

## 开关稳压电源（E 题）

### 摘要

本系统以 BUCK 斩波电路为核心，以 MSP430G2553 单片机为主控制器，以 TI 电源管理芯片 TPS5450 为核心 DC-DC 芯片，根据反馈信号对 PWM 信号做出调整，进行硬件闭环控制，单片机通过 DA 控制反馈段，从而实现可调稳压输出。系统输出直流电压 0V ~ 20V 可调，可以通过键盘设定和步进调整，最大输出电流达到 2A 并实现 2.2A 过流保护，电压调整率和负载调整率小，DC-DC 变换器的效率达到 93.4%（10V 2A 情况下测定）。能对输出电压输出电流和输出功率进行测量和显示。

## 方案论证

### 1.1 DC-DC 主回路拓扑

方案一采用单片机产生 PWM 波控制 MOS 的开关，AD 采样进行反馈，形成软件闭环控制系统，通过调整占空比稳压和调节输出电压。

方案二 采用集成电源管理芯片，单片机控制 DA 经过电阻送至芯片反馈端，通过硬件欺骗的方法控制输出电压。

基于对电路结构和效率的考虑，我们选择方案二。

### 1.2 系统总体框图

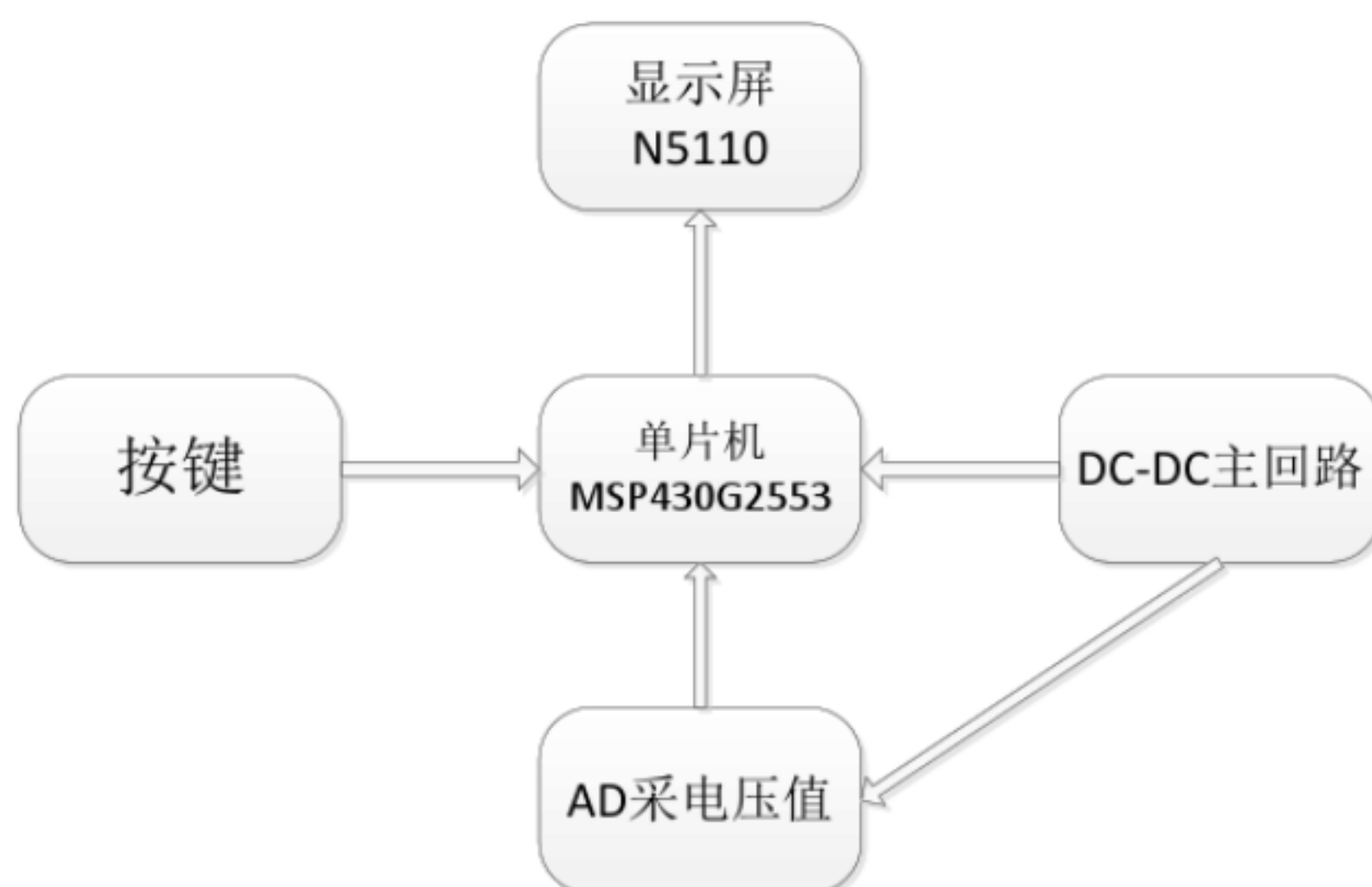


图 1-1 系统总体框图

### 1.3 提高效率的方法及实现方案

1) **选择合适的开关电源控制芯片**：集成开关电源芯片的 MOS 内阻对整机的效率有较大的影响，TI 公司的 TPS5450 内部导通电阻  $110\text{m}\Omega$ ，工作频率  $500\text{KHz}$ ，有较高的转换效率，并且带有使能端，输入最大电压  $36\text{V}$ ，持续最大输出电流  $5\text{A}$ ，适合本设计要求。

2) **BUCK 斩波电路中二极管的选取**: 本电路工作频率高, 电压低, 对二极管的开关速度要求高, 对反向耐压要求不高。与快速恢复二极管相比, 肖特基二极管正向压降更小、恢复时间更短; 反向耐压也已经满足要求。故选择肖特基二极管。本设计要求输出电流 2A, 可选用最大持续电流 3A 的 1N5822 二极管。

3) **BUCK 斩波电路中电感的选取**: 本设计电流较大, 又由于开关频率较高, 普通绕线电感会产生较大 EMI, 对输出电压有较大的影响, 会产生较大的纹波, 因次选用 TDK 屏蔽式额定电流 4A 的电感, 能有效减少 EMI 的产生并能满足设计的电流需求。

