几种简单的恒流源电路

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 恒流电路应用的范围很广，下面介绍几种由常用集成块组成的恒流电路。  1.由7805组成的恒流电路，电路图如下图1所示：    http://blog.21ic.com/UploadFiles/2008-11/27931924465.jpg    电流I＝Ig＋VOUT/R，Ig的电流相对于Io是不能忽略的，且随Vout，Vin及环境温度的变化而变化，所以  这个电路在精度要求有些高的场合不适用。    2.由LM317组成的恒流电路如图2所示，I＝Iadj＋Vref/R（Vref＝1.25）,Iadj的输出电流是微安级的所  以相对于Io可以忽略不计，由此可见其恒流效果较好。    3.由PQ30RV31组成的恒流电路如图3所示，I＝Vref/R(Vref＝1.25),他的恒流会更好，另外他是低压差稳  压IC。  **摘要：**本文论述了以凌阳16位单片机为控制核心，实现数控直 流电流源功能的方案。设计采用MOSFET和精密运算放大器构成恒流源的主体，配以高精度采样电阻及12位D/A、A/D转换器，完成了单片机对输出电流 的实时检测和实时控制，实现了10mA～2000mA范围内步进小于2mA恒定电流输出的功能，保证了纹波电流小于0.2mA，具有较高的精度与稳定性。 人机接口采用4×4键盘及LCD液晶显示器，控制界面直观、简洁，具有良好的人机交互性能。 **关键字：**数控电流源  SPCE061A   模数转换   数模转换   采样电阻  **一、方案论证** 　　根据题目要求，下面对整个系统的方案进行论证。 　　方案一：采用开关电源的恒流源 　 　采用开关电源的恒流源电路如图1.1所示。当电源电压降低或负载电阻Rl降低时，采样电阻RS上的电压也将减少，则SG3524的12、13管脚输出方 波的占空比增大，从而BG1导通时间变长，使电压U0回升到原来的稳定值。BG1关断后，储能元件L1、E2、E3、E4保证负载上的电压不变。当输入电源电压增大或负载电阻值增大引起U0增大时，原理与前类似，电路通过反馈系统使U0下降到原来的稳定值，从而达到稳定负载电流Il的目的。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628161828.jpg  图 1.1   采用开关电源的恒流源  　　优点：开关电源的功率器件工作在开关状态，功率损耗小，效率高。与之相配套的散热器体积大大减小，同时脉冲变压器体积比工频变压器小了很多。因此采用开关电源的恒流源具有效率高、体积小、重量轻等优点。 　　缺点：开关电源的控制电路结构复杂，输出纹波较大，在有限的时间内实现比较困难。 　　方案二： 采用集成稳压器构成的开关恒流源 　　系统电路构成如图1.2所示。MC7805为三端固定式集成稳压器，调节http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628162120.gif ，可以改变电流的大小，其输出电流为：http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628162127.gif ，式中 http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662816242.gif为MC7805的静态电流，小于10mA。当 http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628162120.gif较小即输出电流较大时，可以忽略 http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662816242.gif，当负载电阻http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628162226.gif 变化时，MC7805改变自身压差来维持通过负载的电流不变。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628162415.jpg 图 1.2   采用集成稳压器件的恒流源电路  　　优点：该方案结构简单，可靠性高 　　缺点：无法实现数控。 　　方案三： 单片机控制电流源 　　该方案恒流源电路由N沟道的MOSFET、高精度运算放大器、采样电阻等组成，其电路原理图如图1.3所示。利用功率MOSFET的恒流特性，再加上电流反馈电路，使得该电路的精度很高。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628164917.jpg 图1.3   恒流源电路  　　该电流源电路可以结合单片机构成数控电流源。通过键盘预置电流值，单片机输出相应的数字信号给D/A转换器，D/A转换器输出的模拟信号送到运 算放大器，控制主电路电流大小。实际输出的电流再通过采样电阻采样变成电压信号，A/D转换后将信号反馈到单片机中。单片机将反馈信号与预置值比较，根据 两者间的差值调整输出信号大小。这样就形成了反馈调节，提高输出电流的精度。本方案可实现题目要求，当负载在一定范围内变化时具有良好的稳定性，而且精度 较高。 　　基于上述方案比较和题目的要求，采用了方案三。  **二、详细软硬件设计** 　　根据题目要求和上述论证，确定的系统框图如图2.1。