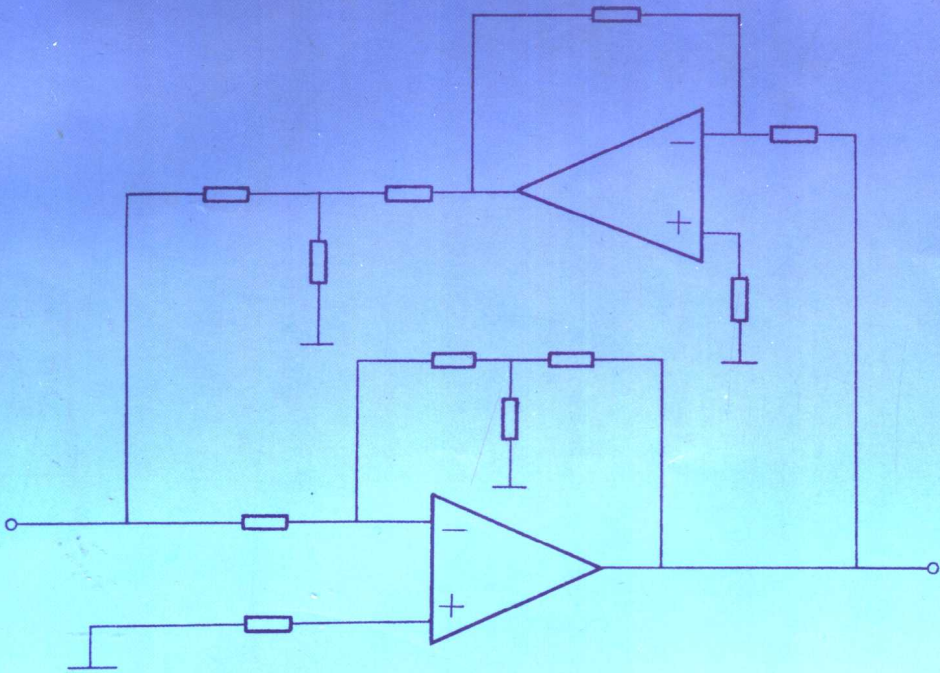


高等学校教材

电子技术课程设计指导

湖南大学 彭介华 主编



高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是列入国家教育委员会 1991~1995 年高等学校工科基础课教材建设规划的新编教材,是按照国家教育委员会 1995 年颁布的高等工业学校“电子技术基础课程教学基本要求”进行编写的,并经国家教育委员会高等学校电子技术基础课程教学领导小组同意,作为高等学校教材出版。

本书由康华光教授作序,由浙江大学郑家龙教授主审。

全书共分六章:电子技术课程设计基础、模拟电路设计(基本题与提高题)、数字电路设计(基本题与提高题)、单片机课程设计(基本题与提高题)、电子技术课程设计题目汇集及电子技术课程设计资料。

本书以课题设计为重点,内容新颖丰富,可满足各类高等学校的不同专业、不同学时的教学需要。可起到加强实践教学环节;巩固学生所学电子技术理论知识,提高学生综合能力及启发学生创新思维等作用。

本书可作为全国各类高等学校电气类、电子类、自控类等专业的“电子技术课程设计”教材使用,也可供从事电子技术的工程技术人员及广大电子技术爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术课程设计指导/彭介华主编;蔡明生等编. —
北京:高等教育出版社,1997(1999 重印)
ISBN 7-04-006118-X

I. 电… II. ①彭… ②蔡… III. 电子技术-课程设计
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 01025 号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010—64054588

传 真 010—64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国青年出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1997 年 10 月第 1 版

印 张 24.75

印 次 1999 年 10 月第 3 次印刷

字 数 610 000

定 价 19.70 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序

在电类各专业的教学计划中,大都设置了“电子技术基础”课程。该课程是一门实践性很强的技术基础课。学生在学习本门课程时,除了按教学基本要求开出的常规实验外,不少院校均安排了“电子技术课程设计”这一实践性教学环节,以加强对学生的综合性工程训练。实践证明,电子技术课程设计对于巩固所学电子技术理论知识,加强基本技能训练以及独立解决实际问题的能力,均有重要的作用,受到广大学生的一致欢迎。作者编写的《电子技术课程设计指导》就是适应这一新的形势而编写的综合性训练的指导性教材。

关于电子技术课程设计的同类教材,以往出版的已有数种。但由于电子技术日新月异,内容亟待更新,广大师生迫切希望有适应电子技术发展形势,且具有不同风格和特色的教材上市供应。

该教材在以下几方面具有明显的特色:

1. 先进性 本书取材充分考虑了内容的先进性。在模拟电路设计中,广泛地采用模拟集成电路,特别是集成运算放大器作为电路的重要构件;而在数字电路设计中,则大量地采用中大规模集成电路,其中包括微处理器和单片机系统,这完全体现当代电子电路的设计是各种集成电路构件的组合,而不是个别电路的设计。尤其是将模拟电路、数字电路与微处理器相结合,以数字电路为主,软硬件结合,以硬件电路设计为主,符合当代电子电路结构的发展方向。

2. 教学适用性 本书的读书对象是高校电类多数专业的学生,因而内容的组织注意到了教学适用性,如书中既有设计课题,又有设计必须的基础知识和必要的设计参考资料。设计课题有基本题和提高题两类,其要求深度不同以满足教学要求和利于因材施教,同时适应各种层次院校和不同专业的要求。设计题近60个,课题大小和难度适中。

3. 实践性 课题大多数来源于科研和生产实践。作者在全国数十所高等院校和有关科研和生产单位进行了广泛的调查,搜集了不少有实用意义的资料。作者所在单位长期坚持教学与科研相结合,以科研促进教学,将科研和教学实践中的课题与搜集的材料一并加以综合整理而收入教材中。书中强调技能的训练,如元器件选择、电路布局、布线、制版、焊接、调试及故障诊断等训练内容占有一定的篇幅,这些就保证了教材的实践性。

