

# 数控直流稳压电源

## 福星电子网

提供单片机学习板，开发板，最小系统板；超声波测距实验应用板，

各类器件仪表，详情请访问网站 <http://www.fxdzw.com>

## 绪 论

电源技术尤其是数控电源技术是一门实践性很强的工程技术,服务于各行各业。电力电子技术是电能的最佳应用技术之一。当今电源技术融合了电气、电子、系统集成、控制理论、材料等诸多学科领域。随着计算机和通讯技术发展而来的现代信息技术革命,给电力电子技术提供了广阔的发展前景,同时也给电源提出了更高的要求。随着数控电源在电子装置中的普遍使用,普通电源在工作时产生的误差,会影响整个系统的精确度。电源在使用时会造成很多不良后果,世界各国纷纷对电源产品提出了不同要求并制定了一系列的产品精度标准。只有满足产品标准,才能够进入市场。随着经济全球化的发展,满足国际标准的产品才能获得进出的通行证。数控电源是从 80 年代才真正的发展起来的,期间系统的电力电子理论开始建立。这些理论为其后来的发展提供了一个良好的基础。在以后的一段时间里,数控电源技术有了长足的发展。但其产品存在数控程度达不到要求、分辨率不高、功率密度比较低、可靠性较差的缺点。因此数控电源主要的发展方向,是针对上述缺点不断加以改善。单片机技术及电压转换模块的出现为精确数控电源的发展提供了有利的条件。新的变换技术和控制理论不断发展,各种类型专用集成电路、数字信号处理器件的研制应用,到 90 年代,已出现了数控精度达到 0.05V 的数控电源,功率密度达到每立方英寸 50W 的数控电源。从组成上,数控电源可分成器件、主电路与控制等三部分。目前在电力电子器件方面,几乎都为旋钮开关调节电压,调节精度不高,而且经常跳变,使用麻烦

数字化智能电源模块是针对传统智能电源模块的不足提出的,数字化能够减少生产过程中的不确定因素和人为参与的环节数,有效地解决电源模块中诸如可靠性、智能化和产品一致性等工程问题,极大地提高生产效率和产品的可维护性。

电源采用数字控制,具有以下明显优点:

- 1)易于采用先进的控制方法和智能控制策略,使电源模块的智能化程度更高,性能更完美。
- 2)控制灵活,系统升级方便,甚至可以在线修改控制算法,而不必改动硬件线路。
- 3)控制系统的可靠性提高,易于标准化,可以针对不同的系统(或不同型号的产品),采用统一的控制板,而只是对控制软件做一些调整即可。
- 4)系统维护方便,一旦出现故障,可以很方便地通过RS232接口或RS485接口或USB接口进行调试,故障查询,历史记录查询,故障诊断,软件修复,甚至控

制参数的在线修改、调试;也可以通过MODEM远程操作。

5)系统的一致性很好,成本低,生产制造方便。由于控制软件不像模拟器件那样存在差异,所以,其一致性很好。由于采用软件控制,控制板的体积将大大减小,生产成本下降。

6)易组成高可靠性的多模块逆变电源并联运行系统。为了得到高性能的并联运行逆变电源系统,每个并联运行的逆变电源单元模块都采用全数字化控制,易于在模块之间更好地进行均流控制和通讯或者在模块中实现复杂的均流控制算法(不需要通讯),从而实现高可靠性、高冗余度的逆变电源并联运行系统。

## 第一章 系统设计

### 1.1 设计任务与要求

#### 1.1.1 设计任务

设计一台微机控制的数控直流电压源,为电子设备供电。

在设计过程中,选择1~2个单元电路使用仿真软件(例如Multisim2001等)进行仿真调试。

用计算机绘制所有的电路图和印刷电路图

#### 1.1.2 设计要求

输出电压范围0-30V,步进值为0.1V

电压调整率  $S_v < 0.05\%$ ;

电流调整率  $S_i < 0.03\%$ ;

纹波电压〈峰峰值〉 $\leq 5\text{mV}$ ;

具有过流保护和短路保护功能;用数字显示输出电压

### 1.2 方案的选择与论证

#### 1.2.1 总体设计方案

根据题目要求设计的框图,如图1.1所示:

