

基于自适应 PID 控制高频手术器的应用研究

黄雪兵^{1,2}, 孔令成², 王秀明³

(1. 中国科技大学 自动化系 安徽 合肥 230027; 2. 常州先进制造技术研究所 江苏 常州 213164;
3. 淮河水利委员会通信总站 安徽 蚌埠 233001)

摘要: 提出一种基于自适应 PID 的高频手术器控制系统。在高频手术器系统切割和凝血过程中, 须及时根据情况改变相应的功率输出给定值, 传统的 PID 控制方法的动态响应速度和超调不能够满足高频手术器系统的需要。因此文章提出了自适应改变系统 PID 偏差大小的控制算法, 实验结果表明该控制算法动态响应速度快, 控制效果较好。

关键词: 自适应控制; PID 控制; 高频手术器系统; 功率输出控制

中图分类号: TP273+.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-2394(2012)02-0023-02

Application Research on Self-adaptive PID Control Based on Electrosurgical-generator

HUANG Xue-bing^{1,2}, KONG Ling-cheng², WANG Xiu-ming³

(1. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

2. Institute of Advanced Manufacturing Technology, Changzhou 213164, China;

3. Center Communication Station of Huaihe River Water Conservancy Committee, Bengbu 233001, China)

Abstract: A kind of Electrosurgical-generator system that based on self-adaptive PID controller is introduced. During the cutting and blood-coagulation in the Electrosurgical-generator system, power output must be changed according to the corresponding given value. And the dynamic response and overshoot of the traditional PID control methods can not meet the need of Electrosurgical-generator system. Therefore, this paper proposes a algorithm which adaptively changes the deviation of the PID controller. The experimental results show that the control algorithm improves dynamic response speed and has preferable effects.

Key words: self-adaptive control; PID control; electrosurgical generator; power output control

0 引言

随着计算机技术的普及、应用和发展, 目前, 高性能的单片机广泛应用在高频手术器的整机控制中, 实现了高频手术器系统自动调节、各种安全指标的检测, 以及程序化控制和故障的检测及指示, 大大提高了设备本身的安全性和可靠性, 简化了医生的操作过程。

在高频手术器系统中, 具有 PID 调节自适应切割功能的手术器与以往其他手术器相比, 在进行负载多变部位地切割时, 能体现出良好的手术效果, 即不会因阻值过大而影响手术器的进给速度或切割不动, 也不会因阻值太小而出现过热现象。

1 高频手术器系统 PID 控制硬件设计

自适应 PID 的基本控制回路是在单极输出端利用

互感线圈来检测输出电流的大小, 信号经整流隔离后输入到单片机的 A/D 口, 得到当前的实际工作电流。然后再根据当前工作功率给定的额定电流值和检测到的实际工作值的偏差来控制 HVDC 和脉冲信号输出。实现控制的硬件框图如图 1 所示。

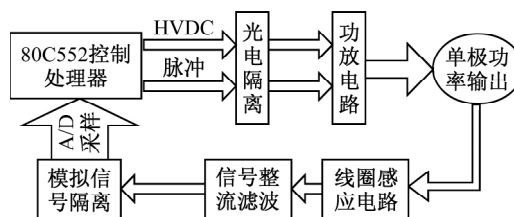


图 1 自适应切割控制的硬件框图

2 高频手术器系统的 PID 调节器

PID 调节器作为一种根据偏差进行控制的调节

收稿日期: 2011-11

基金项目: 2009 年江苏省产学研联合创新资金计划资助项目(BY2009120)

作者简介: 黄雪兵(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为检测技术与自动化装置。

器 因此在控制过程中系统需要不断地计算出当前的偏差值。由于系统是基于高频技术,外部环境、电网电压等都会对系统造成一定的干扰,因而在本系统中使用的是四点中心差分法进行滤波。通过上述方法就可得到本系统的增量式 PID 控制规律的数值公式如下:

$$\Delta u_i = K \left[\frac{1}{6} (e_i + 3e_{i-1} - 3e_{i-2} - e_{i-3}) + \frac{T}{T_i} e_i + \frac{T_d}{6T} (e_i + 2e_{i-1} - 6e_{i-2} + 2e_{i-3} + e_{i-4}) \right]$$

式中: K 作为系统整体的比例系数,调节它可影响系统的响应速度;合适的积分时间常数 T_i 可以消除静差,减少超调,提高系统的稳定性;改变微分时间常数 T_d 可以加快系统的动作速度,减小调整时间,克服振荡,改善系统的动态性能。在本控制系统中若 T 越小,反馈量 c 和给定输入量 u 的改变可以迅速地通过采样得到响应,但是若两次采样的数值之差可能会分辨不出来或差距特别小,这样调节作用将会降低,当偏差比较大时,容易引起振荡;而且单片机的精度和资源有限,采样周期也不允许设置的太小。因此在本系统中按照经验选择 $T = 50 \text{ ms}$ 。

