

基于压电变压器的高压发生器的研究

龚旭,王丛岭,常波

(电子科技大学 电力电子系,四川 成都 6111731)

摘要:该文提出了一种用于离子风枪的基于压电变压器实现高压发生器的设计方法,此法有利于高压发生器的小型化。描述了压电变压器相关特性,并给出了压电变压器外围电路(输入驱动电路、输出倍压电路、反馈电路)相关设计的理论基础和设计方法。利用软件仿真验证此法的可行性。

关键词:高压发生器;压电变压器;驱动电路;反馈控制电路;脉宽调制和锁相环控制联合控制

中图分类号:TM51 **文献标识码:**A

Study on HV Generator Based on Piezoelectric Transformer

GONG Xu, WANG Congling, CHANG Bo

(Dept. of Power Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chendu 611731, China)

Abstract: A HV generator based on piezoelectric transformer for the ionizer gun has been designed in this work. This method is favorable to realizing the miniaturization of HV generator. The properties of the piezoelectric transformer have been discussed. The design theory and method of the external circuit including the driving circuit, output doubling circuit and feed-back circuit have been presented. The feasibility of the method has been verified by using the software simulation.

Key words: HV generator; piezoelectric transformer; driving circuit; feed-back circuit; combin PWM and PLL control

0 引言

一直以来,人们在各种高压发生器中大量采用传统的电磁变压器。随着电子系统的小型化和集成化发展,高压发生器也面临着小型化的要求,而传统变压器的体积大,笨重,易受干扰等缺点开始限制其在此领域的发展。压电变压器的出现为高压发生器的小型化提供了条件。

压电变压器是一种利用压电材料的正逆压电效应实现电能到机械能再到电能的转换的固体电子器件。现传统的铁芯线绕电磁变压器相比,压电变压器具有体积小,质量轻,使用时不击穿,变压器本身耐高温,不怕燃烧,无电磁干扰且结构简单,制作工艺简便,易批量生产等优点^[1-3]。目前,压电变压器已在冷阴极荧光灯管(CCFL)、负离子发生器、小功率激光管电源等领域得到应用。本文将提供一种在离子风枪中利用压电变压器实现高压发生器的方法。

1 压电变压器特性^[3]

压电变压器与传统变压器不同,它一般工作频率范围在 $10^4 \sim 10^7$ Hz。其等效电路图如图1(a)所示。图中, C_0 和 C_m 为等效输入输出电容, L_s 和 C_s 为等效串联电感和电容, R_m 为机械等效电阻, R_0 为负载电阻, n 为变比, T 为等效输出变压器。若将二次侧电路等效转换到一次侧,如图1(b)所示;进一步简化,如图1(c)所示。

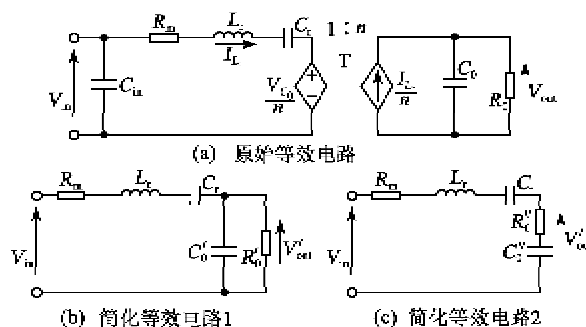


图1 压电变压器等效电路图

收稿日期:2011-05-30

作者简介:龚旭(1986-),男,四川成都人,硕士生,主要从事电磁伺服驱动及控制技术的研究。E-mail: lazylolily@yahoo.com.cn

$$R'_0 = R_0/n^2 \tag{1}$$

$$C'_0 = n^2 C_0 \tag{2}$$

$$V'_{out} = V_{out}/n \tag{3}$$

$$R''_0 = R'_0/[1+(\omega C'_0 R'_0)^2] \tag{4}$$

$$C''_0 = C'_0 \frac{1+(\omega C'_0 R'_0)^2}{(\omega C'_0 R'_0)^2} \tag{5}$$

则电压变比

$$K = V_{out}/V_{in} = n/\sqrt{Y} \tag{6}$$

$$Y = \left\{ 1 - c \left[\left(\frac{\omega}{\omega_{rs}} \right)^2 - 1 \right] + \frac{R_m}{R'_0} \right\}^2 + \left\{ \frac{\omega_{rs} c}{\omega Q} \left[\left(\frac{\omega}{\omega_{rs}} \right)^2 - 1 \right] + \frac{\omega c}{\omega_{rs} Q_m} \right\}^2 \tag{7}$$

