

模糊 PI 控制技术在逆变输出电压调节中的应用^①

周胜灵¹, 丁珠玉¹, 孙耕², 樊利³

1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400716; 2. 西南大学 软件学院, 重庆 400715;
3. 西南大学 电子信息工程学院, 重庆 400715

摘要: 以逆变电源为研究对象, 提出了一种模糊-PI 控制器的设计方案. 该控制器综合了模糊和 PI 两种控制的优点, 克服系统参数摄动或外界扰动对系统造成的影响, 提高系统的动态特性和稳态特性, 使系统的鲁棒性和抗干扰性均得到明显改善. 结果表明, 该控制方案使得逆变电源正弦电压输出具有良好的稳态和动态性能.

关键词: 逆变电源; 模糊-PI 控制; 稳态输出特性

中图分类号: TP273+.4

文献标识码: A

近年来, 逆变电源作为直流转交流的功率变换装置在许多电能调节系统中得到广泛的应用. 电力电子逆变系统是一个非线性时变的多变量系统, 传统的数字 PID 控制器已经不能达到理想的控制效果, 输出电压波形畸变较为严重. 因此一些新的控制策略被应用于逆变电源, 如多环反馈控制、无差拍控制、重复控制、滑模变结构控制、模糊控制等, 使逆变电源的性能不断提高, 维护更加方便^[1-2].

模糊控制是一种典型的智能控制方法, 它的一大特点就是在设计过程中不需要被控对象的精确数学模型. 模糊控制技术是以模糊集合理论、模糊语言变量及模糊逻辑推理为基础的一种计算机数字控制, 是一种非线性智能控制. 这种控制方式具有较强的鲁棒性和自适应能力, 能够克服系统非线性因素的影响. 模糊控制器实质上可看成具有自调节的 PD 控制器, 在稳态时必然会有静差. 在实验中采用了模糊-PI 自适应控制方法改善了模糊控制的性能, 综合了模糊控制和 PI 控制的优点, 具有较高的精度和鲁棒性^[3-5].

1 模糊-PI 控制器设计

数字 PID 控制对于被控对象参数变换的适应性是有限的, 当逆变系统参数发生变化或者受到各种扰动的作用, 将使系统的控制性能变坏. 为了减少数字 PID 参数整定的麻烦, 克服负载变化或者扰动作用造成的系统性能降低, 输出电压采用闭环控制的方式, 将模糊控制与 PI 控制结合, 利用模糊推理对 PI 参数进行自调整, 实现逆变系统的最佳电压输出. 复合控制框图如图 1 所示, 其中 r_u 为电压基准, u_0 为逆变输出电压值.

常规模糊-PID 控制器的控制作用可以用位置式来描述:

$$u(k) = u(k-1) + (k_p + k_i T)e(k) - k_p e(k-1) + k_D \Delta e(k) \quad (1)$$

令

$$A = (K_p + K_i T), B = K_p, \Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

其中: A, B 是与比例系数、积分系、微分系数、采样周期相关的系数, $e(k)$ 为系统偏差, $De(k)$ 为系统偏差

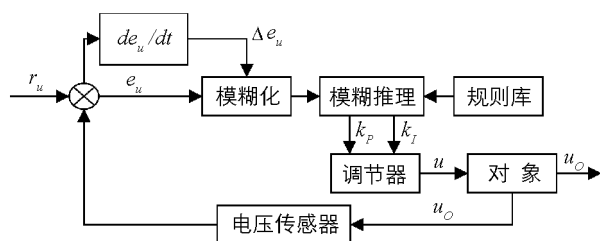


图 1 模糊-PI 控制原理图

① 收稿日期: 2007-11-05

基金项目: “全国高等学校教学研究中心研究计划立项课题”资助项目(BIA010092-D03).

作者简介: 周胜灵(1981-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 助教, 硕士研究生, 主要从事自动控制理论与控制工程的研究.

通讯作者: 丁珠玉.

