

基于永磁同步电动机的全电动注塑机控制系统设计

宁建荣 朱成实 鄢利群

(沈阳化工学院机械工程学院, 沈阳 110042)

摘要 分析了当前塑料行业注塑机的现状和对注塑机发展的要求,介绍了基于永磁同步电动机的全电动注塑机控制系统的设计,通过对注射过程的分析,着重阐述了基于永磁同步电动机控制系统的硬件组成、软件设计和运用矢量控制技术实现全电动注塑机的精确控制。

关键词 全电动注塑机 永磁同步电动机 矢量控制

近年来,随着新型合成材料的涌现和高精度注塑件使用范围的扩大,以及人们环保意识的日渐增强,人们对注塑机的要求也越来越高。最新发展的全电动式注塑机就是为满足人们的这些要求而开发的新型注塑机。所谓电动式注塑机是指使用交流伺服电动机配以滚珠丝杠、齿形带及齿轮等元器件来驱动各个机构的注塑机^[1]。与传统注塑机相比,全电动注塑机集中体现的优势为:①完美的制造环境,排除了液压油的污染;②消除了操作噪声;③在获得高性能的同时得到很高的性能价格比,使电力、冷却水等能源消耗大幅度下降。这种全电动的设计不仅克服了液压油随温度变化给操作、控制精度带来的不利影响,使控制系统的精度及可靠性大大提高,而且采用伺服电机驱动,可获得优异的高速性,极大地提高了生产效率^[2]。

注塑机若采用异步电动机则运行效率低,低速运转时转矩小,谐波损耗大,速度变动率大,动态性能不佳;而采用永磁同步电动机(PMSM)具有动态响应性好、输出扭矩大、闭环控制精度高、制动性能好等优点,是异步电动机无法超越的,特别是在低速时仍然能够稳定运行、无爬行现象,所以PMSM将越来越多地被用于全电动注塑机的控制中。笔者现将基于PMSM的全电动注塑机控制系统设计作一介绍。

1 注塑机的控制流程

注塑机的成型操作是周期性的,一个周期内的动作过程如图1所示。

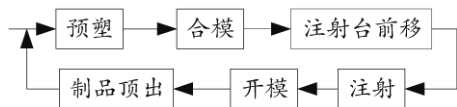


图1 注塑机的动作过程

(1) 预塑 螺杆转动,物料进入料筒并向喷嘴移动,在料筒加热和螺杆的剪切作用下,物料逐渐塑

化。

(2) 合模 预塑结束后,移动模板前移,使模具闭合并锁紧。

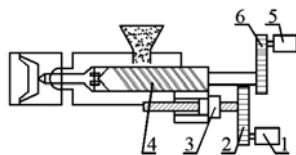
(3) 注射台前移 注射台整体前移,使喷嘴与模具流道口吻合。

(4) 注射 在注射力作用下,螺杆前移,将熔融物料注入模具型腔,然后保持注塑压力一段时间后卸压,制品冷却。

(5) 开模和顶出 注射座后移,移动模板后移,模具开启,顶出杆将制品从模具中顶出。制品被顶出后,模具又闭合,重复上述动作,进入下一个注塑操作循环。

2 充模过程控制

注射成型过程中,每一部件的转动或移动速度、推力或压力的大小要根据工艺要求随时调整,如注塑压力和速度需要按照不同材料和制品的工艺要求进行调节。现以充模过程为例,介绍注塑机的电机控制。图2所示为注塑装置的结构简图。



1—螺杆移动电机;2、6—同步齿形带;3—滚珠丝杠机构;

4—螺杆;5—螺杆旋转电机

图2 注塑装置的结构简图

螺杆移动电机1的输出轴与同步齿形带2的带轮相连,通过同步齿形带将运动传递给滚珠丝杠机构3,滚珠丝杠机构带动螺杆4前后移动,从而使螺杆实现注射和塑化计量。同时螺杆旋转电机5亦通过同步齿形带6与螺杆相连,带动螺杆作回转运动。

