[风力发电]

基于 PLC 的风电机组仿真平台研究设计

文/ 华北电力大学控制与计算机工程学院　王剑涛　吕跃刚

风能作为一种绿色清洁能源在近年来得到了快速发展，我国的风力发电技术越来越成熟。但是大型风力发电机组存在许多潜在故障，对风力发电机组的控制系统有更高的要求。本文研究一种基于 PLC 的双馈式风电机组控制系统的仿真实现办法。

风能作为一种绿色清洁可再生能源，在近年来得到了大力发展。目前全球风力发电机组的总装机量逐步增长，中国的累计总装机容量已跃居世界第一。随着装机容量的增加，各个企业开始将运营管理作为发展的重要模块。目前，提高企业的精细化运营水平已成为获得更广阔市场与更高效益的关键所在。因此，如何选择最适宜的控制策略和提高风电场的维人员的技术水平是非常重要的。

针对双馈风力发电机组的运行与控制技术，利用已有的风力发电机组的物理模型和理论模型进行设计与研究，使用倍福 PLC 进行主控制系统的搭建，构建风电机组仿真平台各个结构之间的通信，主要包括主控系统、计算机仿真模型和监控上位机这三部分之间的相互通信。最后，对电气设备与柜体电路以显示屏的形式进行展示，可以仿真发电机组的各个模块，模拟整个机组运行时的工况。

使用硬件与软件相结合的方法仿真实现控制系统的运行，不仅能够对控制技术进行仿真验证，而且能够对相关工作人员进行岗前培训，针对可能发生的故障进行正确指导，弥补实际工作中的不足。

风电机组仿真平台整体设计

本文所实现的风电机组实时仿真平台主控系统是基于德国倍福公司（Beckhoff）的 PLC 构建的。PLC 主要包括嵌入式微处理器、PROFIBUS 通信模块、IO 数据传输模块以及 TwinCAT 集成开发环境。系统结构图如图 1 所示。

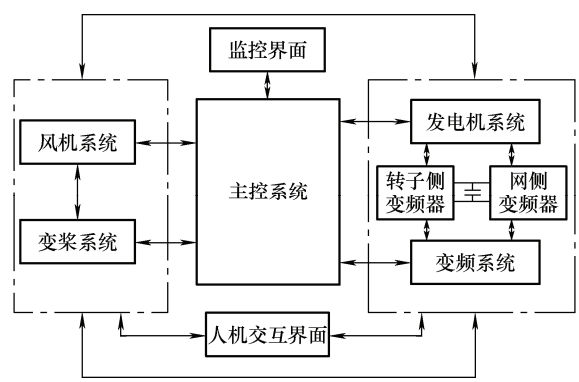

图 1　系统结构图

由图 1 可见，该系统主要有四部分构成：主控系统、风机系统、发电机系统以及界面。主控系统居于风电机组系统的中心，是整个控制系统的核心部分，主要功能

有：协调各个子控制系统，通过逻辑和运算给出指令，实现机组内部及机组对外的通信以及实现系统实时监视界面。从硬件上看主控系统一般是由 PLC 控制器及各种功能板卡构成的 PLC 系统。在变桨系统中，主控系统通过变桨系统将桨距角信号传送给风机模型，经由风机模型运算与控制，再将当前状态下的桨距角通过变桨系统反馈给主控器，与此同时，还需要将当前状态桨距角、风轮转速等信息传送给电机模型；在变频系统中，主控器将变频器转矩设定和无功功率设定送入发电机系统。另一方面，电机模型中的转子侧变流器模型和网侧变流器模型也要与发电机系统进行数据交换，并最终将实时无功功率、发电机转速等信息通过变频系统反馈给主控器。

人机界面主要包括两个方面：一个是由现场总线实现的实时监控界面，负责主要电器参数信号的显示和整个系统的起动和停止；另一个是由模型系统实现的故障信号的模拟显示界面，可以看到控制系统传输的主要参数信号。这两个界面通过主控系统相互联系，一个界面的指令信号影响另一个界面的显示信号。

