

基于 DSP 的斩波内反馈串级调速系统的研究

范 毅, 张海峰

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了完善国内风机和泵类等负载的调速系统, 在串级调速系统的基础上, 提出了一种带斩波模块的内反馈串级调速系统; 指出了斩波式内反馈串级调速系统的优点; 介绍了当前比较流行的用于调速系统控制的数字信号处理器 (DSP) TMS320F28335。实验结果表明, 采用斩波式内反馈串级调速系统控制的风机比采用传统串级调速系统控制的风机更能节约电能。该斩波式内反馈串级调速系统已广泛地应用于工业生产中。

关键词: 串级调速系统; 斩波模块; 数字信号处理器; TMS320F28335

中图分类号: TM343

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)03-0111-04

Research of cascade speed regulating system of inner-feeding motor based on DSP chopping control

FAN Yi, ZHANG Hai-feng

(School of Electronics Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at improving the domestic cascade speed regulating system such as fan and pump and so on, an inner-feeding cascade speed drive system with chopper which based on the cascade speed drive system was discussed, the excellence of the inner-feeding cascade speed drive system with chopper and the digital signal processor (DSP) TMS320F28335 which was widely used in the speed regulating system were introduced. The experiment results show that the inner-feeding cascade speed drive system with chopper is better than traditional cascade speed drive system in making fan save electric power. The inner-feeding cascade speed drive system with chopper has been widely used in the industry.

Key words: cascade speed regulating system; chopper; digital signal processor (DSP); TMS320F28335

0 引 言

在我国电力、石化、矿山、冶金及给排水等领域, 风机和泵类负载是应用最广泛、耗电量最大的一类生产机械。据统计, 泵和风机的耗电量占到整个工业用电量的 40% 以上^[1], 而风机、水泵用电量的 30% ~ 40% 消耗在调节阀门及管网压降上, 这样就造成了电能的巨大浪费。自上世纪 80 年代以来, 很多国家都致力于交流调速节能技术的研究。目前, 国外的电机串级调速^[2]系统结构简单, 基本都可以进行在线实时控制, 而国内采用的是传统的串级调速系统。数字芯片因具有极高的精确性和低损耗特性, 数字化控制是工业控制的发展方向。目前应用的数字可编程逻辑芯片中, 单片机和 DSP 是应用的主流, DSP 芯片因其强大的数控能力和高稳定性, 已逐渐成为高端产品的主选

目标^[3]。

因此, 笔者研究基于 DSP 的斩波式内反馈串级调速系统。

1 串级调速的工作原理

1.1 传统的串级调速系统

传统串级调速系统主电路示意图如图 1 所示。电机转差功率经二极管整流器 U_R 、平波电抗器 L 滤波, 从晶闸管逆变器 U_I 逆变, 再过逆变变压器 T_I 返回电网。通过改变晶闸管的移相角度来改变附加直流电动势的大小, 从而调节电机转速。这种拓扑结构的不足表现为^[4]:

(1) 器件容量较大。虽然调速装置容量理论上比电机容量小得多, 但二极管整流器 U_R 、晶闸管逆变器

U_i 都必须按最大电压和电流之积来选取(大约为一半的电机额定功率),则相应的逆变变压器容量将更大。

(2) 功率因数比较低,谐波含量比较大。随着调速范围的变化,逆变器的移相角也需要发生变化,以用于平衡直流母线电压,这就使得调速范围越宽,功率因数越低(额定工作时大概为 0.6 ~ 0.65 左右),同时谐波含量也比较大。

(3) 需要外接逆变变压器。由于逆变变压器容量不能太小,并且在逆变侧需要配套的控制设备,这就使得设备体积变得比较庞大。

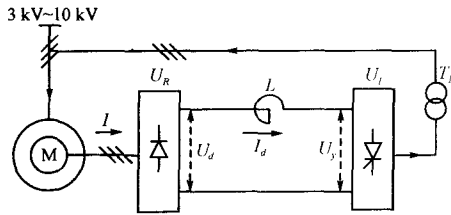


图 1 传统串级调速系统主电路

1.2 斩波式内反馈串级调速系统

斩波式内反馈串级调速系统主电路示意图如图 2 所示。整流器 U_R 为二极管整流桥, U_d 为三相整流电路的输出电压,电感 L_1 的作用是滤波。斩波式串级调速系统与普通串级调速系统的区别是在直流回路中增加了开关器件 IGBT、隔离二极管 D 和滤波电容 C ,此 3 个元件构成升压斩波电路^[5]。电感 L_2 的作用是维持逆变器的电流连续。逆变器 U_i 为 6 个可控硅,始终工作在最小逆变角 30° 状态^[6],因此这种拓扑结构是通过改变斩波器 IGBT 的占空比大小来调节电机转速,即改变串入转子的附加电势来改变电动机的转速,而不是通过改变晶闸管逆变器移相角来改变电机转速,此时逆变器的触发角为允许的最小逆变角。