4) **控制及保护电路**: MCU 选用超低功耗单片机 MSP430G2553, 其工作电流仅 280  $\mu$ A; 显示用低功耗 LCD; 控制及保护电路的供电采取了降低功耗的措施; MCU 需要的 3.3V 电压由开关电源芯片 LM2596 降至 5V, 再由 AMS-1117 降至 3.3V 以控制开关电源产生的噪声, 以免单片机工作不稳定。

## 2 电路设计与参数计算

### 2.1 BUCK 电路器件的选择及参数计算

#### 2.1.1 肖特基二极管的选择

由于输出最大电压 2A, 最大输入电压 25V, 为留有裕量, 选用耐压 40V 平均通过电流 3A 的 1N5822,。

#### 2.1.2 电感的参数计算

1) 电感值的计算: 根据芯片手册的设计参考,

$$L_{\text{MIN}} = \frac{V_{\text{OUT(MAX)}} \times (V_{\text{IN(MAX)}} - V_{\text{OUT}})}{V_{\text{IN(MAX)}} \times K_{\text{IND}} \times I_{\text{OUT}} \times F_{\text{SW(MIN)}}}$$

其中  $K_{\text{IND}}$  是减少输出纹波而增大电感的补偿系数, 推荐取 0.1 到 0.3, 为了是输出纹波更小, 这里去 0.1, 计算得电感值  $L = 44\mu\text{H}$ , 取  $47\mu\text{H}$ 。

### 2.1.3 电容的参数计算

根据芯片手册的

$$C_{OUT} = \frac{1}{3357 \times L_{OUT} \times f_{CO} \times V_{OUT}}$$

其中,  $L_{OUT}$  为输出电感, 取  $47\mu F$ 。  $f_{CO}=500kHz$ ,  $V_{OUT}=20V$  时,  $C_B=316\mu F$ 。取  $C_B=330\mu F$ , 用多只低串联等效电阻 (ESR) 的电解电容并联, 进一步减小 ESR, 以减小输出电压的纹波。再并联 CBB 电容以增加高频响应, 减少毛刺。

