

# 电流控制型开关稳压电源

季振山 唐震宇 罗家融

(中国科学院等离子体物理所, 合肥, 230031)

**摘要** 介绍了电流控制型开关稳压电源的基本原理, 并将其与电压控制型开关稳压电源进行了分析比较, 列举了电流型控制的优点和不足之处及其解决方法。最后具体介绍了目前国内较为流行的电流型 PWM 芯片和研制大功率开关电源的体会。

**关键词** 开关电源 电流型控制 电压型控制 PWM

TM 440.1

## 1. 引言

应用广泛的传统的脉宽调制型(PWM)开关稳压电源只对输出电压进行采样, 用它作为反馈信号进行闭环控制, 这种控制方式属于电压控制型。从控制理论的角度讲, 这是一种单环控制系统。电压控制型开关变换器是一个二阶系统, 它有两个状态变量: 输出滤波电容的电压和输出滤波电感的电流。我们知道, 二阶系统是一个有条件稳定系统, 只有对控制电路进行精心的设计和计算后, 在满足一定的条件下, 闭环系统方能稳定工作。然而, 一阶系统却是一个无条件的稳定系统。80年代末 90年代初国际上较为流行使用的电流控制型 DC/DC 开关变换器正是在传统的 PWM 电压控制的基础上, 增加电流负反馈环节, 使其成为一个双环控制系统, 让电感电流不再是一个独立变量, 从而使开关变换器的二阶模型由于去掉了电感电流而变成了一个一阶系统。

系统, 它有一个内环——电流控制环, 还有一个外环——电压控制环。其系统框图如图 2 所示。恒频时钟脉冲置位锁存器, 电流信号  $V_s$  跟误差放大器的输出电平  $V_e$  进行比较, 然后去控制锁存器。输出脉冲驱动功率管导通, 电源回路中的电流脉冲逐步增大。当电流在采样电阻  $R_s$  上的幅度达到  $V_e$  电平时, 脉宽比较器状态翻转, 锁存器复位, 驱动撤除, 功率管截止。线路就是这样逐个地检测和调节电流脉冲, 达到控制电源输出的目的。电流控制的工作机理可用图 3 简明地表达。由图 1、图 3 可知, 电流控制型电路可以等效为一个受控的电流源, 而电压控制型电路是一个受控的电压源, 这是两者的根本区别。

## 2. 基本原理

让我们简要回顾一下电压型控制。如图 1 所示, 电源输出电压  $V_{out}$  与参考电压比较放大, 得到误差信号  $V_e$ , 它和斜坡信号比较后, 脉宽比较器就输出占空比变化的一系列脉冲。这就是电压控制的原理, 它是一个单环控制系统。

电流控制型开关变换器是一个双环控制

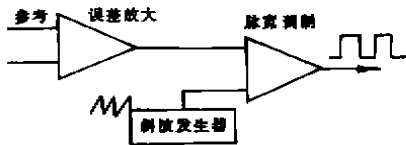


图 1 电压型控制原理

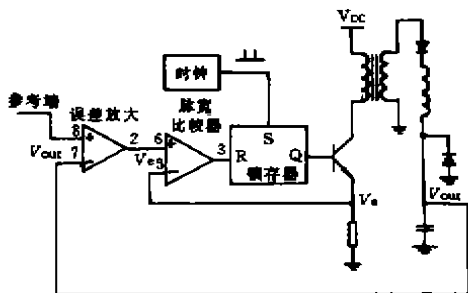


图 2 电流型控制原理

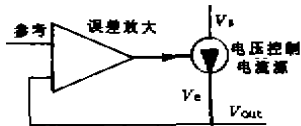


图3 电流型控制等效模型

### 3. 电流型控制的特点及与电压型控制的比较

#### 3.1 输入电压的响应和抗干扰性能

电源输入电压的变化,必然引起电感上电流斜率的变化。如电压升高,电流增长变快,反之亦然。只要电流脉冲达到了预定的幅值,电流型控制系统就动作,保证输出电压的稳定。而在电压型控制系统中,检测电路对输入电压的变化没有直接反应,一直要等到输出电压发生一定的变化后再去调节脉冲宽度。据报道电压型控制系统要5~10周才能响应输入电压的变化。当系统受到任何扰动影响(如受到输入电压阶跃大信号、尖峰、交流扰动及线路中其它干扰的影响)时,输入电压的浪涌会产生很大的尖峰电流,使功率管损坏。

#### 3.2 小信号特性、大信号特性及系统稳定性

当电流控制应用于BUCK系列交换器且电流连续时,由于内环包含了滤波电感,电感电流不再是一个独立变量。这就从外环电压控制的小信号模型中消去了滤波电感,外环便只有一个由输出滤波电容和负载电阻组成的单极点,而单极点的90°相位滞后具有不加额外补偿便固有系统稳定性,这样就很容易得到大的环增益和完善的小信号动态特性。传统的电压控制型DC/DC开关变换器是一个单环控制系统,LC滤波器使系统具有双极点二阶特性。在滤波器谐振时(通常在100Hz附近),有一个陡然的180°相位滞后,若不加以补偿,将导致系统不稳定。因此在误差放大器补偿网络中必须在谐振处提供至少一个零点。这就要求采用比电流控制方式更大的误差放大器增益带宽乘积,且要有毫秒

