

# 基于 TOPSwitch 的小功率五路输出开关电源设计

黄先进, 林 飞, 叶 斌, 郑琼林

(北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044)

**摘要:** TOPSwitchII 系列开关电源芯片内建 PWM 控制器和高压 MOSFET, 具有自动复位能力, 集成过流、过热保护功能。利用该系列芯片设计了一种小功率五路输出的单端反激式开关电源。试验结果表明, 该电源电路结构简单, 并且运行可靠, 电源输出质量高。

**关键词:** 单端反激; 脉宽调制; 脉冲变压器; 单片开关电源

**中图分类号:** TN86 TN710 **文献标识码:** A

## Design of a Lower Power Five-Output Switching Mode Power Supply Based on TOPSwitchII

HUANG Xian-jin, LIN Fei, YE Bin, ZHENG Qiong-lin

(Department of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** TOPSwitchII series integrated with PWM controller and high voltage MOSFET have functions of auto resetting, over current protection and over heat protection. A lower power five-output switching mode power supply (SMPS) circuit is designed based on TOPSwitchII series. The experiment shows that the SMPS circuit based on TOP221P has simple circuit topology, reliable working performance, and stable output.

**Key words:** one-port flyback; PWM(Pulse Width Modulation); pulse-transformer; singlechip switching mode power supply

### 0 引 言

高频单片式开关电源是将 PWM 控制电路与功率开关器件集成在一起, 辅以较少的外围电路构成的开关电源。该系统结构简单, 工作可靠, 总体发热量降低, 电磁干扰能力增强<sup>[1,2]</sup>, 并且器件更少, 体积更小。利用单片式开关电源芯片设计开关电源, 整个系统可以由软件平台实现。通过相关软件平台可以构造满足要求的电路结构, 在线设定电路参数, 进行电路工作性能仿真, 并分析各种输出特性。这可以减小传统电路设计出现的问题<sup>[3]</sup>, 及时修正电路参数达到理想要求。

### 1 TOPSwitchII 单片开关电源芯片

TOPSwitchII 系列单片开关电源是美国 PI (Power Integration) 公司推出的新型高频开关电源芯片。该系列芯片只定义了 3 个主要管脚, 将离线式开关电源所必需的多种功能模块全部集成到一个芯片上, 包括耐高压功率场效应管 MOSFET、电压型 PWM 控制器、100 kHz 高频振荡器、高压启动偏置电路、基准电压、用于环路补偿的并联偏置调整器、误差放大器 and 故障保护电路。图 1 为 TOPSwitchII 芯片的内部功能模块框图。

图 1 中, DRAIN 引脚与芯片内集成的输出 MOSFET 漏极相连。上电时通过内部高电压电流源提供内部偏置电流使系统起动工作。CONTROL 引脚为误差放大器和电流反馈输入脚, 实现占空比调节控制。在正常工作时与内部分流调节器连接提供内部偏置电流。这也是旁路电容和自复位补偿电

收稿日期: 2004-07-10

作者简介: 黄先进(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力电子装置, 电能变换与控制, 电力牵引与传动。

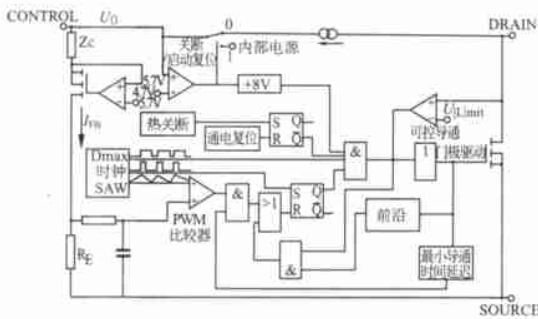


图 1 功能模块框图

容连接点。SOURCE 引脚为输出 MOSFET 的源极,不同的封装形式对于该引脚有不同接法,要区分高压回路和控制电压回路。

可通过控制极外接的电容充电过程来实现电路的软启动。当控制极电压低于 4.7 V 时, MOSFET 管关闭,控制电路处于小电流等待状态,其关断/自复位滞回比较器可使  $U_c$  保持在 4.7~5.7 V 之间。其运行波形如图 2 所示,其中图 2(a)为正常运行波形,图 2(b)为自动重新启动波形。在自动重启期间,占空比控制在 5% 左右可有效地限制芯片的功耗。

