

文章编号:1001-1609(2003)02-0010-03

# 室内空气净化用高压窄脉冲电源的研究

原乃武, 荣命哲, 曾 征, 闫治安, 袁兴成, 王小华

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

## RESEARCH ON NARROW PULSE HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY FOR INDOOR AIR PURIFICATION

YUAN Nai-wu, RONG Ming-zhe, ZENG Zheng, YAN Zhi-an, YUAN Xing-cheng, WANG Xiao-hua

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**摘要:** 介绍了目前国际上较先进的低温非平衡态等离子体空气净化技术。开发的两种产生低温非平衡态等离子体的电源具有成本低、体积小等优点,适用于室内空气净化。讨论了一些影响放电电压大小及频率的电源参数,如供电电压、控制信号占空比、振荡电路的电阻和电容等。

**关键词:** 低温非平衡态等离子体;室内空气净化;电源

**中图分类号:** TM919

**文献标识码:** A

**Abstract:** An internationally advanced air purification technique by non-equilibrium plasmas is introduced. Two types of power supply generating non-equilibrium plasmas are developed and suitable for application of indoor air purification due to small size and low cost. Some factors affecting the frequency and magnitude of power supply, such as supply voltage, duty of control signal, the resistance and capacitance of oscillation circuit are discussed.

**Key words:** non-equilibrium plasmas; indoor air purification; power supply

## 1 前言

空气质量和人们的日常生活息息相关,现代工业的发展使得空气中的污染物日益变得复杂而多样。特别是空气中的硫氧化物、氮氧化物及苯类等有害气体分子对人体危害很大,且用传统的净化方法,如吸附法、洗涤法、静电除尘法等存在净化不彻底、可重复性差等问题<sup>[1]</sup>,已不能适应空气净化的需要。20世纪80年代末,增田闪一教授首先提出的脉冲电晕放电等离子体净化技术(PPCP),有净化彻底、净化范围广、可重复使用等优点<sup>[2]</sup>,十几年来在国际上得到日益重视,在国内也有许多科研单位在这方面做出了卓有成效的研究工作<sup>[3-5]</sup>,但多数停留在探索式的研究阶段。这一技术应用于实践也多用在工矿企业的大型净化设备上<sup>[6]</sup>。笔者所研制的非平衡态

等离子体净化装置具有体积小、成本低等优点,适于室内空气中有害气体的去除净化,利于该技术广泛推广,有较高的应用价值和社会意义。

## 2 低温非平衡态等离子体净化技术

低温非平衡态等离子体净化技术利用高压窄脉冲电晕放电,在空气中离解出大量电子和离子,在强梯度电场作用下,由于电子的质量远远小于离子质量,电子的加速度远大于离子加速度,窄脉冲短时间放电结束后,电子运动速度远大于离子的运动速度,即电子温度远高于离子温度,称之为非平衡态。又由于占等离子体主体的离子温度保持常温,因此属于低温等离子体,所以称低温非平衡态等离子体<sup>[1]</sup>。这一技术去除空气中有害分子主要通过两种途径:①利用非平衡态等离子体中的高能粒子直接打开气体分子键生成一些单原子分子和固体微粒;②激发出大量 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{HO}_2$ 、 $\cdot\text{O}$ 等自由基,这些自由基与 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 等有害分子反应生成 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$ 等<sup>[1,7]</sup>。

## 3 高压窄脉冲放电电源的研制

### 3.1 数字触发式电源

#### 3.1.1 工作原理

控制单元是以555芯片为核心的脉冲发生电路,脉冲信号的占空比和脉冲发生频率可通过电路调节。高压发生部分主要由场效应管、变压器及电容等组成,供电电源为12~24V可调电源。控制单元需要稳定的电源供电,故通过电源转换单元给其供电。控制信号发生单元所输出的脉冲信号,通过控制信号放大单元放大,以驱动场效应管正常开关。图1中A点的脉冲信号波形如图2所示。当脉冲信号的高电平信号到来时,场效应管瞬间导通,电流流过变压器原边,产生较大的电流变化率 $di/dt$ ,在变压器

收稿日期:2002-10-27; 修回日期:2002-12-28

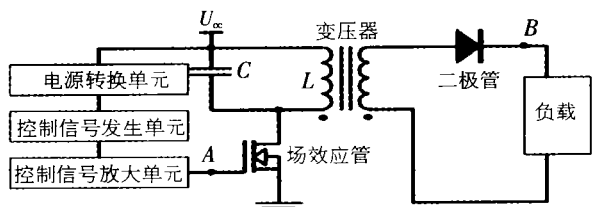


图1 数字触发式电源示意图

副边产生一较大的电压：

$$U = nL(di/dt) \quad (1)$$

其中： $U$  为变压器副边的放电电压， $n$  为变压器变比， $L$  为变压器原边电感大小。

在场效应管开通过程中，变压器原边储存能量，当脉冲信号转换为低电平时，场效应管关断，储存在变压器电感中的能量通过电容释放，但由于变压器副边二极管的作用，放电电压未形成振荡。通过衰减 1 000 倍的 Tektronix P6015A 高压探头和 Tektronix 460A 示波器记录图 1 中  $B$  点放电电压波形如图 3 所示，电压峰值大于 20 kV，脉冲上升时间 3  $\mu$ s，符合产生低温非平衡态等离子体的条件。

