



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104283212 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 27

(21) 申请号 201410536608. 6

(22) 申请日 2014. 10. 11

(73) 专利权人 广西大学

地址 530004 广西壮族自治区南宁市大学路
100 号

(72) 发明人 兰飞 黎静华 杨涛 胡锦 刘超
何小华 凌志聪 顾桂萌

(74) 专利代理机构 广西南宁汇博专利代理有限
公司 45114

代理人 邓晓安

(51) Int. Cl.

H02J 3/00(2006. 01)

G06F 17/50(2006. 01)

审查员 陈雪

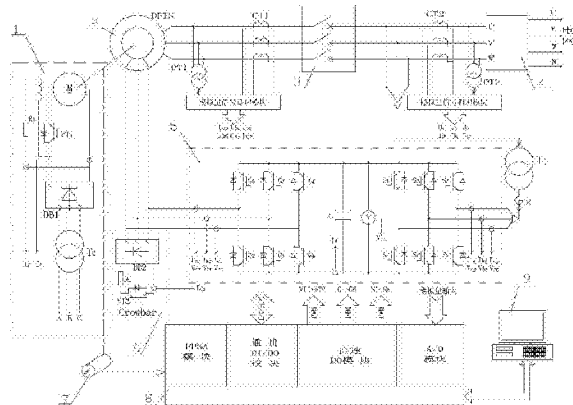
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于 CompactRIO 的双馈风力发电机组物理仿真平台

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 CompactRIO 的双馈风力发电机组物理仿真平台,包括风力机模拟装置、双馈发电机、并网开关、电压跌落发生器、背靠背变流器、Crowbar 保护电路、绝对值编码器、CompactRIO 控制器和监控电脑;各部件分别相连接,构成双馈风力发电机组物理仿真平台工作回路。该物理仿真平台具备风力发电模拟系统的高速、实时的运算和控制的能力,能满足风力发电系统控制算法复杂性不断提高的要求,而且结构紧凑,方便维护,特别便于没有硬件代码编程经验的研究人员进行相关课题的物理仿真试验研究,以验证各种风力发电控制算法理论在实际物理模型中的适用性,对风力发电的研究有着重大的意义。



1. 一种基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:包括风力机模拟装置(1)、双馈发电机(2)、并网开关(3)、电压跌落发生器(4)、背靠背变流器(5)、Crowbar保护电路(6)、绝对值编码器(7)、CompactRIO控制器(8)和监控电脑(9);所述的风力机模拟装置(1)通过联轴器分别与双馈发电机(2)、绝对值编码器(7)同轴相连;所述的双馈发电机(2)的定子绕组与并网开关(3)的一端相连,并网开关(3)的另一端与电压跌落发生器(4)的输出线端U'、V'、W'相连;所述电压跌落发生器(4)的输入线端A、B、C、N分别与电网的输入端子U、V、W、N相连;所述的双馈发电机(2)的转子绕组分别与Crowbar保护电路(6)、背靠背变流器(5)的转子侧直接连接;所述背靠背变流器(5)的电网侧串联电抗器X后,与励磁变 T_1 的一端相连,励磁变 T_1 的另一端与电压跌落发生器(4)的输出线端U'、V'、W'相连;所述的并网开关(3)两侧设有电压互感器PT1、PT2及电流互感器CT1、CT2,电压互感器PT1、PT2和电流互感器CT1、CT2的二次侧信号线端分别经模拟量信号调理模块与CompactRIO控制器(8)的A/D模块相连接;所述的监控电脑(9)通过网线与CompactRIO控制器(8)相连;

所述的风力机模拟装置(1)主要由直流电动机M、整流变 T_2 、整流桥DB1、续流管VD和斩波管VT1组成;市电经整流变 T_2 与整流桥DB1的交流端子相连,整流桥DB1的直流输出正端经斩波管VT1与直流电动机M的电枢绕组的一端相连,直流电动机M的电枢绕组的另一端与整流桥DB1的直流输出负端相连,直流电动机M的电枢绕组两端并联续流管VD;直流电动机M的励磁绕组串联限流电阻 R_1 后分别与整流桥DB1的直流输出正、负端连接,在直流电动机M的电枢回路及励磁回路上装设有霍尔电流传感器,霍尔电流传感器的输出端与CompactRIO控制器(8)的A/D模块相连;

所述的背靠背变流器(5)包括由绝缘栅双极型晶体管 $G_1 \sim G_6$ 组成的转子侧变流器和由绝缘栅双极型晶体管 $S_1 \sim S_6$ 组成的网侧变流器;所述的网侧变流器与转子侧变流器经直流侧母线连接在一起;所述的直流侧母线上并联电容器C,并且所述背靠背变流器(5)的直流侧母线上分别装设霍尔电流传感器和霍尔电压传感器;所述的网侧变流器和转子侧变流器每相交流出线端设有霍尔电流传感器;所述的霍尔电流传感器、霍尔电压传感器的输出信号端均与CompactRIO控制器(8)的A/D模块相连;

所述的Crowbar保护电路(6)主要由整流桥DB2、斩波限流管VT2和旁路电阻 R_2 组成;所述的整流桥DB2的交流接线端与双馈发电机(2)的转子绕组相连,整流桥DB2的直流接线端与旁路电阻 R_2 、斩波限流管VT2构成可控放电回路,并且在可控放电回路上装设有霍尔电流传感器,霍尔电流传感器的输出端与CompactRIO控制器(8)的A/D模块相连;

