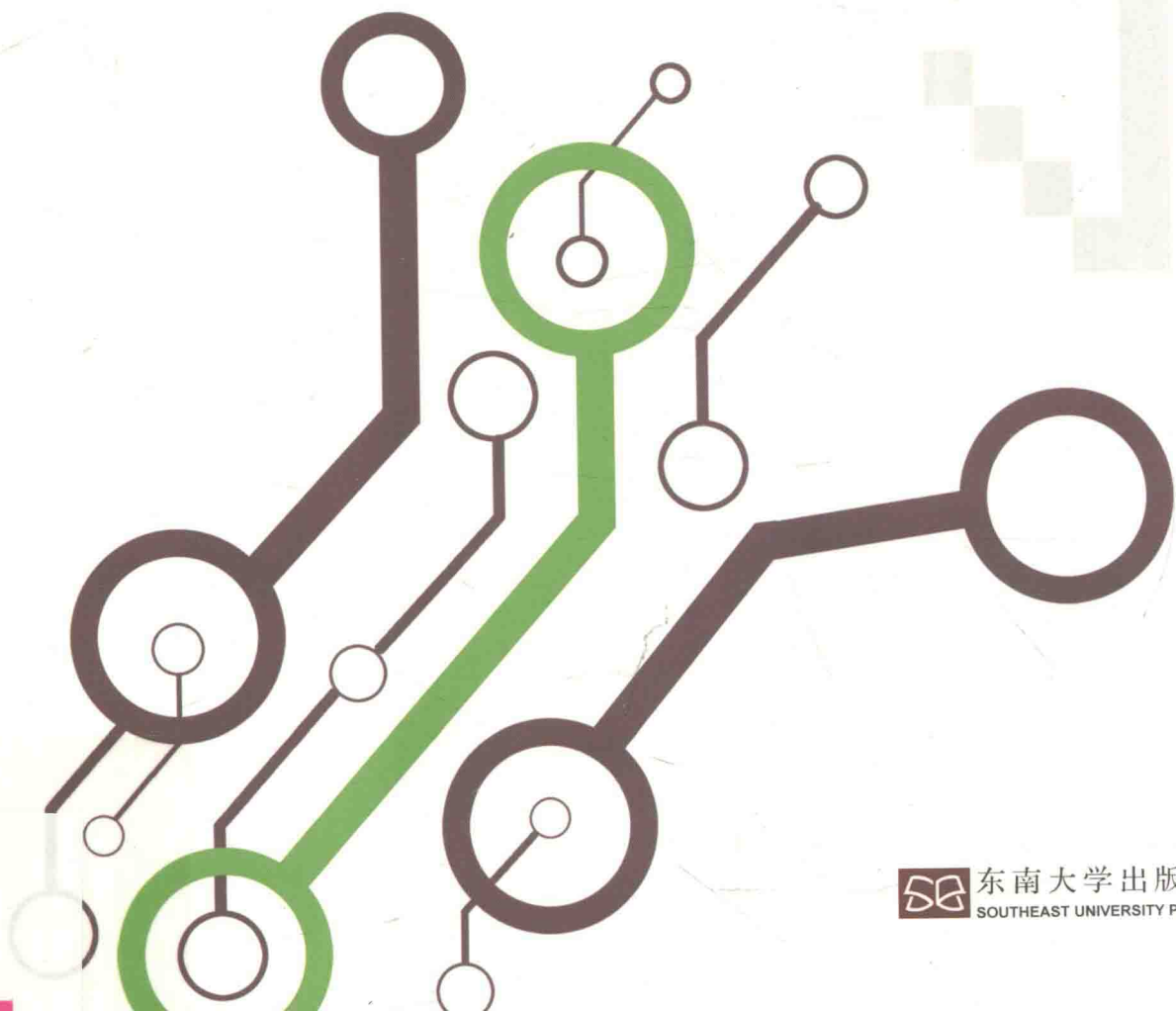


全国大学生 | (2017年江苏赛区)

# 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

(2017 年江苏赛区)

胡仁杰 堵国樑 黄慧春 主编

 东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

## 内容提要

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2017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照片以及完整的软硬件设计资料等,通过二维码及网址链接的方式,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.  
2017年江苏赛区 / 胡仁杰等主编. — 南京:东南大学出版社,2018.5

