

电 子 技 术 基 础

课 程 设 计 指 导

任为民 主编

中央广播电视大学出版社

电子技术基础课程设计指导

任为民 主编

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

一二〇一工厂印装

开本 787×1092 1/16 印张19.5 千字480

1986年3月第1版1986年5月第1次印刷

印数1—46,000

书号:15300·36 定价:3.20元

前 言

本书是根据中央广播电视大学理工科教学大纲编写的电子技术基础课程设计辅导教材。全书共三篇：第一篇介绍“模拟电路”和“数字电路”的设计要求、设计方法以及安装、调试等预备知识；第二篇选编了十二个典型题目作为设计举例，介绍具体电路装置的设计过程和方法；第三篇附录了常用的电子元器件和仪器设备等参考资料。本书可作为电视大学电类专业开展电子技术基础课程设计的教学用书，也可供其他工科院校有关专业和工程技术人员进行电子线路设计时参考。

为了编写本书，我们在近年来教学实践的基础上，认真学习了各地电大和部分理工院校开展课程设计的经验，听取了多方教师和学生的意见，力求使书中内容适合电视大学的教学特点和需要。

书中的预备知识部分除去概要讲解课程设计的目的、要求和教学方法之外，重点对电子技术基础课中的基本知识作了复习和总结，并较详细地讲解了电子线路的工程设计方法，有些部分还给出典型电路设计中常用的计算公式，这将有利于学生尽快掌握课程设计的要求和做法。考虑到目前有些电大班级的实验条件有限，书中在介绍安装调试知识时，尽量采用简单的实验设备和实验方法。例如，书中列举的全部课题均能在ELB—1型“电子线路课程设计实验箱”中进行。此外还介绍了一些简易实验工具和制作方法，即使在条件较差的地方，学生仍能完成课程设计任务。

书中的课题举例是从近年来全国各地电大课程设计题目中精选出来的。十二个题目分别取材于中央电大、北京电大、安徽电大、贵州电大、广西电大、湖南电大等学校。这些课题内容符合教学要求，有利于对学生的全面训练，并且都经过教学实践，师生反映效果较好。每个题目均请直接参加有关教学工作的教师亲自编写，详细介绍了电路原理、设计步骤、计算方法、调试过程以及所用的仪器和参考文献。学生可以参考这些题目另拟课题，也可以从中选择一个合适的课题进行设计，这对缺少辅导力量的班级或学校无疑是有帮助的。

考虑到边远省区的学生购买和查阅手册、资料的困难，本书编辑了参考资料。该资料力图较全面地收集、摘录国内外电子元件、常用的晶体管、集成电路的规格、型号、性能指标以及使用方法等。还简要介绍了常用实验仪器和设备的工作原理以及正确的使用方法等。这将为学生在课程设计中查阅资料提供方便。

本书在编写过程中得到了各地电大教师和学生的大力支持。许多同志积极推荐设计课题，寄来课程设计参考资料，并来信热情帮助和鼓励，这些都为本书的尽快编成提供了极好的条件。只是由于篇幅所限，书中只能取材于部分电大的实践成果。本书第一章至第五章由任为民编写；第六章、第七章的课题举例分别由张光道、魏春珍、蒋定举、张宝善、武建新、冼天为、胡慧、许光平、宁晨等同志编写；第八章至第十章参考资料由沈雅芬同志收集整理；任为民同志担任主编。中央电大电子学教研室张金山同志对全书作了认真的审阅。该课主讲教师、清华大学自动化系电子学教研室余孟尝、杨素行老师对本书的编写工作给予了热情的支持和指导，全书的原稿请两位同志进行了审阅和修改。本书所用的ELB—1型“电子线路课