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165022.gif 图2.1   系统框图  　　硬件连接图如图2.2，本系统中SPCE061A的IOA8～15，IOB12～15为复用端口。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662816512.gif 图2.2   系统硬件连接图  　　1、硬件设计 　　（1）单片机控制电路 　　本系统采用SPCE061A单片机作为控制核心。SPCE061A是16位单片机，指令周期短，工作速率快，功耗低，具有丰富的片上资源，集成了可编程音频处理电路，可以在线下载，易于调试。尤其是其语音播放功能对增加语音报警功能提供了很大的方便。 　　（2）A/D，D/A接口设计 　　根据题目要求，数控直流恒流源的精度为1mA，所以至少需要11位的A/D转换器和D/A转换器。 　 　A/D转换采用BB公司的ADS7816构成的转换电路，如图2.3。ADS7816是12位串行模/数转换器，采样频率高达200kHz，转换所需时 间短，转换精度高。ADS7816转换器将采样电阻上的电压转换成数字信号反馈给单片机，单片机将此反馈信号与预置值比较，根据两者间的差值调整输出信号 大小。这样就形成了反馈调节，提高输出电流的精度。同时，A/D采样回来的电流经过单片机处理传送到LCD，可以显示当前的实际电流值。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165145.jpg 图2.3    A/D接口电路  　　D/A转换采用12位DAC7625P构成的转换电路，如图2.4。DAC7625P具有较高的精度。D/A转换电路主要负责把单片机输出的控制信号送给高精度运算放大器，控制电流源输出电流大小。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662816529.jpg  图2.4    D/A接口电路  　　设D/A转换器的参考电压为 http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662816546.gif，键盘输入数字量为D，D/A转换输出的模拟电压http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165417.gif =http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165431.gif 。 　　选择参考电压http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662816546.gif =2.5V，采样电阻 http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165447.gif1.2207http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165915.gif。当输入数字量加1，模拟增加量 　　△V=http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165636.gif V=0.61mV 　　则输出电流变化 　　 http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165949.gif=0.5mA 　 　即D/A转换器数字输入量每增加数值1，恒流源输出电流增加0.5mA。因此为实现步进功能，每按一次步进"+"键，单片机送给D/A转换器的输入数字 量D加2，从而输出电流加1mA，实现了电流步进1mA的要求。步进减1mA同理。当键盘设置输出电流大小为I时，单片机送给D/A转换器的数字量为 2×I，使得电流源电路输出电流为I。然而这只是理想情况，实际电路由于种种原因，实际输出电流不会完全等于理论计算值，此时电流反馈控制起了关键作用。 单片机通过分析A/D转换的数值，得到电路实际输出的电流大小，对D/A转换器的给定数字量进行调整，使得输出电流大小更精确。 　　（3）恒流源电路 　　恒流源电路是系统的重要组成部分，其电路原理图如图2.5所示。主要由高精度运算放大器，MOSFET，采样电阻等组成。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817048.gif 图2.5   恒流源电路  　　根据运放特性可得： 　　 http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817156.gif 　　MOSFET的电流 　　 http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817214.gif 　　http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817229.gif 　　http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817248.gifhttp://www.unsp.com.cn/app/pic/20066281732.gif     　　D/A转换器输出的控制电压加在运算放大器正输入端，控制负载中流过的电流。 　　采样电阻选用康铜丝,以减少因温度变化而引起的采样电阻阻值的变化。采样电阻将输出电流转换为电压信号，供A/D转换用。 