

文章编号:1671-251X(2011)09-0061-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110828.1427.015

基于虚拟磁链定向的 PWM 整流器 直接功率控制研究

王洪谦¹, 刘守全²

(1. 永贵能源开发有限责任公司新田煤矿, 贵州 黔西 551500;

2. 江西省煤炭集团(贵州)矿业有限责任公司小牛煤矿, 贵州 六盘水 553000)

摘要:提出一种基于虚拟磁链定向的 PWM 整流器直接功率控制策略。该控制策略将传统的对电流有功、无功分量进行控制的方法改为直接对 PWM 整流器有功功率、无功功率进行控制, 并采用虚拟磁链定向方法进行坐标变换, 提高了整个变频调速系统的动态性能和可靠性, 降低了系统成本; 采用一种虚拟磁链积分初值估算方法来辨识磁链初值, 在 PWM 整流器启动后将积分得到的虚拟磁链减去磁链初值, 从而消除虚拟磁链中的直流分量。Matlab 仿真结果证明了该控制策略的有效性。

关键词:变频调速系统; PWM 整流器; 直接功率控制; 虚拟磁链定向; 虚拟磁链初值估算

中图分类号:TD614 文献标识码:A 网络出版时间:2011-08-28 14:27

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110828.1427.015.html>

Research of Direct Power Control of PWM Rectifier Based on Virtual Flux Orientation

WANG Hong-qian¹, LIU Shou-quan²

(1. Xintian Coal Mine of Yonggui Energy Development Co., Ltd., Qianxi 551500, China.

2. Xiaoni Coal Mine of Jiangxi Coal Group(Guizhou) Mining Co., Ltd., Liupanshui 553000, China)

Abstract: The paper proposed a direct power control strategy of PWM rectifier based on virtual flux orientation. The strategy controls active power and reactive power of PWM rectifier instead of active and reactive current components of traditional control methods and uses virtual flux orientation method for coordinate transformation, so as to improve dynamic performance and reliability of whole frequency-conversion speed-regulation system and reduce system cost. Besides, the strategy uses an estimate method of initial integration value of virtual flux to identify initial virtual flux, which would be subtracted from the integration value of virtual flux after PWM rectifier starting, so as to eliminate DC component in virtual flux. The Matlab simulation result verified validity of the strategy.

Key words: frequency-conversion speed-regulation system, PWM rectifier, direct power control, virtual flux orientation, estimate of initial virtual flux value

0 引言

PWM 整流器因其功率因数高、动态响应快、对电网的谐波污染小等优点而广泛应用于变频调速系统中^[1]。传统的基于电压定向的控制策略主要通过

控制电网电流的有功、无功分量来间接控制 PWM 整流器的有功功率与无功功率, 从而达到控制功率因数的目的^[2]。为了更快速地控制电网 PWM 整流器的有功与无功功率, 参考文献[3]提出了基于电压定向的直接功率控制(DPC)策略。该控制策略比对电流进行控制的策略具有更好的动态性能。早期的 DPC 策略的内环使用滞环+开关表的结构, 开关频率不恒定, 实现困难。参考文献[4]对其进行了改进, 提出一种基于电压空间矢量调整的直接功率控制(SVM-DPC)策略, 方便了其实现。

收稿日期:2011-05-23

作者简介:王洪谦(1959-),男,河南宜阳人,工程师,现主要从事煤矿基本建设和机电技术方面的管理工作。E-mail:1085094471@qq.com

虽然基于电压定向的控制方法动态性能较好,但需要交流电压传感器,提高了变频调速系统的成本,且存在安装困难、系统可靠性低等不足。基于虚拟磁链(VF)定向的控制方法因其使用开关状态和直流母线电压估算电网电压,故可省去交流电压传感器,降低了系统成本,提高了系统可靠性。传统的基于虚拟磁链定向的控制方法一般使用纯积分环节对估算的电网电压进行积分以得到虚拟磁链,往往未考虑积分初值的问题,导致估算出的虚拟磁链存在直流偏置,使得定向角产生误差,降低 PWM 整流器的控制性能,甚至造成其无法正常工作。

本文提出一种基于虚拟磁链的 PWM 整流器直接功率控制策略,即 VF-DPC 策略,采用参考文献[5]中提出的虚拟磁链积分初值估算方法来消除虚拟磁链中的直流分量,使得运行时虚拟磁链的轨迹为圆形,并通过 Matlab 仿真实验验证 VF-DPC 策略的有效性。

