

18 位高分辨高稳定度数模转换系统

韦冠一, 翟利华, 李雪松, 张子斌, 万可友

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

DAC System with High Stability and 18 Bit Resolution

WEI Guan-yi, ZHAI Li-hua, LI Xue-song, ZHANG Zi-bin, WAN Ke-you

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: The high resolution DAC (Digital to Analog Converter) is a critical item for both magnetic and quadrupole mass spectrometers. The stability of the DAC output signal is tightly related to the stability of the final ion current. A thermostat was realized by heating power regulating method instead of PID (Proportional, Integral and Differential coefficient) method. The temperature ripple is limited within a ± 0.002 scope in 24 h. An 18-bit DAC with $\pm 4 \mu\text{V}$ stability in 1 h and $\pm 6 \mu\text{V}$ stability in 8 h was achieved. The high stability makes it possible to improve the resolution to 20 bit.

Key Words: high resolution; stability; temperature control; DAC (Digital to Analog Converter)

中图分类号: O657.63; TN79.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-2997 (2007) 增刊-98-03

高稳定度高分辨 DAC(数模转换器)系统在质谱计中的地位十分重要,在磁质谱计中,DAC 的输出常用作磁场的参考电压,DAC 输出的稳定程度直接影响质量数刻度的稳定程度,从而影响最终离子流的测量精度。在四极质谱计中,DAC 输出用于控制射频电源产生所需幅度的射频振荡,振荡幅度决定了可通过四极杆系统离子的质荷比^[1],DAC 的稳定度同样影响最终离子流的测量精度。本 DAC 系统研制目标,一是为了替换 MAT-261 质谱计中的磁场参考电压;二是为正在研究的四极质谱系统提供质量扫描用的参考电压。目前质谱计中在用的 DAC 为两个 DAC 级联,极限分辨为 19 位,目前的短期稳定度为 $\pm 20 \mu\text{V}$,24 h 稳定度为 $\pm 50 \mu\text{V}$ 。由于器件老化等原因,现已不能满足精密测量要求,但厂家已不提供该产品备件,国内亦未查到相关产品出售。

1 技术难点

影响输出稳定性的重点因素分别来源于干扰和温漂两方面。通过电磁屏蔽和精心布线,可以将电源、电路等噪声干扰有效去除。温漂造成的输出变化必须通过恒温来去除,因此,要得到稳定的输出,必须在屏蔽电磁干扰的基础上稳定系统的工作温度。

DAC 芯片是高稳 DAC 系统的核心,5 V 输出的 Sigma-Delta 型 DAC 分辨可达 20 位,但其建立时间过长,不能应用于四极质谱系统的质量扫描参考电压;用于音频流的 Sigma-Delta 型 DAC 标称可达 24 位,但其输出为调制信号,不能保证直流分辨率及直流电压漂移。本系统选用的核心芯片为 AD760AQ,它是输出可达 $\pm 10 \text{ V}$ 的 18 位自校准高速 DAC 芯片,输出温漂系数为 $2.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,即在 10 V 输出时温漂为 $250 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。因此,若要求输出稳定在 $\pm 5 \mu\text{V}$ 以内(18 位 DAC 的最小分辨

为 $38 \mu\text{V}$, 20 位 DAC 的最小分辨为 $9 \mu\text{V}$, 本指标是为 20 位分辨 DAC 的设计而定), 温度必须稳定在 ± 0.02 以内。考虑到可能存在的噪声干扰以及外围器件对输出的影响, 温度至少应稳定在 ± 0.01 以内。因此, 在解决电路噪声干扰之后, 恒温技术成为提高 DAC 稳定度的瓶颈。

2 解决方案

在 DAC 系统设计中, 使用单片机通过 RS232 接口实现外部指令的接收和 DAC 状态反馈, 并执行外部指令, 实现对 DAC 芯片的控制。通过采取电源、信号隔离、屏蔽与滤波等措施, 有效去除噪声对输出的干扰。

