

全国大学生电子设计竞赛 培训系列教程

2009年全国大学生电子设计竞赛试题剖析

高吉祥 主编 王晓鹏 副主编 宋克慧 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

全国大学生电子设计竞赛培训系列教程

2009 年全国大学生电子设计 竞赛试题剖析

高吉祥 主 编

王晓鹏 副主编

宋克慧 主 审

王 帅 张小溪 宋庆恒

张耀东 左伟华 周 群 等编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据全国大学生电子设计竞赛的特点和需要,为高等学校电子信息工程、通信工程、电子工程、广播电视工程、自动化、电气控制、计算机、电子测量与仪器及相近专业学生编著的培训教材。本书共有9章,每章结构基本相同,即设计任务与要求、题目剖析及设计举例。

本书内容丰富实用、叙述条理清晰、逻辑性强、工程性强,可以作为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、课程设计、毕业设计的有益参考书,还可以作为电子工程技术人员进行电子产品设计与制作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

2009年全国大学生电子设计竞赛试题剖析/高吉祥主编. —北京:电子工业出版社,2011.2
ISBN 978-7-121-12898-1

I. ①2… II. ①高… III. ①电子电路—电路设计—竞赛—高等学校—解题 IV. ①TN702—44

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第018732号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本:787×980 1/16 印张:13 字数:290千字

印 次:2011年2月第1次印刷

印 数:4000册 定价:29.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、工业和信息化部人事司共同主办的面向大学生、大专生的群众性科技活动,目的在于推动普通高等学校的信息电子类学科面向 21 世纪的课程体系和课程内容改革,引导高等学校在教学中培养大学生的创新意识、协作精神和理论联系实际学风,加强学生工程实践能力的训练和培养,鼓励广大学生踊跃参加课外活动,把主要精力吸引到学习和能力培养上来,促进高等学校形成良好的学习风气,同时也为优秀人才脱颖而出创造条件。

全国大学生电子设计竞赛自 1994 年至今已成功举办九届,深受全国大学生的欢迎和喜爱,参赛学校、参赛队和参赛学生逐年递增。为了使全国大学生电子设计竞赛培训工作全面、系统、有序地进行,我们已成功编写了全国大学生电子设计竞赛培训系列教程,目前已经出版了 6 册,并深受辅导老师和学生喜爱。本书针对 2009 年全国大学生电子设计竞赛试题进行剖析,也属于全国大学生电子设计竞赛培训系列教程之一。

2009 年全国大学生电子设计竞赛共计 9 道题,其中本科组 6 道,高职高专组 3 道。本书按题每题为一章。每章的结构基本相同,即设计任务与要求,题目剖析及设计举例。题目剖析作为每章的重点和难点。以声音引导系统(B 题)为例,分析了题目背景、定位方法、影响定位精度的因素及排除方法。在定位方法中列出了切实可行的三种定位方法,即三站测时差被动定位法、两站测距定位法及渐近定位法,且每种定位法均建立了坐标系和定位数学模型,将此题设计上升到理论的高度。然后根据三种定位方法各举一个实例进一步证明三种定位方法的正确性、可行性。

又如无线环境监测模拟装置(D 题)分析了出题背景、题目的重点和难点。此题的重点和难点就是通信协议的制定和低压、价廉、低功耗收发系统的设计。根据湖南赛区和从 Internet 上搜索到的全国此题获得一等奖的作品,在通信协议的制定中均未考虑到题目给出的收发天线具有较强方向性,将通信协议的正确方案说成是错误的方案,而将错误的方案说成是可以实现的方案。若这一步搞错了,则后文的软件设计也是不对的。作者在题目剖析一节中指出存在的问题,但在举例的论文中考虑到尊重原作品未做改动,请读者千万注意这一点。对于这类问题,希望参赛队员和辅导老师在以后的电子设计竞赛的培训和考试中能引起高度重视。

本书论述精辟,分析透彻、实践性极强,是一部全国大学生电子设计各类电子设计竞赛培训极好的教程,也是电子工程技术人员进行电子产品设计与制作的有益参考书。

参加本书编著工作的有高吉祥、宋克慧、王晓鹏、王帅、张小溪、宋庆恒、张耀东、左伟华、周群等人。全书由高吉祥主编,负责 1~6 章主执笔,全书定稿、统稿工作。宋克慧教

