

响水风电场风力发电机组安全保护系统

李 毅

(中国水电七局有限公司机电安装分局,四川 彭山 620860)

摘要 介绍 FD77-1.5MW 风力发电机组安全保护系统,包括传动链、机组控制运行安全保护系统、FD77-1.5MW 的雷电保护区、微机控制器抗干扰保护。控制系统是风力发电机组的核心部件,是风力发电机组安全运行的根本保证,为了提高风力发电机组的运行安全性,必须从控制系统的安全性和可靠性设计开始,根据风力发电机组控制系统的发电、输电、运行控制等不同环节的特点,在设备从安装到运行的全部过程中,切实把好安全质量关,不断寻找提高风力发电机组安全可靠性的途径和方法。

关键词 风力机组 安全保护系统 可靠运行

中图分类号 TM614 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2010)S2-0022-03

风电场主要由风力发电机组组成,风力发电机组的运行安全是风电场以至电力行业的大事,要使风电机组可靠运行,需要在风电机组控制系统的保护功能设计上加以重视。在设计控制系统的时候,往往更注重系统的最优化设计和提高可利用率,然而进行这些设计的前提条件却是风电机组控制系统的安全保护,只有在确保机组安全运行的前提下,才可以讨论机组的最优化设计、提高可利用率等。因此,控制系统具备完善的保护功能,是风力发电机组安全运行的首要保证。

1 FD77 风力机组安全保护系统

风力机组控制系统的安全保护系统组成如图 1 所示。

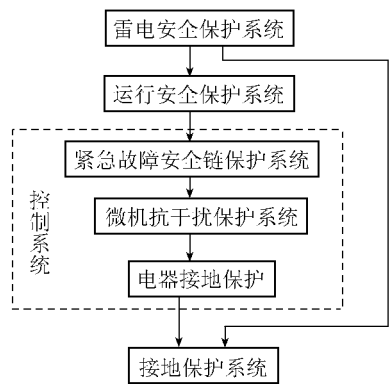


图 1 风力机组控制装置的安全系统组成

1.1 传动链

FD77 传动装置中载荷转移结构的几何构型采用了‘倾斜圆锥’原理,并具有专利保护。它将风轮的载荷用最佳方式转移进入塔架并使零部件的设计能保证高效的荷载转移。整个传动系统为三支点支撑。转轴的倾斜度和锥度共同缩短了风轮中心和塔架之间的外伸量,也因此削减了由于大的前倾量而需要的大量材料。

转子的载荷通过三支点支撑装置转移到机架。主轴轴承采用双列调心滚柱轴承作为固定支点直接安装在机架上。浮动轴承安装在齿轮箱内,齿轮箱通过 1 个锥套与风轮轴连接。齿轮箱上工作的轴承载荷通过齿轮箱的弹性支撑转移到机架上。

主轴轴承由一个与风轮锁定装置整合为一体的专用轴承座支撑,机组在进行调试、维护、检修时用锁紧螺栓将整个传动系统固定锁死,工作人员可以很安全地在舱内和轮毂内工作。轴承座采用球墨铸铁材料,它具有很好的抗震性。润滑轴承的油脂通过迷宫式和 V 型环二重密封,保证油脂不会向外泄漏,使机舱清洁而不受污染。

带有法兰的风机低速轴采用合金钢锻件。轴的端部直接插入齿轮箱的行星齿轮架上并通过收缩套安全可靠地与齿轮箱连接在一起。

齿轮箱带有一级行星齿轮和两级正齿轮。齿轮箱中齿的啮合具有高效率和低噪音的特点。弹性支

撑与齿轮箱悬置设备中的扭矩支承元件整合在一起,直接与机架连接。齿轮箱上的弹性支撑装置不仅运用了活动支承,同时也非常有效地隔离了声音和振动从齿轮箱到机架的传递。弹性支撑的轴衬使用高质量的材料以便延长其使用寿命。

在齿轮箱和发电机之间的联轴器上安装了 1 个刹车装置。如果遇到紧急停机情况,该制动装置拥有较大的补偿能力。此联轴器补偿了齿轮箱和发电机之间的位移,而该位移是由于齿轮箱的弹性悬置而产生。此外,在联轴器上还装有 1 个安全离合器用于防止在可能发生发电机短路的突发情况下阻止出现瞬时力矩转移到齿轮箱,以保护齿轮箱不受损坏。

机械盘片式制动器可以起到附加安全系统的作用。它只在其中 1 个主要的安全系统(叶片变桨机构)发生故障的情况下启动。此盘片制动器也设定成自动防故障装置,它通过弹簧弹力启动并通过液压解除。

