



杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

控制电机报告

姓 名	学 号	班 级
杨汶	17061733	17060113
李世鹏	17061722	17060113
朱月	17120376	17060113
高帅帅	17120325	17060113
俞沛宏	16194826	16060114
石力玮	17061725	17060113
魏灵通	16061827	

1 BLDCM 控制电路的设计

1.1 霍尔传感器原理

当霍尔传感器通入激励电流后，在磁场的作用下霍尔传感器的两侧产生电势差。当磁场在 z 轴方向的分量为正时，电压为正，输出高电平；同样当磁场在 z 轴方向的分量为负时，电压为负，输出低电平。

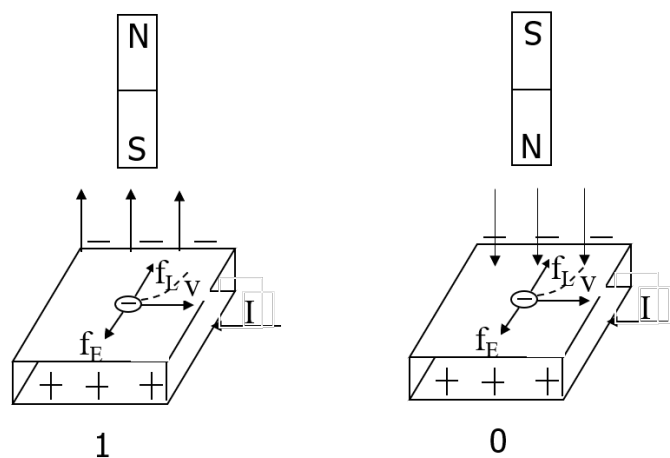


图 1: 霍尔传感器电平输出

1.2 霍尔传感器编码及换向

根据上述原理，我们可以对直流无刷电机中的三个霍尔传感器进行二进制编码， A 、 B 、 C 号分别对应第 0、1、2 位。为了尽可能的使电机的平均转矩变大，一般来说我们应该在图 2 中的 30° 的位置进行换向。但是由于霍尔传感器编码的特殊性，转子在 $(0, 60]$ 范围内霍尔传感器的输出都是 '101'，于是我们无法确定转子在 $(0, 60]$ 的具体位置，因此我们只能在 T_{cb} 所示位置进行换向。另外为了弥补这种换向方式所减少的平均转矩，我们可以延迟一个 ΔT ，使转子尽可能的在我们原先所期望的 30° 位置进行换向。

$$\Delta T = \frac{60}{n} \times \frac{1}{12} \quad (1)$$

式中 n 为转速。

2 模糊 PID 控制模块

PID 控制有着原理简单，使用方便，适应性强的特点，但是具有制时精度低、抗干扰能力差等缺点。模糊自适应 PID 控制是在 PID 算法的基础上，以误差 E 和误差变化 Ec

