

可变积分时间常数的长时间积分器

王勇¹, 罗家融^{1,2}, 季振山¹, 杜晓英¹, 吴一纯¹, 李实¹

(1. 中国科学院等离子体物理研究所, 安徽合肥 230031; 2. 东华大学理学院, 上海 200051)

摘要:采用可变积分时间常数和扣除积分漂移斜率相结合的方法,设计了一种新型长时间积分器。通过切换积分器积分电阻来改变积分时间常数,提高积分器的信噪比,防止积分输出饱和;利用DSP计算一段时间内积分器的积分漂移斜率,并利用该斜率对原始积分信号进行实时扣除,以达到减小积分漂移的目的。测试结果表明,该方案是一种有效消除积分漂移的长时间积分方法,并能消除改变积分时间常数后对积分漂移带来的不良影响,通过远程控制能方便地根据实验需要改变积分时间常数,且不再需要人工手动调节积分漂移,极大地提高了实验效率,适合于托卡马克装置放电实验中的电磁测量。

关键词:积分器;积分时间常数;漂移;远程控制;数字信号处理

中图分类号:TP368

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2010)03-0368-04

Long Pulse Integrator of Variable Integral Time Constant

WANG Yong¹, LUO Jia-rong^{1,2}, JI Zhen-shan¹,

DU Xiao-ying¹, WU Yi-chun¹, LI Shi¹

(1. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

2. School of Sciences, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: A kind of new long pulse integrator was designed based on the method of variable integral time constant and deducting integral drift by drift slope. The integral time constant can be changed by choosing different integral resistors, in order to improve the signal-to-noise ratio, and avoid output saturation; the slope of integral drift of a certain period of time can be calculated by digital signal processing, which can be used to deduct the drift of original integral signal in real time to reduce the integral drift. The tests show that this kind of long pulse integrator is good at reducing integral drift, which also can eliminate the effects of changing integral time constant. According to experiments, the integral time constant can be changed by remote control and manual adjustment of integral drift is avoided, which can improve the experiment efficiency greatly and can be used for electromagnetic measurement in Tokamak experiment.

Key words: integrator; integral time constant; drift; remote control; digital signal processing

收稿日期:2009-01-14;修回日期:2009-03-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10675128)

作者简介:王勇(1981—),男,江苏常州人,博士研究生,核能科学与工程专业

核聚变研究是当代自然科学中一项具有重大意义的前沿课题,其目的在于通过核聚变反应释放巨大的能量供人类使用,是人类通过高科技开发和利用新能源的一种方式。受控核聚变的研究与实现将对人类文明做出巨大贡献。

在磁约束领域,托卡马克装置被认为是最有可能实现受控核聚变的装置之一^[1]。在托卡马克放电实验过程中,许多电磁测量诊断信号的输出均为该信号的微分量(如等离子体电流和位移的测量等)^[2],欲还原该信号,需使用积分器^[3-4]。而这些信号幅度不一,如果使用固定积分时间常数的积分器,那么,对于较大的输入信号,积分器输出有可能饱和;对于较小的输入信号,积分器输出也较小,不能很好地利用积分器的动态范围。另一方面,随着托卡马克核聚变研究的不断发展,等离子体的放电时间越来越长,积分时间也要求越来越长。因此,能够满足长时间低零漂的积分并能动态调节积分时间常数的积分器将对电磁测量大有帮助。

为解决该问题,提出一种可变积分时间常数的积分器,通过调节积分器的积分电阻或积分电容,改变积分器的积分时间常数,并结合扣除积分漂移斜率的方法来达到减小积分漂移的目的。

1 可变积分时间常数积分器

1.1 可变积分时间常数原理

电磁测量信号的幅度不一致,在 EAST 托卡马克实验中使用 4 种积分时间常数的模拟积分器,分别为 2、20、200 和 600 ms。每路积分器的积分时间常数均固定,实验中即使是同一信号,在不同情况下,其信号幅度也不同。因此,有时需更换适合的积分时间常数积分器,这势必增加工作量。

一般的模拟积分器包括运算放大器、积分电阻和积分电容^[5],通过调节积分器的积分电阻或积分电容,改变积分器的积分时间常数,以此来改变积分器的输出幅度,如图 1 所示。可根据上 1 路积分器输出的情况,切换积分电阻或积分电容,以使积分器的输出幅度不至于太小,提高信噪比,或防止输出饱和而出现错误。一般采用切换电阻的方法,因电阻的阻值范围较大,取值较方便。图 1 中的开关可使用模拟

