

< 新电源 >

大功率、宽范围调压开关电源

林 燕 林杰才

(汕头大学电教中心, 汕头, 515063) (汕头大学电子信息工程系)

【摘要】介绍一种大功率、调压范围宽的开关稳压电源。主电路采用单端正激式结构, 控制电路简单, 工作可靠, 维修方便。

【关键词】场效应管 变换器 脉宽调制

1 概述

开关电源具有体积小, 重量轻、效率高、成本低等优点, 因此, 在航天、计算机、汽车、现代化家电、仪表、通讯和自动控制等方面获得广泛应用。然而目前市售开关电源, 多系输出电压固定, 或者调节范围小, 为此我们研制了大功率直流输出电压稳定、大范围连续可调(0 ~ 150V), 主电路结构和控制电路简单, 工作安全可靠, 具有过流和短路保护、开关频率为 20kHz 的稳压电源。电路原理框图如图 1。

由图可见, 来自电网的 220V 单相交流电, 经晶闸管单相半控桥式整流、LC 滤波, 再经 DC/AC 变换器、整流、LC 滤波(称 DC/DC 变换器), 获得 0 ~ 150V 连续可调的直流稳定输出电压 U_o 。此外, 本机还由辅助电源, PWM 控制器, 放大、隔离驱动电路, 过流和短路保护等部分组成。

2 主电路

为提高大范围可调输出电压稳定度, 降低主开关元件耐压要求, 又能减小整机体积和重

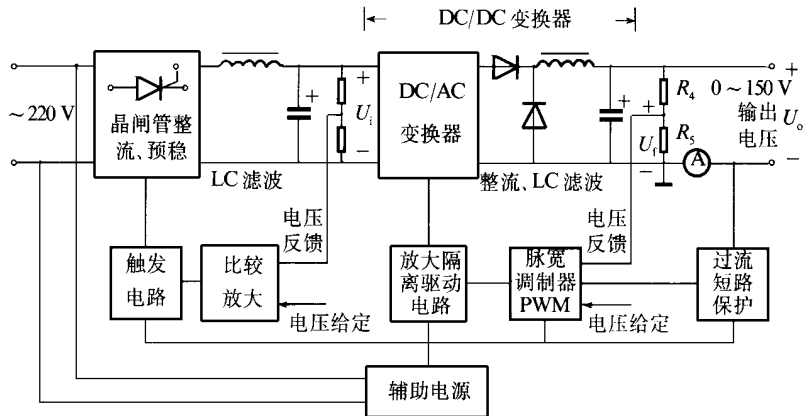


图 1 大功率、宽调压开关电源电路原理框图

Fig. 1 Block-diagram of a high-power, wide-range regulation switching power supply

量, 本机采用晶闸管单相半控桥式整流滤波(此实用电路, 见作者发表于本刊 1995 年第 6 期 39 页一文), 为 DC/DC 开关电源变换器提供直流稳定输入电压 U_i 。本机变换器采用两功率场效应管、二极管箝位的单端正激式结构, 主开关元件为功率 V-MOSFET 模块, 电路如图 2 所示。功率场效应管驱动功率小, 工作速度高, 无二次击穿, 安全工作区宽, 管耗小。这种变换器, 由于用了两只开关管, 从而进一步降低了功率 V-MOSFET 管的耐压要求。本电路只要一只集成脉宽调制(PWM)控制器进行脉冲激励, 不需要分频, 控制电路简单, 对高压开关管, 存储时间的一致性要求不高, 没有共同通导问题, 没有电路不对称引起高频变压器单向偏磁, 也

不存在合闸瞬间的变压器饱和等问题,有利于提高长期工作的稳定性和可靠性。高频变压器 B 采用无中心抽头、初次级各一个绕组的结构和 E 型铁氧体磁芯。输出整流器为有续流二极管的半波整流、 LC 滤波方式,目的在于降低管耗、减小发热、提高效率。