### 2.2 控制电路的设计与参数计算

MCU 根据设定值给定 DA 值从而控制输出电压。根据硬件电路设计(图 2-1), 可得:  $V_{OUT} = \frac{V_{FB}}{R_4}(R_2 + R_4) + \frac{V_{FB} - V_{SET}}{R_3}R_2$ , 其中  $V_{FB}$  为芯片内部调整的参考电压  $1.223V$ , 最后计算可得  $V_{OUT} = \frac{21.263 - V_{SET}}{8.1731}$ , 经过实际电路测试后进行软件修

正, 修正后得出  $V_{OUT} = \frac{21.263 - V_{SET} - 0.01}{8.1731 + 0.01}$ 。

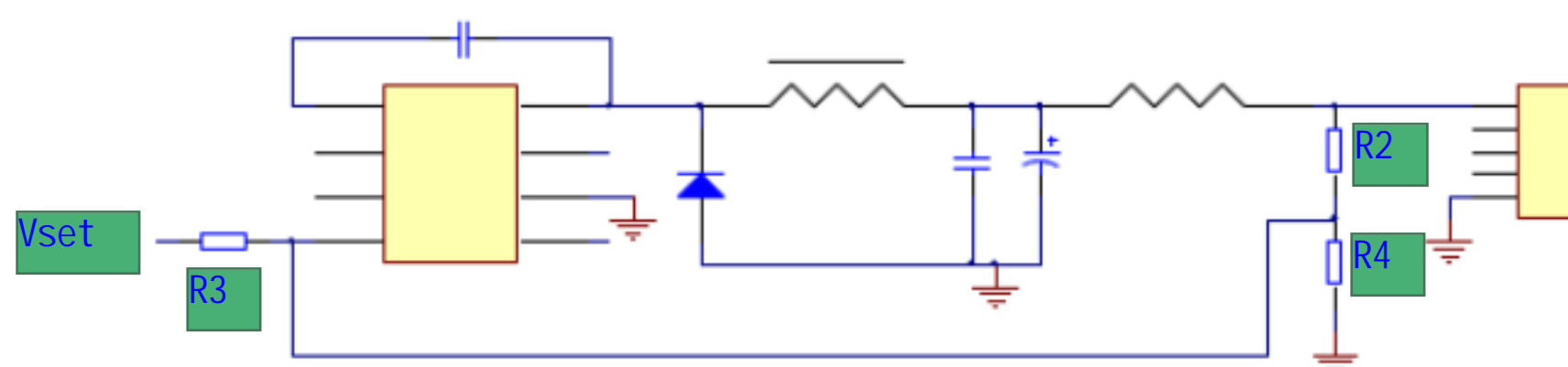


图 2-1

### 2.3 保护电路的设计与参数计算

#### 2.3.1 过流保护

输出端串接电流采样电阻  $R_{TEST2}$ , 材料选用温漂小的康铜丝。电压信号放大后送给单片机进行 A/D 采样。当电流大于  $2.2A$  时, 单片机控制电源失能, 蜂鸣器报警, 过流故障解除后, 系统将自动恢复正常供电状态。

### 2.5 数字设定及显示电路的设计

分别通过键盘和 LCD 实现数字设定和显示。键盘用来设定和调整输出电压;



设定电压、输出电流和输出功率的量值通过 LCD 显示。

## 2.6 效率的分析及计算 ( $U_{IN}=25V$ , 输出电压 $U_o=10V$ , 输出电流 $I_o=2A$ )

1) BUCK 电路中电感的损耗:  $P_{DCR1} = I_{IN}^2 \times DCR_1$

其中,  $DCR_1$  为电感的直流电阻, 取为  $50\text{ m}\Omega$ , 代入可得  $P_{DCR1}=0.68\text{ W}$

2) BUCK 电路中开关管的损耗

1、开关损耗  $P_{SW}=0.5*U_{IN}*I_{IN} (t_r+t_f) *f$

其中,  $t_r=190\text{ns}$ ,  $t_f=110\text{ns}$ ,  $f=500\text{ kHz}$ , 代入可得  $P_{SW}=0.216\text{ W}$

