

# 单端反激开关电源原理与设计

林晓伟

(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏省南京市 210061)

**摘要:**单端反激开关电源具有输出纹波小、输出稳定、体积小、重量轻、效率高以及具有良好的动态响应性能等许多优点,被广泛应用在小功率开关电源的设计中。UC3842 是 Unitor 公司推出的电流型脉宽调制器,该调制器单端输出,可以直接驱动双极型功率管或场效应管,适用于无工频变压器的 20 W ~ 80 W 的小功率开关电源的设计。文中介绍了利用该集成芯片实现的具有双闭环电流(外回路和内回路)反馈系统的单端反激开关电源的原理和设计方法。

**关键词:**单端反激式开关电源;双闭环反馈;光耦隔离

**中图分类号:** TN86

## 0 引言

近年来随着电源技术的飞速发展,开关稳压电源正朝着小型化、高频化、继承化的方向发展,高效率的开关电源已经得到越来越广泛的应用。单端反激式变换器以其电路简单、可以高效提供直流输出等许多优点,特别适合设计小功率的开关电源。

本文简要介绍了 Unitor 公司生产的电流型脉宽调制器 UC3842,介绍了该芯片在单端反激式开关电源中的应用,对电源电路进行了具体分析。利用本文所述的方法设计的小功率开关电源已经应用在国电南瑞科技股份有限公司工业控制分公司自主研发的分散控制系统 GKS-9000 中,运行状况良好,各项指标均符合实际工程的要求。

## 1 反激式开关电源基本原理

单端反激开关电源采用了稳定性很好的双环路反馈(输出直流电压隔离取样反馈外回路和初级线圈充磁峰值电流取样反馈内回路)控制系统,就可以通过开关电源的 PWM(脉冲宽度调制器)迅速调整脉冲占空比,从而在每一个周期内对前一个周期的输出电压和初级线圈充磁峰值电流进行有效调节,达到稳定输出电压的目的。这种反馈控制电路的最大特点是:在输入电压和负载电流变化较大时,具有更快的动态响应速度,自动限制负载电流,补偿电路简单。反激电路适应于小功率开关电源,其原理图如图 1 所示。

下面分析在理想空载的情况下电流型 PWM 的工作情况。与电压型的 PWM 比较,电流型 PWM 又增加了一个电感电流反馈环节。

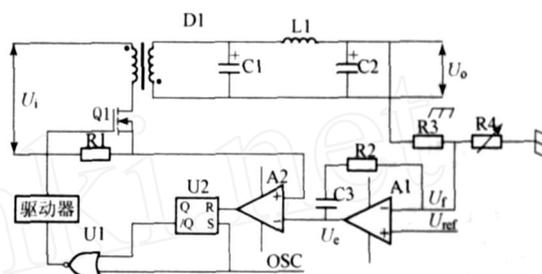


图 1 电流型反激式变换器的基本原理

图中:A1 为误差放大器;A2 为电流检测比较器;U2 为 RS 触发器; $U_f$  为输出电压  $U_o$  的反馈取样,该反馈取样与基准电压  $U_{ref}$  通过误差放大器 A1 产生误差信号  $U_e$  (该信号也是 A2 的比较箝位电压)。

设场效应管 Q1 导通,则电感电流  $i_L$  以斜率  $U_i/L$  线性增长, $L$  为 T1 的原边电感,电感电流在无感电阻 R1 上采样  $u_i = R_1 i_L$ ,该采样电压被送入电流检测比较器 A2 与来自误差放大器的  $U_e$  进行比较,当  $u_i > U_e$  时,A2 输出高电平,送到 RS 触发器 U2 的复位端,则两输入或非门 U1 输出低电平并关断 Q1;当时钟输出高电平时,或非门 U1 始终输出低电平,封锁 PWM,在振荡器输出时钟下降的同时,或非门 U1 的两输入均为低电平,则 Q1 被打开。

因此,从上面的分析可以看出,电流型 PWM 信号的上升沿由振荡器时钟信号的下降沿决定,而 PWM 的下降沿则由电感电流的陷值信号和来自误差放大器的误差信号共同决定,其工作时序如图 2 所示。

单端反激式开关电源以主开关管的周期性导通和关断为主要特征。开关管导通时,变压器一次侧线圈内不断储存能量;而开关管关断时,变压器将一次侧线圈内储存的电感能量通过整流二极管给负载供电,直到下一个脉冲到来,开始新的周期。

