



Buck型DC-DC变换器 模糊PID控制器设计与仿真

洪 翠

福州大学电气学院

Email: hongcui@fzu.edu.cn





PID控制是电力电子变换器系统常用的控制方法。

传统PID控制在抗扰动等方面以及动态响应速度方面仍存在不尽如人意之处。

为提高开关电源动态响应及控制精度，出现了一些改进的PID控制方法，这其中就包括与智能控制相结合的智能PID控制。



本文中将模糊控制器与常规PID控制相结合，设计了一种用于Buck变换器的模糊PID控制器，采用Matlab/Simulink将该控制系统与传统PID控制的控制特性进行了对比仿真。

仿真结果表明该模糊PID控制器具有较优的控制特性。



1. 直流功率变换器控制系统

DC-DC变换器是构建许多其它类型电能变换器的基本组成部分。为有效地实现电能变换，保证系统安全稳定运行，需将DC-DC变换器与其它功能模块配合构成直流功率变换器控制系统：

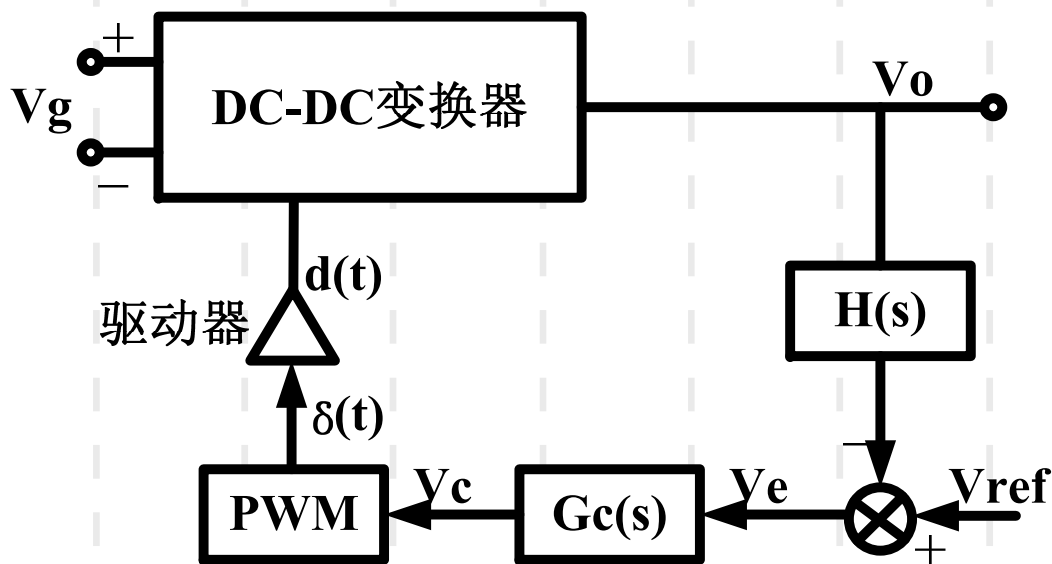
构成：

变换器电路；

PWM调制器；

功率器件驱动器；

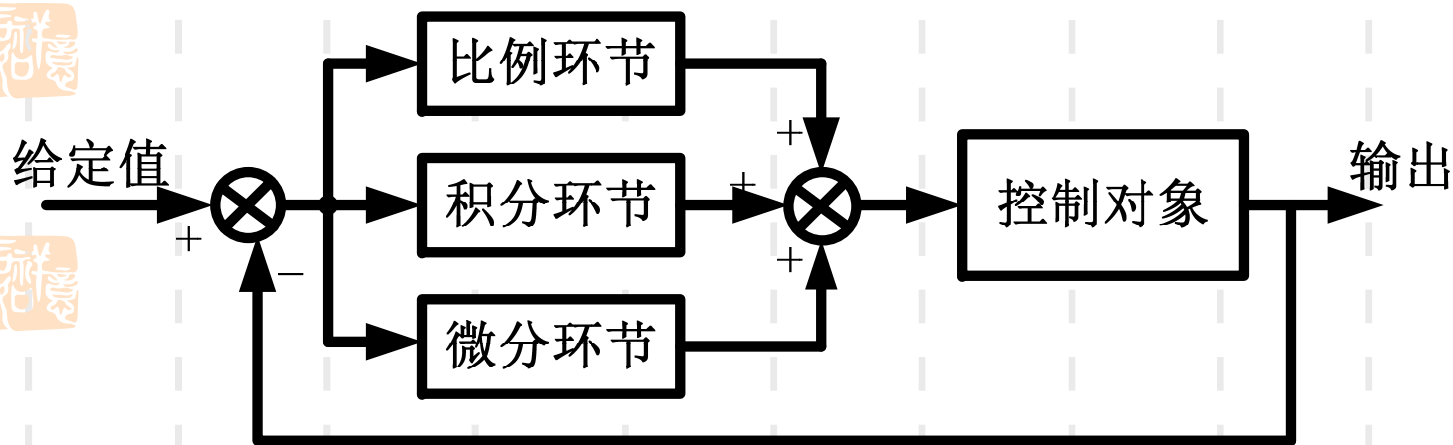
反馈控制单元。





2. 开关变换器的PID控制

按照控制对象输出量偏差的比例(P)、积分(I)、微分(D)进行控制的PID控制技术是最早发展起来的应用经典控制理论的控制策略之一，系统框图：