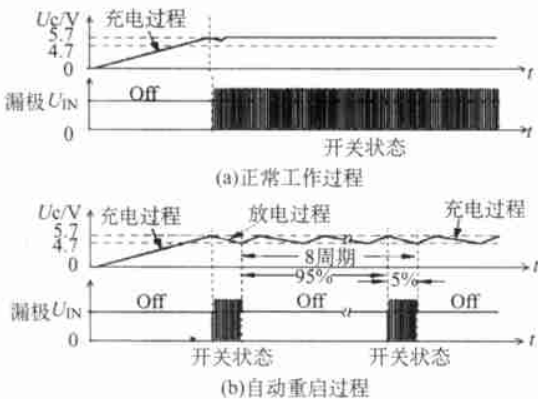


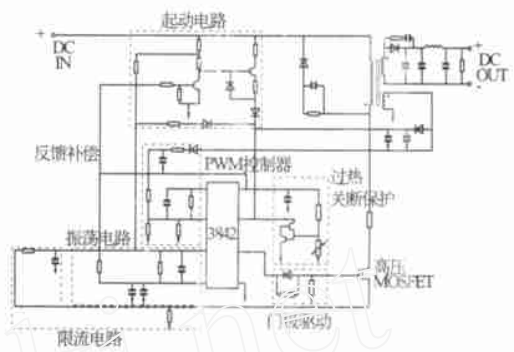
图 2 启动电流波形

## 2 小功率五路输出开关电源设计

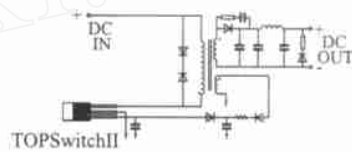
图 3 所示为一输出反激式开关电源电路。图 3(a) 所示由分立器件构成电路,图 3(b) 所示由 TOPSwitchII 系列构成与图 3(a) 等效的电路。利用 TOPSwitchII 系列芯片设计的开关电源电路与传统形式电路相比,可以节省更多器件,减小电路体积,增加系统可靠性,而且电路设计更清晰,总体成本更低廉。

### 2.1 芯片选择

按照实际应用的要求,设计了一种小功率多路输出开关电源电路。电路要求:输入电压 +15 V,输出五路,一路 +15 V 输出给 TOP 芯片控制端供电,作为与原边共地的反馈作用端,一路 +5 V 隔离输出,两组隔离输出两路共地的不同电压 +15 V



(a) 由分立元件构成的电路



(b) 等效的由集成元件构成的电路

图 3 由分立和集成器件构成的开关电源电路

和 -10 V。各路输出电流为 100 mA。此外电路尺寸应尽量小。

由于本设计要求开关电源功率较小为 5~8 W,故选择了 TOP221P 型号的芯片。按照芯片的使用电气参数说明,在通常情况下,给定漏极电压不低于 36 V。实际应用中发现,即使漏极电压低于 36 V (高于 5.8 V),该芯片也可以正常工作,只是控制端充电电流减小,会影响启动时间,自复位频率和自复位占空比。由于所设计开关电源在相对稳定负载和相对稳定输入电压条件下工作,故使 TOP221P 工作在 15 V 直流输入工况下,可以保证输出要求。

### 2.2 电路结构设计

PIExpert 电源设计软件是 PI 公司开发的简单易用、节省时间的创新设计工具。它是一种交互式软件,可以针对相关的硬件芯片,按照使用者提出的电源规范产生具体能量转换方案。PIExpert 提供一种直观的、一步一步的设计界面,让使用者分别设定变压器,输入电容参数和所用的 PI 芯片。完整的电路设计还包括输出电容,钳位二极管等参数选择,电源发热量,电路安全性分析也可以在软件设计中加以考虑。利用 PI 公司的 PIExpert 软件开发平台,可以方便的设计开关电源电路。使用该软件,可以方便的选择电路拓扑、芯片系列、芯片封装、工作频率以及其他相关特性参数。