3 控制电路

3.1 辅助电源

由三端集成稳压器等构成。分别为控制电路和保护电路提供 $\pm 15V$ 和 $\pm 15V$ 直流稳压电源。必须合理设置辅助电源。才能实现本机主要技术指标。

3.2 集成 PWM 控制器及其外围电路

为实现开关控制、电压稳定及调节,本电源采用了功能较强的 TL494 定频脉宽调制(PWM)芯片,其内部原理框图及采用的外围电路见图 3。

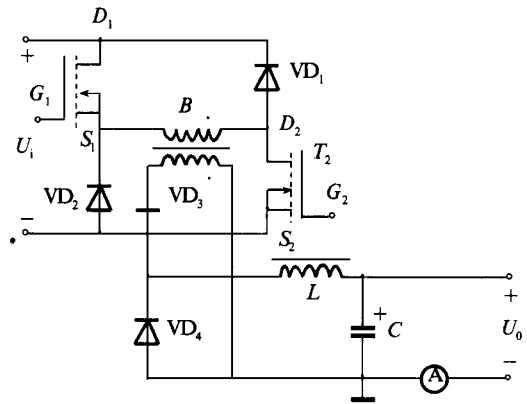


图 2 两功率场效应管、二极管箝位的单端正激式 DC/DC 变换器电路原理图

Fig. 2 principle diagram of a double-power FET, single-ended forward excitation DC/DC conversion

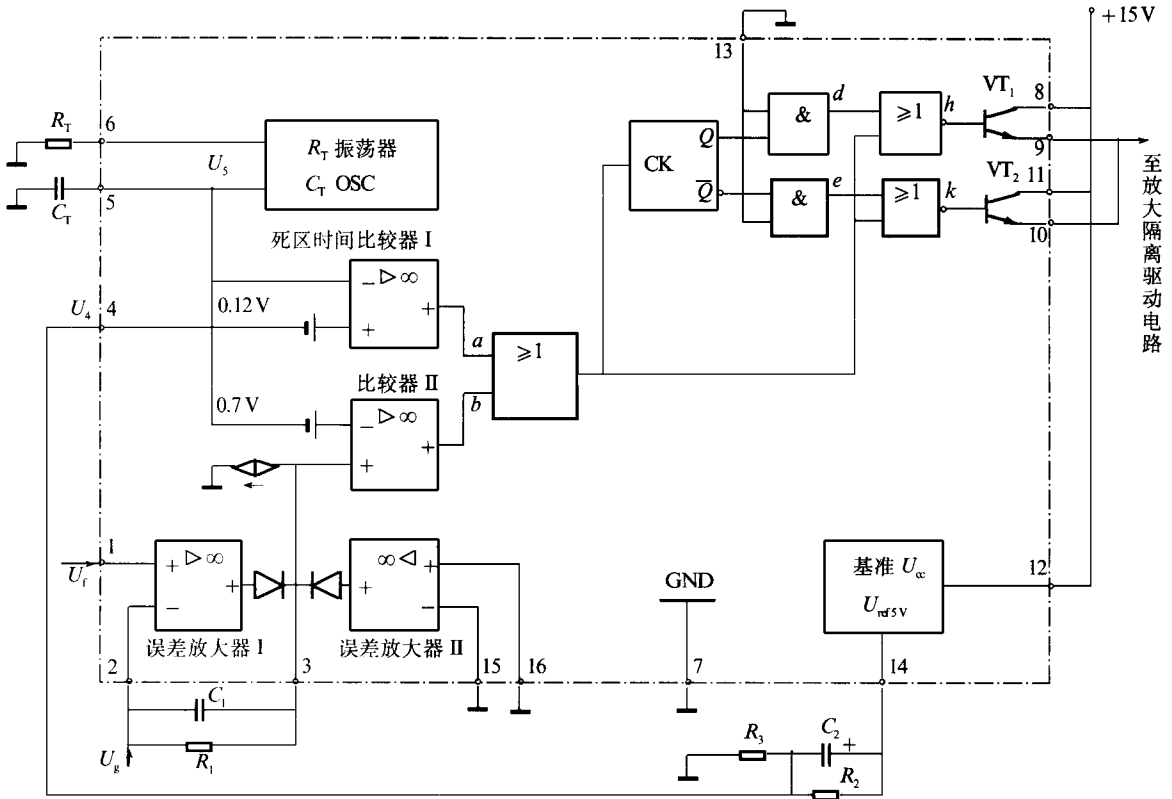


图 3 TL494 内部原理框图及所用外围电路

Fig. 3 Principle block-diagram of a TL494 and its associated circuits

图中:12端接直流15V正电源(极限使用值+42V),7端接地。内部基准电压调整器为5V,对所有内电路供电,同时可作为外部参考基准电压,从14端输出。

5、6端分别外接定时电容 C_T 和定时电阻 R_T ,TL494的振荡器OSC工作时,在5端产生振荡频率 $f = 1.1 / R_T C_T$ 的锯齿波电压 U_5 (本机 $f = 20\text{kHz}$)。