收稿日期:2006-08-29;修回日期:2007-04-11。

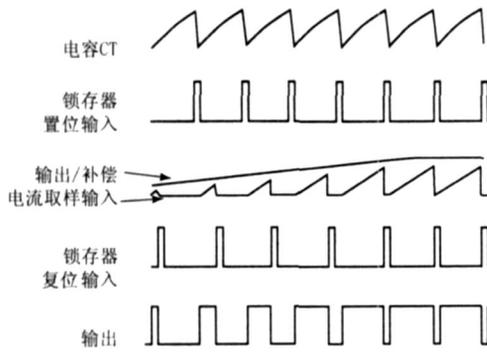


图 2 反激电路的工作波形

开关电源中的脉冲变压器起着非常重要的作用：一是通过它实现电场—磁场—电场能量的转换，为负载提供稳定的直流电压；二是可以实现变压器功能，通过脉冲变压器的初级绕组和多个次级绕组可以输出多路不同的直流电压值，为不同的电路单元提供直流电量；三是可以实现传统电源变压器的电隔离作用，将热地与冷地隔离，避免触电事故，保证用户端的安全。

## 2 反激式开关电源设计

开关电源设计中最重要的一环就是反馈回路的设计，反馈回路设计的好坏直接决定了开关电源的精度和稳定性能。前面已经介绍了单端反激开关电源采用的是双环路反馈。以下将介绍利用电流型 PWM 芯片 UC3842 设计开关电源的两种反馈回路时需要注意的一些问题。

### 2.1 输出直流电压隔离取样反馈外回路

UC3842 是一种高性能的固定频率电流型脉宽集成控制芯片，是专为离线式直流变换电路设计的。其主要优点是电压调整率可以达到 0.01%，工作频率高达 500 kHz，启动电流小于 1 mA，外围元件少。它适合做 20 W ~ 80 W 的小型开关电源。其工作温度为 0 ~ 70℃，最高输入电压 30 V，最大输出电流 1 A，能驱动双极型功率管和 MOSFET。UC3842 采用 DIP-8 形式封装。其内部结构框图和各引脚的功能见有关手册。

UC3842 的典型应用电路如图 3 所示。

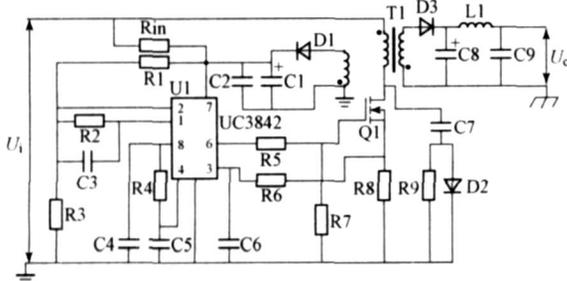


图 3 单端反激开关电源典型电路

该电路的工作原理是：直流电压加在  $R_{in}$  上，降压后加在 UC3842 的引脚 7 上，为芯片提供大于 16 V 的启动电压，当芯片启动后由反馈绕组提供维持芯片正常工作需要的电压。当输出电压升高时，单端反激变压器 T1 的反馈绕组上产生的反馈电压也升高，该电压经 R1 和 R3 组成大分压网络，分压后送入 UC3842 的引脚 2，与基准电压比较后，经误差放大器放大，使 UC3842 引脚 6 的驱动脉冲占空比减小，从而使输出电压降低，达到稳定输出电压的目的。

此电路结构简单，容易布线，成本低。但是，UC3842 的采样电压不是从输出端取到的，输出电压稳压精度不高，只适合于用在负载较小的场合。

为克服上述问题，可以对上述反馈电路进行改进，采用光耦和电压基准进行反馈控制，可以极大地提高开关电源的稳定性和精度。采用这种方法进行反馈控制时需要从副边绕组输出端进行取样，电路见图 4。

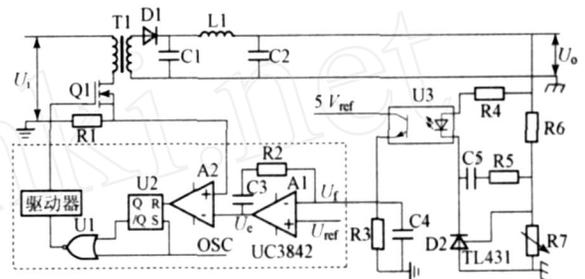


图 4 输出直流电压隔离取样反馈外回路

电压采样及反馈电路由光耦 PS2701、TL431 和阻容网络组成，图中 R5 和 C5 用于 TL431 的频率补偿，不能缺少。通过调节由 R6、R7 组成的分压网络后得到采样电压，该采样电压与三端可调稳压块 TL431 提供的 2.5 V 基准电压进行比较，当输出电压正常时，采样电压与 TL431 提供的 2.5 V 电压基准相等，则 TL431 的 K 极电位保持不变，从而流过光耦 U3 二极管的电流不变，进而流过光耦 CE 的电流也不变，UC3842 引脚 2 的反馈电位  $U_f$  保持不变，则引脚 6 输出驱动的占空比不变，输出电压稳定在设定值不变。当输出 5 V 电压因为某种原因升高时，分压网络上得到的输出电压采样值会随之升高，从而 TL431 的 K 极电位下降，流过光耦二极管的电流增大，进而流过 CE 的电流增大，从而 UC3842 的引脚 2 的电位升高。由 UC3842 内部示意图可知：误差放大器 A1 的输出电压  $U_c$  减小，亦即电流检测比较器钳位电压减小，所以由图 2 可知：UC3842 引脚 6 输出驱动的占空比减小，从而使输出电压减小，这样就完成了反馈稳压的过程。

