

抗电压扰动电源在给煤机变频调速系统中的应用

由于当前火电机组给煤机变频调速系统不具备高低电压穿越能力,当供电电压发生电压扰动(暂升、暂降或短时中断)时,变频调速系统将会停机保护,从而发生设备损坏、机组停机或输出功率大量下降的情况,造成电厂重大经济损失。根据给煤机变频调速系统的特性,对比目前火电机组应对给煤机变频调速系统抗电压扰动能力的措施,提出两种采用抗电压扰动电源支撑的解决方案,并采用有效的控制策略提高给煤机供电系统可靠性。

李 刚 殷 骏/安徽立卓智能电网科技有限公司
汤 伟 刘路登/国网安徽省电力公司调度控制中心

0 引言

近年来研究表明,电压扰动(暂升、暂降或短时中断)是电力系统不可避免的电质质量问题,短时的电压扰动严重影响计算机、交流接触器、可编程逻辑控制器(PLC)及变频调速装置等典型敏感设备的安全运行,这些敏感负荷的故障给工厂带来的直接经济损失巨大^[1-2]。

为了促进电厂辅机设备的节能降耗,多年来,在火电厂辅机的设计和改造上,越来越多地采用了变频器技术。给煤机采用变频器作为调速控制驱动后,给煤的计量控制更为准确,燃料与所需空气量匹配更为合理,工作安全性更加可靠,锅炉燃烧能力得到了有力保障。但是变频器受限于本身的硬件条件,对于电压的瞬时波动比较敏感,均设有电源电压异常波动保护功能。在变频器电压波动超出变频器设定值时,如不采取措施,变频器将会立即报警停机,给煤机控制系统会判定为发生故障

并强行发出跳闸信号,关断主燃料供给,导致锅炉发生熄火停炉事故^[3],严重影响发电机组的安全运行。

为了提高给煤机变频调速系统的抗电压扰动能力,就需要针对给煤机变频调速系统的特性,全方位进行抗电压扰动能力改造。确保给煤机在规定的电压变动范围和时间间隔内,不受外部电源故障或扰动造成的电源进线电压暂态、动态或者长时间升高或降低影响,变频调速系统能够可靠供电,保障给煤机的安全可靠运行。

1 给煤机变频调速系统

1.1 变频调速系统的定义

火电机组给煤机变频调速系统是通过变频器改变输出电压和频率完成准确驱动给煤电动机运行的系统。变频调速系统由变频器和控制装置、动力电源、控制电源及给煤电动机负载等组成,其电路组成如图1所示。其中变频器是应用变频技术与微电子技术,通过改变工频电源频率以实现控制电动机的变速运行的设备。其原理是工频交流电源通过全桥整流转换成直流电并滤波后,再经过逆变桥逆变成频率、电压均可控的交流电源,给电动机供电。变频调速系统的控制部分包含变频器的控制单元和给煤机控制器,由PLC、接触器、继电器和开关电源等组成,用来控制整个给煤机变频调速系统的运行,并和锅炉给煤机煤流检测器、温度传感器及炉膛熄火保



