

变频器防低电压穿越分析

周道军

(神华国华太仓发电有限公司,江苏 太仓 215433)

摘要:随着电网规模不断扩大,电力系统发生故障的概率也在增加,电网事故将导致相邻发电厂厂用电系统出现瞬时低电压穿越情况。另一方面,由于节能效果显著,变频器在发电厂获得广泛应用,而低电压穿越又可能引起发电厂内变频器跳闸,进而导致全厂停电,这类事故已发生多次。文中以发电厂给煤机变频器为例,分析低电压穿越产生的原因和危害,并结合生产现场经验,从安全性、经济性分析防范措施,提出优化DCS控制逻辑和变频器控制电源是防止变频器低电压穿越事故的最佳解决方案。

关键词:低电压穿越;瞬时;变频器

中图分类号:TM921.51

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2015)02-0037-04

随着电力技术的发展及节能降耗的需要,变频器在发电厂获得越来越多的应用。变频器还因具有调速精确、响应速度快、能改善电动机启动特性等特点广泛应用于电厂辅机调速控制系统中。当电网发生故障时,将引起电网电压短时跌落,邻近的发电厂厂用电系统电压也相应降低,由于变频器整流逆变元件特性的原因,电源电压的下降往往会触发变频器低电压保护,导致变频器输出闭锁、辅机停机,一旦一类辅机(指短时(<5 s)失电将会造成设备损坏、机组停运或减出力,影响电网安全运行的辅机)全部停运将会引起发电机组跳闸。此时,对于已经发生故障尚在恢复中的电力系统,发电机组跳闸将再次对系统产生冲击,严重威胁电网稳定运行。在电网发生事故时,电压跌落持续时间较短,因此开展变频器防低电压穿越研究十分必要。

1 变频器低压失电闭锁分析

变频器功率回路由整流模块、直流环节、逆变模块组成,如图1所示。变频器三相输入电源经整流输出直流,并储存于电容中,再经过逆变变换成交流电源,实现频率变换。当变频器输入动力电源因某种原因发生低电压时,直流母线电压也随之降低,无法提供逆变模块所需要的能量,将触发变频器保护,导致变频器退出运行。

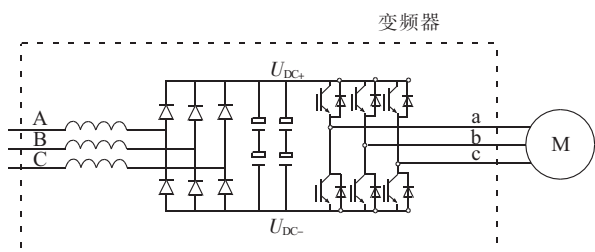


图1 变频器原理示意图

变频器低电压输出闭锁主要是由于中间直流回路的低电压,一般能引起中间直流回路低电压主要来自2个方面。

1.1 来自电源侧低电压

以低压变频器为例,正常情况下电源电压约400 V,经三相桥式全波整流后中间直流回路电压值约为540 V(即图1中 U_{DC} 电压),当电源线电压在-15%~+10%范围内波动时,不会造成变频器的低电压跳闸,只有电源电压波动幅度较大,并且持续时间达一个周期以上,才会引起变频器低电压保护动作跳闸。电源侧低电压主要是由于电网故障电压的波动、雷击使电源幅值受影响、变压器超载或负荷不平衡、发电厂厂用电系统事故切换等。

1.2 负载侧低电压

负载侧低电压主要是由于厂用电系统大容量设备突上电、线路过载或启动大容量电动机设备等情况。

2 低电压穿越对辅机变频器影响

2.1 厂用辅机变频器分类

厂用辅机变频器又分高压辅机变频器和低压辅机变频器。包括高压(6 kV或10 kV)辅机变频器,如引风机、送风机、一次风机、给水泵、凝结水泵等;低压(380 V)辅机变频器,如给煤机、给粉机、空气预热器、空冷岛冷却风机等。