程设计实验箱”请江苏常熟数字技术实验设备厂制作了样机并提供了多方的帮助。在此一并致以诚挚的感谢。

编者 1985.9

目 录

第一篇 预备知识

第一章 绪 论	(1)
第一节 课程设计的目的和要求	(1)
第二节 课程设计的内容和安排	(2)
第三节 课程设计的教学方法	(4)
第二章 模拟电路设计的基本知识	(6)
第一节 模拟电路设计的主要任务	(6)
第二节 单级放大电路的分析与元件参数的计算	(8)
第三节 多级电压放大电路的设计原则	(20)
第四节 低频功率放大器的设计原则	(34)
第三章 数字电路设计的基本知识	(44)
第一节 数字电路设计的主要任务	(44)
第二节 组合逻辑电路的设计方法	(46)
第三节 时序逻辑电路的设计方法	(54)
第四节 数字系统的设计方法	(61)
第五节 MOS 集成电路使用的注意事项	(63)
第四章 电子线路的安装与焊接技术	(67)
第一节 电子装置的布局原则	(67)
第二节 印刷电路板的制作	(71)
第三节 焊接技术	(72)
第五章 电子线路的测量与调试方法	(75)
第一节 电子测量的特点与测量误差	(75)
第二节 晶体管特性的测量	(78)
第三节 电压和频率的测量	(82)
第四节 电子线路的一般调试方法	(84)

第二篇 课题举例

第六章 模拟电路设计题目举例	(86)
课题一 对讲机放大电路的设计	(86)
课题二 晶体管直流参数测试仪的设计	(93)
课题三 音调控制电路的设计	(106)
课题四 音频信号发生器的设计	(124)
课题五 OCL 功率放大器的设计	(135)

课题六 串联型稳压电源的设计.....	(148)
第七章 数字电路设计题目举例.....	(163)
课题一 一种实用编码器的设计	
——野战光缆通信线路编码器.....	(163)
课题二 机床自动进给数控装置的设计.....	(172)
课题三 简易数字频率计的设计.....	(182)
课题四 数字钟的设计.....	(191)
课题五 交通信号灯控制电路的设计.....	(204)
课题六 逐次渐近型A/D转换器的设计.....	(213)

第三篇 参 考 资 料

第八章 常用电阻器、电容器.....	(232)
第一节 电阻器、电位器.....	(232)
第二节 电容器.....	(236)
第九章 常用二极管、三极管、集成电路.....	(242)
第一节 半导体二极管.....	(242)
第二节 半导体三极管.....	(253)
第三节 半导体集成电路.....	(263)
第十章 常用仪器设备.....	(283)
第一节 JT—1 型晶体管特性图示仪.....	(283)
第二节 SR—8 双踪示波器.....	(288)
第三节 XD—2型正弦波信号发生器.....	(292)
第四节 E312 型电子计数式频率计	(294)
第五节 BS1 型失真度测量仪.....	(297)
第六节 逻辑笔.....	(300)
第七节 ELB—1 型电子线路课程设计实验箱.....	(301)

第一篇 预备知识

第一章 绪 论

课程设计是电子技术基础课不可缺少的重要教学环节。本章简要介绍模拟电路和数字电路课程设计的目的要求、教学内容和教学方法,以便帮助大家對课程设计有个粗略的了解,更好地开展课程设计。

第一节 课程设计的目的和要求

一、什么是课程设计

学习了电子技术基础课程之后,专门安排一段时间让学生运用本课所学知识,进行实际电子线路的设计、装接和调试工作。学生通过完成一个课题的理论设计和实验调试任务,既可加深电路基础知识的理解,又能培养电路的实践技能,提高他们分析解决实际问题的能力。这种针对某一门课程进行的综合训练,我们通常把它叫作课程设计。

