

# 数字控制开关电源的设计

刘典文

(衡阳师范学院 物理与电子信息科学系, 湖南 衡阳 421008)

摘要: 基于 PWM (脉冲宽度调制) 控制器和 MOSFET(金属-氧化物-半导体场效应管)集成芯片 TOPSwitch-FX TOP234Y, 分析和探讨了电压可调数字控制开关电源电路的设计。要求对 5~40V 范围内电压的步加、步减调节, 步进精度为 0.2V, 并通过双向反馈电路提高电压稳定性。

关键词: 数控开关电源 TOPSwitch-FX 计数控制 数模转换器 电路设计

中图分类号: TP303+.3 文献标识码: B

Design of Switching-Mode Power Supply of Digital Control

LIU Dian-wen

( Department of Physics and Electronic Information Science, Hengyang Normal University,  
Hengyang Hunan 421008)

Abstract: Basing on the controller of PWM and MOSFET to gather the chip TOPSwitch-FX TOP234Y, the paper analyzed and explored the design of the electric circuit of adjustable electric voltage switching-mode power supply of digital control. This design requests to regulate the steps to add and steps to reduce of electric voltage between 5V and 40V, with the accuracy of amount being 0.2 V, and through the feedback electric circuit to raise the stability of electric voltage.

Key words: digital control switching-mode power supply; TOPSwitch-FX; counting control ; digital-to-analogy converter; design of electric circuit

## 1 引言

随着电源电子技术的高速发展, 普通的开关电源逐渐显示出了其在现代高科技产品设计中的众多不足之处, 尤其是开关电源的智能化要求。然而, 数字控制开关电源却在这方面实现了优势, 数字控制易于采用先进的控制方法和智能控制策略, 可以从根本上提高系统的性能指标, 减少控制电路的元器件数量, 缩小控制板体积, 提高系统的抗干扰能力, 提高控制系统的可靠性<sup>[1]</sup>。本文设计一种基于 PWM 控制器和 MOSFET 集成芯片 TOPSwitch-FX TOP234Y 的电压可调数字控制开关电源。该电源主要用于产品的测试和开发, 也可以做智能控制的电源。

## 2 总体设计方案

数字控制开关电源是一种基于数字信号控制调节其输出电压的、初步实现开关电源的数字化和智能化控制的电路系统。电压可调数字控制开关电源要求由按钮控制电压输出值在 5~40V 范围内的步加、步减调节, 步进精度为 0.2V, 并随时可以调回最低值或预置为最高值, 输出电压的精度不低于 0.1V<sup>[2]</sup>, 最大输出功率不低于 20W。

### 2.1 系统设计

设计一种基于 TOP234Y 的电压可调数控开关电源, 利用 PWM 原理控制占空比, 采用可逆计数器计数并经数模转换放大做控制信号, 对输出电压进行相对较大范围的调节, 由反馈电路确保电压的稳定性, 数字芯片电源由内部电源提供。

按功能系统可基本划分为两大部分, 即开关电源的模拟部分和数字控制部分。模拟部分实现开关电源电压的整流、滤波、功率变换、限流保护等功能; 数字控制部分主要是通过计数调压控制信号调节 PWM 占空比来改变电压输出值并控制反馈信号以保持电压输出值的稳定。

### 2.2 基本设计思路

系统结构主要包括模拟开关电源、反馈电路、PWM 及比较器控制和数字调压控制四大模块。其系统原理框图如图 1 所示。

模拟开关电源部分对输入交流市电进行滤波、抗电磁干扰处理、整流、功率变换和稳压

等。数字器件要求提供的电源基本保持不变，但输出电压会随数控调节不断改变，所以开关功率变换次级输出只能在经过稳压处理才能用作内部电源，这里在电压不超过最大值的情况下采用三端稳压器。

开关电源反馈采用输出电压的双向控制。调压控制信号和反馈信号采用比较器作比较放大后送 PWM 控制器，使两者不会产生冲突，也不会漏掉其中任一控制信号，两者同时控制开关脉冲的占空比来调节和稳定电压<sup>[3]</sup>。控制信号的电压与输出电压的关系是由 PWM 控制器实现线性控制，故 PWM 控制器必须用线性 PWM 控制器件。

