

一种用于直接转矩控制的新型无刷励磁

何 流

(铜陵有色集团中铁建铜冠投资有限公司,安徽 铜陵 244000)

[摘 要] 本文介绍了一种基于感应电能传输技术的新型无刷励磁,推导了交流励磁机的稳态模型和励磁电流传递关系,分析了重建励磁磁场时励磁电流控制方法,并结合直接转矩控制技术阐述了新型无刷励磁在应用上的优点特性。

[关键词] 无刷励磁;直接转矩控制;感应电能传输

[中图分类号] TM341 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2021)02-0090-03

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.02.022

0 前言

直接转矩控制以其响应快、动态性能好、控制方法简单等优点在变频调速中得到越来越广泛的应用,而同步电动机具有容量大、效率高、转动惯量小等特性,用直接转矩控制来控制同步电动机是一种理想驱动策略。进入 21 世纪以来,以永磁同步电机直接转矩控制技术为代表的相关研究在国内外已获得深入开拓和发展,但随着稀土资源的紧缺和各国资源开发政策的调整,以稀土作为核心材料的永磁体价格成本不断上涨,给永磁同步电机的发展带来严重影响,许多已应用永磁电机的工业场合在减少或放弃采用永磁电机,用电励磁替代永磁体是同步电机现在的发展趋势。传统电励磁为有刷励磁,配备换向器和电刷,需要定期维护,并且不能用于易燃易爆场合,常规无刷励磁虽然取消了换向器和电刷,但是稳态性能和调节特性较差,而直接转矩控制中,对电机的动态特性要求较高,普通无刷励磁无法满足要求。本文介绍的新型无刷励磁,基于感应电能传输技术将励磁绕组设计成一种旋转变压器结构,变压器一次侧接三相交流电源,二次侧接整流二极管,具有良好的动态性能,能够满足同步电动机的直接转矩控制要求,该套技术在国外某大型中资矿山磨机驱动系统中获得成功应用。

[收稿日期] 2020-10-02

[作者简介] 何流(1994-),男,安徽潜山人,助理工程师,主要从事电气及自动化技术相关工作,现任铜陵有色集团中铁建铜冠投资有限公司车间副主任。

1 基本原理

整套新型无刷励磁装置由驱动单元、励磁变压器和旋转整流器三大部分构成。驱动单元为一套低压交-交变频器,变频器中 U、V、W 三相电源进线分别连接两只逆向并联的 IGCT 晶闸管,利用晶闸管的快速通断特性完成对输入电流的调节控制。变频器输出端接励磁变压器,变压器一次侧为隐极式三相星形绕组,固定在主电机转子前端,也称为励磁机定子,变压器二次侧安装在主电机转子轴上,绕组结构与一次侧相同,但会跟随主电机转子转动,也称为励磁机转子。当三相电流通过励磁机定子绕组时会产生旋转磁场,励磁机转子在旋转磁场中感应出三相电压,输出给旋转整流器。旋转整流器连接励磁机转子和主电机转子,将励磁机转子上三相感应电压整流后馈送给主电机转子,其主要装置为 6 只二极管构成的三相桥式整流回路。整套励磁系统利用旋转变压器原理,完成从三相电源到励磁变压器,再到主电机转子的电能输送,因为采用高性能可控晶闸管作为控制元件,使励磁电流调节更加精准快速。另外,在励磁电源主回路前端配备换向开关,能够实现励磁电流换向,以满足同步电动机正反转控制需求。

由于无法在转子轴上安装传感器,因此没有直接测量值可用于控制。控制单元根据励磁机定子侧输入电源的测量值和等效模型,计算并调节转子励磁电流。下面就等效模型和励磁电流控制方法给出介绍分析。

