

doi: 10.7690/bgzd.2019.12.005

## 采用 SG3525A 和 AT89C51 的直流高压脉冲电源电路设计

周程建<sup>1</sup>, 周克栋<sup>1</sup>, 赫雷<sup>1</sup>, 张俊斌<sup>2</sup>, 黄雪鹰<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094; 2. 中国人民解放军 63850 部队, 吉林 白城 137001)

**摘要:** 为解决传统电警棍电源参数无法调节的问题, 采用 PWM 调制器 SG3525A 和单片机 AT89C51 进行 45 kV 高压脉冲电源电路设计。根据电源电路整体结构及工作原理, 利用 SG3525A 输出 PWM 信号控制 MOSFET 管的导通和截止, 经过高频变压器隔离升压和整流滤波后得到 45 kV 高压脉冲, 通过 AT89C51 控制 SG3525A 的开启和关断。应用结果表明: 该电源电路能够实现电压频率和占空比可调, 可提供 16 种放电时长模式。

**关键词:** 高压脉冲电压; SG3525A; AT89C51; 参数可调

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

### Design of DC High Voltage Pulse Power Supply Circuit by Using SG3525A and AT89C51

Zhou Chengjian<sup>1</sup>, Zhou Kedong<sup>1</sup>, He Lei<sup>1</sup>, Zhang Junbin<sup>2</sup>, Huang Xueying<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science &amp; Technology, Nanjing 210094, China; 2. No. 63850 Unit of PLA, Baicheng 137001, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that the parameters of traditional electric baton power supply cannot be adjusted, the circuit of 45 kV high voltage pulse power supply is designed by using PWM modulator SG3525A and single chip AT89C51. According to the overall structure and working principle of the power supply circuit, the SG3525A output PWM signal is used to control the turn-on and cut-off of the MOSFET tube. After high frequency transformer isolation boost and rectification filter, 45 kV high voltage pulse is obtained, and the SG3525A is turned on and off by AT89C51. The application results show that the power supply circuit can realize adjustable voltage frequency and duty cycle, and can provide 16 discharge duration modes.

**Keywords:** high voltage pulse; SG3525A; AT89C51; adjustable parameters

## 0 引言

电击武器能够通过释放瞬间高压使目标失能, 核心是具有一个产生脉冲高压的电源。实验结果表明: 人在受到 30~50 kV 高压电击后, 会立刻陷入意识昏迷和肌肉失控状态。国产电警棍的电源电压幅值通常在 8~10 kV, 不能使目标在短时间内失能, 而且放电脉宽较宽, 且无法调节, 常存在残余电压放电现象, 在对目标持续放电时间较长时会造成严重的电击灼伤<sup>[1]</sup>。开关电源体积小、质量轻、效率高、发热量低, 可以实现输出脉冲占空比频率调节功能; 因此, 笔者将 PWM 芯片 SG3525A 和单片机 AT89C51 结合, 设计了频率脉宽可以调节控制的高压脉冲电源电路, 弥补传统电警棍电源参数无法调节的问题。

## 1 系统要求与电源电路

高压脉冲电源参数为: 输入 15 V 直流电压(锂电池直接提供), 输出 45 kV 脉冲高压, 脉冲频率 5~

20 kHz 可调, 功率 30 W, 占空比 10%~90%可调, 设置 16 种放电输出模式。

电源电路整体结构如图 1 所示, 主要分为升压主电路、控制电路和辅助电源电路 3 个部分。主电路由功率管逆变电路、隔离升压电路和整流滤波电路组成; 控制电路由 PWM 驱动控制电路和单片机控制系统组成; 辅助电源电路主要是供电电源和电压分配电路。

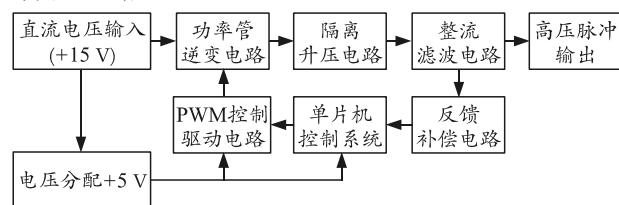


图 1 电源电路整体结构

电路工作原理: 首先由锂电池提供 15 V 直流电压, 作为功率管逆变电路和电压分配 +5 V 电源的输入电压; PWM 驱动控制电路中 SG3525A 释放 2 路交替变化的 PWM 信号控制功率 MOSFET 管的导通