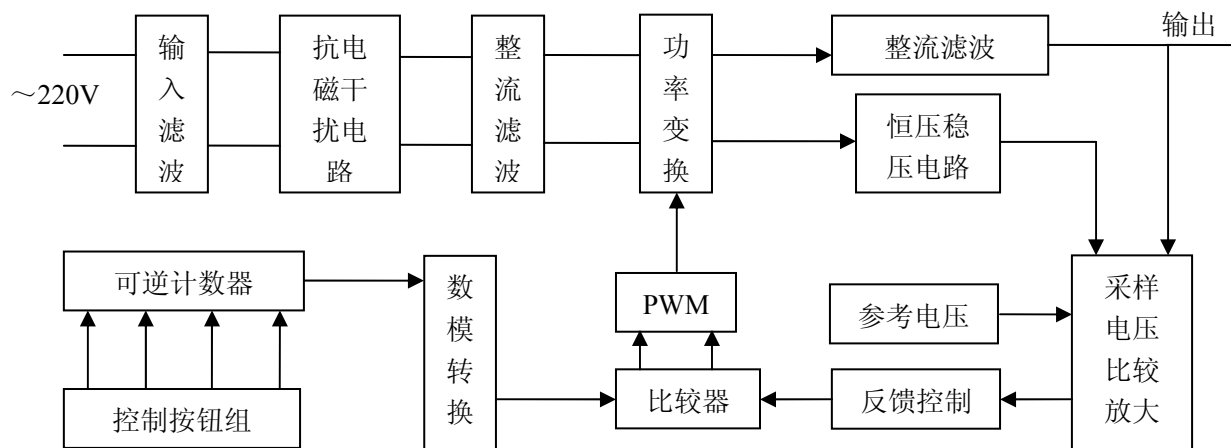


图 1 电压可调数控开关电源系统原理框图

在反馈电路中，若输出电压偏高，误差放大反馈信号进入比较器经比较输出的电压也偏高。转化后的反馈信号电压与脉冲调制器前置的比较器的计数调压控制电压比较后的电压偏低，导致占空比的宽度变窄，引起输出电压下降<sup>[4]</sup>；反之亦然。调压控制的原理与反馈控制原理相似，但这里集成在 TOP 芯片中。

在数字调压控制模块，由按钮控制计数器的步加、步减、清零和预置为最大值，并由计数器输出一个相应的电压信号。计数器输出的信号为数字量，故须再经数模转换形成相应的控制电压，即数字调压控制信号。

### 3 电路设计

#### 3.1 PWM 控制器和 MOSFET 集成芯片 TOPSwitch-FX 介绍

TOPSwitch-FX 系列有三种封装形式，其中 TO-220-7B 封装有 5 个引出端，它们分别是控制端 C、多功能端 M、源极 S、开关频率选择端 F 和漏极 D。多功能端主要有线路过压和欠压保护、利用线路电压前馈来降低占空比  $D_{max}$ 、从外部设定芯片的极限电流  $I_{LIMIT}$  等功能。

TOPSwitch-FX 主要由门驱动级和输出级、控制电压源、带隙基准电压源、频率抖动振荡器、并联调整器/误差放大器、脉宽调整器等主要部分组成。它的工作原理是利用反馈电流  $I_C$  来调节占空比  $D_{max}$ ，达到稳定电压的目的。例如，当输出电压  $U_O \uparrow$  时，经过光耦合反馈电路使得  $I_C \uparrow \rightarrow D_{max} \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$ ，最终使  $U_O$  保持不变。

TOPSwitch-FX 有一大特性，当控制端电流  $I_C$  在规定范围内，而多功能端的输入电流  $I_M$  为定值时，脉宽调制器的输出占空比  $D_{max}$  与  $I_C$  成反比。PWM 的增益为：

$$K = \Delta D / \Delta I_C = -22\% / \text{mA}$$

即

$$\Delta D = K \times \Delta I_C = -22\% \dots \dots \dots (1)$$

由式(1)可知，占空比随  $I_C$  的增大而减小。实际上，占空比不仅与  $I_C$  有关，还取决于  $I_M$  值<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 配有 TL431 的光耦合双向反馈电路

