

低成本微型臭氧电源的设计

梁艳, 孙陈国

(盐城工学院 实验教学部, 江苏 盐城 224051)

摘要: 为节省制造成本, 采用 Royer 电路作为微型臭氧发生器的主电路。分析了臭氧发生器的等效电路, 介绍了 Royer 电路驱动臭氧发生器的工作原理及臭氧产量调节的方法。采用 AVR 单片机作为系统的主控芯片, 给出了系统总体控制方案, 介绍了脉冲宽度调制 (PWM) 信号的产生过程。制作了一台试验样机, 实验结果表明, 整体方案设计合理, 电路运行稳定可靠。

关键词: 臭氧发生器; Royer 电路; PWM; 单片机

中图分类号: TM 910

文献标识码: A

文章编号: 1002-087X(2011)07-0841-03

Design of a low cost tiny ozone generator

LIANG Yan, SUN Chen-guo

(Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: For saving cost, Royer circuit was used as the main circuit in a tiny ozone generator. The equivalent circuit of ozone generator was analyzed. The working principle of ozone generator with Royer circuit was introduced, and also the adjusting method of ozone production was given. AVR single microcontroller was used as the control chip in ozone system. The synthesis control strategy was given. The formation process of PWM signal was analyzed in detail. A prototype was developed. The experiment results show that the total design scheme is reasonable and the circuit is safety in operation.

Key words: ozone generator; Royer circuit; PWM; single microcontroller

臭氧 (O_3) 是氧的同素异形体, 它是一种具有特殊气味的淡蓝色气体, 其广泛应用于工业污水处理、自来水与果蔬消毒、泳池消毒、工业去色等领域^[1]。目前中、大功率场合制取臭氧使用最多的电路是全桥型电路或者半桥型电路, 利用升压变压器的漏感与臭氧发生器的介质阻挡电容和气隙电容发生谐振, 从而在臭氧发生器两端达到击穿气隙的电压来制取臭氧。采用的控制方法通常是普通的 PWM 控制方式^[2]或者移相 PWM 控制方式^[3], 通过调节占空比或者调节移相角就可以调节臭氧的产量。

微型臭氧的制作成本较严, 否则无法在激烈的市场竞争中立足。采用全桥或者半桥型电路的臭氧发生电源不光主电路成本较高, 而且控制电路复杂, 需要专门的功率管驱动电路, 这使得此种方案很难在微型臭氧的制取场合推广应用。Royer 电路较多的用在冷阴极荧光灯驱动电路中^[4], 但还未见到将 Royer 电路应用于臭氧的制取。本文首次提出采用 Royer 电路作为微型臭氧制取的主电路, Royer 电路只需在升压变压器上多加一驱动绕组, 无需额外增加专门的驱动电路, 大大节省了制作的成本。但是在臭氧发生器负载固定时, Royer 电路无法调节臭氧的产量, 本文提出利用单片机产生的 PWM 信号控制 MOSFET 的方法调节臭氧产量。实验结果表明, 该

方案成本较低且控制方便。

1 微型臭氧发生系统主电路的设计

图 1 给出了微型臭氧发生系统的主电路, 它是由一个 Royer 电路与一个 MOSFET 开关管构成。Royer 电路是一个自激推挽振荡电路, 包括两个三极管 Q1 和 Q2、一个阻尼电感 L 、谐振电容 C 以及具有四个绕组的升压变压器 T , 一般情况下 $N_{w1} = N_{w2}$ 。阻尼电感 L 为变压器原边的中心抽头提供一个高交流输入阻抗。臭氧发生器直接接在变压器的 W4 绕组上。开关管 Q3 受 PWM 信号控制, 用来控制 Royer 电路处于工作或者停止状态。

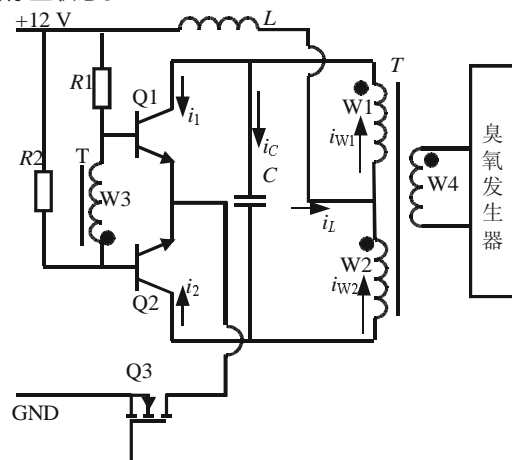


图 1 微型臭氧发生器的主电路

收稿日期 2011-01-13

作者简介: 梁艳(1974—), 女, 江苏省人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为逆变器并联技术。