$$c = C'_0/C_r \tag{8}$$

$$\omega_{rs} = 1/\sqrt{L_r C_r} \tag{9}$$

$$R_0 = 0 \tag{10}$$

$$Q = \omega_{rs} C_0 R_0 \tag{11}$$

$$Q_m = 1/(\omega_{rs} C_r R_m) \tag{12}$$

由此可以看出,对于任意一个负载来说,当压电变压器工作在其谐振频率时,负载能得到最大的输出电压,即得到最大的电压变比;而压电变压器的谐振频率还会受负载大小的影响产生变化。

2 电路设计

由于压电变压器这些特性,整个电路设计如图2所示。

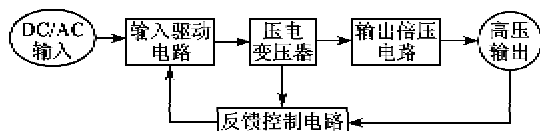


图2 高压发生器电路

2.1 输入驱动电路

在实际应用过程中,因为电源工作频率与压电变压器的工作频率相差很大,直流或交流电源都不能直接驱动压电变压器工作。因此输入驱动电路主要作用是将外界输入的电压转化成压电变压器工作需要的电压,整个电路如图3所示。

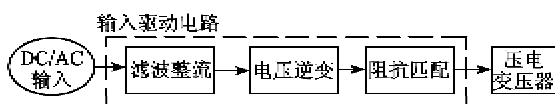


图3 输入驱动电路

滤波整流电路将外部输入电压变成较纯净的直流,送入逆变电路,再由逆变电路将直流变成压电变压器工作所需的高频交流电。目前几种典型的逆变电路^[4]有回扫型逆变电路、推挽型逆变电路、半桥型

逆变电路、全桥型逆变电路。其中全桥逆变无需使用大电感,有利于整个电路的小型化,因此这里使用全桥逆变电路^[5]。其工作原理如图4所示。由图可知,其基本工作原理:当 V_1 和 V_4 同时导通时, V_2 和 V_3 关闭,此时压电变压器上的电压为上正下负,设此时的电压为正;当 V_2 和 V_3 同时导通, V_1 和 V_4 关断时,则压电变压器得到负电压。通过控制 $V_1 \sim V_4$ 的通断,就能在压电变压器得到交流电压。

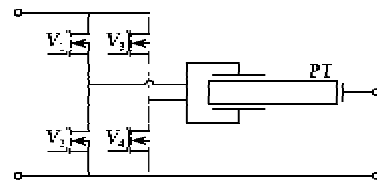


图4 全桥逆变电路

2.2 输出倍压电路

当压电变压器工作在最大升压比的条件下,其输出为高频交流电,且此频率由其谐振频率决定,不能随意改变。将压电变压器输出与一路倍压整流电路相连,如图5(a)所示,则在负载上可得到一个稳定的高压直流。若将压电变压器输出与两路倍压整流电路相连,一路正倍压整流电路,一路负倍压整流电路,如图5(b)所示。

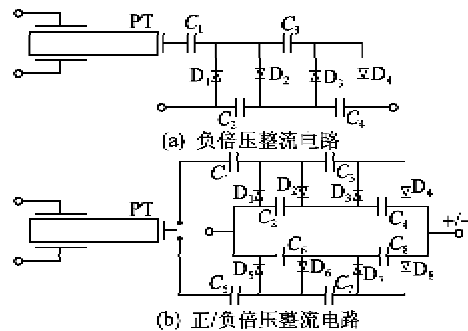


图5 倍压整流电路

两路电路轮流导通工作,当正倍压整流电路工作时,负载得到正电压;当负倍压整流电路工作时,负载得到负电压。这样在负载上得到交流电压,并可通过对正负倍压整流电路轮流导通频率的调整,来改变负载上交流电压的频率。

2.3 反馈控制电路

压电变压器除受负载的影响外,还受温度、湿度等其他因素的影响,其输出电压会出现变化。为能让压电变压器一直工作在最佳状态并得到一个稳定的输出,需对其进行反馈控制。目前主要的控制方