4. 实用性 为便于学生学习,教材中既注意到电子电路一般设计方法和过程的介绍,同时又对模拟、数字电路和微处理器系统的具体设计方法进行介绍和举例。对于基本题介绍到设计思路和原理框图;而对于提高题则介绍全设计过程,且给出参考电路,同时还列出大量的各种功能的单元电路供选用。本书还专列一章,汇集课程设计的题目,供师生参考和开拓性设计。

综观全书,内容丰富,立题新颖,思路清晰,逻辑性强,文字流畅,便于自学,图形符号基本采用国家标准。该教材在整体上具有先进性、教学适用性、实践性和实用性,它的出版发行,无疑将受到广大师生的欢迎,并将为培养跨世纪电子技术人才发挥积极的作用。应作者之嘱托,谨作此序。

康华光

一九九六年七月

前 言

本书是列入国家教育委员会 1991~1995 年高等学校工科基础课教材建设规划的新编教材,是按照国家教育委员会 1995 年颁布的高等工业学校“电子技术基础课程教学基本要求”进行编写的。本书可作为全国各类高等学校电气类、电子类和自控类等专业的“电子技术课程设计”课程的教材使用。

电子技术课程设计是学生学习电子技术十分重要的教学环节之一,是对学生学习电子技术知识的综合性实践训练。《电子技术课程设计指导》是此综合性训练及指导性的教科书。许多学校的实践证明,电子技术课程设计对于巩固所学的电子技术理论知识,培养学生解决实际问题的能力;加强基本技能的训练都具有十分明显的积极作用,受到广大师生广泛一致的欢迎和好评。

本书的编写始于 1992 年,历时四年多。此间曾到许多高校和科研单位进行调研和搜集有关资料,并结合我校多年来开设电子技术课程设计的经验,拟定出本书的编写思想与编写大纲,接下来是对大纲中列出的设计课题在实验室中进行试做、修改及确定。有的课题经过几次反复,甚至推倒重来,此后,才进行本书的撰写工作。

编写本书的指导思想是:

1. 考虑到全国各类高校不同专业的不同要求,本书在内容取材上、撰写深度上均有所兼顾。

主要体现在课题的数量、大小和难度上,本书有近 60 个不同内容和大小的课题,其难度有基本题和提高题两种,适应面比较广泛,可供各类院校和不同专业根据自己的情况选用。

2. 教学与实用相结合,以教学为主。本书是课程设计指导性教科书,不是设计汇编,要充分考虑到教学要求。因此,教材内容既有设计课题,还有设计必须的基础知识和必要的设计资料;设计课题有基本题与提高题;课题书写的深度有两种格式:基本题写到设计思路与原理框图,不给参考电路;提高题则写出整个设计过程,且给出参考电路,并以内部出版发行《教师手册》给出书上所列课题的题解。但是,由于大多数课题来源于实际,因此,许多课题可直接或稍加修改就可用于实际应用中。此外,本书在元器件选择、电路布局、布线、制版、焊接、调试及故障诊断等技能训练方面内容占有一定的篇幅,以增强其实用性。

3. 在新旧课题的处理上,以新为主。本书第 2~4 章列有近 60 个用于课程设计的课题,其中近 2/3 是新课题。第 5 章又专辟一章列出 60 多个设计题目的汇集。选题时,除有传统的模拟与数字课题外,还引入微处理器应用和 GAL 应用等反映现代电子技术内容的课题。

全书共 6 章,参加本书编写工作的有彭介华(前言、第 1 章、第 3 章中 GAL 应用课题)、蔡明生(第 3、4 章)、周子群(第 2、6 章)、黎福海(第 5 章、第 1 章中 1.3.5 小节)。全书由彭介华任主编,蔡明生任副主编,主编负责全书的组织和定稿,副主编协助主编工作。在编写过程中,黄学宁讲师和博士生谭政华同志曾参与本书部分章节初稿的编写工作。我校教务处和电子学教研室曾给予大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

本书荣幸地得到原国家教育委员会高等学校工科电工课程教学指导委员会副主任、电子技术基础课程教学指导小组组长康华光教授为本书撰写的序，在此深表谢意。

本书由浙江大学郑家龙教授主审，参加审稿工作的有王小海副教授、吴斌副教授和陈隆道副教授，他们十分认真地审阅了书稿，并提出了许多宝贵的意见和修改建议，在此谨致衷心的感谢。

本书的编写曾得到国家教育委员会电子技术基础课程教学指导小组顾问沈尚贤教授，原组长童诗白教授、康华光教授、何金茂教授以及小组全体成员的热情支持和帮助。曾得到全国高等学校电子技术教学与科研学术研讨会，华北地区、东北地区和苏鲁皖地区高等学校电子技术教学研究会，以及浙江大学、华中理工大学、华南理工大学、上海交通大学、同济大学、上海第二工业大学，成都科技大学、重庆大学、中南工业大学及国防科技大学等单位提供的电子技术课程设计资料和对本书编写工作的支持与关心。对此，谨致衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免会有缺点与错误，敬请读者批评指正。

编者

1996年春

于长沙 岳麓山

责任编辑	任庆陵
封面设计	王 睢
责任绘图	彭 红
版式设计	杨凤玲
责任校对	王 巍
责任印制	韩 刚

目 录

第1章 电子技术课程设计基础

1.1 概论	1
1.1.1 课程设计的目的与要求	1
1.1.2 课程设计的教学过程	1
1.2 电子电路设计的一般方法与步骤	2
1.2.1 总体方案的设计与选择	3
1.2.2 单元电路的设计与选择	6
1.2.3 单元电路之间的级联设计	11
1.2.4 画出总体电路草图	13
1.2.5 总体电路试验	15
1.2.6 绘制正式的总体电路图	15
1.3 电子电路安装技术	15
1.3.1 电子电路安装布局的原则	15
1.3.2 元器件插接与焊接技术	18
1.3.3 半导体器件引脚识别	21
1.3.4 CMOS集成电路使用应注意的事项	22
1.3.5 印刷电路板设计与制作技术	23
1.4 电子电路调试与抗干扰技术	28
1.4.1 电子电路调试	28
1.4.2 抗干扰技术	32