ISBN 978-7-5641-7723-2

I. ①全… II. ①胡… III. ①电子电路-电路设计-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(2018)第 067579 号

### 全国大学生电子设计竞赛优秀作品设计报告选编(2017年江苏赛区)

---

出版发行 东南大学出版社  
社 址 南京市四牌楼2号(邮编:210096)  
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 兴化印刷有限责任公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 20.5  
字 数 544千字  
版 次 2018年5月第1版  
印 次 2018年5月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-7723-2  
定 价 56.00元

---

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话: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2017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照片以及完整的软硬件设计资料通过二维码及网址链接的方式,提供给读者参考。

《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)》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2017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起到思路上的开阔、技巧上的演练、实战上的引导。

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,特别是潘克修教授和肖建副教授,在百忙之中审阅了部分文稿,并提出了很好的修改意见,在此一并表示感谢。

由于汇编篇幅有限,未能将所有优秀作品收入本汇编,对提供作品文稿而未被录用的参赛队深表歉意。本汇编中还存在不足和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2017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=ssf845666>

# 目 录

## A 题 微电网模拟系统 ..... 001

**报告 1**  
003 | 东南大学  
参赛学生 李一鸣 吴政 徐阳  
指导教师 张靖 黄慧春

**报告 3**  
013 | 南京航空航天大学  
参赛学生 孔达 朱昕昶 冯志杰  
指导教师 洪峰

**报告 5**  
026 | 南京邮电大学  
参赛学生 张宇德 张华鑫 邹依  
指导教师 杜月林 王韦刚

**报告 2**  
008 | 河海大学  
参赛学生 邓燕国 孙康 高金鑫  
指导教师 王冰 尹斌

**报告 4**  
018 | 南京邮电大学  
参赛学生 郭健 刘正宇 吴倩  
指导教师 张胜 陈建飞

**报告 6**  
032 | 无锡太湖学院  
参赛学生 王锦畅 王芳慧 谭灿灿  
指导教师 匡程 朱智

## B 题 滚球控制系统 ..... 041

**报告 1**  
043 | 东南大学  
参赛学生 邢永陈 徐浩 张梦璐  
指导教师 符影杰

**报告 3**  
058 | 东南大学  
参赛学生 黄亚飞 苟思遥 王超然  
指导教师 符影杰 郑磊

**报告 5**  
068 | 江苏大学  
参赛学生 徐舒其 姜承昊 王子淳  
指导教师 秦云 沈跃

**报告 7**  
079 | 南京信息工程大学  
参赛学生 张世奇 郭明会 韩安东  
指导教师 孙冬娇 徐伟

**报告 2**  
051 | 东南大学  
参赛学生 刘静 王琪善 张晓博  
指导教师 符影杰 郑磊

**报告 4**  
063 | 河海大学  
参赛学生 闫梦凯 郭松 陈攀  
指导教师 袁晓玲 吕国芳

**报告 6**  
074 | 南京航空航天大学  
参赛学生 王锦涛 姚成喆 钱程亮  
指导教师 王新华

**报告 8**  
086 | 中国矿业大学  
参赛学生 刘晨旭 刘咏鑫 李保林  
指导教师 袁小平

**C 题 四旋翼自主飞行器探测跟踪系统** ..... 095

**报告 1**  
098 | **东南大学**  
参赛学生 寇梓黎 郑 添 邹少锋  
指导教师 郑姚生 赵 宁