3 自适应 PID 算法的实现

控制变量经常因执行元件机械或物理性能的约束而限制在有限的范围内,如果控制量 u 在该范围内,那么控制可以按预期的结果进行,如果控制量超出了这个范围,控制将会不起作用,这种现象便是饱和效应。在增量式算法中,当给定值发生跃变时,由算法的比例和微分部分计算出的控制增量会比较大,这时便会出现饱和现象。因此在本系统中采用上下限法,当根据 PID 调节器算出来的控制量超出了限制范围时,控制量实际上只能取其边界值(即 $u = u_{\max}$ 或 $u = u_{\min}$) ,这样虽然控制效果要受到影响,但不会引起一些致命问题的发生。

在高频手术器系统中,若在保证患者不会因为输出功率太小而造成止血效果欠佳,或者输出功率过大而造成深度灼伤,就必须要求系统的动态响应速度非常快,而且超调也应该尽量小。因而在本文中提出了 PID 的改进算法,即自适应 PID 控制算法。图 2 即为自适应 PID 程序流程图。

其思想是:采用动态改变比例项符号的方法来加速动态响应的过程。在增量式 PID 算式中,比例项 $e_i - e_{i-1}$ 和积分项 $e_i T/T_i$ 的符号有如下的关系:如果被控量继续偏离给定量,则这两项符号相同,而当被控量向给定量方向变化时,这两项符号相反。通过这一性质,可以动态地改变比例项与积分项的符号及大小,从

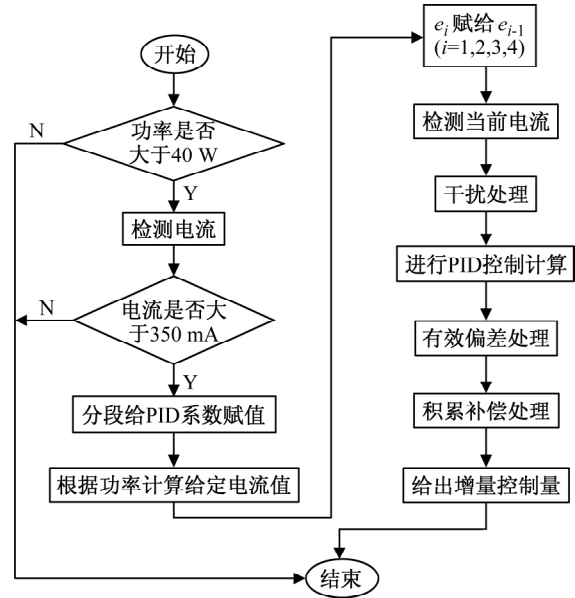


图2 自适应 PID 算法流程图

而加快系统的动态响应过程。主要的实现方法是:在系统中人为地选择一个偏差范围 δ ,当偏差 $|e_i| < \delta$ 时,说明被控量很接近给定值,这时就可以使用常规 PID 调节;当 $|e_i| > \delta$ 时,则不管比例作用 $e_i - e_{i-1}$ 的符号为正为负,均使它向着有利于接近给定值的方向调整,即取比例项的符号和积分项一致,取其值为 $|e_i - e_{i-1}|$,利用这样的修改算法,可以有效地加快控制的动态过程,这一算法在给定值或负载发生突变时调节非常有效。

4 PID 参数的整定

在高频手术器系统模型中,由于没有精确的数学模型,故而使用 PID 参数整定的理论计算,其结果会存在很大的误差,因此本系统的参数是由实验来确定的。PID 调节器有三个参数 K 、 T_i 和 T_d 。根据这些参数对系统的影响特性,并借助一些传统经验,采用如下的凑试方法。(1) 首先设定给定功率为 100 W,整定系统的比例部分,从小到大调整 K 的大小,直至得到响应快且超调小的响应曲线。通过实验暂时确定 K 的值为 22;(2) 调整积分环节时,为使 PID 算式整体计算结果不会有太大的变化,首先将比例系数缩小为原来的 0.8 倍左右,即取 $K = 18$;然后从大到小调整积分时间 T_i ,在保持比较好的系统动态性能的情况下,争取能够消除系统静差。经反复调试,取积分时间 $T_i = 30 \text{ ms}$ 。(3) 由于该系统要求有比较快的动态性能,加入微分环节来加快系统的动态响应速度。从小到大调整微分时间,最后确定微分时间为 $T_d = 50 \text{ ms}$,调整积分时间为 $T_i = 25 \text{ ms}$,调整比例系数为 $K = 20$ 。

(下转第 27 页)

传感器校验仪整体检定的方法,由于小信号电流互感器校验设备的测量原理与传统的测试手段不同,因此不能沿用传统互感器校验仪的检定方法对小信号电流互感器校验设备进行检定,采用间接比对的方法更为简便合理。