变化率. 则式(4.1)化简为

$$u(k) = u(k-1) + Ae(k) - Be(k-1) \quad (2)$$

模糊-PI 控制是在 PID 控制算法基础上, 首先通过系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等各方面找出 PID 参数, 分析出 k_p , k_i 对系统输出特性的影响, 建立 k_p , k_i 两个参数与误差 E_u 和误差变化率 ΔE_u 之间的模糊关系, 在系统中不断检测 E_u 、 ΔE_u , 再根据模糊规则进行模糊推理, 查询模糊矩阵表对参数 k_p , k_i 进行在线调整, 以满足不同 E_u 、 ΔE_u 时对 PI 控制参数的整定要求, 从而使被控对象具有良好的动态性能.

模糊控制器的输入为误差 e_u 和误差变化率 Δe_u , 输出为 k_p , k_i , 模糊控制器的控制规则是专家知识或现场操作人员长期经验的总结. 而 PI 控制的模糊控制规则是根据经验、系统仿真及系统反复试验总结后所得. 针对 k_p , k_i 的模糊规则见表 1 所示.

表 1 模糊控制规则表

ΔE	E													
	NB		NM		NS		O		PS		PM		PB	
	k_p, k_i													
NB	PB	NB	PB	NB	PB	NM	PB	NM	PM	NS	O	O	O	O
NM	PB	NB	PB	NB	PB	NM	PB	NS	PM	NS	O	O	O	O
NS	PM	NB	PM	NM	PM	NS	PM	NS	O	O	NS	PS	NS	PS
NO	PM	NM	PM	NM	PS	NS	O	O	NS	PS	NM	PM	NM	PM
PO	PM	NM	PM	NM	PS	NS	O	O	NS	PS	NM	PM	NM	PM
PS	PS	NM	PS	NS	O	O	NM	PS	NM	PS	NM	PM	NM	PB
PM	O	O	O	O	NM	PS	NB	PS	NB	PM	NB	PB	NB	PB
PB	O	O	O	O	NM	PS	NB	PM	NB	PM	NB	PB	NB	PB

2 输出电压的有效值控制

逆变系统是有静差的系统. 若电压调节器的比例系数 k_p 增大, 可以减小系统的稳态误差, 但是会导致系统的稳定性下降^[6]. 在设计中模糊-PI 控制方式有效地解决了这对动静矛盾, 当负载或输入有波动时, 可以保证在所要求的负载条件下, 逆变器输出电压有效值稳定在一定精度范围内. 具体的实现过程是: 采样逆变器的输出电压, 采样电压通过调理电路转换为 0~5V 之间的电压. 将该电压值送至 LPC938 的 A/D 转换通道进行模数转换, A/D 转换采用固定通道连续转换模式, 连续 8 次采样, 读取该模数转换值, 求其平方和, 再与以前各点的平方和累加. 由于有效值调节较慢, 所以实际的计算过程是求十个周期的有效值平方和的平均值. 即:

$$U^2 = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^8 U_{ij}^2}{10} \quad (3)$$

式中: U_{ij} 为逆变器输出电压采样值, U 为 10 个周期有效值的平均值. 将计算得到的输出电压有效值与 220 V 所对应的有效值进行比较, 若超出了输出电压有效值所规定的范围, 则进行有效值调节, 也就是改变基准信号的幅值, 从而改变逆变器输出电压的幅值. 实验程序数据是以文件的形式输入, 利用 C 语言编制了计算模糊控制表的通用化程序. 在设计过程中首先根据系统的稳定性和灵敏度要求, 选择合适的隶属度函数并通过实验确定系统在不同负载条件下的误差 E , 误差变化量 ΔE 范围, 分别建立模糊化判定表, 以误差 E 为例建立模糊化判定表如表 2 所示. 其次建立模糊变量赋值表, 本系统中的误差 E , 模糊变量的赋值表如表 3 所示. 在进行输出电压控制时不必再按 PID 调节器进行调节, 而是通过程序预先离线计算好控制量 u , 制成查询表将其存储于存储器中供在线控制时使用^[7-8]. 在控制时可采样得到实际误差 E , 根据模糊化后的误差 E , 误差变化量 ΔE 从表中查询相应的控制量进行实时控制.

