

# 离子风空气加速器的电源设计

王培养, 周砚江\*, 庄蒙蒙, 欧海平

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 针对电压微小波动对离子风空气加速器负载放电特性影响的问题, 设计了一款特殊的高压电源。电源的硬件电路设计包括主控制电路、功率场效应管(MOSFET)的驱动和保护电路、采样反馈电路、高压升压电路和多倍压整流电路; 软件设计包括主控芯片 PIC 的系统配置、脉宽调制(PWM)占空比及频率设定、主程序及中断子程序流程图。最后, 通过 Multisim10 软件的仿真及样机调试实验对设计的电源进行了评估。研究结果表明: 设计的电源实现了电压的微小波动, 为后续研究离子风空气加速提供了电源模块。

**关键词:** 离子风; 高压电源; 脉宽调制; PIC; 功率场效应管

中图分类号: TP273; TM832

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)04-0500-04

## Design of the voltage power supply of ionic wind air accelerator

WANG Pei-yang, ZHOU Yan-jiang, ZHUANG Meng-meng, OU Hai-ping

(School of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tec University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that load discharge characteristics of ionic wind air accelerator are affected by tiny fluctuations of the voltage, a special high-voltage power supply was designed. The main control circuit, the driving circuit and the protecting circuit for power metal oxide semiconductor field effect transistor(MOSFET), the sample feedback circuit, the circuit for high-voltage boost and the multiple times for the voltage and rectifier circuit were included in the hardware circuits design of the high voltage power supply. The system configuration of master chip PIC, the setting for the duty cycle and frequency of pulse width modulation(PWM) and the flow chart of main program and interrupt program were included in the software designs. The high voltage power supply was evaluated by the simulation by Multisim10 software and the experiment of prototype debugging. The results indicate that the designed power supply with tiny fluctuations of the voltage is achieved, which is as the power module for follow-up researching of ionic wind air speeding.

**Key words:** ion wind; high-voltage power supply; pulse width modulation(PWM); PIC; metal oxide semiconductor field effect transistor(MOSFET)

## 0 引言

20 世纪 20 年代, Brown 在做不对称电容器实验时, 发现当一对有特定几何结构的电极相对放置, 浸入绝缘介质中, 再加上合适的高压, 会产生一种试图移动装置的力, 这种现象被称为 Biefeld-Brown 效应。在 Biefeld-Brown 效应作用下, 如果装置可以自由移动, 将实现自我推进, 如飘升机<sup>[1-2]</sup>; 相反, 如果装置固定, 装置中的气体介质因受力而运动, 可以设计出基于 Biefeld-Brown 效应的气流加速装置, 如离子风发生器<sup>[3]</sup>。

在这样的离子风空气加速器中, 电源不仅提供了电晕极处气体放电的能量, 也影响电极间电场强度分布。Lee<sup>[4]</sup>和 Taylor<sup>[5]</sup>利用脉冲电压加在电极对上, 波形的占空比在 10% ~ 100%, 采用脉冲电压与恒定的

直流高压相比, 效率并没有减少。Sherman<sup>[6]</sup>研究了高频高压电源产生变化电压, 频率大约为 20 kHz。Weinberg<sup>[7]</sup>研究了适用于小体积、低速空气运动的窄脉冲高压供电装置。Krichtafovitch<sup>[8]</sup>公开了在电晕极上施加的高压上叠加一个微小的电压波动的技术, 使得在电极间能产生较大的电流波动。电压波动频率越高, 电流波动越大, 这将有利于提高离子风速。Lau 和 Taylor 等人<sup>[9-12]</sup>应用脉冲波形电压研究离子风空气发生装置。国内的周砚江等人<sup>[13]</sup>建立了 EHD 模型研究电极相关参数对离子风空气加速的影响。