授、主管教学院长、博士为主审,负责全书的策划与审查。王晓鹏为副主编,负责全书定稿、组织和参与了第 5 章的编写工作。王帅为第 7~9 章主执笔。张小溪参与第 2 章、第 9 章的编写工作。宋庆恒参与了第 2 章、第 7 章的编写工作。张耀东参与了第 3 章、第 5 章的编写工作。周群参与了第 1 章、第 4 章、第 5 章的编写工作,左伟华参与了第 1 章、第 6 章的编写工作。还有张仁民、胡平林、李序庚、杨恒玲、肖景、张涛、黄利军、李晓帆、李珊珊、彭亮、周善祥、姚忍、张运喜、岳学斌、李修荣、卢博、胡放等人为本书的编写提供了可靠的实验数据,在方案论证、课题设计、调试、测试等方面做了大量的工作。

因编写时间仓促,难免会出现错误,欢迎读者批评纠正,我们表示万分感谢。

编 者

目 录

第 1 章 光伏并网发电模拟装置(A 题)	
.....	1
1.1 设计任务与要求	1
1.2 题目剖析	5
1.2.1 节能问题	5
1.2.2 频率、相位和波形跟踪问题	7
1.2.3 安全保护问题	9
1.3 采用硬件生成 SPWM 的光伏并网发电装置	9
1.3.1 方案论证与比较	10
1.3.2 理论分析与参数计算	11
1.3.3 电路与程序设计	13
1.3.4 测试方法与数据、结果分析	15
1.4 采用软件生成 SPWM 的光伏并网发电装置	17
1.4.1 系统方案选择	17
1.4.2 系统的整体结构	18
1.4.3 硬件电路设计	19
1.4.4 控制程序介绍	21
第 2 章 声音引导系统(B 题)	22
2.1 设计任务与要求	22
2.2 题目剖析	27
2.2.1 定位方法探讨	27
2.2.2 影响定位精度的因素及排除方法	31
2.3 利用测时差法被动定位的声音引导系统	33
2.3.1 方案选择与论证	33
2.3.2 系统硬件设计与元器件选择	34
2.3.3 系统软件设计	35
2.3.4 系统调试及测试结果	36
2.4 利用测距定位法的声音引导系统	37
2.4.1 方案简介	37
2.4.2 方案论证	38
2.4.3 单元电路设计	40
2.4.4 软件设计及指标测试	43
2.5 采用渐近法的声音引导系统	44
2.5.1 系统简介	44
2.5.2 引导原理	44
第 3 章 宽带直流放大器(C 题)	46
3.1 设计任务与要求	46
3.2 题目剖析	51
3.3 荣获全国特等奖的宽带直流放大器	56
3.3.1 系统方案论证	56
3.3.2 理论分析与计算	57
3.3.3 电路与程序设计	59
3.3.4 系统测试	61
3.3.5 总结	63
3.4 采用扩压扩流技术的宽带直流放大器	63
3.4.1 系统总体设计	63
3.4.2 理论分析及计算	64
3.4.3 硬件电路设计及方案比较	65
3.4.4 指标测试方案及测试结果	68
3.4.5 总结	70

3.5 高增益宽带直流放大器·····	70	5.2.5 高频脉冲变压器设计的注意 事项·····	109
3.5.1 系统方案·····	70	5.2.6 最大电流跟踪的探讨···	109
3.5.2 理论分析计算·····	72	5.2.7 提高直流变换器效率的措施 ·····	110
3.5.3 系统电路设计·····	74	5.3 采用集成芯片实现 DC-DC 转换的 电能收集充电器·····	110
3.5.4 系统软件设计及抗干扰 措施·····	76	5.3.1 方案论证·····	110
3.5.5 测试方案与测试结果·····	76	5.3.2 方案实施·····	111
第 4 章 无线环境监测模拟装置(D 题) ·····	78	5.3.3 理论分析与计算·····	111
4.1 设计任务与要求·····	78	5.3.4 测试方法及结果·····	113
4.2 题目剖析·····	82	5.4 采用反激变换器的电能收集充 电器·····	114
4.3 采用 OOK 调解方式的无线环境 监测的模拟装置·····	85	5.4.1 方案论证·····	114
4.3.1 方案设计与论证·····	86	5.4.2 理论分析与计算·····	116
4.3.2 理论分析与计算·····	88	5.4.3 电路与程序设计·····	118
4.3.3 电路设计与软件设计·····	90	5.4.4 测试方法、结果及分析 ·····	120
4.3.4 测试方法与数据·····	92	第 6 章 数字幅频均衡功率放大器(F 题) ·····	122
附录一:匹配滤波电路预设计·····	93	6.1 设计任务与要求·····	122
附录二:功放输出匹配滤波电路 PSPICE 仿真·····	94	6.2 题目剖析·····	126
4.4 低频载波的无线环境监测模拟 装置·····	95	6.2.1 前置放大器·····	127
4.4.1 方案论证与比较·····	95	6.2.2 功率放大器·····	127
4.4.2 理论分析与参数计算、电路 设计·····	96	6.2.3 数字幅频均衡器·····	128
4.4.3 系统测试与数据分析···	100	6.3 基于 FPGA 的数字幅频均衡功率 放大器·····	129
第 5 章 电能收集充电器(E 题) ·····	102	6.3.1 方案的选择·····	129
5.1 设计任务与要求·····	102	6.3.2 系统总体方案与实现框图 ·····	130
5.2 题目剖析·····	105	6.3.3 主要电路设计·····	131
5.2.1 直接充电的功率与效率分析 ·····	105	6.3.4 指标测试·····	135
5.2.2 最大功率与极限充电电流的 计算·····	106	6.4 采用 DSP 专业芯片设计的数字幅频 均衡功率放大器·····	136
5.2.3 直流电源变换器的电路 结构·····	106	6.4.1 系统方案·····	136
5.2.4 开关调整器拓扑结构···	106	6.4.2 理论分析与设计·····	137