所述的CompactRIO控制器(8)包括内嵌高速多核处理器和FPGA的CompactRIO支架,支架上安装有通用DI/DO模块、高速DO模块和A/D模块;所述的高速DO模块分别与风力机模拟装置(1)的斩波管VT1、Crowbar保护电路(6)的斩波限流管VT2、背靠背变流器(5)的绝缘栅双极型晶体管 $G_1 \sim G_6$ 、 $S_1 \sim S_6$ 的栅极相连接;所述的A/D模块分别与平台各个测量点的传感器、模拟量信号调理模块输出端相连接;所述的平台各个测量点包括直流电动机M的电枢回路及励磁回路、背靠背变流器(5)的直流侧母线、网侧变流器每相交流出线端、转子侧变流器每相交流出线端和可控放电回路。

2. 根据权利要求1所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的风力机模拟装置(1)由CompactRIO控制器(8)输出PWM脉冲控制信号,驱动斩波

管VT1,进而控制直流电动机M输出转矩,模拟风力机运行。

3.根据权利要求1所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的背靠背变流器(5)由CompactRIO控制器(8)输出12路PWM脉冲控制信号,驱动绝缘栅双极型晶体管G₁~G₆、S₁~S₆,进而实现双馈发电机有功功率和无功功率的解耦控制。

4.根据权利要求1所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的并网开关(3)的分合闸操作由CompactRIO控制器(8)控制。

5.根据权利要求1所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的电压跌落发生器(4)包括1个三相自耦调压器与2个交流接触器KM1、KM2;所述的三相自耦调压器的输入线端A、B、C、N分别接到电网的输入端子U、V、W、N;所述交流接触器KM1的1、3、5接线端子分别与三相调压器的输入线端A、B、C连接,2、4、6接线端子分别接至电压跌落发生器(4)的输出线端U'、V'、W';所述的交流接触器KM2的1、3、5接线端子与三相自耦调压器的变压触点a、b、c连接,2、4、6接线端子与电压跌落发生器(4)的输出线端U'、V'、W'连接。

6.根据权利要求5所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的三相自耦调压器是一种每相能单独调压的调压器。

7.根据权利要求5所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的交流接触器KM1和交流接触器KM2由CompactRIO控制器(8)通过编程实现互锁控制,发电机正常并网发电时,KM1动作闭合,KM2断开;模拟电网对称和非对称低电压事故时,KM1断开,KM2动作闭合。

8.根据权利要求1所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的CompactRIO控制器(8)的通用DI/DO模块与风力发电模拟系统的绝对值编码器(7)的信号输出端子相连接,测量双馈发电机(2)转子的转速和位置。

9.根据权利要求1-8任一所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的CompactRIO控制器(8)内部的实时控制代码采用LabVIEW Real-Time图形化开发软件编写。

10.根据权利要求1-8任一所述的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,其特征在于:所述的监控电脑(9)的监控代码采用图形化开发软件LabVIEW进行组态编程。

一种基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台

技术领域

[0001] 本发明属于风力发电控制领域,涉及一种双馈风力发电机组物理仿真平台,尤其是一种基于CompactRIO的一种双馈风力发电机组物理仿真平台。

背景技术

[0002] 风电作为风能最主要的转换形式,近年来发展十分迅速,然而风电固有的随机性、波动性和间歇性所引发的一系列电网安全问题也随之而来。显然如何确保风力发电机组在各种工况下保持安全、稳定地工作以及如何如何在电网故障的情况下实现故障穿越是解决上述问题的重要途径之一。围绕上述课题,科研人员提出了很多新的控制算法,这些控制算法的控制效果虽然已经通过了计算机的数字仿真,但仍需要通过物理仿真实验或现场实验进行检验。然而实际风场的实验投资巨大,对自然环境的依赖性很高,而且实验周期长,导致大量的理论研究成果都停留在数字仿真阶段,因此在实验室建立风力发电机组物理仿真平台,对风力发电控制技术理论成果的转化有着极其重要的意义。

[0003] 现代风电控制算法理论层出不穷,其共同的特点是数学模型比较复杂,因此作为用于检验控制算法理论的物理仿真平台,在硬件上必须具有较快的运算速度和可重配置、可扩展性,以适应各种算法对硬件的要求;在软件上应具有代码编程简单易学的特点,以减轻研究人员控制代码编写的工作量,促进理论成果的转化。针对双馈风力发电机组物理仿真平台的研究,国内学者提出了很多实现方案,主要包括:

[0004] 《风力发电试验装置》(申请号201110164404.0)公开的是一种由交流异步电动机带动双馈发电机和同步发电机的风力发电试验装置,其中交流异步电动机模拟风力机特性,双馈发电机与同步发电机作为风力发电机,未涉及交流异步电动机、双馈发电机及同步发电机控制器,与本专利采用直流电机模拟风力机,仅用双馈电机作为风力发电机,和运用CompactRIO作为控制器的试验装置均有所不同;《低压一中压风力发电模拟实验平台》(申请号201210173899.8)公开的是一种低压一中压风力发电模拟实验平台,包括中压异步电机及其控制系统和双馈异步电机及其控制系统,工作时两机可由任一模拟风力机,而另一机作为发电机运行,该专利未涉及控制器的软硬件,与本专利仅用直流电机模拟风力机,仅用双馈电机作为风力发电机,和运用CompactRIO作为控制器以及采用LabVIEW图形编程方式均有所不同;《风力发电模拟实验平台》(申请号200810220069.X)公开的是基于无刷双馈发电机的风力发电实验平台,该专利所述的采用变频器调节原动机(异步电机)模拟风力机,采用无刷双馈电机模拟风力发电机和其控制系统,与本专利采用直流电机模拟风力机,双馈电机模拟风力机,和运用CompactRIO作为控制器均有所不同。