收稿日期: 2019-09-21; 修回日期: 2019-10-26

作者简介: 周程建(1993—), 男, 江苏人, 硕士, 从事特种机电系统研究。E-mail: 792305169@qq.com。

和截止, 15 V 直流电压经过功率管逆变电路后变成方向交替变化的脉冲电压, 改变 PWM 信号输出占空比可以获取占空比不同的脉冲电压, 改变 PWM 信号输出频率可以获得频率不同的脉冲电压; 然后将频率和占空比调节好的低压脉冲信号输送到隔离升压模块, 经过脉冲高频变压器 2 次升压后得到极性不断变化的 45 kV 高压脉冲; 最后再经过整流滤波电路处理变成单向脉冲高压输出。在单片机控制系统中利用 AT89C51 设置了 16 种放电时间模式, 每种模式对应不同的放电持续时间, 通过按键来选择放电模式。

该电源电路的优点:

1) 效率高: MOSFET 管作开关可以降低驱动电路内阻, 加快开关速度;

2) 体积小: 高频传输可减小电感电容和变压器体积, 缩小电源体积;

3) 功能丰富: 调节 SG3525A 芯片产生的 PWM 信号的频率和占空比, 可以相应调节输出电压的频率和占空比, 单片机设置 16 种放电时间模式可以满足大部分电击需求。

## 2 电源主电路

电源主电路结构如图 2 所示, PWM 驱动电路中输出的 2 组 PWM 信号直接控制 MOSFET 管 Q1 和 Q2 导通和截止, 不存在同时导通的情况。输入 15 V 直流电压在 Q1 和 Q2 构成的推挽电路中逆变成极性不断变化的脉冲电压, 经过高频变压器 T1 和 T2 的 2 次升压后达到 45 kV, 最后经过整流滤波电路处理达到理想脉冲高压。

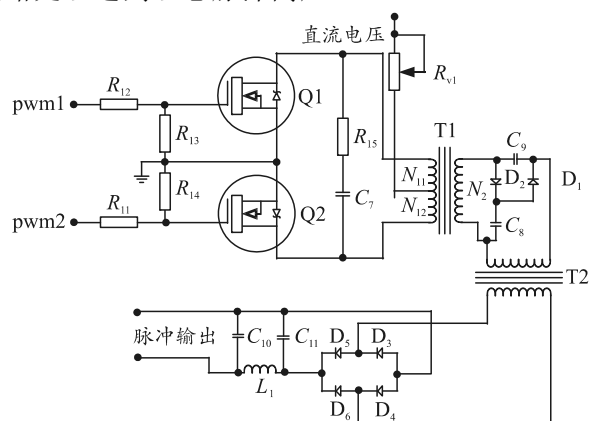


图 2 电源主电路拓扑结构

### 1) MOSFET 功率管。

MOSFET 功率管驱动功率低, 灵敏度高, 可使开关电源工作频率提高达 500 kHz<sup>[2]</sup>。文中电源中 PWM 芯片 SG3525A 的输出级逻辑电路为“非”,

关断状态输出低电平, 适用驱动 N 沟道 MOSFET。选用增强型 N 沟道功率 MOSFET 管 Q1 和 Q2, 型号为 IRF7831, 耐压为 30 V, 导通电阻 4 Ω。使用时连接限压电阻 R13 和 R14 保证栅极电压在安全值内, MOS 管在关断瞬间会使变压器 T1 的初级 N11 和 N12 产生反电势, 导致 MOS 管被击穿失效, 接入 R15 和 C7 构成缓冲电路来吸收反电势。

### 2) 推挽逆变电路。

常用的隔离变换电路有正激、反激、推挽、半桥和全桥电路等, 在方便调节占空比前提下, 选择电路结构较为简单的推挽式逆变电路。推挽电路中功率管 Q1 和 Q2 交替导通和关断, 形成推拉方式、电压波形对称, 输出特性好, 工作效率高。通过改变 Q1 和 Q2 开关管通断时长和频率, 可以调整输出电压的占空比和频率。