2.2 低电压穿越情况分析

(1) 厂用电系统正常运行中的低电压包括厂用电系统过载、变压器过载和负荷不对称、大容量电动机启动等情况,尤其是厂用电系统上大容量电动机启动,此时6 kV或10 kV厂用电母线电压会出现短时较大降幅。通过对某发电厂二十多台不同容量和类型的电动机启动录波试验,录波数据显示高/低压电动机启动时间一般在20 s以内。电压的下降程度与运行工况、

设备容量有关。某厂正常运行中启动一台 8100 kW 的电动给水泵时,录波显示 6 kV 母线电压瞬时最低下降 13.3%,但厂用电系统电压低于 90% 额定电压只有几个周波。其下一级 380 V 母线段因有变压器隔离,电压下降程度要小于上一级 6 kV 或 10 kV 母线段,高/低压辅机变频器低电压保护一般能躲过上述低电压穿越情况。

(2) 发电机正常运行时厂用电母线失压或工作进线电源开关偷跳(指误操作、开关机构故障等原因造成的开关误跳闸),在工/备电源串联切换(先跳开工作电源开关,确认工作电源开关已跳开且切换条件满足时,合上备用电源开关)过程中会出现短时母线低电压。若要降低这类低电压穿越引起机组误跳闸风险,一类辅机变频器设计时一方面需要合理优化接线方式,让变频器分布在不同厂用电源段,避免厂用电设备事故时全部变频器失电导致停机;同时提高变频器自身躲厂用电系统短时失电低电压穿越能力。这类故障电源切换时间一般 0.5~1.5 s。

(3) 电网电压振荡、重负荷电力线路切换、雷击、电力线路短路或接地等,邻近发电厂会发生明显的低电压穿越情况,以单相接地故障最为常见。对于相间短路和瞬时接地故障情况,依靠主保护动作切除故障点,低电压穿越时间一般小于 100 ms。倘若发生永久性故障,若主保护未动作依靠后备保护动作切除故障或重合闸合于永久性故障再次跳闸,此时低电压穿越时间较长,但穿越时间也应小于 2.0 s。这种暂态低电压穿越有时电压幅值下降很大,对辅机变频器影响很大。例如 2009 年 3 月 7 日,某电厂 500 kV 母线侧发生出口金属性接地故障,相距约 100 km 另一电厂录波显示各侧电压变化如表 1 所示。

表 1 低电压穿越时某电厂电压变化情况

测量位置	电压最大跌幅 / %	低电压持续时间 / ms
500 kV 线路侧	61.2	59
发电机出口 20 kV 侧	27.8	110
厂用电 6 kV 侧	21.0	110

低电压穿越还引起该厂全部机组无功功率剧烈波动(最大峰谷差约 180 Mvar),励磁系统低励限制动作、系统频率上升,发电机有功功率骤升 46 MW 后回落正常等异常情况。2011 年 1 月 2 日,东北电网某电厂出线 A 相电流互感器故障,引起厂内 4 号机 6 kV 厂用电系统 A 相电压降至 65% 额定电压,低电压穿越引起机组跳闸。

2.3 低电压穿越对辅机变频器影响

变频器装置在电力系统中被普遍使用,由低电压穿越引发事故已发生多起,生产厂家、使用单位和设计

单位都做了很多改进工作。目前部分高/低压变频器具有瞬时停电保护功能,即当判断主电源失电后,变频器控制电机处于发电状态运行,为单元电容充电,并为单元控制电源供电,直至主电源恢复,变频器回到原运行状态,这种功能有利于变频器躲低电压穿越情况。

(1) 变频器在低电压穿越期间,输出电流明显增大,可能会导致变频器过载。按照公式 $I=P/U$ 计算变频器在低电压穿越时电流变化如表 2 所示。其中 P 为电机功率, U 为变频器输入电压, I 为变频器输出电流。