从任务性质来看,课程设计和平时作习题是有区别的。作习题的目的主要是为了加深对课上讲解知识的理解,它的题目内容较窄,训练目的单一,而且多是经过抽象、加工后,给出理想化的条件,只要掌握了基本理论知识和分析、设计方法,不难得到标准答案。可是课程设计任务多是实际的“模拟”或者“数字”电路装置,它涉及的知识面广,需要综合运用本课的知识;它一般没有固定的答案,需要从实际出发,通过调查研究,查寻资料,方案比较以及设计计算等环节,得出较好的设计方案;更重要的是,它不能停留在理论设计和书面答案上,还需要做出符合设计要求的实际电路。这就要求通过实验调试,使理论设计逐步完善,使之达到实际要求。

课程设计也不同于一般的基础实验。因为基础实验的着眼点是放在验证基本理论和电路性能上,学生通过这样的实验只能初步了解电路实验的步骤和基本方法,熟悉常用仪器设备的使用方法,却很难有条件训练学生动手解决电路问题的能力。而课程设计正是为学生创造一个动脑又动手,独立开展电路实验的机会。他们可以运用实验手段检验理论设计中的问题所在,又可运用学过的知识,指导电路调试工作,使电路更加完善,从而使理论和实际有机的结合起来,锻炼分析解决电路问题的实际本领,真正实现由知识向智能的转化。通过这种综合训练,学生可以初步掌握电路设计的基本方法,也能够提高动手组织实验的基本技能,为以后进行毕业设计打下良好的基础。

当然,课程设计也不同于毕业设计。毕业设计是培养工科学生的最后一个教学环节,它要求学生综合运用基础课,技术基础课和专业课的知识,去解决工程实际问题,完成工程技术人员必须具有的基本能力的训练。可见,无论从题目的广度和深度上,毕业设计比课程设

计要难得多。而课程设计只是围绕一门课程内容所做的综合练习,题目虽出自实际电路,但比较简单,比较定型,一般不是真实的生产、科研任务。所以学生基本上还是有章可循,完成起来并不困难。这里的着眼点是让学生开始从理论学习的轨道上逐渐引向实际方面来,把过去熟悉的定性分析、定量计算方法逐步和工程估算,实验调整等手段结合起来,逐步掌握工程设计的步骤和方法,了解科学实验的程序和实施办法。这对今后从事技术工作无疑是个启蒙训练。

二、课程设计的条件和要求

1. 开展课程设计的条件

电子线路课程设计是理论和实践紧密结合的教学实践,安排这一教学环节必须具备以下条件:

(1) 学生应当学过模拟电路和数字电路课程,初步掌握电子线路的基本理论知识和单元电路的分析方法和设计方法。

(2) 辅导教师应当熟悉电子线路理论,还要有一定的实践经验。并且要亲自作过所选课题的设计和实验调试工作,掌握设计的重点和难点。

(3) 应当备有完成设计、调试工作的基本实验条件。

2. 完成课程设计应当达到的要求

上述这些因素,只是进行课程设计的客观条件,要组织好这一教学实践,使参加设计的同学有较大的收获,尚需在教师指导下,由学生自己努力争取。从课程设计的基本目的出发,应当通过设计的各个环节,使学生达到以下几点要求:

(1) 巩固和加深对电子线路基本知识的理解,提高学生综合运用本课程所学知识的能力。

(2) 培养学生根据课题需要选学参考书籍,查阅手册、图表和文献资料的自学能力。通过独立思考,深入钻研有关问题,学会自己分析解决问题的方法。

(3) 通过实际电路方案的分析比较,设计计算,元件选取,安装调试等环节,初步掌握简单实用电路的分析方法和工程设计方法。

(4) 掌握常用仪器设备的正确使用方法,学会简单电路的实验调试和整机指标测试方法,提高学生的动手能力。能在教师指导下,完成课题任务。

(5) 了解与课题有关的电子线路以及元器件工程技术规范,能按课程设计任务书的要求编写设计说明书,能正确反映设计和实验成果,能正确绘制电路图。

(6) 培养严肃认真的工作作风和科学态度。通过课程设计实践,帮助学生逐步建立正确的生产观点,经济观点和全局观点。

第二节 课程设计的内容和安排

一、课程设计题目的选择

1. 选题原则

课程设计题目选择得是否合适,直接关系到它的教学效果。必须认真而又慎重选择好课程设计的具体任务。一般来讲应当照顾到以下几个方面:

(1) 题目首先要符合教学要求,使学生能够运用本课所学的基本知识,进行基本技能方面的训练。

(2) 题目的主要内容应当是学生在模拟电路和数字电路课中学过的知识。如果有些知识需要深化或扩展,应在设计过程中补充讲解,并且使学生能够理解和接受。

(3) 题目不宜过大。课题指标可从学生实际出发,做到难易适中,或因人而异,让不同程度的学生经过努力能够完成任务,有所收获。

(4) 题目内容应当尽可能反映电子技术的新水平,并且具有一定实用价值。通过设计实践,不仅可以帮助学生熟悉新型电路和器件,而且成果实用,有利于激发学生设计的兴趣和热情。

2. 题目类型

按照上述基本原则,我们在本书第二篇中选编了全国各地电大近年来选作的十二个课程设计题目。其中模拟电路课题六个,数字电路课题六个。大体有三种类型:

(1) 简单电子线路实验仪器:如简单晶体管直流参数测试仪,简单音频信号发生器,简单数字频率计,直流稳压电源等。

(2) 实用的电子线路:如音调控制电路,OCL功率放大器,简单数控电路,逐次渐近型A/D转换器。

(3) 简单电子装置:对讲机,数字钟,交通管理控制器,编码器。

以上这些题目类型,只是作为举例予以介绍,以供大家参考,希望能启发大家的思路,从实际出发,创造或选择更多更好的课题,不断提高课程设计的水平。

二、课程设计的安排和组织工作

1. 教学安排

根据目前中央广播电视大学和普通理工科院校的教学计划要求,课程设计一般安排60学时。可以每周安排3学时,在一个学期内完成;也可以适当集中,每周安排6学时以上,在一至二个月内完成,这要视具体条件而定。不过在实验调试阶段,最好把学时安排得适当集中一些,以便于学生开展实验活动。

具体课程设计,通常分为以下三个阶段:

第一、设计计算阶段(约占总学时的30%)

教师向学生布置设计任务书,规定设计技术指标和其它要求。课程设计任务书应写明:

① 题目,② 主要技术指标和要求,③ 给定条件及原始数据,④ 所用仪器设备,⑤ 参考文献。

教师讲授必要的电路原理和设计方法,着重帮助学生明确任务,掌握工程设计的基本方法。其余时间,主要是学生自学。为了增加学生感性认识,启发设计思路,还可以组织一些专业性的调研或参观活动。以便帮助同学选择设计方案。选定设计方案后,开始进行设计计算,完成预设计。

在设计计算过程中,应当重点帮助学生掌握好工程估算的方法。主要是运用课上学过的分析、计算电路的方法计算单元电路。但是,由于电路工作条件不同,加之元器件的离散性,以及分布参数的影响等因素,经常采用一些近似计算方法或工程估计的公式,需要让学生在设计时逐步熟悉。计算出的元件参数,又要按元件系列和标称值进行选取。然后按选定的元器件,对电路性能进行核算。满足技术指标要求之后,则可认为预设计完毕。

第二、安装调试阶段(约占总学时的50%)

在预设计方案经教师审查通过之后,即可开始安装调试。先由辅导教师介绍实验设备和仪器的使用方法,实验室工作的注意事项,再在教师指导下,由学生自己动手组装电路,进

行调试实验。运用电子仪表检查、量测电路工作状态。排除电路中的故障，调整元器件、改进电路性能，使之达到设计指标要求。实验结果或做出成品，需经教师验收合格，方可结束实验工作。