6.4.3 电路与程序设计	138	8.1 设计任务与要求	163
6.4.4 测试仪器与测试数据分析	140	8.2 题目剖析	165
6.4.5 创新与发挥	142	8.3 LED点阵书写显示屏的设计 ...	168
6.5 采用D类功放的数字幅频均衡功率放大器	142	8.3.1 系统方案论证与选择 ...	168
6.5.1 方案选择	143	8.3.2 系统的硬件设计	169
6.5.2 电路设计及元器件选择	143	8.3.3 系统的软件设计	170
6.5.3 系统测试与测试结果 ...	147	8.3.4 问题及解决办法	172
第7章 低频功率放大器(G题)	149	8.4 基于FPGA的LED点阵书写显示屏的设计	173
7.1 设计任务与要求	149	8.4.1 方案论证与比较	173
7.2 题目剖析	150	8.4.2 系统硬件设计	174
7.2.1 低频功率放大器设计要点	151	8.4.3 软件设计	175
7.2.2 低频功率放大器的工艺设计	153	8.4.4 测试方案及测试结果 ...	176
7.2.3 主要元器件选型	154	第9章 模拟路灯控制系统(I题)	177
7.3 具备参数检测及显示功能的低频功率放大器	155	9.1 设计任务与要求	177
7.3.1 总体方案设计	155	9.2 题目剖析	179
7.3.2 单元电路设计	155	9.3 模拟路灯控制系统(I)	181
7.3.3 结果分析	158	9.3.1 方案论证与比较	181
7.4 基于MOS管低频功率放大器	159	9.3.2 系统基本原理	181
7.4.1 系统总体方案	159	9.3.3 元器件选择	182
7.4.2 单元硬件电路设计	159	9.3.4 系统调试	184
7.4.3 软件设计	161	9.4 模拟路灯控制系统(II)	185
第8章 LED书写显示屏的设计(H题)	163	9.4.1 方案论证与比较	185
		9.4.2 系统硬件设计	187
		9.4.3 系统软件设计	189
		9.4.4 问题及解决方法	190
		附录A 常用文字符号说明	191
		参考文献	198

第 1 章 光伏并网发电模拟装置(A 题)

[本科组]

1.1 设计任务与要求

一、任务

设计并制作一个光伏并网发电模拟装置,其结构框图如图 1.1.1 所示。用直流稳压电源 U_S 和电阻 R_S 模拟光伏电池, $U_S=60\text{V}$, $R_S=30\sim36\Omega$; u_{REF} 为模拟电网电压的正弦参考信号,其峰—峰值为 2V ,频率 f_{REF} 为 $45\sim55\text{Hz}$; T 为工频隔离变压器,变比为 $n_2:n_1=2:1$ 、 $n_3:n_1=1:10$,将 u_F 作为输出电流的反馈信号;负载电阻 $R_L=30\sim36\Omega$ 。

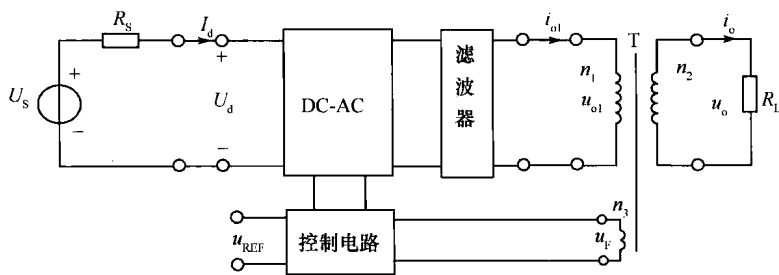


图 1.1.1 光伏并网发电模拟装置框图

二、要求

1. 基本要求

(1) 具有最大功率点跟踪(MPPT)功能: R_S 和 R_L 在给定范围内变化时,使 $U_d=\frac{1}{2}U_S$, 相对偏差的绝对值不大于 1% 。