为了研究电压波动对离子风空气加速的影响, 笔者设计了一种基于微机控制的离子风空气加速器高压驱动电源, 样机试验方案可行。

收稿日期: 2010-11-08

作者简介: 王培养(1985-), 男, 安徽阜阳人, 主要从事离子风空气加速方面的研究. E-mail: wpx0510@163.com

通信联系人: 周砚江, 男, 副教授, 硕士生导师. E-mail: zyj@zist.edu.cn

# 1 电源硬件电路整体框图及器件选择

电源硬件电路的总体框图如图 1 所示。基本工作原理如下:220 V 的单相交流市电经高频抗干扰电路滤除干扰后,一路通过变压、整流、滤波、稳压后输出 +12 V 直流电压,为功率 MOSFET 的驱动电路供电;再经稳压变换到 +5 V 直流电压,为微控制器供电。另一路直接经整流滤波电路输出 300 V 左右的直流电压,提供给功率场效应管(MOSFET),其在驱动信号作用下,将整流滤波后的直流电变成一定电压、频率和占空比的交流电,经高频脉冲变压器逆变升压后,再经 7 倍频电路放大供给离子风放电电极。微控制器产生高频脉宽调制(PWM)信号提供给功率 MOSFET 驱动模块控制功率 MOSFET 的通/断。通过软件以控制实现 MOSFET 输出电压的频率及占空比调节,达到输出具有微小波动的高压。

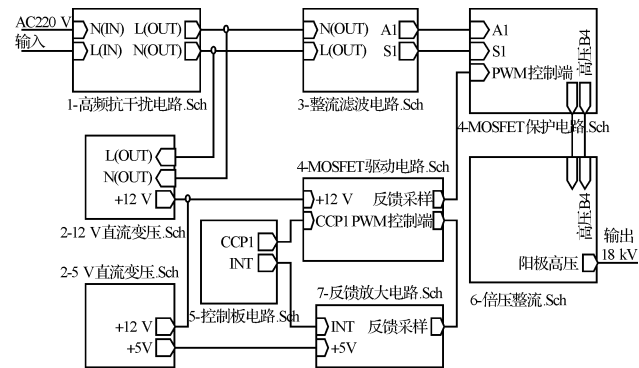


图 1 硬件电路的总体框图

微控制器选择具有 CCP 模块 PWM 模式的 PIC 单片机<sup>[14]</sup>,如 PIC16F627A,实现 PWM 调制输出、接收采样反馈信号、处理反馈中断、判断按键选择、控制指示灯显示等;开关器件选择功率 MOSFET;高压逆变器选择高压包升压,倍频电路选择二极管、电容组成的电路。

# 2 电路模块设计

## 2.1 主控制电路

主控制电路原理图如图 2 所示。AN1、AN2 为比较器模拟输入端,AN1 接按键输入,作为选择键。RB4~RB7 接 LED,作为输出指示灯。CCP1 输出 PWM,PWM 频率及占空比由软件设计,INT 中断输入端输入采样变换值。

## 2.2 功率 MOSFET 的保护和驱动电路

功率 MOSFET 是一种电压控制型全可控型器件<sup>[15-17]</sup>。在实际工作时,控制极上常常存在相当大的电容,在高速工作时,控制极上会存在较大的充电、放

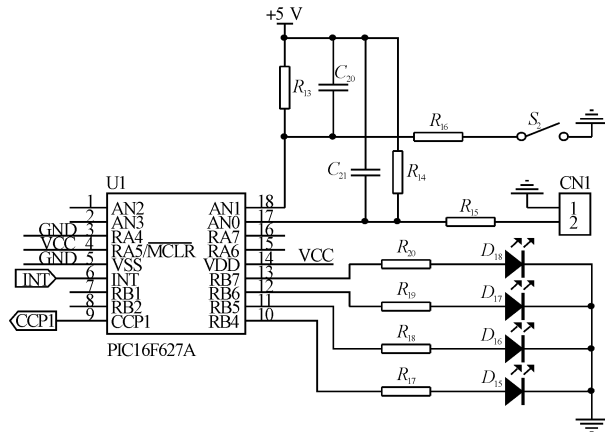


图 2 主控制电路原理图

电电流,因此,要有相应的保护电路。同时,功率 MOSFET 状态切换需要较强的驱动功率,尤其是在高速工作时,对驱动要求更高,因此,功率 MOSFET 控制极上需设计专门的驱动电路。

本研究通过 PIC 主控制电路的 CCP1 端口输出 PWM,经驱动电路放大后控制功率 MOSFET。功率 MOSFET 的驱动电路如图 3 所示。CCP1 接到 PIC 的 CCP1 端口,PIC 输出的 PWM 经电容  $C_{10}$  滤除直流干扰信号,再经三极管  $Q_2$  放大后,作为推挽式驱动电路的基极控制信号。MOSFET 的漏极 D 接到经整流滤波形成的 300 V 电压上,通过改变 PWM 的频率、占空比来控制功率 MOSFET 开关而实现输出电压的变化。电阻  $R_{26}$  是阻值很小的反馈采样电阻,其值为  $2.2 \Omega$ 。