按照要求设计了五路输出的小功率开关电源电路,一路 +5 V,两路 +15 V 和两路 -10 V 共地输出,每路输出电流 100 mA,输出功率 7 W。系统电路如图 4 所示。

图 4 中,输入为直流 15 V,由于负载相对稳定,采用原边调节电路形式。原边调节输出电压 15 V,

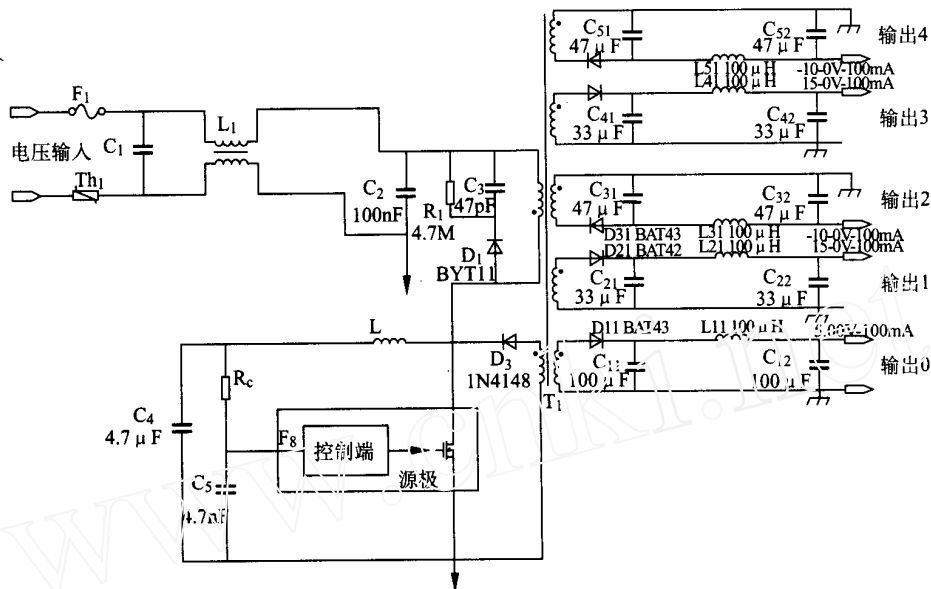


图 4 系统电路框图

通过电阻  $R_c$  给电容  $C_4$  充电,来控制启动电流大小,也即控制启动时间。正常工作时通过  $R_c$  上电流反馈来控制占空比调节输出电压。副边输出  $-10\text{ V}$  和  $+15\text{ V}$  共地,输出 0 为  $+5\text{ V}$ 。变压器设计也可以通过软件实现,可设定变压器原边电感、漏感和原边电容参数,原副边绕组匝数设定。软件还推荐了绕组的绕制方式,不同的颜色代表不同的绕组。磁芯选择标准参数。选定磁芯后,根据磁芯特性来设定这些参数,包括温升和耗散功率。变压器磁芯选择和绕线选择,包括磁芯尺寸,磁芯材料和绕线方式的选择。软件还给出了磁芯和绕组的功率损耗,变压器的利用率等参数。所有的参数可以按软件的默认值设定,也可以按使用者的具体要求自行设定。

## 2.3 电路参数设计

### 2.3.1 瞬时过压抑制电路设计

高频变压器的漏电感和整流二极管的结电容在管子截止时将形成一个谐振电路,会引起瞬时过压震荡,振幅可能超过肖特基势垒整流二极管的截止电压。为此需增加 RC 吸收回路进行抑制。

$$\text{吸收电阻: } R_s = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{L_T}{C_J}} \quad (1)$$

式(1)中,  $L_T$  为变压器漏电感  $\mu\text{H}$ ;  $C_J$  为二极管端接电容  $\text{F}$ ;  $N$  为初级次级匝比。

$$\text{电阻功率: } P_r = \frac{1}{2} C_s \left( \frac{U_{in}}{N} \right)^2 f \quad (2)$$