**报告 2**  
103 | **南京工程学院**  
参赛学生 谢一宾 张 杰 刘鹏程  
指导教师 曾宪阳 王善华

**报告 3**  
110 | **南京邮电大学**  
参赛学生 梁定康 严家骏 钱 瑞  
指导教师 肖 建 夏春琴

**报告 4**  
116 | **南京邮电大学**  
参赛学生 王 博 钱家琛 邱城伟  
指导教师 肖 建 蔡志匡

**报告 5**  
120 | **中国矿业大学**  
参赛学生 周 鑫 邹 豪 潘艺芃  
指导教师 袁小平

**E 题 自适应滤波器** ..... 129

**报告 1**  
131 | **南京大学**  
参赛学生 乔晓伟 田朝莹 潘霄禹  
指导教师 方 元 姜乃卓

**报告 2**  
137 | **南京邮电大学**  
参赛学生 郑 楠 汪 胜 赵鑫晨  
指导教师 曾桂根

**F 题 调幅信号处理实验电路** ..... 142

**报告 1**  
144 | **常州大学**  
参赛学生 朱飞翔 王 浩 陈宏宇  
指导教师 朱正伟 储开斌

**报告 2**  
151 | **东南大学**  
参赛学生 李怡宁 杨孟儒 张博文  
指导教师 郑 磊 孙培勇

**报告 3**  
157 | **东南大学**  
参赛学生 李沙志远 马小松 易 凤  
指导教师 黄慧春 张圣清

**报告 4**  
163 | **东南大学**  
参赛学生 陈翔宇 吉小莹 印 政  
指导教师 胡仁杰 张圣清

**报告 5**  
168 | **东南大学**  
参赛学生 俞 峰 吴 楠 郭鹏鹏  
指导教师 赵 宁 孙培勇

**报告 6**  
175 | **陆军工程大学**  
参赛学生 马啸天 雷 维 陈 雪  
指导教师 潘克修 晋 军

**报告 7**  
181 | **南京信息工程大学**  
参赛学生 王 硕 张经纬 黄武奇  
指导教师 刘建成 王丽华

**报告 8**  
187 | **南京邮电大学**  
参赛学生 朱立宇 刘雨柔 冯具备  
指导教师 林 宏 林建中

## H 题 远程幅频特性测试装置 ..... 194

报告 1 东南大学  
196 参赛学生 刘诚恺 李明昊 李依凡  
指导教师 黄慧春 孙培勇

报告 3 南京大学  
208 参赛学生 董禹 高博文 杜思润  
指导教师 庄建军 姜乃卓

报告 5 南京信息工程大学  
224 参赛学生 韩笑 施元 钱佳怡  
指导教师 徐伟 刘建成

报告 2 东南大学  
201 参赛学生 苗爱媛 朱名扬 李灵瑄  
指导教师 堵国樑 黄慧春

报告 4 南京大学  
214 参赛学生 何妍琳 何鑫璐 李彬菁  
指导教师 姜乃卓 叶猛

## I 题 可见光室内定位装置 ..... 232

报告 1 东南大学  
234 参赛学生 来萧桐 周睿 陈子敏  
指导教师 张圣清 黄雷

报告 3 东南大学  
244 参赛学生 何伟梁 曹子建 陈明正  
指导教师 张圣清 黄雷

报告 5 苏州大学  
257 参赛学生 郭超 郑乐松 黄赛赛  
指导教师 朱伟芳 陈小平

报告 2 东南大学  
239 参赛学生 李泽坤 陈臻 吴驰  
指导教师 张圣清 堵国樑

报告 4 南京林业大学  
251 参赛学生 程文涛 孟闻昊 陈海华  
指导教师 徐锋 苏峻

## K 题 单相用电器分析监测装置 ..... 265

报告 1 东南大学  
267 参赛学生 廖晓菲 李志昂 郭大众  
指导教师 孙培勇 堵国樑

报告 3 苏州大学  
275 参赛学生 臧佩琳 刘云晴 夏伯钧  
指导教师 姜敏 陈小平

报告 2 南京邮电大学  
271 参赛学生 马意彭 林彬 邹林甫  
指导教师 林宏 王伟刚

**L 题 自动泊车系统** ..... 282

**报告 1**  
**284** | 南京工业职业技术学院  
参赛学生 袁有成 陆 畅 马胜坤  
指导教师 倪 瑛

**M 题 管道内钢珠运动测量装置** ..... 290

**报告 1**  
**292** | 南京铁道职业技术学院  
参赛学生 蒋政宏 高婷婷 张祚嘉  
指导教师 刘 林 王 欣

**报告 2**  
**297** | 南京信息职业技术学院  
参赛学生 常 胜 田 旺 秦 雷  
指导教师 魏 欣 李芳苑

**O 题 直流电动机测速装置** ..... 305

**报告 1**  
**306** | 南京信息职业技术学院  
参赛学生 戴 懿 陈 杰 葛文静  
指导教师 尹玉军 李 斌

**P 题 简易水情检测系统** ..... 314

**报告 1**  
**316** | 南通职业大学  
参赛学生 阚 宇 钱清清 张海峰  
指导教师 王 力 居金娟



