

全国大学生 (2015年江苏赛区)

电子设计竞赛

优秀作品设计报告选编

胡仁杰 堵国樑 黄慧春·主编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

全国大学生电子设计竞赛 优秀作品设计报告选编 (2015年江苏赛区)

胡仁杰 堵国樑 黄慧春 主编

东南大学出版社
·南京·

内 容 简 介

全国大学生电子设计竞赛是面向大学生的群体性科技活动,近年来受到了高校和社会的广泛关注,已成为我国电子信息及电气工程类专业极具影响力的学科竞赛。本书是在2015年全国大学生电子设计竞赛江苏赛区获奖作品的基础上,经过编委会认真遴选、参赛者和指导教师后期整理的,以期更加全面、详细地展现出参赛作品的设计思路、技术方法、软硬件设计、总结分析等方面的创新点及闪光点。同时也将部分方案最终的制作成品以及完整的软硬件设计资料、完整的作品视频介绍等,通过网址链接的方式,将作品更全面、更直观地展现给读者。

本书内容丰富实用、工程性强,不仅可以作为高等院校电子信息、通信工程、自动化及电气控制类专业学生参加全国大学生电子设计竞赛的培训教材,也可以作为参加各类电子制作、课外研学、课程设计和毕业设计的教学参考书,以及电子工程技术人员进行电子产品和电路设计与制作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

全国大学生电子设计竞赛优秀作品设计报告选编:
2015年江苏赛区 / 胡仁杰, 堵国樑, 黄慧春主编. —南京: 东南大学出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-5641-6436-2

I. ①全… II. ①胡… ②堵… ③黄… III. ①电子
电路—电子设计—竞赛—高等学校—自学参考资料
IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 061836 号

全国大学生电子设计竞赛优秀作品设计报告选编 (2015年江苏赛区)

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京市玄武区四牌楼2号(210096)
网 址 <http://www.seupress.com>
出 版 人 江建中
责任编辑 姜晓乐(joy_supe@126.com)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 扬中市印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 24
字 数 599千字
版 次 2016年4月第1版
印 次 2016年4月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-6436-2
定 价 56.00元

东大版图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

前 言

全国大学生电子设计竞赛是面向大学生的群体性科技活动,近年来受到了高校和社会的广泛关注,已成为我国电子信息及电气工程类专业极具影响力的学科竞赛。本书精选了2015年全国大学生电子设计竞赛江苏赛区部分获奖作品较为完整的设计方案和设计思路。

由于电子设计竞赛是学生在有限时间内完成的,竞赛提交的设计报告在内容的全面性、行文的规范性以及设计的详尽性等方面可能存在不足之处。本书所选的案例是经过编委会遴选、参赛者和指导教师后期整理的,以期更加全面、详细地展现参赛作品在设计思路、技术方法、软硬件设计、总结分析等方面的创新点及闪光点,对读者的指导更具实用价值。

另外,电子设计竞赛的题目包括“理论设计”和“实际制作”两部分,我们会将部分方案最终的制作成品以及完整的软硬件设计资料通过网址链接的方式,提供给读者参考。同时,网站上也提供相关作品完整的视频介绍,将作品更全面、更直观地展现给读者。

《2013年全国大学生电子设计竞赛江苏赛区优秀作品汇编》在发行后得到了读者的好评。在江苏省电子设计竞赛组委会组织下,编委会继续策划出版2015年优秀作品汇编,希望将江苏赛区竞赛丰硕成果更有力地展现、介绍给全国高校的同行及同学们,以期对已经参赛或即将参赛的同学达到思路上开阔、技巧上演练、实战上引导的效果。

本书内容丰富实用、工程性强,不仅可以作为高等院校电子信息、通信工程、自动化及电气控制类专业学生参加全国大学生电子设计竞赛的培训教材,也可以作为参加各类电子制作、课外研学、课程设计和毕业设计的教学参考书,以及电子工程技术人员进行电子产品和电路设计与制作的参考书。

本书的编辑出版,得到了江苏省各高校参赛获奖队员、指导教师、竞赛专家组成员以及江苏省电子设计竞赛组委会的大力支持,在此表示感谢。由于汇编篇幅有限,未能将所有优秀作品收入本汇编,对此深表歉意。

由于时间匆忙,加上编者的水平有限,本汇编中还有不足和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2015年12月20日



相关视频、作品照片、程序清单及参赛队员介绍网址:

<http://www.seupress.com/default.php? mod = c&s = ssfe24ea2>

编委会成员名单

(按姓名拼音排序)

- 堵国樑——东南大学
洪 峰——南京航空航天大学
胡仁杰——东南大学
黄慧春——东南大学
李正明——江苏大学
林建中——南京邮电大学
毛学军——淮安信息职业技术学院
潘克修——解放军理工大学
乔晓华——江苏理工学院
肖 建——南京邮电大学
徐大诚——苏州大学
徐志军——解放军理工大学
张兴敢——南京大学