(2) 具有频率跟踪功能: 当 f_{REF} 在给定范围内变化时,使 u_F 的频率 $f_F=f_{\text{REF}}$, 相对偏差绝对值不大于 1% 。

(3) 当 $R_S=R_L=30\Omega$ 时,DC-AC 变换器的效率 $\eta\geq 60\%$ 。

(4) 当 $R_S=R_L=30\Omega$ 时,输出电压 u_o 的失真度 $\text{THD}\leq 5\%$ 。

(5) 具有输入欠压保护功能,动作电压 $U_{d(\text{th})}=(25\pm 0.5)\text{V}$ 。

(6) 具有输出过流保护功能,动作电流 $I_{o(th)} = (1.5 \pm 0.2) A$ 。

2. 发挥部分

(1) 提高 DC-AC 变换器的效率,使 $\eta \geq 80\%$ ($R_s = R_L = 30\Omega$ 时)。

(2) 降低输出电压失真度,使 $THD \leq 1\%$ ($R_s = R_L = 30\Omega$ 时)。

(3) 实现相位跟踪功能:当 f_{REF} 在给定范围内变化以及加非阻性负载时,均能保证 u_F 与 f_{REF} 同相,相位偏差的绝对值 $\leq 5^\circ$ 。

(4) 过流、欠压故障排除后,装置能自动恢复为正常状态。

(5) 其他。

三、说明

(1) 本题中所有交流量除特别说明外均为有效值。

(2) U_s 采用实验室可调直流稳压电源,不需自制。

(3) 控制电路允许另加辅助电源,但应尽量减少路数和损耗。

(4) DC-AC 变换器效率 $\eta = \frac{P_o}{P_d}$, 其中 $P_o = U_{ol} \cdot I_{ol}$, $P_d = U_d \cdot I_d$ 。

(5) 基本要求(1)、(2)和发挥部分(3)要求从给定或条件发生变化到电路达到稳态的时间不大于 1s。

(6) 装置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。

(7) 制作时应合理设置测试点(参考图 1.1.1),以方便测试。

(8) 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用附件给出。

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	4
	理论分析与计算	MPPT 的控制方法与参数计算 同频、同相的控制方法与参数计算 提高效率的方法 滤波参数计算	9

续表

	项 目	主 要 内 容	满 分
设计报告	电路与程序设计	DC-AC 主回路与器件选择 控制电路或控制程序 保护电路	9
	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
	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	3
	总分		30
基本要求	实际制作完成情况		50
发挥部分	完成第(1)项		10
	完成第(2)项		5
	完成第(3)项		24
	完成第(4)项		5
	其他		6
	总分		50

光伏并网发电模拟装置(A题)测试记录与评分表

赛区_____ 代码_____ 测评人_____ 2009年9月 日

类型	序号	项目与指标		满分	测试记录	评分	备注
基本要求	(1)	最大功率点跟踪功能	$R_L = 30\Omega$ 时, 测量 $R_S = 30\Omega$ 和 $R_S = 36\Omega$ 时的 U_d , 分别记为 U_{d1} 和 U_{d2}	8	$U_S = \underline{\hspace{1cm}} V$ $U_{d1} = \underline{\hspace{1cm}} V$ $U_{d2} = \underline{\hspace{1cm}} V$		
			$R_S = 30\Omega$ 时, 测量 $R_L = 30\Omega$ 和 $R_L = 36\Omega$ 时的 U_d , 分别记为 U_{d1} 和 U_{d2}	8	$U_S = \underline{\hspace{1cm}} V$ $U_{d1} = \underline{\hspace{1cm}} V$ $U_{d2} = \underline{\hspace{1cm}} V$		
	(2)	频率跟踪功能: $R_S = R_L = 30\Omega$ 时, 测量不同 f_{REF} 下的 f_F	$f_{REF} = 45\text{Hz}$	3	$f_F = \underline{\hspace{1cm}} \text{Hz}$		
			$f_{REF} = 50\text{Hz}$	3	$f_F = \underline{\hspace{1cm}} \text{Hz}$		
			$f_{REF} = 55\text{Hz}$	3	$f_F = \underline{\hspace{1cm}} \text{Hz}$		
	(3)	$R_S = R_L = 30\Omega$ 时, 测量效率: $\eta \geq 60\%$ 满分, 每降低 1% 扣 1 分		10	$U_{o1} = \underline{\hspace{1cm}} V$ $I_{o1} = \underline{\hspace{1cm}} A$ $U_d = \underline{\hspace{1cm}} V$ $I_d = \underline{\hspace{1cm}} A$ $\eta = \underline{\hspace{1cm}} \%$		
	(4)	$R_S = R_L = 30\Omega$ 时, 测量 u_o 的失真度: $\text{THD} \leq 5\%$ 满分, 每增加 1% 扣 1 分		5	$\text{THD} = \underline{\hspace{1cm}} \%$		