表 2 低电压穿越时电压电流变化

电压下降后幅值	电流上升后幅值
90% 额定电压	111% 额定电流
80% 额定电压	125% 额定电流
70% 额定电压	143% 额定电流
60% 额定电压	167% 额定电流

表 2 显示,变频器随着输入电压下降,输出电流会相应增加,这样在发生低电压穿越时,变频器内部将产生较大电流,这对变频器通流和散热能力提出较高要求。此时在低电压穿越情况下,如果要做到不影响变频器正常运行,需要对低电压穿越产品的材料提出严格要求。

(2) 对于高压变频器(额定输入电压为交流 1~10 kV),规程规定:在电厂主电源断电后,厂用电网切换时,变频器应保证 9 s 内再次合闸后能够自动正常运行^[1]。虽然高压变频器具有失电 9 s 内电压恢复后自启动功能,但是风机类高压辅机变频器即使短时停运也会严重威胁发电厂安全运行。

(3) 低压辅机变频器抗低电压穿越能力相对较差,已经发生的变频器低电压跳机事件多为发电厂给煤机、给粉机变频器跳闸引起。例如,给粉机变频器在遇到厂用电电压瞬时低于变频器的低电压保护值时变频器停运,导致机组给粉机停机,同时会给锅炉安全监控系统(FSSS)发出给粉机停止信号,这样会导致锅炉全炉膛灭火保护(MFT),机组跳闸。

3 低电压穿越解决方案

变频器低电压穿越跳闸一般是由于低电压引起控制回路失电或变频器中间直流回路低电压引起。对于高压变频器控制回路供电,规程规定:为保证切换过程的无扰动,控制部分应由 UPS 或直流供电,由 UPS 供电时掉电保持时间不小于 5 min^[1],低压变频器可以参照该规定引入 UPS 电源解决低电压穿越时控制回路电源失电隐患。对于变频器中间直流回路低电压,由于变频器逆变器件固有的温升特性决定了变频器必须有过电压、过电流、温升保护等,当电压超过变频器低电压保护跳闸下限值时必须跳闸。发生低电压穿越的时

间通常很短暂,一般小于 2 s,因此可以采取下列几点措施来防止低电压穿越事故发生。

3.1 提高变频器自身能力

对于新建、改扩建变频器项目,在设备选型时,参照《大型汽轮发电机组一类辅机变频器高、低电压穿越技术规范》^[2]要求,变频器低压穿越性能应与主机低压性能相配合,宜与电厂一类辅机的低电压保护定值相配合。当外部故障或扰动引起的变频器进线电压跌落幅值和持续时间在低电压穿越区内时(如表 3 所示),变频器应能够保障供电对象的安全运行。

表 3 一类辅机变频器低电压穿越区

电压跌落幅度	低电压持续时间
≥20% 额定电压	≤0.5 s
≥60% 额定电压	>0.5 s 且 ≤5 s
≥90% 额定电压	>5 s

满足表 3 参数要求的变频器能躲过电动机启动、电网故障、厂用电电源事故切换等多种严重低电压穿越情况。根据已掌握的一些发电厂录波数据,即使发生严重低电压穿越情况,6 kV 或 10 kV 厂用电系统电压一般也高于 60% 额定电压。因此特别是一类辅机变频器,采购时应提高对变频器抗低电压穿越性能指标的要求。

