

基于MSVC的异步风力发电机组的无功支撑

随着我国风电的大规模接入电网，许多相关理论和关键技术亟待研究。当电力系统发生故障，电压跌落时，给异步风力发电机组提供无功支撑，保持其电压稳定就是其中之一。针对现存无功补偿装置的不足，提出了基于磁控电抗器（MCR）的静止无功补偿装置（MSVC）。并针对MCR本身响应速度慢的缺点，提出了提高MCR响应速度的励磁电路及去磁电路，并以DSP和FPGA混合控制器控制整个MSVC装置。搭建了具体的实验电路，通过实验验证，该套装置可以很好地解决电力系统故障时异步风力发电机组的电压稳定问题，具有深入研究和应用价值。

吴 靓 陈 忠/广东水利电力职业技术学院
尹忠东/华北电力大学电气与电子工程学院

随着风力发电在电力资源中所占比重增加，其对电网的影响日趋显著^[1]。当电网发生电压跌落时，研究者们对不同类型风电机提出了包括非撬棒式^[2]、撬棒式^[3]以及采用其他无功补偿辅助设备^[4]等技术。其中，由于非撬棒式和撬棒式技术存在着某些缺陷和不足，使得采用无功补偿辅助设备成为当前较好的选择。

针对目前所采用的各种无功补偿辅助设备的不足。本文提出了基于磁控电抗器（MCR）的静止无功补偿装置（MSVC）。在MCR固有特性的基础上，应用提高MCR响应速度的方案，并以DSP和FPGA联合装置作为控制器，将MCR应用于异步风力发电机无功补偿场合。并搭建了实验电路，进行了具体实验，实验结果表明，此种无功补偿装置配合DSP和FPGA联合控制器可以使风力发电机组很好地维持机端电压稳定。

广东省高等学校优秀青年教师培养计划资助
(Yq2013182)。

MCR的结构及工作原理

MCR由两个等截面积、等长度的主铁心和一个等长度的旁轭组成。每个主铁心上绕有工作绕组和控制绕组。其接线电路如图1所示，1、2为主铁心，3为旁轭； L_1 、 L_2 为电抗器的工作绕组， L_1 、 L_2 上下两端分别并联连接后接入电力系统； L_5 、 L_6 分别为MCR的控制绕组， L_5 、 L_6 下端串联后，上端分别连接直流电源^[5]。

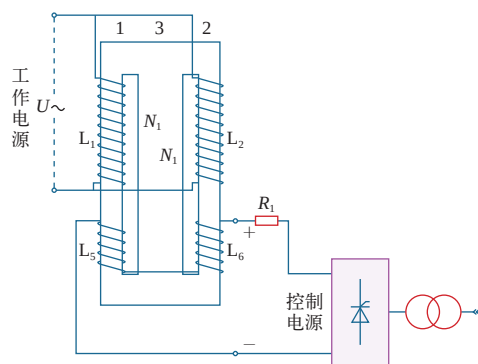


图1 MCR结构

在电源的一个工频周期内，同一时刻只有一个主铁心的交流磁通与直流磁通同向，此同向的铁心会进入饱和状态；而另一磁通反向的铁心处于非饱和状态。并且，直流控制电压越大，饱和度越大，MCR输出感性无功功率越大。

基于MCR的无功支撑系统

1. MSVC无功补偿系统工作原理

MSVC无功补偿系统的结构如图2所示。当并网风电系统没有发生故障时，风力发电机组向系统注入有功功率。当控制系统检测到并网系统电压跌落并达到断网条件时，瞬间投入MSVC和



吴 靓/副教授

关键词/Keywords

无功支撑 ·
磁控电抗器 ·
响应速度 ·
DSP ·
FPGA ·

Crowbar。同时切断风力发电机组和系统的连接，通过控制MSVC中相应的电容器组投入，同时调节MCR的容量，向风力发电机组注入合适大小的无功来支撑电压快速恢复到正常值，通过Crowbar来吸收风力发电机组发出的有功功率。待系统电压恢复后，控制系统检测到满足并网条件时，瞬间停止MSVC和Crowbar的工作，同时重新并网。