续表

类型	序号	项目与指标	满分	测试记录	评分	备注
基本要求	(5)	欠压保护	1	欠压保护功能(有 无)		
			2	动作电压 $U_{d(th)} = \underline{\hspace{2cm}}$ V		
	(6)	过流保护功能	1	过流保护功能(有 无)		
			2	动作电流 $I_{o(th)} = \underline{\hspace{2cm}}$ A		
		工艺	4			
		基本要求总分	50			
发挥部分	(1)	$\eta \geq 80\%$ 满分, 每降低 1% 扣 0.5 分	10	$\eta = \underline{\hspace{2cm}}\%$		
	(2)	THD $\leq 1\%$ 满分, 每增加 1% 扣 1 分	5	THD = $\underline{\hspace{2cm}}\%$		
	(3)	相位跟踪功能: $R_S = R_L = 30\Omega$ 时, 测 u_F 与 u_{REF} 的相位差 $\Delta\varphi$	12	$f_{REF} = 45\text{Hz}; \Delta\varphi_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $f_{REF} = 50\text{Hz}; \Delta\varphi_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ $f_{REF} = 55\text{Hz}; \Delta\varphi_3 = \underline{\hspace{2cm}}$		
			12	$f_{REF} = 45\text{Hz}; \Delta\varphi_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $f_{REF} = 50\text{Hz}; \Delta\varphi_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ $f_{REF} = 55\text{Hz}; \Delta\varphi_3 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	(4)	自动恢复功能	5	有 无		
	(5)	其他	6			
		总分	50			

光伏并网发电模拟装置(A题)测试说明

(1) 此表仅限赛区专家在制作实物测试期间使用, 竞赛前、后都不得外传, 每题测试组至少配备三位测试专家, 每位专家独立填写一张此表并签字; 表中凡是判断特定功能有、无的项目用“√”表示; 凡是指标性项目需如实填写测量值, 有特色或问题的可在备注中写明, 表中栏目如有缺项或不按要求填写的, 全国评审时该项按零分计。

(2) 各项测试除特别说明外, 参考信号频率 f_{REF} 均为 50Hz, 交流量均为有效值。

(3) 基本要求(1)评分标准: 计算 $\delta = \max\left(\left|\frac{U_{d1} - U_S/2}{U_S/2}\right|, \left|\frac{U_{d2} - U_S/2}{U_S/2}\right|\right)$, $\delta \leq 1\%$ 得满分, 每增加 1% 扣 1 分。

(4) 基本要求(2)评分标准: 计算 $\delta = \left|\frac{f_F - f_{REF}}{f_{REF}}\right|$, $\delta \leq 1\%$ 得满分, 每增加 1% 扣 1 分。

(5) 基本要求(5)评分标准: 计算 $\delta = |U_{d(th)} - 25\text{V}|$, $\delta \leq 0.5\text{V}$ 得 2 分, $\delta \leq 1\text{V}$ 得 1 分。

(6) 基本要求(6)评分标准: 计算 $\delta = |I_{o(th)} - 2\text{A}|$, $\delta \leq 0.2\text{A}$ 得 2 分, $\delta \leq 0.4\text{A}$ 得 1 分。

(7) 发挥部分(3), 首先在电阻负载下测试, 为获得非阻性负载, 要求在负载 R_L 上并电容(可按图 1.1.2 操作); 调整过程结束后, 相位差在稳定值附近小范围波动

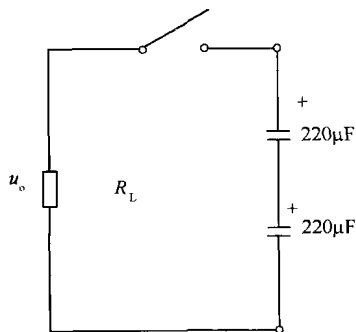


图 1.1.2

时,读取其平均值;若 $|\Delta\varphi|$ 不断增加,本项不得分。

(8) 发挥部分(3)的评分方法:计算 $\Delta\varphi = \max(|\Delta\varphi_1|, |\Delta\varphi_2|, |\Delta\varphi_3|)$,评分标准:
 $\Delta\varphi \leq 5^\circ$ 得 12 分; $5^\circ < \Delta\varphi \leq 10^\circ$ 得 9 分; $10^\circ < \Delta\varphi \leq 15^\circ$ 得 6 分; $15^\circ < \Delta\varphi \leq 20^\circ$ 得 3 分; $\Delta\varphi > 20^\circ$ 得 0 分。

