文章编号:1001-9944(2010)09-0013-04

基于TMS320F2812 FAIMS仪用RF电源控制系统

杨 吉[1],唐 飞[2],王晓浩[2],吝 涛[3],丁 力[3]

(1.中北大学 电子测试技术国家重点实验室,太原 030051;2.清华大学 精密仪器与机械学系 精密测试技术与仪器国家重点实验室,北京 100084;3.岛津分析技术研发(上海)有限公司,上海 201201)

摘要:文中提出一个FAIMS仪用高场非对称方波RF电源系统设计方案,系统由信号发生器、高速开关、高压直流电源、高通滤波、补偿电压自动扫描及采集、和计算机控制六部分组成。以TMS320F2812为信号发生及控制核心,驱动高速开关通过逆变产生方波RF信号同时控制DAC转换实现补偿电压自动扫描。该电源系统可以输出频率≤2MHz,电压幅值≤2kV,功率≤300W,占空比20%~50%,波形上升时间约15ns的非对称方波波形。

关键词:TMS320F2812;高场非对称波形离子迁移谱;信号发生器;PWM;高场非对称方波;射频电压

中图分类号:TP216 **文献标志码**:A

Design of RF Power Supply Control System Based on TMS320F2812 for FAIMS Instrument

YANG Ji[1],TANG Fei[2],WANG Xiao-hao[2],LIN Tao[3],DING Li[3]

(1.State Key Laboratory of Electronic Measurement Technology ,North University of China, Taiyuan 030051, China; 2.State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments , Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3.Shimadzu Research Laboratory (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201201, China)

Abstract:A high-field high-frequency rectangular waveform RF power supply for FAIMS (field asymmetric waveform ion mobility spectrometry)system is developed in this paper. The system consists of six parts, which are signal generator, high-speed switch, high-voltage DC power supply, high-pass filter, the compensation voltage auto-sweeping and collection and computer control circuit. TMS320F2812 generaled and controlled the signals, which drivered the high-speed switch to general the rectangular RF waveform by inverter. The power system could general rectangular asymmetric waveform, limited to frequencies of ≤2MHz, voltage pulse amplitudes of ≤2kV, power of ≤300W and the duty cycle of 20%~50% with waveform steep rise times of the order of ~15ns. The toluene sample was adopted to characterize the FAIMS system. When the power system was applied to the FAIMS system, the spectra of toluene were obtained, it shows that the ions can be separated and detected by the FAIMS system.

Key words:TMS320F2812;high-field asymmetric waveformion mobility spectrometry (FAIMS);signal generator;PWM; high-filed asymmetric rectangular waveform; RF voltage

FAIMS是一种新型的气态化学成份分析仪器,具有便携、低功耗、检测种类广、速度快、灵敏度高、等优点[1],可广泛用于化学战剂、毒品、爆炸物、有毒气体、大气和水污染等的快速检测。

收稿日期:2010-04-21;**修订日期**:2010-05-07

基金项目:国家自然科学基金(60706030);国家自然科学基金仪器专项(20827007);国家863计划项目(2007AA04Z337);国家973计划项目(2007CB310504)资助

作者简介:杨吉(1986-),男,硕士研究生,研究方向为微系统与控制技术;唐飞(1973-),男,博士,讲师,研究方向为精密测量和控制技术、微系统设计和工艺等。

在 FAIMS 系统中，高压、高频非对称波形 RF 电源系统是核心部分之一，是保证离子在迁移区内按要求运动实现分离的必要条件。最新研究显示，对于迁移区的离子分离效果，方波波形电源优于其它脉冲波形[1]，而目前 FAIMS 研究中所采用的高场非对称方波射频电压频率最大只做到 1MHz[2]，不能满足 FAIMS 芯片的工作要求(频率 2MHz、工作电压 1000V)。针对实验研究的需要，文章介绍一种利用 DSP TMS320F2812 实现可程控的 FAIMS 检测仪用 RF 方波电源系统，通过上位机实时在线修改电源的频率、占空比等，大大地提高了系统实验的效率、精度及安全性；另外，还集成了补偿电压自动扫描及采集模块，大幅度减少应用系统的成本及体积。

1 系统构成和工作原理

所设计的 FAIMS 系统中高场非对称方波射频电源系统的工作原理如图 1 所示。电源系统由六部分组成：信号发生器、高速开关、高压直流电源、高通滤波、补偿电压自动扫描及采集、计算机控制。信号发生器输出频率、占空比和死区可变的 PWM 信号，经过磁耦电气隔离及电平转换后，控制高速开关导通截止产生高压高频方波脉冲输出。高压直流电源为高速开关提供所需的高压直流信号，通过高通滤波器把方波脉冲信号中的直流分量滤掉，实现正负面积相等的非对称波形电压信号输出[1,2]。补偿电压自动扫描是利用 DSP TMS320F2812 编程，并且控制 DAC7724 进行数模转换，并进行信号放大，实现锯齿波类型的补偿电压自动扫描。信号发生器作为主控部分，通过串口与计算机通信，实现频率、占空比、死区时间及补偿电压扫描周期的在线调节控制。

