

基于半导体制冷片的超速离心机温度控制模块设计^①

林挺宇¹, 刘波峰¹, 李 亚², 尹 云¹, 张 俊¹

¹(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

²(湖南工程学院 电气信息工程学院, 湘潭 411101)

摘要: 设计了超速离心机的温度控制模块, 采用了模糊 PID 算法, 通过 PID 参数的自动整定, 对半导体制冷片的电压进行调整, 从而控制半导体制冷片的制冷或制热效率, 能对超速离心机离心室内的温度进行精确并且快速的控制。在 MATLAB 的 simulink 环境下进行仿真后分析可知, 模糊 PID 算法兼具常规 PID 算法和模糊控制的优点, 能够有效提高温度控制模块的性能。

关键字: 超速离心机; 半导体制冷片; 模糊 PID 算法;

Design of Ultracentrifuge Temperature Control Module Using Semiconductor Cooling Plate

LIN Ting-Yu¹, LIU Bo-Feng¹, LI Ya², YIN Yun¹, ZHANG Jun¹

¹(College of Electrical and Information Engineering, University of Hunan, Changsha 410082, China)

²(College of Electrical and Information Engineering, University of Hunan Engineering, Xiangtan 411101, China)

Abstract: This article presents an ultracentrifuge temperature control module, which uses fuzzy PID control algorithm. Through auto-tuning PID parameters using fuzzy logic, the controller adjust input voltage to the semiconductor cooling piece to control centrifugal room temperature accurately and rapidly. Simulink is used to simulate the proposed fuzzy PID controller. The simulation results show that the proposed controller has both the advantage of PID controller and fuzzy controller and it is very efficient in controlling the centrifuge temperature.

Key words: ultracentrifuge temperature control; semiconductor cooling plate; fuzzy PID algorithm

1 超速离心机系统功能介绍

超速离心机为转速可达 80000 转/分钟的离心机, 由于转速极高, 所以不同于一般的离心机或高速离心机, 对转子转速测量和控制、离心室的真空度测量和控制、温度测量和控制都有较高的要求。目前国内在超速离心机领域, 尚缺少性能优越的产品, 在各个环节的测量和控制上均有不同的缺陷, 而国外如美国的 Beckman、日本的 Hitachi 等公司生产的超速离心机仍是这个领域的主流产品^[1]。本文设计的超速离心机的主要功能框图如图 1 所示, 下面将重点介绍其中的温度控制模块。

在超速离心机的使用过程中, 为避免实验试剂发生成分变化、药品变质等严重后果, 需要及时精确、稳定地控制离心室的温度变化。如果在温度控制环节上出现较大误差, 则超速离心机的其它各个环节的工

作将毫无意义, 可以说, 温度控制模块是直接关系着实验药剂的环节。在工业上, 超速离心机温度的控制范围要求为 0 到+40℃, 控制精度为 0.1℃。

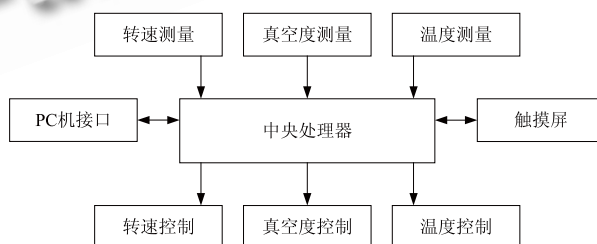


图 1 超速离心机功能结构框图

2 超速离心机温度控制模块及工作原理

半导体制冷片一般制冷范围为-130 至+90℃, 符合超速离心机温控范围 0 至 40℃的要求, 且反应速度快,

① 收稿时间:2010-12-13;收到修改稿时间:2011-01-16

功率可调, 满足控制精度 0.1℃ 的要求。另外半导体制冷片还具有体积小、无需制冷剂、工作过程无震动、安装容易等优点, 故采用半导体制冷片作为超速离心机离心室温控模块的执行器件。

2.1 半导体制冷片工作原理

根据珀尔帖效应 (PELTIER EFFECT), 当电流流经两个不同导体形成的接点时, 接点处会产生放热和吸热现象, 放热或吸热大小由电流的大小来决定。半导体制冷片的工作原理是: 当一块 N 型半导体材料和一块 P 型半导体材料联结成电偶对时, 在这个电路中接通直流电流后, 就能产生能量的转移, 电流由 N 型元件流向 P 型元件的接头吸收热量, 成为冷端由 P 型元件流向 N 型元件的接头释放热量, 成为热端。吸热和放热的大小是通过电流的大小以及半导体材料 N、P 的元件对数来决定。

