

一种新型的单端正-反激式高压电源设计

范鹏, 王雪飞, 汪军

(华东电子技术研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:提出了一种新型单端正-反激式高压电源的拓扑形式,它兼具了正激式电源和反激式电源的优点,电路简单,元件较少,无需添加铁心复磁电路,具有高电压增益和高效率。介绍了该电源的 3 种工作模式,分析了电源的工作原理,得出了电压增益公式和电源变压器的设计方法。最后进行了电路仿真和实验,设计的实验电源功率为 30W,输出电压为 1.5kV,效率高达 92%;实验结果符合仿真结果,证明该电路是一种很好的高压电源拓扑形式。

关键词:高压电源; 变压器 / 正-反激

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2007)05-0045-02

Design of a Novel of Forward-Flyback Single End High Voltage Power Supply

FAN Peng, WANG Xue-fei, WANG Jun

(East China Research Institute of Electronic Engineering, Hefei 230031, China)

Abstract: A novel forward-flyback single end high voltage power supply topology is reported, it takes the advantages of forward power supply and flyback power supply; simple circuit, fewer component, needless to add the reset circuit for core, higher voltage gain, higher efficiency. The article presents three working mode of the power supply, analyzes its working principle, and gives the voltage gain formula of the supply power and the design method of power transformer. At last, the simulation and experimental results are given, the experiment power supply is designed for a 30W 1.5kV output rating, and its efficiency is high to 92%. The experimental results conform with the simulative results, which proves that the circuit is a very good topology of high voltage power supply.

Keywords: high voltage power supply; transformer / forward-flyback

1 引言

针对要求输出电压为 1.5kV, 输出功率为 30W 的电源, 若采用 Boost 电路来实现, 则主电路开关管的耐压问题不好解决, 故决定采用电路简单的单端式隔离电源。正激式电源的优点是输出电压纹波较小, 缺点是需添加铁心复磁电路; 而反激式电源与正激式电源正相反, 它无需添加铁心复磁电路, 但输出电压纹波较大。

鉴于此, 提出了一种新型单端正-反激式电源, 该电源兼具二者的优点, 电路简单, 元件较少, 既无需添加铁心复磁电路, 又减小了输出电压的纹波, 具有高电压增益和高效率。

2 电路原理及模式分析

图 1 示出新型的单端正-反激式电源电路及工作时序。图 2 示出该电路的 3 种工作模式。

(1) 模式 1 开关管 VT_1 导通, VD_1 截止, VD_2 导通, 等效电路见图 2a 所示。这时, 电源电压 U_i 加在变压器的初级绕组上, 而次级绕组电压 u_s 和电容 C_2

一起向次级储能电容 C_3 及负载供电。

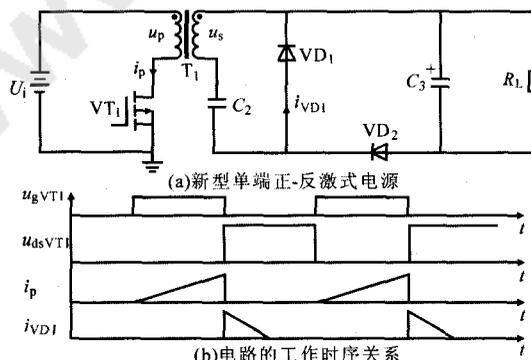


图 1 新型单端正-反激式电源电路及工作时序

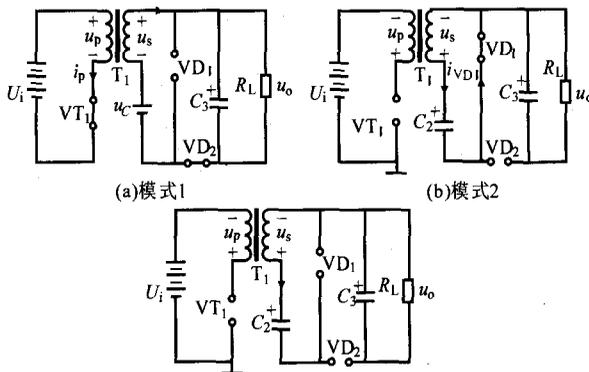


图 2 3 种模式的电路

$$U_i = N_p \frac{d\Phi}{dt}, \quad U_o = u_s + u_{C2}, \quad U_o = i_o R_L \quad (1)$$

定稿日期: 2006-10-30

作者简介: 范鹏 (1965-), 男, 安徽合肥人, 高级工程师, 研究方向为特种电源。

式中 N_p ——变压器初级绕组匝数

(2) 模式 2 VT_1 截止, VD_1 导通, VD_2 截止, 等效电路见图 2b 所示。这时, 变压器的初次级电压均反向, u_s 向 C_2 充电, 而负载电流仅由 C_3 提供。

$$-u_s = N_s \frac{d\Phi}{dt}, u_s + u_{C2} = 0, U_o = I_o R_L \quad (2)$$

式中 N_s ——变压器次级绕组匝数

(3) 模式 3 VT_1 截止, VD_1, VD_2 截止, 等效电路见图 2c 所示。这时, 模式 2 中次级绕组向 C_2 充电结束, 仅有 C_3 向负载供电。

$$U_o = I_o R_L \quad (3)$$

3 原理分析

当电源进入稳定状态时, 根据变压器的伏秒平衡原理^[1], 有:

$$(U_o - u_{C2})T_{on} = u_{C2}T_{off}, u_{C2} = \frac{T_{on}U_o}{T_{on} + T_{off}}, T_{on} + T_{off} \leq T_s \quad (4)$$

