稳定性，这就要求风电机组具有低电压穿越(Low Voltage Ride Through, LVRT)能力，保证系统发生故障后风电机组不间断并网运行。

风电机组应该具有低电压穿越能力：

- a)风电场必须具有在电压跌至20%额定电压时能够维持并网运行620ms的低电压穿越能力；
- b)风电场电压在发生跌落后3s内能够恢复到额定电压的90%时，风电场必须保持并网运行；
- c)风电场升压变高压侧电压不低于额定电压的90%时，风电场必须不间断并网运行。

风电机组低电压穿越(LVRT)能力的深度对机组造价影响很大,根据实际系统对风电机组进行合理的LVRT能力设计很有必要。对变速风电机组LVRT原理进行了理论分析,对多种实现方案进行了比较。在电力系统仿真分析软件DIGSILENT/PowerFactory中建立双馈变速风电机组及LVRT功能模型。以地区电网为例,详细分析系统故障对风电机组机端电压的影响,依据不同的风电场接入方案计算风电机组LVRT能力的电压限值,对风电机组进行合理的LVRT能力设计。结果表明,风电机组LVRT能力的深度主要由系统接线和风电场接入方案决定。设计风电机组LVRT能力时,机组运行曲线的电压限值应根据具体接入方案进行分析计算。

解决：需要改动控制系统，变流器和变桨系统。我国的标准将是20%电压，625ms，接近awea的标准。

针对不同的发电机类型有不同的实现方法，最早采用也是最普遍的方案是采用CROWBAR,有的已经安装在变频器之中，根据不同的系统要求选择低电压穿越能力的大小，即电压跌落深度和时间，具体要求根据电网标准要求。

风电制造商采用得较多的方法，其在发电机转子侧装有crowbar电路，为转子侧电路提供旁路，在检测到电网系统故障出现电压跌落时，闭锁双馈感应发电机励磁变流器，同时投入转子回路的旁路(释能电阻)保护装置,达到限制通过励磁变流器的电流和转子绕组过电压的作用，以此来维持发电机不脱网运行(此时双馈感应发电机按感应电动机方式运行)。也就是在变流器的输出侧接一旁路CRAWBAR，先经过散热电阻,再进入三相整流桥,每一桥臂上为晶闸管下为一二极管，直流输出经铜排短接.当低电压发生后,无功电流均有加大，有功电流有短时间的震荡，过流在散热电阻上以热的形式消耗,按照不同的标准，能坚持的时间要根据电压跌落值来确定。当然，在直流环节上也要有保护装置.详细就不讨论.具体的讨论再联系。FRT的实物与图片可供大家参考。但是大家所提到的FRT只是老式的,新式是在直流环节有保护装置，但输出侧仍是无源CRAWBAR。

crowbar触发以后，按照感应电动机来运行，这个只能保证发电机不脱网，而不能向电网提供无功，支撑电网电压。现在LVRT能提供电网支撑的风机很少，这个是LVRT最高的level。德国已经制定标准了。最后还是得增加转子变频器的过流能力。

另外，控制系统要嵌入动态电压暂降补偿器，当有暂降时瞬时电压补偿上去，先保住控制系统不跳。ABB号称采用了一种ACTIVE CROWBAR来实现低压穿越功能。

低电压穿越(LVRT)，指在风力发电机并网点电压跌落的时候，风机能够保持并网，甚至向电网提供一定的无功功率，支持电网恢复，直到电网恢复正常，从而“穿越”这个低电压时间(区域)。LVRT是对并网风机在电网出现电压跌落时仍保持并网的一种特定的运行功能要求。不同国家(和地区)所提出的LVRT要求不尽相同。目前在一些风力发电占主导地位的国家，如丹麦、德国等已经相继制定了新的电网运行准则，定量地给出了风电系统离网的条件(如最低电压跌落深度和跌落持续时间)，只有当电网电压跌落低于规定曲线以后才允许风力发电机脱网，当电压在凹陷部分时，发电机应提供无功功率。这就要求风力发电系统具有较强的低电压穿越(LVRT)能力，同时能方便地为电网提供无功功率支持，但目前的双馈型风力发电技术是否能够应对自如，学术界尚有争论，而永磁直接驱动型变速恒频风力发电系统已被证实在这方面拥有出色的性能。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/18724.html>