### 3) 高频变压器。

高频变压器是开关电源的关键器件之一, 性能直接影响变压器效率和发热, 更影响到整个开关电源的技术性能和可靠性。在设计高频变压器时要满足以下要求<sup>[3]</sup>: ① 在输入电压和占空比都处于最大时, 磁芯不会饱和; ② 变压器变比在输入电压最低时, 仍达到设计要求的上限; ③ 初级和次级之间的漏感小、损耗低。

按照上述要求, 输出电压留有部分裕量, 变压器参数设计如下: 推挽逆变电路要求高频变压器 T1 初级绕组带有中心抽头, 且抽头两侧的绕组线圈数相等。初级绕组  $N_{11}=N_{12}=20$  匝, 次级绕组  $N_2=6\ 000$  匝, 匝数比  $K_1=6\ 000/20=300$ , 高频变压 T2 的变比为 10, 变压器的工作频率为 1~50 kHz, 铁芯选择 E 型锰锌功率铁氧体材料。在绕制过程中, 将变压器原边绕组和副边绕组紧密耦合, 以减小变压器漏感。

### 4) 整流滤波电路。

由于电路中电压高达数万伏特, 超过常规二极管反向击穿承受能力, 所以选择高压硅堆来代替二极管, D3、D4、D5 和 D6 4 只高压硅堆构成全桥整流电路。选用 LC 滤波电路控制电压的纹波系数, 电感  $L_1$  为 22.5 mH, 滤波电容  $C_{10}$  为 1.1 μF。

## 3 PWM 驱动控制电路

### 3.1 SG3525A 芯片

SG3525A 脉宽控制器适用于 MOS 管作为开关器件的 DC-DC 变换器, 性能优异, 外围器件较少。SG3525A 的基准电压源精度为  $(5.1\pm 1\%)$  V, 具

有温度补偿和过流保护的功能，可向外部输出 40 mA 电流。输出级采用图腾式结构，双路吸收/流出输出驱动器，每一条通道最大允许电流值超过 200 mA，占空比为 0~45%可调，低电平给出逻辑“或非”状态<sup>[4]</sup>。振荡器充放电时间与电阻  $R_T$ 、 $R_D$  和电容  $C_T$  关系：电容  $C_T$  值越大，相应的充放电时间越长。 $R_T$  取值为 2~150 k $\Omega$ ， $C_T$  取值为 0.001~0.1  $\mu$ F， $R_D$  取值为 0~500  $\Omega$ <sup>[5]</sup>。

振荡频率由定时电阻  $R_T$ 、定时电容  $C_T$  和放电电阻  $R_D$  决定，振荡器上产生锯齿波的基本周期为

$$T_s = t_1 + t_2 = (0.67R_T + 3R_D)C_T \quad (1)$$

振荡频率为

$$f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{(0.67R_T + 3R_D)C_T} \quad (2)$$

### 3.2 SG3525A 外围电路设计

图 3 是 SG3525A 驱动 MOSFET 管的驱动控制电路，由于 SG3525A 芯片的吸收/流出电流和输出幅度达到直接驱动 MOSFET 的能力，所以采用直接驱动形式。SG3525A 2 个输出端(11 和 14 引脚)分别连接推挽电路中 MOSEFT 管 Q1 和 Q2，输出的 PWM 信号驱动 Q1 和 Q2 交替导通和截止。