[0005] 《一种变速恒频风力双馈发电机实验模拟系统》(申请号200510086939.5)公开的是基于DSP的双馈风力发电模拟平台、《一种风电实验室模拟控制方法及其装置》(申请号201210104957.1)公开的是基于PLC控制器的直驱或双馈风力发电模拟系统、《一种风力发电模拟平台及其模拟方法》(申请号201210174298.9)公开的是一种基于DSP的异步电机和双馈电机风力发电模拟平台、《一种基于双馈发电机的风力发电模拟系统》(申请号

201010147802.7)公开的是基于微处理器(PLC、PCC或单片机)的双馈发电机的风力发电的模拟系统、《一种双馈发电机模拟试验台》(申请号200920248191.8)公开的是一种基于DSP控制的双馈发电机模拟试验台、《实验室风力发电交流控制装置》(申请号201120232748.6)公开的是一种基于PLC作为控制主机的实验室风力发电交流控制装置,这些专利都是基于DSP或其他MCU的风力发电模拟控制系统或平台,均与本专利所述基于CompactRIO控制器的风力发电模拟平台不同。

[0006] 以上所述专利为代表的双馈风力发电机组物理仿真平台一般采用DSP、单片机、PCC或PLC作为控制器的控制核心,其中,前二者的代码编写非常复杂且硬件很难根据不同算法要求重新配置,一般理论研究人员很难在短期内完成算法编程或硬件重构;而后二者的代码编写尽管简单,但其运算速度却难以满足现代控制算法的要求。综上,现场试验的困难和物理仿真平台的不足,是目前大量的理论成果仅停留在数字仿真阶段的主要原因之一。因此研制一种具有控制代码编程简单、硬件可重配置、核心控制器运算速度快的双馈风力发电机组物理仿真平台是减轻科研人员的物理仿真工作量,加速理论成果的转化速度的有效途径。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于针对上述风力发电机模拟实验系统存在不足,提出了一种基于CompactRIO硬件平台和LabVIEW图形化编程软件的双馈风力发电机组物理仿真平台。该物理仿真平台主要用于在实验室环境下通过图形化编程模拟风场、风力机和风力发电机,进行风力发电机组控制实验,验证各种风力发电控制算法理论在实际物理模型中的适用性。CompactRIO硬件平台内嵌了可重配置FPGA芯片,模块化结构使得各单元模块可以直接与控制系统的传感器相连,能够针对不同的控制算法对设备的硬件进行扩展或重新配置,大大缩减了研究人员硬件电路的设计时间。LabVIEW图形化软件平台极大地简化了控制程序设计的复杂性,节省了研究人员编写控制代码的时间,这种图形化的控制程序使得研究人员能更方便地根据需要对控制代码进行检查与修改,而FPGA的引入使得系统的运算速度及控制的实时性得到了非常大的提高,能更好地实现物理仿真测试。

[0008] 为了实现上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0009] 一种基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,包括风力机模拟装置、双馈发电机、并网开关、电压跌落发生器、背靠背变流器、Crowbar保护电路、绝对值编码器、CompactRIO控制器和监控电脑;所述的风力机模拟装置通过联轴器分别与双馈发电机、绝对值编码器同轴相连;所述的双馈发电机的定子绕组与并网开关的一端相连,并网开关的另一端与电压跌落发生器的输出线端U'、V'、W'相连;所述电压跌落发生器的输入线端A、B、C、N分别与电网的输入端子U、V、W、N相连;所述的双馈发电机的转子绕组分别与Crowbar保护电路、背靠背变流器的转子侧直接连接;所述背靠背变流器的电网侧串联电抗器X后,与励磁变T₁相连,励磁变T₁的另一端与电压跌落发生器的输出线端U'、V'、W'相连;所述的并网开关两侧设有电压互感器PT₁、PT₂及电流互感器CT₁、CT₂,电压互感器PT₁、PT₂和电流互感器CT₁、CT₂的二次侧信号线端分别经模拟量信号调理模块与CompactRIO控制器的A/D模块相连接;所述的监控电脑通过网线与CompactRIO控制器相连;

[0010] 所述的风力机模拟装置主要由直流电动机M、整流变T₂、整流桥DB1和斩波管VT1组

成;市电经整流变 T_2 与整流桥DB1的交流端子相连,整流桥DB1的直流输出正端经斩波管VT1与直流电动机M的电枢绕组的一端相连,直流电动机M的电枢绕组的另一端与整流桥DB1的负端相连,直流电动机M的电枢绕组两端并联储流管VD;直流电动机M的励磁绕组串联限流电阻 R_1 后分别与整流桥DB1的正、负端连接,在直流电动机M的电枢回路及励磁回路上装设有霍尔电流传感器,霍尔电流传感器的输出端与CompactRIO控制器的A/D模块相连;