目前，在普通开关电源中可由多种方式进行输出反馈。在输出电压采样电路中，一般有钳位电路。基本原理是比较输出电压是高于还是低于钳位电压<sup>[6]</sup>。但在电压可调的开关电源中，因为输出电压本身是要求变化的，所以不能用类似的反馈电路。

为了克服这一难题，在电路反馈原理上不再采用单独的纵向比较，而是纵向、横向比较相结合。横向是比较两输出电路电压是否相同，而纵向比较是在另一路输出中加入延时操作，同时在调压时禁止反馈。

具体的电路是在第二路输出经整流滤波后加延时器，再与第一路进行比较，从而实现纵向比较。而为了在调压时禁止反馈，反馈输出后加脉冲控制反馈电路的通断，当有调压脉冲信号存在时，反馈通路中断，这里由压控继电器来实现。另外，由于电压的精度要求高，在电路反馈中必须对误差电压进行放大，中间加比较器放大器后进行反馈。同时在电路中对输出采用光耦合器件 TL431 隔离，提高电压调整率<sup>[7]</sup>。其基本电路原理图如图 2 所示。

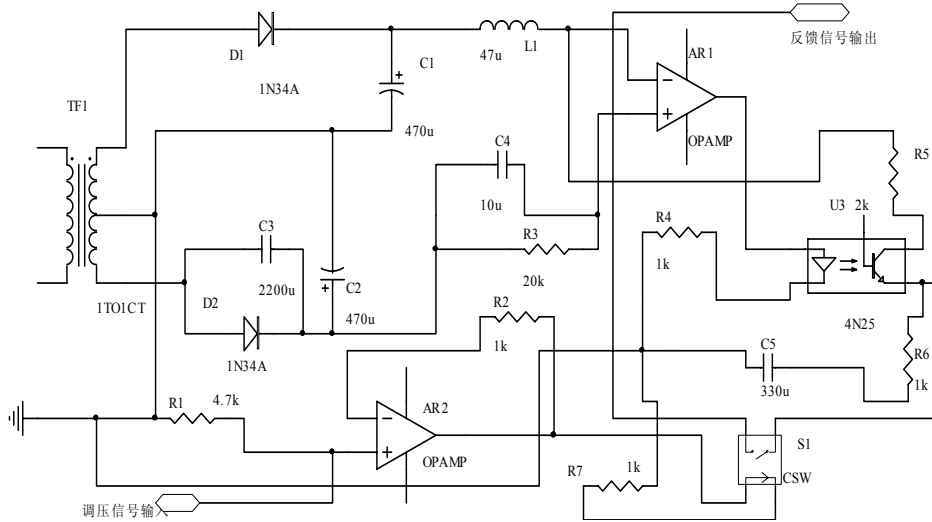


图 2 配有 TL431 的光耦合双向反馈电路

### 3.3 数字调压控制电路

该模块包括计数控制电路和数模转换电路。电源整体输出电压为 5 至 40V，步长值设计为 0.2V，总计数次数为 175 次，故须采用八位二进制计数器。从 0 开始计数，计数到 175，即二进制数的 10101111，输出信号送数模转换器，并进行功率放大。因为  $\Delta D$  与  $\Delta I_C$  成反比，即占空比的变化与  $I_C$  的变化成反比。当  $I_C$  变大时，占空比减小，输出电压降低，反之，当  $I_C$  变小时，输出电压增大，所以在计数器的 UP 引脚接步减控制按钮，而 DOWN 引脚接步加按钮，计数器清零时输出电压最大，预置为最高时输出电压最小。

#### 3.3.1 计数控制电路

控制按钮为四键，分别用于步加、步减、清零和预置为最大值。可逆计数器采用两只 74LS193 级联形成八位二进制计数器。74LS193 是一种双时钟 4 位二进制同步可逆计数器，具有预置、清零、加和减计数功能<sup>[8]</sup>。两片 74LS193 采用级联方式，第一片的 CLR 通过电压置高开关接数字电源。LD 接地，即预置功能在输出为最低时有效，预置数据均接高电平。UP、DOWN 上拉为高电平，分别通过电压步减、步加开关按钮接振荡脉冲信号源。第一片的 CO 为 0 时，加计数进位，BO 为 0 时，减计数借位。第二片的计数控制由 LD 执行控制功能，即 CO、BO 分别取反后一起接 LD，其它接法与第一片相同，组成一个八位二进制可逆计数器。当计数到 175 时，加无效，当计数为 0 时，减无效。即当输出为 10110000 时，计数器清零。当输出为 00000000 时，执行减操作则计数器预置为最大值<sup>[9]</sup>。