目 录

A 题 双向 DC-DC 变换器 001

报告 1 | 东南大学
003 | 参赛学生 胡铭颢 姚 宇 詹惠瑜
指导教师 蒋 玮 张 靖

报告 2 | 东南大学
011 | 参赛学生 赵正宁 田倍通 刘文昭
指导教师 孙培勇 赵 宁

报告 3 | 江苏大学
017 | 参赛学生 高猛虎 杨德勇 章少岑
指导教师 黄振跃

报告 4 | 南京大学
024 | 参赛学生 金一夫 周熔冰 杨腾智
指导教师 庄建军 高 琴

报告 5 | 南京航空航天大学
032 | 参赛学生 李坤奇 吴 羽 李一博
指导教师 任小永

报告 6 | 南京邮电大学
039 | 参赛学生 杨 飞 张方南 史丽峰
指导教师 杜月林 欧阳知建

报告 7 | 苏州大学
050 | 参赛学生 许利特 单 雷 朱礼阳
指导教师 陈小平 郭晓雯

报告 8 | 中国矿业大学
057 | 参赛学生 顾勤武 周浩然 汪慧敏
指导教师 袁小平

B 题 风力摆控制系统 067

报告 1 | 东南大学
069 | 参赛学生 陈晓涛 俞 毅 陈 涛
指导教师 符影杰 孙培勇

报告 2 | 东南大学
078 | 参赛学生 陈垚鑫 吴小溪 辛均浩
指导教师 郑 磊 堵国樑

报告 3 | 东南大学
87 | 参赛学生 周 睿 杨杰能 郑亚君
指导教师 堵国樑 符影杰

报告 4 | 江苏大学
93 | 参赛学生 黄 余 叶洋滔 游维德
指导教师 秦 云

报告 5 | 江苏师范大学科文学院
100 | 参赛学生 陆志明 朱从会 井梓晔
指导教师 朱士虎 陈 斯

报告 6 | 南京航空航天大学
106 | 参赛学生 尹彦卿 余致远 杨天宇
指导教师 黄衍玺 王新华

报告 7 | 南京信息工程大学
113 | 参赛学生 宋 林 郭敏智 曾玉姗
指导教师 刘 恒 刘建成

报告 8 | 南京信息工程大学
121 | 参赛学生 徐 伟 张 帅 于步云
指导教师 徐 伟 张宏群

报告 9 | 南京信息工程大学滨江学院
129 | 参赛学生 李春辉 吴朝阳 周玲玲
指导教师 刘建成 刘 恒

C 题 多旋翼自主飞行器 138

报告 1 | 东南大学
141 | 参赛学生 朱诚诚 方龙宇 王 沁
指导教师 郑姚生 赵 宁

报告 2 | 东南大学
147 | 参赛学生 朱麒文 戴 忱 夏志鹏
指导教师 胡仁杰 符影杰

报告 3 | 南京工程学院
152 | 参赛学生 钱小伟 王鹏飞 郭中正
指导教师 曾宪阳 许其清

报告 4 | 南京工程学院
158 | 参赛学生 夏 敏 施 界 常 飞
指导教师 曾宪阳 杨红莉

报告 5 | 南京邮电大学
163 | 参赛学生 李涵轩 方 川 张 鑫
指导教师 肖 建 张学军

D 题 增益可控射频放大器 170

报告 1 | 东南大学
172 | 参赛学生 包天罡 罗 旺 周 越
指导教师 郑姚生 赵 宁

报告 2 | 东南大学
180 | 参赛学生 贺陈锴 张从越 郝 翰
指导教师 郑 磊 黄慧春

报告 3 | 东南大学
187 | 参赛学生 张 帅 袁璋诣 闫隆鑫
指导教师 堵国樑 郑姚生

报告 4 | 东南大学
196 | 参赛学生 张 翔 陈炜珩 于佳阳
指导教师 张圣清 赵良法

报告 5 | 江苏大学
203 | 参赛学生 王晓兵 张 庆 黄 杰
指导教师 徐雷钧 赵文祥

E 题 80 MHz~100 MHz 频谱分析仪 213

报告 1 | 东南大学
214
参赛学生 王亚露 丁晨静 杨 升
指导教师 黄 雷 周 平

报告 2 | 南京大学
222
参赛学生 苏统奎 王智生 吴绒绒
指导教师 司峻峰 葛中芹

报告 3 | 苏州大学
227
参赛学生 孙忠茂 郭 健 江 微
指导教师 胡丹峰 石明慧

报告 4 | 中国人民解放军理工大学
234
参赛学生 黄镇财 冯代为 张 禹
指导教师 田 华 杨 涛

F 题 数字频率计 242

报告 1 | 南京大学