[0011] 所述的背靠背变流器包括由绝缘栅双极型晶体管 $G_1\sim G_6$ 组成的转子侧变流器和由绝缘栅双极型晶体管 $S_1\sim S_6$ 组成的网侧变流器;所述的网侧变流器与转子侧变流器经直流侧母线连接在一起;所述的直流侧母线上并联电容器C,并且所述背靠背变流器的直流侧母线上分别装设霍尔电流传感器和霍尔电压传感器;所述的网侧变流器和转子侧变流器每相交流出线端设有霍尔电流传感器;所述的霍尔电流传感器、霍尔电压传感器的输出信号端均与CompactRIO控制器的A/D模块相连;

[0012] 所述的Crowbar保护电路主要由整流桥DB2、斩波限流管VT2和旁路电阻 R_2 组成;所述的整流桥DB2的交流接线端与双馈发电机的转子绕组相连,整流桥DB2的直流接线端与旁路电阻 R_2 、斩波限流管VT2构成可控放电回路,并且在可控放电回路上装设有霍尔电流传感器,霍尔电流传感器的输出端与CompactRIO控制器的A/D模块相连;

[0013] 所述的CompactRIO控制器包括内嵌高速多核处理器和FPGA的CompactRIO支架,支架上安装有通用DI/DO模块、高速DO模块和A/D模块;所述的高速DO模块分别与风力机模拟装置的斩波管VT1、Crowbar保护电路的斩波限流管VT2、背靠背变流器的绝缘栅双极型晶体管 $G_1\sim G_6$ 、 $S_1\sim S_6$ 的栅极相连接;所述的A/D模块分别与平台各个测量点的传感器、模拟量信号调理模块输出端相连接。

[0014] 本发明的基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台具备风力发电模拟系统的高速运算、实时控制的能力,能满足风电发电系统控制算法复杂性不断提高的要求;CompactRIO具有较好的可扩展性,图形化的编程方式和人机交互,可极大的提高模型一代码转化效率;该平台采集丰富的模拟量,可模拟风力发电系统正常运行及故障的工况;该平台结构紧凑,方便维护,特别便于研究人员进行相关课题的研究、试验,验证各种风力发电控制算法理论在实际物理模型中的适用性,对风力发电的研究有着重大的意义。

[0015] 在本发明中,因电流的流向可以是双向的,故上述电压跌落发生器的输出线端指可以调高或调低的一侧,输入线端则指接电网的一侧。

[0016] 作为本发明的进一步说明,以上所述的风力机模拟装置由CompactRIO控制器输出PWM脉冲控制信号,驱动斩波管VT1,进而控制直流电动机M输出转矩,模拟风力机运行。

[0017] 作为本发明的进一步说明,以上所述的背靠背变流器由CompactRIO控制器输出12路PWM脉冲控制信号,驱动绝缘栅双极型晶体管 $G_1\sim G_6$ 、 $S_1\sim S_6$,进而实现双馈发电机有功功率和无功功率的解耦控制。

[0018] 作为本发明的进一步说明,以上所述的并网开关的分合闸操作由CompactRIO控制器控制。

[0019] 作为本发明的进一步说明,以上所述的电压跌落发生器包括1个三相自耦调压器与2个交流接触器KM1、KM2;所述的三相自耦调压器的输入线端A、B、C、N分别接到电网的输入端子U、V、W、N;所述交流接触器KM1的1、3、5接线端子分别与三相调压器的输入线端A、B、C连接,2、4、6接线端子分别接至电压跌落发生器的输出线端 U' 、 V' 、 W' ;所述的交流接触器

KM2的1、3、5接线端子与三相自耦调压器的变压触点a、b、c连接,2、4、6接线端子与电压跌落发生器的输出线端U'、V'、W'连接。

[0020] 作为本发明的进一步说明,以上所述的三相自耦调压器是一种每相能单独调压的调压器,可以手动单独调节a、b、c三相的输出电压。

[0021] 作为本发明的进一步说明,以上所述的交流接触器KM1和交流接触器KM2由CompactRIO控制器通过编程实现互锁控制,发电机正常并网发电时,KM1动作闭合,KM2断开;模拟电网对称和非对称低电压事故时,KM1断开,KM2动作闭合。

[0022] 作为本发明的进一步说明,以上所述的CompactRIO控制器的通用DI/DO模块与风力发电模拟系统的绝对值编码器的信号输出端子相连接,测量双馈发电机转子的转速和位置。

[0023] 作为本发明的进一步说明,以上所述的CompactRIO控制器内部的实时控制代码采用LabVIEW Real-Time图形化开发软件编写。

[0024] 作为本发明的进一步说明,以上所述的监控电脑的监控代码采用图形化开发软件LabVIEW进行组态编程。

[0025] 作为本发明的进一步说明,以上所述并网开关是一个交流接触器。所述背靠背变流器由两个三相整流/逆变器组成(即转子侧变流器和网侧变流器),两者之间由带并联电容的直流侧母线连接,整流部分和逆变部分的主回路结构完全相同,都采用内部含有6只IGBT、反向并联二极管及触发电路的三相IPM模块。IPM(Intelligent Power Module),即智能功率模块,不仅把功率开关器件和驱动电路集成在一起。而且还内部集成有过电压,过电流和过热等故障检测电路,并可将检测信号送到CPU。它由高速低功耗的管芯和优化的门极驱动电路以及快速保护电路构成。即使发生负载事故或使用不当,也可以保证IPM自身不受损坏。