第2章 模拟电路设计

2.1 模拟电路的设计方法与实例	37
2.1.1 放大器的设计	37
2.1.2 直流稳压电源的设计	41
2.1.3 波形产生电路的设计	43
2.1.4 有源滤波器的设计	46
2.1.5 信号测量电路的设计	50
2.1.6 模拟运算电路的设计	52
2.2 实用的参考单元电路	55
2.2.1 电源电路	55
2.2.2 信号放大电路	59
2.2.3 信号产生电路	64
2.2.4 测量与控制电路	71

2.2.5 信号处理与运算电路	80
2.2.6 其他电路	90
2.3 模拟电路基本题选	98
2.3.1 直流稳压电源	98
2.3.2 三极管 β 值自动测量分选仪	100
2.3.3 OCL功率放大器	102
2.3.4 脉冲调宽型伺服放大器	103
2.3.5 电压/频率变换器	105
2.3.6 高阻测量电路——兆欧表	106
2.3.7 湿度控制器	108
2.3.8 多路防盗报警器	109
2.3.9 多段曲线式音调控制器(调音器)	111
2.3.10 音乐彩灯控制器	113
2.3.11 扩音器	114
2.3.12 集成运算放大器简易测试仪	115
2.3.13 电子配料秤	116
2.3.14 多种波形发生器	117
2.3.15 温度测量与控制器	120
2.3.16 双工对讲机	121
2.4 模拟电路提高题选	123
2.4.1 多功能限电保护器	123
2.4.2 养殖流水实验室溶氧自动控制器	126
2.4.3 金属探测器	129
2.4.4 流量测量仪	132
2.4.5 多功能锯齿波产生器	135
2.4.6 医院住院病人“呼喊”器	137

第3章 数字电路设计

3.1 数字电路系统设计方法	140
3.1.1 数字电路系统的组成与类别	140
3.1.2 数字电路系统的设计步骤	141
3.2 数字小系统设计举例	
——可编程时钟控制器	143
3.2.1 课题的任务与要求	143
3.2.2 设计过程	143

3.3 设计参考单元电路	156
3.3.1 脉冲波形产生电路	156
3.3.2 信号变换电路	160
3.3.3 音响与报警电路	167
3.3.4 驱动显示电路	170
3.3.5 A/D 和 D/A 变换的典型应用电路	177
3.4 数字电路课程设计基本题选	182
3.4.1 数字式竞赛抢答器	182
3.4.2 步进电机控制器	183
3.4.3 电子密码锁	184
3.4.4 可编程彩灯控制器	185
3.4.5 直流电机的转速检测与脉宽调速	186
3.4.6 路灯控制器	187
3.4.7 数字式电容测量仪	188
3.4.8 数字频率计	189
3.4.9 乒乓球比赛游戏机	190
3.4.10 交通信号灯控制器	191
3.4.11 数字电压表	193
3.4.12 出租车自动计费器	194
3.4.13 洗衣机控制器	196
3.4.14 多路数据采集系统	198
3.4.15 数字存储示波器	199
3.4.16 信号峰值检测仪	200
3.4.17 电子拔河游戏机	203
3.4.18 数字电子称	204
3.4.19 声控电子锁	205
3.4.20 数字温度计	207
3.4.21 GAL 多路数据选择器的设计	208
3.4.22 GAL 十进制可逆计数器的设计	209
3.5 数字电路设计提高题选	210
3.5.1 数字万用表	210
3.5.2 数字波形合成器	214
3.5.3 用示波器进行乒乓球游戏	218
3.5.4 多用数字测量仪	221
3.5.5 音乐彩灯控制器	223
3.5.6 GAL 二层电梯控制器的设计	228

第4章 单片机课程设计

4.1 单片机应用系统设计的基本步骤	240
4.2 单片机接口扩展的设计	243
4.2.1 存储器扩展设计	243

4.2.2 简单 I/O 接口扩展的设计	246
4.2.3 可编程 I/O 接口扩展的设计	247
4.2.4 A/D、D/A 接口设计	253
4.3 单片机课程设计基本题选	261
4.3.1 用单片机控制的数据采集系统	261
4.3.2 用单片机实现的波形发生器	262
4.3.3 用单片机控制的波形变换电路	264
4.3.4 用单片机控制的电机调速器	265
4.3.5 智能电脑钟	267
4.4 单片机课程设计提高题选	270
4.4.1 人体健康监测器	270
4.4.2 LED 大屏幕显示器	271
4.4.3 可视可听汽车自动报站器	274

第5章 电子技术课程设计题目汇集

5.1 数字电路部分	278
5.1.1 集成数字式闹钟	278
5.1.2 800m 跑第一名计时电路	278
5.1.3 灌药颗粒计数控制系统	279
5.1.4 集成函数发生器和数字频率计	279
5.1.5 数字显示电阻测量仪	280
5.1.6 简易数字相位计	280
5.1.7 水位控制器	281
5.1.8 逻辑电路控制的公共汽车语音报站器	281
5.1.9 逐音彩灯控制器	281
5.1.10 家用风扇控制器	282
5.1.11 数字式波形发生器	282
5.1.12 简易程序控制器	283
5.1.13 可编程时间顺序控制器	283
5.1.14 简易电子琴	284
5.1.15 脉冲按键电话按键显示器	284
5.1.16 心率数字计	284
5.1.17 视频信号切换器	285
5.1.18 音响数字控制器	285
5.1.19 快门速度检测器	286
5.1.20 简易晶体管特性曲线测试仪	286
5.1.21 电子活动靶红外线光电打靶游戏器	286
5.1.22 电子调光控制器	287
5.1.23 中文字符显示器	287
5.1.24 数字式秒表	287
5.1.25 数字存储示波器	288
5.1.26 汽车里程油耗计算器	288