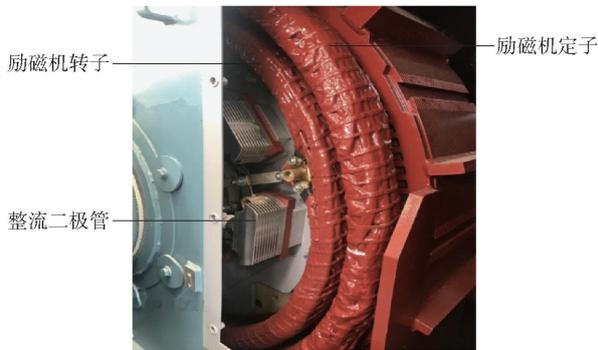


图 1 励磁机结构图

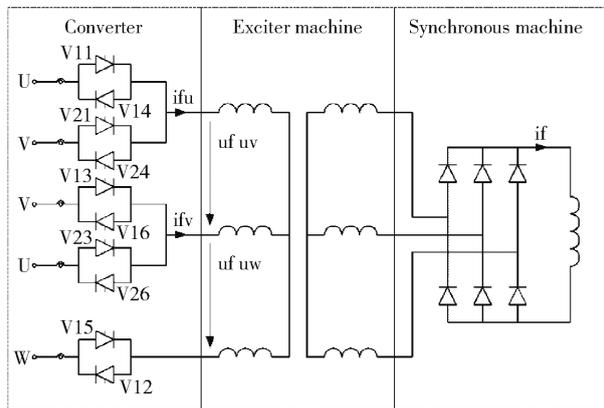


图 2 励磁系统电路原理图

2 转子电流

基于星形连接的变压器,无刷励磁等效电路图如图 3 所示。

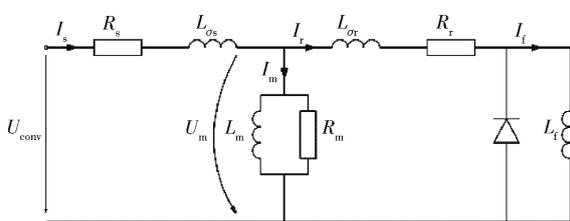


图 3 励磁磁场等效电路图

由于定子电阻 R_s 和转子电阻 R_m 很小,计算时可以将两者忽略,因此,化简后的转子电流计算公式为:

$$u_{conv} = L_{\sigma s} \frac{di_s}{dt} + L_m \frac{di_{Sm}}{dt}$$

$$i_{Sm}(t) = \frac{1}{L_m} \int u_{conv}(t) dt - \frac{L_{\sigma s}}{L_m} i_s(t)$$

星形连接的磁场电流:

$$i_{Smw} = \frac{1}{3L_m} \left\{ \int u_{Suv} dt - L_{\sigma s} [i_{Su}(t) - i_{Sv}(t)] \right\}$$

$$i_{Smw} = \frac{1}{3L_m} \left\{ \int u_{Suv} dt + L_{\sigma s} [i_{Su}(t) + 2i_{Sv}(t)] \right\}$$

转子电流计算:

$$i_{Ru}(t) = i_{Su}(t) - i_{Smw}(t) - i_{Smv}(t)$$

$$i_{Rv}(t) = i_{Sv}(t) - i_{Smw}(t) + i_{Smu}(t)$$

$$i_{Rw}(t) = i_{Smw}(t) + i_{Smv}(t) - i_{Su}(t) - i_{Sv}(t)$$

整流后的转子电流:

$$i_{Rect}(t) = \frac{K}{2} \left\{ \sqrt{i_{Ru}(t)} + \sqrt{i_{Rv}(t)} + \sqrt{i_{Rw}(t)} \right\}$$

根据上述推导公式,可以由三相输入电压和输入电流计算出整流后的转子电流,再通过控制输入电流来达到间接控制转子电流的效果。

3 励磁电流控制

励磁电流控制由驱动单元即低压交-交变频器完成,每相三相电源接两个并联逆向晶闸管,晶闸管的导通频率决定着电流大小,只需要在变频器控制软件中调整参数就可以实现对励磁输入电流的精确控制,但实际应用中往往还要考虑其他因素的影响。