螺杆迅速向前运动将熔体经过喷嘴注射到成型

模具中,熔体经喷嘴射出的速率对最终制品的分子排列及残余应力有很大的影响。由于在充模阶段注射速率影响剪切力和剪切速率进而影响最终制品的质量^[3],故注射速率是在充模阶段的一个重要参数。系统通过对伺服电机的矢量控制实现对注射速率的精确控制。

2.1 三相 PMSM 的矢量控制^[4]

三相 PMSM 的模型是多变量、强耦合、非线性系统。通过对转子磁场定向矢量的控制就可对转矩的控制参数实现解耦,实现转矩线性控制。其基本原理是通过坐标变换,即在转子磁场定向的同步坐标系上通过对电动机的磁场电流 i_d 和转矩电流 i_q 进行解耦,使其具有与传统直流电动机相同的运行性能。将 PMSM 的转子永磁体磁场方向定为 d 轴,将电动机旋转方向上滞后 90° 的方向定为 q 轴,建立一个基于转子磁场定向的同步旋转坐标系,如图 3 所示。利用坐标变换可将电压、电流在电动机的三相坐标系与同步旋转坐标轴系之间相互转换。

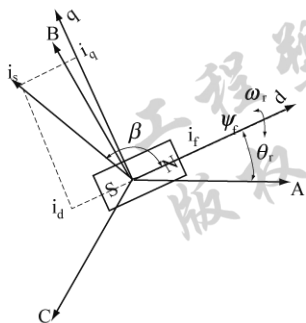


图 3 同步旋转坐标系

在 PMSM 中,通过将定子 A 、 B 、 C 三相电流转化为与转子同步旋转的 dq 坐标中的两相电流 i_d 、 i_q 。首先将静止的 ABC 轴系转化为静止的 DQ 轴系,令 D 轴与 A 轴重合,然后将静止的 DQ 轴系转化为与转子同步旋转的 dq 轴系,使 d 轴与转子永磁体磁场轴线重合。转化公式为:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (2)$$

当不考虑磁阻转矩时,PMSM 的电磁转矩为:

$$T_e = p_n \Psi_f i_q \sin \beta \quad (3)$$

式中: β 为定子磁动势轴线与永磁体励磁磁场轴线的空间电角度。若使 $\beta=90^\circ$ 即可获得最大转矩,此时式 (3) 可以改写成式 (4):

$$T_e = p_n \Psi_f i_q \quad (4)$$

PMSM 的电磁转矩取决于永磁体励磁磁场的强弱及 q 轴电流的大小,而在电动机结构确定后,电磁转矩完全取决于 q 轴电流的大小。PMSM 的矢量控制就是要通过调整转矩电流 i_q 来调整转矩,从而实现 PMSM 控制参数的解耦,实现其转矩的线性化控制。

2.2 注射过程控制系统

在充模阶段,注射速率和模腔压力是重要的控制参数。注射速率、模腔压力及注塑量可以通过控制螺杆的运动速度及运动位置来控制,因此只有对螺杆移动电机实施精确控制才可完成注射过程的准确控制。螺杆移动电机采用全闭环的控制方式,其控制结构图如图 4 所示。