方案一:此方案采用传统的调整管方案,主要特点在于使用一套十进制计数器完成系统的控制功能,一方面完成电压的译码显示,另一方面其输出作为EPROM的地址输入,而由EPROM的输出经D/A变换后去控制误差放大的基准电压,以控制输出步进。其框图如图1.2所示

图 2.1 原理框图

## 如图 1.2 调整管控制的稳压电源

**方案二：**采用 51 系列单片机作为整机的控制单元，通过改变输入数字量来改变输出电压值，从而使输出功率管的基极电压发生变化，间接地改变输出电压的大小。为了能够使系统具备检测实际输出电压值的大小，可以经过 ADC0809 进行模数转换，间接用单片机实时对电压进行采样，然后进行数据处理及显示。采用软件方法来解决数据的预置以及电流的步进控制，使系统硬件更加简洁，各类功能易于实现本系统以直流电源为核心，利用 51 系列单片机为主控制器，通过键盘来设置直流电源的输出电流，设置步进等级可达 0.1V，并可由数码管显示实际输出电压值和电压设定值。利用单片机程控输出数字信号，经过 D/A 转换器（DA0832）输出模拟量，再经过运算放大器隔离放大，控制输出功率管的基极，随着功率管基极电电流的变化而输出不同的电压。单片机系统还兼顾对恒压源进行实时监控，输出电压经过电流/电压转变后，通过 A/D 转换芯片，实时把模拟量转化为数据量，经单片机分析处理，通过数据形式的反馈环节，使电压更加稳定，构成稳定的压控电压源。

图 1.3 单片机控制的稳压电源

## 1.2.2 方案的比较与论证

### 1.2.2.1 数控部分

方案一采用中、小规模器件实现系统的数控部分，使用的芯片很多，造成控制电路内部接口信号繁琐，中间相互关联多，抗干扰能力差。在方案二中采用单片机完成整个数控部分的功能，同时，8031 作为一个智能化的可编程器件，便于系统功能的扩展。

### 1.2.2.1 输出部分

方案一采用线性调压电源，以改变其基准电压的方式使输出不仅增加/减少，这样不能不考虑整流滤波后的纹波对输出的影响，而方案二中使用运算放大器作前级的运算放大器，由于运算放大器具有很大的电源电压抑制比，可以大大减小输出端的纹波电压。在方案一中。为抑制纹波而在线性调压电源输出端并联的大电容降低了系统的响应速度，这样输出的电压难以跟踪快变的输入，方案二中的输出电压波形与 D/A 变换输出波形相同，不仅可以输出直流电平，而且只要预先生成波形的量化数据，就可以产生多种波形输出，使系统陈给有一定驱动能力的信号源。

### 1.2.2.3 显示部分

方案一中的显示输出是对电压的量化值直接进行译码显示输出，显示值为 D/A 转换的输入量，由于 D/A 转换与功率驱动电路引入的误差，显示值与电源实际

输出值之间可能出现较大偏差。方案二中采用三位半的数字电压表直接对输出电压采样并显示输出实际电压值，一旦系统工作异常，出现预制值与输出值偏差过大，用户可以根据该信息予以处理。方案二中还采用了键盘/显示器接口控制器 8279。不仅简化接口引线，而且减小了软件对键盘/显示器的查询时间，提高了 CPU 的利用率。

综上所述，选择方案二，使用单片机实现。

### 1.2.3 系统的原理框图和电路图

图 1.4 总体原理框图

## 第二章 系统的硬件电路设计

### 2.1 电源部分

#### 2.1.1 稳压电路结构组成

稳压电源由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路组成，如图 2.1 所示

## 2.1 电源方框及波形图

a. 整流和滤波电路：整流作用是将交流电压  $U_2$  变换成脉动电压  $U_3$ 。滤波电路一般由电容组成，其作用是脉动电压  $U_3$  中的大部分纹波加以滤除，以得到较平滑的直流电压  $U_4$ 。

b. 稳压电路：由于得到的输出电压  $U_4$  受负载、输入电压和温度的影响不稳定，为了得到更为稳定电压添加了稳压电路，从而得到稳定的电压  $U_0$ 。

### 2.1.2 电源设计

电源部分包括：+5V、±15V 两大部分：

+5V 电源只要供单片机部分使用，原理图如图 2.2 所示

对于滤波电容的选择，需要注意整流管的压降；7805 的最小允许压降波动 10%，所以允许的最大纹波的峰峰值  $\Delta U = 9 \times \sqrt{2} (1-10\%) - 1.4 - 5 = 2.76V$

$$C = \frac{I \times \Delta T}{\Delta U} = \frac{1 \times 1/100}{2.76} = 3600\mu f$$