3.1 二极管工作状态

由于整流二极管安装在转子轴上,建立磁场的励磁电流取决于二极管工作状态,两种工作状态下的等效电路图如图 4 所示。

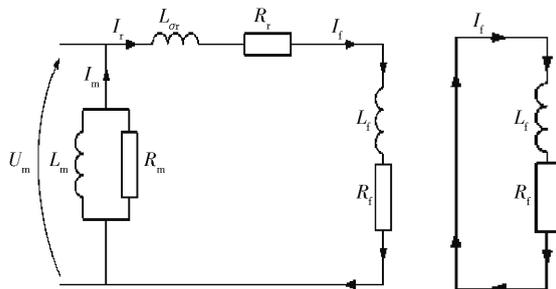


图 4 二极管导通与不导通等效电路图

3.2 低通滤波器

当整流的转子电流减小时,励磁电流根据其自身的时间常数减小。因为励磁绕组电感很大,电阻非常小,实际的电流变换曲线应该如图 5 所示。

为了适当地重建励磁电流,一旦整流后的转子电流减小,就会激活一个低通滤波器。该滤波器基于场激励时间常数进行调谐。

3.3 磁场频率和方向

因为励磁机转子安装在主电机转子轴上,同步电动机的转速变化会影响励磁变压器的传输效率。

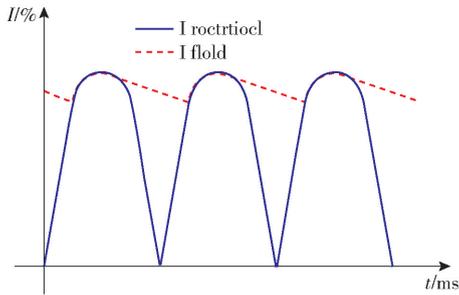


图5 实际电流变换曲线

励磁变压器二次侧感应磁场的转差为励磁机定子电压频率加上同步电动机转速频率,为减小转速变化影响,励磁机电源电压频率要至少达到同步电动机频率的2~3倍。同时,为避免转速突变引起的浪涌电流,励磁机定子电压磁场方向需要与同步电动机旋转方向相反,这也是配备输入电源换向开关的目的,换向开关根据同步电动机正反转工作状态来控制三相电源相序。

4 动态响应

传统无刷励磁多采用交流发电机原理,励磁机定子电流为直流电,产生静止磁场,通过励磁机转子旋转切割磁场产生感应电流,其动态特性较差,感应电流随负载变化波动大。新型无刷励磁由单独励磁回路供电,具有响应时间短、稳态性能好、调节范围宽等优良特性,只要控制好静态误差,就能达到很好的控制效果。这种无刷励磁在国外船舶、矿山等行业已有应用业绩,图6为项目现场采用高级直接转矩控制系统的双驱环齿球磨机启动时电机电流和励磁电流趋势图。

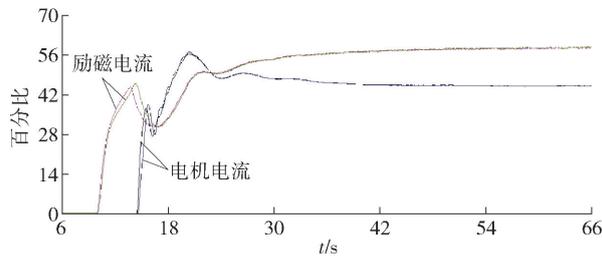


图6 直接转矩控制电流变化趋势图

5 结语

本文介绍了一种基于感应电能传输技术的新型无刷励磁,其主要结构为驱动单元、励磁变压器和旋转整流器,利用电路等效模型推导出了励磁电流传递关系,并分析了励磁磁场重建时励磁电流控制的方法和要点,最后比较传统无刷励磁突出新型无刷励磁的优点特性,还给出了实际应用中采用直接转矩控制技术的电机励磁电流动态响应趋势图。随着新能源政策的普及和高性能调速电机需求的不断上涨,新型无刷励磁拥有广泛应用前景。

[参考文献]

- [1] 夏长亮,张茂华,王迎发,等. 永磁无刷直流电机直接转矩控制[J]. 中国电机工程学报,2008,28(6):104-109.
- [2] 杨建飞. 永磁同步电机直接转矩控制系统若干关键问题研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2011.
- [3] 索南加乐,王志恩,焦在滨,等. 基于变压器T形等效电路的漏电感参数特性分析[J]. 电力系统自动化,2010(11):38-42.
- [4] 吴九辅,吴尽,李化龙. 用于同步电机无刷励磁的旋转变压器的设计与分析[J]. 变压器,2008,45(5):18-21.

A New Type of Brushless Excitation for Direct Torque Control

HE Liu

Abstract: This article introduces a new type of brushless excitation based on induction power transmission technology, deduces the steady-state model of the AC exciter and the excitation current transfer relationship, analyzes the methods of excitation current control when the excitation magnetic field is reconstructed, and combines the Direct Torque Control technology to illustrate the advantages and characteristics of the new type of brushless excitation in application.

Key words: brushless excitation; direct torque control; Inductive power transfer

