

高精度连续可调高压开关电源的设计

储开斌, 宋长加, 陈树越

(常州大学信息科学与工程学院, 江苏常州 213164)

摘要: 提出了一种高精度连续可调的高压开关电源设计方案。电源采用基于 SG3525 的恒频脉宽调制技术, 通过单片机控制可控增益放大器实现输出电压的连续调整, 该电源具有高电压输出精度高、连续可调、功耗小等特点。实验结果表明, 当该电源输出电压由 1 kV~25 kV 可调输出时, 输出电压误差最大为 1.6%。

关键词: 高压开关电源; SG3525; 可控增益放大; AD7520

中图分类号: TM832

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)12-0027-03

The design of high precision continuous adjustable voltage switch power supply

Chu Kaibin, Song Changjia, Chen Shuyue

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: This paper proposes a kind of precision continuous adjustable voltage switch power supply which is based on single chip microcomputer control. The power uses constant frequency pulse width modulation technology which is based on the SG3525, through the control of single chip microcomputer, controllable gain amplifier realizes the continuous adjustment to output voltage. The output voltage circuit has a high precision and low consumption, etc, and can be adjusted continuously. The experimental results show that the power can provide output voltage which can be changed from 1 kV~25 kV, and the maximum of output voltage error is 1.6%.

Key words: high voltage switch power supply; SG3525; controllable gain amplifier; AD7520

在医用器械、离子加速器、安规测试、电子设备老化工艺等领域中, 经常会应用到小功率高压可调电源。这类高压电源既要求输出电路精度高、电压可调, 同时又要求电源系统具有重量轻、响应速度快、稳定性好、可靠性高等特点。在目前的电源市场上, 大部分电源输出一般都在 200 V 以内, 而输出 10 kV 以上的电源基本都是一些大功率、高价位产品, 且能实现输出可调的高电压的电源产品更少。为此, 研制了一种基于可控增益放大器的连续可调高压开关电源。该电源输出电压可由 1 kV~25 kV 可调, 输出电流达 1 mA。该电源具有体积小、稳定性好、响应速度快等优点, 具有较广阔的市场应用前景^[1]。

1 电路结构及工作原理

系统原理框图如图 1 所示。220 V 交流电通过 AC/DC 开关变换器, 将交流电压变换为电压为 100 V 的固定直流电, 供后级电源使用。高频变压器在 PWM 驱动电路驱动下, 将 100 V 的直流电转换成输出电压可调的高频高压的脉冲交流电, 经过高压整流电路整流后, 由滤

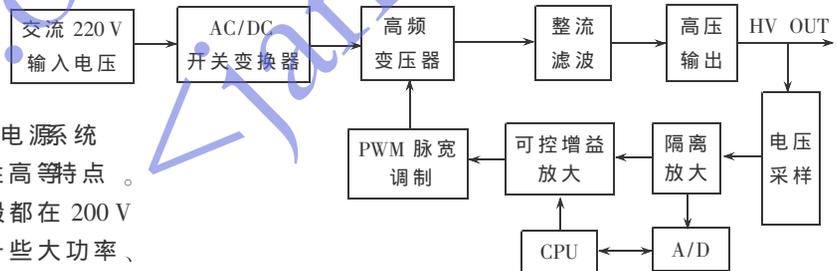


图 1 系统原理框图

波器滤波, 实现高压直流输出。由于输出直流电压较高, 所以通过特制的取样电路对输出电压进行取样, 再经隔离放大器放大后, 送 A/D 转换电路及可控增益放大器。单片机通过 A/D 获得直流高压的取样电压, 与设定值进行比较; 然后经 PID 调节, 输出误差信号送至可控增益放大器, 以调节误差电压; 最后由误差信号调节 PWM 控制器, 控制输出占空比, 实现对输出直流电压的调节。

2 硬件电路设计

2.1 主拓扑电路设计

开关电源拓扑结构有全桥、半桥、推挽等多种结构。

该主电路采用半桥式拓扑结构。半桥拓扑结构具有结构简单、开关管承受压力小、抗不平衡能力强、不易直通等优点。同时,变压器初级在整个周期中都流过电流,磁芯利用充分,且没有偏磁的问题,所使用的功率开关管耐压要求较低,开关管的饱和压降减少至最小,对输入滤波电容使用电压要求也较低。因此,半桥拓扑是中小功率电源常用的结构。主电路如图 2 所示。