选取的滤波电容所以选取的滤波电容  $C = 4700\mu f / 16V$

±15V 电源，其电源电路如图 2.3 所示

$$\text{允许的纹波峰峰值} \frac{1 \times 1/100}{2.76} \Delta U = 18 \times \sqrt{2} (1-10\%) - 0.7 - 12 - U = 4.9V$$

接近似电流放电计算，则

$$C = \frac{I \times \Delta T}{\Delta U} = \frac{0.7 \times 1/100}{4.9} = 1430\mu f$$

选取滤波电容选取滤波电容  $C = 2200\mu F / 30V$

图 2.2 和图 2.3



## 2.2 数控部分

### 2.2.1 AT89C51 单片机

AT89C51 是美国 ATMEL 公司生产的低电压, 高性能 CMOS 8 位单片机, 片内含 4K bytes 的可反复擦写的只读程序存储器(EPROM)和 128 bytes 的随机数据存储器 (RAM), 器件采用 ATMEL 公司的高密度、非易失性存储技术生产, 兼容标准 MCS-51 指令系统, 片内置通用 8 位中央处理器(CPU)和 Flash 存储单元, 功能强大 AT89C51 单片机可提供高性价比的应用场合, 可灵活应用于各种控制领域。因此, 在这里我选用 AT89C51 单片机来完成。

主要性能参数:

- 与 MCS-51 产品指令系统完全兼容
- 4K 字节可重擦写 Flash 闪存存储器
- 1000 次擦写周期
- 全静态操作: 0hz-24hz
- 三级加密程序存储器
- 128x8 字节内部 RAM
- 32 个可编程 I/O 口线
- 2 个 16 位定时/计数器
- 6 个中断源
- 可编程串行 UART 通道
- 低功耗空闲和掉电模式

### AT89C51 内存空间

- 1、内部程序存储器 (FLASH) 4K 字节。
- 2、外部程序存储器 (ROM) 64K 字节。
- 3、内部数据存储器 (RAM) 256 字节。
- 4、外部数据存储器 (RAM) 64K 字节。

## 2.3 信号处理电路

### 2.3.1 D/A 转换

电源输出电压范围是 0-30V, 步长 0.1V, 共有 300 个状态, 而 8 位的 D/A 转换只有 256 个状态, 不能满足要求, 因此我需要选用 10 字长的 D/A 转换器来达到设计要求。

MAX504 是由美信 (Maxim) 公司生产的一种低功耗、电压输出型 10 位串行数/模转换器。MAX504 既可用 +5V 单电源工作, 也可用 ±5V 双电源工作。该电路采用 14 引脚 DIP 型或 SO 型封装, 图 2 示出它的引脚排列, 表 1 介绍它的引脚功能。

图 2.5 MAX504 封装图

表 1 MAX504 的引脚功能

引脚序号	引脚名称	引脚功能
1	BIPOFF	双极性偏置/增益电阻端
2	DIN	串行数据输入端
3	CLR/	清除端, 异步置位 DAC 寄存器所有位
4	SCLK	串行时钟输入端
5	CS/	片选端, 低电压有效
6	DOUT	串行数据输出端
7	DGND	数字地
8	AGND	模拟地
9	REFIN	参考电压输入端
10	REFOUT	参考电压输出端, 若不用应接至 $V_{DD}$
11	$V_{SS}$	电源负端
12	VOUT	DAC 模拟输出地
13	$V_{DD}$	电压负端
14	RFB	反馈电阻端