5.1.27	16路数显报警器	288
5.2	模拟电路部分	289
5.2.1	集成电路高保真扩音机	289
5.2.2	高频功率放大器	289
5.2.3	电子测温计	290
5.2.4	电子控温器	290
5.2.5	多路开关直流稳压电源	291
5.2.6	0~30V 数控稳压电源	291
5.2.7	220V、50Hz 变为 110V、60Hz 变频电源	292
5.2.8	数字波形合成器	292
5.2.9	函数信号发生器	293
5.2.10	数显式稳压管稳压值测量仪	293
5.2.11	声控电子锁	294
5.2.12	超声波防盗报警装置	294
5.2.13	电冰箱保护器	294
5.2.14	三相电机保护器	295
5.2.15	用 V/F 与 F/V 变换器构成 隔离放大器	295
5.2.16	台灯自动开关盒	296
5.2.17	程控放大器	296
5.2.18	JFET 夹断电压数显测量仪	297
5.2.19	音响式绝缘性能检测器	297
5.2.20	灯光自动管理器	297
5.3	微处理器应用部分	298
5.3.1	经济型火灾报警控制器	298
5.3.2	智能多点测温系统	298
5.3.3	单片机控制的 LED 显示阵列	299
5.3.4	洗衣机程控器	299
5.3.5	智能数字频率计	299
5.3.6	微机控制的 SPWM 交流变频电源	300
5.3.7	微机低频信号发生器	301
5.3.8	智能化轴温监测系统	301

5.3.9	微机化宽动态范围数据采集系统	302
5.3.10	电机节能控制器	302
5.3.11	智能空调控制器	302
5.3.12	多功能电话	303
5.3.13	电话自动报警系统	303
5.3.14	恒温室控制器	303
5.3.15	汽车信号灯控制系统	304
5.3.16	锅炉监控仪	304
5.3.17	微机控制的微型低频扫描信号源	304
5.3.18	产品自动装箱系统	305
5.3.19	微机步进电机控制器	305
5.3.20	计算机控制的智力竞赛抢答器	305
5.3.21	智能出租车计价器	306

第6章 常用电子元器件参考资料

6.1	电阻器和电容器	308
6.1.1	电阻器	308
6.1.2	电容器	311
6.2	半导体分立器件	314
6.2.1	国产半导体分立器件型号命名法	314
6.2.2	半导体二极管	315
6.2.3	半导体三极管	319
6.2.4	几种晶闸管的主要参数	322
6.3	半导体集成电路	322
6.3.1	国产半导体集成电路命名方法	322
6.3.2	模拟集成电路	323
6.3.3	数字集成电路	342
6.3.4	A/D 和 D/A 转换器	376
6.3.5	集成定时器	379
6.3.6	集成存储器	380
6.3.7	CMOS 模拟开关	381
主要参考文献		382

第 1 章 电子技术课程设计基础

“电子技术课程设计”是电子技术课程的实践性教学环节,是对学生学习电子技术的综合性训练,这种训练是通过学生独立进行某一课题的设计、安装和调试来完成的。然而,要完成一个课题将涉及到许多方面的知识,既要涉及到许多理论知识(设计原理与方法),还要涉及到许多实际知识与技能(安装、调试与测量技术)。本章将把电子技术课程设计所涉及到的主要基础知识作一全面的介绍,以帮助学生解决入门之难。

1.1 概 论

1.1.1 课程设计的目的与要求

实验课、课程设计和毕业设计是大学阶段既相互联系又互有区别的三大实践性教学环节。实验课着眼于通过实验验证课程的基本理论,并培养学生的初步实验技能。而课程设计则是针对某一门课程的要求,对学生进行综合性训练,培养学生运用课程中所学到的理论与实践紧密结合,独立地解决实际问题。毕业设计虽然也是一种综合性训练,但它不是针对某一门课程,而是针对本专业的要求所进行的更为全面的综合训练。

电子技术课程设计应达到如下基本要求:

- (1) 综合运用电子技术课程中所学到的理论知识去独立完成一个设计课题。
- (2) 通过查阅手册和文献资料,培养学生独立分析和解决实际问题的能力。
- (3) 进一步熟悉常用电子器件的类型和特性,并掌握合理选用的原则。
- (4) 学会电子电路的安装与调试技能。
- (5) 进一步熟悉电子仪器的正确使用方法。
- (6) 学会撰写课程设计总结报告。
- (7) 培养严肃认真的工作作风和严谨的科学态度。

1.1.2 课程设计的教学过程

课程设计是在教师指导下,通过学生独立完成课题来达到对学生的综合性训练。本书通过大量的调研和多年的课程设计教学实践,列举出数十个既有很好的学习价值、又有一定的实用性和先进性的设计课题(详见第2、3、4章),各校教师可根据自己的具体条件(测试设备、元器件、原材料、手册资料,以及指导力量和学生状况等),从中选择若干个课题予以公布,然后再让学生根据自身情况自由选择其中的某一个课题。当然,对少数学习成绩特别优秀的学生,在实验室条件允许的情况下也可选择非公布的课题。在每个学生的选题已确定以后,就可开始进行课程设计了。

课程设计大体可分成以下三个阶段：

1. 设计与计算阶段（也称预设计阶段）

学生根据所选课题的任务、要求和条件进行总体方案的设计，通过论证与选择，确定总体方案。此后是对方案中单元电路进行选择和设计计算，包括元器件的选用和电路参数的计算。最后画出总体电路图（原理图和布线图）。此阶段约占课程设计总学时的 30%。