1 PWM 整流器 VF-DPC 控制基本原理

1.1 虚拟磁链的估算

PWM 整流器的主电路结构如图 1 所示。将 PWM 整流器看作一个虚拟电动机,并参考电动机中磁链的概念来计算坐标变换时合成矢量的角度。

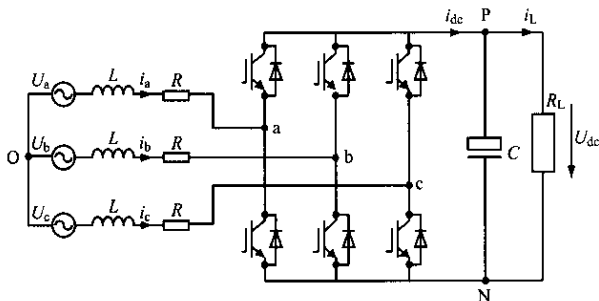


图 1 PWM 整流器的主电路结构

在 $\alpha-\beta$ 坐标系下,定义虚拟的电网磁链矢量为

$$\psi_L = \begin{bmatrix} \psi_{La} \\ \psi_{L\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int u_{La} dt \\ \int u_{L\beta} dt \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$u_L = \begin{bmatrix} u_{La} \\ u_{L\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{ab} \\ u_{bc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据基尔霍夫电压定律可知

$$u_L = u_s + u_i \quad (3)$$

从而有

$$\psi_L = \psi_s + \psi_i \quad (4)$$

式中: u_L 为电源电压矢量; u_{ab}, u_{bc} 为电网线电压; u_s 为电感电压矢量; u_i 为整流桥电压矢量; ψ_s 为电感上的磁链矢量; ψ_i 为整流桥侧的磁链矢量。

定义每个 PWM 整流器桥臂的开关状态为 D_x ($x=a, b, c$, 代表 A、B、C 三相), 则上桥臂开通时 D 为 1, 否则为 0。根据 PWM 整流器的直流母线电压 U_{dc} 和桥臂的开关状态可以估算 PWM 整流器侧的电压, 其加上电感的压降得到电网电压。此时的虚拟磁链为

$$\begin{cases} \psi_{La} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_{dc} \left[D_a - \frac{1}{2} (D_b + D_c) \right] dt + L i_{La} \\ \psi_{L\beta} = \int \frac{1}{\sqrt{2}} U_{dc} (D_b - D_c) dt + L i_{L\beta} \end{cases} \quad (5)$$

1.2 功率的估算

忽略交流侧的电阻, 并结合式 (3), 可以将 PWM 整流器交流侧的电压方程写为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} + \frac{d}{dt} \psi_s = L \frac{di_L}{dt} + u_s \quad (6)$$

根据瞬时功率理论, 并使用复矢量表示方法, 可以得到有功、无功功率:

$$\begin{cases} P = \text{Re}(u_L i_L^*) \\ Q = \text{Im}(u_L i_L^*) \end{cases} \quad (7)$$

式中: i_L^* 为电感电流矢量的共轭矢量。

将式 (6) 代入式 (7), 并认为电网电压是幅值恒定、相位不发生突变的正弦量, 则有功功率、无功功率为

$$\begin{cases} P = \omega (\psi_{La} i_{L\beta} - \psi_{L\beta} i_{La}) \\ Q = \omega (\psi_{La} i_{La} + \psi_{L\beta} i_{L\beta}) \end{cases} \quad (8)$$

1.3 VF-DPC 整体控制结构

VF-DPC 整体控制结构如图 2 所示。需要注意的是由于虚拟磁链本质上由对电网电压的积分得到, 所以虚拟磁链定向时的定向角相对于电网电压定向时的角度滞后了 90° 。令有功功率的给定由电压外环 PI 调节器算出, 无功功率的给定由功率因数决定 (如要求单位功率因数, 则无功功率的给定为 0), 功率 PI 的输出即为参考电压的旋转坐标分量 U_p, U_q , 将其变换到静止坐标系下可得

$$\begin{bmatrix} u_{sa} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \gamma_{\phi L} & -\cos \gamma_{\phi L} \\ \cos \gamma_{\phi L} & -\sin \gamma_{\phi L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{sp} \\ u_{sq} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\text{式中: } \begin{cases} \sin \gamma_{\phi L} = \frac{\psi_{L\beta}}{\sqrt{\psi_{La}^2 + \psi_{L\beta}^2}} \\ \cos \gamma_{\phi L} = \frac{\psi_{La}}{\sqrt{\psi_{La}^2 + \psi_{L\beta}^2}} \end{cases}$$