Q1、Q2 为高反压 MOS 管,它与电容 C1、C2 构成逆变电路, PWM 输出经驱动变压器驱动

Q1、Q2。PWM 输出的驱动电压在驱动变压器两端存在死区时间,有利于 MOSFET 管中电荷的消耗,起到保护 MOSFET 的作用。在 Q1 导通时,电源经 Q1、C0、T1 对 C2 充电,同时对电容 C3 放电;Q2 导通时,电源对通过 C1、T1、C0 对 C1 充电,对 C2 放电。在一个开关周期内,高压变压器初级上形成 25 kHz 的交变矩形波,经过升压整流后对负载提供高压。通过调节开关管的占空比,可改变输出高压值。R3、C3、R4、C4 构成吸收电路,用来吸收高频尖峰电压,达到保护 MOS 管的作用。为防止两个开关管导通时间不对称引起高压变压器偏磁和直流磁饱和,在电路中串入隔直电容 C0 来自动平衡变压器一次电压侧的直流分量。R1、R2 作为平衡电阻,可使 C1 与 C2 充电电压相等^[2]。

2.2 控制电路设计

控制电路由 PWM 控制、高压采样、可控增益放大器、A/D 及 CPU 等部分组成。

2.2.1 PWM 控制电路

PWM 控制电路是实现电压调整的核心电路,对整机性能有较大的影响,所以采用性价比较高的 SG3525 控制方式采用恒频脉宽调制。PWM 控制电路如图 3 所示。

SG3525 芯片内部提供 5 V 精密基准电压,该电压通过 R13、R12、R10 分压后经电压跟随器隔离,送至内部误

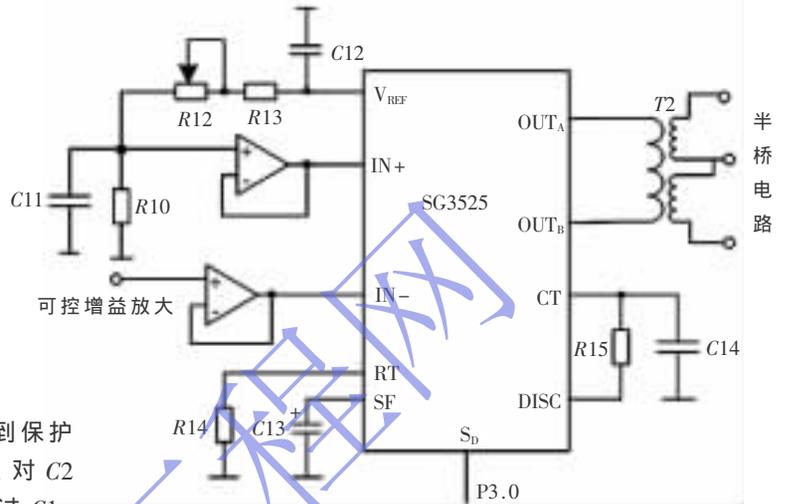


图 3 PWM 控制电路

差电压放大器的同相端,作为基准参考电压。R13、R12、R10 选用金属膜精密电阻,电压跟随器可进一步提高参考电压精度。输出的高压直流电通过高压采样电路转换为成比例的低压取样电压,通过可控增益放大器放大,再由电压跟随器送至 SG3525 误差电压放大器的反相端。在基准电压及反馈电压端均采用了电压跟随器,可提高 PWM 输出的精度,从而更好地保证输出电压精度。SG3525 芯片振荡频率的设定范围为 15 kHz~35 kHz,其振荡频率可表示为:

$$f = \frac{1}{C_t(0.67R_t + 1.3R_d)} \quad (1)$$

式中, C_t 、 R_t 分别为与 SG3525 相连的振荡器的电容和电阻, R_d 为放电电阻^[3]。

2.2.2 电压调整与采样电路

由于直流输出电压较高,不能直接采样用于反馈,该系统采用多个金属膜功率电阻串联构成部分采样电路,电路结构如图 4 所示。图中, R_s 为 16 只 4 MΩ 的

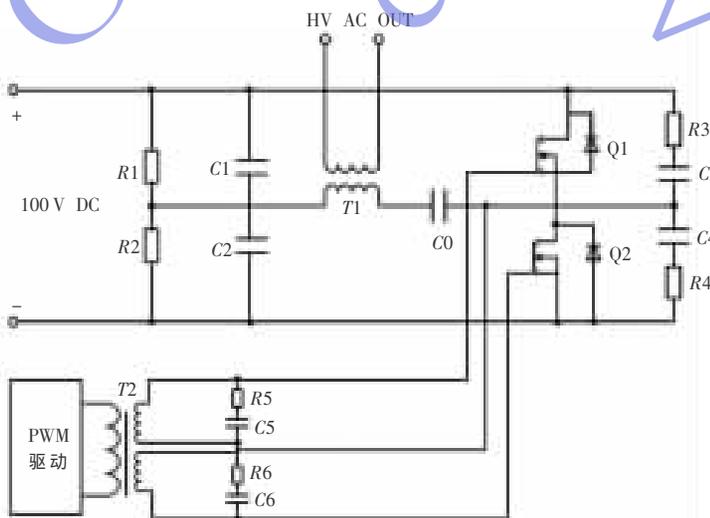


图 2 主电路拓扑

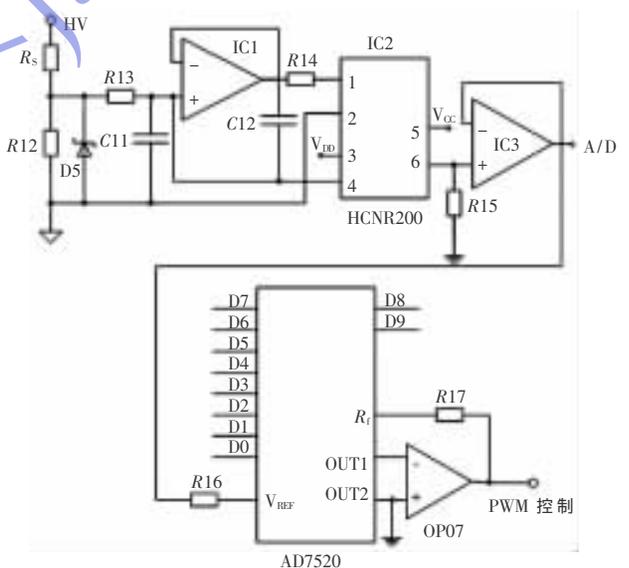


图 4 电压调整与采样电路

2 W 型电阻串联, R_{12} 为采样电阻, 该电压采样电路用环氧树脂密封在一个盒子内, 可以起到绝缘及保护作用。为防止分压电阻在高压作用下由于高压拉产生尖峰电压而损坏电压跟随器, 在电压跟随器输入端加入瞬态电压抑制器(TVS) $D5$ 。 R_{13} 、 C_{11} 组成 RC 滤波电路。从采样电阻两端取出的电压信号经电压跟随器通过线性光耦 IC2 隔离, 送至 IC3 组成的电压跟随器。线性光耦选用 Agilent 公司的 HCNR200, 可以较好地实现隔离, 隔离电压峰值达 8 000 V, 输出随输入变化, 线性度达 0.01%^[4]。

为了实现输出电压的连续可调, 系统采用可控增益放大器放大误差电压信号。通过改变可控增益放大器的增益, 改变送至 SG3525 反馈端的电压值, 从而实现输出电压的可调。

可控增益放大器由 D/A 转换器 AD7520 及运算放大器 OP07 组成。AD7520 是 10 bit CMOS 数模转换器, 采用倒 T 形电阻网络, 模拟电子开关为 CMOS 型, 集成在芯片上。在图 4 所示电路中, OP07 运放与 AD7520 组成反相比例运算放大器。根据反相比例运算放大器的特点, 放大器放大倍数为式(2)所示:

$$A_{uf} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (2)$$

其中 R_{17} 为外部所接反馈电阻, 它与 AD7520 的内电阻 R_1 端串联, 组成反相比例运算放大器的 R_f ; AD7520 内的倒 T 形电阻网络为反相放大器的输入电阻, 即放大器的电阻 R_1 。所以当改变 AD7520 的 $D_0 \sim D_9$ 数字量时, R_1 将随之改变, 从而改变放大倍数, 放大倍数如式(3)所示。可控增益放大器的输入信号从 V_{REF} 端输入。

$$A_u = \left(\frac{1}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} D_i 2^i \right) \frac{R_f}{R} = \left(\frac{\sum D_i 2^i}{1024} \right) \frac{R_f}{R} \quad (3)$$

当改变放大倍数时, 就可以改变反馈到 SG3525 反馈端的电压值, 从而达到调整输出电压的目的^[5]。

2.2.3 A/D 及 CPU 电路

为了能对输出电压进行调整, 并对输出电压量进行测量, 系统采用 ATmega16 单片机作为系统控制核心。ATmega16 有一个 10 bit 逐次比较 A/D 转换器, 可用于电压采样。ADC 转换的参考电源采用芯片内部的参考电源^[6]。单片机控制电路如图 5 所示。