PID误差调节控制技术具有控制系统设计简单、适应性较好的优点。

但其输出反馈控制的目的是基于目标误差而不是基于模型的控制，因此动态响应较慢、控制效果较差，无法实现优化控制，亦无法满足开关电源日益提高动态响应和控制精度的要求。

不过，因其经典PID控制在控制领域据有不可取代的地位，一些新的控制方法亦多是基于PID实现或是与PID结合。



PID控制器参数整定要求

- 当偏差 e 较大时, K_P 应取较大些, K_D 应取较小些, 并 $K_I = 0$, 限制积分作用。
- 当偏差 e 中等大小时, K_P 应取小些以使系统响应具有较小的超调。值得注意的是, 这时的 K_I 、 K_D 参数取值对系统影响较大, 要大小适中, 以保证系统的响应速度。
- 当偏差 e 较小时, 应增加 K_P 和减小 K_I 取值。同时为了避免系统在设定值附近震荡, 当偏差变化量 ec 较小时, K_D 可取值大些; 当偏差变化量 ec 较大时, K_D 应取值小些。



PID控制的参数整定，必须考虑到在
不同时刻三个参数所起作用以及它们相
互之间的互联关系！





3. Buck变换器的模糊PID控制

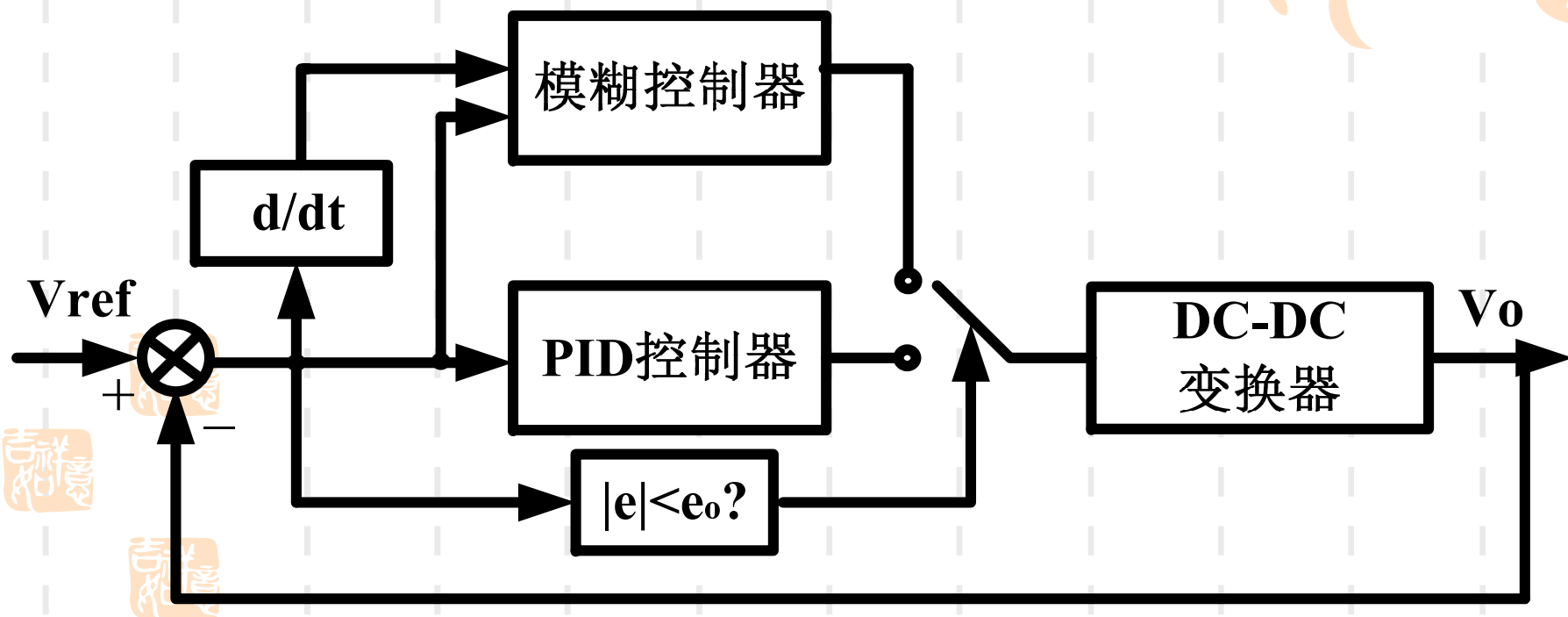
DC-DC变换器基于输出电压的偏差与偏差变化率实现模糊PID控制有**两种方式**：