设计中A/D、D/A转换器的参考电压都为2.5V，电路中流过的电流最大值为2000mA，因此正常情况下电阻阻值应为2500mV/2000mA=1.25http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628165915.gif 。 　　考虑到系统的步进功能，当D/A转换的数字输入加1时，其模拟输出增加量 △V= http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817415.gif，与此同时采样电阻上的电压也相应增加相同的数值，令其输出电流增加0.5mA，则计算得采样电阻阻值为： 　　 http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817437.gif 　　运算放大器的输出控制着MOSFET的VGS，因此运算放大器输出的稳定性将直接决定系统输出电流的稳定性；同时，运算放大器还决定着系统输出电流的精度。为了满足系统的精度及纹波要求，选用精密运算放大器OP07C。 （4）键盘及LCD显示电路 　 　系统中采用普通的4×4键盘实现电流的设计和调节。4×4键盘原理图如图2.6所示。 键盘包括下列功能：S1：程序复位；S2：液晶复位；Set：设定；0~9预置输入；"+ "：电流上调；"-"：电流下调；Enter：确认。从0～9预置键中输入预置电流值，确认后便可通过液晶显示出预置电流值。上调键 "+"和下调键 "－"分别用来控制电流以步进1mA增减，电流变化通过液晶显示出来。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817518.gif 图2.6    4×4键盘原理图  　　液晶显示器选用凌阳公司的SPLC501液晶模组，SPLC501是128×64的点阵LCD，其内部自带驱动电路，外围电路非常简单，由于凌 阳公司提供了驱动程序，使得编程也相当简单。在本设计中用它来显示电流的给定值、实际测量值以及系统工作状态。LCD的接口电路如图2.7所示。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/20066281761.jpg 图2.7   液晶接口电路  　　（5）系统电源 　　由于系统对电流的精度及纹波要求较高，而系统电源的精度及稳定度在很大程度上决定了系统的性能，因此系统电源的设计是整个系统中的重要部分。 　　为了防止恒流源电路中的较大电流对控制部分产生干扰，将控制部分的电源和恒流源电路电源分成独立的两部分，分别由两组变压器供电，电路如图2.8所示。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817643.jpg 图2.8    自制电源原理图  　　控制部分：220V电压经变压器输出两组独立的交流10V电源和一个交流15V电源。其中一路交流10V电源经整流、滤波、7805稳压后输 出+5V电压，给CPU和LCD供电；第二路交流10V电源经整流、滤波、7805稳压后输出-5V（正端接地）电压为运算放大器提供负工作电源。交流 15V输出电压经整流、滤波、7812稳压输出+12V电压，为运算放大器提供正工作电源，同时此+12V电源经过参考电源芯片MC1403，输 出+2.5V电压做为A/D，D/A的参考电压。 　　恒流源电路电源：220V电源经变压器降压输出交流19V电压，再经过整流、滤波、78H15稳压后输出+15V电压，直接作为恒流源电路电源。  　　2.软件设计 　　软件系统的任务主要有A/D转换、D/A转换、步进加减、键盘扫描、液晶显示、语音报警等功能。为了将所有任务有序的组织起来，软件系统采用前后台结构。 　　SPCE061A单片机拥有独立的时基发生器，无需占用定时器。系统设置了一个1024Hz的时基中断，为整个系统提供一个统一的运行节拍，保证了各个任务能有条不紊的工作。 　　对时间没有实时要求的任务如键盘扫描、液晶显示，放在主循环中。A/D，D/A转换任务需要定周期运行，放在时基中断服务子程序中运行。有效的保证了重要任务能及时被执行。 　　（1）主程序 　 　系统加电后，主程序首先完成系统初始化，其中包括I/O口，中断系统，定时器/计数器等工作状态的设置，系统变量赋初值等工作；完成系统初始化后打开中 断；随之进入键盘扫描程序。键盘扫描获取键值后根据键值，完成设定预置电流值，步进加减，并通过LCD显示输出电流值及系统是否正常工作信号。主程序流程 图如图2.9所示。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817738.gif 图2.9    主程序流程图  　　（2）时基中断服务子程序 　　时基中断服务子程序流程图如图2.10所示。在此中断服务程序中控制进行A/D和D/A转换  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817843.gif 图2.10    时基中断服务子程序  　　（3）A/D转换程序 　　A/D转换器ADS7816的接口形式为位串行接口，因此在对ADS7816进行操作时需要考虑到时序问题，ADS7816的控制流程图如图2.11所示。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817910.gif  图2.11   A/D转换程序  　　3、系统的保护及其抗干扰设计 　　（1）系统的保护 　　当系统工作不正常导致输出电流过大时，若无保护功能，将造成严重后果。 