3.1 主要技术指标的确定

(1) 根据目前在用小信号电流互感器校验设备的主要技术指标综合确定考核指标如下。

测量变比范围: 5 ~ 25000 A/5 A、5 ~ 5000 A/1 A

精度: 0.1 级

二次负荷: 1 ~ 100 VA

(2) 根据《电流互感器检定规程》JJG313 - 2010 中对 0.1S 级电流互感器误差限值的要求,确定小信号电流互感器校验设备具体误差限值如表 1 所示。

表 1 0.1S 级小信号电流互感器校验设备误差限值

等级	比差值					角差值						
	倍率 因数	额定电流下的百分数值					倍率 因数	额定电流下的百分数值				
		1	5	20	100	120		1	5	20	100	120
0.1S	±%	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	±(′)	15	8	5	5	5

由于现场计量用安装式电流互感器主要以 0.2S 级为主,综合 0.1 级电流互感器误差限值,确定出 0.1S 级的误差限制作为小信号电流互感器校验设备的考核误差限值,有其合理之处。

样本 CT 的选择: 二次电流为 5 A 时,样本 CT 的一次电流应大于或等于 10000 A 为宜;二次电流为 1 A 时,样本 CT 的一次电流应大于或等于 2000 A 为宜;等级为 0.2S 及以上级为宜。

《电流互感器检定规程》JJG313 - 2010 要求,应高出两个等级为标准,所选取标准 CT 的等级应该为 0.02 级或更高,其实际误差不应超过小信号电流互感器校验设备误差限值的 1/5。

3.2 检定(间接比对)方法

根据《电流互感器检定规程》JJG313 - 2010 中对电流互感器检定装置的具体要求,提出如下实验室校验方法:采用传统的标准 CT 测试法和采用小信号电流互感器校验设备对被测样本 CT 做测试,然后对其测数据进行比对,计算小信号电流互感器校验设备的测量误差,并与其技术指标进行比对,确定其是否合格,具体如下。

采用传统的标准 CT 测试法检定样本 CT 误差为:比差 f_s ,角差 δ_s ;

小信号电流互感器校验设备检定样本 CT 误差为:比差 f_x ,角差 δ_x ;

计算差值: $|f_s - f_x|$ 和 $|\delta_s - \delta_x|$

以上差值小于表 1 中额定电流下百分数值对应的各项误差限值的绝对值时,判定小信号电流互感器校验设备为合格,超出误差限值的绝对值时,判定为不合格。

4 结束语

通过此项目地实施,对于高压电流互感器小信号校验设备的实际应用,进行了比较深入地探讨分析,解决了应用中存在的实际问题,提出了规范性的方法,达到了预期的目标,为提高高压电流互感器现场检定效率、降低劳动强度和安全风险、减少工作成本等方面,开辟了新的方法。

参考文献:

- [1] 国家高电压计量站. JJG313 - 2010 测量用电流互感器[S]. 北京: 中国计量出版社, 2010.
- [2] 国家高电压计量站. JJG1021 - 2007 电力互感器检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2007.
- [3] 陈耀高, 林玉涵, 武坤, 等. 590G - V2 在 GIS 电流互感器误差测试中的运用[J]. 电测与仪表, 2011(1): 26 - 30.

(郁菁编发)

(上接第 24 页)

根据实验,不同功率段需要的参数也不相同,最后确定 PID 调节器的参数: 功率小于 150 W 时, $K = 20$, $T_i = 25$ ms, $T_d = 50$ ms; 功率从 150 ~ 200 W 时, $K = 17$, $T_i = 25$ ms, $T_d = 50$ ms; 功率大于 200 W 时, $K = 15$, $T_i = 25$ ms, $T_d = 25$ ms。经反复实验,并实际切割实验后,确认该组参数的 PID 调节器有满意的调节效果,即: 比较小的超调量、比较小的静差和较快的动态响应速度。

5 结论

在高频手术器控制系统中,使用自适应 PID 控制方法,通过实验进行参数的整定,有效地提高了系统的控制性能,提高了对干扰和参数变化的适应性。总之,自适应 PID 控制算法应用于高频手术器系统,能够达到很好的控制效果,具有超调小、控制精度高、响应速度快等优点,使高频手术器能更好地保障患者的身体健康,减少灼伤等危险。所以本文对高频手术器控制系统地研究和应用具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 徐枫, 虞启琰. 高频电刀控制系统的抗干扰问题[J]. 医疗卫生装备, 2003(11): 22 - 24.
- [2] 段亚辉, 梅涛. 基于 80C552 的高频电刀功率控制系统设计[J]. 仪表技术, 2010(10): 12 - 14.
- [3] 蒋嗣荣. 计算机控制技术[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.

(郁菁编发)