# A 题 微电网模拟系统

## 一、任务

设计并制作由两个三相逆变器组成的微电网模拟系统,其系统框图如图 A-1 所示,负载为三相对称 Y 连接电阻负载。

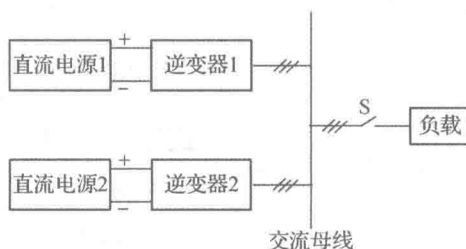


图 A-1 微电网模拟系统结构示意图

## 二、要求

### 1. 基本要求

- (1) 闭合 S, 仅用逆变器 1 向负载提供三相对称交流电。负载线电流有效值  $I_0$  为 2 A 时, 线电压有效值  $U_0$  为  $24 \text{ V} \pm 0.2 \text{ V}$ , 频率  $f_0$  为  $50 \text{ Hz} \pm 0.2 \text{ Hz}$ 。
- (2) 在基本要求(1)的工作条件下, 交流母线电压总谐波畸变率(THD)不大于 3%。
- (3) 在基本要求(1)的工作条件下, 逆变器 1 的效率  $\eta$  不低于 87%。
- (4) 逆变器 1 给负载供电, 负载线电流有效值  $I_0$  在  $0 \sim 2 \text{ A}$  间变化时, 负载调整率  $S_{11} \leq 0.3\%$ 。

### 2. 发挥部分

- (1) 逆变器 1 和逆变器 2 能共同向负载输出功率, 使负载线电流有效值  $I_0$  达到 3 A, 频率  $f_0$  为  $50 \text{ Hz} \pm 0.2 \text{ Hz}$ 。
- (2) 负载线电流有效值  $I_0$  在  $1 \sim 3 \text{ A}$  间变化时, 逆变器 1 和逆变器 2 输出功率保持为 1:1 分配, 两个逆变器输出线电流的差值绝对值不大于 0.1 A。负载调整率  $S_{12} \leq 0.3\%$ 。
- (3) 负载线电流有效值  $I_0$  在  $1 \sim 3 \text{ A}$  间变化时, 逆变器 1 和逆变器 2 输出功率可按设定在指定范围(比值  $K$  为  $1:2 \sim 2:1$ )内自动分配, 两个逆变器输出线电流折算值的差值绝对值不大于 0.1 A。
- (4) 其他。

## 三、说明

- (1) 本题涉及的微电网系统未考虑并网功能, 负荷为电阻性负载, 微电网中风力发电、太

太阳能发电、储能等由直流电源等效。

- (2) 题目中提及的电流、电压值均为三相线电流、线电压有效值。
- (3) 制作时须考虑测试方便,合理设置测试点,测试过程中不需重新接线。
- (4) 为方便测试,可使用功率分析仪等测试逆变器的效率、THD等。

(5) 进行基本要求测试时,微电网模拟系统仅由直流电源 1 供电;进行发挥部分测试时,微电网模拟系统由直流电源 1 和直流电源 2 供电。

(6) 本题定义:① 负载调整率  $S_{11} = \left| \frac{U_{o2} - U_{o1}}{U_{o1}} \right|$ ,其中  $U_{o1}$  为  $I_o = 0$  A 时的输出端线电压,  $U_{o2}$  为  $I_o = 2$  A 时的输出端线电压;② 负载调整率  $S_{12} = \left| \frac{U_{o2} - U_{o1}}{U_{o1}} \right|$ ,其中  $U_{o1}$  为  $I_o = 1$  A 时的输出端线电压,  $U_{o2}$  为  $I_o = 3$  A 时的输出端线电压;③ 逆变器 1 的效率  $\eta$  为逆变器 1 的输出功率除以直流电源 1 的输出功率。

(7) 发挥部分(3)中的线电流折算值定义:功率比值  $K > 1$  时,其中电流值小者乘以  $K$ ,电流值大者不变;功率比值  $K < 1$  时,其中电流值小者除以  $K$ ,电流值大者不变。

(8) 本题的直流电源 1 和直流电源 2 自备。

#### 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	3
	理论分析与计算	逆变器提高效率的方法,两台逆变器同时运行模式控制策略	6
	电路与程序设计	逆变器主电路与器件选择,控制电路与控制程序	6
	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	3
	设计报告结构及规范性	摘要,设计报告正文的结构,图标的规范性	2
	合 计		<b>20</b>
基本 要求	完成第(1)项		12
	完成第(2)项		10
	完成第(3)项		15
	完成第(4)项		13
	合 计		<b>50</b>
发挥 部分	完成第(1)项		10
	完成第(2)项		15
	完成第(3)项		15
	其他		10
	合 计		<b>50</b>
总 分			<b>120</b>