实验调试往往是课程设计的重点和难点所在。因此，这一阶段安排时间较长，辅导工作也应加强。因为设计出的电路，由于多种因素的影响，装成实际电路后可能出现各种异常现象或故障，需要在教师的帮助下，让学生按照量测观察、查找原因、调整电路、再做试验的步骤，解决电路问题，逐步修正设计，从而掌握电子线路的一般调试规律，提高实际动手解决电路问题的能力。

第三、总结报告阶段(约占总学时的20%)

学生对设计的全过程作出系统总结报告，按照统一格式写出设计说明书。编写设计说明书，能训练学生编制科技报告或者技术资料的能力，同时也能使设计从理论上进一步得到总结和提高，所以设计说明书必须独立完成。

课程设计说明书应包括的主要内容有：

- ① 设计任务及主要技术指标和要求。
- ② 选定方案的论证以及整机电路的工作原理。
- ③ 单元电路的设计计算，元器件选择，电路图。
- ④ 实际电路性能指标测试结果。其中包括实测记录的整理和分析，注意要用必要的曲线、图表加以说明，还应注明测试方法和仪器型号等；对调试中出现的主要问题也应作出分析，从理论和实践的结合上讲清故障原因及改进措施和效果；并按国家有关标准画出整机电路图，列出元件、器件明细表。
- ⑤ 对设计成果作出评价，说明本设计的特点和存在问题，提出改进设计意见。还可以谈谈通过课程设计的收获和心得体会。

2. 组织工作和考核形式

如何组织课程设计的教学实践，应当根据学生所在班级的辅导力量和实验条件来决定。一般情况下，三十人左右的教学班即可作为课程设计的教学单位。如果全班选择了同一设计题目，则可以共同组织讲课，方案讨论，总结评定等工作。但是实验调试阶段必须分成小组安排实验活动。每个小组人员不宜太多，一般以二至三人为宜。调试中可以相互帮助，共同提高。但是每个学生必须独立地完成自己的设计指标和要求，写出设计说明书。

学生完成课程设计后，教师可以通过设计答辩或经验交流等形式，了解学生设计水平。最后由指导教师根据学生全面表现评定成绩。所谓全面表现，应包括电路基本知识掌握的程度；选定方案及设计计算是否正确；电路装接工艺和动手调试能力；独立分析解决问题的能力；和创新精神；总结报告及答辩水平以及学习态度、科学作风和思想表现等。教师对每个学生作出评语，成绩可按优等、良好、中等、通过和不通过分为五等。

第三节 课程设计的教学方法

一、注重学生能力的培养

从课程设计的目的和要求来看，本教学环节着重是对学生能力的培养。具体来说，应该提高学生的自学能力，独立分析，解决问题的能力以及动手进行电路实验的能力。

为了培养自学能力,对于模拟电路和数字电路课上学过的基本知识,不必重复讲解。只要根据设计任务,提出参考书目,让学生自学就可以了。对于设计中或实验中可能碰到的重点和难点,要通过典型分析和讲解,启发学生的思路,帮助他们掌握自学方法,这样可以达到举一反三的作用。设计中还要教给学生查阅资料,使用工具书的方法,让他们遇到问题时,不是立刻找老师,而是通过独立思考,查阅资料和参考书,自己寻找答案。

要提高独立分析,解决问题的能力,必须放手让学生在设计实践中自己锻炼才行。教师要废弃满堂灌的教学方法,而是引导学生明确设计要求以及实现这些要求的方法。鼓励学生开动脑筋,大胆探索,充分发挥主动性和创造性。在时间安排上,要留有余地,保证学生有时间去钻研问题,能独立地解决实践中的问题。同时,还可通过经验交流,集体讨论等形式,互相启发,集思广益。