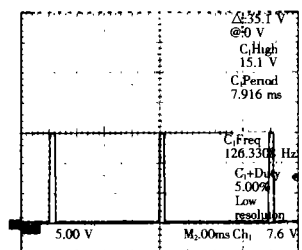


图2 场效应管控制信号波形图

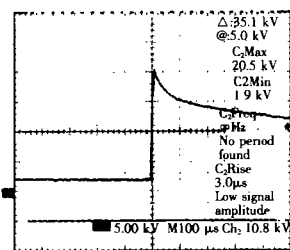


图3 放电电压波形图

### 3.1.2 控制信号占空比对放电电压的影响

通过调节控制信号发生单元的有电参数，可以调节场效应管脉冲控制信号占空比的大小，进而改变场效应管开通过关断的时间。改变占空比大小的同时，测量变压器副边放电电压波形，其关系如图 4 所示。放电电压的最小值  $U_{min}$  随占空比变化的不明显，放电电压的最大值  $U_{max}$  随占空比变化比较明显。当占空比约为 5% 时， $U_{max}$  达最大，有利于非平衡态等离子体的产生。当占空比过小，则场效应管导通时间过短，电流流过变压器原边储能不够，不能在副边反击出足够高的电压。占空比过大，则电流流过场效应管时间过长，场效应管发热量过大，影响其工作性能，进而使电源工作不稳定。当占空比大于 10% 时，电源发热量急剧上升，工作很不稳定。

### 3.1.2 供电电压大小对放电电压的影响

改变图 1 中供电电压  $U_{cc}$  的大小，也对放电电压的大小有较明显的影响。图 5 给出了放电电压大小与供电电压的对应关系。 $U_{min}$  随输入电压的变化不明显， $U_{max}$  随输入电压的增大而增大。因为电源电

路里电流随供电电压的增大而增大，电流的增大使得场效应管导通时，变压器能存储更多的能量，使变压器副边激励出更高的放电电压。但是，供电电压的上限受高压窄脉冲电源承受能力的限制，过高则引起电源发热，工作不稳定。

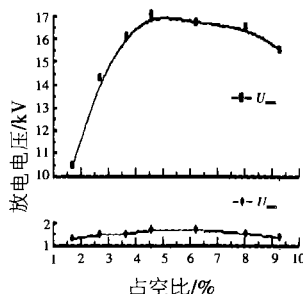


图4 控制信号占空比与放电电压的关系

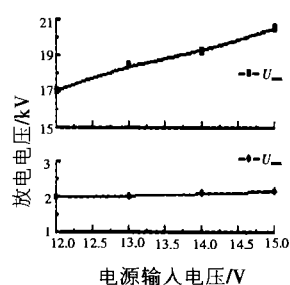


图5 供电电压与放电电压的关系

## 3.2 模拟振荡式电源

### 3.2.1 工作原理

如图 6 所示，振荡发生单元利用  $RC$  及各种晶体管在电路中产生自激振荡，从而使达林顿晶体管周期性开断。对控制信号影响较大的参数有振荡电路中的电阻  $R$  和电容  $C$ ，此外， $U_{cc}$  处的供电电压对负载端放电电压也有较大的影响，具体情况将在 3.2.2 和 3.2.3 节中讨论。当达林顿晶体管导通时，电流流过变压器原边，在变压器原边的电感内储能，当振荡电流信号为低电平，达林顿晶体管关断，则能量通过电流流动在  $C_5$  和变压器原边电感  $L$  间进行转换。每当电流流过变压器原边时，负载端的电压  $U$  同 3.1.1 中原理，可由式(1)计算。

与 3.1 节中介绍的反激电路不同，该电路的负载端没有串联二极管，当能量在  $C_5$  和  $L$  间转换时，则负载端电压  $U$  随之成周期性的振荡趋势，波形如图 7 所示，电压峰值大于 26 kV，脉冲上升沿时间 52  $\mu$ s。

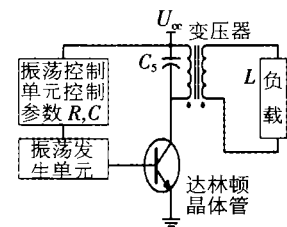


图6 模拟触发式电源示意图

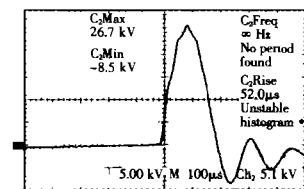


图7 放电电压波形图

### 3.2.2 放电电压与 RC 的关系

如图 8 所示， $R, C$  为振荡回路中相应的控制参数，其大小影响振荡控制信号的频率。在  $C$  不变的情况下，增大  $R$ ，则在相同电压下，回路中电流减小，对电容的充电时间延长，故振荡信号的频率降低。当电阻  $R$