级时间常数的大的补偿电容。这样,电压型控制才可以得到和电流型控制相差不多的好的小信号动态特性。一般说来,当开关频率为50kHz时,两种方法的小信号响应时间都能达到100μs数量级。

但在大信号条件下,如起动和负载有大的跳变时,电流型控制和电压型控制在性能上则存在很大差别。在电压型控制中,为得到好的小信号特性而采用的大的补偿电容使其大信号特性变得很差。相反,由于电流型控制没有大的补偿电容,或者说最多只有一个用于去掉输出滤波电容的等效电阻造成的零点的很小的补偿电容,使其不仅具有优异的小信号特性,而且具有良好的大信号特性,即当起动或负载有大的跳变时,电流型控制系统能很快且正确地进行调整。

由此可以看出,在传统的电压型控制方式中,取得好的小信号特性和大信号特性是互相矛盾的,只有通过精心设计,取一定折衷,方可得到一个有条件稳定的控制系统(这在开关电源中应尽可能避免),而在电流型控制中,则不存在这个问题。

#### 3.3 过流保护及可并联性

在电流控制型DC/DC变换器中,由于内环采用了直接的电感电流峰值检测技术,它可以及时、灵敏和准确地检测变压器或开关管中的输出瞬态电流值,自然形成了逐个电流脉冲检测电路。只要给定或限制参考电流信号,就可以准确限制流过开关管和变压器中的最大电流,从而在发生意外导致输出过载或短路时保护了开关管和变压器。

同时,由于有了逐个电流脉冲限制的电流内环,当多台开关变换器并联运行时,每个变换器有独立的电流负反馈,并联输出电压有一个总的电压负反馈控制电路,使各个电流反馈系统有相同的参考(或给定)电流值。这样就可以实现多台开关变换器之间的负载自动分配。这在当今电源规格要求繁多、电子设备整机可靠性要求提高的形势下,为积本

式电源系统及电源冗余系统的设计和使用提供了现实可行性。

### 3.4 变压器的磁通平衡

在推挽和全桥电路中,电压型控制会引起变压器偏磁化饱和而会产生尖峰电流,导致线路工作失常,而电流型控制却可以自动地解决磁通不平衡问题。这是因为内部电流环能使电流脉冲宽度不同但幅度相同,而这个脉宽的不同则可以有效地抵消最初的电压波形的不对称。

但是,电流控制型开关变换器本身也有缺点和问题:①电感峰值电流与平均电流有误差;②半桥控制失控;③直流开环负载调整率较差。不过这些问题绝大部分在采取适当的简单措施后均能得到令人满意的解决。

## 4. 电流型 PWM 控制用 IC

电流型 PWM 控制用 IC 目前国际上有很多种。但在实际应用中普遍的是用于单端电路的 UC3842 和用于双端电路的 UC3846。由于篇幅有限,本文不对以上两种 IC 及典型电路作具体说明,只把我们采用的 UC3846 的特点作一介绍。UC3846 是双路推挽式输出,驱动电流 500mA,额定工作电压为 40V,最高工作频率为 200Hz,其功能框图如图 4 所示。

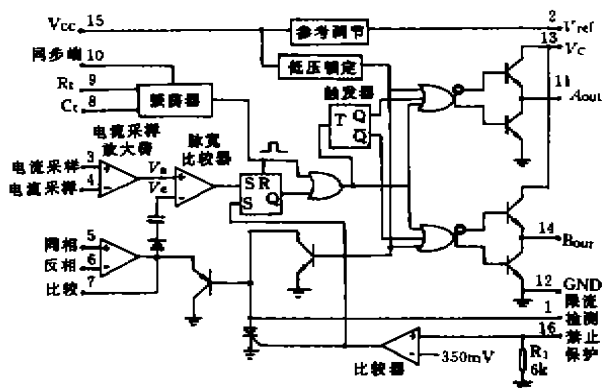


图 4 UC3846 功能框图

(来源:美国 Unitrode Corporation 产品手册)

(1)重脉冲抑制电路:UC3846 中,T 触发器起到分频作用。它是由调制脉冲触发的,而在大多数电压型控制电路中,分频触发器是由振荡脉冲触发的。这是一个重要的改进措施,可以彻底消除从一路输出两个连续脉冲的可能性。这对于保证开关电源可靠工作是极为重要的。

(2)电流反馈功能:电路的 3、4 脚是电流采样放大器的输入端。该放大器的共模输入范围很宽。采样电路有很多种设计方法。采样电路的设计,具体应注意两点:一是注意合理选取采样电阻和电流互感器的匝比,保证电流采样放大器的输入信号幅度不大于 1.1V;二是要抑制开关噪声的影响,一般情况下,可加进 R、C 网络滤波。