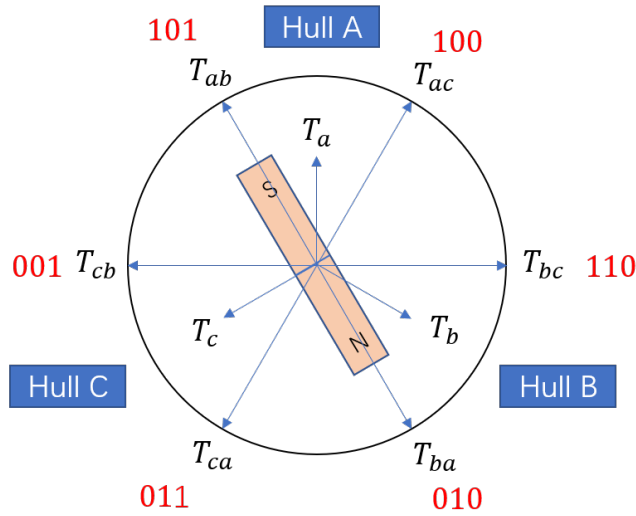


图 2: 不同位置的转子对应的霍尔编码

作为输入，利用模糊规则进行模糊推理，查询模糊矩阵表进行参数调整，来满足不同时刻的 E 和 E_c 对 PID 参数自整定的要求。

2.1 初始 PID 参数的确定

2.1.1 PID 参数对系统的影响

模糊 PID 控制是在 PID 控制的基础上，实时调整 PID 的参数值，因此我们需要调试出一个初始的 PID 参数。

比例控制能迅速产生与误差成正比的调节作用，从而减少稳态误差。但是，比例控制不能消除稳态误差。KP 的加大会引起系统的不稳定，容易产生振荡，使得调节时间延长。相反，若 K_p 太小会使系统动作缓慢，灵敏度降低。在系统稳定的情况下，如果加大 K_p ，可提高控制精度，减小误差。

积分控制主要用于消除静差。 K_i 太小，积分作用强，系统将不稳定； K_i 偏小，振荡次数较多，超调量较大； K_i 太大，积分作用弱，对系统性能的影响减小； K_i 合适时，过渡过程特性比较理想。在系统稳定的情况下， K_i 太大时，消除静差太慢； K_i 太小，系统不稳定。

微分控制可以根据误差变化的速度，提前给出较大的调节作用。微分部分反映了系统变化的趋势，它较比例调节更为及时，所以微分部分具有超前和预测的特点。当 K_d 增大时，超调量减少，动态性能得到改善。但当 K_d 太大时，会引起过大的超调，系统不稳； K_d 太小，调节质量改善不大。

2.1.2 使用临界比例法确定 PID 参数

$Z - N$ 适用于具有自平衡型的被控对象。首先，将控制器设置为比例 (P) 控制器，形成闭环，改变比例系数，使得系统对阶跃输入的响应达到临界振荡状态 (临界稳定)。将这时的比例系数记为 K_c ，振荡周期记为 T_c 。根据齐格勒-尼柯尔斯 (Ziegler - Nichols) 经验式由这两个基准参数得到不同类型控制器的调节参数，如图 3 所示。

控制器 类型	K_p 比例系数	T_i 积分时间	T_d 微分时间	K_i 积分系数	K_d 微分系数
P	$0.5K_c$	---	---	---	---
PD	$0.8K_c$	---	$0.12T_c$	---	$K_p * T_d$
PI	$0.45K_c$	$0.85T_c$	---	K_p/T_i	---
PID	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$0.12T_c$	K_p/T_i	$K_p * T_d$

图 3: 临界比例法确定的 PID 控制参数

2.2 模糊控制器的设计

模糊 PID 控制和普通 PID 控制的最大差别就在于模糊控制器的设计，模糊控制器主要由三个模块组成：模糊化，模糊推理，清晰化，其核心是模糊规则表的建立，其中 K_p 规则表即如图 4 所示

图 4: K_p 规则表

U	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
NM	PB	PB	PB	PM	PM	ZO	ZO
NS	PB	PM	PM	PS	ZO	NS	NM
E ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NM	NM	NM	NB
PM	ZO	ZO	ZO	NM	NB	NB	NB
PB	ZO	NS	NB	NB	NB	NB	NB

2.3 量化因子的确定

制作好模糊控制器后，我们还需要不断的对 EC 、 E 、 K_p 、 K_i 、 K_d 参数进行调整， EC 、 E 调整规律大致如下：

E 是误差的量化因子， E 越大上升速度越快，超调量增大，总的稳定时间可能会变长。 E 过小时，又使系统上升速率太小，系统调节隋性变大，系统的稳态精度降低。

E_c 是误差变化的量化因子, E_c 越大, 超调越小, 系统响应速度变慢, E_c 对超调的遏制效果十分明显, E_c 增大, 反应变迟钝, 调节时间变短, 超调量增大; E_c 减小, 反应加快, 上升速率小, 调节时间长, 超调量小. 通过仿真还可发现, E_c 过小时, 调节时间就会过长, 严重时系统无法稳定工作。

3 数据结果分析

PID 控制和模糊 PID 控制的结果如图 5 所示。我们发现模糊 PID 控制总体上优于 PID 控制, 无论是其上升速度, 超调量以及稳态精度都是高于 PID 控制的。