常规PID控制器+模糊控制器（切换）；

模糊PID控制器（利用模糊推理在线调整PID控制器参数）；



DC-DC变换器模糊PID控制



据输出电压偏差切换控制转换开关：偏差较大时用模糊控制；偏差较小时用PID控制；

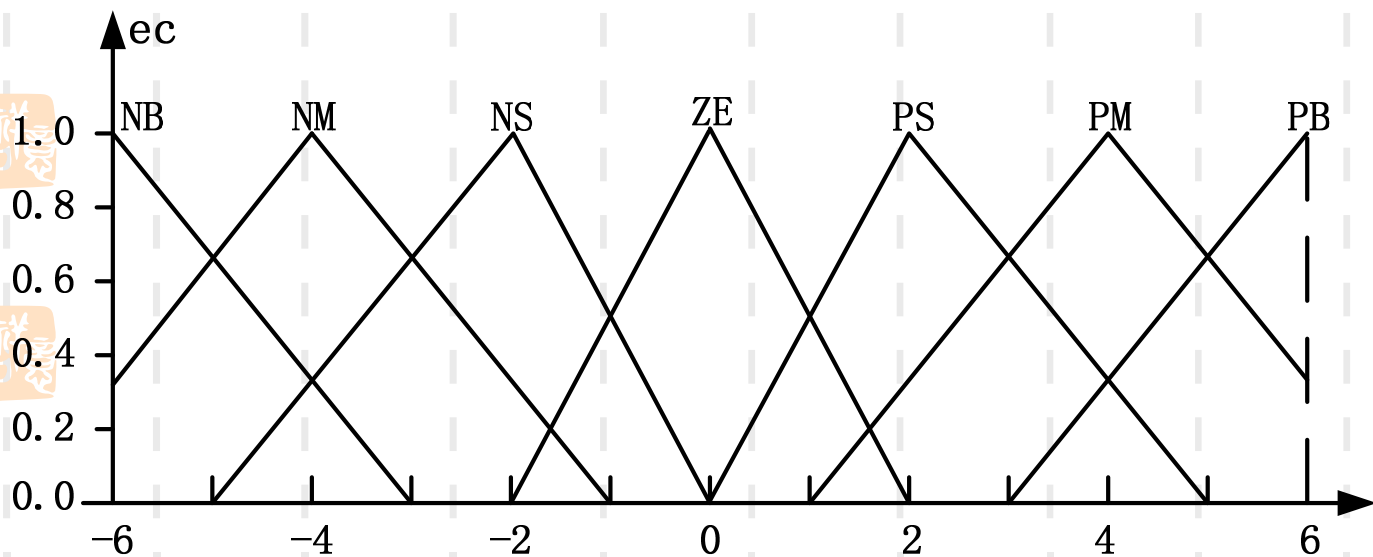
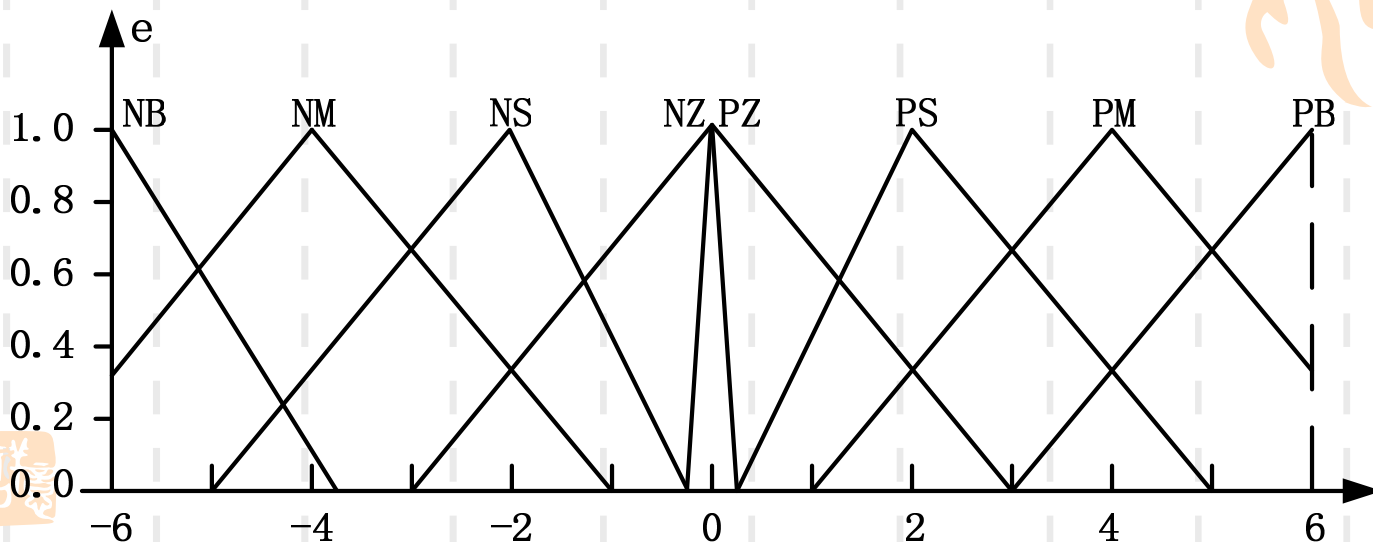