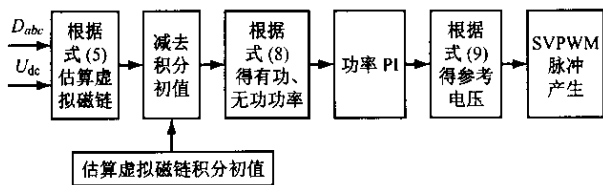


图 2 VF-DPC 整体控制结构

2 虚拟磁链积分初值的估算方法

在直接对估算出的电网电压进行积分得到虚拟磁链的过程中会发现,需要减去积分初值才能得到圆心在坐标系圆点的磁链圆,否则虚拟磁链中将含有直流分量,使定向角产生误差,严重降低 PWM 整流器的控制性能,甚至造成其无法正常工作。图 3 为含直流分量的虚拟磁链轨迹。

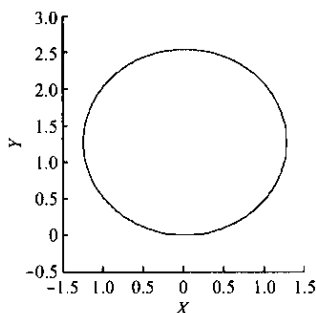


图 3 含直流分量的虚拟磁链轨迹

为了消除虚拟磁链中的直流分量,参考文献[5]提出了一种使用预发的零矢量估算虚拟磁链积分初值的方法。设电网电压角频率 ω 已知且恒定,则有

$$\begin{bmatrix} \psi_{l\alpha} \\ \psi_{l\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int u_{l\alpha} dt \\ \int u_{l\beta} dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u_{l\beta}}{\omega} \\ -\frac{u_{l\alpha}}{\omega} \end{bmatrix} \quad (10)$$

当三相桥臂输出零矢量时,整流器侧的交流电压为 0,此时的电网电压满足式(11):

$$u_{l\alpha} = L \frac{di_{l\alpha}}{dt} \quad (11)$$

将式(11)带入式(10)并进行离散化处理,可得

$$\begin{cases} \psi_{l\alpha}(k+1) = \frac{L}{\omega} \frac{i_{l\beta}(k+1) - i_{l\beta}(k)}{T} \\ \psi_{l\beta}(k+1) = -\frac{L}{\omega} \frac{i_{l\alpha}(k+1) - i_{l\alpha}(k)}{T} \end{cases} \quad (12)$$

式中: k 为采样周期的次数; T 为采样周期。

这样可在 PWM 整流器启动前发几个采样周期的零矢量,利用式(12)辨识虚拟磁链的积分初值。该过程没有开关动作,所以不含噪声。在 PWM 整流器启动之后,将积分得到的虚拟磁链减去初值,即可得到不含直流分量的虚拟磁链,如图 4 所示。

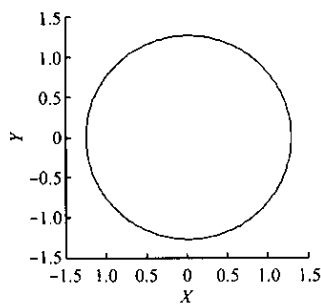


图 4 不含直流分量的虚拟磁链轨迹

3 仿真研究

使用 Matlab 仿真软件对 VF-DPC 策略进行仿真研究。仿真参数:电网线电压有效值为 220 V,交流侧电感为 5 mH,直流侧电容为 2 200 μ F,直流侧电阻负载为 100 Ω ,直流母线电压给定为 600 V,功率因数为 1。仿真结果如图 5 所示。