式(2)中,  $f$  为变换器工作频率;  $C_s$  为吸收电容。

### 2.3.2 芯片控制端外接电容选取

控制端外接电容,通过漏极的高压电流源充电,决定启动时间,无需外接启动电阻。当电容电压到

达  $5.8\text{ V}$ , MOSFET 开始工作。芯片使用手册推荐两个值:  $47\text{ }\mu\text{F}$  或  $68\text{ }\mu\text{F}$ 。

### 2.3.3 整流输出电路设计

输出整流二极管的反向截止电压值至少应等于  $1.2 U_{in} (N_2/N_1)$ 。整流二极管峰值电流最小值由下式确定:

$$I_{FM} = \frac{2I_{out}}{1 - \delta_{max}} \quad (3)$$

式(3)中,  $\delta_{max}$  为变换器最大占空比。

$$\text{最小输出电容: } C_{out} = \frac{\Delta I_{out}}{8f \Delta U_{out}} \quad (4)$$

$$\text{滤波电容的 ESR 值: } ESR_{max} = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta I_{out}} \quad (5)$$

式(4)、(5)中,  $\Delta I_{out} = 0.25 I_L$ ,  $I_L$  为设计输出电流;  $f$  为工作频率;  $\Delta U_{out}$  为允许的输出电压纹波的峰峰值。

变压器设计本文不做过多叙述,请查阅相关文献资料。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 启动过程,自动重启过程及正常输出试验

根据软件设计的电路结构图,实际构造了一个小功率多路输出开关电源硬件系统。经过具体试验证明了设计电路良好的工作性能。图 5 为自动重启过程波形,4 通道为控制端电压波形,3 通道为漏极电压波形。可以看出  $U_c$  保持在  $4.7 \sim 5.7\text{ V}$  之间,阻止 MOSFET 导通八个放电一充电周期。自动重启期间,占空比控制在  $5\%$  左右可有效地限制芯片的功耗。图 6 为上电启动和正常工作过程的波形,3 通道为漏极电压,4 通道为控制端电压。

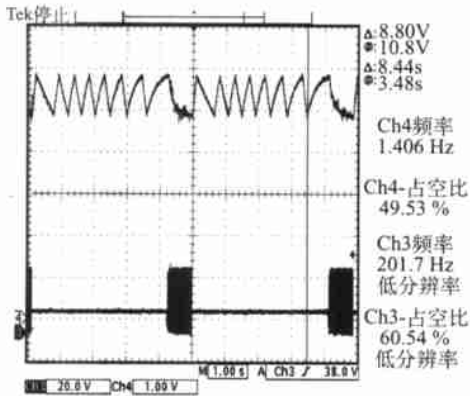


图 5 自动重启过程波形图

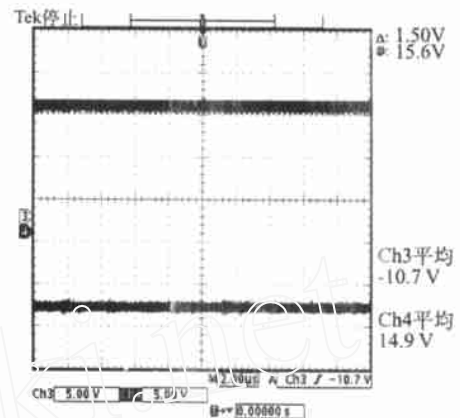


图 8 两路输出电压波形

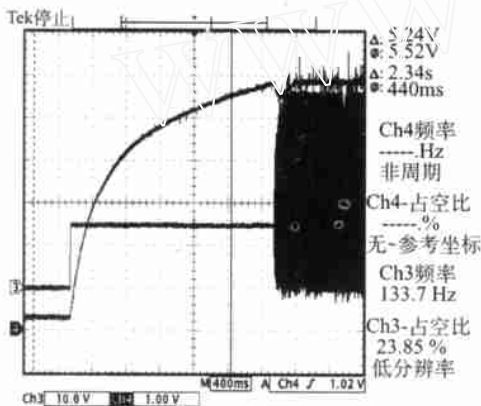


图 6 启动工作波形

图 7 为正常输出时的电压波形,1 通道为输入电压,2,3,4 通道为输出电压。其中 3,4 通道共地,2 通道应与之隔离,为了同时观测输出特性,故将输出和输入全部共地。图 8 为共地的两路输出波形。试验结果表明输出电压纹波在 +5.5 % 以内,说明输出质量很好。在输入电压 +20 % 波动时,输出电压维持 +15 V 不变。