输出级是两支NPN晶体管 V_{T1} 、 V_{T2} ,其集电极和发射极分别为8、11和9、10端,它输出由振荡频率决定的两列矩形波,从而决定了开关频率。高频大大减小变压器和滤波电感的重量和体积。

误差放大器、的反相输入端分别为2和15,接可调给定电压 U_g ,同相输入端分别为1和16,接在开关电源主电路的电压或电流采样电路上。本机不用误差放大器,故令15、16端接地。

3端接阻容元件 C_1 、 R_1 ,作消振校正用。

TL494有一个独立的死区时间比较器,控制其输入端4的电位,除改变调节器的死区时间外,还可构成软起动和保护电路。死区时间控制和软起动电路的外接元件为 R_2 、 R_3 和 C_2 。死区时间控制是在主电路采用推挽、半桥或全桥变换器结构时,为防止开关元件共同通导而设置的死区,即两个开关元件都无驱动信号的时间间隔,以留给开关元件足够的关断时间。 R_2 、 R_3 决定了死区时间最小值 $T_{off(\min)}$ 。本电路因采用单端正激式变换器,不存在共同通导问题,对 $T_{off(\min)}$ 值要求不高,可小些,主开关元件工作也因此更安全可靠。 R_2 、 R_3 和 C_2 构成软起动,作用是开机时能逐渐建立高频逆变电压和直流输出电压,防止引起过大冲击电流。由图3知,当开机时,因电容 C_2 未充电,相当于短接, $U_4 + 0.12\text{V} > U_{5\max} = 3\text{V}$ (锯齿波电压 U_5 最大值),死区时间比较器输出为“高”, V_{T1} 、 V_{T2} 截止,矩形波脉冲被封锁,而

后,14端的5V电压对 C_2 充电,电压逐渐上升, U_4 逐渐下降,当下降到 $U_4 + 0.12\text{V} < U_{5\max} = 3\text{V}$ 时,开始有脉冲输出,而且,随 U_4 进一步下降,输出脉冲逐渐变宽,主电路开关导通时间增长,输出电压逐渐增高,直至 C_2 充电完毕,这时的 U_4 电位,由 R_2 、 R_3 分压确定,由于 $R_2 \gg R_3$,因此,正常工作时 $U_4 \approx 0\text{V}$,脉冲全部开放,起动过程结束。这时,主电路开关元件导通时间(它决定正常工作时的输出电压值),将由误差放大器的输入端2、1相应的 U_g 、 U_f 和由此决定的比较器的输出状态所决定。

脉宽控制(PWM控制):13为输出方式控制端,控制TL494的应用方式。当该端为高电平时, V_{T1} 、 V_{T2} 两路输出分别由触发器 Q 和 \bar{Q} 控制,形成双端输出方式,其最大占空比各为48%。当13端为低电平时,触发器失去作用,两路输出同时由PWM比较器后的“或”门输出控制,同步地工作,这时若两路并联应用,输出驱动电流较大,达400mA。本机采用后者输出控制方式。由图3可见,当软起动过程结束后, $a = “0”$ 。在误差放大器输出电压 $U_3 > U_5 + 0.7\text{V}$ 时, $b = “1”$, $c = “1”$, $h = k = “0”$, V_{T1} 、 V_{T2} 截止;在 $U_3 < U_5 + 0.7\text{V}$ 时, $b = “0”$, $c = “0”$, $h = k = “1”$, V_{T1} 、 V_{T2} 导通,两路并联输出的脉冲列经放大、隔离驱动电路,使主开关元件关断或导通,主电路输出直流电压 U_0 。改变给定电压 U_g ,可改变 U_3 值,从而改变主开关元件通、断时间,实现 U_0 从0~150V连续可调。当 U_g 一定,则 U_0 一定,但由于某种因素使 U_0 升高(或降低)时,开关电源采样电路 R_4 、 R_5 (见图1)的电压反馈信号 U_f ,从TL494的1端引入,经误差放大器,使 U_3 升高(或降低),使 V_{T1} 、 V_{T2} 和主开关元件每半周($T/2$)内的截止时间增长(或缩短),导通时间减小(或增大),补偿了 U_0 的增大(或减小),从而保持了输出电压 U_0 的稳定。调压、稳压过程波形见图4。