3.2 短时断电后转速跟踪再启动

对于已经投入运行的变频器,以给煤机为例,若发生全厂给煤机瞬时停运,磨煤机内储存的煤粉和煤粉仓内的煤粉短时间内可以继续为锅炉提供燃料,保证锅炉燃烧不受影响。只要在发生低电压穿越的短时间内不触发 MFT 逻辑,通过优化分散控制系统(DCS)控制策略及二次回路接线,配合变频器瞬时停电自启动功能,待厂用电电源恢复后,再将给煤机自动启动,从而实现变频器在瞬时失电能够自启动,长期失电正常停运。对于给煤机变频器 DCS 控制策略优化可以采用将给煤机“停运”和“运行”信号按躲过电网及厂用电故障增加延时,一般取 2~3 s;同时优化厂用电瞬间失去或波动时防止热工自动回路切换的逻辑,即在这短暂的时间内热工自动回路不进行切换,保证整个锅炉控制系统不产生大的扰动;从 DCS 送给煤机的启动指令应在厂用电电压波动或瞬间失去恢复后能够自动启动给煤机,即将 DCS 启动给煤机的指令由脉冲改为电平形式;给煤机就地控制柜的逻辑应保证在厂用电电压波动或瞬间失去恢复后,能够在 DCS 远方控制。本方案无需额外增加资金投入,优化后没有增加日常工作,且易于现场实施。

变频器自启动具体有 2 种方法:(1)电机完全停止后再启动。(2)在旋转中检出电机实际转速后,自动地将变频器输出频率调节在对应值再启动,即在低电

压穿越区内,变频器可短时中断输出保护自身设备,在电源恢复之后,当电动机仍在运转时,实现跟踪电动机转速再启动。这种方法应有速度传感器,应将变频器的控制电源接到 UPS 电源。设计参数包括要承受的最长扰动持续时间、从电源恢复到电动机返回原有转速的时间。变频器采用这种方法后,当电厂发生低电压穿越时,不会影响机组有功的大幅波动,可以连续运行。

3.3 加装抗低电压穿越装置

改进变频器交流侧输入电源,即在变频器交流电源输入侧加装抗低电压穿越的扰动电源设备,当系统电压正常时,变频器正常工作,低电压穿越装置处于热备用状态,不参与变频器运行。

在系统电压发生跌落时,低电压穿越装置实时监测电压跌落趋势,当下降至整定值时,装置瞬时投入运行,通过升压泵(BOOST)将直流侧电压提升到 500 V 以上,保证变频器输出功率、电机转矩、电机转速均不变的电压水平,变频器的直流母线继续维持对变频器供电。切换过程由静态开关(IGBT)完成,切换动作时间小于 1 μs,可以实现无缝切换,对变频器的稳定运行不会造成冲击。在系统电压跌落结束恢复正常后,低电压穿越装置停止运行,升压回路退出工作状态,恢复到备用状态,变频器的供电仍由三相交流送电回路提供。

低电压穿越装置主要包括旁路回路和升压回路,这种方式可以实现 1 台低电压穿越装置带单台或多台电动机变频器运行,1 台变频器配 1 台低电压穿越装置原理示意图如图 2 所示。这种方案需要采购设备对一次电源部分进行技术改造,若采用 1 套装置带多台电动机变频器方式运行,需要考虑低电压穿越装置故障风险,合理选择低电压穿越装置安装地点,降低粉尘、温度、湿度等环境因素对低电压穿越装置元器件性能和使用寿命的影响。

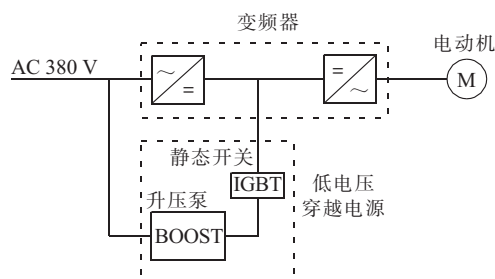


图 2 变频器低电压穿越装置原理示意图

3.4 外加直流电源装置

在变频器整流和逆变中间的直流环节加装蓄电池组,其输出接入变频器直流母线上,当厂用电系统电压正常时,变频器正常工作,外加蓄电池组处于浮充电状态,不参与变频器运行。当外部扰动引起厂用电系统电源短时中断或短时电压降落时,在电压下降至整定值时,装置瞬时投入运行,由外加直流电源继续供给变频