李 刚/工程师

关键词/Keywords

高低电压穿越·
电压暂升·
电压暂降·
抗电压扰动电源·

护等联锁。

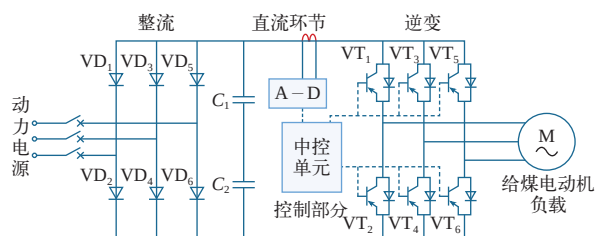


图1 变频调速系统的电路组成

1.2 电压扰动对变频调速系统的影响

由变频调速系统的结构分析可知，变频调速系统动力电源回路和控制回路的电压扰动均可能造成变频器保护功能起动，从而引发给煤机停机事件。

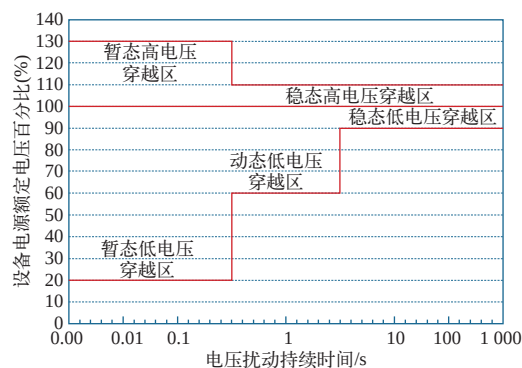
现在常用的给煤机变频器主要采用电压型，对动力电源工作电压的要求较为敏感，无论是对主电路器件及电动机的保护，还是对直流侧和交流输出电压的计量和显示，乃至变频器控制策略的实施都需要直流环节电压的检测值，所以大部分通用变频器的输入过/欠电压保护值均来源于直流环节电压的检测。当电网电压下降或瞬时中断时，因需带动电动机负载，变频器直流环节电压快速下降，当降低到其“欠电压”保护动作阈值时，变频器立即保护停机，报欠电压或过电流故障。当电网电压上升至“过电压”保护动作阈值时，变频器立即保护停机，报过电压故障，并按预定的控制顺序关机^[4]。大多给煤机用低压变频器在电压低于 $80\%U_n$ 时，即起动保护停止输出，同时向机组DCS（集散型控制系统）发送变频器停机信号。部分变频器，如ABPowerFlex 40P变频器电压可降低至 $60\%U_n$ 时，还能正常运行；施耐德ATV71变频器，电源电压降低至 203 V 才会停机保护。

变频调速系统控制回路主要包含PLC、接触器、继电器和开关电源等，其中PLC在电源电压低于 $60\%U_n$ 时，将停止工作；接触器当电源电压低于 $50\%U_n$ 时，持续超过一个周波就会脱扣；开关信号输入输出I/O继电器，当电源电压低于 $90\%U_n$ 时，持续几个周波就会被切除；开关电源当电源电压低于 $60\%U_n$ 时，持续12个周波，将不能正常工作。

给煤机变频调速系统控制部分同变频器进行信号交流的基本回路有模拟与数字两种：①模拟信号为 $4\sim 20\text{ mA}$ 电流信号，用以控制给煤机转速；②数字信号即开关信号，输出变频器的运行、停止和遥控。外部起停控制指令信号通过中间继电器或接触器接入上述基本回路控制变频器运转。当电网电压下降或瞬时中断时，给煤机送给DCS的“运行”信号和“遥控”状态信号消失，给煤机“停止”信号有效，全部给煤机发出“停止”信号时，保护机制触发锅炉主燃料跳闸（MFT），机组停机。而电压恢复后，要确保各联锁故障排除后，方可手动复位再次起动变频调速系统。

2 高低电压穿越能力要求

依据已发生的事故经验以及大量的仿真计算结果，国网公司编制《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（征求意见稿）》等相关文件，同时对火电厂辅机变频调速系统应该具备的高低电压穿越能力指标进行了规定。其中给煤机等一类辅机变频器电源高低电压穿越区如图2所示。



3 给煤机变频调速系统抗电压扰动技术

3.1 修改变频器和DCS参数

这种方法需要取消变频器高低压保护的限值，设置快速重起动功能。前提是将变频器的控制电源接到UPS电源上，当电源电压出现短时扰动时，变频器可短时中断输出保护自身设备，当电

源电压恢复后,变频器立即重新起动。此外还要对锅炉炉膛监控系统(FSSS)的给煤机全停逻辑延时(2~5 s),当电厂用电电源瞬间失电或者波动小于以上延时,不会触发MFT动作,导致机组跳闸^[5]。