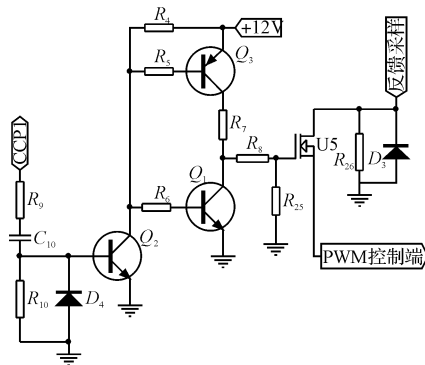


图 3 功率 MOSFET 的驱动电路

功率 MOSFET 的保护电路如图 4 所示,通过电阻  $R_{11}$ 、 $R_{12}$ ,二极管  $D_{13}$ 、 $D_{14}$  及电容  $C_{19}$  构成灌电流、拉电流保护电路。 $A_1$  接整流滤波后的 300 V 电压, $S_1$  输入的 300 V 电压经保护电路后,连接到 PWM 控制端,通过 PWM 控制作为开关电源的开关,接到高频高压开关电源的  $T_4$  输入端(使用的是高压包),实现升压变换。由于高压包及 MOSFET 的瞬时电压、电流较大,要求二极管  $D_{13}$  和  $D_{14}$  具有较高反向耐压值,如选择 UF5408,其反向耐压为 1 000 V。

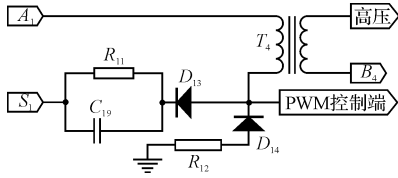


图 4 功率 MOSFET 的保护电路

### 2.3 采样反馈电路

采样反馈的目的是控制输出电压在电晕放电的起晕电压和击穿电压之间。当输出电压在电晕放电允许的电压范围内时,离子风空气加速器正常运行,不做任何处理,一旦输出电压高于或者低于电晕放电的电压范围时,就会产生中断信号,可通过软件调节放电过程。

经电阻  $R_{26}$  (如图 3 所示)采样的电流,通过如图 5 所示的采样反馈电路处理,可实现采样电流转换为满足 PIC 单片机 I/O 要求的电压电流值的数字输入。

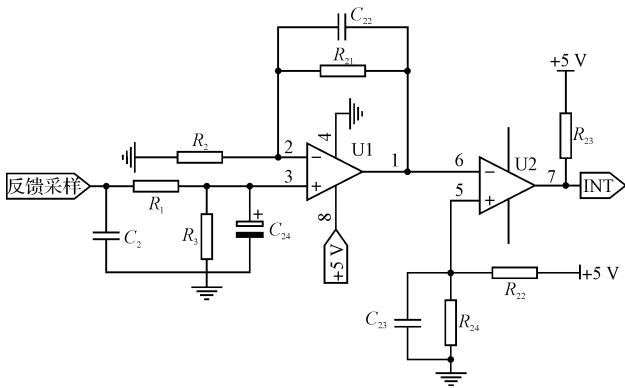


图 5 采样反馈电路

### 2.4 高压升压电路

高频变压器使用行输出变压器,俗称高压包。如图 4 所示的  $T_4$ ,输入一端连接到  $A_1$ ,300 V 电压,另一端连接到  $S_1$  经过保护电路及 MOSFET 开关电路的 PWM 控制端,输出一端为阳极高压,另一端  $B_4$  接地。

### 2.5 倍压整流电路

高压包输出电压不需要经过如图 6 所示的倍压电路进一步倍压整流。仅通过电容、二极管倍压整流电路,实现 3 倍压。

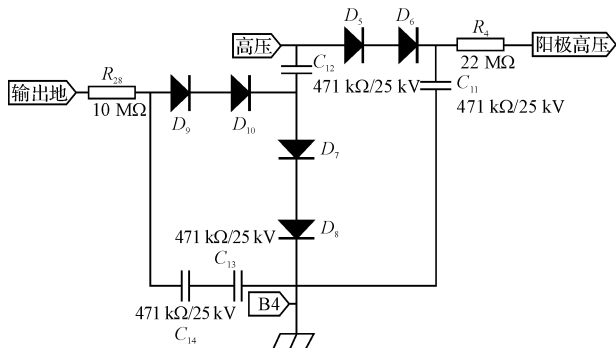


图 6 倍压整流电路

## 3 软件的设计

电源系统的软件设计主要包括:系统时钟配置、PIC 的 I/O 口功能配置、PWM 的设定、中断处理等。

配置 RA0、RA1 为比较器输入功能,使用比较器中断,反馈信号通过 INT 引脚产生中断输入信号。RA0 口作为按键输入端,按键次数循环周期为 4,通过点亮对应的 PORTB4 ~ PORTB7 端口的的外接指示 LED,从而执行相应的波形控制程序,这样设计可以实现在其他条件不变的情况下,多路选择 PWM 波参数,有利于对比实验。