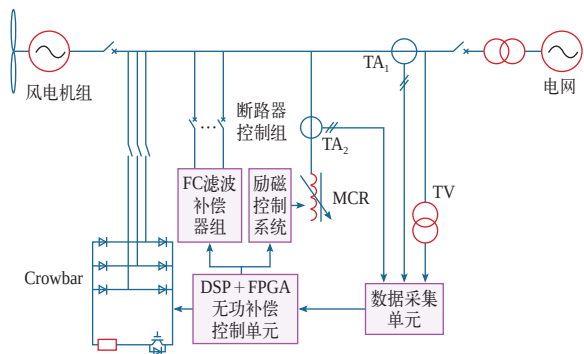


图2 MSVC无功补偿系统

2. MSVC无功补偿系统控制单元

控制系统的硬件由DSP和FPGA等构成，按设计功能可分为信号采样、信号控制及处理、上位机显示控制和功率执行等单元，其原理框图如图3所示。

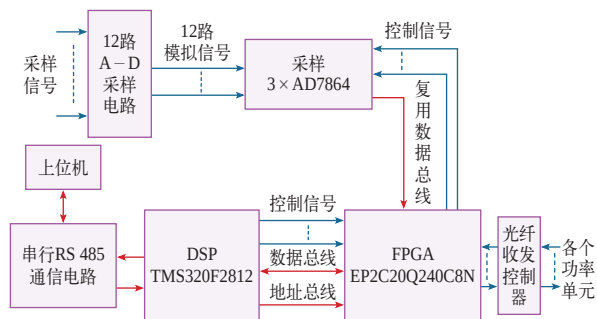


图3 基于DSP和FPGA构成的主控结构图

具体的软件流程如图4所示。Hall电压传感器和Hall电流传感器将风机并网系统中的电压和电流信号送入FPGA芯片后，再送入DSP芯片进行运算处理。同时和DSP芯片保持通信的上位机显示各种相关信息。此外，根据采样到的电压、电流值在DSP芯片中进行运算和判断是否需要系统对系统进行补偿以及需要的补偿量，并判断是否需要控制系统进行保护操作。

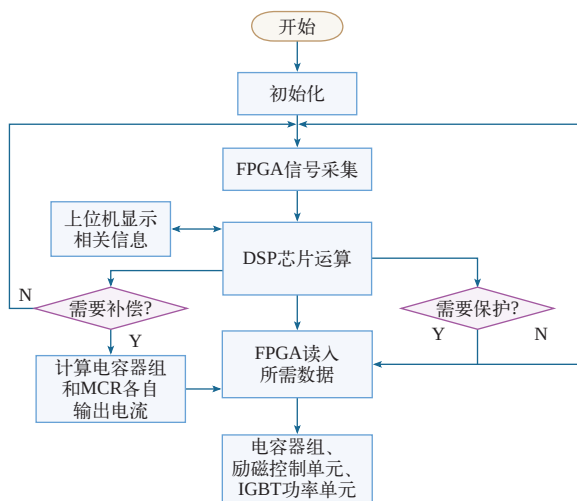


图4 软件流程图

3. 提高MCR响应速度的工作原理

MSVC应用于无功补偿领域，最大的不足便是MCR的响应速度过慢。基于此，提出了如图5所示的MCR快速励磁及去磁的等效电路。由升压斩波电路给电容C储能、并与IGBT₂构成快速励磁电路；去磁电阻R₂用于释放控制绕组中的能量，与IGBT₄构成快速去磁电路；与MCR本体的工作回路和控制回路组成整个工作电路。