2、导通损耗  $P_C = D (I_{IN}^2 (R_{DS(on)} \times 1.3 + R_{SNS}))$

其中,  $R_{DS(on)}=110\text{ m}\Omega$ , 电流感应电阻  $R_{SNS}$  取  $0.05\text{ }\Omega$ , 代入得  $P_C=0.23\text{ W}$

3) 肖特基二极管的损耗

当二极管导通时流过二极管的电流等于电感电流, 约为  $I_o=2A$ , 查伏安曲线得  $V_D=0.42\text{ V}$ , 占空比取 50%。

所以, 二极管的损耗  $P_D = I_O V_D D = 2A * 0.42V * 0.50 = 0.42W$

4) 采样电阻上的总损耗为  $0.01W$ , 其他部分的损耗约为  $0.01W$ ,

综上电路总损耗  $P_{损耗}=0.96W$ , 故 DC-DC 变换器的效率  $\eta = P_o / (P_o + P_{损耗}) = 93\%$

## 2.7 系统特色:

1. 通过电阻讲 DA 值穿入反馈端, 精确控制输出, 并且实现了从  $0V$  输出的宽输出范围。

2. 采用多种措施降低系统的电磁干扰 (EMI), 如: 合理布局 PCB, 降低经过二极管电流的快速强烈变化对系统的干扰; 使用 TDK 屏蔽式电感, 使电感在高频工作时, 对电路有较小的电磁干扰。