(3)振荡频率与死区:UC3846 的振荡频率由外接电阻和电容决定,电阻取值范围为 1~100kΩ,电容须大于 100pF。振荡器波形为锯齿波,其下降时间即为死区时间。

$$\text{振荡频率: } f = 2.2 / (R_1 \times C_1)$$

$$\text{死区时间: } T_d = 145 \times C_1 \times [12 / (12 - 3600 / R_1)]$$

(4)限流作用:UC3846 除了对电流脉冲进行采样控制外,还独立设置了一个限流引脚 1。它可以对每个电流脉冲实行限流检测,增加操作的可靠性。

(5)软起动和保护:根据限流原理,只需在 1 脚对地接上一电容器,就可实现软起动特性。16 脚是实现禁止保护功能的,当其加上的电平高于 0.35V 时,即发生保护动作。

## 5. 研制工作体会

我们用 UC3846 作为控制电路研制了全桥 30V/100A 大功率电源,该电源可用于等离子体镀膜机弧电源。各项指标均符合设计要求。我们感到所用方案最突出的优点是:工作安全可靠,线路调试方便,无论是主电路还是控制电路均没有增加复杂程度,而且电源功率电路的设计和以往完全相同。对于熟悉

开关电源技术的行家来说,从电压型控制转变到电流型控制并非难事。而这样做之后,电源的性能可以上一个台阶。

### 参考文献

- [1] Llod H. Dixon, Jr. Current-Mode Control of Switching Power Supply. IEEE Transactions on Industry Appli-

cation, Vol. 31, 1995

- [2] 蔡宣三、龚绍文. 高频功率电子学, K K 直流—直流变换部分. 北京:清华大学出版社, 1992  
[3] 李华强. 电流控制型开关稳压电源. 第 11 届全国电源技术年会论文集. 中国电源学会, 北京, 1995

(修改稿收到日期, 1998-11-25)

## 智能大电流恒流源的设计

王 亮

(无锡轻工大学, 214036)

TM 440.2

**摘 要** 针对传统大电流恒流源设计中存在的问题, 提出了组成大功率恒流源的智能开关电源的一种新的设计方法, 其优点为振荡频率高, 体积小, 效率高, 输出功率大, 工作状态可控制。

**关键词** 恒流源 开关电源 零电流开关 谐振

在电子产品的设计中, 恒流源一般常用线性电路来组成, 而对于大电流(100A 以上)恒流源, 用线性电路来组成就比较困难; 其一, 较难找到大电流、大功率的晶体管; 其二, 线性电路组成的恒流源效率很低, 大量的能源消耗在晶体管和电阻上, 不宜长时间使用。因此, 在某测试接触电阻的仪器设计中, 我们采用智能开关电源来组成大功率恒流源。该开关电源的核心是零电流开关, 采用零电流开关技术后, 工作频率可高于 1MHz, 效率最高达 90%, 工作电压范围宽。

智能开关电源的工作原理见图 1。由于采用零电流开关技术, 电源的工作频率高, 电源的传递变压器体积大大减小, 其功率密度为常规开关电源的 10 倍。工作原理为: 主控制器由微型计算机组成, 在上电后, 微机给出整个电路的复位信号, 然后送出开关的导通信号。这时, 输入 AC-DC 电源的能量传输到 LC 谐振电路。谐振电路由变压器  $T_1$  的漏感  $L$  和  $T_1$  次级及电容  $C$  组成, 其等效电路可看作为  $R$ 、 $L$ 、 $C$  串联谐振电路。在开关导通前,  $I=0$ , 即开关在零电流的状态下打开。开关导

通后, 流过开关的电流波形很接近正弦波。当电流下降至零时, 计算机给出关断开关的信号。开关在电流为零时断开。由于 MOSFET 开关工作在零电流状态, 开关的工作环境好, 寿命长。在本电路中, 由于整流二极管的单向导电性, 所以不可能产生全波谐振或能量的双向传输(即电容  $C$  中的能量不可能再传给电感)。因开关在电流等于

零状态下工作, 输入的能量基本上可以无损

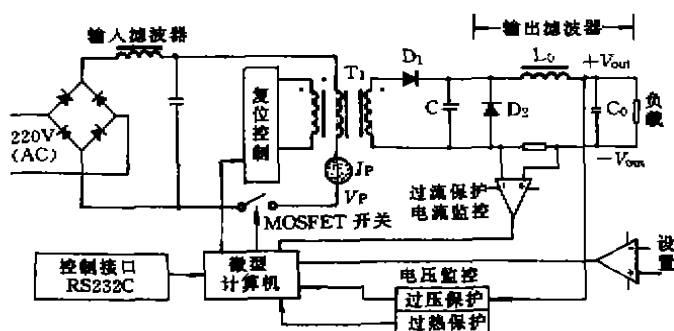


图 1 智能开关电源工作原理框图