模糊控制器设计

- 确定控制器的输入输出变量，将其转换为语言变量（变量模糊化）；
- 根据经验以及控制原则确定模糊推理规则；
- 根据输入依模糊控制规则采用Mamdani或其它推理方法推理获得控制器输出变量的语言值；
- 输出反模糊化；

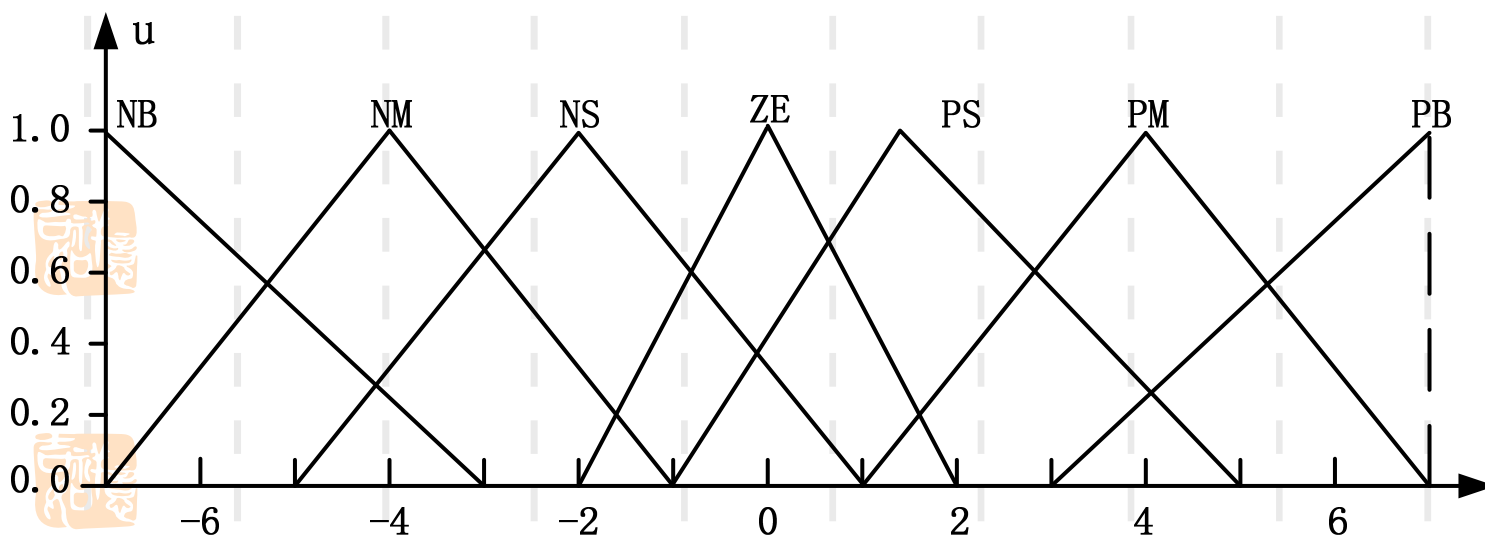


输入变量语言值及其隶属函数



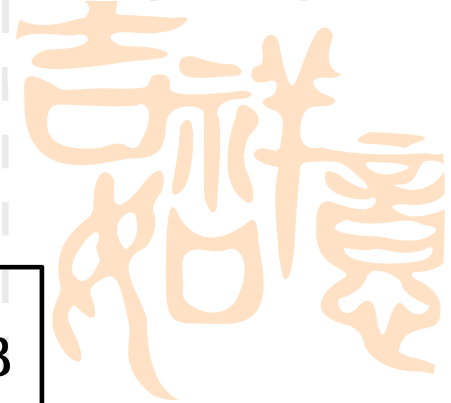


输出变量语言值及其隶属函数





模糊控制规则



u \ ec e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	ZE
NM	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	ZE
NS	PM	PM	PM	PM	ZE	NS	NS
NZ	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PZ	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NM	NM	NM	NM
PM	ZE	ZE	NM	NB	NB	NB	NB
PB	ZE	ZE	NM	NB	NB	NB	NB

规则形式: IF $\times \times$ & $\times \times$, THEN $\times \times$;