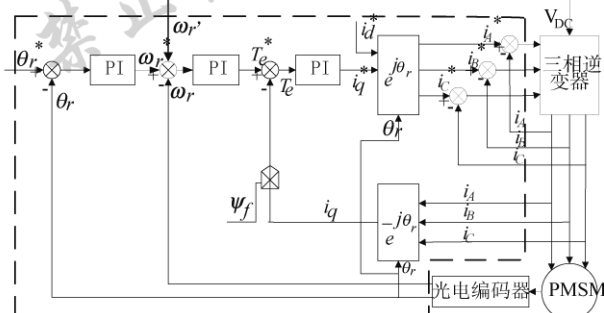


图 4 螺杆移动电机控制结构图

该控制装置由外而内采用位置环、速度环、电流环构成的闭环控制系统。位置环和速度环主要由 PMSM、旋转编码器、位置控制器和速度控制器构成。旋转编码器与电机输出轴相连,通过测量电机输出轴的机械角位移得到电角度和角速度,从而得到位置与速度的反馈参量。将位置反馈参量与控制系统输入的位置参量送到位置控制器得到速度参量,速度反馈参量与上一级得到的速度参量和控制系统输入的速度参量送入速度控制器得到电流控制参量。位置环的作用是提高系统的动态跟踪性和稳态精度;速度环用以增强系统的运行稳定性和抗负载的能力。电流环主要由电流控制器和电流传感器组成,采用矢量变换的方法进行控制,电流环的作用是 提高系统的加速转矩、增强高速响应能力,并且能够快速抑制电流环的内部干扰,限制最大电流,保障系统的安全运行。

控制器使用 TI 公司的电机控制专用 DSP——TMS320LF2407A。2407 片内有 32k RAM, 具有两个事件管理器模块适用于控制各类电机; 看门狗定时器保证软件的可靠运行; CAN 2.0B 控制模块可以方便地组成控制局域网; 全功能的串行通信接口可以与工控机等其它主控机无转换地快速连接; 10 位 A/D 转换器可接 16 通道的 A/D 输入, 输入的最小转换时间仅为 500 ns, 使检测与控制能够集成在同一控制器上。外围器件包括检测三相交流电动机的霍尔电流传感器和监测电机转子位置的旋转编码器、监控型腔压力的压力传感器及逆变电路等。控制电路采用 H 型驱动电路, 通过 DSP 的 PWM 输出引脚输出的控制信号对两路电动机进行控制。霍尔传感器通过转换电路将具有正负极性的定子电流信号转换为 0 ~5 V 的电压信号送入 DSP, 用压力传感器将型腔压力变换为电压信号并通过转换电路也送入 DSP 中, 转化后的信号通过 ADCIN 引脚输送给 DSP 中的 A/D 变为数字反馈信号; 同时采用增量式光电编码器检测电角度及角速度。电动机的矢量变换、PWM 控制信号的形成及闭环控制的实现均由 DSP 内部软件完成。

3 软件实现

电流传感器测量逆变器输出的定子电流 i_A 、 i_B 、 i_C 经 A/D 转换为数字量, 通过 clark 和 park 变换将电流 i_A 、 i_B 、 i_C 变换成旋转坐标系 dq 中的分量 i_d 、 i_q , 用于电流环的反馈量。利用编码器测量电动机的机械角位移并将其换算成电角度及转速, 电角度用于参与矢量变换, 转速用于速度环的负反馈。给定转速与转速反馈量的偏差经速度 PI 调节器输出用于转矩控制的 q 轴参考电流分量, 参考电流分量与电流的反馈量的偏差经电流 PI 调节器输出旋转坐标系的电压分量, 电压分量再经过 park 逆变换转换成静止的两相直角坐标系中的定子相电压矢量的分量, 通过电压空间矢量 SVPWM 技术, 产生 PWM 控制信号来控制逆变器。DSP 用于磁场定向的矢量控制子程序框图如图 5 所示。