风电机组控制系统

风电机组的控制系统主要包括主循环控制系统、变桨控制系统和变频控制系统等，为了提高机组的运行安全性，还设计了安全保护系统，包括正常保护等级和安全链保护系统。

1．主循环控制系统

风力发电机组运行过程主要有以下 6 种：初始化状态、停机过程、停机状态、待机状态、起动运行状态以及并网发电状态，其余的状态是为机组的安全运行设计的测试与维护。主循环控制流程图如图 2 所示。

系统上电之后进行初始化状态，系统进行控制器自检，对全局变量进行初始化操作，然后进入停机状态，此时发电机以及变桨均处于限定状态，手动按下起动按钮进入待机状态，变频系统和变桨系统开始动作，叶轮转速开始增大，转速达到临界值后进入起动运行状态，当叶轮转速信号达到并网设定值后风机进入并网发电过程，主控系统接收到信号后开始和变频控制器相互传输信号，确保控制器按设定值运行，机组进入并网发电状态。当系统需要停机时，停机过程起动，系统逐渐进入停机状态。维护状态和测试状态都需要在停机状态下进行。

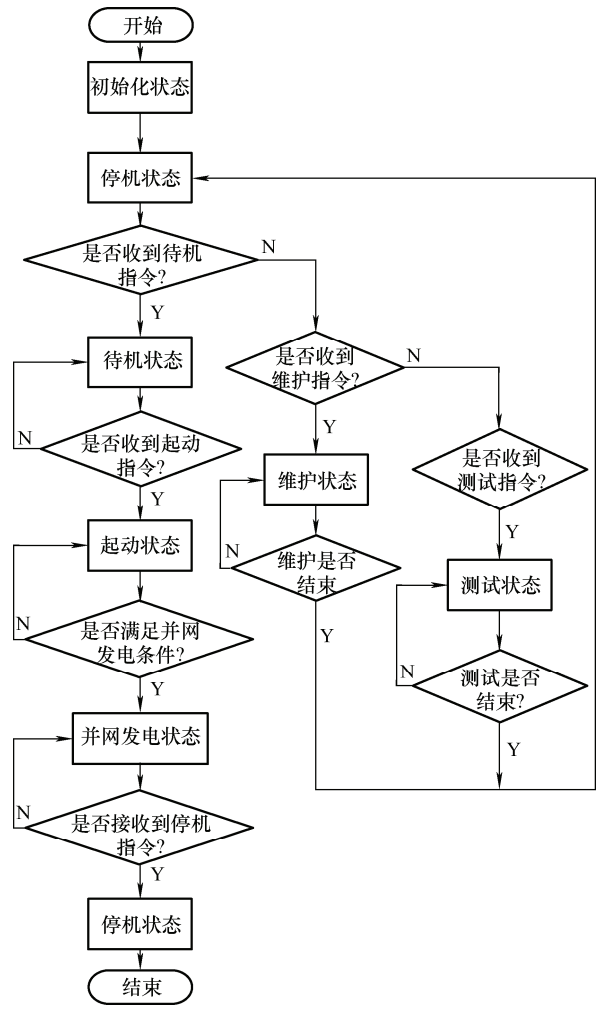

图 2　主循环控制流程图

2．变桨控制系统

变桨控制系统主要包括六个工作状态：开始运行、起动状态、测试状态、正常工作状态以及两个停机状态。变桨控制流程图如图 3 所示。

当风速和机舱位置达到设定值时，系统进入起动状态。首先在满足一定条件下执行的是自我测试的过程，然后控制发电机、齿轮箱和控制面板等的温度使其满足条件，变桨系统起动变桨。这样，当叶轮达到起动速度时，变流器并网，进而进入正常操作状态。正常工作状态下，变桨控制器开始工作，控制器采用 PI 控制。二级故障触发时使，系统进入正常停机状态，此时变桨系统动作，变桨过程中叶轮转速达到一定值时发电机脱网。

高故障等级对应的故障、安全链断开和紧急停机等情况出现时，系统进入紧急停机状态。变桨过程中，变流器迅速脱网，刹车系统在转子速度达到设定值时起动刹车。整个变桨过程是完全脱离变桨主控制器完成的。变桨控制流程图如图 3 所示。