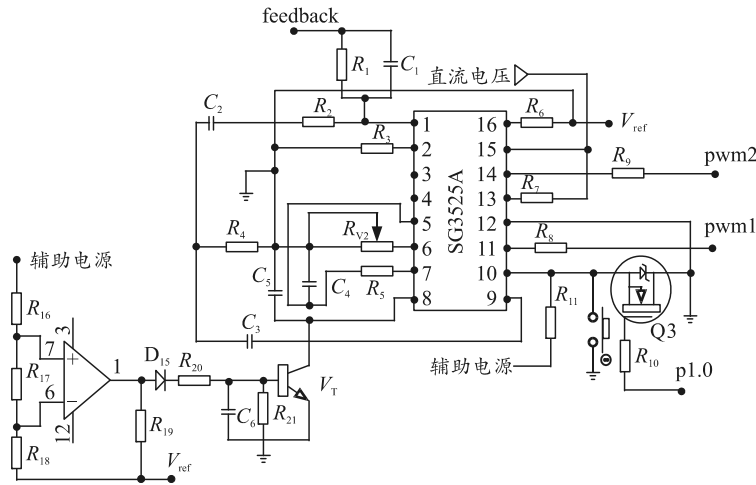


图 3 SG3525A 驱动控制电路

引脚 5 外接定时电容  $C_4$ ，引脚 6 外接电位器  $R_{V2}$ ，引脚 7 外接放电电阻  $R_5$ ，取电位器  $R_{V2}=R_T=29.5 \Omega \sim 7.4 \text{ k}\Omega$ ， $R_5=R_D=100 \Omega$ ， $C_4=C_T=0.01 \mu\text{F}$ ，根据式(2)可振荡频率为 5~20 kHz，PWM 信号频率范围为 2.5~10 kHz，通过调节  $R_{V2}$  可以获取想要得到的电压频率，经过整流滤波电路后，可以得到输出电压频率为 5~20 kHz。引脚 8 为外接软启动电容端，外接电容  $C_5$  取值为 1  $\mu\text{F}$ 。引脚 1 外接电容  $C_2$  和电阻  $R_2$ ，引脚 2 外接电阻  $R_3$ ，引脚 9 外接电容  $C_3$ ，引脚 1、2、9 及其外围电路构成 PI 调节器<sup>[6]</sup>。PI 调节器的输出和引脚 5 产生的锯齿波及引脚 8 上外接电容  $C_5$  一起决定 PWM 控制器产生方波的占空比在 5%~45%可调，最后输出电压的占空比在 10%~90%可调。

引脚 11 是 PWM 驱动信号的 A 路输出端，引脚 14 是 PWM 驱动信号的 B 路输出端，这 2 路信号相位相差 180°，输出的 2 路 PWM 信号控制 Q1 和 Q2 导通和截止。引脚 12 作为公共接地端接地。引脚 13 是内部图腾输出级的集电极，与电源电压  $V_i$  端外接一个 100  $\Omega$  的电阻  $R_6$  进行限流。引脚 15 是芯片

的电源电压输入端，外接直流电源电压。引脚 10 为外部控制端，当该输入端信号为高电平时，关闭 PWM 信号，控制信号为低电平时，PWM 信号正常输出<sup>[7]</sup>。改变引脚 10 端部的电平可以控制 PWM 信号持续的时间长度，进而控制 MOS 管 Q1、Q2 导通和闭合时长，在引脚 10 外连接一个开关管 Q3，正常状态下引脚 10 为高电平状态，电压超过 1.4 V，PWM 锁存器处于关断状态。用单片机 P1.0 上的电压信号控制开关管 Q3 的导通时间，此时引脚 10 上高电平转变为低电平，PWM 锁存器开始工作，电路也正常运行。在需要人为控制电路工作时，只需按下开关 S1，将高电平转变为低电平。

### 4 单片机控制电路

利用单片机 AT89C51 控制 MOS 管 Q3 的通断来控制整个电源电路工作，当 P1.0 端口输出高电平导通 Q3，使 SG3525A 正常工作，输出低电平电路停止工作。设置每秒放电时间为 1, 2, 5 和 10 ms 4 种模式，总放电时间为 5, 10, 15 和 20 s 4 种模式，每秒放电时间对应总放电时长共有 16 种模式，需要

16 个按键来与之对应。采用 4×4 行列式按键控制电路，按下不同按键即可选取对应的输出模式。晶振 X1 频率为 12 MHz，每个机器周期时长为 1 μs，使用定时器功能对内部的机器周期的脉冲进行计数，计算溢出次数可以控制输出时间<sup>[8]</sup>。

## 5 辅助电源电路

辅助电源主要为集成控制器 SG3525A 和 AT89C51 单片机提供电压，将 15 V 的直流输入电压加至三端可调集成稳压器 LM317 输入端。辅助电源电路如图 4 所示，调节电位器  $R_{V3}$  使输出电压为稳定的 5 V 直流电压，稳压管 D17 是防止浪涌电压损坏器件，3 个电容为平滑滤波电容，保护二极管防止出现短路烧坏稳压器。