1.2 机组控制运行安全保护系统

a. 大风安全保护。风速达到 20 m/s (10 min) 即为停机风速,机组必须按照安全程序停机,停机后,风力发电机组必须 90° 对风控制。

b. 参数越限保护。各种采集、监控的量根据情况设定有上、下限值,当数据达到限定值时,控制系统根据设定好的程序进行自动处理。

c. 过压过流保护。当装置元件遭到瞬间高压冲击和电流过流时所进行的保护。通常采用隔离、限压、高压瞬态吸收元件、过流保护器等。

d. 震动保护。机组应设有三级震动频率保护,震动球开关、震动频率上限 1、震动频率极限 2,当开关动作时,控制系统将分级进行处理。

e. 开机关机保护。设计机组开机正常顺序控制,确保机组安全。在小风、大风、故障时控制机组按顺序停机。

f. 电网掉电保护。风力发电机组离开电网的支持是无法工作的,一旦有突发故障而停电时,控制器的计算机由于失电会立即终止运行,并失去对风力发电机的控制,控制叶尖气动刹车和机械刹车的电磁阀就会立即打开,液压系统会失去压力,制动系统动作,执行紧急停机。紧急停机意味着在极短的时间内风力发电机的制动系统将风力发电机叶轮转数由运行时的额定转速变为零。大型机组在极短的时间内完成制动过程,将会对机组的制动系统、齿轮箱、主轴和叶片以及塔架产生强烈冲击。紧急停机设置是为了在出现紧急情况时保护风电机组的安全。然而,电网故障无须紧急停机,突然停电往往出现在天气恶劣、风力较强时,紧急停机将会对风力发

电机的寿命造成一定影响。另外风力发电机主控计算机突然失电就无法将风力发电机停机前的各项状态参数及时存储下来,这样不利于迅速对风力发电机发生的故障作出判断和处理。针对上述情况,可以在控制系统电源中加设在线 UPS 后备电源,这样当电网突然停电时,UPS 自动投入,为风力发电机控制系统提供电力,使风电控制系统按正常程序完成停机过程。

g. 紧急停机安全链保护。系统的安全链是独立于计算机系统的硬件保护措施,即使控制系统发生异常,也不会影响安全链的正常动作。安全链是将可能对风力发电机造成致命伤害的超常故障串联成一个回路,当安全链动作后将引起紧急停机、执行机构失电、机组瞬间脱网等,控制系统在 3 s 左右将机组平稳停止,从而最大限度地保证机组的安全。发生下列故障时将触发安全链:叶轮超速、机组部件损坏、机组振动、扭缆、电源失电、紧急停机按钮动作。

1.3 FD77 风力发电机组的雷电保护区域

FD77 风力发电机组保护等级为 IEC 61024-1。

1.3.1 外部雷电保护

在每块叶片上安装 1 台接收器并通过叶片支承的内环连接到轮毂上。雷电产生的电流通过特别的连接装置从轮毂引入风轮维护盘中,经过风轮轴承传入主载体。雷电电流经由 2 个额外的特殊触点传入塔架,它可用于消散雷电电流。塔架的基座法兰通过 3 点与基座接地电极相连,这样能保证将雷电电流安全地传输到地下。所有的塔架法兰都是通过接地片进行通电连接的。按照 II 级雷电保护等级的要求,主要的雷电电流通路上的设计雷电电流峰值为 150 kA 。

1.3.2 内部雷电保护

系统中使用的金属片封闭式开关柜与所有的本地等电位连接导线相连,反过来也与雷电保护装置中的等电位连接导线相连。特别是将有危险的电缆防护起来并与本地的等电位连接导线连接在一起。所有在雷电保护区 0A 和 1A 之间的过渡点来自外部的电缆也与雷电保护等电位连接导线相连。预计出现在该区域内的雷电电流通过避雷器带走。本地的等电位连接导线必须安装在各个额外的区域界面上。所有的金属物体比如开关配电箱、驱动电动机和发电机都要与本地等电位连接导线相连。雷电保护元件是根据各区域内的潜在危险性大小来进行选择的。

过电压保护装置包含在低电压系统中。过电压保护包括与中间保护相匹配并包含在变频器中的变电站基本保护。由于变压器与变频器之间的电缆连

接非常短,在桁架塔式系统中要使用专门设计的基本保护装置,这样中电压系统中的电气设备和风力系统就得到了可靠的保护,有效地避免了过电压造成的损坏。

1.3.3 潜在影响位置的确定

闪电-火球-程序经证实是一种很好的用于确定潜在雷击点的程序。根据确定的保护等级,闪电形成的火球在建筑物/厂房上方进行滚动,火球的半径与雷电的等级有关,它是雷电的端部穿孔路线的长度。所有的接触点都是潜在的雷击点。FD77 风力发电机组选用 30m 的闪电火球半径。