# 报 告 1

## 基本信息

学校名称	东南大学		
参赛学生 1	李一鸣	Email	1462313424@qq.com
参赛学生 2	吴 政	Email	847901746@qq.com
参赛学生 3	徐 阳	Email	2467873711@qq.com
指导教师 1	张 靖	Email	jzhang@seu.edu.cn
指导教师 2	黄慧春	Email	huanghuichun@seu.edu.cn
获奖等级	全国二等奖		
指导教师简介	<p>张靖,男,1969年生,东南大学电气工程学院副教授,博士。曾参与或主持多项电力电子、智能检测等方面的科研与开发工作。担任电气检测技术、电子电路基础、微机测控系统、电力电子技术等本科生及研究生课程的教学工作。</p> <p>黄慧春,女,副教授,在东南大学电工电子实验中心从事电工电子实验教学十余年,自2005年以来一直担任东南大学“全国大学生电子设计竞赛”的组织管理和竞赛辅导工作,指导的学生获得多个全国和省级奖项。</p>		

## 1. 工作原理及设计方案

此次题目的主要任务为制作由两个三相逆变器组成的转换效率较高的微电网模拟系统,要求线电压恒定,电流可调且频率固定为 50 Hz。在提高部分中,能够实现两个三相逆变器的均流和功率按指定比例分配等功能。

### 1.1 三相逆变器的 SPWM 控制波形产生方案评估

**方案 1:** 采用分立式元器件电路产生,主要由三角波发生器、正弦波发生器和比较器组成,但由于其电路复杂、灵活性差、调试困难等缺点,因此一般很少采用。

**方案 2:** 采用专有集成芯片 EG8030 产生,EG8030 是一款数字化的、功能完善的、自带死区控制的三相纯正弦波逆变发生器芯片,配置工作模式可应用于 DC-AC 变换架构,能产生高精度、失真和谐波都很小的三相 SPWM 信号。但芯片不方便调幅调相,并网有困难。

**方案 3:** 通过 DSP 产生三相控制信号。DSP 具有强大的运算功能,用其产生的 PWM 波频率可达 50 kHz,逆变效率高,输出波形质量较高,电路简单可靠。输出正弦波的相位和幅值易于控制,便于并网。通过编程实现灵活的控制方法,从而方便实现系统状态监控、显示和处理。

鉴于上述分析,选用方案 3。

## 1.2 驱动和逆变电路方案评估

**方案 1:** 利用半桥驱动芯片 IR2110 驱动每相桥臂,两套三相逆变器共需要 6 个 IR2110 芯片,电路较为复杂。

**方案 2:** 采用 DRV8301 驱动每套三相逆变器,该芯片内部集成了三个半桥驱动器,每个驱动器能够驱动两个 MOS 管。同时,芯片集成了故障检测和过流保护等功能,用其作为逆变器,转换稳定,效率很高。

鉴于上述分析,选用方案 2。

## 1.3 逆变器提高效率的方法

一方面,采用 SPWM 调制驱动逆变器,输出正弦电压波形好,谐波含量少,可以提高电能质量,减少运行损耗。此外,一定范围内提高驱动信号的开关频率,可以进一步减小输出电压谐波,从而降低损耗。另一方面,降低线路阻抗,比如使用导通电阻较小的 MOS 管和低电阻的滤波电感,从而提高效率。

## 1.4 并网策略(两台逆变器同时运行模式控制策略)

**方案 1:** 利用锁相环 CD4046,使两个进行并网的正弦波频率相等,再利用单片机进行相位控制使二者相位相同,进行并网。但此种办法用于专用芯片上实现非常困难。

**方案 2:** 并网时,需要逆变器 1 和逆变器 2 产生的三相交流电的相位一致。用 DSP 控制逆变产生的正弦波每相对应的相位相同,同时利用同一个电压控制环使得两个逆变器输出电压同为 24 V,并采用两个电流控制器分别调节逆变器输出电流。

鉴于上述分析,选用方案 2。

## 1.5 采样策略及均流和功率分配控制策略及实现

**方案 1:** 利用电流互感器和电压互感器采集交流电流和电压信号,使用 AD636 得到交流电压和交流电流的有效值,利用单片机的 A/D 采集和 PI 算法控制,将两路逆变接成一路闭环恒压模式,另一路开环调压恒流模式,进行均流和功率分配。

**方案 2:** 采集电压时,直接利用电阻分压采样;采集电流时,先利用放大器放大信号再将电平抬高,便于 DSP 采集,并进行坐标变换。两路逆变器的控制均采用双闭环 PI 控制,两套控制部分共用一个电压环。在进行均流操作时,利用电压外环使两路逆变器输出电压幅值相等,电压外环的输出作为电流内环参考值输入。将电流参考值与实时采集的电流信号做比较,利用 PI 控制使实时电流跟随电流参考值,令电流按预设比例进行分配。在进行功率分配操作时,利用功率分配比例计算出电流分配比例,得到电流参考值,再利用电流内环控制,令功率按预设比例分配。