根据系统实验要求，所设计的电源系统的技术参数主要包括：

1)信号发生器输出频率：0Hz~2MHz 可调，占空比：20%~50%，周期和死区步长：6.67ns；

2)高速开关工作频率：100kHz~2MHz，工作电压：100V~2000V，最大输入电流：250mA；

3)高压直流电源输出电压 0~2000V 可调，最大输出电流：300mA；

4)补偿电压实现最大范围-25V~25V，最小步长 0.1V，周期为 60s~240s 的连续扫描。

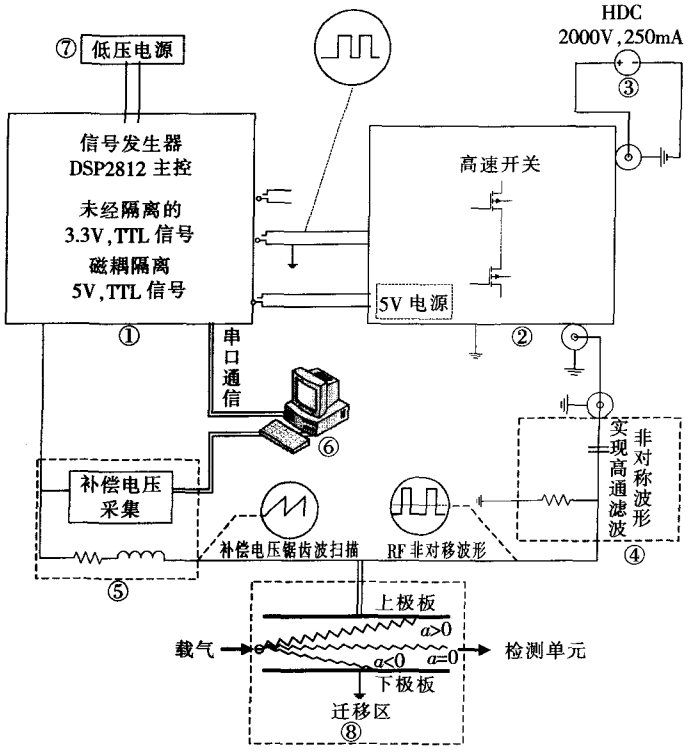

图 1 FAIMS 检测仪用 RF 方波电源系统框图

Fig.1 Rectangular RF power supply system block diagram for FAIMS Instrument

2 系统硬件设计

2.1 基于 TMS320F2812 的信号发生器

2.1.1 逆变控制信号实现电路

该部分是系统核心控制部分。采用 TI 的 C2000 系列数字信号处理器(DSP) TMS320F2812 作为主控芯片[3]，TMS320F2812 是一种低功耗的 32 位定点数字信号处理器，可以产生多路高精度、高分辨率的 PWM 波形，死区最小调节时间为 6.67ns。其事件管理器模块，用于产生各种所需的 PWM 波形输出，利用 TMS320F2812 的事件管理器模块，可以方便地输出两路互补、带死区的 PWM 波形。高速开关采用驱动+半桥逆变结构，外加高压直流电源，信号发生器输出的 PWM 波形控制高速开关通断，实现 RF 方波输出。

2.1.2 电气隔离

DSP 控制单元输出电压为 3.3V，属于弱电控制部分，后面主回路工作在上千伏的高压之下，为了保护控制电路不受危险高压和大电流的损坏，控制信号与高速开关之间需要进行可靠的高压电气隔离。隔离器件选择 ADI 数字隔

离器件 ADUM1200CR。ADUM1200CR 是双通道磁耦隔离器件，由于其内部输入输出有带施密特触发器的反相器整形，输出波形上升/下降时间为 2.5ns，其隔离电压是 2.5kV，最低瞬态共模抑制能力 25kV/μs，隔离信号的最高频率高达 100MHz。