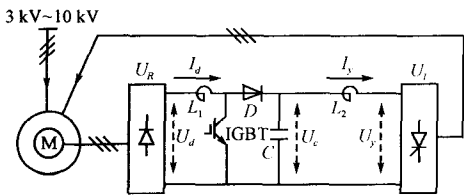


图 2 斩波式内反馈串级调速主电路

斩波器电流波形如图 3 所示,设 IGBT 斩波器的工作周期为 T ,在 τ 时间里,斩波开关闭合,整流桥 U_R 被短路,而在 $T - \tau$ 的时间里,斩波开关断开。整流桥的输出电压为:

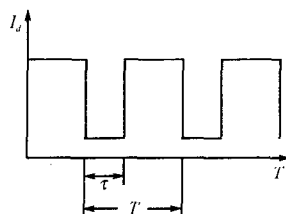


图 3 斩波器电流波形

$$U_d = 2.34sE_{20} \quad (1)$$

$$U_y = 2.34U_{2T} \cos \beta_{\min} \quad (2)$$

式中 E_{20} —电机转子开路电压; U_{2T} —调谐绕组电压。

经斩波器输出至整流桥的电压应与整流桥的电压相等,则有:

$$U_d = \frac{T - \tau}{T} U_y$$

所以:

$$s = \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) \frac{U_{2T}}{E_{20}} \cos \beta \quad (3)$$

而:

$$s = \left(1 - \frac{n}{n_0}\right) \quad (4)$$

式中 n —电机转数; n_0 —电机同步转数。

由式(3)和式(4)得:

$$n = n_0 \left[\left(1 - \frac{\tau}{T}\right) \frac{U_{2T}}{E_{20}} \cos \beta \right] \quad (5)$$

由式(5)可知,改变斩波器开关闭合时间就可以改变电机转速。当 $\tau = T$ 时,也就是斩波器开关一直处于闭合状态,即把异步电动机转子短路时,电动机达到同步转速(空载状态),而当 $\tau = 0$ 时,斩波器开关一直处于断开状态,则异步电动机工作在串级调速状态下的最低转速^[7]。

与传统串级调速相比,内反馈斩波串级调速系统的优点如下:

(1) 晶闸管逆变器的移相角都固定在最小逆变角 $\beta_{\min} = 30^\circ$ 。实际测得的逆变角 30° 时的波形如图 4 所示,由图 4 右端 $\Delta t = 1.7 \text{ ms}$ 可求得实际的最小逆变角, $\beta_{\min} = \frac{1.7 \text{ ms}}{20 \text{ ms}} \times 360^\circ = 30.6^\circ$,与理论值相差 0.6° ,该误差可以忽略。电容电压 U_c 为固定值,因此在 50% ~ 100% 的调速范围内,即使逆变器 U_i 容量和电机辅助绕组容量都按转子最大输出功率计算,也只有 0.3 倍左右的电机额定功率(通常电机转子功率只占整个电机功率的 30% 左右),比传统串级调速小得多。不过二极管整流器 U_R 、斩波器容量仍按最大电压和最大电流选取。

(2) 由于晶闸管逆变器移相角不管速度高低,都固定在最小逆变角,并且容量比较小,因而它产生的无功远小于传统串级调速系统,其功率因数比较高,可以达到 0.8 左右。

2 主处理器模块

本设计采用 TI 公司的浮点型 DSP 芯片 TMS320F-

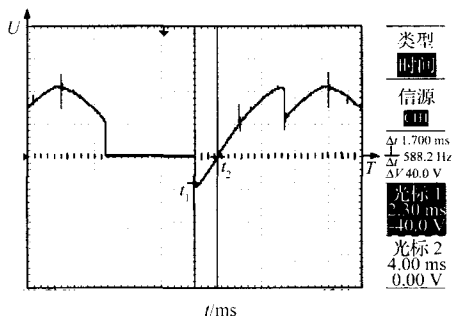


图 4 实际最小逆变角 30° 波形

TMS320F28335 作为主处理器^[8],主频工作在 150 MHz。与单片机相比,DSP 是具有较高的集成度、更快的速度和更大容量的存储器,其内置有波特率发生器和 FIFO 缓冲器,并提供高速、同步串口和标准异步串口。片内集成了 A/D 和采样/保持电路,可提供 PWM 输出。TMS320F28335 采用改进的哈佛结构,具有独立的程序和数据空间,允许同时存取程序和数据。其内置的高速硬件乘法器及增强的多级流水线提高了数据运算能力。TMS320F28335 比 16 位单片机单指令的执行时间快 8 ~ 10 倍,而完成一次乘加运算则快 16 ~ 30 倍。TMS320F28335 还提供了高度专业化的指令集,提高了 FFT 快速傅里叶变换和滤波器的运算速度。同时浮点型的 TMS320F28335 芯片提高了运算精度,由于该调速系统中多处用到 A/D 采样电压和电流的值,且需要实时监控、快速运行相关的公式来作出相应的动作及要求数据处理精度较高。