表 2 误差 E 的模糊化判定表

$E(V)$	≤ -10	-8.5	-6.9	-5.0	-3.1	-1.7	0	0	1.7	3.3	5.0	6.3	8.1	≥ 10
模糊化等级	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6

表 3 误差 E 模糊变量的赋值表

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0	+0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.8	1.0	0.5	0.1	0	0
PO	0	0	0	0	0	0	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.1	0.5	1.0	0.8	0.3	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3 实验结果及分析

根据以上分析, 实验中针对模糊-PI 控制的逆变电源系统进行了一系列的仿真、实验研究. 逆变电源额定输出电压 220 V, 输出频率 50 Hz, 载波频率 20 kHz; 输出功率 3 KW. 在仿真过程中, 采用了功能强大的 MATLAB7.1 的 Simulink 仿真工具箱中的 SimPowerSystems 工具箱的 powergui 模块, 其中的 FFT Analysis 选项可对输出电压波形进行分析, 并能给出输出波形的 THD 值, 使用起来非常方便. 图 2、图 3 分别给出了逆变电源在不同控制方式下, 接非线性负载时输出电压波形及 THD 值. 图 4、图 5 分别给出了逆变电源在不同控制方式下, 接非线性负载时实际输出电压波形. 由实验及仿真结果可以看出: 在使用 PID 控制器时, 输出电压能较好地跟踪给定输入电压, 稳态误差较小, 但输出电压的总谐波畸变率还比较大, 采用模糊-PI 控制器时, 输出电压的总波形即便率有明显降低, 波形得到进一步改善, 系统鲁棒性更强. 从图形结果可以看出, 模糊-PI 控制可以使系统得到稳定的电压输出, 在各种负载情况下, 电压总谐波畸变率较低, 系统鲁棒性增强.