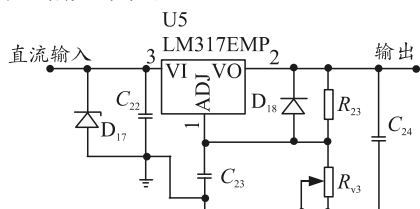


图 4 辅助电源电路

## 6 高压脉冲电源电路的控制程序设计

键盘上每一个按键对应一个键码，根据键码选择对应键的处理子程序。如图 5 所示，采用线翻转法来实现键盘识别。首先判断是否有键按下，设置延时 1 ms 消抖，然后根据按键物理位置确定键码，当按键被释放后根据键码转到相应子程序中。

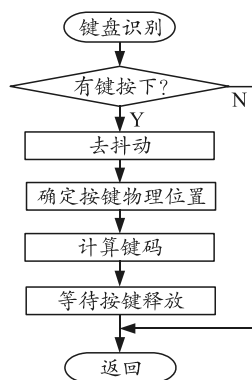


图 5 键识别流程

定时器 T0 以模式 1 工作，以 1 ms 作为基准定时，计算初值为 TH0=0xD5H，TL0=0x08H，以 1 s 为周期，需要 1 000 个定时过程。设置每 1 s 内 P1.0 端高电平持续时间  $t_1$  为 1, 2, 5 和 10 ms，然后这 1 s 内剩余时间 P1.0 均为低电平，5, 10, 15 和 20 s 分别是将 1 s 内的状态循环 5, 10, 15 和 20 次，记为总循环次数  $M$ 。当按键码传回时，选择对应的  $t_1$  和  $M$

值进行定时，定时程序如图 6 所示。

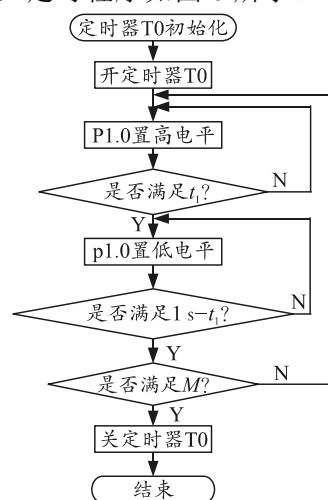


图 6 定时流程

## 7 结论

笔者采用 PWM 控制芯片 SG3525A 和单片机 AT89C51 设计高压脉冲电源电路，输入 15 V 直流电压，输出 45 kV 脉冲高压，占空比 10%~90% 可调，电压频率 5~20 kHz 可调，可以弥补传统电击棍电源输出电压幅值较低且脉宽频率占空比不可调节的缺陷。同时利用单片机设置 16 种放电时长模式可供选择，可以做到严格控制放电时间，避免人为控制放电时长不稳定的弊端。

## 参考文献：

- [1] 崔文彪. 高压放电装置的研制[D]. 西安: 西安理工大学, 2014: 3.
- [2] 曲学基, 王增福, 曲敬锐. 新编高频开关稳压电源[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 24-27.
- [3] 李桂丹, 高晗璿, 张春喜. 基于 SG3525 的 DC/DC 直流变换器的研究[J]. 电源技术应用, 2009, 1(1): 11-14, 27.
- [4] 薛永毅, 王淑英, 何希才. 新型电源电路应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 98-101.
- [5] 钟炎平. 电力电子电路设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010: 81-83.
- [6] 黄泽波, 李占峰, 熊亮, 等. 基于故障树分析法与寻址技术的航空电源系统故障诊断系统[J]. 兵工自动化, 2018, 37(10): 51-56.
- [7] 王水平, 杨磊, 张耀进. PWM 控制与驱动器使用指南及电路应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 1-7.
- [8] 胡伟, 季晓衡. 单片机 C 程序设计及应用实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 216-222.
- [9] 段英杰, 王建华, 刘玉存, 等. 高热剂实现电路毁伤的试验探究[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(1): 210-213.