2.2 温度控制模块原理

超速离心机温度控制模块电路图如图 2 所示, 主要由中央处理器、数模转换器、可控电源、继电器和制冷片几个部分构成。在该模块中, 中央处理器为 TI 公司的多功能低功耗处理器 MSP430F249, 模数转换器采用 MAXIM 公司的 MAX531, 执行器件半导体制冷片为深圳广通源实业有限公司的 TEC1-12706T125。TEC1-12706T125 可控温度范围广泛, 体积小, 安装方便, 抗干扰和抗震能力强, 可以采用改变电流或电压强度两种控制方式来调整制冷或制热功率, 适用于本温控模块。

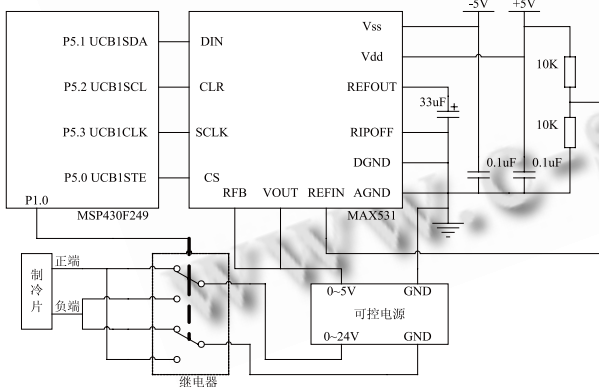


图 2 超速离心机温度控制模块电路图

对电路图简要分析如下: 通过 MSP430F249 的 UART 模块中的 UCB1 口和 MAX531 进行 SPI 模式通讯。MAX531 工作在增益为 +1, 单极性输出模式下, VOUT 输出电压范围为 0~+5V。当 MAX531 接收到 MCU 发送的命令字为 000 时, VOUT 输出为最低电压 0V, 当命令字为 800 时, VOUT 输出电压为 +2.5V,

当命令字为 FFF 时, VOUT 输出满量程电压 +5V。VOUT 输出的电压通过可控电源进行比例放大, 继电器右端接受到的电压为 0~+24V。当 MSP430F249 的 P1.0 口输出为 0 时, 继电器无动作, 制冷片正端接受到 0~+24V 的正电压, 负端接至地, 制冷片作用为制冷; 当 P1.0 输出为 1 时, 继电器动作, 使制冷片正端接至地, 负端接受 0~+24V 的正电压, 制冷片作用为制热。通过改变 MAX531 的 VOUT 输出电压, 可调整制冷片的制冷或制热功率。

3 模糊PID控制算法的设计

如果使用常规的 PID 控制方法来控制温度, 由于参数整定方法复杂, 很难满足温度变化的非线性和时变性的特点, 很可能出现整定的参数误差过大, 造成 PID 控制器性能不佳, 适应性差的缺点。而模糊控制不需建立精确的数学模型、动态性能好, 但是稳态精度不高。所以在这里采用模糊算法和 PID 算法相结合, 构成模糊 PID 的复合算法进行温度控制, 模糊 PID 算法既具有常规 PID 算法能够完成高精度控制的特点, 又具有模糊算法控制灵活, 适应性强的优势^[2]。

如图 3 所示, 采用两输入, 三输出模糊控制器, 输入量为温度的误差 E 以及误差的变化率 ΔE , 经过模糊控制器的模糊推理后, 输出量为修正值 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d , 通过 PID 参数的整定, 可以实时调整 PID 输出电压, 从而快速准确地控制制冷片的温度。

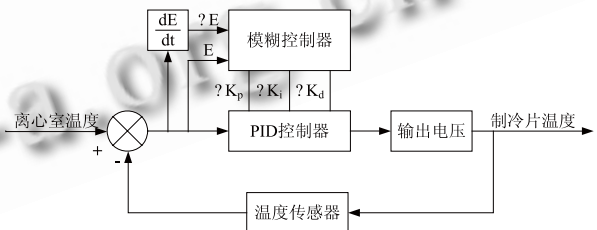


图 3 模糊 PID 算法

在模糊推理的过程中, 选择算法的判断条件为误差 E 的大小: 当误差 E 较大时, 将主要采用模糊算法, 这样可以提高系统响应速度, 迅速减小误差; 当误差 E 较小时, 采用常规 PID 算法, 这样可以消除静态误差, 保持系统的稳定性, 防止严重的振荡和过大的超调; 而在误差的切换点上, 为了避免算法的切换过于频繁, 模糊控制器将维持上一动作。

将输入和输出的各个参数 E、 ΔE 、 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 均建立模糊集 {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}, 分别代表 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}。

