

Langmuir 探针扫描电源的设计

李正平¹, 徐超¹, 吴瑞生², 谭守标¹

(1. 安徽大学 电子科学与技术学院, 安徽 合肥 230039;

2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026)

摘要: Langmuir 探针诊断技术是一项被广泛应用的等离子体参数测试技术。文中介绍了一种使用软件控制的扫描电源的设计, 详细阐述了系统硬件和软件的设计, 它可以实现对等离子体特性参数快速简便的测量。

关键词: Langmuir 探针; 扫描电源; AD/DA 转换

中图分类号: TP316.7; O539

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)10-0189-02

Design of Scanning Power Supply for Langmuir Probe Diagnostics

LI Zheng-ping¹, XU Chao¹, WU Rui-sheng², TAN Shou-biao¹

(1. School of Electronic Science & Technology, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. University of Science & Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Langmuir probe diagnostics is a widely adopted technology in plasma diagnostics. This paper introduces the design of scanning power supply for Langmuir probe diagnostics which provides an easy and convenient way to measure characteristic parameters of plasma, and is controlled by software. The design of hardware and software is presented in detailed.

Key words: Langmuir probe; scanning power supply; AD/DA converting

0 引言

随着等离子体技术在各领域的广泛应用, 对等离子体的参数特性的测试要求也在不断提高。Langmuir 探针诊断技术是由 Langmuir 在 1924 年提出的, 虽已有 80 年的历史, 但由于其处理方法简单、可靠, 至今仍然是一种被广泛使用的标准测试技术^[1]。这种技术是将两个探针放入待测的等离子体中, 然后在探针上加电压, 通过逐步改变电压值, 分别测量出对应的探针间放电电流, 最终作出待测等离子体的伏安特性曲线, 并进一步由等离子体物理的理论计算出等离子体的特性参数。

1 系统硬件设计

笔者和中国科学技术大学等离子体物理研究组合作开发的 Langmuir 探针扫描电源可以实现对等离子体电子温度、离子温度等参数的快速测量。图 1 是所设计的 Langmuir 探针扫描电源的整体框图。其基本工作原理如下: 将 $-50 \sim 50\text{V}$ 的输出电压范围平分为 256 个间隔, 分别对应 0~255 的数字量, 如 -50V 对应数字 0, 50V 对应数字 255。用户通过软件设置

扫描的起始电压和终止电压, 根据这些电压值计算出相应的数字量作为 DAC 的输入; 然后程序将起始电压对应的数字写入 DAC 输入端, 启动 D/A 转换, 转换后的电压经过高压放大最终输出 $-50 \sim 50\text{V}$ 的直流电压加载到探针上; 程序接着利用多路模拟开关依次选通电压和电流取样电路, 将其取样得到的电压输入 ADC 转换为数字量, 返回给应用程序处理。完成该点的测量后, 用户增加输入到 DAC 的数字量, 重复上面的过程进行下一个扫描点的测量, 直到设定的终止电压为止。最终用户可以根据每个扫描点测量的电压电流值作出系统的伏安特性曲线, 而有