式中 T_{on}, T_{off} ——开关管导通、关断时间

T_s ——开关管开关周期

将式(2)代入式(1), 得该电源的电压增益为:

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{T_{on} + T_{off}}{T_{off}} \quad (5)$$

当变压器电流处于连续状态时, 即 $T_{on} + T_{off} = T_s$, 则 $T_{on} = D_{on}T_s, u_{C2} = D_{on}U_o$, 得到在该特殊情况下的电源增益为:

$$M = N_s / [N_p(1 - D_{on})] \quad (6)$$

4 变压器的设计

从电源的工作原理来看, 该变压器兼有储能、限流、隔离的作用, 因此变压器的设计应类似于单端反激式变压器设计^[2]。变压器选用国产铁氧体铁心, 设计参数为: $B_s = 390\text{mT}, \Delta B = B_s / 2 = 195\text{mT}$, 铁氧体的填充系数 $K_c = 1$, 窗口系数 $K_u = 0.4$, 导线的电流密度 $J = 300\text{A}/\text{cm}^2$, 电源的输出功率 $P_o = 30\text{W}$, 效率 $\eta = 80\%$, 电源开关频率 $f_s = 100\text{kHz}$, 导通占空比 $D_{on} = 0.45$, 计算铁芯有效截面积 S 与铁芯窗口面积 Q 的乘积为:

$$SQ = \frac{2P_o D_{on}}{\eta \Delta B K_c K_u f_s J} \times 10^7 = 0.144\text{cm}^2 \quad (7)$$

考虑到实际电路板的大小, 最终选择了体积较小, 高度较低的 ER28 铁心, 测量 $Q = 3.2\text{cm}^2, S = 0.836\text{cm}^2$, 其 $SQ = 3.2 \times 0.836 = 2.68\text{cm}^2 > 0.144\text{cm}^2$, 说明该选择是可行的。

变压器初级绕组的匝数 $N_p = U_i D_{on} / (\Delta B S f_s) \times 10^7 = (80 \times 0.45) / (195 \times 0.836 \times 100 \times 10^3) \times 10^7 = 22.1$ 匝, 取为 22 匝, 变压器匝比计算按照连续状态进行, 由式(6)得次初级匝数比 $n = N_s / N_p = M(1 - D_{on}) = 1500 \times (1 - 0.45) /$

$80 = 10.3$, 因此变压器次级绕组的匝数 $N_s = 22 \times 10.3 = 227$ 匝, 后经实验确定 $N_s = 180$ 匝, $n \approx 8$ 。

5 电路仿真

采用 SABER 软件对以上电路进行了仿真, 仿真参数设置为: $f_s = 100\text{kHz}, U_i = 80\text{V}, D_{on} = 0.45, R_L = 75\text{k}\Omega, C_2 = 0.22\mu\text{F}, C_3 = 0.47\mu\text{F}, n = 8.2$ 。图 3 示出输出电压 U_o 、激磁回收电容 C_2 的电压 u_{C2} 和电流 i_{C2} 仿真波形。由图可见, 输出电压 U_o 可达到 2kV , C_2 两端直流电压基本上恒定在 1258V , 电容上交流充放电电压小于 2V ; 在开关管截止时, i_{C2} 向 C_2 充电, 使其电压升到 1259V ; 在开关管导通时, u_{C2} 电压略有下降。仿真结果证明了上述工作原理分析的正确性。

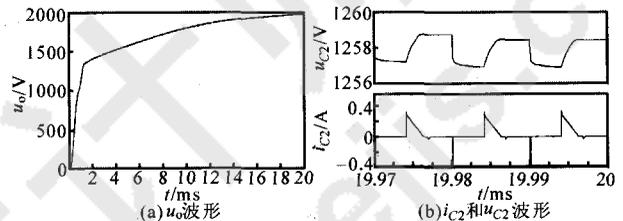


图 3 仿真波形

6 实验结果

实验参数与仿真参数相同, 变压器采用以上设计, 开关管采用某公司的 MOS 管 IRFP460。图 4 示出开关管 VT_1 的漏源极电压 u_{dsVT1} 、栅极电压 u_{gVT1} 和漏极电流取样电压 u_{dVT1} 实验波形。由图可见, $U_i = 80\text{V}$ 时, $u_o = 1.77\text{kV}$, 实验跟仿真有些差距, 这是因为仿真的设置比较理想化, 没有考虑到开关的损耗所致; 实验结果显示电源的效率很高, 达到 92% 。

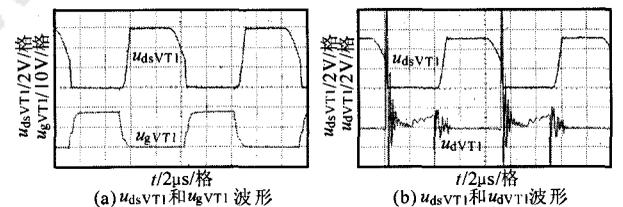


图 4 实验波形

7 结论

实验证明该电源电路简单, 元件较少, 不需要添加铁心复磁电路, 具有高电压增益、高效率, 是一种非常理想的电源拓扑。

参考文献

[1] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
[2] 叶治政, 叶靖国. 开关稳压电源[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.

欢迎刊登广告! 联系电话: 85271823 传真: 85275242