但是给煤机变频调速系统设置快速重起动,这既违反了电厂安全管理规程,又不能从根本上消除炉膛在电压扰动时的安全隐患。延时短,不可避免停炉;延时长,电动机重起后,锅炉负压波动很大,有更严重的爆炉隐患。而且逻辑更改要不断地进行联动试验,且对提高机组抗电压扰动能力功效甚微,一般火电机组不推荐使用这种方法。

3.2 直流抗扰动电源

直流抗扰动电源针对变频器直流环节设置,在交流动力电源电压暂降或短时中断时,保证直流环节的电压稳定,输入电压保护检测值不会越保护动作阈值,变频器逆变输出稳定,给煤机电机负载工作正常。这种改造方案的前提是必须将给煤机变频调速系统的控制电源接到UPS电源上,确保电源扰动时,给煤机控制器和变频器控制单元正常工作^[6]。对于电压暂升的解决,这种方法是在变频器直流回路中并联一个制动电阻,通过检测直流母线电压来控制一个功率管的通断。在直流母线电压上升至700 V时,功率管导通,将过电压能量通入电阻,以热能的形式消耗掉,从而防止直流电压的上升。目前大多数火电机组给

煤机变频调速系统的抗电压扰动能力改造采用的是这种加装直流抗扰动电源的方法。其中对于电压暂降或短时中断的解决方案有如下两种。

3.2.1 蓄电池加压差控制器方案

如图3所示,当交流工作电源正常时,变频调速系统正常工作,并同时通过充电器(AC/DC)给储能单元蓄电池进行充电。当出现电源电压短时降低或中断时,蓄电池组经由压差控制器(RTC-101)继续给变频器直流环节供电,保证给煤机电机的正常运转。当MFT动作、变频器故障或停止运行时,本直流抗扰动电源可自动脱离,与变频调速系统形成隔离,做到互不影响。本方案电路简单,采用压差控制,补偿迅速无延时。对厂用电电源无冲击,压差控制功能成熟稳定,在半导体、化纤行业有广泛应用。缺点是,储能单元蓄电池需要串联至500 V,电池数量多,直流电压高,绝缘强度要求高,且铅酸电池的保养维护成本很高。

3.2.2 蓄电池加升压电路方案

如图4所示,当交流工作电源电压大于90% U_e 时,厂用电经由变频器转换成PWM的交流电驱动给煤电动机运行。并同时通过充电器(AC/DC)给储能单元蓄电池进行充电。当出现电源电压低于90% U_e 时,蓄电池组经由BOOST升压电路升压后继续给变频器直流环节供电,不影响给煤机电机的正常运转。当厂用电恢复正常后,变频器改为交流供电,BOOST升压装置自动变为待机