### 2.2 初级线圈充磁峰值电流取样反馈内回路

初级线圈充磁峰值电流取样的内回路反馈也是开

关电源设计起决定作用的环节,如果内回路反馈设计不符合电路要求,开关电源就无法正常工作。

设计内回路反馈时,需要在开关管上串联一个以地为参考的取样电阻  $R_s$ (见图 1、图 4 中的  $R_1$  和图 3 中的  $R_8$ ),将初级线圈的电流转换为电压信号,此电压由电流检测比较器  $A_2$  监视并与来自误差放大器  $A_1$  的输出电平比较。

在正常的工作条件下,峰值电感电流由引脚 1 上的电压控制,其中:

$$I_p = \frac{V_{pin1} - 1.4}{3R_s} \quad (1)$$

当电源输出过载或者输出取样丢失时,异常的工作条件将出现,在这些条件下,电流比较器的门限被内部钳位至  $1.0V$ ,则

$$I_{pmax} = \frac{1.0}{R_s} \quad (2)$$

而开关电源初级线圈最大峰值电流为短路保护时变压器初级线圈流过的最大电流:

$$I_{pmax} = 1.3 I_p = \frac{1.3 \times 2P_{out}}{V_{in}DN} \quad (3)$$

式中:  $I_p$  为初级线圈电感电流;  $P_{out}$  为开关电源设计输出功率;  $V_{in}$  为开关电源输入电压;  $D$  为 PWM 的输出信号占空比;  $N$  为电源效率。

根据式 (2)、式 (3) 可以推算:

$$R_s = \frac{1.0}{I_{pmax}} = \frac{1.0V_{in}D}{2.6P_{out}} \quad (4)$$

根据计算得出的  $R_s$  阻值可以进一步计算出电流取样电阻的功率:

$$P(R_s) = \frac{1}{R_s} \quad (5)$$

选定电流取样电阻后,需要通过一个 L 型的 RC 低通滤波网络,将这个采样信号送给 UC3842 的电流

比较器。L 型 RC 低通滤波网络的上限截止频率为:

$$f_h = \frac{1}{2RC} \quad (6)$$

从低通滤波器的对数幅频特性可知,当输入信号频率低于  $f_h$  时,输出信号与输入信号几乎完全相同;当输入信号频率高于  $f_h$  时,输出信号会大幅度衰减。

利用示波器可以测量  $R_s$  采样电阻上的信号频率,因此,选择低通滤波器的 RC 参数时必须保证  $R_s$  电阻上正常的采样电压不能被滤波器衰减。

设计开关电源时,如果 RC 参数选择不当,使滤波器的上限截止频率  $f_h$  偏小,导致正常的  $R_s$  采样信号被衰减,这样当负载增大时, PWM 无法将控制脉冲的占空比调大,变压器会因为负载过重而发生啸叫。为解决这一问题,将滤波电容  $C$  的取值减小,进而提高  $f_h$ ,使正常的  $R_s$  采样信号通过滤波器,当负载加重时,开关电源可以很好地稳压,变压器的啸叫现象也没有出现。

### 3 结束语

开关电源的设计是一个实践性很强的课题,本文给出的方法仅作为一种参考,许多实际问题需要在实践中不断加以总结和完善,只有通过实践才能使设计不断臻于完美。

#### 参 考 文 献

- [1] 张占松,蔡宜三. 开关电源的原理与设计 [M]. 北京:电子工业出版社,1998
- [2] 叶慧贞. 开关稳压电源 [M]. 北京:国防工业出版社,1998
- [3] 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

林晓伟 (1982-),男,研究方向为嵌入式系统。

## Principle and Design of Single-end Flyback Switching Power

L IN Xiaowei

(NARI Technology Development Co Ltd, Nanjing 210061, China)

**Abstract:** The advantages of single-end flyback switching power are that small ripple and cubage, steady output, light weight, highly efficiency, and excellence dynamic respond and so on, so it has been widely used as a chief means in switching power design. UC3842 designed by Unitorde corporation is current PWM and is able to single-end output and drives straightly bipolar and MOSFET. The integration chip is used to design small switching power from 20W to 80W. The paper introduces the principle and design of the single-end flyback switching power designed based on UC3842, which has the feedback of double closed loop current

**Keywords:** single-end flyback switching power; the feedback of double closed loop; photoelectricity coupling