鉴于以上分析,选用方案 2 较为合适。

本设计采用试凑法得到 PI 调节的比例系数  $K_p$  和积分系数  $K_i$  参数。经过不断的调整,得到了较为满意的控制效果。

本设计的系统框图如图 A-1-1 所示。

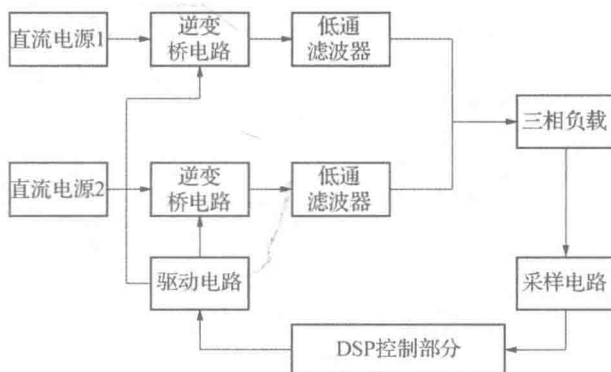


图 A-1-1 微电网模拟系统框图

## 2. 核心部件电路设计

### 2.1 SPWM 波形发生及逆变电路设计

本电路 PWM 控制信号由 DSP 产生,设置开关频率为 50 kHz。如图 A-1-2 所示(图中只画出一个逆变器),利用 DRV8301 模块作为逆变器主电路。对于逆变器 1,由 DSP 产生的 6 路 PWM 输入逆变器模块 DRV8301 中,在模块中产生 6 路两两互补的 SPWM 波,用来驱动芯片内部集成的三相全桥,将直流电源输出的直流电逆变成三相交流电。

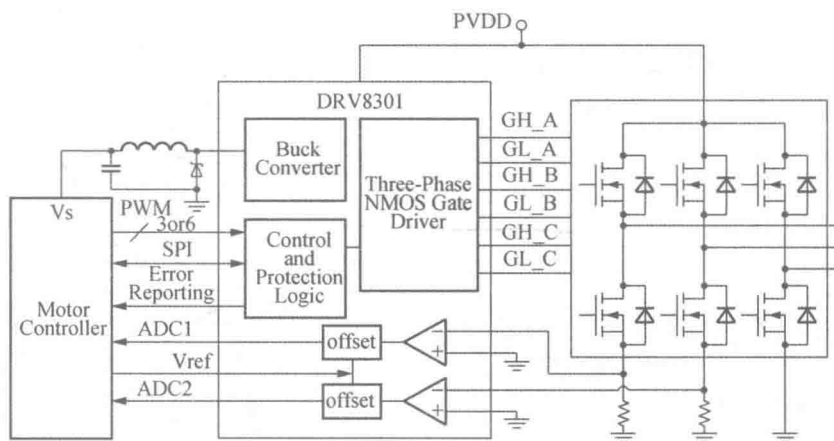


图 A-1-2 逆变器主电路设计

### 2.2 采样电路设计

采集电压信号时:直接利用电阻分压进行采样。

采集电流信号时:先利用放大器放大信号再将电平抬高,便于 DSP 采集,并进行坐标变换。

### 2.3 并网、均流及功率分配的方法

并网需要满足的条件为:两个逆变器的三相电压对应相的相位相同,两个逆变器输出三相线电压幅值相同。为了实现这两个条件,利用 DSP 输出 PWM 波相对相位可调,让逆变器输出的三相交流电压相位保持相同,两逆变器同时利用双闭环 PI 调节,使两路逆变输出三相线电压幅值相等,这样两路逆变之间不会形成环流,可以进行并网。

均流及功率分配:两路逆变器的控制均采用双闭环 PI 控制,两套控制部分共用一个电压外环。在进行均流操作时,利用电压外环使两路逆变器输出电压幅值相等,电压外环的输出作为

电流内环参考值输入。将电流参考值与实时采集的电流信号做比较,利用PI控制使实时电流跟随电流参考值,令电流按预设比例进行分配。在进行功率分配操作时,利用功率分配比例计算出电流分配比例,得到电流参考值,再利用电流内环控制,令功率按预设比例分配。