1.1 臭氧发生器的等效电路

工业中应用最为广泛的臭氧制取方法为介质阻挡放电法,介质阻挡放电又叫无声放电,是有绝缘介质插入放电空间的一种气体放电,介质可以覆盖在电极上或悬挂在放电空间。图2给出了目前工业中应用最为广泛的管式臭氧发生器的截面结构。

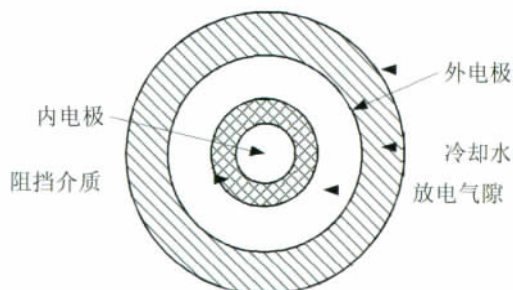


图2 管式臭氧发生器截面图

正常工作时,在内、外电极上加高压交流电,并通以一定气压的空气或者氧气。可以将内、外电极之间的阻挡介质和气隙看成是由介质阻挡电容 C_{d0} 和气隙电容 C_g 相串联,在制作臭氧发生器时,为了易于产生臭氧,气隙电容一般为介质电容的 1/3 到 1/4。当气隙电容 C_g 两端电压低于放电电压 U_{d0} 时,无臭氧产生;当气隙电压等于放电电压 U_{d0} 后,气隙被击穿,合成臭氧,并且气隙电容 C_g 两端电压维持在放电电压 U_{d0} 。因此臭氧发生器的等效电路如图3所示。因此,臭氧发生器在气隙击穿和未击穿时的负载不同。

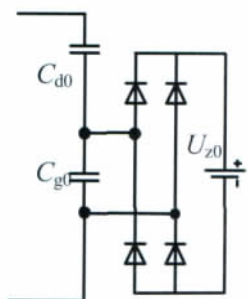


图3 管式臭氧发生器等效电路

1.2 Royer 驱动电路原理

Royer 电路的工作波形如图4所示。可以看出每个周期中 Q1 和 Q2 两个三极管各导通截止一次,即一个周期中电路有两个工作模式以及两个三极管导通、截止的换流过程。

根据图1中的电流关系,得:

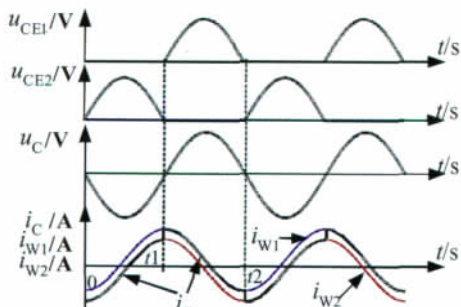


图4 Royer 电路工作波形

$$i_1 = i_{W1} - i_{W2} \quad (1)$$

而阻尼电感 L 一般情况下较大,在 Royer 电路的一个工作周期内基本不变,因此 i_{W1} 和 i_{W2} 的波形之间差值恒定,如图4所示的 Royer 电路工作波形。

(1)电路启动(0时刻)

由于 Q1 和 Q2 两个三极管性能不可能完全一致,所以在 Royer 电路通电瞬间(0时刻),电源向 Q1 和 Q2 两个三极管提供的基极电流不可能绝对平衡,那么两个三极管的集电极电流也不可能完全相等,假设 $i_1 > i_2$,则变压器铁芯的磁通方向由 i_1 决定,而磁通的变化在 W3 绕组上产生相应的感应电势,图1中 W3 绕组上标“·”端的电势低于另外一端。该感应电势使得 Q2 基极电势下降,Q1 基极电势上升,从而对 Q1 形成正反馈,对 Q2 形成负反馈,那么 i_1 越来越大, i_2 越来越小。 i_1 和 i_2 合成的磁通也越来越大,最终在 W3 绕组上产生的感应电势使 Q1 饱和导通,而使 Q2 截止。以上过程是瞬时完成。