3 PWM 信号

TMS320F28335 有专门产生 PWM 信号的引脚和寄存器,PWM 信号控制 IGBT 的导通和关断^[9],由于改变斩波器开关闭合时间就可以改变电机转速,所以改变 PWM 信号也可以改变电机的转速。

PWM 波形产生流程如下:

- (1) 初始化 DSP 的 PWM 引脚;
- (2) 将 DSP 相应的引脚配置为 PWM 输出引脚;
- (3) 初始化 PIE 中断向量表;
- (4) 禁止和清除所有 CPU 中断;
- (5) 配置 PWM 的相关参数。

下面是 PWM 的主程序:

```
void EPwm_Out(unsigned long ulDuty)
{ if(ulDuty >= 4096) /*若电机全速运行则斩波 IGBT 一直导通*/
{ EPwm5Regs. CMPA. half. CMPA = 4096;
usRealDuty = 100; /* PWM 信号一直是高电平 */
} else
{ EPwm5Regs. CMPA. half. CMPA =
```

```
(( CON_PWM_PERIOD * ulDuty)/4096); /* 将 PWM 要比较的
值赋给 EPwm5Regs. CMPA. half. CMPA */
usRealDuty = (( 100 * ulDuty)/4096);
}
```

上面这段程序主要说明了 PWM 信号的脉宽随着斩波 IGBT 占空比的变化而变化。ulDuty 为斩波 IGBT 的占空比,当斩波 IGBT 高电平的占空比超过一个周期的频率时,设置 PWM 的脉宽一直为高电平;反之则将 IGBT 高电平的占空比的值赋给 EPwm5Regs. CMPA. half. CMPA,该寄存器里的值决定了 PWM 信号脉冲的宽度。

4 实验

在本研究中,实验所用 2 台电机型号均为 YZR132M1 绕线式电机。电机的负载均为额定功率 1.5 kW 的风机,第 1 台采用传统的内反馈串级调速系统控制,第 2 台采用斩波内反馈串级调速系统控制。

表 1 两种串级调速系统控制的风机耗电量比较

项目	传统串级调速控制	斩波串级调速控制
额定功率/kW	1.5	1.5
定子额定电流/A	5	5
转子额定电流/A	7.3	7.3
转速/(r · min ⁻¹)	940	940
转子开路电压/V	132	132
空载电流/A	4	4
耗电量/kWh	2 941	2 735

两种串级调速系统控制的风机耗电量比较如表 1 所示。由表 1 可知,通过 3 个月的运行,在运行条件相同的条件下,斩波式内反馈串级调速系统控制的风机比传统的内反馈串级调速系统控制的风机的耗电量减少 7% 左右,经济效益比较可观。

5 结束语

本研究实验证明带斩波模块的内反馈串级调速系统通过改进其转子侧功率的控制方式,使系统的效率得到了进一步的提高。与传统串级调速系统相比,它具有成本低、结构简单等优点。因此,斩波式内反馈串级调速系统对风机、水泵类负载的节能调速具有重要的意义。但该斩波式内反馈串级调速系统仍有待改进,如逆变器仍采用晶闸管,依然存在一个最小逆变角的问题,同时功率因数不够高;定子电流中依然存在晶闸管逆变器产生的 5、7 次谐波及二极管整流器 U_R 产生的低频谐波等问题。

(下转第 122 页)

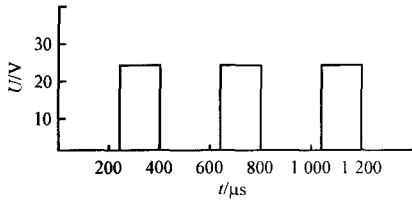


图 4 电磁阀 PWM 控制信号波形图

电磁阀的散热量降到最低,从而保证了袜机控制系统的安全性与稳定性。

2.3 步进电机驱动程序

步进电机的驱动方式有许多种,包括半步工作方式、两相激励的基本步距工作方式和单相激励的基本步距工作方式^[8]。不同的驱动方式,其电流的大小、散热量和所产生的力矩的大小都有所不同。3 种驱动方式的比较如表 1 所示。