数字调压控制电路图如图 3 所示。

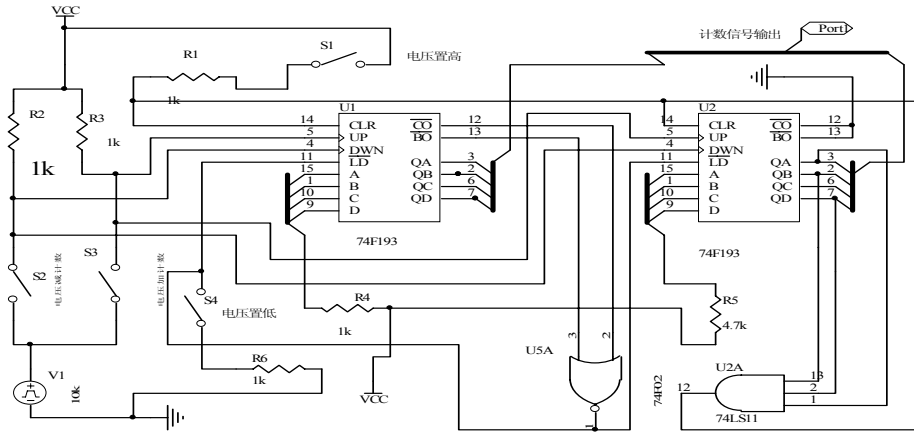


图3 数字调压控制电路图

### 3.3.2 数模转换电路

数字调压控制电路输出送至数模转换器，这里因为没有要求其它附加功能，故采用一只ADC6080作为数模转换<sup>[10]</sup>，其转换信号提供给功率放大电路<sup>[11]</sup>。数模转换电路如图4所示。

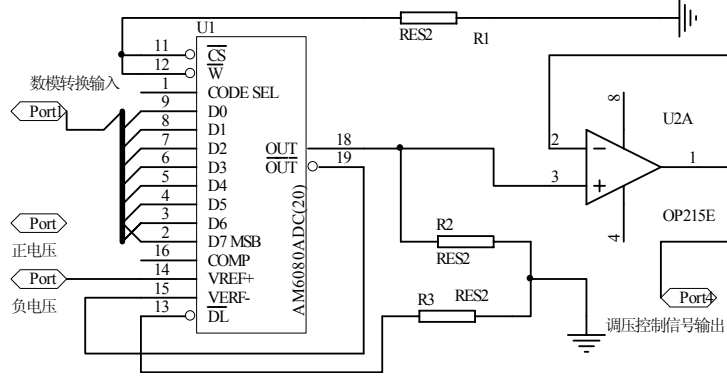


图4 数模转换电路图

### 3.4 比较器及PWM控制电路

TOPSwitch-FX系列芯片集成了保护电路、PWM控制器及MOSFET管，这里可直接采用TO-220-7B型封装的TOP234Y型FX芯片。其中接数控信号与接反馈信号进行比较放大后接控制端C，M端通过大电阻接电输入正极<sup>[12]</sup>，TOP234Y的外围电路如图5所示。