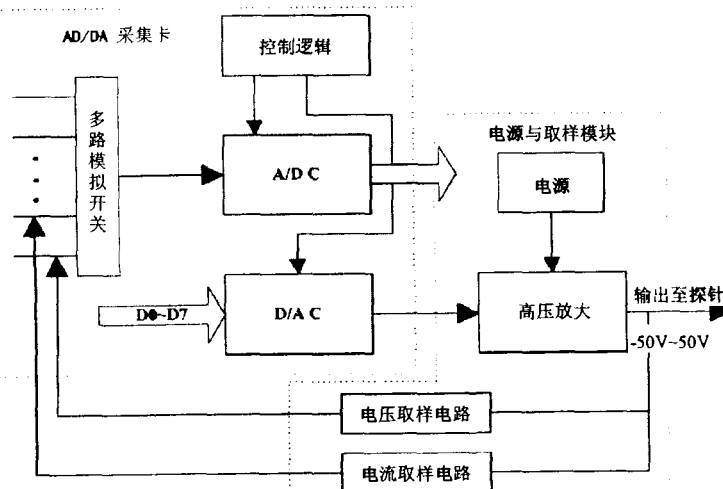


图1 Langmuir 探针扫描电源系统框图

收稿日期: 2005-12-29

作者简介: 李正平(1979-), 男, 安徽宣城人, 博士研究生, 研究方向为计算机应用、嵌入式系统。

了伏安特性曲线,就可以利用等离子体物理的知识计算出等离子体的各种参数。

整个系统由 AD/DA 采集卡、电源和取样模块、数据处理软件和设备驱动程序四部分组成。其中 AD/DA 采集卡以插件形式安装在计算机主板插槽中,电源和取样模块作为一个单独的外置模块通过线缆与 AD/DA 采集卡连接。为了尽可能地降低成本,在设计 AD/DA 采集卡时没有采用现在流行的 PCI 总线,而是采用 ISA 总线。由于 ISA 总线不支持 PnP,因此利用一个拨动开关设置板卡的基地址。

AD/DA 采集卡的控制逻辑由一片 GAL16v8 提供。为了实现多路 AD 转换,采用 MC14051B 模拟开关,这样使用一个 AD 转换电路至多可以对 8 路模拟信号进行转换。在这个项目中只需两路模拟输入,分别对应探针间电压电流值。AD 变换使用 LF398 采样保持器和 ADS774A/D 转换芯片,可以提供 12 位精度的模-数转换。DA 变换则采用 8 位的 DAC0832 芯片实现,其输出作为电源和采样模块的输入,经过高压放大器放大到 $-50 \sim 50\text{V}$ 的直流电压加载到探针上。

电源和取样模块的关键是高压放大电路的设计。普通的运算放大器无法实现高达 $\pm 50\text{V}$ 的输出,为此采用了 APEX 公司的 PA42 高压功率放大器^[2],它具有电压高、功率大、静态电流小、输出电流大、输出线性好且价格低廉的特点,非常适合 Langmuir 探针扫描电源驱动输出的要求。此外,为了实现对探针间电压电流的测量,设计了电压和电流取样电路,从探针间取回电压和电流信号,作为 MC14051B 模拟开关的输入,最终经过 AD 变换成数字量供程序处理。

2 系统软件设计

系统软件由数据处理软件和设备驱动程序两部分组成。其中设备驱动程序用于控制硬件设备,包括启动 AD/DA 转换、读取转换结果、进行 I/O 端口操作等。考虑到中国科学技术大学等离子体物理研究组有许多低配置的 PC 机,运行 Windows98 操作系统,因此开发了基于 Windows98 平台的 VxD 驱动程序。VxD(虚拟设备驱动)运行在 Intel 系统的 Ring 0 级上,可以访问任何 I/O 设备,是 Microsoft Windows 9x 系列操作系统共同支持的驱动程序模型^[3,4]。开发 VxD 驱动程序的基本工具是 Microsoft 公司的 DDK,但利用 DDK 开发 VxD 驱动程序,需要直接用汇编语言编写代码,非常麻烦。作为一种方便的替代工具,Numega 公司的 Vtoolsd 开发工具^[5],由于允许开发人员直接使用 C/C++ 语言开发 VxD 设备驱动程序,极大地提高了开发的效率,而成为最流行的 VxD 驱动程序开发工具。本项目的驱动程序开发就是利用 Vtoolsd 工具进行开发的。

利用 Vtoolsd 的 QuickVxD 向导生成驱动程序的框架,并通过重载 Vdevice 类的 OnDeviceInit,OnSvsDynamic-

icDeviceInit, OnSysDynamicDeviceExit 和 OnW32Device IoControl 成员函数实现对探针电源的管理,其中前 3 个成员函数实现的功能完全相同,均是设置电源输出电压为零,因为当高压放大器长时间工作在高压状态时,发热很大,这样很可能导致放大器的烧毁。通过设置电源输出电压为零,就确保了在驱动被加载或卸载后电源的安全。