1.3.4 EMC——导向的雷电保护区域概念

风机的雷电保护措施根据 EMC——导向的雷电保护区域概念来执行。在确定了保护等级以后,整个系统被划分为不同的雷电保护区域,这一决定详细说明了不同区域的要求。保护区域的任务就是将功率干扰和能量场降到一个固定的限度内。对于 2 个保护等级之间的边界区,应该满足保护等级较高区域的防护要求。

雷电保护区 LPZ 定义如下：

LPZ 0A 区域 :该区域内零部件直接暴露在可能遭受雷击的地方,零部件不得不传导全部雷电电流。

LPZ 0B 区域 :该区域内零部件不直接暴露在可能遭受雷击的地方,但会出现整个电磁场。

LPZ 1 区域 :该区域内零部件不直接暴露在可能遭受雷击的地方,并且传导零件中通过的电流比区域 LPZ 0A 和 LPZ 0B 有所减小。依靠屏蔽作用,电磁场会被削弱。

LPZ 2 区域 :零部件处于雷电保护区 LPZ 1 中的条件下,并且通过额外的屏蔽作用降低干扰程度。

LPZ 3 区域 :零部件处于雷电保护区 LPZ 2 中的条件下,并且通过额外的屏蔽作用降低干扰程度。

FD77 风力发电机组的组件和雷电保护区域 (LPZn) 的分类如表 1 所示。

FD77 风力发电机组塔架采用钢结构或钢筋混凝土结构,附在地基上面。地基含有地基接地装置,其设计要求符合 IEC 61024 的规定。接地装置是在地基施工过程中安装的,至少有 3 个接头与塔架基础法兰相连,这些接头均匀分布在圆周上并与基础法兰导电连通。外部变压器/转接站中的接地装置与风力发电机的接地装置相连。如果整个接地系统的接地电阻高于 10Ω,则接地安装的位置应该更深。FD77 风力发电机组机型的接地电阻小于 2Ω。

1.4 微机控制器抗干扰系统

风电场控制系统的主要干扰源有：工业干扰(如高压交流电场、静电场、电弧、可控硅等)、自然界干

表 1 FD77 风力发电机组组件和雷电保护区 (LPZn) 的分类

组 件	雷电保护区
异步发电机,双向馈送	LPZ 0B (机舱)
通过备用碳刷/火花间隙结合	LPZ 0B (机舱)
装置的雷电电流传导	
塔架内的电力电缆	LPZ 1
齿轮箱	LPZ 0B (机舱)
液压机构	LPZ 0B
电缆,安装在轴内	LPZ 1
机 舱	LPZ 0B
底 板	LPZ 0B
轮 毂	LPZ 0B
轮毂箱	LPZ 1
接受器	LPZ 0A (风轮叶片)
风轮叶片	LPZ 0A
风轮轴	LPZ 0B (机舱)
传感电缆,屏蔽	LPZ 1
顶 箱	LPZ 1
塔架,外部	LPZ 0A
塔架,内部	LPZ 1
变频器	LPZ 2
气象杆	LPZ 0A

扰(雷电冲击、各种静电放电、磁爆等)、高频干扰(微波通讯、无线电信号、雷达等),这些干扰通过直接辐射或由某些电气回路传导进入的方式进入控制系统,干扰控制系统工作的稳定性。从干扰的种类来看,可分为交变脉冲干扰和单脉冲干扰 2 种,它们均以电或磁的形式干扰控制系统。

抗干扰的基本原则是为了使微机控制系统或控制装置既不因外界电磁干扰的影响而误动作或丧失功能,也不向外界发送过大的噪声干扰,以免影响其他系统或装置正常工作,FD77 风力发电机组抗干扰系统主要遵循原则：①抑制噪声源,直接消除干扰产生的原因；②切断电磁干扰的传递途径,或提高传递途径对电磁干扰的衰减作用,以消除噪声源和受扰设备之间的噪声耦合；③加强受扰设备抵抗电磁干扰的能力,降低其噪声敏感度。

抗干扰主要有以下措施：①进入微机控制器的所有输入信号和输出信号均采用光隔离器,实现微机控制系统内部与外界完全的电器隔离；②控制系统数字地和模拟地完全分开；③控制器各功能板所有电源均采用 DC—DC 隔离电源；④输入、输出的信号线均采用带护套的抗干扰屏蔽线；⑤微机控制器的系统电路板由带有屏蔽作用的铁盒封装,以防外界的电磁干扰；⑥设计较好的接地系统。微机控制器抗干扰系统组成框图如图 2 所示。