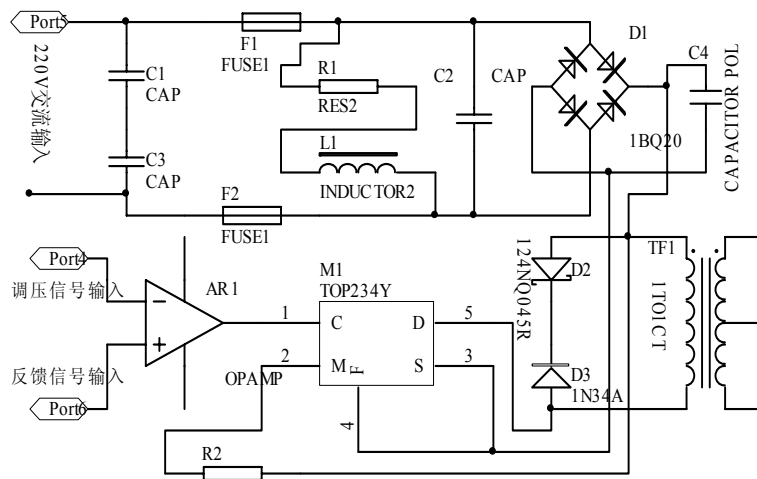


图5 TOP234Y的外围电路图

### 3.5 输出稳压电路

输出分为两路，第一路经整流、滤波作开关电源输出；第二路为数字IC提供电源。在整个控制电路中，所有的数字芯片都需要恒压电源，但是在输出电压调节过程中，第二路输出也会随着占空比的变化而变化，所以要在该路输出加上恒压电路。为了设计简便，这里用集

成三端稳压器。只要把正输入电压加到 UA7805 的输入端, UA7805 的公共端接地, 其输出端便能输出芯片标称正电压。在输入端和输出端与地之间要接大滤波电容, 在芯片引脚根部还要接小容量电容(0.1~10uF)到地<sup>[13]</sup>。

#### 4 结论

设计了一种基于 PWM 控制器和 MOSFET 集成芯片 TOPSwitch-FX TOP234Y 的数控开关电源, 对一些关键技术进行了详细的介绍和分析。如果要求更高精度的可调电源时可以增加计数器和数模转换的位数, 但同时要考虑芯片的沉载能力。若要更高的输出功率, 可以更换 TOPSwitch-FX 芯片。此外, 文中对开关电源的一些重要参数如空载功耗等的研究没有涉及, 有待进一步研究。

本文作者创新点: 设计一种基于 PWM 控制器和 MOSFET 集成芯片 TOPSwitch-FX TOP234Y 的电压可调数字控制开关电源, 实现对 5~40V 范围内电压的步加、步减调节, 步进精度为 0.2V, 并且通过双向反馈电路提高电压稳定性。

#### 参考文献:

- [1]周新征,曾春年.TOPSwitch-II 系列单片机开关电源的设计与应用[J].微计算机信息.2004,9:1-3.
- [2]王立欣,杨春玲.电子技术实验与课程设计[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003,165.
- [3]任元元,张志国,孙庆军,等.数控开关电源在遥测系统中的应用[J].遥测遥控,20(4):30.
- [4]刘奇元,朱石沙,王启新,等.一种基于 PWM 技术的数控高压源设计[J].湘潭大学自然科学学报,26(1):12.
- [5]周志敏,周纪海,纪爱华,等.单片开关电源[M].北京:电子工业出版社,2004,17,32-39.
- [6]李金伴,李捷辉,李捷明.开关电源技术[M].北京:化学工业出版社,2006,1-2.
- [7]戴佳,戴卫恒.51 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲[M].北京:电子工业出版社,2006,450.
- [8]康华光.电子技术基础数字部分(第四版)[M].北京:高等教育出版社,2000,252-253,389.
- [9]马积勋,张锡赓.电子技术基础考研精要与典型题解析[M].西安:西安交通大学出版社,2002,254.
- [10]周明德.微型计算机原理及应用(第四版)[M].北京:清华大学出版社,2002,341.
- [11]康华光.电子技术基础模拟部分(第四版)[M].北京:高等教育出版社,1999,210-211.
- [12]冯文礼.TOP 开关电源的设计与制作.辽宁工学院学报[J],2002,(22)11-12.
- [13]黄智伟等.全国大学生电子设计竞赛训练教程[M].北京:电子工业出版社,2005,75.

基金:《基于自适应模糊控制的数字化有源电力滤波技术研究》

湖南省自然科学基金项目【05JJ40001】

#### 作者简介:

刘典文(1974—),男,湖南衡阳人,衡阳师范学院物理与电子信息科学系讲师,湖南大学在职研究生,主要从事数字信号处理及应用研究。邮编:421007。

#### Biography:

Liu Dian wen (1974-), male, Hunan Hengyang, Hengyang Teachers College Physics and Electronics lecturer in the Department of Information Science, Hunan University graduate working mainly engaged in digital signal processing and applied research. Telephone :0734 - 6123751; E\_mail:liudianwen718@hotmail.com.