2. 安装与调试阶段

预设计经指导教师审查通过后，学生即可向实验室领取所需元器件等材料，并在实验箱上或试验板上组装电路。此后是运用测试仪表进行电路调试，排除电路故障，调整元器件，修改电路，使之达到设计指标要求。

此阶段往往是课程设计的重点与难点所在，所需时间约占总学时的 50%。

3. 撰写总结报告阶段

总结报告是学生对课程设计全过程的系统总结。学生应按规定的格式编写设计说明书。说明书的主要内容有：

- ① 课题名称。
 - ② 设计任务和要求。
 - ③ 方案选择与论证。
 - ④ 方案的原理框图，总体电路图、布线图，以及它们的说明；单元电路设计与计算说明；元器件选择和电路参数计算的说明等。
 - ⑤ 电路调试。对调试中出现的问题进行分析，并说明解决的措施；测试、记录、整理与结果分析。
 - ⑥ 收获体会、存在问题和进一步的改进意见等。
- 课程设计结束后，教师将根据以下几方面来评定成绩：
- ① 设计方案的正确性与合理性。
 - ② 实验动手能力（安装工艺水平、调试中分析解决问题的能力，以及创新精神等）。
 - ③ 总结报告。
 - ④ 答辩情况（课题的论述和回答问题的情况）。
 - ⑤ 设计过程中的学习态度、工作作风和科学精神。

1.2 电子电路设计的一般方法与步骤

在“电子技术基础”教材中，通常只介绍单元电路的设计。然而，一个实用的电子电路通常是由若干个单元电路组成的。因此，一个电子电路的设计不仅包括单元电路的设计，还包括总体电路的系统设计（总体电路由哪些单元电路构成，以及单元电路之间如何连接等）。随着电子技术的发展，各种通用和专用的模拟和数字集成块大量涌现，所以单元电路一般不再需要进行设计，而只需要正确选用集成块就可以了。因此，电子电路的系统设计就显得越来越重要。不过从教学训练角度出发，课程设计仍应保留一定的单元电路的内容。

众所周知，电子电路包括模拟电路和数字电路两部分，虽然两者的设计方法有所不同（尤

其是单元电路的设计),但总体电路的设计步骤是基本相同的。所以,本节将主要阐述电子电路的一般设计方法与步骤,至于模拟电子电路和数字电子电路的具体设计将在第2、3两章中专门介绍。

电子电路的一般设计方法与步骤包括:总体方案的设计与选择、单元电路的选择与设计、单元电路间的连接方法、绘制总体电路草图、关键电路试验、最后绘制正式的总体电路图等设计环节。下面将对设计的各个环节予以具体介绍。

1.2.1 总体方案的设计与选择

一、方案原理的构思

1. 提出原理方案

一个比较复杂的课题往往需要进行方案原理的构思,也就是用什么原理来实现课题的要求。因此,应对课题的任务、要求和条件进行仔细的分析与研究,找出其关键问题是什么,然后根据此关键问题提出实现的原理与方法,并画出其原理框图(即提出原理方案)。

提出原理方案是一个关系到设计全局的问题,应广泛收集与查阅有关资料,广开思路,开动脑筋,利用已有的各种理论知识,提出尽可能多的方案,以便作出更合理的选择。所提出的方案中,对关键部分的可行性,一般应通过试验加以确认。下面将通过两个实例加以说明。

例 1-1 “数显式交流有功电子电能表”的设计

其关键问题是有功电能的计量,而电能的数字显示则是比较成熟且易解决的问题,故不是本课题的关键问题。有功电能 Q 可通过下式计算:

$$Q = Pt = \left(\frac{1}{T} \int_0^T v i dt \right) \cdot t$$

其中, P 为有功功率; t 为时间, v 、 i 分别为电压、电流瞬时值。

实现上式的关键是瞬时功率 $p=vi$ 的计量。常用的方案有两个:① v 、 i 信号通过模拟乘法器得到 p ;②通过微处理器系统对 v 、 i 信号进行数字化采样和经微处理器运算得到 p 。由此可得到如下两种电能计量方案:

(1) 模拟乘法器方案(图 1-2-1)

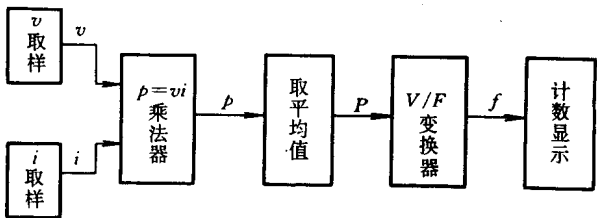


图 1-2-1 电能测量方案之一——模拟乘法器方案

由电压、电流取样电路可得到 v 、 i 信号,经模拟乘法器得到 $p=vi$ 。通过平均值电路(积分器)得到有功功率 $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$,再经 V/F 变换把有功功率 P 转换成频率信号 f ,然后对频率信号的脉冲进行计数,所得结果即为要计量的有功电能。

(2) 微处理器方案(图 1-2-2)

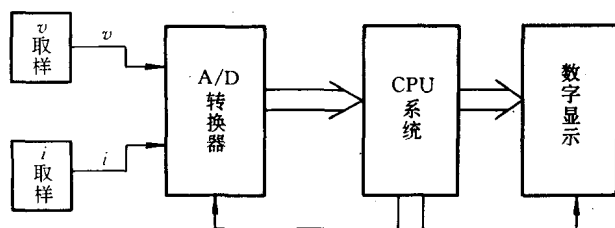


图 1-2-2 电能测量方案之二——微处理器方案

由电压、电流取样电路得到 v 、 i 信号，经模/数转换器 (A/D) 将其分别变换成数字量送入微处理器系统，通过软件计算（乘法程序和取平均值程序）得到有功电能，然后输出显示。