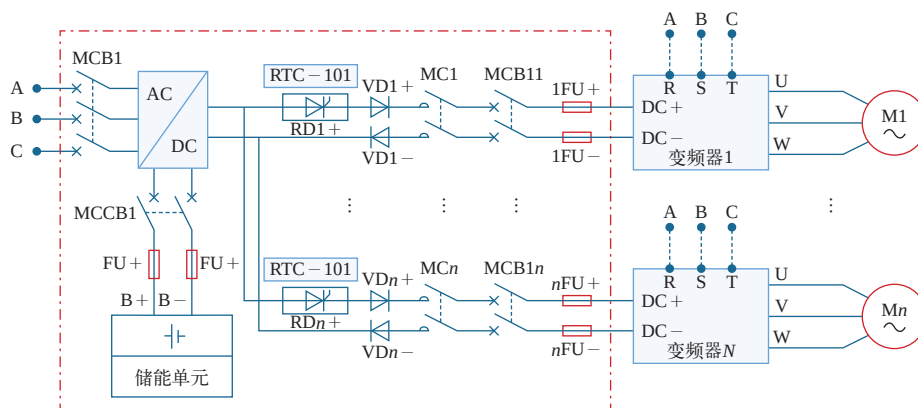


图3 蓄电池加压差控制器方案

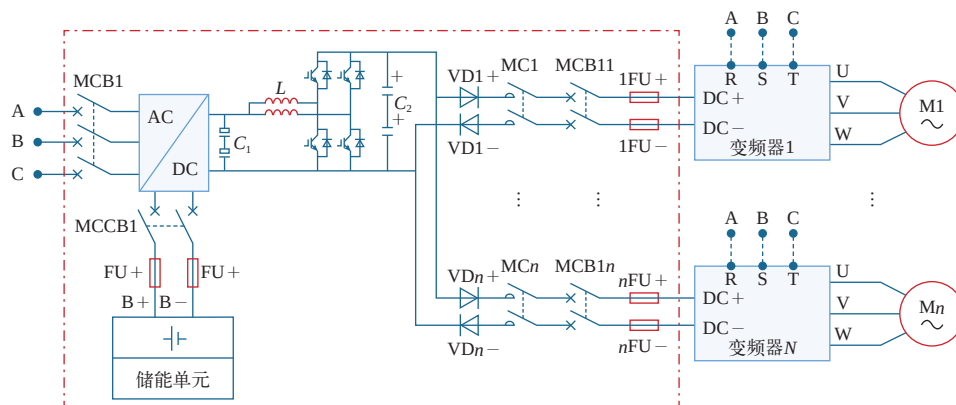


图4 蓄电池加升压电路方案

状态。当MFT动作、变频器故障或停止运行时，本直流抗扰动电源可自动脱离，与变频调速系统形成隔离，做到互不影响。这种方案电路相对复杂，但采用BOOST升压电路，储能单元蓄电池数大量减少，安全性增强，保护功能更为完善，且铅酸电池的维护成本降低。如无须考虑电压短时中断，方案可节约掉蓄电池环节，并保证输入电压在 $20\% \sim 90\% U_e$ 范围内，通过BOOST升压后满足给煤电动机的正常工作。该方案大量应用于提高电力系统火电机组辅机低电压穿越能力的改造。

3.3 交流抗扰动电源

3.3.1 串联UPS方案

UPS的用途是为了防止设备突然断电，损坏原设备或者是为了保护数据而使用的，所使用蓄电池的容量，决定其能够在电源停电时，维持工作的时间。由于负载电动机是感性负载，其起电

流非常大，这样就需要UPS的容量超出电动机容量的 $5 \sim 7$ 倍，而大容量动力工频UPS的制造较为复杂，价格昂贵。UPS串联于负载前端在线使用，所有电能均经过AC/DC和DC/AC的变换，自身损耗也很大，一旦UPS故障或者进行设备维护时必然影响负载的使用，目前在给煤机的抗电压扰动能力改造方面使用很少。

3.3.2 动态电压补偿方案

如图5所示，是一种电压源型电力电子补偿装置，串联于电源和给煤机变频调速系统之间，晶闸管SCR串联于电源和负载之间，起补偿作用的逆变器、双向DC/DC和超级电容并联于系统。电源电压正常时，电源通过晶闸管向负载变频调速系统供电。当电源电压发生暂升、暂降或短时中断时，控制单元在 1 ms 以内发出指令，超级电容内的能量通过DC/DC升压，至逆变器输出，晶闸管在 1 ms 内关断，负载由抗扰动电源提供电源来保持