因此，在硬件方面，选取带有过流、过热、短路保护功能的集成线性稳压电路LM78H15K；在软件方面，当键盘设定电流超过2010mA或者A/D转换器 采样得到的电流值超过2000mA时，控制系统输出的控制信号会切换为0，则主电路输出的电流也相应为0，同时液晶显示"系统工作不正常"。这样系统得到 双重保护，能确保其工作安全可靠。  　　（2）系统抗干扰设计 　　系统工作于较强的电磁辐射环境中，容易受到各种干扰的影响。轻则使电流输出不稳定，纹波电流增加，严重时会导致整个系统工作不正常。因此，本系统从硬件和软件两方面采取抗干扰的措施，以保证系统的可靠运行。 　　a、硬件抗干扰设计 　　主电路和控制电路的电源由两个独立的变压器供电，消除了主电路对控制电路的电源干扰。 　　在220V电源进线端设置电源滤波器，消除电网上的各类高频干扰，防止电网电压突变对系统造成冲击。 　　在运算放大器的输入端加设滤波电容，对抑制纹波电流起到至关重要的作用。 　　合理布置接地系统中的数字地与模拟地，避免了数字信号对模拟信号的干扰。 　　b、软件抗干扰设计 　　系统中采用看门狗技术，若程序出现死循环或者跑飞现象，凌阳单片机内部的看门狗将使单片机复位，将单片机重新拉回有序的工作状态。 　　对A/D的转换结果采用数字滤波技术，保证控制系统的稳定。  **三、测试说明**  　　1、测试仪器 　　本系统的测试仪器见表3.1。  表3.1   测试仪器   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 序号 | 名称 | 型号 | 数量 | | 1 | 4http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628171428.gif位数字万用表 | DT9203A | 1 | | 2 | 低频毫伏表 | XSD-1 | 1 | | 3 | 滑线变阻器 | BX 7-24 | 1 |   　　2、测试电路与测试方法 　　测试电路如图3.1。  http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817152.gif 图3.1    测试电路示意图  　　测试方法：采用4 位数字万用表的电流档测试输出电流IL，用低频毫伏表测负载RL两端的电压值VL。负载采用滑线变阻器。  　　3、测试数据及结果分析 　　（1）输出电流范围：10mA～2000mA，达到发挥部分要求。 　　（2）输出电流与给定值偏差  　　测试数据如表3.2。  表3.2    输出电流与给定值偏差测试数据   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | 给定电流Id(mA) | 10 | 20 | 200 | 600 | 800 | 1300 | 1500 | 1700 | 2000 | | 显示电流(mA) | 10 | 20 | 199 | 598 | 797 | 1303 | 1502 | 1704 | 2004 | | 输出电流IL(mA) | 11 | 21 | 199 | 597 | 797 | 1303 | 1502 | 1704 | 2005 | | |Id－IL|(mA) | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 5 | | Id×0.1％＋3(mA) | 3.01 | 3.02 | 3.2 | 3.6 | 3.8 | 4.3 | 4.5 | 4.7 | 5 | | Id×1％＋10(mA) | 10.01 | 10.02 | 12 | 16 | 18 | 23 | 25 | 27 | 30 |   http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628171732.gif  图3.2    绝对误差比较图  　　测试结果分析：如图3.2，实测绝对误差曲线在发挥要求的曲线下方。输出电流满足发挥部分的误差精度要求。同时，电流值小时，输出电流更接近给 定电流。电流值较大时，由于系统散热性能不够优良导致恒流源电源性能下降，引起误差增大。误差存在的原因主要是采样电阻制作误差，同时系统工作时采样电阻 发热，阻值变化引起误差。但总的看来，该电流源有较好的精度特性。 　　（3）步进电流 　　设定电流500mA，测得步进电流数据如表3.3和表3.4。  表3.3    步进电流数据一   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 第n次按“+” | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | 输出电流IL(mA) | 502 | 504 | 506 | 508 | 510 | 512 | 514 | 516 | | In+1-In(mA) | \ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |   表3.4    步进电流数据二   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 第n次按“-” | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | 输出电流IL(mA) | 498 | 496 | 494 | 492 | 490 | 488 | 486 | 484 | | In+1-In(mA) | \ | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |   　　测试结果分析：可实现步进2mA，满足≤10mA的基本要求。  　　