

# 基于 IRS2500S 的反激式功放电源的研究

江欣怡 史延东\*

(西北工业大学 自动化学院,西安 710072)

**摘要** 针对传统开关电源运用于功放场合的缺陷,设计了一种基于 IRS2500S 芯片的 APFC(有源功率因数校正)单端反激式变换电路。运用单周期控制技术,采用弱反馈方式,来适应功放电源的指标要求,最后给出 100 W 样机的实验波形及性能分析。实验结果表明,该功放电源具有效率高、输出纹波小、瞬时功率大、功率因数高等特点。此外,相比于传统电源,该电源的大动态负载输出更加稳定,更适于功放电源的运用场合。

**关键词** IRS2500S 单周期控制 单端反激式 功放电源

**中图分类号** TN86; **文献标志码** A

开关电源虽然有许多无可比拟的优点,但在功率放大器中的应用却不尽人意。其原因主要包括<sup>[1]</sup>:可靠性欠佳,价格偏高;开关电源的纹波干扰和反应速度对音质也有影响。因为开关电源工作在矩形脉冲状态,其谐波分量频谱极宽,要消除空间电磁场辐射和输出电路中残余纹波比较困难。另外,无论脉冲频率调宽系统还是脉冲频率调制,都需要经过脉冲变压器磁能,电能的相互转换,才能实现稳压作用。因此传统开关电源对音响供电时,削顶失真产生的波形畸变必然会影响到功率放大器的性能。

现采用一种基于 IRS2500S 芯片的 APFC 单端反激式变换电路。IRS2500S 芯片运用单周期控制技术,将输入信号变换成 PWM 脉冲信号,然后用 PWM 脉冲信号去控制大功率开关器件通/断,利用极高频率的转换开关电路来放大音频信号,属于 D 类功放电源的范畴。IRS2500S 本身是 PFC 芯片,通过弱反馈的反馈方式,将其应用于反激电路中,来适应功放电源的要求。

2013年4月24日收到

第一作者简介:江欣怡(1989—),女,江苏常州人,西北工业大学硕士研究生,研究方向:电力电子与电力传动。E-mail: 1240248728@qq.com。

\*通信作者简介:史延东(1961—),男,陕西西安人,西北工业大学研究生导师,副教授。研究方向:电力电子与电力传动,模式识别技术,开关电源设计等。

## 1 IRS2500S 芯片简介

### 1.1 IRS2500S 管脚特点

IRS2500S<sup>[2]</sup>是  $\mu$ PFC 功率因数校正控制 IC,适合开关模式电源(SMPS)、LED 驱动器、荧光及 HID 电子整流器等应用。该控制器可在采用临界传导模式的升压型功率因数校正或反激式配置中操作;最少导通时间非常短,从而为通用输入操作提供很大的功率因数校正输入范围。器件具有一个总谐波失真优化电路,可以降低线电流谐波;此外,还具备高噪声免疫能力,有助于简化设计和降低系统成本。IRS2500S 采用 SO-8 封装,具备以下功能特点:小于 50  $\mu$ A 的微功率启动电流、2.5 mA 静态电流,以及静态与动态过压保护和过流保护等。图 1 是 8 引脚 IRS2500S 内部结构图。

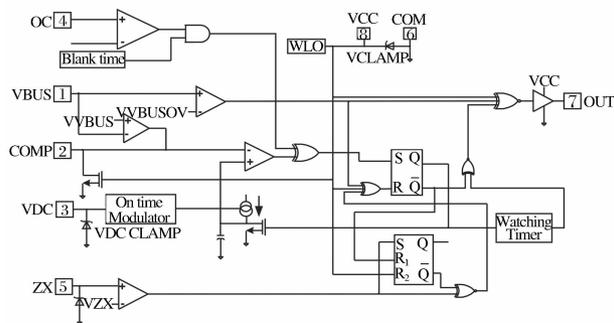


图 1 8 引脚 IRS2500S 内部结构图

如图,OC 管脚是电流误差放大器的输入端,作

为开关管电流检测端兼有过流保护功能;VBUS 管脚通过电阻分压器将 DC 母线电压信号输入此管脚,在芯片内部则是输出采样电压误差放大器的输入端;COMP 管脚联结到输出采样电压误差放大器输出端和积分器的输入端,通过 RC 设定反馈环速度,决定 MOSFET 开通时间,起着 PI 调节器的作用,影响着输出的响应速度和稳定;VDC 管脚为 On time Modulator 模块提供相位信息;ZX 管脚通过复线绕组,测定电感电流降为 0 的时间;COM 管脚端是芯片的物理接地端;VCC 管脚供给电压输入端,给芯片工作提供电能;OUT 管脚为开关管提供低端门极驱动输出信号。