常规恒温技术通过开关控制加热装置实现, 开关条件为阈值控制或者 PID 综合控制。受开关影响, 温度总在小幅度振荡中, 一般情况振幅均大于 ± 0.1 , 要使温度的波动幅度减弱至 ± 0.01 以下, 必须使用更为精确的温度控制技术。即在工作过程中不能使用简单的开关量控制加热与否, 而应通过模拟方式控制加热功率的方法来实现。系统的恒温电路示意图示于图 1。系统设计中采用了电流型高精度温度传感器 AD592、高稳电压参考源 MAX6350、高放大倍数功率控制回路, 利用三极管和电阻作为发热元件, 探头、发热元件与恒温外壳紧密连接, 并在外部采取密闭绝热措施。电路中三极管型号及带 “*” 的电阻阻值依加热功率而定。

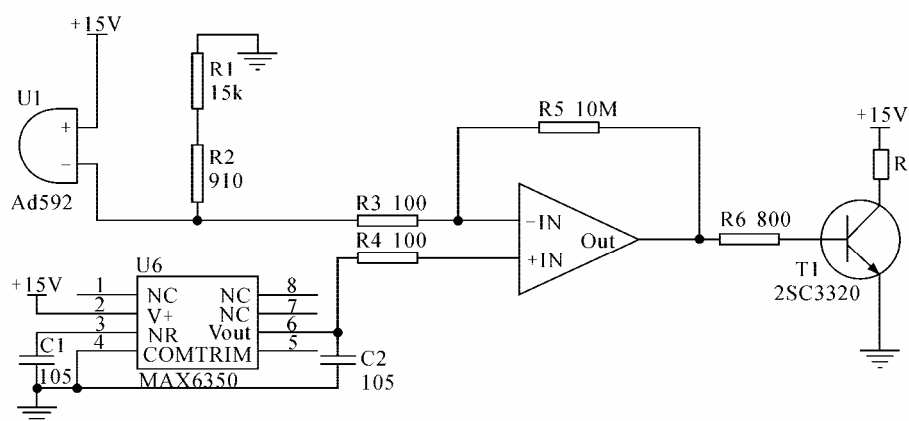


图 1 恒温电路示意图

Fig.1 Schematic for temperature control circuit

系统安装完成后, 进行温度稳定性监测。使用 HP34420A 数字万用表, 对温度探头的输出电压进行测量。HP34420A 对 5V 电压测量的 24 h 稳定度为 $4 \mu\text{V}$, 环境温度影响为 $25 \mu\text{V}$, 实际测量时温度与电压的对应关系为 $15910 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, 即在温度测量中, 万用表对稳定性的影响在 0.002 以下。测试结果表明, 恒温系统可在加电 1 h 内达到稳定工作状态, 24 h 内测得的最大温度为 41.437°C , 最低温度为 41.433°C , 即 24 h 温度稳定度为 $\pm 0.002^\circ\text{C}$ (环境温度变化范围: $23 \sim 33^\circ\text{C}$), 温度稳定性已经达到高稳定度 DAC 系统的预定要求。对无隔热措施时的温度稳定性同样进行了监测, 该条件下的温度稳定性略差, 24 h 稳定度约为 $\pm 0.005^\circ\text{C}$, 但同样满足高稳 DAC 系统的预定要求。

3 系统性能测试

借助于高性能恒温系统, 成功建立了一套满幅输出为 10 V 的远程控制 18 位 DAC 系统, 体积小 (300 mm (宽) $\times$ 100 mm (高) $\times$ 240 mm (深)), 包含了恒温 DAC 模块、通讯控制模块以及两个开关电源。该系统在计量单位接受了检定, 结果表明: 在 10 V 满幅输出 1 h 稳定度小于 $\pm 4 \mu\text{V}$, 8 h 稳定度小于 $\pm 6 \mu\text{V}$, 更长时间的稳定性受条件所限没有得到。线性度测量结果列于表 1, 在全量程范围内输出与理论值之差为 $-0.8 \sim +0.1 \text{ LSB}$ (Least Important Bit, 最低位), 即线性度小于 $\pm 1 \text{ LSB}$ 。