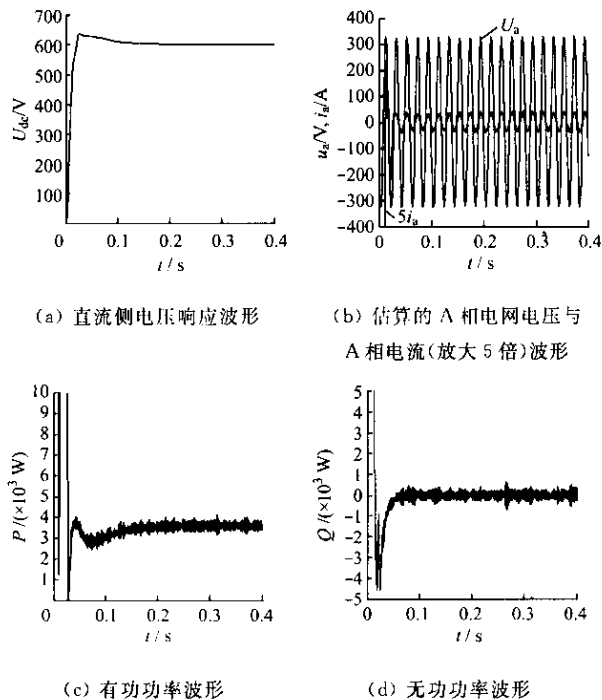


图 5 PWM 整流器 VF-DPC 策略仿真结果

从图 5(a)可看出,采用 VF-DPC 策略后, PWM 整流器直流侧电压能快速达到给定值,且超调较小;从图 5(b)可看出,网侧电压、电流同相位;图 5(c)、(d)分别为计算得到的有功功率、无功功率波形。仿真结果证明了 VF-DPC 策略的有效性。

4 结语

提出的 PWM 整流器 VF-DPC 策略采用虚拟磁链定向方式进行坐标变换,省去了交流电压传感器,降低了变频调速系统的成本,提高了系统的可靠性;采用虚拟磁链积分初值估算方法消除了传统纯

文章编号:1671-251X(2011)09-0064-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110828.1430.016

新型同步发电机励磁控制器的设计

郝晓弘, 施振雷, 张萍

(兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:针对传统的基于迭代学习控制算法的同步发电机励磁控制器存在初始控制信号由经验确定的问题,提出了一种基于即时学习型迭代学习控制算法的同步发电机励磁控制器的设计方案。该方案在迭代学习控制算法中引入即时学习算法,利用即时学习算法计算初始控制信号,有效减少了初始控制信号与理想控制信号之间的误差。仿真结果表明,该励磁控制器收敛速度快,具有更强的维持机端电压的能力。

关键词:同步发电机;励磁控制器;迭代学习控制;即时学习算法

中图分类号:TD614

文献标识码:A

网络出版时间:2011-08-28 14:30

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110828.1430.016.html>

Design of a New Excitation Controller of Synchronous Generator

HAO Xiao-hong, SHI Zhen-lei, ZHANG Ping

(College of Electrical and Information Engineering of Lanzhou University of Technology,
Lanzhou 730050, China)

Abstract: In view of the problem that initial control signal is defined by experience in traditional excitation controller of synchronous generator based on iterative learning control algorithm, the paper proposed a design scheme of excitation controller of synchronous generator based on lazy learning type iterative learning control algorithm. The scheme introduces lazy learning algorithm into iterative learning control algorithm and uses lazy learning algorithm to calculate initial control signal, so as to reduce error between initial control signal and the ideal one. The simulation result showed that the controller has quick convergence speed and higher ability of maintaining terminal voltage.

Key words: synchronous generator, excitation controller, iterative learning control, lazy learning algorithm

收稿日期:2011-06-10

基金项目:甘肃省国际合作项目(0708WCGA45)

作者简介:郝晓弘(1960-),男,甘肃泾川人,教授,博士研究生导师,研究方向为迭代学习控制技术、智能控制技术、计算机网络与计算机控制技术等。E-mail:szl0731@sina.com

积分方法存在的虚拟磁链中含有直流分量的问题。Matlab 仿真结果证明了该控制策略的有效性。

参考文献:

- [1] 张崇巍,张兴. PWM 整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 王久和. 电压型 PWM 整流器的非线性控制[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [3] 王久和,李华德,王立明. 电压型 PWM 整流器直接功

0 引言

大型同步发电机励磁控制系统对电力系统的安全稳定运行有着重要影响。随着现代控制理论的发展和成熟,同步发电机励磁控制研究已取得了很大

率控制系统[J]. 中国电机工程学报,2006,26(18):47-52.

- [4] MALINOWSKI M, JASINSKI M, KAZMIERKOWSKI M P. Simple Direct Power Control of Three-phase PWM Rectifier Using Space-vector Modulation (DPC-SVM)[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2004,51(2):447-454.
- [5] 赵仁德,贺益康. 无电网电压传感器三相 PWM 整流器虚拟电网磁链定向矢量控制研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(20):56-61.