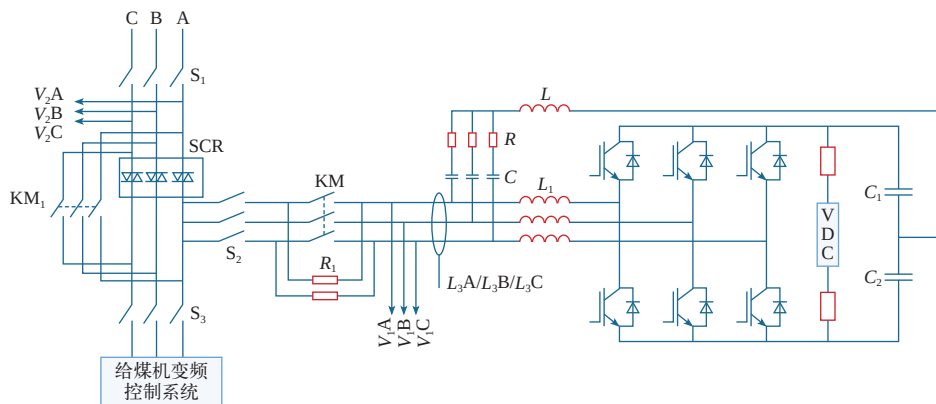


图5 动态电压补偿电路方案

正常工作。电源电压恢复正常，控制单元检测电源相位与负载相位相同后，指令晶闸管导通，将负载交还给电源，同时停止逆变器的输出，完成一次电压补偿，装置重新进入待机状态。这种方案具有很好的动态性能，当发生系统电压扰动问题时，能在不超过2 ms的时间内通常为将负荷侧供电电压恢复到正常值。

变频器的直流引出端子通常为变频器厂家预留出来用以外接直流电抗器和制动电阻用，但直流抗扰动电源的接入并不被变频器厂家认可，部分变频器如ABB ACS510系列，直流端子并未全部引出，还需拆解变频器从电路板外接，这样做必将失去变频器厂家质保。而交流抗扰动电源只需串接与原有给煤机变频调速系统电源端，不需要对变频器进行任何改造和操作，是未来抗电压扰动能力改造的优选方案。

4 结束语

电厂运行中遭遇雷击、电气设备短路、接地及重合闸等，将会引起电压的异常波动。由于给煤机变频调速系统不具备高低电压穿越能力，有造成变频器保护动作停机的事故风险。本文对火电机组给煤机变频调速系统的特性进行了研究分析，针对引起变频器保护动作的原因，提出两种

增加抗电压扰动电源的解决方案。并针对方案原理逐一解析，确定了方案的应用条件和优缺点，给火电机组给煤机变频调速系统的抗电压扰动能力改造工作提供了理论支撑。

参考文献

- [1] 甄晓晨, 陶顺, 肖湘宁, 等. 电压暂降的工厂级经济损失评估模型研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41 (12): 104-111.
- [2] 孔祥雨, 徐永海, 陶顺. 基于一种电压暂降新型描述的敏感设备免疫能力评估 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (3): 165-171.
- [3] 袁小平, 李承宪, 谢明, 等. 火电厂变频设备的低电压穿越能力 [J]. 能源研究与管理, 2014 (4): 99-100.
- [4] 岳建华, 毕春海, 岳涛. 火电厂给煤机低电压穿越探讨 [J]. 中国电力, 2014, 47 (2): 18-22.
- [5] 赵建中. 350 MW机组给煤机变频器电源瞬停时维持连续运行的方法 [J]. 中国电力, 2010, 43 (3): 51-54.
- [6] 王晓宇, 张涛, 刘树, 等. 火电厂辅机变频器低电压穿越电源 [J]. 电力自动化设备, 2015, 35 (5): 152-159.

(收稿日期: 2016-01-25) EA

(上接第20页)

单位面积内的电缆托盘计算发热量为 $(0.54 \times 7) \text{ W} = 3.78 \text{ W}$ 。

电力电缆计算的损耗功率值也可以作为电力电缆选型的分析依据，按照电价折算成电能损耗的运行成本，可以对比分析不同截面积电缆的成本造价，如果运行成本过高，则需更换较大截面积较低损耗的电缆。

4 结束语

核电站厂用配电室是核电站厂用电系统的动力配电中心，厂用配电设备发热量直接决定了厂用配电室暖通系统设计和暖通设备的选用。核电

站厂用配电室发热量工程实用计算时，可以采用估算法和精确算法两种工程实用计算方法。当厂用配电设备未订货或者设计深度不需要特别精确时，可以采用估算法按照设备容量、数量或者房间面积进行估算。当电气设备订货后或者设计深度要求精确计算时，则可采用工程实际资料精确计算。

参考文献

- [1] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] DL/T 5153—2014. 火力发电厂厂用电设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

(收稿日期: 2015-12-25) EA