### 3. 系统软件设计分析

主程序流程如图 A-1-3。

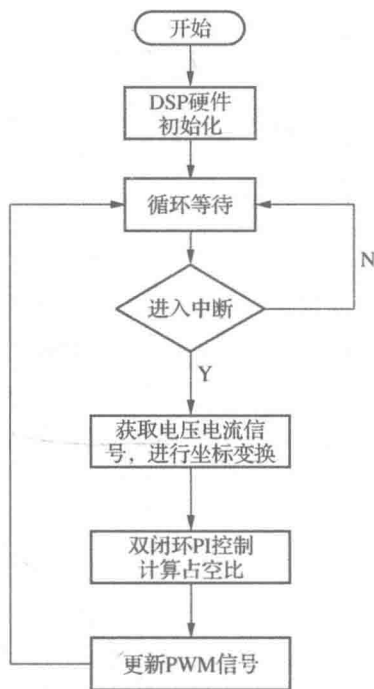


图 A-1-3 主程序流程图

程序设计思想:首先初始化 PWM 和 ADC 模块,用 PWM 触发中断,在中断中进行 ADC 采样,通过坐标变换将交流信号转换成直流信号,经过电压 PI 调节控制电流的给定,根据两个逆变器电流的比例分别计算两个电流环的给定及 PWM 的占空比,更新 PWM 信号,中断结束,等待进入下次中断。

### 4. 测试及分析

#### 4.1 测量仪器

直流稳压电源、数字示波器、数字万用表、功率分析仪。

#### 4.2 测量结果

(1) 基本部分:

表 A-1-1 基本部分测试数据

线电流有效值	线电压有效值	频率	THD
2.002 A	23.96 V	50.02 Hz	1.0%

结果分析:线电压有效值和频率偏差均在允许范围内,畸变率小于 3%,满足题目要求。

表 A-1-2 在基本要求工作条件下,逆变器效率

输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
50.02 V	1.81 A	24.00 V	2.00 A	91.86%

结果分析:逆变器效率大于 87%,满足题目要求。

表 A-1-3 负载调整率

$U_o(I_o=2\text{ A})$	$U_o(I_o=0\text{ A})$	负载调整率( $S_r$ )
23.96 V	24.02 V	0.24%

结果分析:负载调整率远小于要求值,满足题目要求。

(2) 提高部分:

表 A-1-4 两路逆变器共同供电后,频率测试

负载线电流有效值	频率
3.012 A	50.03 Hz

结果分析:负载线电流有效值可达 3 A,频率符合题目要求。

表 A-1-5 两路逆变器输出功率 1:1 时,电流分配测试

总电流	逆变器 1 输出线电流	逆变器 2 输出线电流	输出端线电压	负载调整率
1 A	0.512 A	0.498 A	24.02 V	0.12%
3 A	1.503 A	1.573 A	24.06 V	

结果分析:功率分配可以保持 1:1 分配,负载调整率满足题目要求。

表 A-1-6 两路逆变器功率可分配测试

总电流	逆变器功率分配比	逆变器 1 功率	逆变器 2 功率
1 A	1:2	13.72 W	27.85 W
	2:1	27.40 W	13.87 W
3 A	1:2	41.10 W	83.45 W
	2:1	82.20 W	42.35 W

结果分析:两逆变器的输出功率可以在 1:2~2:1 之间自动分配。

#### 4.3 测试结果分析

经测试,所得数据均满足要求,较好地完成了题目。

## 报告 2

### 基本信息

学校名称	河海大学		
参赛学生 1	邓燕国	Email	329409599@qq.com
参赛学生 2	孙康	Email	2645546093@qq.com
参赛学生 3	高金鑫	Email	2975697586@qq.com
指导教师 1	王冰	Email	icekingking@hhu.edu.cn
指导教师 2	尹斌	Email	hhyb3787547@163.com
获奖等级	全国二等奖		
指导教师简介	尹斌,1957年生,男,硕士,副教授,硕导,河海大学能源与电气学院自动化系教师,从事自动化技术、计算机应用技术、电力电子与电气传动技术等领域的研究。 王冰,1975年生,男,中共党员,博士,副教授,硕导,河海大学能源与电气学院副院长,从事非线性控制与新能源技术的研究,主讲“现代控制理论”“鲁棒控制”等课程。		