式^[4]有量子控制、锁相环控制(PLL)、脉宽调制(PWM)与脉冲频率调制(PFM)混合调制、相频检测(PFD)与 PWM 联合控制。

本文提出一种新的联合控制方法,即 PLL 与 PWM 的联合控制,原理图如图 6 所示。由于当压电变压器的输出端采用了倍压整流电路,则无论负载如何变化,只要压电变压器的驱动输入电压和输入倍压整流电路的电流相位差为 0,压电变压器都会得到最大升压比^[6]。将 V_{in} 和 I_{in} 的相位频率信息送入 PLL,PLL 对输入信号进行比较,并将结果送入控制器,由控制器对驱动电路进行控制。当 PLL 锁定频率后,利用 PWM 来控制压电变压器输入电压的幅值,从而控制压电变压器的输出电压。

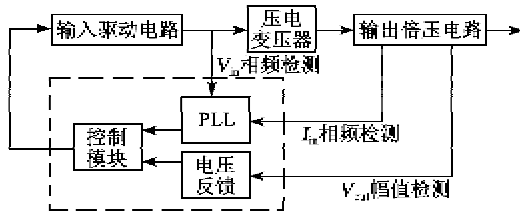


图 6 反馈控制电路

3 电路仿真

利用软件搭建仿真电路进行仿真,其结果如图 7 所示。输入电压为 24 V 的直流电(如图 7 上图所示),让电路在不同的负载下工作,观察其输出波形,由图可见,对于不同的负载,电路都能在一定周期之后得到稳定的输出电压,且基本保持一致。图中 $R_1 \sim R_5$ 表示不同的负载。

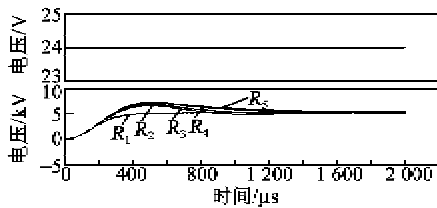


图 7 不同负载下电路输出仿真结果

4 结束语

压电变压器因其突出的特点而应用前景广,在具体的应用环境中因自身特性,其外围电路的设计

是重点。对于不同的应用环境采用不同的外围电路和控制方式,本文中的外围电路和控制方式主要针对离子风枪应用环境,在相似的环境中,可对其作适当的修改并加以应用。

参考文献:

[1] 白辰阳, 桂洽轮, 李龙土. 压电变压器的研究和开发进展[J]. 压电与声光, 1998, 20(3): 175-179.
BAI Chenyang, GUI Zhilun, LI Longtu. Progress in research and development of piezoelectric transformer [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 1998, 20(3): 175-179.

[2] 黄以华, 周康源, 陈昕, 等. 压电陶瓷变压器的发展——回顾与展望[J]. 声学技术, 2002, 21(3): 122-127.
HUANG Yihua, ZHOU Kangyuan, CHEN Xin, et al. The development of piezoelectric transformer review and expectation [J]. Technical Acoustics, 2002, 21(3): 122-127.

[3] IVENSKY G, ZAFRANY I, BEN-YAAKOV S. Generic operational characteristics of piezoelectric transformers[A]. Power electronics specialists conference [C]//Galway, Ireland PESC 00 2000 IEEE 31st Annual, 2000: 1657-1662.

[4] 余厉阳, 王德苗, 董树荣. 压电变压器外围电路的最新研究进展[J]. 电子元件与材料, 2005, 24(6): 51-53.
YU Liyang, WANG Demiao, DONG Shurong. Novel progress in the research of circuit used in the piezoelectric transformer [J]. Electronic Components and Materials, 2005, 24(6): 51-53.

[5] NAKASHIMA S, NINOMIYA T, OGASAWARA H, et al. Piezoelectric-transformer inverter with maximum-efficiency tracking and dimming control [A]. Applied power electronics conference and exposition APEC 2002 [C]//Dallas, TX, USA; Seventeenth Annual IEEE, 2002: 918-923.

[6] BEN-YAAKOV S, LINEYKIN S. Frequency tracking to maximum power of piezoelectric transformer HV converters under load variations[A]. Power electronics specialists conference [C]//Cairns, Qld; Australia PESC 02 2002 IEEE 33rd Annual, 2002: 657-662.