

# 正激式开关电源设计

卢 灿

(中国兵器工业第214研究所 蚌埠 233042)

**摘 要** 正激式变换器具有外围电路简单、电压和电流应力小、抗过载能力强、不易饱和、易于集成等许多优点,是中小功率降压式隔离 DC/DC 变换器最常使用的拓扑之一。本文将对其拓扑原理、磁复位电路选择、变换器设计、反馈电路设计、滤波电路设计等几个方面对其进行详细的介绍。

**关键词** 正激变换器 磁复位 DLC Snubber

## 1 引 言

正激式开关电源变换器在中小功率隔离降压型 DC/DC 电源模块中有着广泛的应用。其主变压器只是作为传递能量和电压变换的作用,启动电流、输出纹波和所需要的滤波电容均较小。在开关转换过程中不存储能量,少量的剩余能量,可

以通过简单的复位电路设计,就可以保证其在大动态重负载下不会磁饱和,电路工作稳定。由于其磁芯不需要开气隙,因而漏感较小,具有小的电压尖峰。另外,其峰值电流也较小,传输能量大,相同的传输功率所需要的磁芯较小,易于集成。

## 2 工作原理

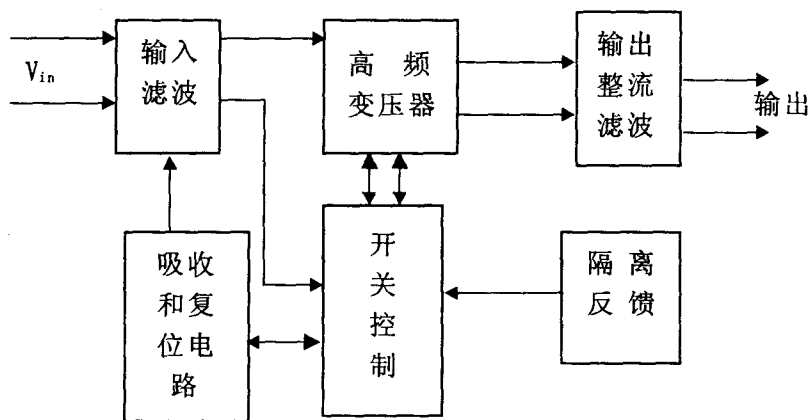


图1 原理框图

如图1所示,变换器由输入滤波、高频变压器、开关控制、吸收和复位电路、输出整流滤波和隔离反馈等六部分组成。高频变压器和开关控制组成变换器的主体,实现能量的储存和传递以及电压的变换。隔离反馈控制电路根据输出电压和

负载的变化,动态调整变换器开关管的占空比,使输出电压保持稳定。吸收和输入滤波电路对变换器产生的浪涌电流和尖峰电压进行吸收,以保证电路正常工作和降低纹波对输入和输出的影响。输出整流滤波电路完成变换器输出能量的存储和

输出电压的整型,保证恒定的直流输出。

### 3 变换器原理

如图2所示为变换器原理图,TR1为变压器,  $V_{in}$  为输入电压,  $V_{cc}$  是辅助供电电源,CS为电流

采样输入端。D2和D3为整流二极管,其与输出滤波电感和电容一起组成整流滤波电路。光耦Q1、可调基准V2和相关的阻容一起组成隔离反馈控制,其中FB接开关控制器的反馈控制输入端。