## 1.2 单周期控制技术(OCC)

美国的 K. Smedley 教授开发了一种新的控制技术,被称作单周期控制技术<sup>[3]</sup>(OCC)。该技术采用可复位积分器,利用单周期系统在每个开关周期内控制开关管的占空比。

IRS2500S 芯片采用单周期控制的控制策略,校正电流波形(以保证高功率因数)所需要的信息全部来自 DC 母线电压和回路电流。图 2 为典型单周期控制的 BoostPFC 电路,输出电压反馈信号经过 PI 调节器,通过可复位积分器,形成上升斜率不同的锯齿波,与电感电流采样信号比较,最后输出脉宽可调的 PWM 波,快速调节单开关周期的开通时间。其中,电压反馈信号决定 PWM 波占空比的基值,电流反馈信号对基值进行细调,保证输入电流畸变时的修正,从而降低输入电流的总谐波失真度(THD)。

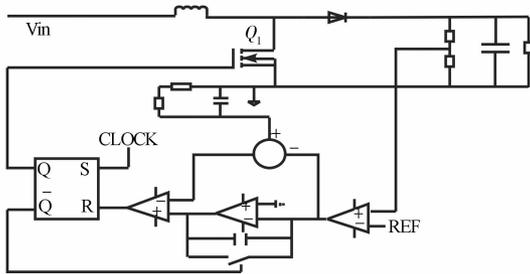


图 2 典型单周期控制 BoostPFC 电路

PFC 控制策略的最终目的是实现输入电流与输入电压同相位并且幅值成比例,即:

$$V_{IN} = I_{IN}R_{IN} \quad (1)$$

式(1)中,  $R_{IN}$  表示等效输入阻抗,根据 Boost 型变换电路特性:

$$V_{IN} = V_{OUT}(1 - D) \quad (2)$$

合并式(1)、式(2)

$$I_{IN} = \frac{V_{OUT}(1 - D)}{R_{IN}} \quad (3)$$

令  $V_s$  表示输入采样电压值,等式(3)两边同乘输入电流采样电阻  $R_s$  :

$$I_{IN}R_s = \frac{V_{OUT}(1 - D)}{R_{IN}}R_s = V_s(1 - D) \quad (4)$$

若输出电容足够大,  $V_s$  在一个周期内可认为是恒定的,对上式两边同时积分得

$$I_{IN}R_s = V_s - \frac{1}{T} \int_0^T DV_s(t) dt \quad (5)$$

从而构造 OCC 控制方程表达式得:

$$V_s - I_{IN}R_s = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s(t) dt \quad (6)$$

式中  $T$  表示一个开关周期,通过式(6)的比较电路即可确定占空比  $D$ 。

## 2 单端反激开关电源的设计

图 3 为以 IRS2500S 为核心的单端反激式开关电源,其基本工作原理是:输入交流电(85VAC-260VAC)通过 EMC 模块,经由整流模块后得到直流电,再通过开关管  $Q_1$  的开关变换为高频交流电。当开关管  $Q_1$  开通时,变压器原边电感储能;当开关管  $Q_1$  关断时,将存储的能量传输到变压器的副边。开关管  $Q_1$  高频率开通关断,使输出端充电到给定电压值,从而实现了单端反激变换电路变压、能量储存及传递的功能。最后经全波整流及滤波后输出。

EMC 模块中,  $CX_1, CX_2, CX_3$  是滤波电容,主要用于抑制差模干扰信号;  $L_1, L_2$  为共模扼流圈,其主要作用是滤除信号线上的共模电磁干扰,同时避免抑制电磁干扰影响电源的其它器件;  $Z_1, D_1$  构成缓冲电路,吸收开关管  $Q_1$  关断瞬间过高的电压尖峰,避免器件因太大的开关应力而损坏;此外,整流桥后的滤波电容以及输出滤波电容采用多个小电容并联的方式,可以减小寄生电感及等效串联电阻的影响,减小输出纹波。