例 1-2 “数显式大电容测量电路”的设计

该课题的关键是大电容数值的测量。换句话说，要设计一种电路其输出与电容量成正比。至于数显问题不是主要问题。

下面列出两种测量电容的原理方案。①使测量电路的输出幅值 V_{om} 正比于电容量 C_x ，然后测出幅度。②使测量电路的输出脉冲宽度（或周期） T_x 正比于电容量 C_x ，然后测出脉宽。具体方案介绍如下：

(1) $V_{om} \propto C_x$ 的方案

我们知道，由运放构成的微分电路（由被测电容 C_x 构成），其输出幅值的表达式为

$$V_{om} = RC_x \frac{dv_i}{dt}$$

若 $\frac{dv_i}{dt}$ 为常数，便可得到 $V_{om} \propto C_x$ 。显然，只要 v_i 随时间作线性变化（如 v_i 采用三角波），则 $\frac{dv_i}{dt}$ 为常数。该方案的原理框图如图 1-2-3 所示。

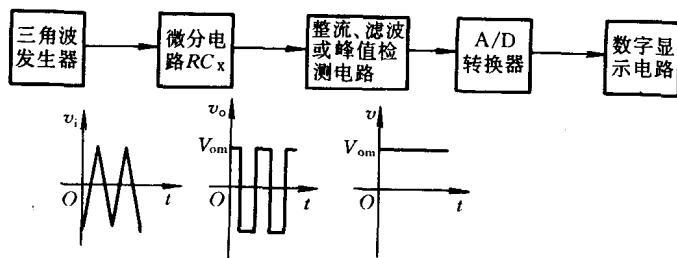


图 1-2-3 大电容测量方案之一—— $V_{om} \propto C_x$ 方案

关键部分确定下来后，接下来是峰值电压 V_{om} 的检测、模/数转换，以及数字显示等环节。

(2) $T_x \propto C_x$ 的方案

实现 $T_x \propto C_x$ 的方案很多，可以由 C_x 构成的单稳态电路（输出脉冲宽度 $T_x = RC_x \ln 3$ ），也可以由 C_x 构成的方波发生器（其振荡周期 $T_x = 2R_1 C_x \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_3} \right)$ ，见参考文献 [5]），或者是由其他的电容充放电电路构成。具体选用哪种电路较好，应作仔细比较。 $T_x \propto C_x$ 方案如图 1-

2-4 所示。

由 C_x 构成的单稳态电路(或方波发生器)确定下来后,接下来就是测量时间 T_x 和进行数字显示的问题。时基脉冲发生器将时基脉冲(周期为 t_b)送给与门,与门的开通时间由脉宽 T_x 来控制,因此,与门输出脉冲数 $N = \frac{T_x}{t_b}$,对此脉冲数目进行计数和译码显示,便可得到被测电容的容量 C_x 。

2. 原理方案的比较与选择

原理方案提出后,还必须对所提出的几种方案进行分析比较。然而,在详细的总体方案尚未完成之前,只能就原理方案的简单与复杂,方案实现的难易程度进行分析比较,并作出初步的选择。如果有两种方案难以敲定,那么可对两种方案都进行后续阶段设计,直至得出两种方案的总体电路图,然后就性能、成本、体积等方面进行分析比较,才能最后确定下来。

提出和选择一个令人满意的设计方案,不是一件容易的事,常常需要在整个设计的各个阶段进行分析比较。例如,原理方案比较,总体方案比较、单元电路比较,以及总体电路比较。中间出现一些反复也是难免的,但应尽量避免大的反复。

以下对例 1-1 和例 1-2 的原理方案进行比较与选择。

(1) 对例 1-1 的两个原理方案(图 1-2-1 和图 1-2-2)进行选择。

两个方案从原理上说都是可行的,若仅就此作出选择是困难的,必须进一步把详细方案做完后再进行比较。如果课题还有其他多种要求,则采用微处理器方案比较好,因为借助于软件的强大功能,很容易满足课题的各种要求。若用乘法器方案实现这些要求,则必须增加许多硬件电路。当然,从教学角度上说,两者均可选用。对于尚未学过微处理器的学生来说,选图 1-2-1 方案是合适的。

(2) 对例 1-2 的两个原理方案(图 1-2-3 和 1-2-4)进行选择。

这两个方案的差异比较明显,图 1-2-3 方案要复杂些,且由于采用了 A/D 转换器,实现起来要困难些,而且成本比较高。故初选图 1-2-4 方案比较合适。

二、总体方案的确定

原理方案选定以后,便可着手进行总体方案的确定,顾名思义,原理方案只着眼于方案的原理,不涉及方案的许多细节,因此,原理方案框图中的每个框图也只是原理性的、粗略的,它可能由一个单元电路构成,亦可能由许多单元电路构成。为了把总体方案确定下来,必须把每一个框图进一步分解成若干个小框,每个小框为一个较简单的单元电路。当然,每个框图不宜分得太细,亦不宜分得太粗,太细对选择不同的单元电路或器件带来不利,并使单元电路之间的相互连接复杂化;但太粗将使单元电路本身功能过于复杂,不好进行设计或选择。总之,应从单元电路和单元之间连接的设计与选择出发,恰当地分解框图。