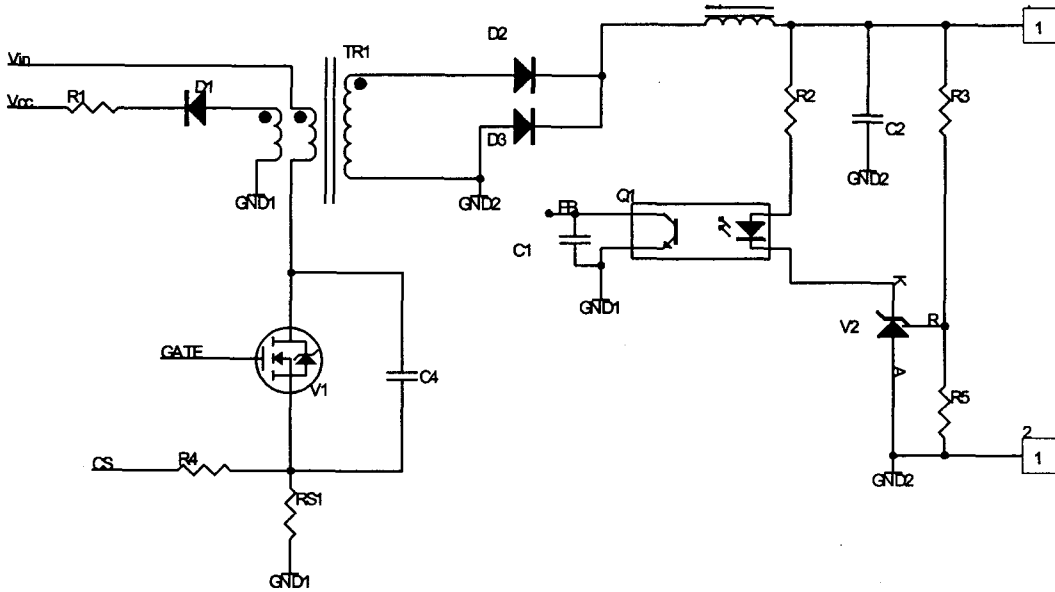


图2 变换器原理图

### 4 复位电路设计

在电源类的设计书中有很多种复位方式的介绍,这里介绍在实际使用中应用最多的两种复位电路。

#### 4.1 谐振复位

该种复位方式是在开关管的栅极和漏极间并一个合适大小的电容,利用其和开关管的寄生电感和电容产生的谐振将变压器中的剩余能量释放掉。该复位方法简单可靠,并可调节电容量的大小来控制电压应力,最大占空比可以接近80%,在小功率DC/DC变换器中使用广泛。其缺点是有部分剩余能量被损耗,并且在输入电压变化范围较大场合下应用时,低压大负载下可能出现饱和。

#### 4.2 DLC Snubber 复位

该复位方式采用DLC Snubber无损失吸收网络,对变压器中剩余能量进行无损失吸收。该复

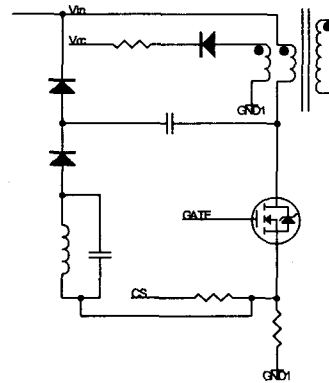


图3 DLC Snubber 复位

位电路主要应用于中大功率正激变换器中,工作可靠稳定,最大占空比可达到80%,是一种较为理想的电路结构。

### 5 正激变压器的设计

#### 5.1 磁芯的选择

正激变压器磁芯通常选择居里点温度 >

200℃,饱和磁通密度 > 350mT,剩余磁通密度 < 50mT,典型工作频率为 100kHz ~ 500kHz 的磁芯。磁芯的工作尺寸选择需要综合考虑:输入和输出电流的大小、工作频率、线圈的匝数和线径等因素,结合变压器参数的设计确定最终尺寸。

### 5.2 工作频率选择

在输出相同功率情况下,提高开关频率可以减小变压器的磁芯尺寸,但同时会增加开关

损耗,给开关管,整流管和磁性材料的选择带来很大的困难。正激式开关电源的典型开关频率选择在 100 kHz ~ 500kHz,可根据变换器整体体积、功耗、纹波等指标要求综合考虑。

### 5.3 变压器参数的设计

正激变换器除了磁芯材料本身磁化一小部分能量外,是不存储能量的,在设计时通常着重考虑以下两个重要事项:

- 1) 在电源的整个工作范围内,磁通密度的峰值不能接近饱和。
- 2) 在满负载时,绕组能否提供足够的输出电压。

首先确定单个一次绕组的匝数,其可由公式

(1) 计算得出:

$$N_{pri} = \frac{V_{in(nom)}}{4f\beta_{max}A_c} \quad (1)$$

其中: $A_c$  为磁芯的有效横截面积,单位为  $m^2$ 。

$V_{in(nom)}$  为典型输入电压,单位为  $V$ 。

$B_{max}$  为最大工作磁通密度,单位为  $T$ 。

$f$  为单个一次绕组的工作频率,单位为  $Hz$ 。

再确定次级单一绕组的匝数,其可由公式

(2) 计算得出:

$$N_{sec} = \frac{1.1(V_{out} + V_{fwd})N_{pri}}{V_{in(nom)}DC_{max}} \quad (2)$$