此外,本 DAC 系统 1h 短期稳定度小于 $\pm 4 \mu\text{V}$,而 21 位 10 V 输出 DAC 的分辨约为 $5 \mu\text{V}$ 。即在需要的情况下,使用 DAC 级联技术^[2]和该恒温技术,可实现更高分辨的 20 位甚至 21 位高稳定度输出 DAC 系统。

表 1 全量程 DAC 线性度测量

Table 1 Full range DAC linearity

数字输出 DAC Setting	实测电压 Voltage output /V	实测数字输出* Calculated DAC setting*
0	0.000 001	0.0
2 047	0.078 102	2 047.1
4 095	0.156 223	4 094.8
8 191	0.312 494	8 190.8
16 383	0.625 036	16 382.8
32 767	1.250 120	32 766.8
65 535	2.500 261	65 534.2
131 071	5.000 599	131 070.5
262 143	10.001 275	—

注*:以满幅输出与 262143 相对应计算数字输出值

参考文献:

- [1] 方向,覃莉莉,白岗.四极杆质量分析器的研究现状及进展[J].质谱学报,2005,26(4):234-242.
- [2] 李苏文.用 2 个 8 位 DAC 替换 16 位 DAC[J].电测与仪表,1999,36(406):22.

《质谱学报》来稿要求和注意事项:

为提高稿件审查、排版和校对效率,减少差错,缩短出版周期,提高出版质量,请按以下要求撰写您的文稿,谢谢合作。

- (1) 稿件要具有先进性、新颖性,有学术价值、实用价值和文献保存价值。
- (2) 获得基金资助的文章,需以页下注形式注明基金项目名称,并在括号内注明其项目编号。第一作者简历需以如下格式注于第一页页下:作者简介:姓名(出生年份~),性别(民族),籍贯,职称或学位,从事专业或研究方向;并提供联系电话、E-mail 地址等。联系人非第一作者请注明,并写明联系方式。来稿务必请打印,并尽可能通过 E-mail (jcmss401@163.com) 将电子文件传至本刊编辑部。综述第一作者应增寄本人近照(2 寸)及相关简历,介绍本人毕业时间、毕业校名系名、学位、研究方向、主要研究成果、在国内外进修和工作情况以及发表论文数目等。
- (3) 文中图、表少而精,写上图号、图题和中英文图注;表格采用三线表表示。汉字、标点使用规范,字母和符号分清大小写、正斜体、上下角标。不使用废弃的物理量,物理量符合用斜体;单位符合用正体,并使用法定计量单位。图表内量符号与量单位间用“/(除号)”隔开,如 L/cm 。
- (4) 参考文献必须是公开发表的、文中直接引用的,著录项目要齐全。著录时须姓前名后,3 名及 3 名以下必须全部列出,3 名以上后加“等”(英文文献“et al”)。
- (5) 收稿后立即向作者回复;若待审时间超过 4 个月不予回复,作者可改投他刊;稿件录用证明随退修信一同寄给作者;本刊对来稿有权作一般性的修改和规范化技术处理,对内容作较大或实质性修改时请作者根据审稿人和编辑的意见相应修改。
- (6) 来稿根据作者单位具体情况附对文稿内容是否涉及保密问题、作者署名有无争议的审查证明。著者文责自负。
- (7) 稿件一经刊登,本刊将按规定酌付稿酬,并赠送当期《质谱学报》2 册,由第一作者分配。本刊已纳入《中国学术期刊(光盘版)》和入网“万方数据——数字化期刊群”,所付稿酬包含上述两项报酬。

具体投稿要求和注意事项请浏览: www.jcmss.com.cn