器运行;当厂用电系统电压跌落结束主路交流电源再度恢复正常供电后,变频器自动切换至主路电源供电。

直流环节一般由蓄电池组、充电器、静态开关、控制器等部分组成,这种方式可以实现1套直流电源装置带单台或多台电动机变频器运行,1台变频器外加1套直流电源原理示意图如图3所示。这种方案也需要采购设备进行技术改造,日常维护工作量明显增加。日常运行中要确保蓄电池组正常浮充电,并定期对蓄电池进行均衡充电和核对性充放电活化试验,合理选择蓄电池的安装地点,降低环境温度对蓄电池寿命的影响,并定期更换蓄电池组。

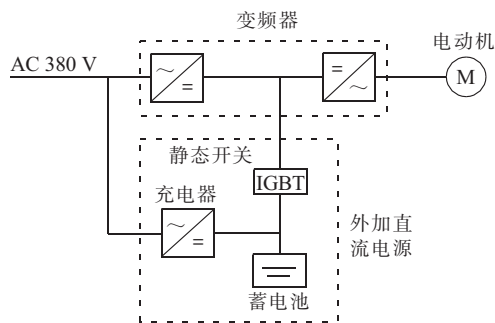


图3 变频器外加直流原理示意图

4 结束语

针对低电压穿越对发电厂辅机变频器设备可能产生的危害,总结了典型的现场应用技术看方案,综合比较,对于新建和改扩建的一类辅机变频器,推荐采用方案1,即参照《大型汽轮发电机组一类辅机变频器高、低电压穿越技术规范》要求,提高变频器自身躲过低电压穿越能力。对于已经投入运行的一类辅机变频器,推荐采用方案2,即一方面变频器控制电源采用UPS供电,保证控制电源不中断;另一方面优化DCS控制策略,并结合不同系统的设备允许电动机停运时间增加延时来躲过低电压穿越情况,当电源供电恢复时,及时实现变频器自启动。

参考文献:

- [1] DL/T 994—2006,火力发电厂风机水泵用高压变频器[S].
- [2] 国家电网公司. 大型汽轮发电机组一类辅机变频器高、低电压穿越技术规范[S]. 2013:3-4.

作者简介:

周道军(1973),男,河南光山人,工程师,从事发电厂电气二次专业工作。

The Analysis of Frequency Converter Prevent Low Voltage Ride Through

ZHOU Daojun

(Shenhua Guohua Taicang Power Generation Co. Ltd., Taicang 215433, China)

Abstract: With the continuous expansion of network scale, the probability of fault occurs in power system is increasing, the accident of power network will lead to the adjacent power plant electrical system in LVRT a short time. On the other hand, due to the energy saving effect is remarkable, the frequency converter is widely applied in power plants, and the LVRT may cause frequency converter tripping, resulting in power plant outage, such accidents have occurred more than. Based on power plant coal feeder frequency converter as an example, this paper analyses the causes and harm of LVRT, and combined with the experience in production field, measures to prevent from the security and economy analysis, to optimize the DCS control logic and the frequency converter control power is the best solution to prevent the accident of LVRT.

Key words: low voltage ride through (LVRT); instantaneous; frequency converter

(上接第36页)

作者简介:

朱振飞(1958),男,江苏启东人,高级工程师,从事电力电子技术在电力系统中应用的研究工作;

胡静(1987),男,江苏镇江人,工程师,从事电力电子技术在电力系统中应用的研究工作;

王小红(1973),女,安徽怀远人,高级工程师,从事电力电子技术在电力系统中应用的研究工作。

Development and Establishment of Custom Power Laboratory

ZHU Zhenfei, HU Jing, WANG Xiaohong

(NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper emphatically introduces the scheme, detection function and some functional tests of physical simulation laboratory. Testing methods for parallel compensation type, series compensation type and parallel-series hybrid compensation type using physical simulation laboratory are proposed. With the methods, temperature rise and double pulse tests for valve are implemented. A description of the detection ability of dynamic simulation laboratory and high-voltage electrical laboratory is provided.

Key words: custom power laboratory; high-power physical simulation; test platform