通过控制 PWM 的频率来调制输出的高压变化。实际高压的设置根据具体的离子风空气加速器结构参数而定。在 PWM 脉宽不变的情况下,改变 PWM 输出信号的周期,以实现电压的微小波动。主程序流程图如图 7 所示。中断处理流程图如图 8 所示。

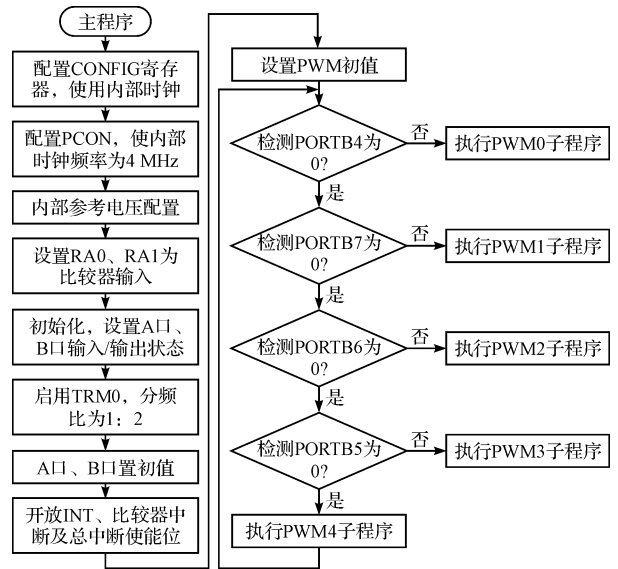


图 7 主程序流程图

图 8 中断处理流程图说明:中断源(左)是处理反馈信号中断过程;中断源(中)是按键选择过程,按键选择通过 RA0/RA1 的比较中断实现;中断源(右)是扩展中断,为后续的传感器判断电晕极是否正常工作服务。

$W$  的选择通过按键中断实现,其中 0、1、2、3 分别对应着工作方式的选择,不同的工作方式对应着控制 PWM 的周期,其值分别为  $40 \mu s$ 、 $46 \mu s$ 、 $50 \mu s$  和  $55 \mu s$ 。

## 4 仿真及实验验证

在 Multisim10 中仿真,使用脉冲信号电压源代替实际 PIC 控制输出的 PWM,频率 20 kHz,占空比 50%,高压包通过放大倍数 170 倍的变压器代替,仿真