3. 具有多重保护措施, 保证了系统的高可靠性。

3 软件设计（主要流程图如图 3-1 所示）

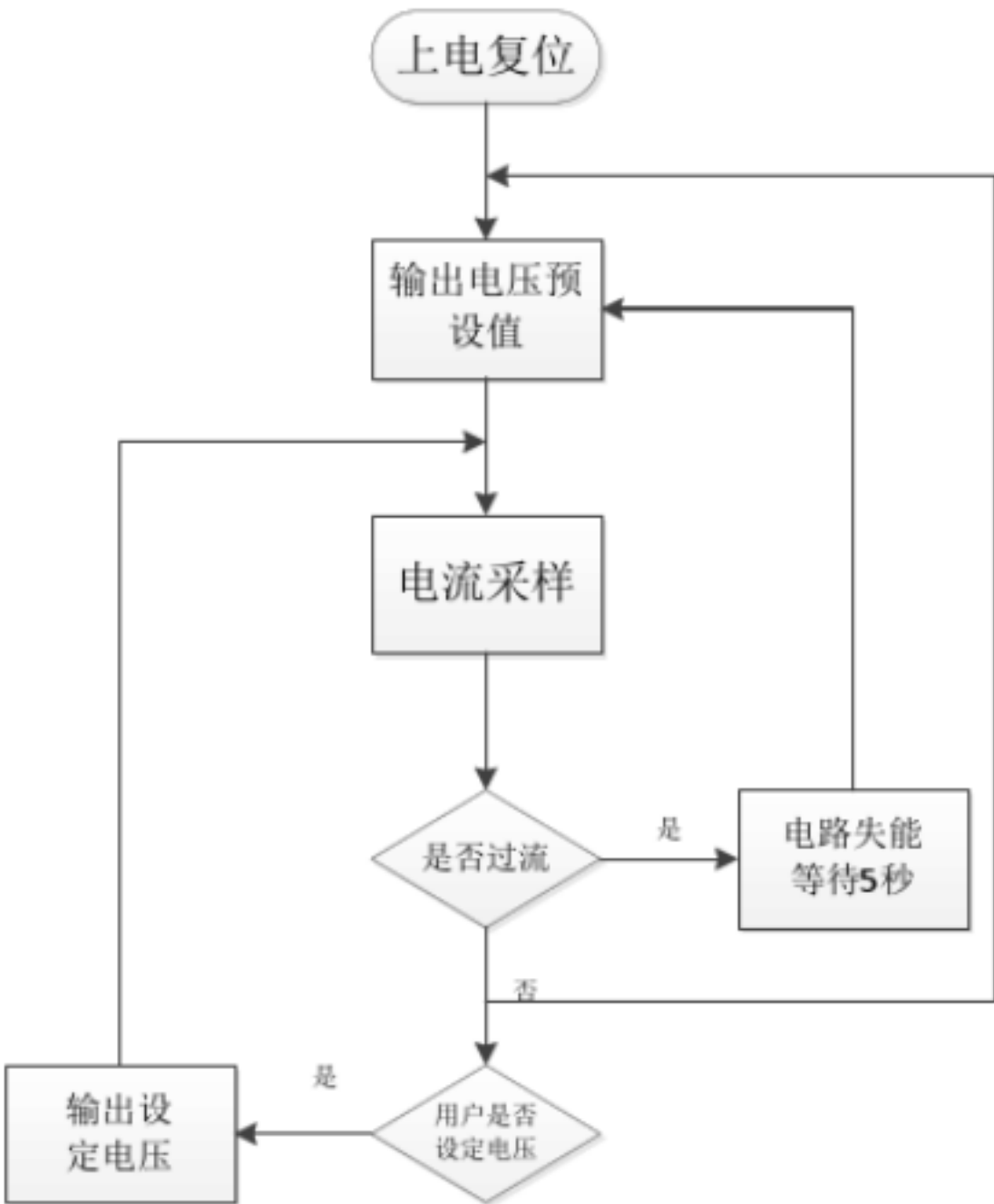


图 3-1

4 系统测试及结果分析

4.1 测试使用的仪器（如表 4.1 所示）

表 4.1 测试使用的仪器设备

序号	名称、型号、规格	数量	备注
1	UNI-T 万用表	2	
2	MPS-3005L 直流电源	1	
3	Tekironix 示波器	1	带宽 50MHz

4.2 测试方法 （连接如图 4-1 所示）

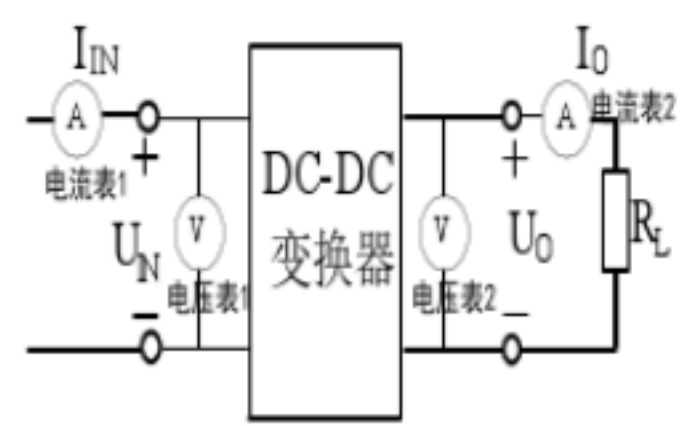


图 4-1 测试连接图

4.3 测试数据

4.3.1 DC-DC 转换器效率  $\eta$  测试（测试条件：  $I_O=2A$ ，  $U_O=20V$ ，  $U_I=25V$ ）

$U_{IN}=25V$ ，  $I_{IN}=1.71A$ ；  $U_O=20.00V$ ，  $I_O=2.005A$ 。

DC-DC 转换器效率  $\eta=U_O I_O / U_{IN} I_{IN}=93.57\%$  。

4.4 测试结果分析

4.4.1 测试数据与设计指标的比较 （如表 4.2 所示）

表 4.2 测试数据与设计指标的比较

测试项目	基本要求	发挥要求	电路测试结果
输出电压可调范围	0V-320V		实现
最大输出电流	2A		实现
DC-DC 变换器效率	$\geq 70\%$	$\geq 85\%$	93.97%
过流保护	动作电流 $2.2 \pm 0.2A$	故障排除后自动恢复	动作电流 2.23A， 可以自动恢复。
输出电压设定和步进调整		步进 0.1V，测量和显示电压电 流	实现，步进可达 0.1V。
其他			完整可靠的保护电路

# 1 电路原理图:

