包钢宽厚板交－交变频器电流调节器计算分析[*1]

潘 琳[1], 杨丛军[2], 曹新利[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司仓储中心, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章针对包钢宽厚板轧机主传动交－交变频调速系统, 对SIEMENS交－交变频器直流电流调节器计算方法进行了研究, 计算方法简单, 优化了调节器的计算, 改善了系统的运行性能, 提高了主传动系统生产运行安全稳定性, 应用效果良好。

关键词: 轧机; 主传动; 交－交变频; 直流电流调节器
中图分类号: TG333.11 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009－5438(2017)06－0076－03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.06.025

Analysis on Calculation Method of DC Current Regulator of AC－AC Frequency Converter of Heavy Plate Mill Main Drive in Baotou Steel

PAN Lin[1], *YANG Cong－jun*[2], *CAO Xin－li*[2]

(1. *Warehouse Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou*, 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou*, 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: Aiming at the AC－AC variable－frequency speed control system of heavy plate mill main drive in Baotou Steel, the calculation method of DC current regulator of SIEMENS AC－AC frequency converter is studied. The calculation method is simple, the calculation of regulator is optimized, the operation performance of system is improved, the safety and stability of production and operation of main drive system are improved, and the application effect is good.

Key words: mill; main drive; AC－AC frequency conversion; DC current regulator

大功率交－交变频调速控制技术是20世纪70—80年代发展起来的新技术, 已在取代传统的大功率直流调速。到目前, 在世界上已有上千台交流变频轧机主传动投入工业应用, 在工业发达国家新建1 000 kW以上的轧机主传动, 无论是初轧机, 中板轧机还是热、冷轧机, 全部采用交流变频调速[1]。包钢4 100 mm宽厚板生产线于2007年投入生产, 其中轧机轧辊传动采用SIEMENS公司交－交变频调速系统。由于轧机主传动系统对生产运行至关重要、且技术难度较大, 因此当出现系统运行故障时, 难以进行判断、分析、解决。而磁通调节计算又是变频控制中的重要部分, 因此对其控制系统交－交变频器电流控制计算方法进行分析有非常重要的意义。电流控制系统由坐标变换、直流电流调节、交流

* **收稿日期**: 2017－05－08
作者简介: 潘 琳(1969－), 男, 江苏省泰兴市人, 工程师, 现从事设备管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

电流调节和电压前馈补偿等环节组成。直流电流调节解决静态问题，交流电流调节解决动态问题，电压前馈补偿解决电流实际值的滞后和实现有准备无环流切换问题，这样的电流调节系统能使电动机电流实际值的转矩分量和励磁分量分别等于它们的给定值。电流控制系统的坐标变换、交流电流调节及电压前馈控制由三相交流电流调节器 EP22 完成，现在主要分析直流电流调节器工作方式。

1　直流电流调节器控制

所谓“直流电流调节器”指三相相电流闭环控制中的直流分量(励磁及转矩分量设定值与实际值)解耦闭环 PI 控制，完成电压矢量给定的增量(励磁与转矩分量)计算[2]。

直流电流调节器功能块 GGR 完成直流电流调节器控制。GGR 在磁场定向基准坐标系统中对电流分量进行调节。对于这两个坐标轴中的每一个，都是用一个 PI 调节器。调节器作用于三相的电流控制器。

通过对电动势的调整系数进行调节，使得对电压前馈给定值进行调整，使电流直流量控制器转矩轴的给定电压在整个基速范围内运行时最小，且在不同速度运行时基本保持一致。一般来说，转矩给定电压基本为 0，且在基速范围内基本保持在 0 附近。

2　直流电流调节器控制方法

在正常控制方式中，首先检测是否存在调节器使能信号。当无使能信号输出时，转矩给定电压和励磁电压给定增量设输出为 0。紧接着从计算功能块中转移出来。

当使能信号输出时，进行调节器计算。在这种情况下，调节器参数由比例增益和调节系数计算得出:

$$\Phi_1 \text{ 轴}, K_{P1}: = E_{P1} \times V_P \quad (1)$$

$$\Phi_2 \text{ 轴}, K_{P2}: = E_{P2} \times V_P$$

为进行调节器计算，首先求出调节差:

$$\Phi_1 \text{ 轴}, D_{I1} = I_{1S} - I_{S1} \quad (2)$$

$$\Phi_2 \text{ 轴}, D_{I2} = I_{2S} - I_{S2}$$

式中: I_{1S}——Φ_1 轴电流分量设定值;

I_{S1}——Φ_1 轴电流分量实际值;

I_{2S}——Φ_2 轴电流分量设定值;

I_{S2}——Φ_1 轴电流分量实际值。

得出调节器 P 部分分量为:

$$U_{P1} = D_{I1} \times K_{P1} \quad (3)$$

$$U_{P2} = D_{I2} \times K_{P2}$$

式中: U_{P1}——Φ_1 轴电流分量偏差 P 调节增量;

U_{P2}——Φ_2 轴电流分量偏差 P 调节增量。

同时，将 U_{P1} 的值限制在 + / - $BP1$ 以内，并将 U_{P2} 的值限制在 + / - $BP2$ 以内。

接着，进行 P 部分和 I 部分的求和:

$$D_{U1} = U_{P1} + U_{I1} \quad (4)$$

$$D_{U2} = U_{P2} + UI_2$$

式中: D_{U1}——Φ_1 轴电压矢量给定增量，$\Delta u_{\varphi 1}^{S^*}$;

D_{U2}——Φ_2 轴电压矢量给定增量，$\Delta u_{\varphi 2}^{S^*}$。

因此电压矢量分量计算方法公式为 $D_{U1} = U_{P1} + U_{I1} = (I_{1S} - I_{S1}) \times E_{P1} \times V_P + U_{I1}$

磁场分量增量给定电压，(式 4)

转矩分量增量给定电压，$D_{U2} = U_{P2} + U_{I2} = (I_{2S} - I_{S2}) \times E_{P2} \times V_P + U_{I2}$

根据计算方法，得出电压矢量给定增量计算框图，见图 1、图 2。

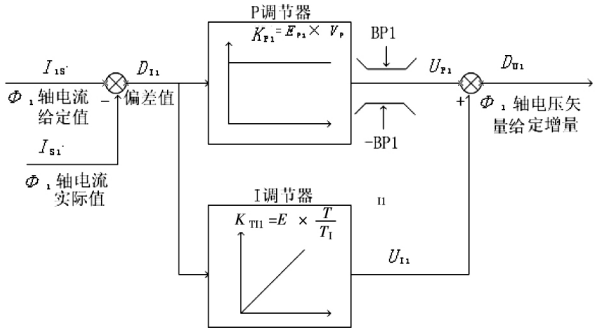


图 1　直流调节器 Φ_1 轴调节电路图

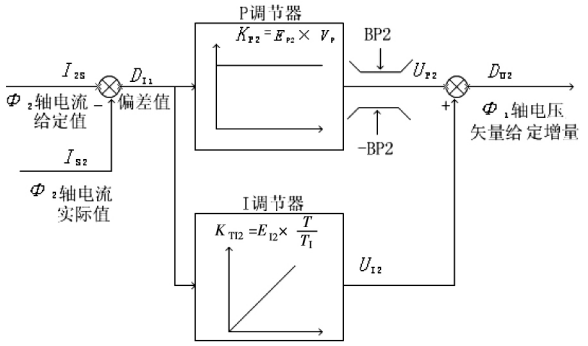


图 2　直流调节器 Φ_2 轴调节电路图

中国知网　https://www.cnki.net

3 直流电流调节器比例参数动态整定

为使调节器保持尽可能小的波动,直流电流调节器比例调节参数采用动态调节。动态调节功能可以根据当前的 Φ_1 轴、Φ_2 轴轴设定与实际电流差对调节器参数的调整系数进行预给定。

在控制系统初始化过程中,预先分配调整系数:

调节系数(EF) =调整系数的基本值(EFB) × 最小系数(MIM)

在正常运行中,首先将输入参数限制在允许输入范围内。有:

MIM >= 0.0

最大系数(MAM) >= MIM + 0.01

紧接着确定出调节差的值:

Δ = |给定分量 - 实际分量|

根据'Δ'进行内部特性曲线值(klw)的计算。

当'Δ <= 偏差极限值1(SI1)'时:

klw = MIM

当'Δ >=偏差极限值2(SI2)'时:

klw = MAM

当'MIM < Δ <= MAM'时:

klw = MIM + (Δ - SI1) ×(MAM - MIM) / (SI2 - SI1)

最后,计算出综合调整系数:

EF = EFB × klw

也就是当电流偏差值大于SI2时,比例系数为MAM,当电流偏差值小于SI1时,调节器的比例系数为MIM。在SI1和SI2之间时GGR调节器比例系数为动态曲线,此曲线即受偏差值控制,又受扫描时间控制。

4 电流环动态特性调节优化

从系统来看,分为速度闭环(外环)、力矩电流闭环(内环)。电流环的动态特性对于速度闭环控制是非常重要的。

优化目标:①电流环上升时间约为10 ms。②电流环超调量为零。③使电流调节环路中的两个电流调节器(直流电流量调节器GGR,相电流调节器EP22处理器完成)的调节系数相匹配。

当前系统没有与机械耦合,力矩分量给定可通过改变速度给定来强制加入。即通过速度阶跃产生。速度控制器的输出限幅设置为20%,根据速度控制器的比例系数,通过速度阶跃(10%变化至20%)使速度控制器输出达到限幅值。观察实际输出力矩与给定力矩是否对应。

首先,通过OP面板,通过LOCAL/REMOTE切换至本地控制,在面板中输入10%的速度值(N/min),电机运行在10%下;然后,根据当前设置的速度控制器比例系数及速度控制器输出力矩限幅值(20%)考虑输入速度给定变化量的大小,满足阶跃量>力矩限幅。根据所采样的波形,调节电流控制器增益,积分常数,且满足系统的动态响应时间约为10 ms。

优化时速度调节器的比例系数 K_P =12,积分时间常数 T_I =70 ms,电流限幅 I_{max} =20%,速度给定10%~28%,产生力矩阶跃,采集曲线见图3,转矩跟随较好。

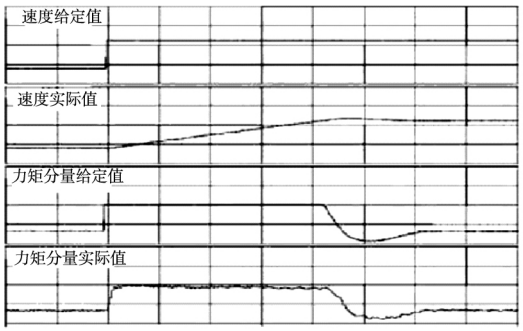


图3 速度阶越,转矩跟随曲线

5 电流控制系统框图及采集曲线

通过对SIEMENS交-交变频控制系统电流控制计算方法分析,采集出直角坐标系电流值曲线(见图4)。

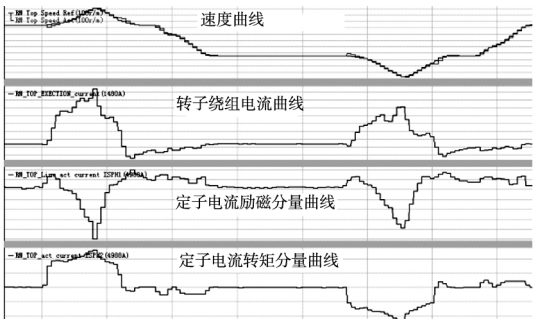


图4 调速系统直角坐标系电流值曲线

(下转第98页)

中国知网 https://www.cnki.net

内容体系包括动量传输、质量传输及热量传输，在动量传输部分，连续性方程和欧拉方程属于核心内容，其推导过程一直是传输原理教学中的重点和难点。笔者尝试采用易于学生理解和掌握的思想分别推导了上述方程，并分享了上述方程推导过程中的一些认识与体会，为动量传输理论的教学提供一定的参考。

参 考 文 献

[1] 常云龙，李润霞，袁晓光，等. 我国材料成型及控制工程专业人才培养模式研究[J]. 中国电力教育，2008，(8)：94－95.

[2] 曾大新，周述积，张元好，等. 材料成型及控制工程专业应用型本科人才培养方案的研究与实践[J]. 湖北汽车工业学院学报，2009，23(3)：76－80.

[3] 王超，袁守谦，杨双平，等. 冶金传输原理教学方法改革[J]. 中国冶金教育，2009，(4)：42－43.

[4] 郁青春，施哲，徐宝强，等. 冶金传输原理课程的“教”与“学”[J]. 中国冶金教育，2012，(2)：23－25.

[5] 刘然，王杏娟，艾立群，等. 《冶金传输原理》课程教学手段的改进[J]. 教育教学论坛，2015，(27)：135－136.

[6] 吴磊，马孝义. 纳威－斯托克斯(N－S)方程推导的专题教学改革探索[J]. 课程教育研究，2014，(33)：60－61.

[7] 张胤. “冶金传输原理”教学的改革与实践[J]. 中国冶金教育，1999，(4)：25－26.

[8] 李德良. 动量传递、能量传递、质量传递的相似性[J]. 玉溪师专学报，1993，(5)：87－96.

[9] 沈巧珍，杜建明. 冶金传输原理[M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

(上接第78页)

6 结束语

通过对包钢宽厚板轧机主传动交－交变频器直流电流调节器计算方法分析，对控制系统有了深入了解，并逐步总结出各个参数对整个系统性能的影响，使该套设备具有了稳定、高效、低事故率的特点，保证了设备的运行稳定，为工艺稳定生产和新产品开发创造了条件。

参 考 文 献

[1] 逯志宏，刘广友，马文静. 大功率交－交变频全数字矢量控制系统在济钢中厚板精轧机上的应用[J]. 冶金自动化，2003，(2)：20.

[2] 马小亮. 大功率交－交变频调速及矢量控制技术[M]. 北京：机械工业出版社，1996.

中国知网 https://www.cnki.net