其中: $V_{fwd}$  为预计的输出整流器的正向压降,单位为  $V$ 。

$DC_{max}$  为预计的最大占空比,通常取值为 0.95。

$V_{in(nom)}$  为最小输入电压值,单位为  $V$ 。

$V_{out}$  为最大输出电压值,单位为  $V$ 。

## 6 反馈电路设计

### 6.1 反馈电路原理

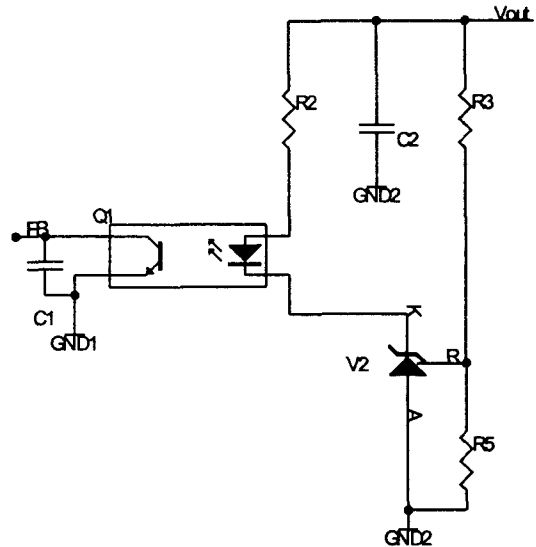


图4 隔离反馈电路

如图4所示:由可调基准电压源和光耦组成隔离反馈电路,使输出电压保持恒定。可调基准电压源是隔离反馈的核心,其可以被看作为带基准的高增益误差放大器,它把输出电压和基准电压的误差放大,产生电压误差信号。在额定输出电压时,误差放大器产生一个“零误差”点。当输出误差偏离额定值,放大器的输出误差电压就会明显改变,光耦则将误差信号隔离传递给电源控制器,电源控制器用该误差电压校正脉冲宽度,从而使输出电压恒定在额定值。

### 6.2 参数设计

$R_{10}$  电阻应保证通过光耦耦合的工作电流,不会影响电源控制器内部的 0.5mA 的上拉电流源,当要全额脉宽输出时, $FB$  引脚上需要得到高于 4.5V 的电压 ( $V_{ref} = 5V$ )。如果将流过光耦的电流控制在上拉电流源的 1.3 倍,则要求  $R_{10} = \frac{V_{out} - 4.5V}{0.65 - 0.5} k\Omega$ ,根据上式计算出各模块所需要的实际参数值。在实际电路中,为了留出安全裕量,取值可以适当减小。

为了得到 0.3V 的最小输出,光耦需传送的电流为:

$$I_{fb(max)} = \frac{V_{out} - 0.3}{R} mA, \text{ 则用 } LED \text{ 上的最大压}$$

降和基准源上的端电压,就可以确定: $R_{16} = \frac{V_{out} - 0.7 - 2.5}{I_{fb(max)}} k\Omega$ , 根据上式计算出实际参数,并略微取小以留出安全裕量。

### 6.3 反馈放大器的稳定问题

该种电源的电压控制采用的是负反馈放大器,如果产生了自激振荡,就失去了正常放大功能而处在不稳定的工作状态。根据负反馈放大器的原理,产生自激振荡的条件是:

幅值条件:  $AF = 1$

相位条件:  $|\Delta\varphi_{AF}| = 180^\circ$

要消除自激就是要使反馈电路不能工作在上述两种条件下,在开关电源的反馈控制中主要采用电容滞后补偿和零-极点补偿。所谓电容滞后补偿是指在电压反馈端和可编程基准端并联一个电容。零-极点补偿是将一电容和电阻串联后并在电压反馈端和可编程基准端。零-极点补偿比电容滞后补偿具有更宽的开环放大通频带。

## 7 滤波电路设计

滤波电路采用电感和电容滤波,下面主要介绍滤波扼流圈电感量的设计。滤波扼流圈是输出端上的滤波电感,当开关管关断时,为负载储存能量,并把开关方波脉冲积分成直流电压。最小电感

量由式3确定:

$$L_{min} = \frac{(V_{in(max)} - V_{out})T_{on(est)}}{1.4I_{out(min)}} \quad (3)$$

$V_{in(max)}$  为输出整流器后的最高峰值电压,单位为  $V$ 。

$V_{out}$  为输出电压,单位为  $V$ 。

$T_{on(est)}$  为在最高输入电压下,开关管的导通时间( $1/f$ )的30%,单位为  $\mu s$ 。

$I_{out(min)}$  为最小输出负载,单位为  $A$ 。

如果低于该电感值,在输出端上流过最小额定负载电流时,电感电流会发生断续。

## 8 结束语

正激式开关电源的设计是个多次反复的过程。在设计某一具体电路时,应根据使用要求采用上述介绍的方法进行初次计算,然后进行试验,并根据试验情况进行调整,最终设计出符合要求的电路。

### 参考文献

- 1 王远. 模拟电子技术. 机械工业出版社, 2001
- 2 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理和设计(修订版). 电子工业出版社, 2004

(上接第5页)

可测性设计(DFT)、自动测试向量生成(ATPG)的工具对电路进行测试设计。在此流程中,我们采用了MBIST技术对其内部嵌入的存储器进行测试,它很好地达到了高测试质量、低测试成本的目的,使得测试覆盖率得到很大提高,并减少了测试时间,电路性能达到用户要求,设计一次成功。

### 参考文献

- 1 Anantha Chandrakasan. Digital Integrated

Circuits A Design Perspective.

电子工业出版社, 2005

- 2 Research Corporation. MIC Bus Controller Reference Manual[M]. Hicton Head ISLand:

Vetronix Re—search Corporation, 2001.

- 3 David Harris, Nei H. E. Weste. CMOS VLSI Design: a Circuits and Systems Perspective.

中国电力出版社, 2006

- 4 Mentor Graphics 用户手册