[0026] 作为本发明的进一步说明,以上所述CompactRIO控制器的A/D模块与霍尔电压/电流传感器输出端相连,采集的信号包括定子三相电压及电流 U_{as} 、 U_{bs} 、 U_{cs} 、 I_{as} 、 I_{bs} 、 I_{cs} ,系统三相电压及电流 U_a 、 U_b 、 U_c 、 I_a 、 I_b 、 I_c ,变流器网侧三相电压及电流 V_{ag} 、 V_{bg} 、 V_{cg} 、 I_{ag} 、 I_{bg} 、 I_{cg} ,变流器转子侧三相电压及电流 V_{ar} 、 V_{br} 、 V_{cr} 、 I_{ar} 、 I_{br} 、 I_{cr} 、 I_d ,变流器直流母线电压及电流 V_{dc} 、 I_d ,直流电动机励磁及电枢电流和电枢电压 I_F 、 I_A ,Crowbar保护电路的电流 I_{CB} 。

[0027] 本发明的工作原理:

[0028] 所述风力机模拟装置选用直流电动机作为风力机的模拟机。结构如上述,其中直流电动机M为模拟机,其励磁电流保持恒定,转矩的控制通过调节电枢电压实现。电网电压经整流变 T_2 及三相整流桥DB1整流后分别供给电机励磁绕组及电枢绕组,即励磁绕组和电枢绕组共享整流桥DB1输出的直流电源。为获得适当的恒定励磁电流,在励磁回路中串联一个适当的电阻使励磁电流等于额定值,而为了实现直流电动机的转矩控制,在电枢回路中串联一只斩波管VT1对直流电压进行斩波调压控制。CompactRIO控制器通过给定风速和检测到的转子转速以及直流电动机M的励磁电流、电枢电流计算当前转矩,然后输出PWM波形对电枢回路的VT1进行斩波控制从而实现电机转矩的控制;控制所涉及的直流电动机M的励磁电流 I_F 、电枢电流 I_A 信号经霍尔电流传感器隔离后送CompactRIO控制器的A/D模块进行采集,而转子的转速及位置信号由CompactRIO控制器的双向通用DI/DO模块从绝对值编码器输出端口进行采集。

[0029] 所述的Crowbar保护电路是在电网出现对称或非对称低电压故障时,通过CompactRIO控制器的高速DO模块输出PWM波形,对斩波限流管VT2的进行通断控制,将转子的能量从旁路电阻R2中释放,从而限制转子侧的过电流及背靠背变流器的直流侧的过电压,在保护背靠背变流器的同时实现双馈发电机的低电压穿越控制。

[0030] 所述双馈发电机是本仿真平台的控制对象。本平台的动态模拟系统由双馈发电机、背靠背变流器、励磁变T1、CompactRIO控制器等主要单元组成。双馈发电机的定子经并网开关、电压跌落发生器与电网相连,而转子侧通过背靠背变流器组成的交直交系统和电网相连。由两只三相IPM模块组成的背靠背变流器是发电机的励磁控制单元,也是变速恒频双馈风力发电机动模装置最关键的部分。背靠背变流器分网侧变流器(S1~S6)和转子侧变流器(G1~G6)两部分,在不同转速下,它们分别工作在逆变或整流状态。为匹配转子电压,网侧变流器的交流端通过励磁变压器与电网相连,直流侧则与转子侧变流器的直流侧并联。网侧变流器的主要任务是维持变流器直流侧的电压稳定;采用PQ解耦控制策略,网侧变流器可实现变流器交流侧的PQ四象限运行,在转子亚同步速运行时,工作在整流状态,向转子提供励磁功率和转差功率,在转子超同步速运行时,工作在逆变状态将转子输出的转差功率经励磁变传送到电网。还可根据电网对无功功率的需求与电网交换无功功率,但通常为降低变流器容量而运行在单位功率因数状态。转子侧变流器的直流侧与电网侧变流器的直流侧并联,其交流侧与双馈发电机的转子绕组相连。主要任务是为双馈发电机提供适当幅值和频率的励磁电流,实现发电机机端电压的稳定控制和并联运行机组间无功功率的分配,实现最大风功率追踪等。其工作原理:空载时根据网频和转速自动确定励磁电流频率和相序,跟踪电网电压,满足并网条件后发出并网脉冲,将双馈发电机并入电网发电;并网后通过控制算法实现最大功率捕获控制。背靠背变流器的控制核心采用CompactRIO控制器,其嵌入的FPGA内核使得测量和控制功能非常完备,能满足高速、复杂、大容量控制算法的运算要求。为实现各种不同的控制算法,需要采集发电系统中各个点的运行数据,这些测量点除了转子位置和转速测量采用绝对值编码器以外,均采用的霍尔电压、电流传感器。经过传感器隔离和调理后的模拟量信号直接送至CompactRIO控制器进行测量与计算。CompactRIO控制器根据控制算法分析计算后,输出PWM控制信号分别触发网侧、转子侧变流器的IGBT,给双馈发电机提供交流励磁电源。

[0031] 所述电压跌落发生器中的三相自耦调压器是一种每相抽头能单独调节的调压器,通过调节三相自耦调压器每相绕组的抽头,可以设置电压跌落的大小和不对称度,从而进行低电压穿越控制实验。交流接触器KM1和交流接触器KM2由CompactRIO控制器通过编程实现互锁控制,发电机正常并网发电时,KM1动作闭合,KM2断开;模拟电网对称和非对称低电压事故时,KM1断开,KM2动作闭合;基于电压跌落发生器,研究人员可以进行低电压穿越控制算法的验证实验。