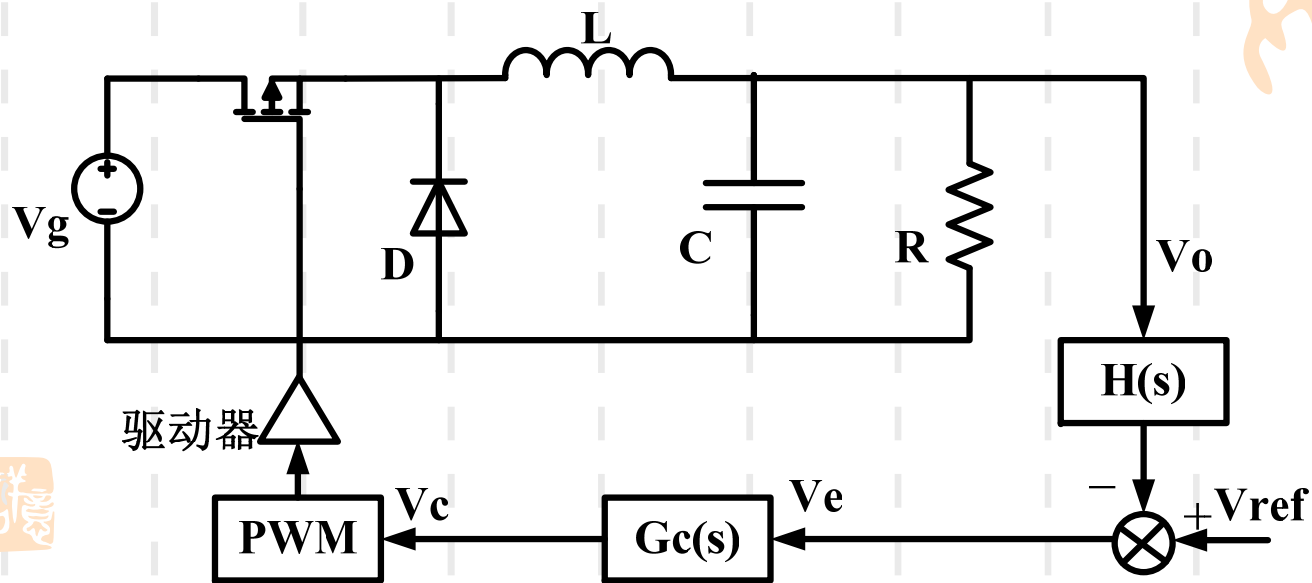
输出反模糊化

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}$$

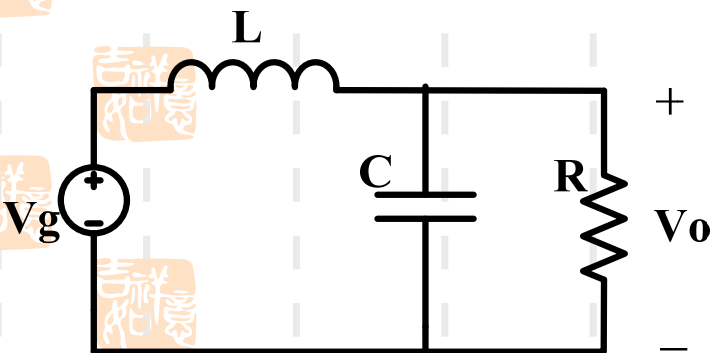




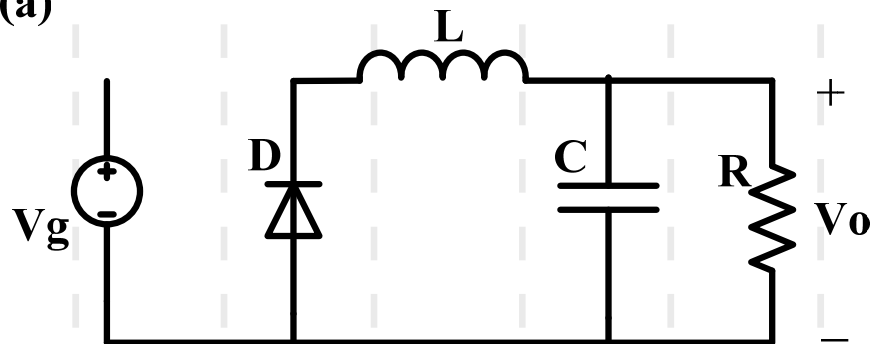