(下转第 29 页)

器)的共同作用下,2个变换器的工作状态随着DFIG工作区域的改变而自动切换。

c. 由于双PWM型变换器采用高频自关断器件和空间矢量PWM(SVPWM)调制方法,开关频率高达1~2万Hz,消除了低次谐波,输入、输出特性好,对电网和DFIG造成的影响比较小,在谐波特性上能满足DFIG的励磁要求。

d. 双PWM型变换器具有较强的无功功率控制能力。由于DFIG是异步发电机,空载时转子需要吸收一部分无功功率进行励磁;而当定子输出感性无功功率时,转子需要吸收更多的无功功率。这就需要转子变换器具有产生一定无功功率的能力。

3 结 语

随着风力发电机组单机容量的增大,在并网时对电网的冲击也越大。这种冲击严重时不仅引起电力系统电压的大幅度下降,而且能使发电机和机械部件损坏。如果并网冲击时间持续过长,还可能使系统瓦解或威胁其他挂网机组的正常运行。因此,采用合理的并网技术是一个不可忽视的问题。本文

介绍了响水FD77双馈绕线式变速恒频风力发电机组的并网控制技术及双PWM变频器的工作原理。

参考文献：

[1] LIMA M L, SILVINO J L. H_{∞} Control for a variable-speed adjustable-pitch wind energy conservation system [C]// Proceeding of the 1999 IEEE Canadian Conference on Electronic and Computer Engineering. 1999,16(5) 556-561.

[2] BONQERS P M M, et al. Load reduction in a wind conservation system using H_{∞} controller [C]//The 2nd IEEE Conference on CA. Vancouver B C 1993,9 965-970.

[3] KRAAN I, BONGERS P M M. Control of a wind turbine using serval linear robust controller [C]//Proceeding of the 32nd Conference on Decision and Control. San Antonio, Texas, 1993 : 1928-1929.

[4] RONILSON R, LUIZ S, MARTINS F. A multivariable H_{∞} control for wind energy conservation system. 2002.

[5] CHEN J, PATTRON R J. Robust model-based fault diagnosis for dynamic system [M]. London : Kluwer Academic Publishers, 1999.

(收稿日期 2010-09-08 编辑 方字形)

(上接第 24 页)

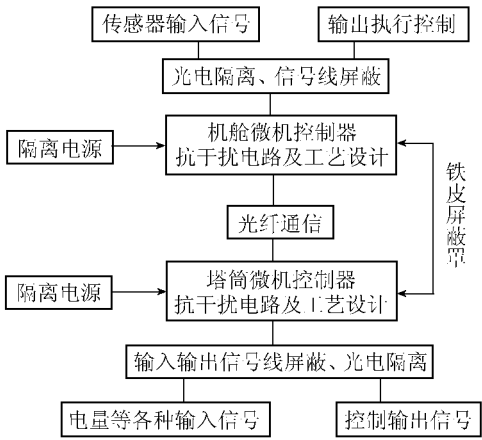


图 2 微机控制器抗干扰系统

2 结 语

介绍了响水FD77风力发电机组的安全保护系统。风力机组的安全生产是一项安全系统工程,而控制系统是风力发电机组的重要组成部分,其安全系统作为整个安全系统的一部分需要以系统论、信息论、控制论为基础。纵向从设计、制造、安装、试验、运行、检修,横向从元器件购买、工艺、规程、标准、组织和管理等全面分析最后进行全面综合评价,使风力发电系统中各不安全因素减到最小,达到最佳安全生产状态。

参考文献：

[1] GREGOR E B, PETER M M B. Wind turbine control design and implementation based on experimental models [C]//IEEE Proceedings of the 31st Conference on Decision and Control. Tucson, Arizona, 1992.

[2] HILLOOWALA R M, SHARAF A M. Modeling, simulation and analysis of variable speed constant frequency wind energy conservation scheme using self excited induction generator [J]. IEEE Trans, 2006 33-37

[3] WU Wei-sheng, DAI Hui-zhu. Application of models of the wind dnergy conversion system to wind power dynamic analysis [J]. IEEE Trans on Energy Conversion. 1998(4) 1406-1411

[4] RAHIM Y H. Controlled power transfer from wind driven reluctance generator [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1997, 12(4) 12-16

[5] LARSON A. Flicker and slow voltage variations from wind turbines [C]//Proc 17th ICHOQP. Las Vegas, 1996 270-275

[6] JOSE C. A linear dynamic model for asynchronous wind turbines with mechanical fluctuations [J]. IEEE Transaction on Power Systems, 2002, 17(3) 681-687

(收稿日期 2010-09-10 编辑 方字形)