(2)谐振过程 1(0~t₁)

Q1 饱和导通,Q2 截止后,变压器原边绕组 W1 和绕组 W2 的自感与电容 C 发生谐振,谐振电容电压为:

$$u_c = -\sin\omega t \quad (2)$$

式中: $\omega = \sqrt{\frac{1}{4L_p C}}$,变压器绕组 W1 和绕组 W2 的自感都为 L_p 。

此过程中,谐振电流等于流经绕组 W2 的电流,因此:

$$i_c = i_{W2} \quad (3)$$

在 t_1 时刻,谐振电容电压谐振到 0,本过程结束。

(3)三极管换流(t₁时刻)

一旦谐振电容电压大于 0,则变压器 W3 绕组感应出电势,标注“·”的一端电势高于另一端。该感应电势使得 Q1 基极电势下降,Q2 基极电势上升,从而对 Q2 形成正反馈,对 Q1 形成负反馈,那么 i_2 越来越大, i_1 越来越小。 i_1 和 i_2 合成的磁通也与原来反向,最终在 W3 绕组上产生的感应电势使 Q2 饱和导通,而使 Q1 截止。同启动过程一样,以上过程也是瞬时完成的,即对应于图4中电容电流从 i_{W2} 突变到 i_{W1} 的时刻。

(4)谐振过程 2(t₁~t₂)

此过程类似谐振过程 1,电容的电压表达式同式(2),不过谐振电流等于流经绕组 W1 的电流,因此:

$$i_c = i_{W1} \quad (4)$$

在 t_2 时刻,谐振电容电压谐振到 0,本过程结束。

1.3 臭氧产量的调节

图1中的开关管 Q3 采用 PWM 控制,通过调节 Q3 的开通占空比就可以调节 Royer 电路的工作时间,从而调节臭氧的产量。PWM 控制方式下的电路工作波形如图5所示。定义占空比 D :

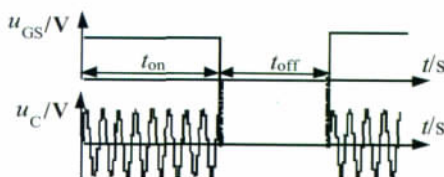


图5 PWM 控制示意图

$$D = t_{on} / (t_{on} + t_{off}) = t_{on} / T \quad (5)$$

为保证 Royer 电路正常工作, PWM 控制信号的周期应远远大于 Royer 电路的谐振频率, 即 $T \gg (2\pi/\omega)$ 。

2 控制显示电路的设计

因为臭氧产生的主电路为 Royer 电路, 一旦电路设计完成, Royer 电路将不受控制, 因此臭氧产量需通过调节 Q3 的开通关断时间比来实现。采用的主控芯片为 Atmel 公司生产的 Atmega48 V 型单片机, 它是基于增强的 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器, 并且集成了 A/D 功能, 其价格也相对便宜。臭氧发生器的控制显示示意图如图 6 所示。将电位计的调节电位送至单片机的 A/D 口, 通过程序处理, 将单片机的模拟信号转换为数字信号, 并根据该数字信号的大小在单片机输出接口上得到对应占空比的 PWM 信号。一旦 PWM 信号的占空比确定, 臭氧的产量基本也就确定, 通过 LCD 液晶显示器显示出当前的臭氧产量。

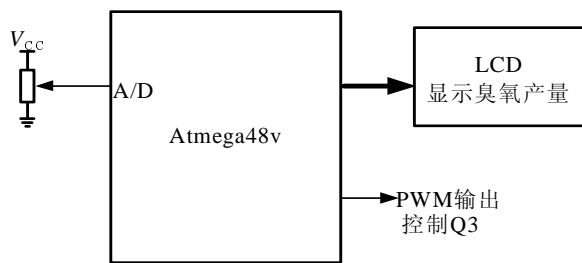


图 6 单片机控制显示框图

因为控制 Q3 导通与关断的 PWM 信号周期较大, 采用 AVR 内部的计时器产生的 PWM 信号的周期不能满足要求, 因此 PWM 信号的产生流程如图 7 所示。图中, A 代表模数转换所得的数字量最大值 (对应模拟量 VCC) 的百分之一, D 代表 PWM 信号周期的百分之一, PB0 代表 PWM 信号的输出口。根据流程图, 将 PWM 信号的周期 100 等份, 根据电位计的模拟电压得到的数字信号决定 PB0 端口在 100 等份中高电平和低电平的比例, 从而在 PB0 端口得到占空比可调的 PWM 信号, 其调节精度为 $T/100$ 。