## 2.4 键盘与显示部分

### 2.4.1 显示部分

显示数据以串行方式从 89C51 的 P12 口输出送往移位寄存器 74LS164 的 A、B 端，然后将变成的并行数据从输出端 Q0~Q7 输出，以控制开关管 WT1~WT3 的集电极，然后再将输出的 LED 段选码同时送往数码管 LED1~LED2。位选码由 89C51 的 P14~P16 口输出并经译码器 74LS138 送往开关管 Y1~Y8 的基极，以对数码管 LED1~LED8 进行位选控制，这样，4 个数码管便以 100ms 的时间间隔轮流显示。由于人眼的残留效应，这 4 个数码管看上去几乎是同时显示。

### 2.4.2 键盘部分

键盘是有无数个按键组成的开关矩阵，它是一种廉价的输入设备。一个键盘通常包括数据键，字母键以及一些功能键。操作人员可以通过键盘向计算机输入数据、地址、指令或其他的控制命令，实现简单的人机对话。

用于计算机系统的键盘通常有两种：一类是编码键盘，即键盘上闭合键的识别有专用硬件识别。另一类是非编码键盘，即键盘上键入及闭合键的识别由软件实现。

键盘接口应具有的功能：

键扫描功能，即检测是否有键按下

键识别功能，确定被按下键所在的行列的位置

产生相应的键的代码

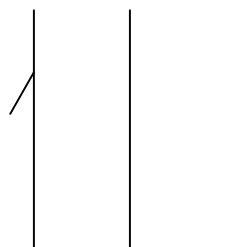
消除按键弹跳及对付多键串键

这里我要选用的是非编码 3x3 键盘结构，能自动消除键抖动影响，具有对按键同时按下的保护，能把键盘信息存入堆栈，也可向 CPU 发中断请求，得到响应后，使 CPU 获取按键信息，还可接受 CPU 队间信息的查询。

对每个键我们都赋予了特定的功能：

0-----每按键一次增加 10V

1-----每按键一次减少 10V



2-----每按键一次增加 1V	0	1 /	2 /
3-----每按键一次减少 1V	3 /	4	5 /
4-----每按键一次增加 0.1V	6 /	7 /	8 /
5-----每按键一次减少 0.1V			
7-----清除显示			
8-----开始显示			

### AT89C51 和 8279 键盘、显示器接口

下图 2.11 是 AT89C51、8279 与键盘和显示器的接口电路，当有键按下时，8279 可用中断方式通知 C51。编程实现的功能是：当有键 0-8 按下时，完成键值获取，并用 LED 输出显示键值。

## 2.5 输出电路

### 2.5.1 稳压输出部分

这部分将数控部分送来的电压控制字转换成稳定电压输出，电路主要由 D/A 转换、稳压输出、过流保护指示和延时启动等几部分组成，电路图如图 所示

电压输出范围为 0-29.9V，步长 0.1V，共有 300 种状态，所以上面提到选用 10 位 D/A 转换器 MAX504。设计中用两个电压控制字代表 0.1V，当电压控制字从 0, 2, 4...到 598 时，电源输出电压为 0.0, 0.1, 0.2...到 29.9V。当 MAX504 基准电压采用+15V 时，D/A 转换电路满幅，输出为 15.0V（电压控制字为 1023 时）。由于世纪最大用到电压控制字 598，因此 D/A 转换部分最大输出电压

$$V_1 = (598/1023) * 15 = 8.77$$

D/A 转换部分输出的电压作为稳压输出电路的参考电压。稳压输出电路的输出与参考电压成比例，范围是 0-29.9V，稳压输出部分采用典型的串联反馈稳压电路，也可以认为是以参考电压作为输入的直流功率放大器。这部分电路主要有运放 U3A 和三极管 T1、T2 构成，T2 时大功率三极管。D/A 转换电路输出的电压 V1 接到运放 U3A 的同相端，稳压电源的输出经 R5、RW3 和 R6 组成的取样电路分压后送到运放 U3A 的反相端，经运放比较放大后，驱动由 T1 和 T2 组成的复合调整管。当电路平衡时，D/A 输出电压 V1 与取样电压 V2 相等，R5=500Ω，R6=340Ω，51Ω 电位器 RW3 调在中间位置，设稳压电源输出电压为 V<sub>OUT</sub>，则

$$\begin{aligned} V_2 &= [(R_6 + 51/2) / (R_5 + R_6 + 51)] * V_{OUT} \\ &= [(340 + 25.5) / (500 + 340 + 51)] * V_{OUT} \\ &= 0.294 V_{OUT} \end{aligned}$$