## 1. 系统方案论证和比较

### 1.1 系统方案

本系统主要由 XS128 主控模块、三相逆变器模块、电压采集模块、电流采集模块、A/D 有效值转换模块构成,系统总体框图如图 A-2-1 所示。

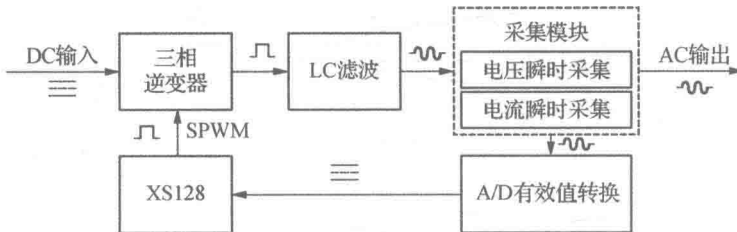


图 A-2-1 系统总体框图

### 1.2 方案论证与比较

#### (1) 三相逆变器拓扑结构的选择

**方案 1:** 全桥式结构。全桥式结构单相有 4 个功率器件,能够让变压器原边电流来回流动,在每半个周期都能传递能量。其要求开关管数量多,且参数一致性好,这种电路结构通常使用在 1 kW 以上超大功率开关电源电路中。

**方案 2:** 半桥式结构。它将一个桥臂上的功率器件换成电容,节约了一半数量的功率器件,且功率器件上承受的电压也减半,结构简单,功率器件较少,利用电源端两个串联电容的中



点作为输出的中点,可构成三相四线制的输出。适用于低压小功率的场合,如图 A-2-2 所示。

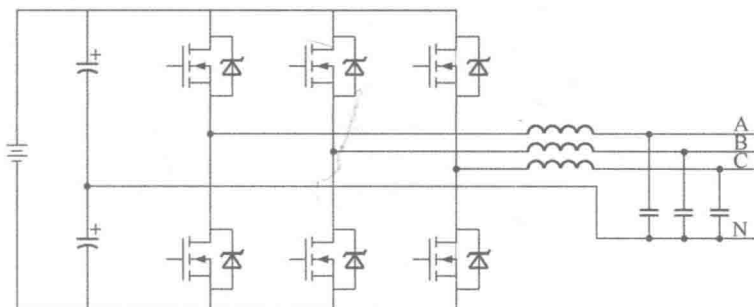


图 A-2-2 半桥式逆变器拓扑结构

经过论证,全桥式驱动电路复杂,半桥式结构在节省元器件的基础上,便于控制,且能够适应本题目所需功率,故采用半桥式拓扑结构。

## (2) SPWM 调制方式的选择

**方案 1:** 计算法。根据正弦波频率、幅值和半周期脉冲数,准确计算出各 PWM 波脉冲宽度和间隔,据此控制逆变电路开关器件的通断,就可得到所需 PWM 波形。

**方案 2:** 调制法。当 SPWM 逆变器输出频率高时,采用同步调制方式;当 SPWM 逆变器输出频率低时,由于脉冲波之间的间距加大,谐波干扰加剧,负载在低频区的转矩脉动和噪声加大,采用异步调制方式。而分段同步调制方式是将两者结合,适用于变频。

经比较,计算法较烦琐,当输出正弦波的频率、幅值或相位变化时,结果都要变化。同时题目要求输出  $50\text{ Hz} \pm 0.2\text{ Hz}$  的低频正弦波形,单片机运算速度无法达到要求。故选择调制法的异步调制方式。

## 2. 电路与程序设计

### 2.1 硬件设计

#### (1) 三相逆变器主回路

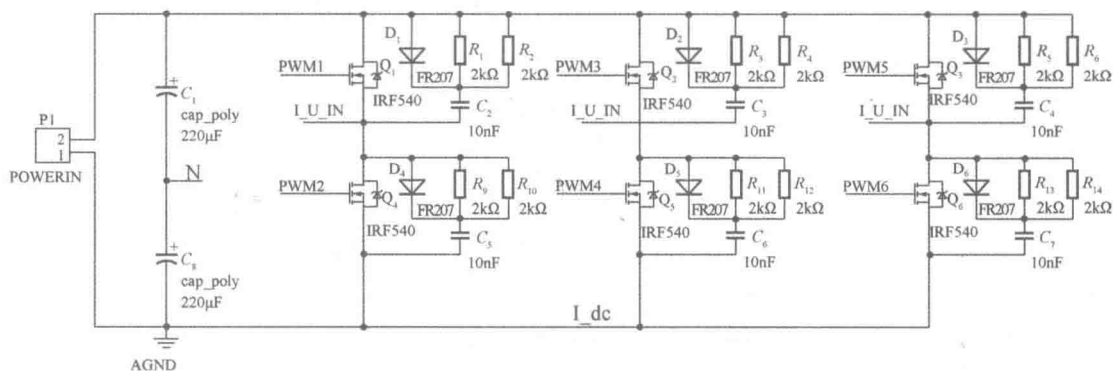


图 A-2-3 三相逆变器主电路