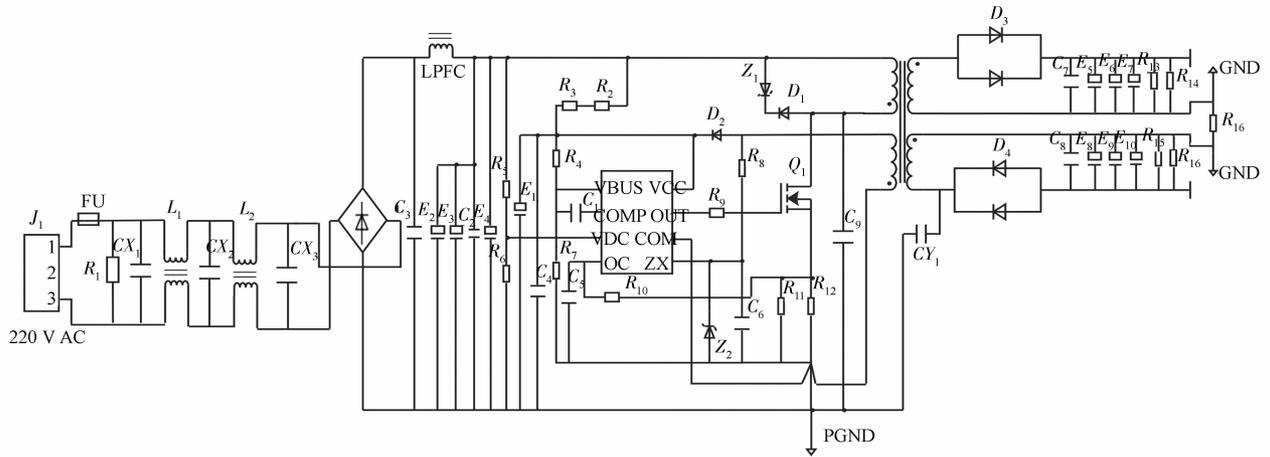


图3 单端反激式功放电源电路图

IRS2500S 工作特点:开关管  $Q_1$  的开通时间由反馈误差放大器及输入电压共同决定,  $R_4$ ,  $C_1$  以及 IC 内部的 OP 组成反馈误差放大器,而输入电压通过  $R_5$ ,  $R_6$  分压后直接控制 IC 内部振荡环节电流源电流大小,进而影响开通时间;开关管  $Q_1$  的关断时间由原边电感电流决定,  $R_8$ ,  $C_6$ ,  $Z_2$  共同构成电感电流采样电路,  $Q_1$  关断后,原边电感电流逐渐下降,当电流下降为零时,开通  $Q_1$  进入下一个开关周期。从而,开关管实现了零电流开通。

特别地,为了适应功放的特性,负反馈回路摒弃了传统开关电源直接从输出端反馈的方式,而是在变压器副边添加绕组做为反馈。电压反馈环通过不断监控 DC 母线电压输出,调整开关管  $Q_1$  开通时间:若母线电压过高,开通时间降低;母线电压过低,开通时间增加。因此,只有当输入电压变化时,反馈电路才会调节开关的占空比;负反馈电压环使平均电感电流平稳跟随低频输入母线电压,以得到高功率因数和低 THD,实现输出电压的稳定输出,即保证了较高的电压调整率。但是当出现大动态负载时,瞬间的大电流由输出滤波电容提供,并不调节开关的占空比,消除了传统大环路反馈因稳压需要调整开关脉宽而造成开关转换速率突降,从而

形成对放大动态瞬间输出供电电力不足的矛盾。

### 3 仿真及实验结果分析

#### 3.1 仿真验证及结果分析

采用内嵌 Pspice 模型的 ORCAD 仿真软件对 EMC 模块后的单端反激转换电路进行仿真验证,仿真电路如图 4 所示。

#### 3.2 实物试验及结果

实验硬件电路实物图如图 5,实验波形结果分别如图 6~图 8 所示:其中,图 6 为输出电压波形;图 7 为 MOS 管脉冲波形和 MOS 管两端电压波形;图 8 为输出纹波及噪声波形。

另外,还进行了传统电源与设计功放电源的比较实验:测试不同电源输出功率在 50 W 和 200 W 切换时,输出电压的变化;图 9 和图 10 分别为传统电源和设计电源的实际输出波形。

### 4 结论

实验证明,该功放电源,输出纹波 16mVPP,噪声 180mVPP,瞬时输出功率可达 250 W,校正后的功率因数可达到 0.97。此外,软开通的特性使得该功放电源发热小,效率可达到 88% 以上。