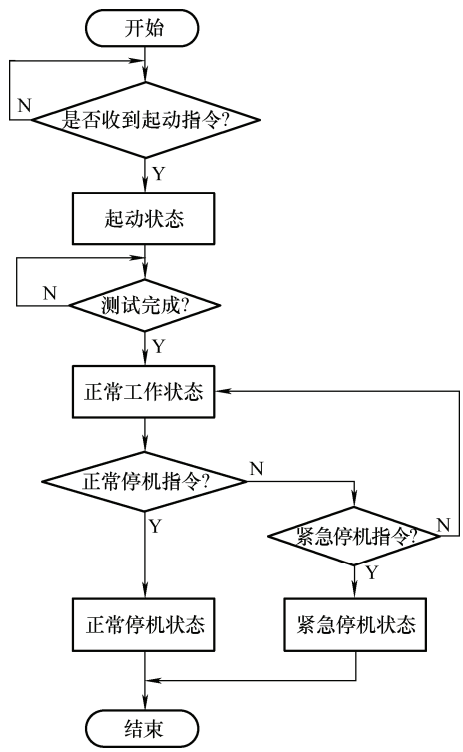

图 3　变桨控制流程图

3．变频控制系统

双馈式风力发电机组采用变速恒频发电系统，主要包括发电机控制系统和变频器控制系统。其中变频器由两部分组成：网侧变频器以及转子侧变频器。发电机控制系统采用矢量变换控制的方法，实现了定子输出有功功率和无功功率的解耦控制，保证了交流电动机的高性能调速控制，使其在亚同步、同步和超同步三种工况下向电网高效的输出电能。变频器控制系统主要采用双 PWM 系统，双 PWM 变频器采用的空间矢量脉宽调制（SVPWM）性能优越，可以消除低次谐波。直流环节配置储能电容，有较好的无功功率控制能力。两侧变频器功能相对独立，控制相对独立：网测变频器主要保证交流侧的单位功率因数运行，并始终对直流母线电压进行控制，保证其稳定是整个励磁系统可靠工作的基础，而通过转子侧变频器，发电机的矢量变换控制得以实现。

4．安全链保护系统

风电机组安全链是独立于计算机系统的软硬件保护措施，是将可能对风力发电机组造成致命伤害的超常故障串联成一个回路，当安全链其中一个节点故障触发时，执行机构失电，机组瞬间脱网并紧急停机，从而最大限度地保证机组的安全。安全链系统结构如图 4 所示。

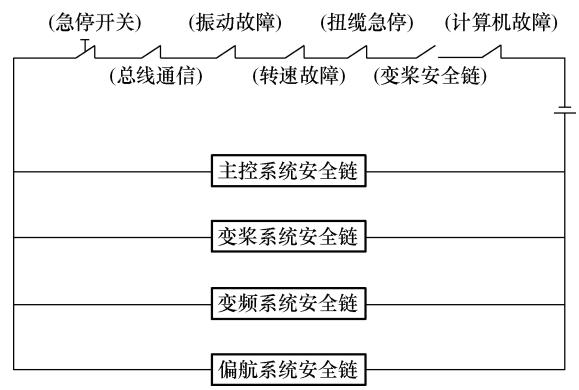

图 4　安全链系统结构图

安全链串入回路中的节点有：急停开关、总线通信是否正常、由振动引发的故障、由转速引发的故障包括发电机转速和叶轮转速、扭缆时急停、变桨安全链闭合和计算机故障(看门狗开关)。现场任一节点的安全链故障触发都将引起主控制系统安全链、变桨系统安全链、变频系统安全链和偏航系统安全链的失电闭锁，发电机组进入紧急停机状态，安全链打开后风电机组不能自起动，只能通过手动复位解锁控制系统。

结束语

本文实现了一种以 PLC 为主控制器的半物理风电机组仿真平台，此系统主要包括的控制子系统有主循环控制、变桨控制、变频控制以及偏航控制系统，除此之外，还设计了安全链保护系统。此系统能够模拟实际现场的真实工况，能够为有关工作人员提供更直观更丰富的故障模拟，也可以对相关的控制算法进行验证。EA

（收稿日期：2020.10.24）