[0032] 所述监控电脑是上位机监控系统,利用虚拟仪器灵活的编程语言和强大的数据处理分析及网络通信能力实现对整个仿真平台各个部件的运行状态进行监视和控制。其主要硬件构成如下,监控电脑是一台安装了LabVIEW图形化编程软件的工业计算机,在计算机上,通过LabVIEW编程可实现与CompactRIO的远程通讯,从而实现数据采集、显示、控制指令的下发等人机对话功能。配置上位机监控系统的另外一个目的是,通过此系统采集的数据可以用于与数字仿真结果进行比对分析,以便于研究人员对控制算法的正确性和控制效

果做出客观的评判。

[0033] 本发明的优点：

[0034] 1. 本平台的CompactRIO控制器机箱内嵌的FPGA系统的高速性,使其与传统的DSP控制系统相比,几乎没有响应延时,可以很高速地对数据进行采集、分析和运算处理,能满足高度复杂的控制试验的需求。

[0035] 2. 本平台的CompactRIO控制器,由通用数据I/O模块、高速DO模块、信号采样A/D模块、实时处理器以及程序可重复擦写的FPGA机箱等部分构成,系统可以根据不同的要求对硬件模块进行扩展或重配,具备良好的硬件扩展性及重配性,能满足因控制项目的增加及控制复杂性不断提高的硬件要求。

[0036] 3. 本平台的系统软件部分采用LabVIEW开发环境,其图形化的编辑语言大大简化了控制程序设计的复杂性,用户可以很方便地根据其控制算法进行LabVIEW程序的编写和修改,代码转化效率高,加速了理论成果的转化速度。

[0037] 4. 本平台所具备的电压跌落发生器,能够任意模拟电网对称和非对称低电压事故时,双馈风力发电的运行工况,验证低电压穿越控制算法的控制效果。

[0038] 5. 该平台采集丰富模拟量,可满足各种双馈风力发电系统的控制算法的物理仿真需求。

附图说明

[0039] 图1是本发明一实施例的总体结构图。

[0040] 图2是本发明一实施例中电压跌落发生器的结构示意图。

[0041] 在图1中,1-风力机模拟装置、2-双馈发电机、3-并网开关、4-电压跌落发生器、5-背靠背变流器、6-Crowbar保护电路、7-绝对值编码器、8-CompactRIO控制器、9-监控电脑。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明,但是本发明的保护范围不仅仅局限于以下实施例。

[0043] 实施例1:

[0044] 如图1所示,一种基于CompactRIO的双馈风力发电机组物理仿真平台,包括风力机模拟装置1、双馈发电机2、并网开关3、电压跌落发生器4、背靠背变流器5、Crowbar保护电路6、绝对值编码器7、CompactRIO控制器8和监控电脑9;所述的风力机模拟装置1通过联轴器分别与双馈发电机2、绝对值编码器7同轴相连;所述的双馈发电机2的定子绕组与并网开关3的一端相连,并网开关3的另一端与电压跌落发生器4的输出线端U'、V'、W'相连;所述电压跌落发生器4的输入线端A、B、C、N分别与电网的输入端子U、V、W、N相连;所述的双馈发电机2的转子绕组分别与Crowbar保护电路6、背靠背变流器5的转子侧直接连接;所述背靠背变流器5的电网侧串联电抗器X后,与励磁变T₁相连,励磁变T₁的另一端与电压跌落发生器4的输出线端U'、V'、W'相连;所述的并网开关3两侧设有电压互感器PT₁、PT₂及电流互感器CT₁、CT₂,电压互感器PT₁、PT₂和电流互感器CT₁、CT₂的二次侧信号线端分别经模拟量信号调理模块与CompactRIO控制器8的A/D模块相连接;所述的监控电脑9通过网线与CompactRIO控制器8相连;

[0045] 所述的风力机模拟装置1主要由直流电动机M、整流变 T_2 、整流桥DB1和斩波管VT1组成；市电经整流变 T_2 与整流桥DB1的交流端子相连，整流桥DB1的直流输出正端经斩波管VT1与直流电动机M的电枢绕组的一端相连，直流电动机M的电枢绕组的另一端与整流桥DB1的负端相连；直流电动机M的励磁绕组串联限流电阻 R_1 后分别与整流桥DB1的正、负端连接，在直流电动机M的电枢回路及励磁回路上装设有霍尔电流传感器，霍尔电流传感器的输出端与CompactRIO控制器8的A/D模块相连；

[0046] 所述的背靠背变流器5包括由绝缘栅双极型晶体管 $G_1\sim G_6$ 组成的转子侧变流器和由绝缘栅双极型晶体管 $S_1\sim S_6$ 组成的网侧变流器；所述的网侧变流器与转子侧变流器经直流侧母线连接在一起；所述的直流侧母线上并联电容器C，并且所述背靠背变流器5的直流侧母线上分别装设霍尔电流传感器和霍尔电压传感器；所述的网侧变流器和转子侧变流器每相交流出线端设有霍尔电流传感器；所述的霍尔电流传感器、霍尔电压传感器的输出信号端均与CompactRIO控制器8的A/D模块相连；