### 3.2 单点故障可靠性试验

对电路中不同器件,不同电气节点进行短路、开

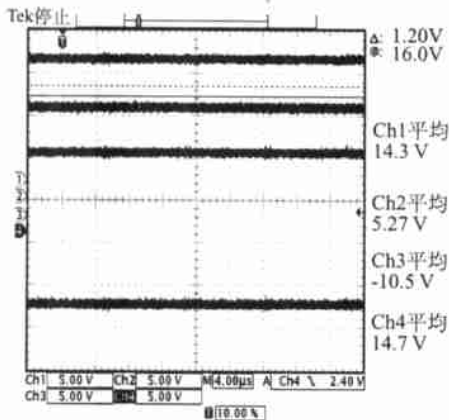


图 7 三路输出电压波形

路试验,考察电路的保护功能和可靠性。图 9 所示为针对一路输出的单点测试方案。针对电路中不同器件和节点,分别进行如下试验:a.漏极、控制端开路试验;b.控制端外接电容短路、开路试验;c.原边绕组短路、开路试验;d.副边绕组或者输出整流二极管短路、开路试验;e.输出滤波电容短路、开路试验。

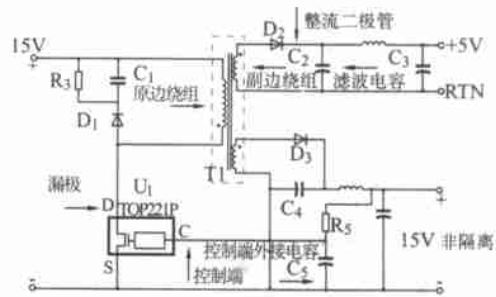


图 9 单点故障试验测试项目

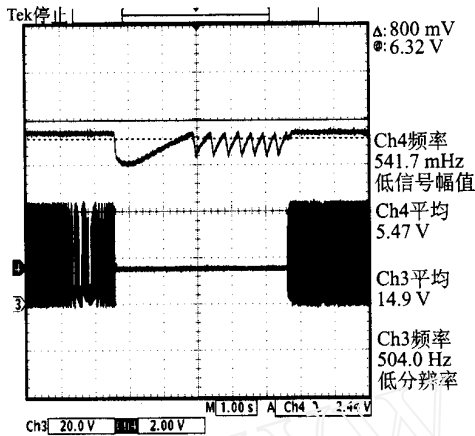
试验结果如表 1 所示,其中 a 至 e 项表示前面所提的不同试验项目;b(短),表示 b 项目控制端外接电容短路,b(开),表示 b 项目控制端外接电容开路。其他表示法依此类推。

表 1 单点故障试验要求及结果

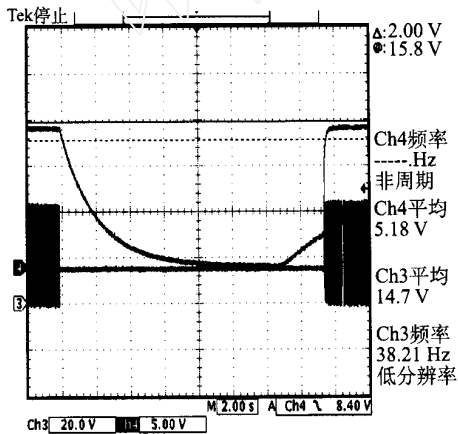
试验项目	应达要求	试验结果
a	系统停止工作	Pass
b(短)	系统停止工作	Pass
b(开)	自动重启过程	Pass
c(短)	对电路无影响或者输入保险开路	Pass
c(开)	供电停止	Pass
d(短)	自动重启过程	Pass
d(开)	无输出	Pass
e(短)	自动重启过程	Pass
e(开)	输出点观测到连续斩波过程	Pass