3.3 放大、隔离驱动电路

电路如图 5 所示。为使 TL494 能控制高压工作下的主电路,可靠触发主开关元件,本机将 TL494 两路并联、同步工作的脉冲列由三极管 T_3 作进一步功率放大,经脉冲变压器隔离并将信号幅度升高,再由稳压管 DZ_1 、 DZ_2 (DZ_3 、 DZ_4) 限幅去驱动功率管 MOSFET。场效应管的驱动电流虽小,但为使驱动脉冲有较陡的上升和下降沿,仍要求注入功率 MOSFET 的驱动功率较大,使驱动脉冲波形良好,以提高开关电源的可靠性和稳定性。功率场效应管的驱动电压过低,将使其导通内阻较大,增加管耗,过高则易损坏功率场效应管。本机设置的驱动电压由 DZ_1 、 DZ_2 (DZ_3 、 DZ_4) 限幅在 15V 左右。图中 R_9 、 C_3 (R_{13} 、 C_4) 用于消振和减小噪声。

3.4 过流和短路保护电路

本机一旦出现过流或短路故障,将自动切断主电路,同时声光报警,电路如图 6 所示。电流检测信号取自直流电流表分流器,经 CF741 组成的同相比运算电路放大后的信号电压 U_j ,送入由 NE555 构成的触发器,由于它的电压控制端 5 接入稳定电压 U_{z5} ,确定了 2、6 端的触发电平值。当开关电源正常工作时, $U_j < U_{z5}$,保护系统不动作。当发生过流或短路时, $U_j > U_{z5}$,NE555 的放电管由截止转为导通, TLP 光电耦合器工作,其三极管饱和导通,使 TL494 的 4 端电位 $U_4 = 5V$,结果 $U_4 + 0.12V > U_{5max} = 3V$,输出脉冲被封锁,主开关元件关断;

同时继电器 J 接通,它的常闭触点断开,切断晶闸管触发电路的给定信号,使晶闸管关断,并声光报警。只在故障排除,切断辅助电源或总电源

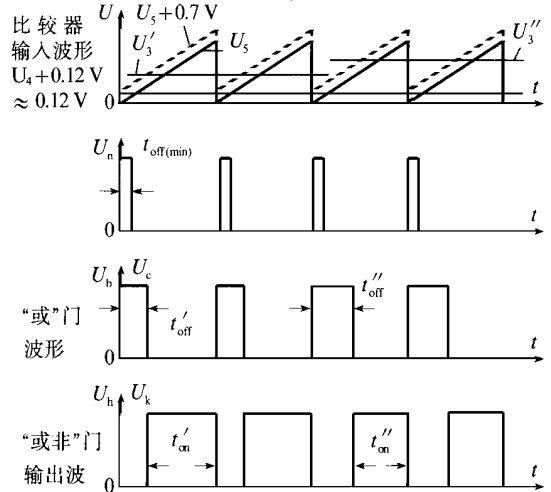


图 4 13 端为低电平时,开关电源调压、稳压过程波形图
Fig. 4 The regulating and stabilizing waveform of a switching power supply with pin 13 grounded