243
参赛学生 刘晓真 林华斌 刘利欣
指导教师 陈 瞻 叶 猛

报告 2 | 南京大学
249
参赛学生 赵之轩 姜志健 陈旭东
指导教师 方 元 陈毅煌

报告 3 | 南京航空航天大学
256
参赛学生 闫 旭 方 涵 张旭东
指导教师 臧春华

报告 4 | 南京理工大学
262
参赛学生 匡 鑫 刘 裕 卢加文
指导教师 薛 文

报告 5 | 南京理工大学
267
参赛学生 邵 函 舒 畅 吴 琼
指导教师 李洪涛

报告 6 | 南京信息工程大学
273
参赛学生 陈彭鑫 陈治宇 费敬敬
指导教师 徐 伟 冒晓莉

报告 7 | 南京信息工程大学
279
参赛学生 袁振国 吴 静 杨 阳
指导教师 刘 恒 祁博宇

报告 8 | 中国人民解放军理工大学
286
参赛学生 高晨华 武东明 刘广旭
指导教师 吴传信 徐志军

报告 9 | 中国人民解放军理工大学
292
参赛学生 金元元 王路广 张泽飞
指导教师 陈 斌 倪 雪

G 题 短距视频信号无线通信网络 301

报告 1 | 东南大学
304
参赛学生 刘 明 高璇璇 任东明
指导教师 张圣清 黄慧春

报告 2 | 东南大学
309
参赛学生 张雯豪 张 苑 孙炜航
指导教师 张圣清 黄 雷

报告 3 | 南京大学
316 | 参赛学生 徐香钰 武桐 李章恒
指导教师 王健 张志俭

报告 4 | 南京邮电大学
322 | 参赛学生 叶磊 黄莹 郭忠祥
指导教师 丁可柯

H 题 LED 闪光灯电源 329

报告 1 | 扬州职业大学
330 | 参赛学生 郑巍 陈丹 吴旭
指导教师 龙滔滔 李金奎

I 题 风板控制装置 338

报告 1 | 南京信息职业技术学院
340 | 参赛学生 刘友超 池玲芝 时昂昂
指导教师 魏欣 李立早

报告 2 | 江苏信息职业技术学院
349 | 参赛学生 赵明新 李舞 季海晨
指导教师 陈洁 王恩亮

报告 3 | 南京铁道职业技术学院
359 | 参赛学生 李永峥 朱丙太 晏猛雷
指导教师 李春鹏 胡海燕

J 题 小球滚动控制系统 367

报告 1 | 南京铁道职业技术学院
369 | 参赛学生 程一恒 王珂 汤青青
指导教师 杨进

A 题 双向 DC-DC 变换器

一、任务

设计并制作用于电池储能装置的双向 DC-DC 变换器,实现电池的充放电功能,功能可由按键设定,亦可自动转换。系统结构如图 A-1 所示,图中除直流稳压电源外,其他器件均需自备。电池组由 5 节 18650 型、容量 2 000~3 000 mAh 的锂离子电池串联组成。所用电阻阻值误差的绝对值不大于 5%。

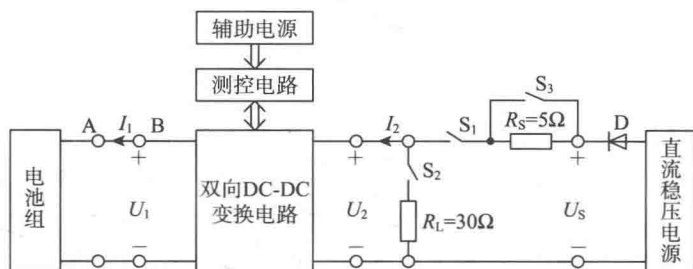


图 A-1 电池储能装置结构框图

二、要求

1. 基本要求

接通 S_1 、 S_3 , 断开 S_2 , 将装置设定为充电模式。

(1) $U_2 = 30\text{ V}$ 条件下, 实现对电池恒流充电。充电电流 I_1 在 1~2 A 范围内步进可调, 步进值不大于 0.1 A, 电流控制精度不低于 5%。

(2) 设定 $I_1 = 2\text{ A}$, 调整直流稳压电源输出电压, 使 U_2 在 24~36 V 范围内变化时, 要求充电电流 I_1 的变化率不大于 1%。

(3) 设定 $I_1 = 2\text{ A}$, 在 $U_2 = 30\text{ V}$ 条件下, 变换器的效率 $\eta_1 \geq 90\%$ 。

(4) 测量并显示充电电流 I_1 , 在 $I_1 = 1\sim 2\text{ A}$ 范围内测量精度不低于 2%。

(5) 具有过充保护功能: 设定 $I_1 = 2\text{ A}$, 当 U_1 超过阈值 $U_{1\text{th}} = (24 \pm 0.5)\text{ V}$ 时, 停止充电。

2. 发挥部分

(1) 断开 S_1 、接通 S_2 , 将装置设定为放电模式, 保持 $U_2 = (30 \pm 0.5)\text{ V}$, 此时变换器效率 $\eta_2 \geq 95\%$ 。

(2) 接通 S_1 、 S_2 , 断开 S_3 , 调整直流稳压电源输出电压, 使 U_s 在 32~38 V 范围内变化时, 双向 DC-DC 电路能够自动转换工作模式并保持 $U_2 = (30 \pm 0.5)\text{ V}$ 。

(3) 在满足要求的前提下简化结构、减轻重量, 使双向 DC-DC 变换器、测控电路与辅助电源三部分的总重量不大于 500 g。

(4) 其他。

三、说明

(1) 要求采用带保护板的电池,使用前认真阅读所用电池的技术资料,学会估算电池的荷电状态,保证电池全过程的使用安全。

(2) 电池组不需封装在作品内,测试时自行携带至测试场地;测试前电池初始状态由参赛队员自定,测试过程中不允许更换电池。

(3) 基本要求(1)中的电流控制精度定义为 $e_{ic} = \left| \frac{I_1 - I_{10}}{I_{10}} \right| \times 100\%$, 其中 I_1 为实际电流、 I_{10} 为设定值。

(4) 基本要求(2)电流变化率的计算方法:设 $U_2 = 36\text{ V}$ 时,充电电流值为 I_{11} ; $U_2 = 30\text{ V}$ 时,充电电流值为 I_1 ; $U_2 = 24\text{ V}$ 时,充电电流值为 I_{12} , 则 $S_{I_1} = \left| \frac{I_{11} - I_{12}}{I_1} \right| \times 100\%$ 。

(5) DC-DC 变换器效率 $\eta_1 = \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \times 100\%$ 、 $\eta_2 = \left| \frac{P_2}{P_1} \right| \times 100\%$, 其中 $P_1 = U_1 \cdot I_1$, $P_2 = U_2 \cdot I_2$ 。

(6) 基本要求(5)的测试方法:在图 A-1 的 A、B 点之间串入滑线变阻器,使 U_1 增加。

(7) 辅助电源需自制或自备,可由直流稳压电源(U_s 处)或工频电源(220 V)为其供电。

(8) 作品应能连续安全工作足够长时间,测试期间不能出现过热等故障。

(9) 制作时应合理设置测试点(参考图 A-1),以方便测试;为方便测重,应能较方便地将双向 DC-DC 变换器、测控电路与辅助电源三部分与其他部分分开。

(10) 设计报告正文中应包括系统总体框图、核心电路原理图、主要流程图、主要的测试结果。完整的电路原理图、重要的源程序和完整的测试结果可用附件给出,在附件中提供作品较清晰的照片。

四、评分标准

| | 项 目 | 主 要 内 容 | 满 分 |
|----------|-----------|--|-----------|
| 设计 报告 | 方案论证 | 比较与选择;方案描述 | 2 |
| | 电路与程序设计 | 双向 DC-DC 主回路与器件选择 测量控制电路、控制程序 | 5 |
| | 理论分析与计算 | 主回路主要器件参数选择及计算 控制方法与参数计算 提高效率的方法 | 5 |
| | 测试方案与测试结果 | 测试方案及测试条件 测试结果及其完整性 测试结果分析 | 5 |
| | 结构及规范性 | 摘要的规范性 设计报告正文的结构 图表的规范性 | 3 |
| | 小 计 | | 20 |

续 表

| | | |
|------|---------|------------|
| 基本要求 | 完成第(1)项 | 16 |
| | 完成第(2)项 | 10 |
| | 完成第(3)项 | 10 |
| | 完成第(4)项 | 8 |
| | 完成第(5)项 | 6 |
| | 小 计 | 50 |
| 发挥部分 | 完成第(1)项 | 20 |
| | 完成第(2)项 | 20 |
| | 完成第(3)项 | 5 |
| | 其他 | 5 |
| | 小 计 | 50 |
| 总 分 | | 120 |

报 告 1

基本信息

| | | | |
|--------|--|--------|-----------------------|
| 学校名称 | 东南大学 | | |
| 参赛学生 1 | 胡铭颢 | e-mail | 213121475@ seu.edu.cn |
| 参赛学生 2 | 姚 宇 | e-mail | 213122894@ seu.edu.cn |
| 参赛学生 3 | 詹惠瑜 | e-mail | zhyibaa@ outlook.com |
| 指导教师 1 | 蒋 玮 | e-mail | jiangwei@ seu.edu.cn |
| 指导教师 2 | 张 靖 | e-mail | jzhang@ seu.edu.cn |
| 获奖等级 | 全国一等奖 | | |
| 指导教师简介 | <p>蒋玮,男,博士,现任东南大学电气工程学院讲师。研究方向包括电力电子与电力传动、电气信息技术。主持相关国家自然科学基金项目 1 项,相关横向课题多项,发表 SCI、EI 收录论文 10 余篇。连续多年指导学生参加全国大学生电子设计竞赛,指导的学生曾多次获得全国和省级奖项。</p> <p>张靖,男,博士,东南大学电气工程学院副教授。主要从事电子技术、检测技术、电力电子技术等方面的教学与研究工作。</p> | | |

一、技术方案分析比较

本题设计并制作了一个用于电池储能装置的双向 DC-DC 变换器,实现电池的充放电功能。电池侧直流电压为 24~36 V,电流为 1~2 A;负载侧直流电压为 30 V。其核心部分即主电路包含以下可选方案:

方案 1:双-单向 DC-DC 变换器

采用两路 DC-DC 电源模块,一路单向 Buck 在电池充电模式时使能,一路单向 Boost 在电池放电模式时使能,两路模块可采用单片机控制继电器进行切换。此方案电路冗余,两路模块切换控制较为麻烦。

方案 2:带隔离变压器的双向全桥 DC-DC 变换器

采用双向全桥 DC-DC 变换器,该变换器的隔离变压器两侧均为全桥结构:高压侧为电压型全桥结构;低压侧为电流型全桥结构。但此方案需要的功率元件比较多。在导通的回路上至少有两个管压降,因此效率有所降低,由于变压器两侧均有四个开关管,损耗也略有增加。

方案 3:以同步整流为核心构成双向 DC-DC 变换器

采用分立元件构成 DC-DC 双向变换器,与方案 1 相比,双向 DC-DC 变换器应用一个变换器来控制能量的双向传输,用导通压降小的 MOS 管替代续流二极管以降低损耗,电感电流不存在断续模式利于减小滤波电感,具有效率高、体积小、动态性能好和成本低等优势。

综合以上三种方案,选择方案 3。

二、核心部件电路分析设计

设计电路包括主电路、测量电路、控制电路、驱动电路、保护电路、辅助电源等部分。测量电路包括电流电压采样;采用单片机控制电路;由 IR2110 驱动开关管导通关断;保护电路是 16850 锂电池的过充保护。

1. 主电路

双向 DC-DC 变换电路采用双向 Buck-Boost 变换器结构,如图 A-1-1 所示。该变换器由同步整流电路改造而来,将普通 Buck 电路的二极管换成 MOSFET,在变换器的两端均接入滤波电容。由于 Buck 电路和 Boost 电路的对偶关系以及 MOS 管的双向导电性,这个电路从一端看来是同步 Buck 电路,而在另一端看是同步 Boost 电路。两个 MOS 管由两路带死区的互补 PWM 信号控制(设 MOSFET2 的占空比为 D),电路工作在 Buck 状态还是 Boost 状态,由电感中电流的流向以及占空比 D 决定。

(1) 升降压电感的选择

由于双向 DC-DC 电路采用 MOSFET 代替传统的续流二极管,电感不存在断流模式,因此电感按公式(1)估算:

$$L \geq \max \left[\frac{U_i D (1 - D)}{f_s I_{\max}} \right] = \frac{38 \times 0.5 \times 0.5}{20 \times 10^3 \times 2} = 237.5 \mu\text{H} \quad (1)$$

根据计算, L 取为 $220 \mu\text{H}$ 。

(2) 输入输出电容 C_1 、 C_2 的设计

由于本电路输入输出端对偶,因此需要在输入输出端均接入滤波电容,电容需要滤掉主要

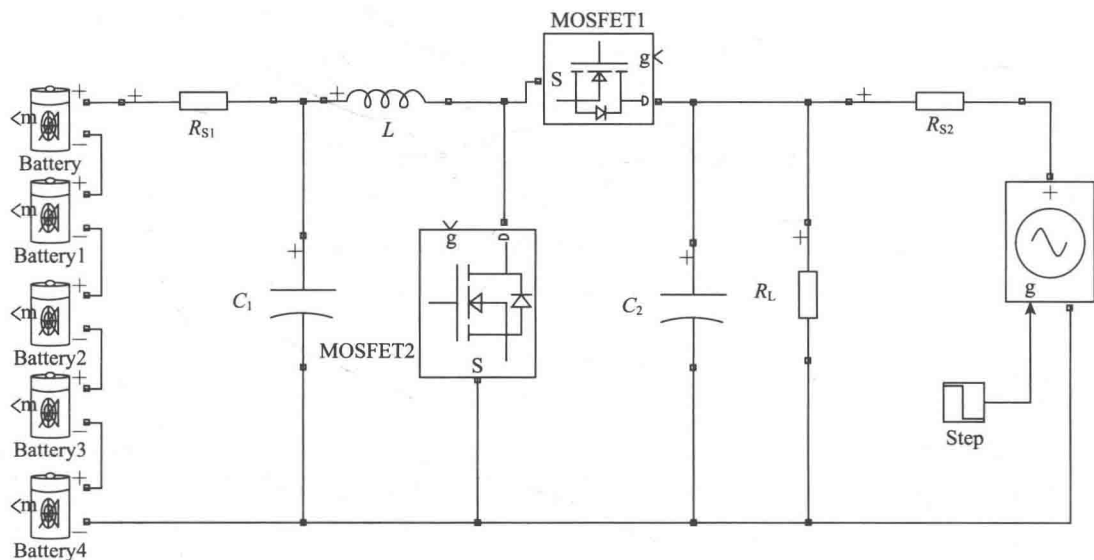


图 A-1-1 双向 Buck-Boost 变换器拓扑图

的开关纹波。选择的电容 C 要足够大,是为了使系统达到设计目标,这里选用了目前市场上较为常见的大容量 $4700 \mu\text{F}$ 铝电解电容。为减小电容的 ESR,在 U_1 、 U_2 端滤波电容并联 ESR 小的高频电解电容。

(3) MOSFET 选型

在整个电路中, MOSFET 所承受的峰值电压 $U_M = 38 \text{ V}$ 。考虑到 2~3 倍的电压裕量,选择的开关管的额定电压 U_R 至少为 76 V 。

电路上的最大平均电流为 2 A ,考虑到峰值电流的因素并留有 2~3 倍裕量,开关管的额定电流至少为 5 A 。但是为了减小开关管损耗,选择额定电流大的 MOSFET 有助于提高电路整体效率。

基于以上两种因素,最终主电路采用 N 沟道 MOS 管 CSD19536KCS。该开关管额定电压 100 V ,额定电流 150 A ,导通内阻 $2.3 \text{ m}\Omega$,作为本次电路的开关管比较合适。

(4) 效率分析计算

系统效率基本取决于主电路。在输入电压为 30 V , Buck 输入电流为 2 A 的测试条件下,假设此时最小的输出充电电压为 18 V ,则输出功率为 36 W ,若要使效率达到 90% 以上,那么允许损耗的功率为 4 W 。

① 开关管的损耗

开关管的功率损耗包括开关损耗与导通损耗。其中导通损耗与开关管的通态内阻直接相关,而开关损耗与开关频率直接相关。

本设计选用的 MOSFET 内阻为 $2.3 \text{ m}\Omega$,经估算

其导通损耗为

$$I^2 \cdot R = 2^2 \times 0.0023 \times 2 \text{ W} = 0.0184 \text{ W}。$$

其开通和关断损耗分别为

$$P_{\text{sw_open}} = \frac{1}{2} \cdot V_{\text{ds_open}} \cdot I_{\text{ds_open}} \cdot F_{\text{sw}} \cdot (T_{1_open} + T_{2_open}) = 0.543 \text{ W}$$

$$P_{sw_close} = \frac{1}{2} \cdot V_{ds_close} \cdot I_{ds_close} \cdot F_{sw} \cdot (T_{1_close} + T_{2_close}) = 0.322 \text{ W}$$

其总损耗为

$$P_{total} = 0.0184 + 0.543 + 0.322 = 0.8834 \text{ (W)}$$

② 电感储能损耗

电感储能的损耗公式,铁损耗为 $53.05 \times 0.0852 \times 651.56 = 222.55 \text{ (mW/cm}^3\text{)}$,磁环体积为 4.15 cm^3 ,所以 $P = 0.22255 \times 4.15 = 0.924 \text{ (W)}$ 。其功率约为 1 W 。

③ 其他损耗

考虑电路在非理想状态下工作,根据经验假设其最大损耗为 1 W 。经过计算可得到系统的功率损耗约为 2.9 W ,效率能满足要求。

2. 测量电路

电流采样电路选用 INA270,如图 A-1-2 所示。对于 INA270,当选取的 R_s 能提供电压范围为 $50 \sim 100 \text{ mV}$ 时获得最佳性能,因此选取 $50 \text{ m}\Omega$ 的采样电阻。供电旁路电容是为了让电源纹波更小,采用最小的旁路电容 $0.01 \mu\text{F}$ 和 $0.1 \mu\text{F}$ 放置在靠近输出引脚处。

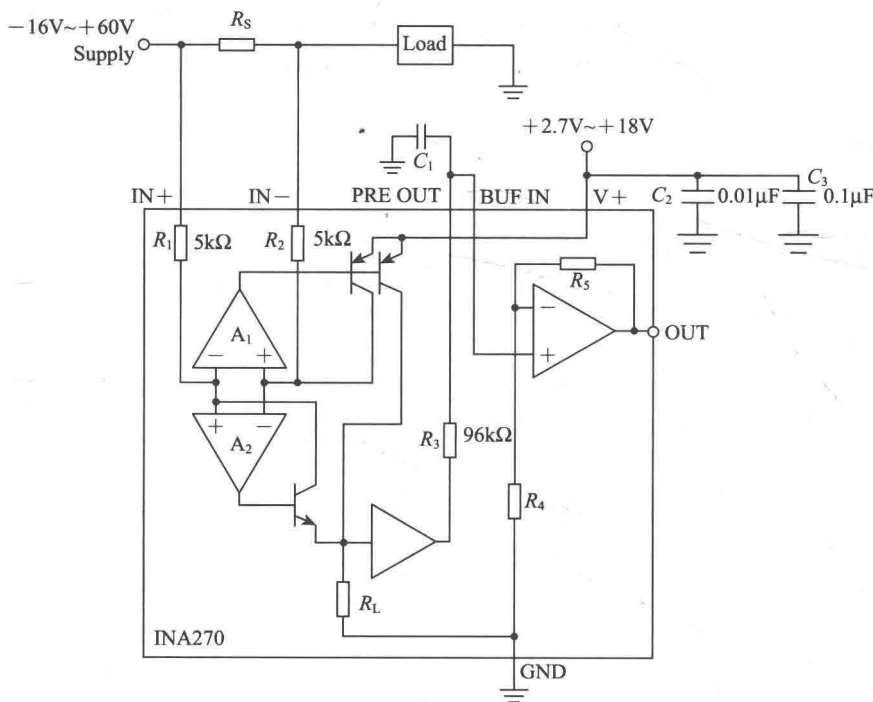


图 A-1-2 INA270 典型应用电路

IN+与 IN-之间的电压 V_{R_s} 和输出电压 U_o 之间的关系是 $U_o = k \cdot V_{R_s}$,经过实验发现 k 大概在 20.5 左右。计算电流的公式如下:

$$I = U_o / k / R_s \tag{2}$$

微控制器通过 A/D 转换可得到 U_o 的值,固定系数 k 可以从实验中得到, U_o / k 便得出检测电阻 R_s 两端的电压。而 R_s 在一个已经做好的电路里是固定的,可以通过实验得出 R_s 的阻

值,用 R_S 两端的电压除以 R_S 的阻值便可得到流经 R_S 的电流。因为 INA270 的输入阻抗很大而 R_S 的阻值很小, R_S 和负载便是串联关系,所以流经 R_S 的电流也就是负载上的电流。因此只要得出 U_o 的值便可计算出对应的负载电流 I ,并且两者呈线性关系。令 $K_S = k \cdot R_S$,那么 I 便等于 U_o / K_S ,而一个电路的 K_S 是确定的已知量。所以微控制器只要用 AD 检测法测出 U_o 。再除以一个 K_S 便是所测负载的电流了。

3. 驱动电路

采用专用的半桥驱动芯片 IR2110。电路如图 A-1-3 所示。图中 C_1 、 V_{D1} 分别为自举电容和二极管, C_2 为 V_{CC} 的滤波电容。假定在 S_1 关断期间 C_1 已充到足够的电压 ($V_{C1} \approx V_{CC}$)。当 H_{IN} 为高电平时, V_{M1} 开通, V_{M2} 关断, V_{C1} 加到 S_1 的门极和发射极之间, C_1 通过 V_{M1} 、 R_{g1} 和 S_1 门极栅极电容 C_{ge1} 放电, C_{ge1} 被充电。此时 V_{C1} 可等效为一个电压源。当 H_{IN} 为低电平时, V_{M2} 开通, V_{M1} 断开, S_1 栅电荷经 R_{g1} 、 V_{M2} 迅速释放, S_1 关断。经短暂的死区时间 (t_d) 之后, L_{IN} 为高电平, S_2 开通, V_{CC} 经 V_{D1} 、 S_2 给 C_1 充电, 迅速为 C_1 补充能量。如此循环反复。

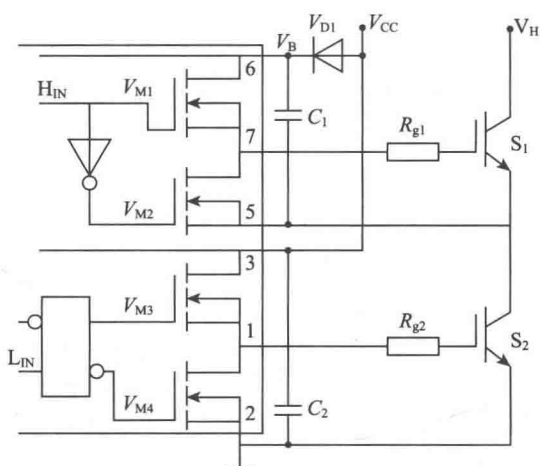


图 A-1-3 半桥驱动电路

自举二极管 (V_{D1}) 和电容 (C_1) 是 IR2110 在 PWM 应用时需要严格挑选和设计的元器件,应根据一定的规则进行计算分析。在电路实验时进行一些调整,使电路工作在最佳状态。经理论及实验分析后,我们采用 $0.1 \mu\text{F}$ 的 CBB 电容和快速恢复二极管 FR107。

4. 辅助电源

电源由变压部分、滤波部分、稳压部分组成。为整个系统提供 5 V 和 12 V 电压,确保电路的正常稳定工作。本设计采用 LM2596 芯片实现。

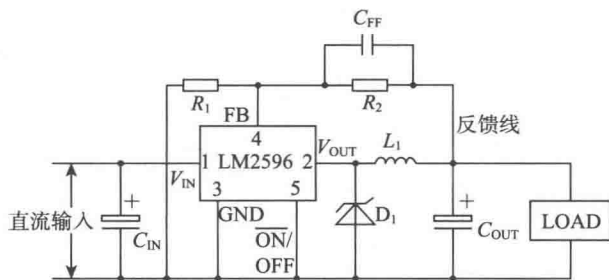


图 A-1-4 LM2596 标准测试电路

三、程序及数字控制部分设计

1. 程序功能描述

我们选取 TI 公司的低功耗单片机 MSP430F6638 作为主控芯片。根据题目要求,软件部分主要实现电路的测量与控制、信息显示和人机交互。

(1) 键盘实现功能:设置电路的工作模式和电流步进值。

(2) 显示部分:显示电压、电流、工作状态等信息。

(3) 电路测量:用 MSP430 单片机内置的 12 bit AD 对输入输出电压电流进行采样和数字滤波。

(4) 电路控制:利用单片机内置的 16 位定时器产生 PWM 波作为 MOSFET 栅极驱动器控制信号,PWM 占空比根据设置的电压电流给定值与实测值之差进行 PI 控制调节,公式如下:

$$\Delta D(k) = K_p \cdot e(k) + K_i [e(k) - e(k - 1)] \quad (3)$$

2. 提高电路测量与控制精度的方法

我们将步进精度设计为 1 mA(2 A 量程),这就需要至少 11 位的 AD 采样检测精度以及高于 1/2 000 分辨率的 PWM 控制精度才能满足要求。但实际上由于蓄电池内部化学反应对电流控制存在较大影响,以及电路中的噪声干扰,MSP430F6638 单片机上集成的 12 位 AD 转换器和 16 位定时器并不能直接满足要求,我们采取以下两种手段:

(1) 过采样技术。它是使用比所需速率高得多的速率对模拟信号进行采样来提高分辨率的技术。与数字滤波和抽取结合使用,可产生更高的分辨率,背后的原理是过采样信号中的总量化噪声与以原速率采样的信号相同,但总量化噪声被分散到了更高的带宽中。该过采样信号可以原始带宽滤波,减少总量化噪声。总噪声降低以后,在保持原始信噪比(SNR)的同时,信号可以更小的步进进行分辨。利用过采样、噪声整形和数字滤波技术,电流测量达到题目所要求。

(2) 一阶 sigma-delta 调制控制 PWM 波占空比。MSP430F6638 的最高时钟频率为 32 MHz,开关频率取 20 kHz,当 PWM 脉冲以中心对称的模式输出时有 1/800 的分辨率,但实测此时的电流控制效果并不理想,因此我们采用一阶 sigma-delta 调制(数字抖动技术),每 20 个周期的 PWM 波取其平均状态,分辨率达到了 1/16 000,最终使得电流控制精度成功达到了设计要求的 1 mA。

3. 程序流程图及中断

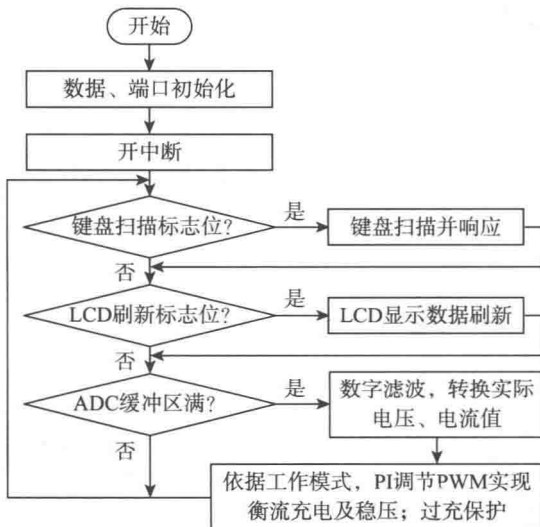


图 A-1-5 程序流程图

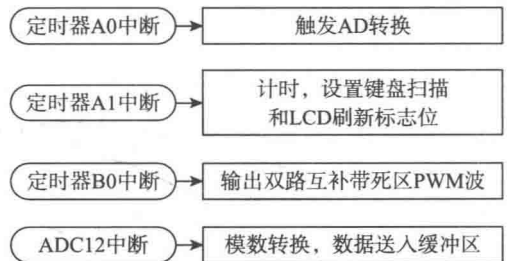


图 A-1-6 中断示意图