图 5: 两种控制对比图

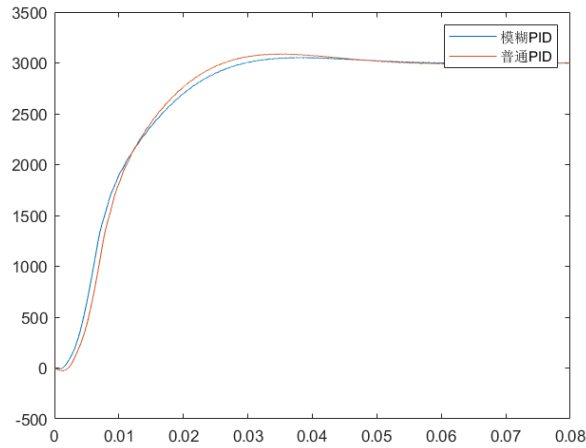


图 6: BLDCM 总线路图

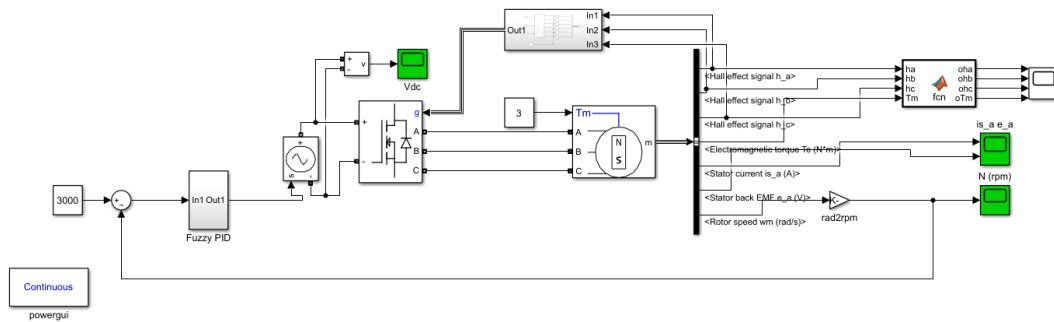


图 7: 控制模块线路图

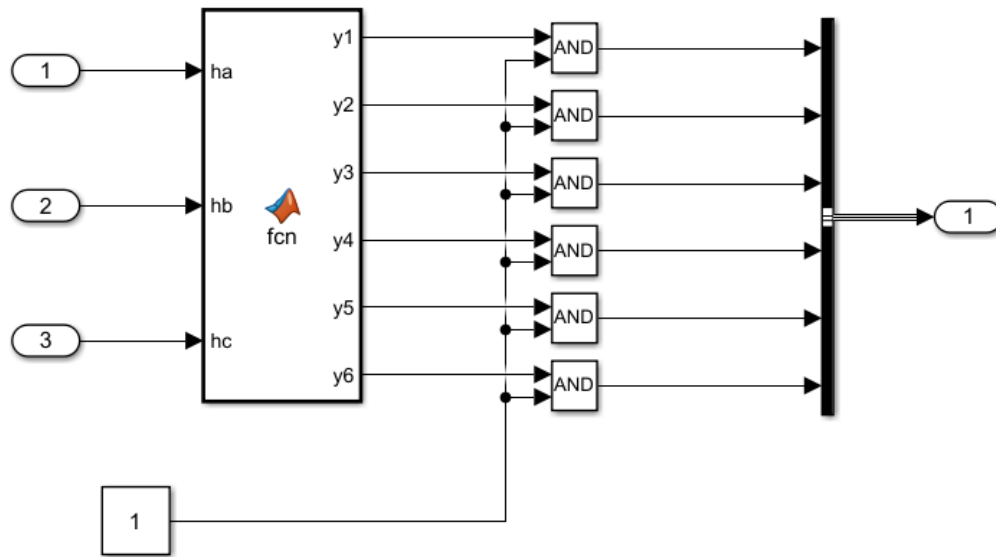


图 8: 模糊 PID 控制线路图