开关或继电器,控制可通过手动控制或远程控制。为便于管理和提高效率,一般选择远程控制。

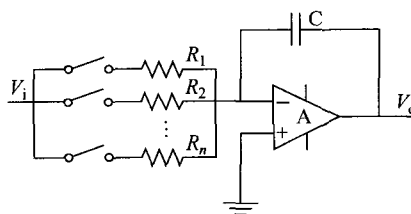


图 1 可变积分时间常数积分器

Fig. 1 Integrator of variable integral time constant

1.2 远程控制设计

设计中采用了 Ethernet 1.3g 开发板为积分器的控制器,它具有以太网接口,通过 I/O 口完成对积分器积分电阻的切换。该板采用 AVR 精简指令集单片机 ATmega128 为 CPU,内置 128 kB 的系统内可编程 Flash 和 4 kB 的 EEPROM,外扩 1 片 32 kB 的 SRAM KM62256,与 IEEE802.3 兼容的 10 MB/s 以太网控制器 RTL8019AS 可实现全双工以太网通信^[6]。EEPROM 可用于保存积分器的积分时间常数,在系统上电或重启后,用于自动恢复掉电前的积分器状态。

控制卡通过 ATmega128 的 I/O 端口控制积分器卡上的模拟开关,控制信号通过光电隔离传输,防止控制卡上的噪声干扰积分器电路。

积分器的积分时间常数控制基于 Nut/OS RTOS 的嵌入式以太网应用设计。应用程序的核心任务是实现以太网通信,并解析指令,实现对后续硬件电路的控制。程序在完成 CPU I/O 端口配置,IP、MAC、Mask 和 Gateway 配置,恢复 CPU 掉电前积分器的积分时间常数后,进入 TCP Socket 服务器端程序,并开始侦听 TCP Socket 客户端引入的连接。TCP 服务器端线程在接收到客户端发出的指令后执行相应的动作。

切换积分电阻通常会对积分漂移有影响,因模拟积分器一般均需调节积分漂移,尤其对于长时间积分,积分漂移对精度的影响尤为重要。切换积分电阻后,先前调好的积分漂移可能会变化(一般情况下会变大)。对短时间积

分,短时间内积分漂移较小,可忽略;对长时间积分,如上千秒的时间积分,积分漂移将会变得很大,需采用其它办法来消除积分漂移,如扣除积分漂移斜率的方法,即每次积分时通过程序根据积分漂移斜率来实时扣除积分漂移,不需手动调节。

2 长时间积分器

2.1 扣除积分漂移斜率原理

积分误差有线性误差和非线性误差^[7]。一般情况下,线性误差为误差的主要部分,因此,将积分误差近似为线性误差。积分误差随着时间呈单调递增或递减,且短时间内积分漂移是一致的,由此提出了扣除斜率的概念。以前一时间段的积分漂移斜率作为依据,后面的积分输出均以此斜率为基准实现实时扣除。用于计算积分漂移斜率的采集时间应尽量长,时间越长,漂移越明显,计算的斜率也越准确。由于涉及到计算,所以,采用数字化的方法进行处理将较为方便。可将积分器输出通过 ADC 将模拟量数字化,由数字信号处理器(DSP)完成斜率计算和积分漂移的实时扣除,再经 DAC 转换为模拟量后滤波输出。

该方法的具体步骤如下:

1) 在开始积分且信号未到来之前,采集一段时间内的积分输出信号,取平均值后作为初始零位值 V_0 ;

2) 经时间 t 后,再采集一段时间内的积分输出信号,取平均值后作为漂移输出值 V_t ;

3) 根据 $(V_t - V_0)/t$ 可计算出积分漂移斜率 k ;

4) 以后的积分结果利用积分漂移斜率 k 来计算该时刻的漂移量 V_p ,将本次积分结果 V_s 扣除漂移量 V_p ,便可获得处理后的输出信号 $V_{out} = V_s - V_p$ 。

需注意的是,计算斜率的这段时间内积分器输入端不能加载信号,由此得到的积分输出是由积分漂移引起的。若加入信号,则计算的斜率非积分漂移斜率。

2.2 长时间积分器的实现

采用 SEED-DPS2812Mv2 开发板,它主要集成了高性能 32 位定点 DSP-TMS320F2812,主频 150 MHz,片上包含 128 kB × 16 位高速

Flash,集中了 SRAM、片外 D/A、片外 A/D、UART、串行 EEPROM、RTC 实时时钟、工业以太网等外设。其中,AD 芯片为 AD7656,16 位,6 通道,输入电压范围为 ±10 V/±5 V,AD 的精度为 0.305 mV/0.152 mV。DA 芯片为 DAC7744,16 位,4 通道,输出电压范围为 ±10 V/±5 V。

触发积分器和 DSP 的工作信号经光耦 TLP521-4 及驱动使积分器工作,同时触发信号给 DSP 的 I/O 脚,程序中通过判断高低电平来触发 DSP 程序工作。

软件设计包括中断服务程序、AD 采集、计算漂移斜率、实时扣除零点漂移和 DA 输出。DSP 通过定时器中断和外部中断实现 AD 转换、读数据、处理数据以及 DA 转换,采样率为 1 kHz。