例如:图 1-2-1 和图 1-2-4 方案中的计数显示原理方框可分解成图 1-2-5 所示的框图。

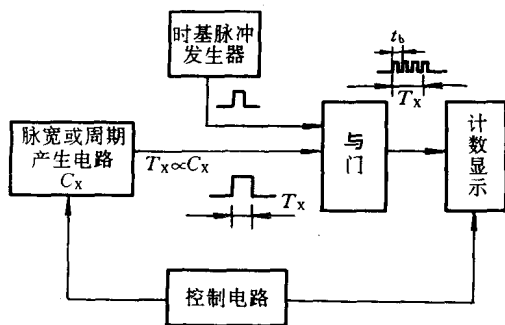


图 1-2-4 大电容测量方案之二
—— $T_x \propto C_x$ 方案

对每个原理方框分解后,并画出总的框图,这就是所要设计的总体方案图。画总体方案图时应注意:①每一个方框具有一个独立的单元功能,且用文字写于框中。

②方框的排列应按信息流向布置,一般从左至右,或从上到下布置。

③应清晰地画出数据信息与控制信息的流动方向(用箭头线),成组的数据信息用 $\Rightarrow$ 表示,控制信息或单个的数据信息用 $\rightarrow$ 表示。④总体方案图应画在一张纸上,以便阅图。

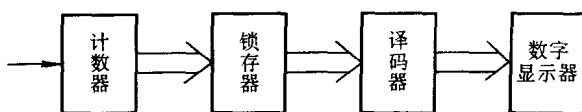


图 1-2-5 计数显示框的分解

值得指出的是,随着大规模集成芯片的大量问世,单个芯片的功能越来越强,这使得原理框图的分解可以粗一些,因而总体方案可更简单可靠些。但是,不能盲目追求选用这些芯片,必须考虑这些芯片在市场上是否容易买到(或实验室是否有),以及它的价格如何。否则,再好的总体方案亦会落空,难以实现。

1.2.2 单元电路的设计与选择

总体方案确定以后,便可进行单元电路的选择与设计。单元电路的选择与设计主要包括电路结构形式的选择与设计、元器件的选择和电路参数计算等环节。

一、单元电路结构形式的选择与设计

按已确定的总体方案框图,对图中各功能框分别设计或选择出满足其要求的单元电路。因此,必须根据整个课题的技术要求,明确该功能框对单元电路的技术要求,必要时应详细拟定出单元电路的性能指标,然后进行单元电路结构形式的选择或设计。为了方便设计,本书第2、3、4章分别列出许多常用的、典型的单元电路,以供参考。对于未列出的单元电路,设计者可从其他的文献资料中选取,或者选取与要求相近的电路加以适当改进,或者运用已学过的电子技术设计知识进行设计。

满足功能框要求的单元电路可能不止一个,因此必须进行分析比较,择优选择。

例如,图1-2-4方案中脉宽或周期产生电路框,可选用单稳态电路(图1-2-6)或控制电容充放电的电路(图1-2-7)。由555构成的单稳态电路(图1-2-6),其输出脉冲宽度 $T_x = RC_x \ln 3$,可实现 $T_x \propto C_x$ 。图1-2-7电路是采用控制电容充放电来产生 T_x 脉冲的,此电路由充放电开关

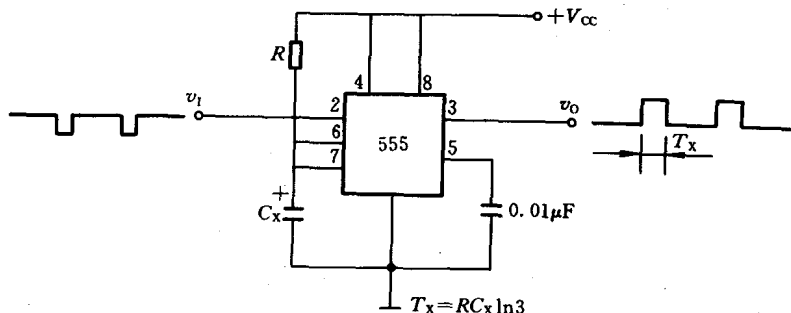


图 1-2-6 由 555 构成的单稳电路产生 T_x 脉冲

(反相器和三极管等组成)、 RC_x 电路、比较器(运放构成)以及 T_x 脉冲形成电路(与门)等组成。图中二极管 D_1 的作用,是使反相器输出的高电平值不受三极管导通的影响。 D_1 应当是锗开

关二极管。二极管 D_2 的作用是提高三极管截止时的 v_b 电压值，以保证 v_i 为高电平时三极管可靠截止。 D_2 应当是硅开关二极管。

图 1-2-7 电路的工作原理如下：当 v_i 由低电平变为高电平时，三极管由导通变为截止，电源 V_{CC} 通过 R 对 C_X 充电， v_c 逐渐上升，当 $v_c \geq V_{REF}$ 时 ($t = T_X$)，比较器输出电压 v_d 由高变为低，在 T_X 时间内与门打开 (v_o 与 v_d 均为高电平)，于是与门输出一个 T_X 脉冲。当 v_i 由高电平变为低电平时，三极管由截止变为导通， C_X 通过三极管放电， v_c 迅速下降，当 $v_c \leq V_{REF}$ 时，比较器输出高电平。于是，电路完成一个 T_X 脉冲的产生过程。电路的工作波形如图 1-2-7 (b) 所示。

求出电容 C_X 充电到 V_{REF} 的时间，即为脉宽 T_X ：

$$T_X = RC_X \ln \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{V_{CC} - V_{REF}} \quad (1-2)$$