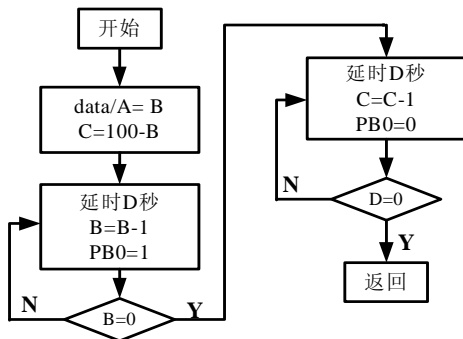


图 7 单片机控制流程图

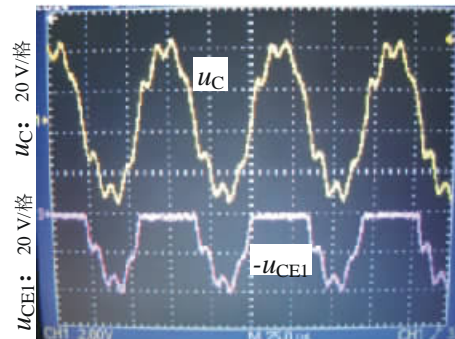
注意, 在选择 PWM 信号的周期 T 时, 其大小不能太大, 也不能太小。如果 T 太小, 则 Royer 电路启动停止太频繁; 如果 T 太大, 则臭氧发生器给人造成断续工作的感觉。本文中 $T = 0.2 \text{ s}$ 。

由于送至开关管 Q3 的 PWM 信号频率非常低, 因此可以直接利用该信号加驱动电阻的方式驱动 Q3 管, 而对单片机

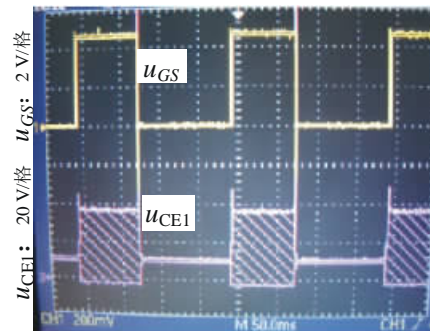
和 Royer 电路的性能没有影响。

3 实验结果

根据以上设计, 设计了一台基于 Royer 电路的微型臭氧发生器, 电路的实验波形如图 8 所示。



25 μs /格
(a) 谐振电容与 Q1 工作电压波形



50 ms/格
(b) PWM 与 Q1 工作电压波形
图 8 系统工作波形

图 8(a) 给出了谐振电容电压 u_c 和三极管 Q1 的发射极与集电极之间的电压 u_{CE1} 。可以看出, Royer 电路工作稳定。因为臭氧发生器在气隙击穿和未击穿时 Royer 电路的负载不一致, 因此谐振电容电压波形不完全是正弦波。图 8(b) 给出了单片机输出的 PWM 波形和三极管 Q1 集电极与发射极之间的电压, 可以看出, 单片机输出高电平时, Royer 电路振荡, 臭氧发生器产生臭氧, 当单片机输出低电平时, Royer 电路停止工作, 臭氧发生器不产生臭氧。

4 结论

为保证微型臭氧发生器在市场上的竞争力, 采用低成本的 Royer 电路作为臭氧发生器的主电路; 为保证臭氧产量连续可调, 采用 AVR 单片机输出的 PWM 信号控制 Royer 电路按规律的周期启动和停止。实验结果表明, 该电路工作稳定, 制造成本相对于其它方案要低。

参考文献:

- [1] 徐学基, 诸定昌. 气体放电物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996.
- [2] 黄玉水, 吕宏, 王立乔, 等. 臭氧发生器电源中容性控制的研究[J]. 高压技术, 2002, 28(10): 41-43.
- [3] HOTHONGKHAM P, KINNARES V. Analysis and modeling of an ozone generator using a phase-shift PWM full bridge inverter[C]// International Conference on Robotics and Biomimetics. Bangkok: IEEE, 2008: 1619-1624.
- [4] 王守志. LCD 背光照明 CCFL 罗耶(Royer)谐振变换器设计[J]. 电子器件应用, 2008, 10(1): 36-39.