2.1.3 补偿电压自动扫描

补偿电压自动扫描利用 DSP TMS320F2812 控制 DAC7724 进行数模转换，并进行信号放大，实现锯齿波类型的补偿电压自动扫描，并通过电感和电阻网络把低压电压叠加到迁移区上。DAC7724 为 4 通道、12 位分辨率、±15V 供电的模数转换器，采用±10V 作为参考电压。DAC7724 采用直接二进制编码，理想的输入数字量与输出模拟量之间的关系为[4]

$$V_{OUT}=V_{REFL}+(V_{REFH}-V_{REFL})\times N\div 4096 \quad (1)$$

式中：N 为数字量输入；V_{OUT} 为模拟输出，V_{REFL} 为低参考电压，-10V；V_{REFH} 为高参考电压，+10V。要使补偿电压步长为 0.1V，考虑到输出放大倍数 2.5 倍，因此电压步长最小为 0.04V。根据公式：

$$\Delta N=\frac{\Delta N\times 4096}{(V_{REFH}-V_{REFL})} \quad (2)$$

求得 ΔN=8，理论上可保证补偿电压为 0.1V。但实际由于参考电压源的稳定度和运算放大器的零点漂移影响转换 DAC 的精度，因此实际设计时需要留余量。

通过运算放大器 OPA547 对 DAC 输出信号进行放大，OPA547 是一款精密高压大电流运算放大器，双电源最高支持±30V 供电，可以实现补偿电压±25V 输出。

基于 TMS320F2812 的信号发生器的电路图如图 2 所示。

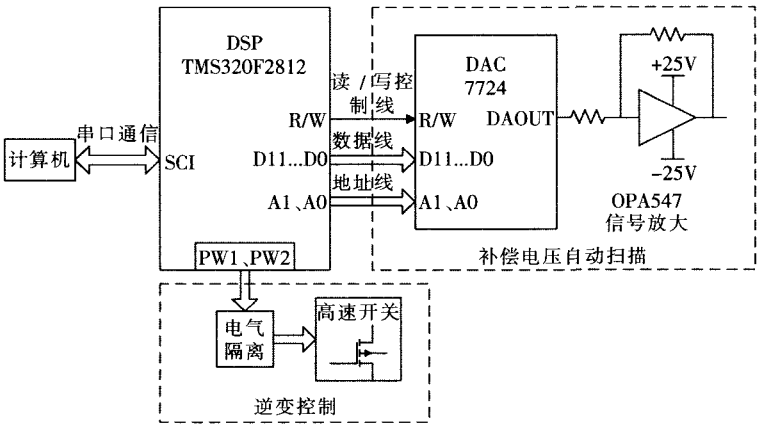

图 2 信号发生器的电路图

Fig.2 Schematic of signal generator

2.2 非对称波形实现

非对称波形实现电路实际是高通滤波电路，是把高压直流电源输出的方波信号的直流分量滤掉，输出正负面积相等的非对称波形电压信号[1]。

2.3 补偿电压采集

补偿电压先通过电压衰减后再进行采集，以此得到补偿电压和法拉第杯采集到的微电流的同步对应值。高压高频信号对补偿电压的采集有高频干扰和噪声，频率和电压幅值越高干扰越大，为了准确地采集补偿电压，先对衰减后的小信号进行模数转换，模数转换采用高精度、低噪声、低漂移的双积分式 12 位 A/D 转换器 ICL7109，其内部使用积分器和电压比较器，对平均值为零的噪声抑制能力很强，且稳定性很高，是抑制干扰和噪声很好的方式。

3 系统软件设计

3.1 TMS320F2812 软件设计

TMS320F2812 软件设计主要包括 PWM 控制信号、补偿电压 DAC 扫描、与上位机进行串口通信，软件流程图如图 3 所示。DSP 相关程序采用 C、C++、汇编语言混合编程，系统上电后首先把源程序从 DSP 内部 FLASH 中拷贝到内部 RAM 中，完成系统和外设相关寄存器的初始化，包括：根据系统运行频率，对 EV 寄存器 T1PR、CMPR1、DBTCONA 分别设置 PWM 信号的频率、占空比和死区；通过式(2)计算，使得 ΔN=2，即 DSP 数字量输出以 2 为步长递进，编写 DAC 锯齿波算法模块，将要入 DAC7724 的数据保存到 TMS320F2812 的 RAM 中；当 DSP 接收到上位机的控制数据，通过中断和 SCI 寄存器，对波形数据设置进行更新，并把数据回传给上位机，判断是否设置成功，实现上位机和 DSP 串口通信。

3.2 上位机软件设计

本系统采用 VB6.0 开发上位机控制软件，实现一个简单友好的操作界面。上位机程序包括界面设计、信号发生器参数设置、数据回读显示和串口通信几个模块。通过上位机控制界面可以在线适时调节 PWM 信号的频率、占空比、死区等参数，大大简化了实验时间，提高了实验的准确性。