转子相位初始化采用磁定位的方法, 通过给定子一个已知大小和方向的直流电, 使定子产生一个恒定的磁场, 这个磁场与转子的恒定磁场相互作用,

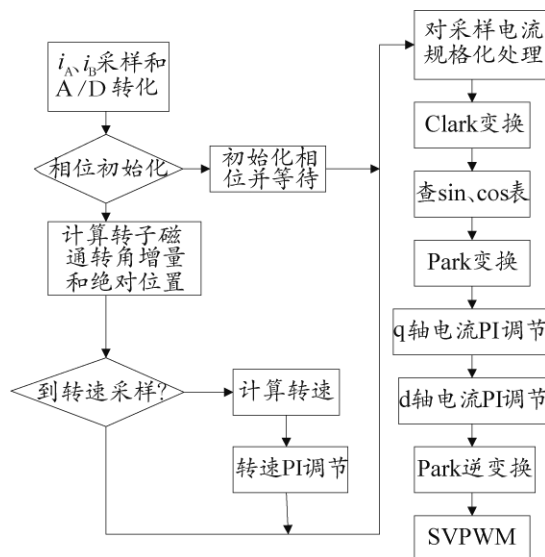


图5 矢量控制子程序

迫使转子转到两磁场成一线的位置停止, 从而使转子的位置固定, 初始相位也就得到固定。DSP2407 为定点 DSP, 为了满足精度的要求, 在运算中采用 PU 模式, 电流、电压和转速的数据格式采用 Q12 格式。在系统位置与速度板块中, 利用增量脉冲编码器 AB 输入的 4 个沿信号对脉冲信号进行 4 倍频, 提高了位置与速度反馈的分辨率。由于惯性较大, 机械系统响应的时间常数远大于电系统响应的时间常数, 所以可以按一定间隔对速度进行采样, 系统中每 32 个 PWM 脉冲对速度采样一次。

4 结语

实践证明, 基于 PMSM 的全电动注塑机在生产过程中比传统的注塑机有极大的优越性。PMSM 的加入提高了注塑机的控制精度, 注塑机重复定位精度的提高可使产品的质量得到保证, 全电动的驱动方式在生产效率上明显优于液压或混合驱动的驱动方式, 而且全电动注塑机的效率综合能耗低, 能极大地改善生产环境。

参考文献

- [1] 林宏权, 蒋卫东, 林达. 全电动式注塑机的发展现状及展望 [J]. 塑料工业, 2005(4): 1-4.
- [2] 李大寅, 周舟, 朱宁迪. 永磁同步伺服电机在注塑机中的应用 [J]. 橡塑技术与装备, 2004(7): 58-60.
- [3] 钟汉如. 注塑机控制系统 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [4] 王成元, 夏加宽. 电机现代控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

ABSTRACT The status quo and the need of injection molding machine in plastic industry are analyzed, and the design of control system of fully electric injection molding machine with PMSM is introduced. Detailed information for the hardware and software based on PMSM are narrated, and it is succeeded in manufacturing precise control system for fully electrical injection molding machine based on PMSM using vector control.

KEYWORDS fully electrical injection molding machine, PMSM, vector control

美国新型挤出机实验结果可直接放大

美国 NFM Welding Engineers 公司最新推出 TEM 系列双螺杆挤出机。据称,这种直径 26 mm 的同向啮合型挤出机具有极高的转矩和螺杆转速,适用于小批量生产或实验规模的试产,其最大特点是实验结果可直接放大用于规模化生产。该挤出机占地面积小,可用于实验室或工厂的研发部门,应用于工程塑料配混、纤维原料配混、填充填料和色母料、直接挤出和反应挤出工艺等方面。(中塑机)

欢迎订阅 2008 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等 23 项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2008 年定价 10.0 元/期,全年 120 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊荣获 5 项省部级优秀期刊奖,被美国化学文摘(CA)收录。2008 年定价 10.0 元/期,全年 60 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 我社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2007 年底共 35 卷 218 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2007 年底共 16 卷 59 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 500 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 150 元。

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编: 250031 传真: (0531) 85947355 85878224
电话: (0531) 85878057 85878223 85878278

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行: 济南市工商银行经十一路支行
帐 号: 1602001229014425546

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表				
年 份	期 数	每册单价 / 元	全年定价 / 元	合订本 / 元
1986 ~1989	16	0.825	13.2	19
1990 ~1992	12	1.4	16.8	23
1993、1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	13	8	104	116(两本)
2007	12	9	108	120(两本)
2008	12	10	120	132(两本)
合 计	189		800(优惠)	900(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表				
年 份	期数	每册单价 / 元	全年定价 / 元	合订本 / 元
创刊号 ~1998	9	3	27	33
1999	4	3.5	14	60
2000	4	4	16	
2001	6	4	24	
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	108
2007	6	9	54	
2008	6	10	60	60(单册)
合 计	65		350(优惠)	380(优惠)