1.2 题目剖析

光伏并网发电是目前热门话题之一,若能将取之不尽、用之不完的太阳能转变成电能并能与市电并网,其意义何等重大。此题推出后特别引起了人们的关注。大家清楚,要使发电装置与市电并网使用,必须满足频率、相位、幅度和波形完全一致,即要求发电装置的幅度、频率、相位和波形(指失真)完全要实时跟踪市电信号。其难点非常大。题目对幅度跟踪未做特别的要求,但题目有其他(占 6 分)一项可能包含幅度跟踪的内容。

此题对节能也提出了较高要求,这里包括两个方面的要求,一是具有最大功率点跟踪(MPPT)功能,二是 DC-AC 变换器的效率($\eta \geq 80\%$)的要求。

作为发电装置,安全使用也非常重要。题目要求有输入欠压保护和输出过流保护功能。

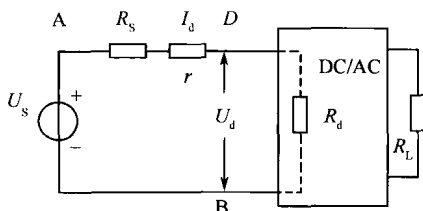


图 1.2.1 MPPT 等效电路

根据题目的任务及要求,我们列成一表格形式,以便于分析。详见表 1.2.1。显然,此题的重点和难点就是节能问题和反馈信号 u_F 如何跟踪参考信号 u_{REF} 的问题。下面就这两个问题进行重点论述。

1.2.1 节能问题

1. 最大功率点跟踪(MPPT)

将图 1.1.1 简化成图 1.2.1。其中 U_s 模拟光伏直流稳压电源, R_s 为光伏电源内阻,它们构成一个整体。

表 1.2.1 功能与技术指标要求一览表

项 目	基本要求	发挥部分要求
节能要求(占 36 分)	$\delta = \max\left(\left \frac{U_{d1} - U_s/2}{U_s/2}\right , \left \frac{U_{d2} - U_s/2}{U_s/2}\right \right)$ $\eta = P_o / P_d$	$\leq 1\%$ $\geq 60\%$ $\geq 80\% (R_s = R_L = 30\Omega \text{ 时})$
u_F 与 u_{REF} 参数一致性要求(占 43 分)	频率跟踪 $\delta = \left \frac{f_F - f_{REF}}{f_{REF}}\right $ 相位跟踪 $\Delta\varphi = \max(\Delta\varphi_1 , \Delta\varphi_2 , \Delta\varphi_3)$ 跟踪(失真度 η)	$\leq 1\%$ $\leq 5^\circ$ $\leq 1\%$

续表

项 目		基本要求	发挥部分要求
安全保护 要求(占 11 分) 工艺(占 4 分)	输入欠压保护的動作电压(V)	25±0.5	欠压故障排除后,自动恢复正常
	输出过流保护的動作电流(A)	1.5±0.2	过流故障排除后,自动恢复正常
其他(6 分)	包括 u_F 与 u_{REF} 的幅度跟踪,进一步提高各项技术指标等		

实际上是不可分割的,A 点是虚设的点。有许多考生将 A 点也作为测试点,测出 U_{AB} 、 U_{DB} ,计算出 $I_d = \frac{U_{AB} - U_{DB}}{R_s}$,这种做法是错误的,这与实际情况不相符。若要测量 I_d ,必须在电路串进一个取样电阻 r_o 。根据图 1.2.1 知, R_d 获得的功率为

$$P_d = \frac{U_s^2 R_d}{(R_s + R_d)^2} \quad (1.2.1)$$

根据题意, $U_s = 60V$ 是给定,而 R_s 和 R_L 在 $30 \sim 36\Omega$ 的范围内变化。于是 P_{omax} 也在 $25 \sim 30W$ 范围内变化。