[0047] 所述的Crowbar保护电路6主要由整流桥DB2、斩波限流管VT2和旁路电阻 R_2 组成；所述的整流桥DB2的交流接线端与双馈发电机2的转子绕组相连，整流桥DB2的直连接线端与旁路电阻 R_2 、斩波限流管VT2构成可控放电回路，并且在可控放电回路上装设有霍尔电流传感器，霍尔电流传感器的输出端与CompactRIO控制器8的A/D模块相连；

[0048] 所述的CompactRIO控制器8包括内嵌高速多核处理器和FPGA的CompactRIO支架，支架上安装有通用DI/DO模块、高速DO模块和A/D模块；所述的高速DO模块分别与风力机模拟装置1的斩波管VT1、Crowbar保护电路6的斩波限流管VT2、背靠背变流器5的绝缘栅双极型晶体管 $G_1\sim G_6$ 、 $S_1\sim S_6$ 的栅极相连接；所述的A/D模块分别与平台各个测量点的传感器、模拟量信号调理模块输出端相连接。

[0049] 所述的电压跌落发生器4包括1个三相自耦调压器与2个交流接触器KM1、KM2；所述的三相自耦调压器的输入线端A、B、C、N分别接到电网的输入端子U、V、W、N；所述交流接触器KM1的1、3、5接线端子分别与三相调压器的输入线端A、B、C连接，2、4、6接线端子分别接至电压跌落发生器4的输出线端U'、V'、W'；所述的交流接触器KM2的1、3、5接线端子与三相自耦调压器的变压触点a、b、c连接，2、4、6接线端子与电压跌落发生器4的输出线端U'、V'、W'连接。所述的三相自耦调压器是一种每相能单独调压的调压器，可以手动单独调节a、b、c三相的输出电压。所述的交流接触器KM1和交流接触器KM2由CompactRIO控制器8通过编程实现互锁控制，发电机正常并网发电时，KM1动作闭合，KM2断开；模拟电网对称和非对称低电压事故时，KM1断开，KM2动作闭合。

[0050] 所述的CompactRIO控制器8的通用DI/DO模块与风力发电模拟系统的绝对值编码器7的信号输出端子相连接，测量双馈发电机2转子的转速和位置。

[0051] 在本实施例中，所述的风力机模拟装置1由CompactRIO控制器8输出PWM脉冲控制信号，驱动斩波管VT1，进而控制直流电动机M输出转矩，模拟风力机运行。所述的背靠背变流器5由CompactRIO控制器8输出12路PWM脉冲控制信号，驱动绝缘栅双极型晶体管 $G_1\sim G_6$ 、 $S_1\sim S_6$ ，进而实现双馈发电机有功功率和无功功率的解耦控制。所述的并网开关3的分合闸操作由CompactRIO控制器8控制。所述的CompactRIO控制器8内部的实时控制代码采用LabVIEW Real-Time图形化开发软件编写。所述的监控电脑9的监控代码采用图形化开发软件LabVIEW进行组态编程。

[0052] 本实施例的实验操作:

[0053] 将风力机控制算法及双馈发电机控制算法转化为图形化的Labview程序语言形式,并下载至CompactRIO控制器8中,研究人员可以通过监控电脑9下发指令进行各种实验操作,以下为实验操作具体实施例:

[0054] 1. 风力机控制实验:CompactRIO控制器8接到开机指令,在给定风速达到起动风速后,根据给定风速及机组转速控制风力机模拟装置1输出相应的转矩,通过监控电脑采集到的数据及波形与数字仿真结果进行比对,验证风力机控制算法的控制效果。

[0055] 2. 双馈发电机起励控制:风力机模拟装置1起动后,在转速达到或超过同步速的70%时,通过CompactRIO控制器对背靠背变流器5进行控制,给双馈发电机2的三相转子绕组提供频率、幅值、相位可调的交流励磁电源,实现变速下的恒频、恒压控制,验证各种控制算法的控制效果。

[0056] 3. 双馈发电机空载并网控制:起励建压后,监控电脑9下发并网指令,CompactRIO控制器8根据检测到的电网电压的幅值、频率、相位调节背靠背变流器5改变双馈发电机2的励磁电流,使双馈机2的机端电压与电网电压的幅值、频率、相位一致,并向并网开关3发出合闸信号,实现双馈发电机2的柔性并网。并网控制实验可以检测在亚同步和超同步运行区域内的各种并网控制算法的控制效果。

[0057] 4. 双馈发电机额定风速下的优化控制实验:发电机并网后,当风速在额定风速范围内时,验证各种控制算法的最大风功率捕获控制效果。

[0058] 5. 低电压穿越控制实验:双馈发电机2并网发电后,可以通过调整电压跌落发生器4的a、b、c滑动抽头,模拟电网电压对称或不对称跌落故障,测试各种控制算法在低电压故障中的穿越控制效果。