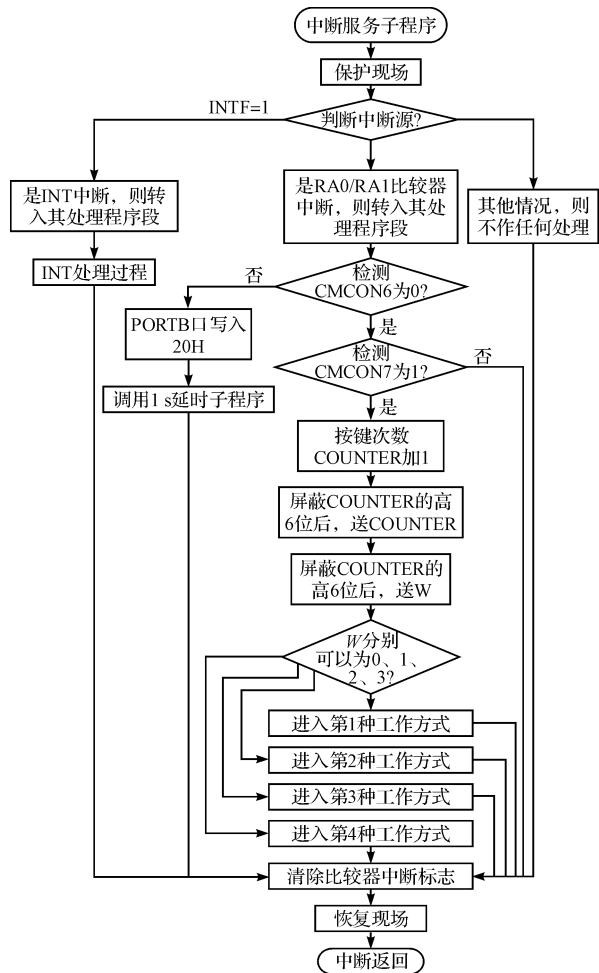


图8 中断处理流程图

结果如图9所示,电压最小值17.593 kV,最大值18.348 kV,变化幅值约为755 V。

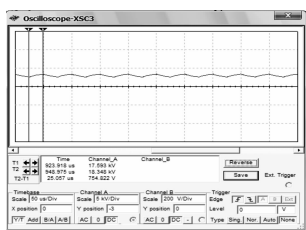


图9 仿真电压波形及参数

在220 V市电输入情况下,样机电源连接一个阻值为10 MΩ,耐压值为30 kV的电阻作为分压保护电阻;通过阻值为510 Ω,精度为1%的电阻采样;通过软件的设计,是PWM的频率为17.24 kHz,占空比为43.9%,采样输出电压波形如图10所示。

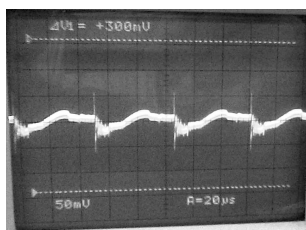


图10 实验测得电压波形1

## 5 结束语

本研究设计了一种应用于研究离子风空气加速的特种高压电源,电源硬件部分包括:对市电的AC/DC变换电路,功率MOSFET的开关逆变电路,高压包的升压部分和倍压整流电路。通过设计主控芯片的软件,实现了按键选择、功能指示和PWM设计等,通过Multisim仿真及实验证实了设计方案可行。此电源应用于研究电压微小变化对离子风空气加速器负载放电特性的影响。改变电源直流偏压上叠加的微小变化的交流分量的频率和幅值,可以改变放电回路电流的交流分量,进而影响离子风空气加速器的风速,为下一步研究电压对离子风空气加速的影响提供了平台。

### 参考文献 (References):

- [1] 江兴流,易立志,刘锐,等.电晕放电飘升机研究[J].航空学报,2005,26(6):682-685.
- [2] ZHAO Lin, ADAMIAK K. Numerical analysis of forces in an electrostatic levitation unit[J]. *Journal of Electrostatics*, 2005, 63(6-10):729-734.
- [3] BROWN T T. Fluid Flow Control System; US, 3518462 [P]. 1970-06-30.
- [4] LEE J L. Electrokinetic Transducing Methods and Apparatus and Systems Comprising or Utilizing the Same; US, 4789801 [P]. 1988-12-06.
- [5] TAYLOR C E. Electro-kinetic Air Transporter-conditioner; US, 6176977B1 [P]. 2001-01-23.
- [6] SHERMAN D M, WILKINSON S P, ROTH J R. Paraelectric Gas Flow Accelerator; US, 6200539B1 [P]. 2001-03-13.
- [7] WEINBERG S, ANGELES L. Portable Personal Corona Discharge Device for Destruction of Airborne Microbes and Chemical Toxins; US, 5814135 [P]. 1998-09-29.
- [8] KRICHTAFOVITCH I A. Method and Apparatus for Electrostatic Fluid Acceleration Control of a Fluid Flow; US, 666474B1 [P]. 2003-12-16.
- [9] REEVES J P, LAU S F, PARKER A J. Electrode Self-cleaning Mechanism for Air Conditioner Devices; US, 7056370B2 [P]. 2006-06-06.
- [10] LAU S F, PARKER A, SNYDER G S, et al. Electrode self-cleaning Mechanisms with Anti-arc Guard for Electrokinetic Air Transporter-conditioner Devices; US, 7220295B2 [P]. 2007-05-22.
- [11] TAYLOR C E, LAU S F. Air Conditioner Devices; US, 7662348B2 [P]. 2010-02-16.
- [12] TAYLOR C E, LEE J L. Air Treatment Apparatus having Multiple Downstream Electrodes; US, 7695690B2 [P]. 2010-04-13.
- [13] 周砚江,毛晓靖,胡一帆,等. EHD空气泵气流加速分析[J]. 机电工程, 2010, 27(2):61-63.
- [14] 刘启中,李荣正,王力生,等. PIC单片机原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [15] 林欣. 功率电子技术[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [16] 周志敏,周纪海,纪爱华. 开关电源实用技术-设计与应用[M]. 2版. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [17] 路秋生. 开关电源技术与典型应用[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

[编辑:张翔]