欲求 P_{max} ,应满足

$$\frac{dP_d}{dR_d} = 0 \quad (1.2.2)$$

解方程式(1.2.2)得 $R_d = R_s$,得

$$P_{dmax} = \frac{U_s^2}{4R_s} \quad (1.2.3)$$

以上就是最大功率跟踪的理论依据。最大功率跟踪的方法很多,有恒定电压法、扰动观察法、导纳增量法等。

2. 如何提高 DC-AC 变换器的效率

根据电力电子方面的知识,DC-AC 逆变电源常采用图 1.2.2 所示的主回路原理框图。要提高变换效率,末级功放是关键。

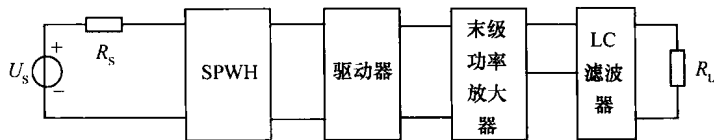


图 1.2.2 DC-AC 原理框图

因甲类工作状态, $\eta_{max} = 50\%$; 乙类工作状态, $\eta_{max} = 78.5\%$; 丙类工作状态, 当 $\theta = 60^\circ$ 时, $\eta_{max} = 90\%$; 丁类工作状态, $\eta_{max} = 100\%$ 。上述数据均为在理想情况下, 计算出来的数据, 实际上均达不到。然而从这些数据中可以得丁类(D 类)的效率最高。故选用丁类放大器。成功的作品一般选用场效管作为开关管的全桥功放电路。影响 DC-AC 转换器效率的提高主要原因是:

- ① 开关管的导通电阻的存在;
- ② LC 滤波器 Q 值有限;
- ③ 隔离变压器存在铁损耗与铜损耗。

故要选用导通电阻小的场效管作为开关管;滤波电感必须采用铁氧体作为磁通路,导线要粗一些或者多股;滤波电容要选损耗小的(如选用聚丙烯电容);隔离变压器要采用冷轧钢带作为铁芯,绕组导线选取要粗些为好。这些措施对提高 DC-AC 变换器的转换效率均是行之有效的。

1.2.2 频率、相位和波形跟踪问题

根据题意,参考信号 u_{REF} 的频率 f_{REF} 的变化范围为 $45 \sim 55\text{Hz}$,而驱动放大器和末级放大器存在分布参数,负载也不一定为纯阻性,这样一来输出的信号 $u_o(t)$ 会产生相移。由于输出信号 $u_o(t)$ 和 u_{REF} 客观上既存在频差又存在相差。故有必须采取措施使 $u_o(t)$ 的频率和相位跟踪 u_{REF} 的频率和相位。如何进行跟踪,自然就会想到 PLL 和 DDS。

1. 利用 PLL 实现 DC-AC 变换方法

利用锁相环(PLL)的方法生成正弦波,它与三角波同时加至调制器上,生成 SPWM 波,再经过驱动电路去驱动全桥功放电路工作,经 LC 滤波后恢复出正弦信号。对输出信号进行取样得 u_F , u_F 和 u_{REF} 一并加到 FD/PD 上,再经过环路滤波得一个控制信号 u_C ,最后去控制 RC VCO。形成反馈闭环回路。这就是锁相环的工作原理。其原理框图如图 1.2.3 所示。

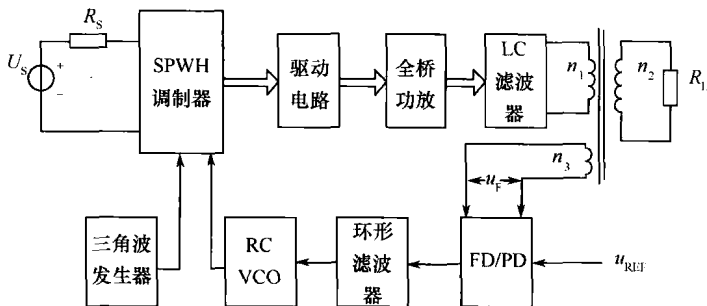


图 1.2.3 利用 PLL 实现 DC-AC 原理框图

2. 利用 DDS 实现 DC-AC 变换的方法

利用 DDS 中生成的正弦波的原理框图如图 1.2.4 所示。其输出频率为

$$f_o = K \frac{f_c}{2^n} \quad (1.2.4)$$

从式(1.2.4)可知,只要改变频率码 K 就能改变输出 f_o 的值。改变起始的地址码就可方便地改变初始相位。

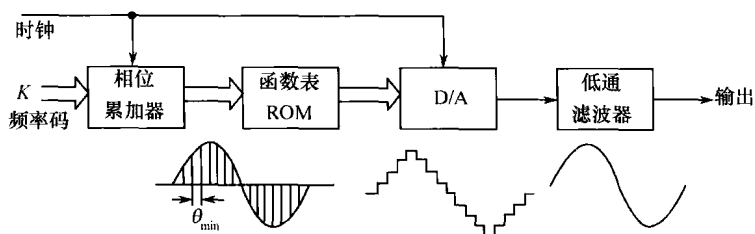


图 1.2.4 利用 DDS 生成正弦波的原理框图

利用同样的方法可以生成三角波。

再根据 SPWM 的原理可以用 DDS 生成正弦脉宽调制波。上述这些过程可以在单片机(或 FPGA)上利用软件编程来完成。若实时测出 u_F (u_o 的取样值) 和 u_{REF} 的频率差和相位差, 对正弦信号的频率码和相位码进行随时修正, 就能实现 $u_F(t)$ 跟踪 $u_{REF}(t)$ 的频率和相位的目。其实现原理框图如图 1.2.5 所示。