正大)。这几个参数的论域都为{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3}。因为由三角形隶属函数构成的系统具有计算简单、实时性好、响应快等优点，故以上几个参数都采用三角形隶属函数，隶属函数曲线如图 4 所示^[3]。本模糊 PID 控制器采用的模糊决策为 Mamdani 的(min-max)，解模糊采用重心法(centroid)。根据多次实际参数整定的经验归纳，得到 ΔK_p 、 ΔK_I 、 ΔK_d 三个参数的模糊控制规则表，表 1 列出了比例系数修正量 ΔK_p 的模糊控制规则表。

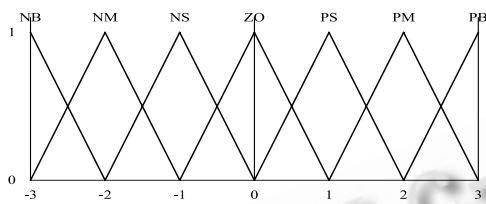


图 4 隶属函数曲线

表 1 ΔK_p 模糊控制规则表

$?K_p$ / $?E$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PB	PB
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	PS	NS	NM	NM	NM	NB
PB	NB	NB	NM	NM	NM	NB	NB

4 仿真

根据经验，温度的变化具有惯性、缓变、滞后等特性，故可将温度模拟为一个带有纯滞后的一阶惯性环节，经多次试验，确定使用的传递函数为：

$$G(s) = \frac{2.5s + 5000}{s^2 + s + 55}$$

在 MATLAB 的 simulink 环境下对本模糊 PID 控制器进行仿真。仿真结构框图如图 5 所示。为了方便，画出了常规 PID 和模糊 PID 两条曲线，如图 6 所示。

分析曲线可知，模糊 PID 控制器对比常规 PID 控制器而言，超调小很多，过程更为平缓，结果更为准确，具有一定的优势。

5 结论

本文以 MSP430F249 为核心设计了超速离心机电控系统，以半导体制冷片为执行器件设计了温度控制模块，在该模块中使用了模糊 PID 控制算法，模糊 PID 算法在使用过程中对 PID 控制器的参数进行在线整定，通过电压的变化调整半导体制冷片的制冷或制热功率，很好地实现了对离心室内温度的优化控制。在实际应用中发现该温度控制模块具有 PID 控制器的过程平缓、精度高的优势，并具有模糊控制鲁棒性好、超调小的优点，能够很好地满足超速离心机对温度控制模块的要求。

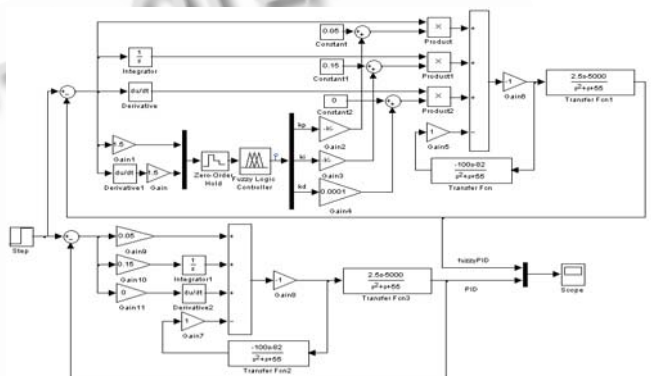


图 5 simulink 仿真结构框图

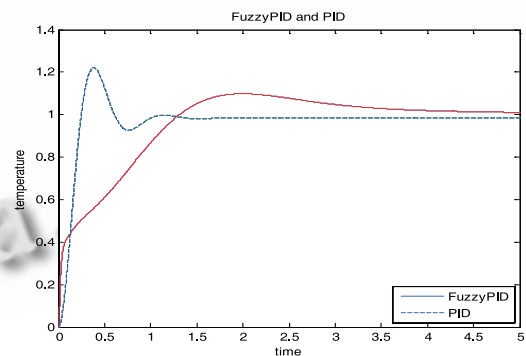


图 6 仿真结果

参考文献

- 1 蔡炳华,闭志强.美国贝克曼 L8-M 超速离心机维修与调试.国外分析仪器,2001,(1):40-43.
- 2 张用伟.房间温度模糊 PID 控制研究.中国科技信息,2010,1(2):143-144.
- 3 谭法成,成宝坤.自适应模糊 PID 在中频弯管机温度控制中的应用.西安工业大学学报,2010,(4):192-195.
- 4 Visioli A. Tuning of PID controllers with Fuzzy Logic. IEE Proc. Control Theory Application, 2001,148(1):1-8.