表 1 步进电机 3 种驱动方式的比较

驱动方式	电流	散热量	力矩
半步方式	中等	中等	中等
两相激励方式	大	大	强
单相激励方式	小	小	弱

根据袜机的实际负载情况,选用两相激励的基本步距工作方式。在袜机的运作中,针对不同的工艺环节,步进电机的运行速度是不同的。考虑到电机的惯性,电机速度的切换必须逐渐进行,否则会造成电机失步,导致电流过大而烧坏线路板。这时就要采取变频控制技术,在软件上逐渐改变相位信号的频率,使电机安全地切换速度。电脑袜机控制系统的软件流程图如图 5 所示。

3 结束语

本研究将变频技术应用于选针器、电磁阀、步进电机等各种袜机现场器件的控制中,以达到降低系统的功耗和散热量、构造一个简捷、成熟与稳定的电脑袜机

控制系统的目的。本系统经过较长时间的运行和试验,研究数据结果表明该技术方案切实可行,现已初步应用于控制袜机进行编织生产。

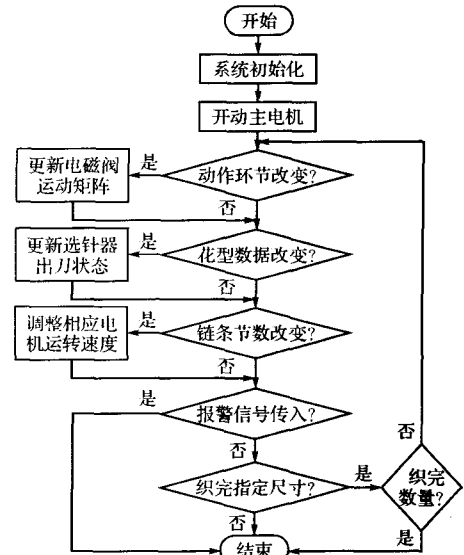


图 5 系统软件流程

参考文献 (References):

[1] 夏风林,陈展云. 针织机械的发展动向[J]. 纺织导报, 2005(8):81-84.

[2] 贾梅英. 变频调速技术的推广应用[J]. 机械管理开发, 2005(3):64-65.

[3] 美国 Microchip 公司. Microchip. dsPIC30F 系列参考手册[M]. 美国 Microchip 公司,2005.

[4] HASEGAWA J, KAWABATA S, SUZUKI Y. Needle selecting control apparatus for circular pattern knitting machines; 美国,3955384[P]. 1975-03-05.

[5] DONG X L, KOJIMA S. Dielectric and resonance frequency investigations of phase transitions in Nb-doped PZT95/5 and 75/25 ceramics[J]. Journal of Physics Condensed Matter,1997(9):171-177.

[6] 李方园. 张力控制的变频系统[J]. 轻工机械,2009,27(3):39-42.

[7] 姚道如,汪功明. 变频器和 PLC 在注塑机节能改造中的应用[J]. 轻工机械,2008,26(6):59-61.

[8] 王鸿钰. 步进电机控制技术入门[M]. 上海:同济大学出版社,1990. [编辑:李辉]

(上接第 113 页)

参考文献 (References):

[1] 刘观起,孙金水,万军. 基于 IGBT 斩波控制的内反馈串级调速系统的研究[J]. 电力科学与工程,2008,24(1):37-40.

[2] 阎治安,崔新艺,苏少平. 电机学[M]. 2 版. 西安:西安交通大学出版社,2006.

[3] 马君,张治中. 基于 TMS320C2812 的电机调速系统的数字控制改进应用[J]. 重庆工学院学报,2007,21(1):99-104.

[4] BIMAL K. Modern Power Electronics and AC Device[M]. Beijing: China Machine Press,2005.

[5] 宋桂英. 内反馈电动机及其调速系统[D]. 天津:河北工业大学电气与自动化学院,2000:9-10.

[6] 江友华,蔡文,曹以龙,等. 内馈斩波串级调速装置设计及需要注意的几个问题[J]. 上海师范大学学报:自然科学版,2005,34(3):33-37.

[7] 孙金水. 斩波内馈串级调速系统的基础研究[D]. 北京:华北电力大学电气与电子工程学院,2007:24-25.

[8] Silicon Laboratories Inc.. TMS320-F28335 Digital signal controllers[EB/OL]. [2009-04-06]. http://focus.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320f28335.pdf.

[9] 苏奎峰,吕强,常天庆,等. DSP 原理及 C 程序开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.

[编辑:柴福莉]