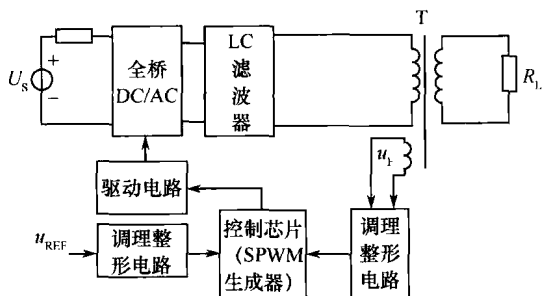


图 1.2.5 利用 DDS 实现频率和相位跟踪的原理框图

3. 波形跟踪

在 u_F 与 u_{REF} 的频率和相位跟踪的情况下, 希望 u_F 与 u_{REF} 的波形也能一致。我们知道, u_{REF} 是一个理想的正弦波, 若 u_F 也是一个理想的正弦波, 就实现了波形跟踪。实际上, 波形跟踪就是解决输出波形失真问题。下面以 DDS 实现 DC-AC 变换的方案为例, 叙述如何降低输出信号 $u_o(t)$ 失真度。

- ① 由式(1.2.4)得知, n 为正弦波一个周期取样点数, n 值越大, 则失真度越小;
- ② 时钟频率 f_c 、三角波的重复频率 f_Δ 和参考信号频率 f_{REF} 成整数倍关系。由于 f_{REF} 是变化的, 可采用 f_{REF} 倍频的方法得到。即 $f_c = n f_{REF}$, $f_\Delta = m f_{REF}$;
- ③ 合理设计 LC 滤波器;
- ④ 尽量减小干涉;
- ⑤ 尽量减小 u_F 与 u_{REF} 的相位差(即相位失真)。

4. 幅度跟踪

本题对幅度跟踪未作要求, 要实现光伏发电装置与市电并网, 幅度跟踪也是必要的。

u_{REF} 可以看成网上电压经取样得到的, u_{F} 是光伏发电装置输出电压的取样值, 它们均按固定比例减小的。可采用 u_{F} 与 u_{REF} 进行幅度比较, 得到幅度差, 再改变 SPWM 的幅度, 可实现幅度跟踪。幅度跟踪可能会影响最大功率点跟踪 (MPPT) 的效果。同时, 还须考虑到市电通过隔离变压器 T 对反馈信号的影响, 这些问题均应该考虑周到。

1.2.3 安全保护问题

系统应具有欠压保护、过流保护及故障排除后的自动恢复功能。保护的方法有软件方法、硬件方法和软硬结合的方法。

1. 软件保护方法

① 欠压保护: 将 U_{a} 的采样值与设定的保护阈值进行比较, 若超过阈值, 单片机停止输出 SPWM, 实现欠压保护, 当欠压保护后, 单片机将每隔 5 秒不断采样, 若故障已排除, 则恢复正常, 即采用打嗝方式保护。将这个过程编写成程序, 由单片机进行控制。

② 过流保护: 故障保护思路与欠压保护一样, 也是采用打嗝方式通过软件实现。

2. 硬件保护方法

① 过流保护: 其原理框图如图 1.2.6 所示。



图 1.2.6 过流保护电路

首先对输出电流 I_{o} 进行采样, 将电流样值转为电压样值, 对样值进行放大, 与已设定的阈值电压进行比较, 过流时比较器输出低电平, 使继电器动作, 切断激励信号通路。使末级功放不工作。反之, 恢复正常。

② 欠压保护: 与过流保护原理类同。

根据对题目分析可知, 可以构建光伏并网装置的各种总体方案。但根据题目对效率的要求 ($\eta \geq 80\%$), 绝大多数优秀作品 DC-AC 变换均采用丁类 (D 类) 放大器。仅仅不同的是 SPWM 的生成方法不同。归纳起来有硬件生成法和软件生成法。下面举两个典型例子加以说明。

1.3 采用硬件生成 SPWM 的光伏并网发电装置

来源: 西安电子科技大学 刘东林 何昊 郭世忠 (全国一等奖)

摘要: 本设计利用锁相环倍频、比较器过零触发和单片机 DA 产生与输入信号同频同相且幅值可控的正弦波, 作为 DC-AC 电路的输入参考信号, 其中 DC-AC 电路采用 D 类功放中自激反馈模型, 利用负反馈的自激振荡产生 SPWM 波, 实现了输出波形的内环控