4. 仿真试验



(a)



(b)



(c)



电路参数:

$$f_s = 20kHz \quad R = 50\Omega \quad L = 10mH$$

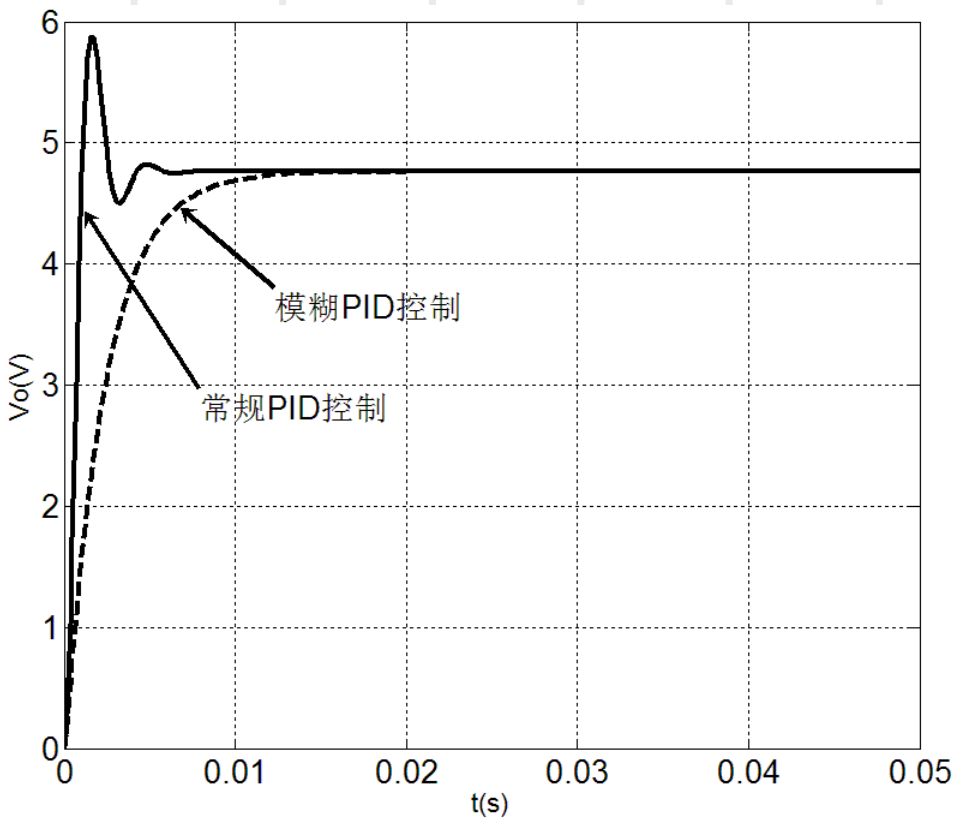
$$C = 500\mu F \quad V_g = 10V \quad V_o = 5V$$