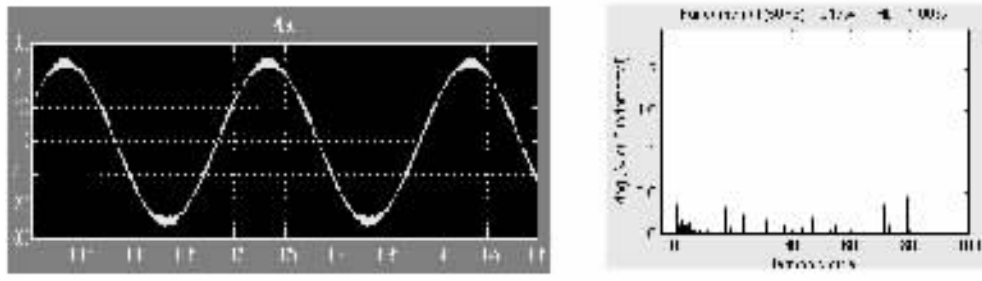


图 2 非线性负载时, PID 控制逆变电源输出电压波形及 THD 值

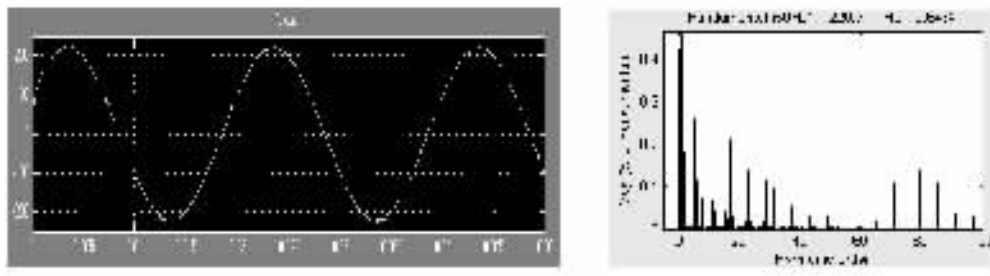


图 3 非线性负载时, 模糊-PI 控制逆变电源输出电压波形及 THD 值

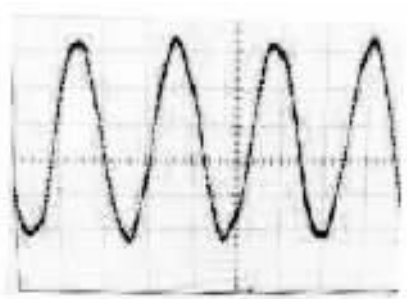


图 4 非线性负载, PID 控制下输出电压波形

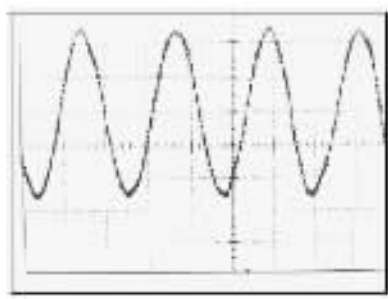


图 5 非线性负载, 模糊-PI 控制下输出电压波形

4 结 论

针对逆变电源输出电压设计出一种基于模糊控制和 PID 控制的新型控制器. 由仿真结果可以看出, 该方案综合了模糊控制和 PID 控制的优点, 克服了它们各自的不足, 不仅对线性负载有较低的 THD 值, 对非线性负载的 THD 值也能满足系统要求. 系统具有较好的动、静态特性, 更好地实现了逆变电源的控制要求.

参考文献:

- [1] Tzou Yingyu, Ou Rongshayang, Jung Shihliang. High-performance Programemable AC Power Source with Low Harmonic Distortion Using DSP-based Repetitive Control Technique [J]. IEEE Transactions on power Electronics, 1997, 12(4): 715 - 725.
- [2] 熊蕊, 朱秋花, 王国锋. SPWM 逆变电源输出电压波形重复控制技术的研究 [J]. 电力电子技术, 2001, 2(4): 45 - 47.
- [3] Tai Tsang Li, Chen Jianshiang. UPS Inverter Design Using Discrete-time Sliding-mode Control Scheme [J]. IEEE transactions on Industrial Electronics. 2002, 49(1): 67 - 75.
- [4] T zou Yingyu, Ho Liehsun, Ou Rongshyang. Fuzzy Control of a closed-loop Regulated PWM Inverter under large Load Variations [J]. IEEE IECON Proceedings, 1993: 267 - 272.
- [5] 邓辉文, 胡伟平, 王艺. 基于神经网络辨识的自适应 PID 控制器 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2004, 29(1): 41 - 44.
- [6] 郭卫农, 段善旭, 康勇, 等. 电压型逆变器的无差拍控制技术研究 [J]. 华中理工大学学报, 2000, 28(6): 30 - 33.
- [7] 张恩勤, 施颂椒. 模糊控制系统近年来的研究与发展 [J]. 控制理论与应用, 2001, 2(118): 7 - 10.
- [8] 章正斌, 吴汝善. 模糊控制工程 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1995: 150 - 180.

Application of Fuzzy-PI Control In the Voltage Regulator For Inverter

ZHOU Sheng-ling, DING Zhu-yu, SUN Geng, FAN Li

1. School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. School of Software, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. School of Electronic and Information Engineering, Southwest University, Chongqing400715, China

Abstract: In this paper, a novel control strategy of fuzzy-PI control is presented for single-phase SPWM inverter. The method combines the advantages of the fuzzy and PI which can adapt to the variations of the plant parameters, improves the dynamic response and the accuracy of the steady-state. Compared with PID method, the regulator possesses a better adaptability and robustness. The simulation and test results indicate that the system achieves good dynamic and static performance.

Key words: inverter; fuzzy-PI; steady output characteristics

责任编辑 汤振金