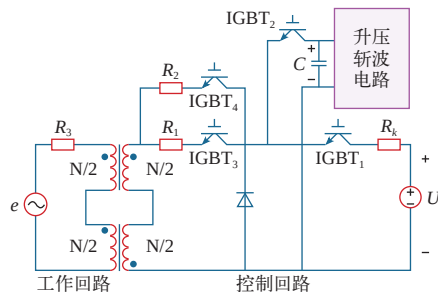


图5 MCR快速励磁及去磁电路

具体工作时，调节斩波电路中IGBT的导通占空比，使电容值C上的电压值满足在MCR控制电源电压值最大时，它的放电时间不少于一个工频周期。待电容电压值稳定后，此时电容C上的储能

$$W_c = \frac{1}{2} C U_0^2 \quad (1)$$

式中， U_0 为电容上电压值。此过程内IGBT₁、IGBT₂和IGBT₄处于断开状态，IGBT₃闭合。

当需要MSVC工作来补偿无功时，MCR中

IGBT₂导通, 电容C向MCR中的控制绕组(电感值为L)放电, 并且要让控制绕组中的电流在极短时间内从零变为一定值, 由

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2)$$

可知, 需快速给控制绕组L储能。因此, 将IGBT₁在IGBT₂关断5 ms后导通, 投入工作电压, 延时5 ms是防止两个不同的电压并联。此时的电流波形如仿真图6所示。从图6中可见, 快速励磁后, MCR中的工作电流在一个工频周期内即到达了额定状态。但是当MCR退出系统时, 仍然有较长的去磁时间。

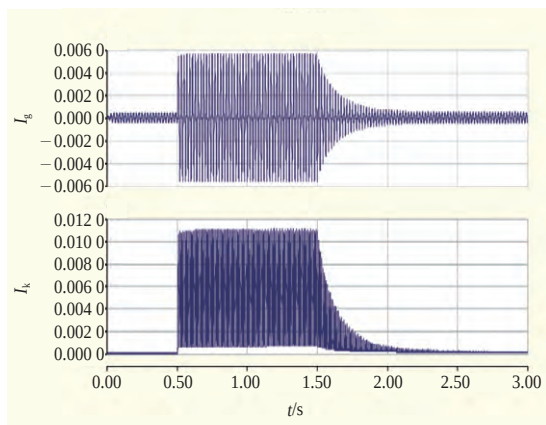


图6 快速励磁电路作用下的MCR仿真波形

在MSVC退出系统瞬间, 给IGBT₄触发脉冲, 使MCR中快速去磁回路导通, 投入电阻R₂。延迟5 ms后切断IGBT₃, 这是由于IGBT₃先断开的对电路的冲击会很大, 造成损失。其数学模型

$$\tau = \frac{L}{R_2} \quad (3)$$

快速去磁后的波形如图7所示。可看到, 一个周波内MCR便可退出系统, 使其工作电流降到接近于零。

实验验证及分析

按照MSVC无功补偿系统(见图2)搭建了具体的实验电路。选用4组4 700 μF、1 600 V的电容器, 电容器组同时起到滤除3次、5次、7次和9次谐波的作用; MCR的额定电压为380 V, 额定电流

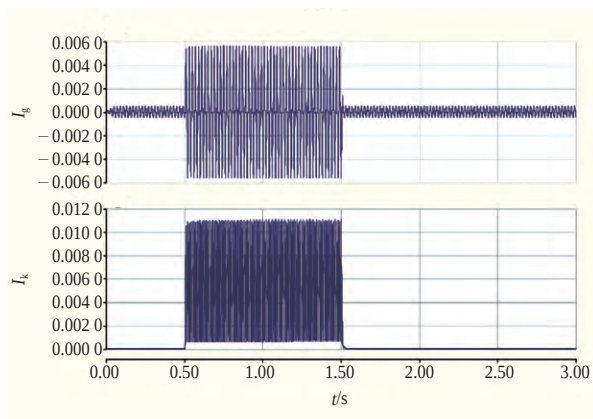


图7 经过快速去磁处理的MCR仿真波形

为13 A; Crowbar所连电阻为5 Ω。实验设定100 V为所用的系统电压, 直流电动机电枢电压逐步增大, 使异步发电机发出400 W功率, 并且调节相关参数, 使异步发电机机端电压逐渐逼近系统电压, 达到并网条件系统自动并网, 此处设定并网条件为二者电压差小于等于3 V时。