OnW32DeviceIoControl 函数^[3]提供应用程序和驱动的通信机制,分别处理 DIOC_OPEN, DIOC_CLOSEHANDLE, BEGIN_SCAN 和 MEASURE4 个 Ioctl 请求。前两个 Ioctl 请求对应打开和关闭设备,当应用程序调用 CreateFile 打开设备时,系统会发送 DIOC_OPEN 请求给 VxD,这里只简单返回 0 表示设备打开成功;当应用程序完成扫描过程调用 CloseHandle 关闭设备时, DIOC_CLOSEHANDLE 请求会被发送,这里出于保护电源安全的考虑设置其输出电压为零,接着调用 VWIN32_CloseVxDHandle 关闭设备句柄,并向上层应用程序返回 0,表示关闭设备成功。后两个 Ioctl 是自定义的请求。其中 BEGIN_SCAN 启动一次扫描过程,应用程序通过这个 Ioctl 将起始扫描电压、终止电压、AD/DA 卡基地址以及用来通信的事件句柄传给 VxD,驱动接着将扫描电源的输出设为零,等待应用程序开始测量电压电流值。MEASURE Ioctl 实现具体每个扫描点电压电流的测量,应用程序通过 DeviceIoControl 发出 MRASURE 请求,传递一个 0~255 的整数给 VxD,并调用 WaitForSingleObjectEx 暂时挂起。MEASURE Ioctl 请求的处理代码将这个数写入 DAC,经过 D/A 转换为 $-2.5 \sim 2.5\text{V}$ 的电压值,再经过放大处理最终形成 $-50 \sim 50\text{V}$ 的输出电压加载到探针上,然后 VxD 依次选通 ADC channel0 和 channel1 通过采样电路测量探针间的实际电压和电流值,并调用 VWIN32_SetWin32Event 设置事件(该事件句柄由应用程序通过 BEGIN Ioctl 传递)将结果返回应用程序处理。对于这个系统来说,由于所处理的数据量较小,硬件不支持中断传输,也不采用 DMA 控制,因此采用轮询的方式来等待 AD 转换的完成,这样可以简化程序的开发。

在开发设备驱动程序时首先要考虑的是区分机制和策略,通常底层的驱动程序只应该提供机制,而把相关的策略交给上层应用程序处理。但在这个项目中,由于其特殊性,将一部分策略移到驱动层实现。当电压发生突变时,等离子体在两个探针电极间的放电会有一个延迟过程,在这个过程中探针间电流值随机涨落非常大,此外即使是在电压稳定的情况下,探针间的电流也存在一定程度的随机涨落,因此如果不做处理,简单的测量一次电压电流值,最后得出的伏安特性曲线误差会很大,从而导致计算结果的不准确。经过大量的测试表明,在电压突变时,存在一个大约 50ms 的延迟过程,因此在 MEASURE Ioctl 请求的处理代码中,在向 DAC0 输出电压后延迟 50ms 后才启动 AD channel0 和 channel1 测量电压电流值。为了消

(下转第 193 页)

为方便使用,可以将上述函数整合到一个函数中:

```
void Tran(float tlon, float tlat, float thei, float roll,
float pitch, float heading)
{
    glLoadIdentity();
    glTranslatef(tlon, tlat, thei);
    glRotatef(heading, 0.0, 0.0, 1.0);
    glRotatef(pitch, 0.0, -1.0, 0.0);
    glRotatef(roll, 1.0, 0.0, 0.0);
}
```

飞机的 6 个飞行参数可以通过网络通信的方式实时传送到程序中,经过必要的变换后按照对应顺序存放数组 plane^[6]中。在仿真程序中,调用函数

```
Tran(plane[0], plane[1], plane[2], plane[3], plane[4], plane[5]);
```

这样就完成了两个坐标系的变换,实现了飞机飞行参数对漫游的控制。

4 实验结论

OpenGL 缺省的坐标系是观察坐标系,所有的景物都要放到观察坐标系下定位。在飞行仿真时,要让飞行员有身临其境的感觉,以第一人称的角色漫游整个 3D 场景,就要建立以飞行员为中心的观察坐标系。飞行仿真中飞