恒定,增大电容  $C$ ,则由于电容量增加,对同样的充电电流来讲,充电时间延长,所以振荡信号的频率下降。

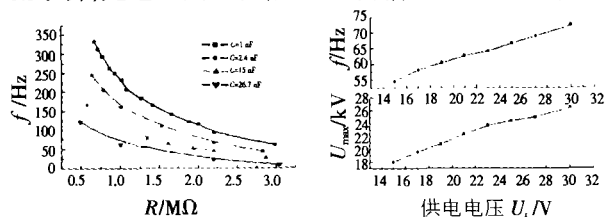


图8 放电频率  $f$  与  $RC$  的关系

### 3.2.3 放电电压与供电电压的关系

如图9所示,当供电电压增大时,  $U_{\max}$  和频率  $f$  都相应的增加。因为供电电压增大时,在其它电参数不变的情况下,电路中的充电电流增大,对电容的充电速率加快,振荡信号的频率随之增加。同样,在供电电压增大,如图6所示,当达林顿晶体管导通时,流过变压器原边线圈的电流速率和大小都随之增大,则由式(1)可知,  $U$  随之增大。

### 3.3 试验

应用研制的高压脉冲电源,初步进行了清除空气中  $\text{SO}_2$  的试验,并证实了该电源的有效性。所用的试验箱为  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.5\text{m}$  的密封有机玻璃箱。在试验箱内,自然衰减情况下,  $\text{SO}_2$  含量从  $50\text{mg}/\text{m}^3$  降到  $10\text{mg}/\text{m}^3$  所需时间约为  $1\text{h}$ ;而将电源电压加在由3根放电针和两块电极板构成的针板状电极上(其中针尖到极板的距离为  $35\text{mm}$ )进行净化的情况下,  $\text{SO}_2$  含量从  $50\text{mg}/\text{m}^3$  降到  $10\text{mg}/\text{m}^3$  所需的时间为  $30\text{min}$ 。试验结果如图10所示。

## 4 结论

低温非平衡态等离子体技术是国际上较先进的空气净化技术,目前处于研究探索阶段。开发的两种低温非平衡态等离子体发生电源具有成本低、体积小等优点,适用于室内空气净化。

(上接第12页)

制光纤传输系统来传输信号。通过481型重复脉冲电压发生器对该测量系统进行了整机试验,给出了雷电冲击和操作冲击电压响应。结果显示,该系统刻度因子线性度在  $\pm 0.15\%$  内。

### 参考文献:

[1] M Ishii, W Liao. Numerical Electromagnetic Analysis of Impulse Voltage Measuring Systems[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1999, 14(4): 1228-1233.

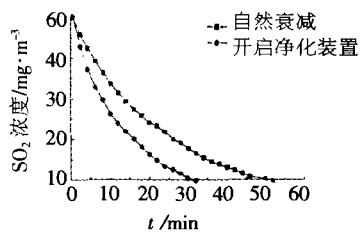


图10 电源对  $\text{SO}_2$  的净化效果

数字式触发电源的放电频率可通过调节数字控制信号频率来实现,放电电压在控制信号占空比约为5%时达最大值。随着供电电压的增加,放电电压最大值也随之增大。

模拟振荡式电源放电电压的频率随着振荡参数  $R$  和  $C$  的增大而减小,放电电压的最大值随着供电电压的增大而增大。

### 参考文献:

[1] 孙亚兵,任兆杏. 非平衡态等离子体技术在环境保护领域的应用[J]. 环境科学研究, 1998, 11(4): 24-26.  
 [2] Senichi Masuda. Pulse Corona Induced Plasma Chemical Process[J]. Pure Applied Chem., 1988, 60(5): 727-731.  
 [3] 翟景升,许德玄,田立君. 窄脉冲电晕等离子体烟气脱硫产物收集研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20(5): 642-644.  
 [4] 白希尧,白敏冬,依成武,等. 脉冲活化一次全部治理  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  和烟尘研究[J]. 环境科学研究, 1995, 8(3): 1-5.  
 [5] 李胜利,李劲,李端娇,等. 脉冲放电等离子体催化脱硫技术的试验研究[J]. 华中理工大学学报, 2000, 28(5): 98-100.  
 [6] 周黎明,马虹斌. 非平衡放电等离子体治理有害气体[J]. 环境污染与防治, 1996, 18(6): 16-18.  
 [7] 何正浩,李劲,廖敏夫,等. 脉冲电晕加氨脱硫氮活化实验研究[J]. 高电压技术, 2000, 26(3): 19-20.

作者简介:原乃武(1978-),男,硕士生,主要从事环保电器和智能电器的研究。

[2] IEC 60060-2. High Voltage Test Techniques Part 2: Measuring Systems[S]. 1993.  
 [3] T Harada, T Wakimoto, S Sato, et al. Development of National Standard Class Reference Divider for Impulse Voltage Measurements [A]. Proceedings of 11th ISH[C], London, 1999.

作者简介:赵中原(1974-),男,博士研究生,研究方向为电力设备光电测量和高压直流输电绝缘配合。