在正常运行的系统中, 人为造成系统跌落故障。只要当控制器检测到系统发生故障时, 首先投入Crowbar, 5 ms后投入MSVC, 20 ms后断开并网开关。当系统故障恢复后, 首先退出MSVC和Crowbar, 50 ms后合并网开关。图8为在进行实验中随机抓取的一幅波形图。该图系统跌落故障为系统正常电压的50%, 故障持续时间为0.66 s内所测电压波形。

图8中, 上图为系统电压, 下图为异步发电机机端电压。可见, 当系统电压跌落后, 经过两个工频周期后, MSVC无功补偿系统开始工作, 异步风力发电机组机端电压便恢复到额定值。当故障消失, 系统电压恢复后, MSVC无功补偿系统停止工作。

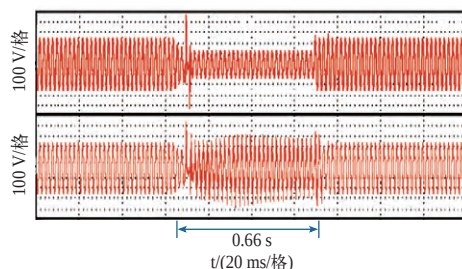


图8 LVRT时所测电压波形

结束语

通过实验表明,此方法对于解决目前系统发生故障,电压跌落时异步风力发电机组维持正常电压具有很好的可行性和实用性。同时,从图8可见,投入MSVC后,支撑起的电压并不是光滑的正弦波,这是由于MCR输出的波形含有谐波,并且电容器组是根据容量选择性投入,只能滤除特定次的谐波。因此,MSVC装置投入后,机端电压被支撑到额定电压时所产生的畸变,是下一步逐步优化的目标。

参考文献

[1] 蔚兰. 分布式并网发电系统低电压穿越问题的若干关键技术研究[D]. 上海: 上海大学, 2011.

- [2] Xiang D W, Ran L, Tavner P J, et al. Control of a doubly fed induction generator in a wind turbine during grid fault ride-through [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21 (3) : 652-662.
- [3] Morren J, De Haan S W H. Ridethrough of wind turbines with doubly-fed induction generator during a voltage dip [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2005, 20 (2) : 435-441.
- [4] Petersson A, Lundberg S, Thiringer T. A DFIG wind turbine ride-through system Influence on the Energy Production [J]. Wind Energy, 2005, 8 (3) : 251-263.
- [5] 陈柏超. 新型可控饱和电抗器理论及应用 [M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1999: 41-45.

(收稿日期: 2014-08-11) EA



农用机械

工程机械

物料搬运设备

发电设备

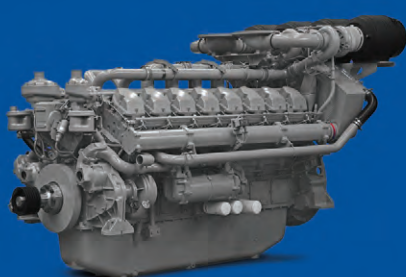
2015中国动力展

5月13日至15日
上海新国际博览中心
展位: 4T028

为您提供尽善尽美的动力解决方案,
是我们的首要任务。

我们的发动机全部高度可靠,能满足您的发电需求;而无论是在哪里生产,质量都保证符合严格的标准。更肯定会获得我们完善的全球产品支持网络的服务。

想了解选用Perkins产品可怎样为您创造效益, 欢迎访问:
www.perkins-ch.com



Perkins

环球动力翘楚 心系合作伙伴