（4）改变负载电阻，输出电压在10V以内变化时，输出电流值的情况。 　　a、 给定电流Id=200mA时， 　　Id×0.1％＋1mA＝1.2(mA)  　　Id×1％＋10mA＝12(mA)  表3.5   给定电流200mA时输出电流数据   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 负载电压VL（V） | 1.31 | 2.47 | 3.56 | 5.1 | 6.33 | 7.78 | 9.57 | | 输出电流IL(mA) | 200 | 201 | 200 | 200 | 199 | 200 | 200 | | |IL-Id|(mA) | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |   http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628174223.jpg  图3.3    200mA恒流特性图  　　b、 给定电流Id=1000mA时， 　　Id×0.1％＋1mA＝2(mA)  　　Id×1％＋10mA＝20(mA)  表3.6    给定电流1000mA时输出电流数据   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 负载电压VL（V） | 1.33 | 2.74 | 4.1 | 5.65 | 6.67 | 8.11 | 9.63 | | 输出电流IL(mA) | 995 | 1006 | 992 | 990 | 990 | 988 | 985 | | |IL-Id|(mA) | 5 | 6 | 8 | 10 | 10 | 12 | 15 |   http://www.unsp.com.cn/app/pic/200662817440.gif  图3.4    1000mA恒流特性图  　　c、 给定电流Id=1800mA时， 　　Id×0.1％＋1mA＝2.8(mA) 　　Id×1％＋10mA＝28(mA)  表3.7    给定电流1800mA时输出电流数据   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 负载电压VL（V） | 0.94 | 2.13 | 3.85 | 5.11 | 6.51 | 7.65 | 9.1 | | 输出电流IL(mA) | 1808 | 1795 | 1790 | 1785 | 1785 | 1780 | 1780 | | |IL-Id|(mA) | 8 | 5 | 10 | 15 | 15 | 20 | 20 |   http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628174536.jpg  图3.5    1800mA恒流特性图  　　测试结果分析：如图3.5，负载电压变化，给定电流在200mA时，满足发挥部分要求，恒流特性较理想。给定电流在1000mA及1800mA时，输出电流变化绝对值较大，恒流特性变差，主要由于采样电阻不够精确引起，但仍可满足基本部分要求。  　　（5）纹波电流 　　取负载电阻RL=9.82Ω，纹波电流＝纹波电压/负载电阻。测试数据如表3.8。  表3.8    纹波电流测试数据   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 给定电流Id(mA) | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 1500 | 1800 | 2000 | | 纹波电压(mV) | 1.0 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | | 纹波电流(mA) | 0.1 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.18 | 0.19 |   http://www.unsp.com.cn/app/pic/2006628174721.gif  图3.6    纹波特性图  　　测试结果分析：如图3.6，系统设计过程中，主电路和控制电路独立供电，自制电源进行了稳压处理，同时进行了高频滤波，因此系统的纹波特性较理想。  **四、结论** 　　本系统以16位SPCE061A单片机控制与调整主电路的输出电流，并通过液晶显示电流 值，完成了数控恒流源的制作。实现了输出电流可调，步进加，减功能。除很好地满足了基本要求和较好地完成了发挥部分的要求外，电源滤波器的加入，有效地滤 去了电网的高次谐波，保证了恒流源输出较小的纹波。 　　难点分析：在恒流源的设计与制作过程中，本方案遇到的主要难点在于如何减少纹波，通过仔细 研究与分析，确定要使纹波尽可能小，需要运算放大器的电源和输入端信号要稳定，因此对运算放大器我们采用独立电源供电，保证了放大器有稳定电源电压，进而 使输出较小的纹波电流成为可能。然而，当将控制电路与主电路结合在一起时，输出纹波电流的增大又成为一大问题。这是由于控制电路的输出有纹波，加到运算放 大器的输入端将纹波放大，导致输出电流纹波加剧，为解决这一问题，我们在运放输入端并联电容，以达到滤波的目的，从而较好的解决纹波问题。 　　除了上述功能外，我们还考虑了其他功能，如语音报警，过载保护，开路保护，以及散热性能的加强，由于时间与资源的限制没有实现，另外，有些功能的实现方式还有待于进一步优化。  **相关源代码下载:见下载那** |