通过 EVA 的通用定时器产生一定时中断,定时周期为 1 ms,开启 AD 转换使能控制信号,AD 芯片开始工作,通过外部中断来通知 DSP 采样完成,在外部中断中进行确认,然后返回。中断以外的程序不停地查询是否有外部中断的确认信号,一旦采样确认,则将数据读入相应存储空间,进行数据处理,并进行 DA 转换输出。采集到的数据分为两种,触发后的前 10 s 数据用于计算积分漂移斜率,之后的数据根据前面算得的斜率扣除后由 DA 输出。触发标志信号选用 DSP2812 的通用 I/O 口 GPIOB0(PWM7),在程序中进行防抖动处理,避免误触发。

3 系统测试

系统设计完成后,对两档积分时间常数的积分器进行了积分漂移测试,分别为 2 ms 和 20 ms,积分电容固定为 1 μF,积分电阻分别为 2 kΩ 和 20 kΩ,运放采用斩波稳零运算放大器 LTC1052,它能实时纠正偏置电压,是构成低漂移积分器的理想器件。选用 2 ms 和 20 ms 两档作为测试,是因在 1 000 s 内这两档的积分漂移较为明显。一般情况下,积分时间常数越小,漂移越大。

在输入端接地情况下,用采集卡测试积分漂移误差采集到的波形,采集时间为 1 000 s,采样率 10 kHz。2 ms 和 20 ms 积分器 1 000 s

积分信号和处理后的信号如图 2 所示。对于 20 ms 积分时间常数的积分器(图 2a),它的原始信号在 1 000 s 时间内漂移量约为 370 mV,处理后的信号漂移量仅为几 mV。切换为 2 ms 的积分时间常数(图 2b)后,1 000 s 的积分漂移

约为 2.9 V,处理后的信号漂移量约为 30 mV。可看出,采用扣除斜率的方法后,积分漂移约降低了两个数量级,消除了由改变积分时间常数后对积分漂移带来的不利影响,能够满足托卡马克装置实验的需要。

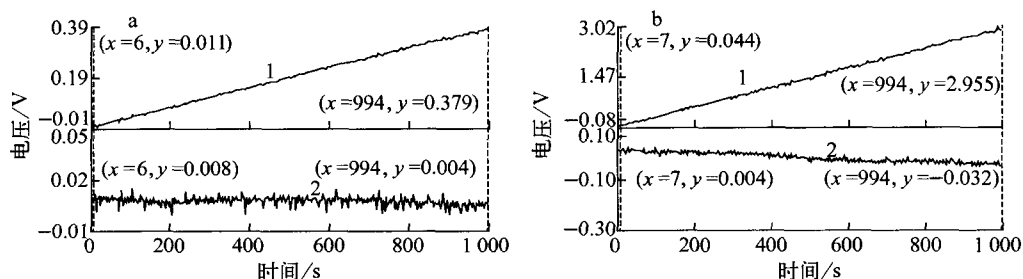


图 2 20 ms(a)和 2 ms(b)积分器 1 000 s 积分信号和处理后的信号

Fig. 2 Integral signals and processed signals in 1 000 s of 20 ms (a) and 2 ms (b) integrator

1——原始信号;2——处理后信号

4 结论

采用切换积分器的积分电阻改变积分器的积分时间常数,提高积分器的信噪比,防止积分输出饱和。利用 DSP 技术对积分漂移进行实时扣除,有效减小积分漂移,且消除了改变积分时间常数后对积分漂移带来的不良影响。测试结果表明,该方案具有优良的性能和特色,是一能有效消除零点漂移的长时间积分方法。通过远程控制能方便快速地根据需要改变积分时间常数,结合扣除积分漂移斜率的方法,不需人工手动调节积分漂移,可极大减小工作量,提高实验效率。可变积分时间常数的长时间积分器在托卡马克放电实验的电磁测量中有着较大的应用价值和前景。

参考文献:

- [1] 邱励俭. 聚变能及其应用[M]. 北京:科学出版社,2008:14-17.
[2] SHEN B, WANG B N, ZHANG X Q. Diamag-

netic measurement on HT-7 superconducting Tokamak[J]. Fusion Engineering and Design, 2004, 70(4): 311-318.

- [3] BAK J G, LEE S G, KSTAR Project Team. Performance of the magnetic sensor and the integrator for the KSTAR magnetic diagnostics[J]. Review of Scientific Instruments, 2004, 75(10): 4 305-4 307.
[4] STRAIT E J, BROESCH J D, SNIDER R T, et al. A hybrid digital-analog long pulse integrator [J]. Review of Scientific Instruments, 1997, 68 (1): 381-384.
[5] 童诗白. 模拟电子技术基础[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,1988:353-358.
[6] 沈文. AVR 单片机 C 语言开发应用实例——TCP/IP 篇[M]. 北京:清华大学出版社,2005: 1-3.
[7] 王勇. 带自动补偿的交替式积分器的研制[R]. 合肥:中国科学院等离子体物理研究所,2006.