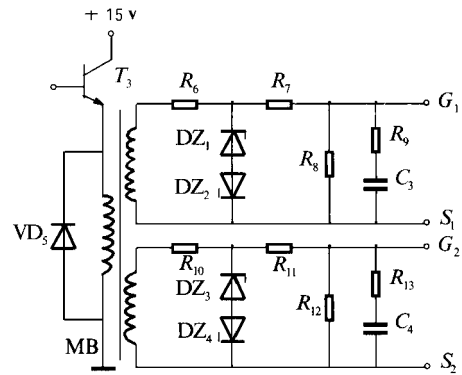


图 5 放大、隔离驱动电路

Fig. 5 The amplifying and isolate-driving circuits

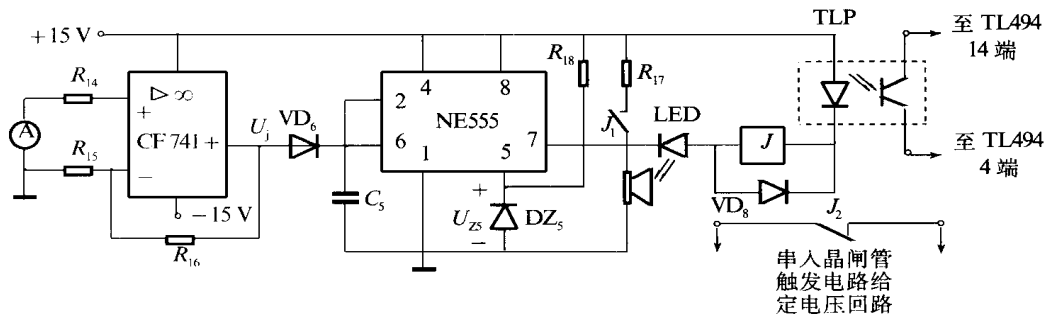


图 6 过流和短路保护电路 Fig. 6 The over-current and short-circuit protection circuits (下转第 42 页)

众所周知, MCP 是一种通道式电子倍增器面阵, 它是具有近 $10^5 \sim 10^7$ 小孔或通道构成的半导体玻璃薄片。MCP 借助于通道表面的二次电子发射特性将入射光子或带电粒子的信号以二次电子方式倍增。工作时通常 MCP 输出面接地而输入面接上负高压 ($\sim \text{kV}$)。

当一个光电子入射进入通道, 便有两个或更多的电子产生, 外加的电压使二次电子在通道内进行连续的雪崩式的倍增, 到输出端产生的电子达 $10^5 \sim 10^6$ 个。输出端的电子数被称为 MCP 增益。增益的大小, 除了 MCP 玻璃的物理特性, 通道的几何尺寸如长径比等固定因素外, 主要决定于 MCP 所加的工作电压。在低压下, 增益与工作电压成线性关系; 高电压下, 由于通道输出端形成高密度电子云, 当输出电子流超过了通道板带电流的 $5\% \sim 10\%$ 时, 改变了通道内的电场分布, 抑制二次电子的进一步的发射, 形成饱和的空间电荷, MCP 逐渐进入饱和的工作状态。此时增益接近于常数。

用于光子计数探测器的 MCP 必须在高增益的脉冲饱和模式下工作, 至少应有大于 10^5 以上的稳定增益值。

(待续)

表 1 MAMA 探测器的关键特性^[1]

Table 1 Main specifications of SOHO, STIS and FUSE

	SOHO	STIS	FUSE
象元模块	360 \times 1024	1024 \times 1024	728 \times 8096 (4 \times 728 \times 2024)
象元尺寸	25 \times 25 μm^2	25 \times 25 μm^2	22 \times 16 μm^2
阳极阵列有效面积	9.0 \times 25.6 mm^2	25.6 \times 25.6 mm^2	16.0 \times 32.4 mm^2 (\times 4)
MCP 有效面积	10 \times 27 mm^2	27 \times 27 mm^2	17 \times 33 mm^2 (\times 4)
MCP 孔径	12 μm	12 μm	8 μm
放大器数目	105 (104 + 1)	133 (132 + 1)	577 ([4 \times 144] + 1)
光电阴极材料	MgF ₂ 和 KBr	CsI 和 Cs ₂ Te	KBr

(上接第 46 页)

并重新合闸后, 保护电路才回到电源正常工作时的状态。

4 结束语

(1) 采用两级稳压和两场效应管、二极管箝位的单端正激式变换器, 可降低功率场效应管耐压要求, 确保大功率开关电源长时间工作的安全性和可靠性。

(2) 本机实现了 0 ~ 150V 直流输出电压的大范围连续可调。

(3) 本机只要场效应管模块选择合适, 直流

输出电流可达 15A。若采用双重正激单端变换器作主电路, 输出功率可加大一倍, 且有利于减小输出滤波器体积和输出纹波。

(4) 用两级稳压, 虽影响电源总效率, 但可在大范围调压下, 仍具有足够的输出电压稳定度。

(5) 本机变压器隔离驱动电路简单, 工作可靠。

参考文献

- 1 全国电源技术年会论文集(十届), 上册。天津: 中国电源学会, 1993. 11

A High-power and Wide-range Switching Power Supply

Lin Yan, Lin Jiecai (Electric Education Center, Shantou University, Shantou, 515063)
Department of Electronic Engineering,

Abstract A switching power supply with high power and wide voltage regulation is introduced. Consisting of a single-ended forward exciting circuitry, the system control block is so simple that this makes it very convenient to maintain. Experiments show that this power supply is reliable.

Key words Field Effect Transistor (FET) Converter Pulse width modulation