其中 $V_{CE(sat)}$ 为三极管的饱和压降。

若取 $V_{REF} = \frac{1}{2} (V_{CC} + V_{CE(sat)})$

则 $T_X = RC_X \ln 2 \quad (1-3)$

可见， T_X 和 C_X 成正比。

比较两种产生 T_X 脉冲的电路 (图 1-2-6 和图 1-2-7)。初看起来，似乎图 1-2-6 电路要简单

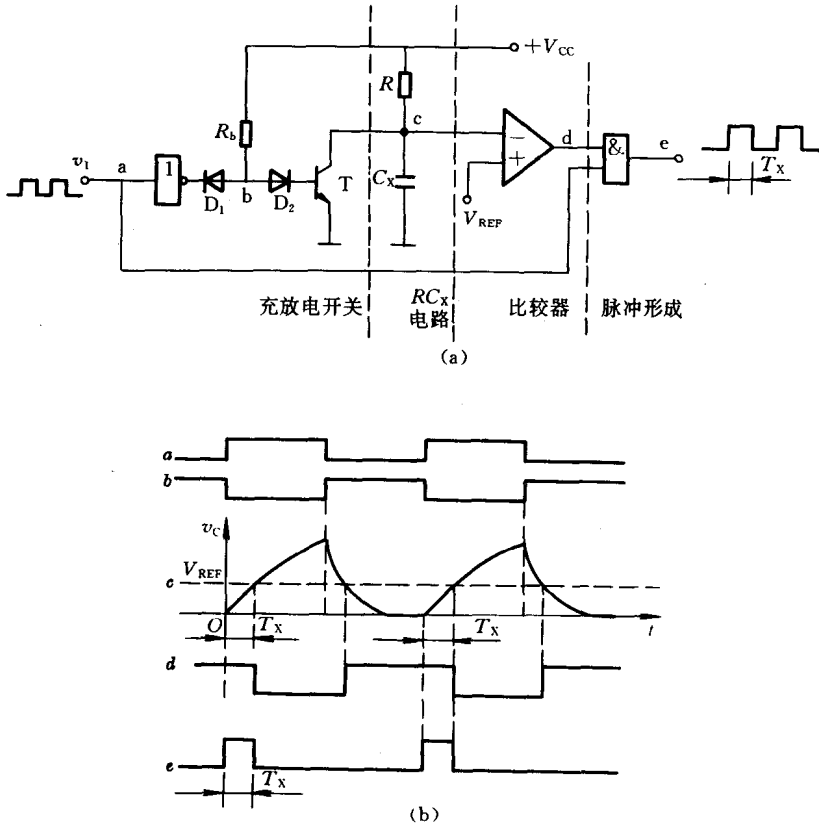


图 1-2-7 采用控制电容充放电来产生 T_X 脉冲
(a) 电路图 (b) 波形

得多,但是否可行,还要仔细分析课题的技术要求。例如,若要求电容测试的响应时间不超过两秒钟(接上被测电容到显示读数的时间),采用这个电路就有困难。因为要求 $T_x < 2\text{ s}$,则当被测电容量为 $2000\text{ }\mu\text{F}$ 时,根据 $T_x = RC_x \ln 3$,就要求 $R < 910\text{ }\Omega$,然而,对555电路,一般要求 $R > 1\text{ k}\Omega$,否则,随着 R 的减小,单稳态电路所产生的时间误差明显增大,再加上由555构成的单稳电路本身所产生的时间误差就比较大(可能达到5%)、因此,总的时间误差就会更大。

然而,图1-2-7电路就不存在此问题,此电路中的 R 可以取比较小的阻值。若取 $R = 100\Omega$,当被测电容 $C_x = 2000\text{ }\mu\text{F}$ 时,则 $T_x = RC_x \ln 2 = 0.138\text{ s}$,它比两秒小得多,可满足题中对响应时间的要求。因此,应选择图1-2-7电路为 T_x 脉冲产生电路。当然,此电路亦存在一些不足之处,如 T_x 与三极管的饱和压降 $V_{\text{CE(sat)}}$ 有关,进一步改进可参考文献[9]第58页。

二、元器件的选择

1. 元器件选择的一般原则

元器件的品种规格十分繁多,性能、价格和体积各异,而且新产品不断涌现,这就需要我们经常关心元器件信息和新动向,多查阅器件手册和有关的科技资料,尤其要熟悉一些常用的元器件型号、性能和价格,这对单元电路和总体电路设计极为有利。选择什么样的元器件最合适,需要进行分析比较。毫无疑问,首先应考虑满足单元电路对元器件性能指标的要求,其次是考虑价格、货源和元器件体积等方面的要求。顺便指出,元器件的选择,不仅在单元电路设计中十分重要,而且在总体方案设计与选择中,亦是常常要考虑的问题。

当然,作为课程教学设计环节,实验室不可能配备多种多样的元器件,只能配备一些常用的、品种规格有限的元器件。因此,我们应当尽量选用实验室已有的元器件,除非必要才到市场上去购买。

2. 集成电路与分立元件电路的选择问题

随着微电子技术的飞速发展,各种集成电路大量涌现,集成电路的应用越来越广泛,优先选用集成电路这已是大家一致的认识。今天,一块集成电路常常就是一个具有一定功能的单元电路,它的性能、体积、成本、安装调试和维修等方面一般都优于由分立元件构成的单元电路。因此,单元电路的设计就如同“点菜谱”那样(尤其是数字系统),再也没有必要花大量的时间和精力去设计由分立元件构成的单元电路。这将大大简化单元电路的设计,大大提高电子电路设计的效率。例如,设计与制作一个直流稳压电路,采用分立元件电路至少得花几天时间,而采用集成三端稳压器只是轻而易举的事,而且后者的性能、体积、成本均比前者优越。

优先选用集成电路不等于什么场合都一定要用集成电路。在某些特殊情况,如:在高频、宽频带、高电压、大电流等场合,集成电路往往还不能适应,有时仍需采用分立元件。另外,对一些功能十分简单的电路,往往只需一只三极管或一只二极管就能解决问题,就不必选用集成电路,因为采用集成电路反而使电路复杂化,而且导致成本增加。

3. 怎样选择集成电路

(1) 集成电路产品简介

集成电路的品种很多,总的可分为模拟集成电路、数字集成电路和模数混合集成电路等三大类。按功能分,模拟集成电路有:集成运算放大器、比较器、模拟乘法器、集成功率放大器、集成稳压器、集成函数发生器以及其他专用模拟集成电路等;数字集成电路有:集成门、驱动器、译码器/编码器、数据选择器、触发器、寄存器、计数器、存储器、微处理器、可编程器件