机的飞行参数可以实时获取,可以很方便地由这些可行的飞行参数来制定以飞行员为中心的观察坐标系,在文中就是指机体坐标系。然后利用 OpenGL 中相关的模型变换函数,把地面坐标系下的场景统统搬移到观察坐标系,就完成了坐标系的一个变换过程。

飞机的飞行参数有许多,文中用到的是飞机常用的定位姿态的 6 个自由度,完成坐标变换。根据获取的飞行参数不同,可以采用不同的方法建立观察坐标系,采用不同的 OpenGL 函数实现坐标系的变换。

参考文献:

- [1] 王行仁. 飞行实时仿真系统及技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998.
- [2] 席迎来. 基于 PC 机的飞行器六自由度仿真[D]. 西安:西北工业大学,2003.
- [3] Wright R S, Sweet M. OpenGL 超级宝典[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [4] 励映群,王润杰,李松维. Open GL 中实现飞行仿真观察变换的几种方法[J]. 计算机仿真,2003,20(5):71-73.
- [5] 付战平,邸亚洲,尚希良,等. 基于 OpenGL 的飞行过程再现与仿真[J]. 系统仿真学报,2002,14(9):1197-1199.
- [6] 尚 游,陈岩涛. OpenGL 图形程序设计指南[M]. 北京:水利水电出版社,2001.

(上接第 190 页)

除电压稳定时探针间电流随机涨落的影响,在每个扫描点连续测量 1000 次,并将其算术平均值作为最后的测量结果返回上层应用程序。实践表明这种处理获得了良好的效果。

数据处理软件是运行于 Ring3 级的用户态程序,采用 Microsoft Visual C++ 6.0 编写,其主要功能是调用 VxD 驱动程序进行扫描测量,并接受驱动程序返回的测量结果,根据结果作出被测等离子体的伏安特性曲线,最后根据用户的需要计算等离子体的各种特性参数,如电子温度、离子温度等。

为了改善软件与用户的交互速度,数据处理程序采用了多线程技术^[5]。其中主线程创建用户界面,并等待用户的操作请求,响应用户选择菜单、点击按钮和工具条等消息,此外,它还负责测量结果的处理。为了启动一次测量过程,用户首先设置板卡的基址、扫描的起始电压和终止电压,然后选择相应的菜单项或者按钮启动测量,此时主线程打开设备加载驱动程序,创建一个事件,并调用未公开的 kernel32.dll API 服务 OpenVxdHandle(),将其转换为 ring0 级可用的事件句柄。接着主线程将这些参数通过 BEGIN_SCAN Ioctl 传递给 VxD,并创建一个辅助线程,然后主线程进入消息循环等待处理用户的其他操作。

辅助线程专门负责与驱动程序的数据交换。它从用户设定的起始扫描电压开始,发送 MEASURE Ioctl 请求

后就调用 WaitForSingleObjectEx 挂起;等驱动完成该点的电压电流测量后,线程被唤醒接受结果数据,并发送消息通知主线程刷新显示,将当前的测量结果显示在屏幕上;再进行下一个扫描点的测量,重复此过程直到用户设定的终止电压。

3 小 结

扫描电源是 Langmuir 探针诊断技术的关键设备。文中介绍了一种使用简便、成本低廉的扫描电源的设计,详细阐述了系统硬件和软件设计中的关键技术。目前,该套设备已经成功应用于等离子体物理教学与科研工作中,获得了用户的好评。

参考文献:

- [1] 谭永胜,王景峰,刘支华. Langmuir 探针电源的研究[J]. 长春理工大学学报,2003,26(1):63-64.
- [2] Apex Microtechnology. PA42 Datasheet[EB/OL]. <http://www.apexmicrotech.com>,2001.
- [3] 武安河,周利莉. Windows 设备驱动程序 VxD 与 WDM 开发实务[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [4] Hazzah K. Windows VxD 与设备驱动程序权威指南[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [5] Richter J. Windows 高级编程指南[M]. 北京:清华大学出版社,1999.