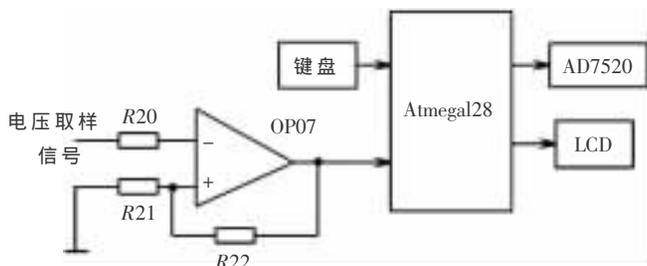


图 5 单片机控制电路

3 系统软件设计

系统软件主要完成对输出电压的调整和显示、软启

动、过压和过流保护等。系统主流程如图 6 所示。单片机上电或复位后, 系统先进行初始化, 禁止高压输出, 延时 50 ms, 随后输出电压电源打开。根据 D/A 输出电压值调节输出电压, 从而达到输出电压精度连续可调的目的。

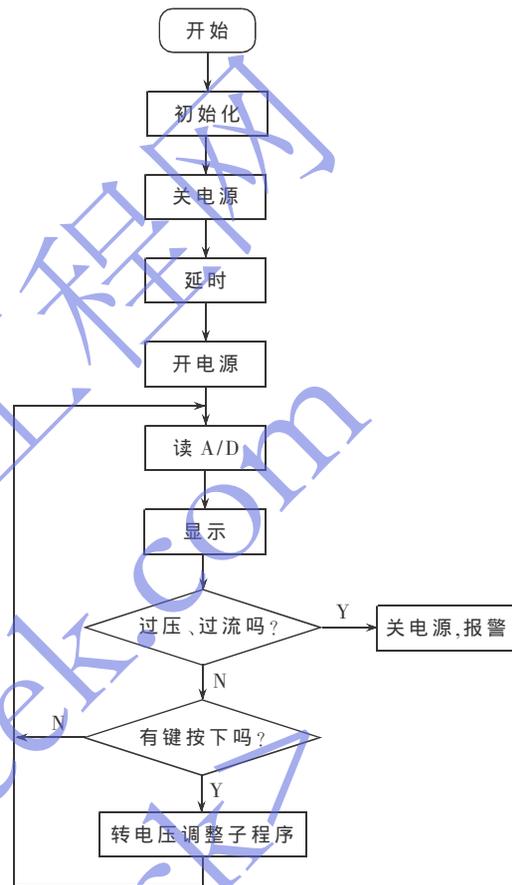


图 6 程序流程图

4 实验结果

根据以上设计实现的高压可调开关电源样机, 经多次实验后, 得到数据如表 1 所示。

表 1 电源输出电压及误差

设置电压/kV	1	5	10	15	20	25
测量电压/kV	1.01	4.92	9.95	15.21	20.27	25.34
相对误差/%	1	1.6	0.5	1.40	1.35	1.36

从表中数据可得, 该电源输出电压由 1 kV~25 kV 调节时, 输出电压最大误差为 1.6%。具有输出电压精度高、连续可调、调整范围宽、功耗小等特点。

参考文献

- [1] 徐成前, 董戈. 1 kW 行波管高压开关电源设计与仿真[J]. 电源技术, 2008, 24(10): 219-221.
- [2] 赵艳雷, 董建忠, 齐智平. 25 kV 高精度直流负高压源设计[J]. 高电压技术, 2006, 32(4): 88-90.
- [3] 游利兵, 梁勋, 黄德文, 等. 高重复率小型准分子激光开关电源设计[J]. 激光杂志, 2009, 30(4): 15-16.
- [4] 皇金锋, 董锋斌. SG3525 在 Buck-Boost 直流变换器中的

应用[J].电子技术应用,2009,35(8):82-84.

- [5] 赵修良,俞红,赵艳辉,等.一种基于AD7542和OP467设计的与微机接口的可变增益放大电路[J].电测与仪表,2005,42(4):45-47.
- [6] JIPRAHAI T, COSTELLO M. Dispersion reduction of direct fire rocket using lateral pulse jets[M]. US: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2001.

(收稿日期:2012-03-21)

作者简介:

储斌,男,1975年生,硕士,讲师,主要研究方向:应用电子技术。

宋如,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:电子测量与控制。

陈越,男,1963年生,博士,教授,主要研究方向:行动检测与控制。

OFweek电子工程网
ee.ofweek.com
<janck>