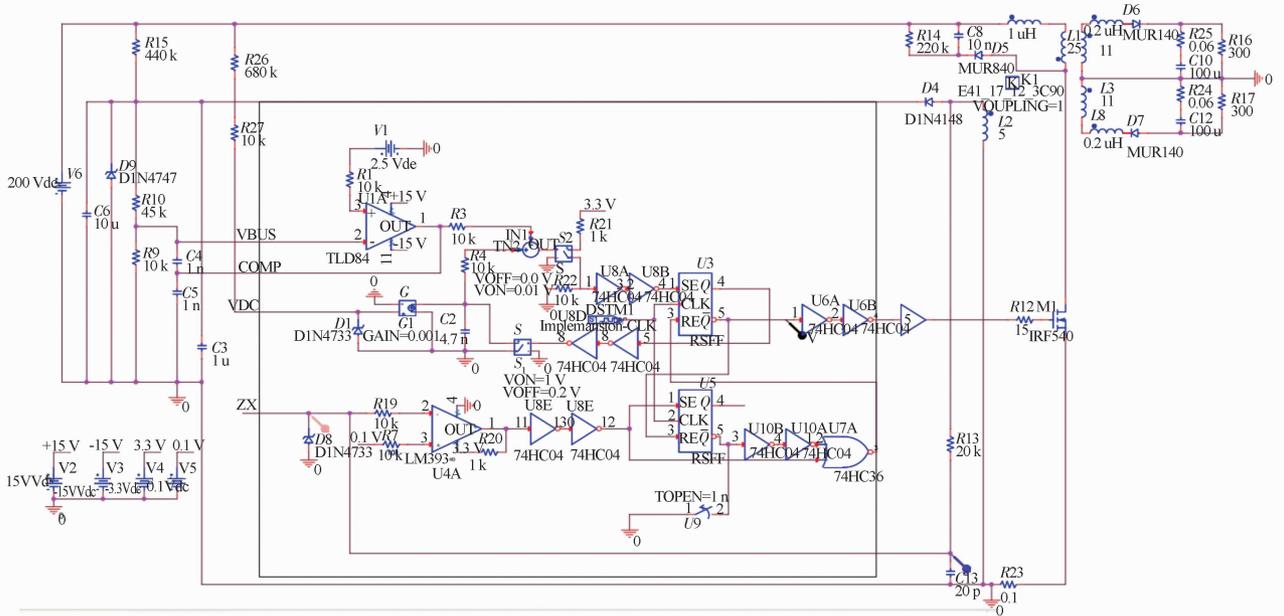


图 4 EMC 模块后的单端反激电路仿真图

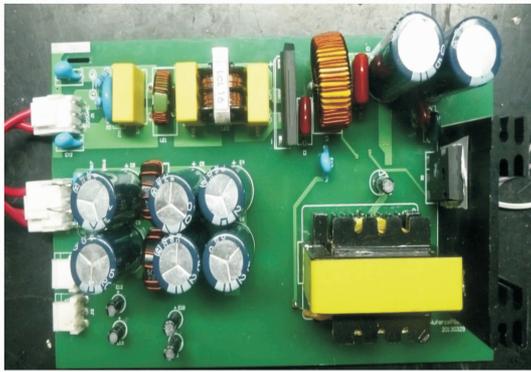


图 5 硬件电路实物图

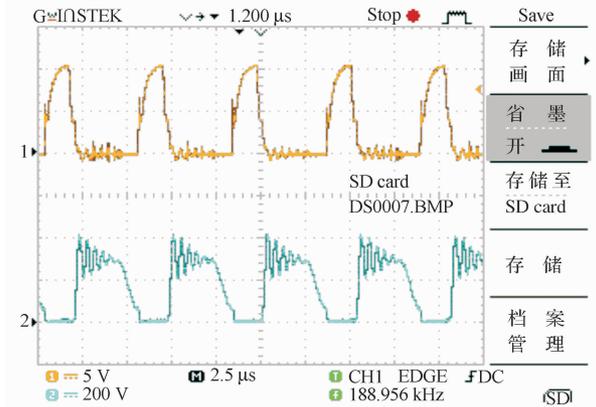


图 7 MOS 管脉冲波形和管子两端电压波形

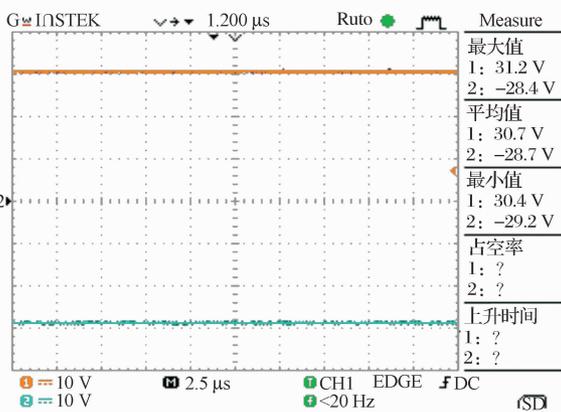


图 6 输出电压波形

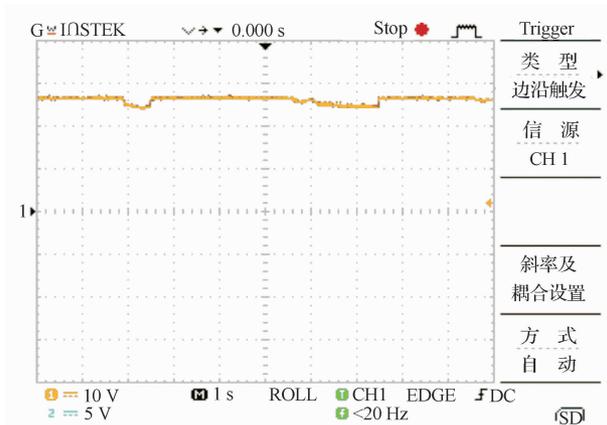


图 8 输出纹波及噪声波形

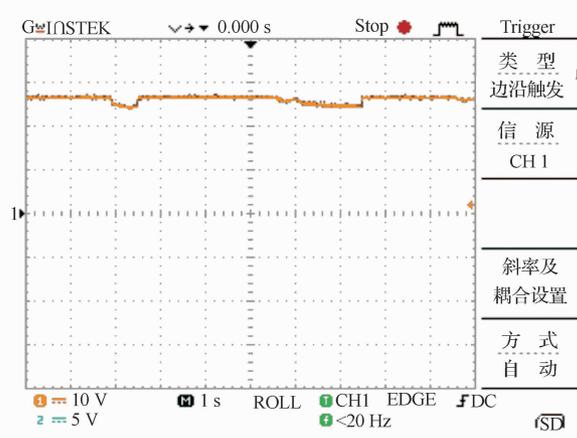


图9 传统电源功率切换时输出波形

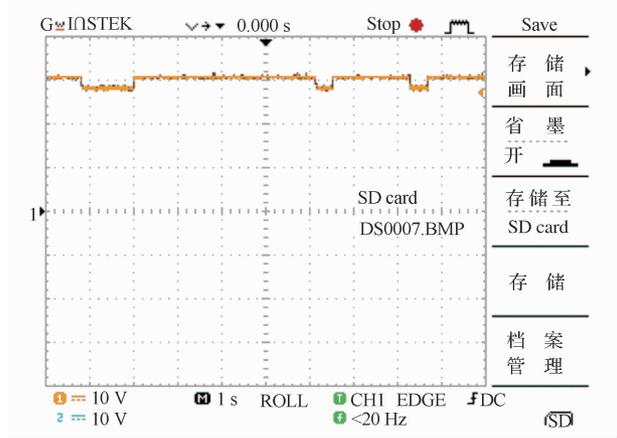


图10 设计功放电源功率切换时输出波形

### 参 考 文 献

- 1 周 虎. 开关功放电源的研究. 四川:西南交通大学研究生学位论文,2007
- 2 IRS2500S:  $\mu$ PFC 功率因数校正控制 IC. 世界电子元器件,2012; (1):32
- 3 张善纯. 一种新型单周期控制技术的设计与分析. 电子测量技术,2009;32(3):12—15

## Research on a Flyback Power Amplifier Based on IRS2500S

JIANG Xin-yi, SHI Yan-dong\*

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

**[Abstract]** According to the drawback of the traditional switching power supply used in the power amplifier, a single-ended flyback(APFC) converter circuit based on IRS2500S chip is designed. The OCC control technology and the weak feedback are used to meet the indication requirements of power amplifier. Finally, the experimental waveforms of the 100 W power supply and the analysis of its performance is given. The experimental results show that the power amplifier has advantages of high efficiency, small ripple, great instantaneous power, high power factor and so on. In addition, when compared with the traditional power supply, the large dynamic load output of the designed power supply is more stable than the traditional one, which is more suitable for applications of the power amplifier.

**[Key words]** IRS2500S OCC single-ended flyback power amplifier