因为  $V_1 = V_2$

$$V_{OUT} = V_1 / 0.294 = 3.4 V_1$$

所以  $V_{OUT} = 3.4 V_1 = 3.4 * 8.79 V = 29.9 V$

### 2.5.2 输出电压显示电路

为了实现输出电压的实时监控,使用 ICL7107 搭接的数字电压表对其输出电压采样测量,并输出显示,用户可以从显示器上看见两个电压值:其一为单片机设置的电压值,即期望值,其二为输出电压的实测值。正常工作时两者相差很小。一旦出现异常情况,用户可以看到期望值不符,从而采取相应的措施。

输出电压测量/显示电路如图

## 第三章 系统的软件设计

软件要实现的功能是:键盘对单片机输入数据,单片机对获得的数据进行处理,送到10位数模转换器(MAX504),再送到数字电压表,实现数字量对电压的控制。

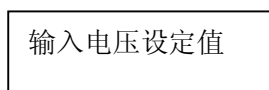


图3.1单片机模块方框图

### 3.1 主控程序

主控程序首先进行系统初始化,然后读入预置电压值,输出相应的电压控制字,等待键盘输入。根据键盘的不同输入,用散转方式转入相应的应用程序,执行后,若用“负载电压测量显示”,则输出电压控制字 0,返回初始状态,等待下一次按键。

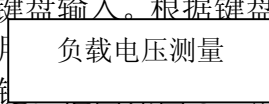


图 3.2 主程序流程图

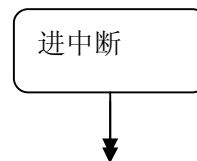


图 3.3 中断服务程序流程图

### 3.2 中断程序

过流保护由中断实现,在中断服务程序中进行各项报警和保护操作,中断服务程序框图如图 3.3 所示。

键盘中断程序中将一标志置“1”,表示有键键入,并将键盘码读入赋给一个变量。在主程序和哥哥应用程序中读取此标志和变量值,作为进行各项操作的依据,读后将标志清零。

### 3.3 键盘显示程序

图 3.4 键中断流程图

图 3.5 显示流程图

## 第四章 电路扩展

### 4.1 抑制纹波

本题对纹波要求非常高,对于本系统,造成纹波的主要因素是工频干扰、负载波动和数字调节的过冲噪声。其中第三项是数字控制系统必然存在的,不可避

免；因此，主要从抑制工频干扰和提高负载容量上来抑制纹波。

◆在电源端即进行滤波。系统的工频干扰主要由电源变压器引入，因此在电源端进行滤波对抑制工频干扰是十分必要和十分有效的。本系统的两个电源都在输出端进行了三极管有源滤波。

## 4.2 保护电路

保护电路由 T3 和 R8 构成，设  $I_m$  为保护动作电流，则当电源输出电流  $I$  增加到  $I_m$  时，R8 上的压降  $I_m \cdot R8$  使得 T3 管导通，分掉了复合管的基极电流，使输出  $I$  不再增加。电路中  $I_m$  定为 2A，T3 的导通电压为 0.6V，则  $R8 = 0.6V / 2A = 0.3 \Omega$ 。

过流时的中断申请由运放 U3B 产生。当过流发生时，稳压源输出经取样后得到的电压  $V2$  低于 D/A 转换输出电压  $v1$ ，U3A 输出正向饱和，使得 U3B 的反向端电位升高，U3B 输出低电平，产生中断申请信号。

## 4.3 延时启动

### 5.3 系统误差分析

从电路的原理框图可以看出，系统的主要误差来源于三个方面：

(1) MAX504 的量化误差 MAX504 为 10 位 D/A 转换器，满量程为 30V 的量化误差为  $1/2L_{MBS} = (1/2) \cdot (1/2^{10}) \cdot 30V = 14.65mV$ 。按满度归一化的相对误差为

$$(1/2) \cdot (1/2^{10}) = 0.05\%$$

(2) 基准电压温漂引入的误差 LM336 在 0—40°C 范围内漂移不大于 4mV，故相对误差 =  $2mV / 5V = 0.04\%$ 。

## 结束语

## 附录

程序清单