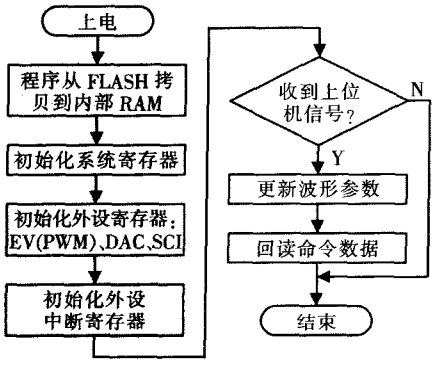

图 3 TMS320F2812 软件流程图

Fig.3 Software flow chart of TMS320F2812

4 系统实验结果及分析

所研制的高场非对称方波射频电源，频率100kHz~2MHz、占空比 20%~50%连续可调，当迁移区负载的容值小于 50pF，可输出工作电压的峰峰值为 100V~2000V，频率 1MHz 时输出的最大电压峰峰值 2000V，频率 2MHz 时输出的最大电压峰峰值为 1000V。当迁移区负载的容值为 8pF 时，用采样率 500(MS)/s、带宽 40MHz 的泰克 TDS1001B 示波器，2500V 高压、带宽 250MHz、衰减倍数 100:1 的泰克 P5100 无源高压探头测试得到：频率 2MHz、电压峰峰值 1000V、占空比 30%非对称方波射频电压波形，如图 4 所示。图 5 为周期为 65s，幅值为±16V 的锯齿波类型的补偿电压自动扫描波形。

把电源系统应用到 FAIMS 系统中，在室温下对甲苯样品进行分离检测，实验条件：方波射频电压最大值 364V，频率 2MHz，补偿电压从 3V 到-10V

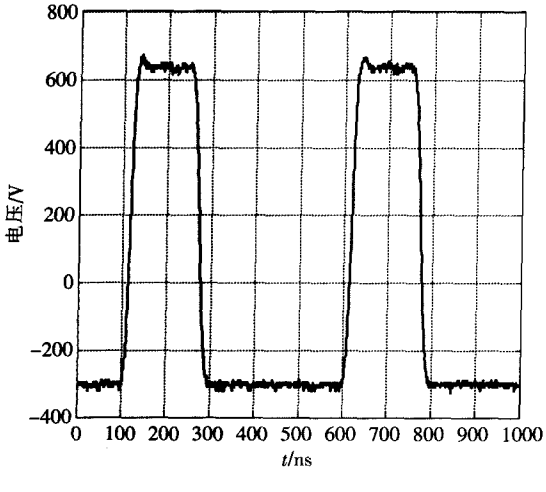

图 4 高场非对称方波射频电压波形

Fig.4 High-field asymmetrical rectangular RF waveform

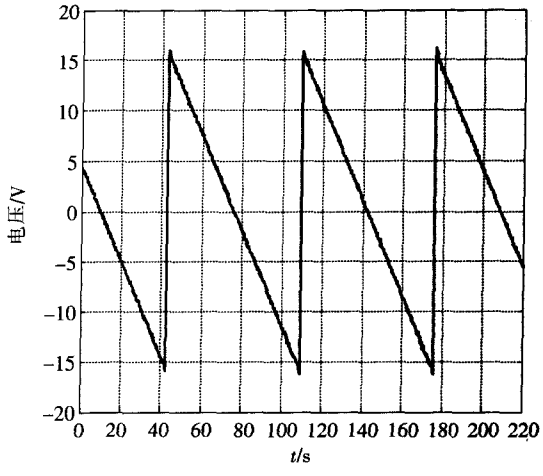

图 5 补偿电压锯齿波扫描波形

Fig.5 Compensation voltage sawtooth scan waveform

以 0.1V 的步长匀速扫描，用 Keithley237 电流计对 FAIMS 系统输出的电流信号进行采集，将补偿电压值和电流值对应，得到甲苯的 FAIMS 谱图。

所设计的方波射频电源系统稳定，波形质量较好，与文献[2]中所采用的非对称方波射频电压(电压峰峰值<1000V，频率<1.2MHz)相比，电压幅值和频率都有了较大的提高，可满足间距 0.2~1mm、电容值小于 50pF 的迁移区的 FAIMS 系统实验满足 FAIMS 系统实验要求。

5 结语

采用 TMS320F2812 作为电源系统的主控芯片，使电源系统结构简单，体积小型化，便于整个 FAIMS 系统微型化；同时使电源系统数字化，满足适时在线修改电源系统参数需求，提高电源系统的操作和安全性，简化了实验时间，提高了实验的准确性，还为 FAIMS 电源系统多功能及改进提供了强有力的平台。

参考文献：

[1] 林镇翔，唐飞，王晓浩.用于 FAIMS 的高场非对称波形电源的研制[J].高电压技术，2009，35(6)：1415-1419.

[2] Papanastasiou D，Wollnik H，Rico G，et al.Differential mobility separation of ions using a rectangular asymmetric waveform [J].Journal of Physical Chemistry，2008，112(16)：3638-3645.

[3] 苏奎峰，吕强，耿庆锋，等.TMS320F2812 原理与开发[M].北京：电子工业出版社，2005.

[4] 张树团，张凯，李静.基于 TMS320F2812 的任意波形发生器设计[J].电子测量技术，2009，32(4)：87-89.