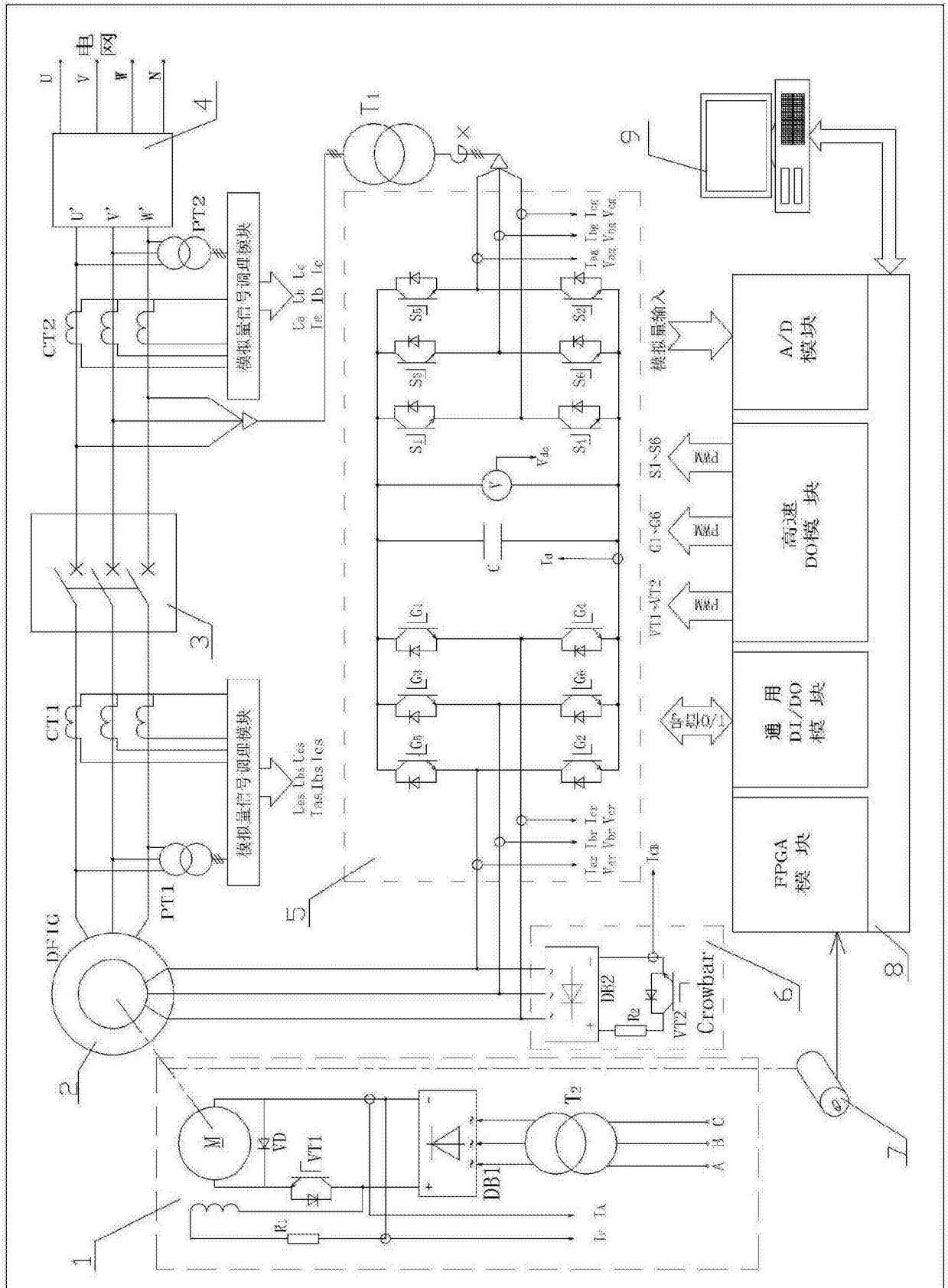


图1

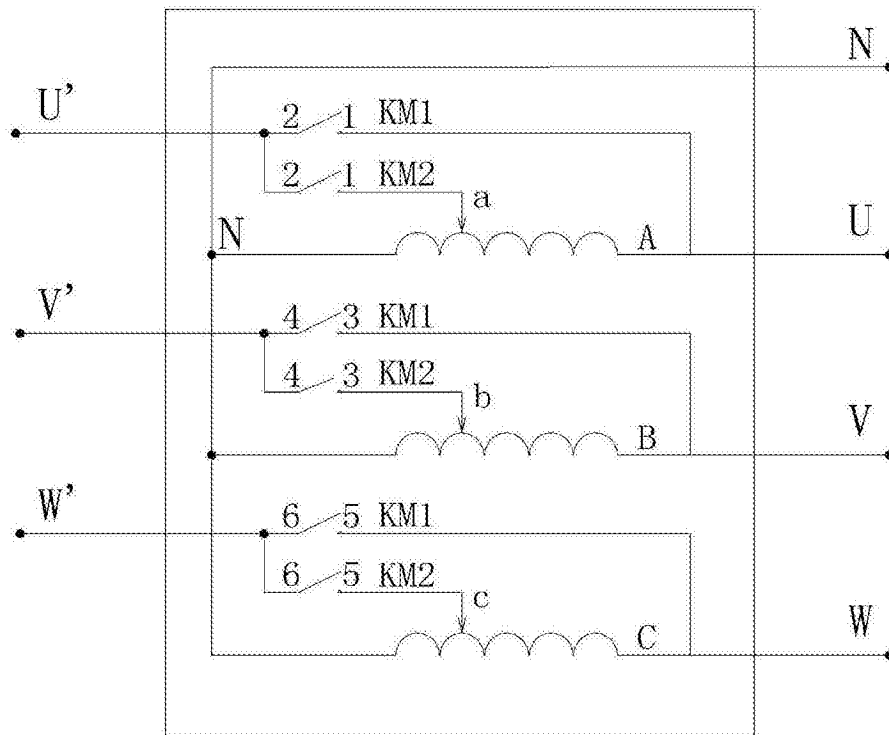


图2