图 10(a)所示为单点故障测试时产生的电路自动重启过程波形。通道 4 为控制端电压信号,通道 3 为漏源电压信号。故障时电路自动重启,控制端电压会产生八个周期充放电过程。自动重启时,开关管不工作,漏极维持输入电压。图 10(b)所示为测试中故障产生时的电路保护和恢复过程波形。通

道 4 为输出 +15 V, 通道 3 为漏源电压。故障发生



(a) 自动重定过程



(b) 系统停止、恢复工作过程

图 10 单点故障测试波形

时, 系统停止工作, +15 V 无输出, 漏极电压维持输入值。故障清除后, 系统恢复工作。

## 4 结 论

试验证明本文所设计的小功率五路输出开关电源电路具有良好的工作性能。该电路结构和控制方式简单, 很大程度提高了系统可靠性和电磁兼容能力。采用 TOPSwitchII 系列芯片设计开关电源电路, 设计方法多样, 设计周期缩短。该电路效率高, 成本低, 输出电压性能好。

## 参考文献:

- [1] Wang J B . Reduction in conducted EMI noises of a switching power supply after thermal management design [J]. Electric Power Applications, IEE Proceedings, 2003, 150(3):301-310.
- [2] Brockschmidt A . A description of circuit design problems and solutions typical of military, space, and commercial switching power supplies[C]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '95. Conference Proceedings 1995, 1(3):83-89.
- [3] 潘 腾, 林明耀, 李 强. 基于 TOP224Y 芯片的单端反激式开关电源[J]. 电力电子技术, 2003, 37(4) : 20-22.
- [4] 阮新波, 严仰光. 直流开关电源的软开关技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] 胡存生, 胡 鹏. 集成开关电源的设计制作调试与维修[M]. 北京: 人民邮电出版社 1995.

## 行业信息

### 第六代电源产品登陆中国

日前, 第六代电源产品的创立者、拥有三十多年专业经验的以色列电源管理公司伽玛创力正式进入中国, 为中国用户提供更高可靠性的绿色的第六代电源产品。

随着通信与网络应用需求的飞速增长, 近年来对持续、可靠、纯净电源的需求也随之猛增, 这是原有电源系统所不能提供的, 伽玛创力研发了最新的第六代电源产品, 即模块式 UPS 电源系统, 这一革命性的新产品不仅可根据用户之要求进行不断增容, 其冗余性亦取代了传统的 1+1 并机系统。第六代电源产品的引入, 将对国内电源产品市场的产品格局更新有着巨大推动作用。

伽玛创力于 1996 年正式踏入国际市场后, 其高品质的产品与服务为伽玛创力在以色列和国际市场奠定了成功的基础。值得一提的是, 伽玛创力为此次 2004 年雅典奥运会定制超过 500 台 UPS 产品和 30 多个直流系统, 以满足运动会上不同的通信、监控等需求。伽玛创力将利用高科技优势资源与电源管理专业背景, 为中国带来全新的电源管理理念, 这将推动中国高端 UPS 市场的进一步发展。

### 比传统性能高 4 倍蓄电池问世

日前, 起动机钠盐高能蓄电池科技成果在哈尔滨鑫科高能电源有限公司通过有关部门鉴定。中国工程院院士杜善义等专家鉴定认为, 该成果各项指标均达到或超过国际相关标准, 已处于世界领先地位。

据介绍, 哈尔滨鑫科高能电源有限公司的专家经过大量研究, 取得了“钠盐高导电液”、“高容耐久正负极活性物质配方及生产方法”两项专利技术, 研制出了起动机钠盐高能蓄电池。由于钠盐电解质不易挥发, 性能稳定, 被称为“无内耗蓄电池”。

经检验, 这种新型蓄电池容量有利于大电流放电, 可以连续打火 80 次以上, 在 -40℃ 的高寒环境和 70℃ 的高温下都可运转自如。哈尔滨大众交通运输公司等单位长期试用后发现, 这种新技术将蓄电池的寿命延长了数倍, 而且新型蓄电池自放电量少, 每次充电只需 4 小时, 电量能保持一年以上, 比传统蓄电池的性能提高了 4 倍。