仿真控制对象:

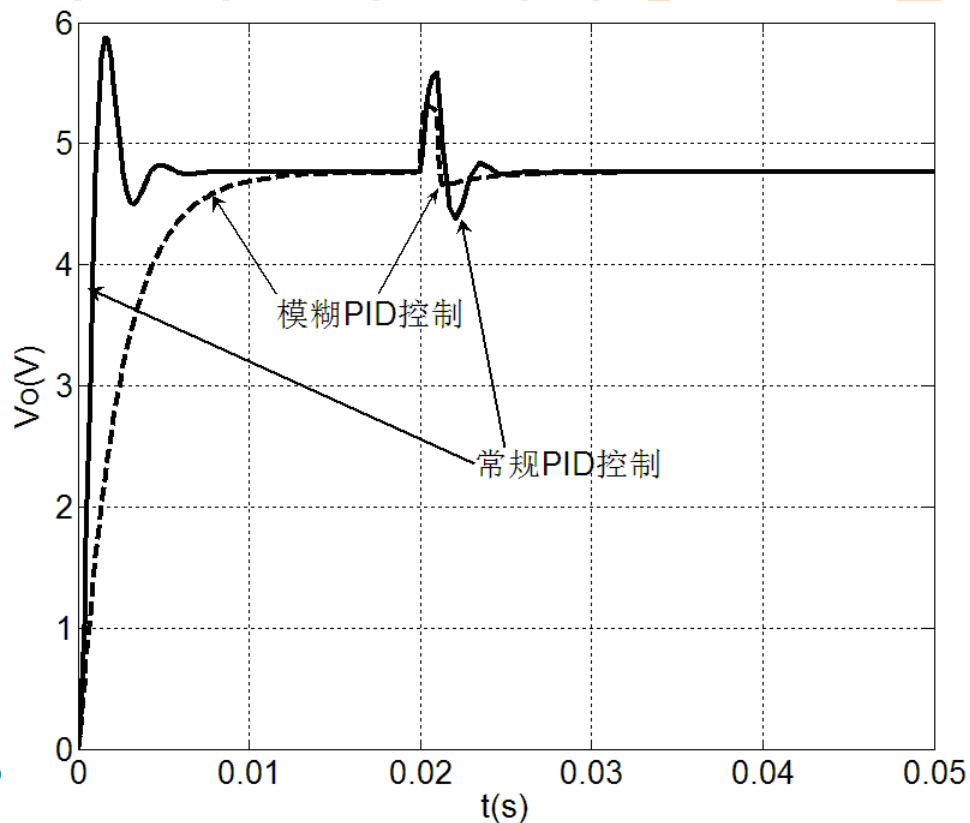
$$G(s) = \frac{10}{s^2 5e^{-6} + s 2e^{-4} + 1}$$



仿真输出波形



(阶跃响应)



(扰动特性)





小 结



- ✓ 所用模糊PID控制在超调量以及扰动抵御性方面均比常规PID控制具有更好的特性;
- ✓ 人工智能技术与经典的PID控制相结合的控制方法对于控制对象模型精确性的要求并不是很高, 因此对于非线性系统的控制具有较好的应用前景;
- ✓ 为进一步提高控制特性, 还可以考虑增加模糊控制器维数, 引入其它的输入控制量, 或是设计具有多输出的模糊控制器以对应调整不同的控制量;





吉祥如意

谢谢！