要提高动手实验能力,关键是让学生把动手和动脑结合起来。安排课程设计的实验不能再由教师包办代替,而应由学生按照需要自拟实验内容,操作步骤;自选所需仪器,独立测试记录,并对实验结果作出分析和处理。他们自己明确每一步骤的目的,出现问题也就能主动去解决,从而提高动手调试电子线路的能力。这时教师只需负责做好审查、把关的工作,并且帮助学生处理疑难问题。学生从挑选测试元件开始,一直到做出合格的电路全是自己动手完成,打消了依赖性,有利于增长实践本领。

二、对教师的要求

我们强调学生以自学为主,独立完成设计任务,并不是降低教师的作用。相反,对教师提出了更高的要求。

辅导好课程设计比讲理论课要难得多。要求教师不仅懂理论,还要有一定实践经验。只有把理论和实践统一起来,有机地组织到教学环节中去,才能为学生创造出又能动脑、又能动手的新型学习环境。

在课程设计全过程中,安装调试阶段是关键环节。它是理论与实际矛盾的焦点。书本上的结论,由于多种因素影响,在实际中可能发生变化;大量的实际问题有时难于从现成的结论上解释清楚。学生也往往在这一环节上最生疏,最需要教师帮助。所以,要求教师事先都应亲自把选定的课题做一遍,并且把各种极限情况做出实验分析,找出可能出现的各种问题,作好总结。这样在辅导学生时,不仅能掌握住重点、难点,而且能作好启发、引导工作。

在教学方法上,教师既不能包办代替,但也不能撒手不管,任其自流。应注意按学生基础和能力的差别提出不同的要求,辅导时也各有侧重,做到因材施教。对学习基础差的学生,要加强辅导和检查;对学习能力强学生,应适当提出更高的要求,增加些选作内容,让他们充分发挥学习上的潜力。

课程设计是对学生的全面训练,教师应当既教书又教人,使学生业务和思想双丰收。为了培养学生严肃认真的科学作风,要从一点一滴做起,对他们严格要求。虽然是工程计算,但必要的计算要准确无误;尽管是简单工艺,但每一步操作要按规定去做;一根布线,一张图纸,一个元件都应符合标准要求,决不能马虎从事。课程设计虽不是实际的生产任务,但要求学生按真实任务来完成,考虑问题要从我国生产实际和现有条件出发。选择方案,购置元件要坚持勤俭节约的原则,力争少花钱多办事。工作中还引导他们注意遵守纪律,爱护公物,搞好团结协作。使学生通过课程设计既增长了业务能力,又提高了思想觉悟。

第二章 模拟电路设计的基本知识

在《模拟电子技术基础》课中，重点学习了低频电子线路的基本原理和单元电路的分析计算方法。学生运用这些基本知识已经能够看懂典型电子设备的原理图，并能对有关环节的工作原理和性能作定性和定量分析。但是，如果遇到电路设计任务，要求选定方案，设计计算，选取元器件，安装调试，最后作出实际电路来，就会觉得困难而无从下手。为了解决这一问题，本章在模拟电路课所学知识的基础上，着重介绍一些典型电路设计的基本知识，以帮助学生了解电路设计的任务、要求和分析问题的思路，掌握一般的设计原则和工程上常用的方法，培养和提高解决实际电路问题的能力。

第一节 模拟电路设计的主要任务

一、模拟电路装置的组成

随着电子技术的发展，无论是在生产，还是生活中，人们愈来愈多地使用一些电子设备和装置，例如：扩音机、录音机、示波器、正弦波信号发生器、报警器、温控装置等等。这些电子设备都属于模拟电路装置，虽然它们用途是不一样的，但是从工作原理上看，却有共同之处：

首先，它们都需要输入或产生一种连续变化的电信号。这种信号可以由专门的部件把非电的物理量转换为电量，这种部件通常叫作传感器件。例如：话筒、磁头、热敏器件、光敏器件等等；当然也有些设备无需作这种转换，而是直接由探头输入或电路本身产生电信号，例如示波器，信号源等。

第二，它们必须把得到的电信号进行放大或者变换，使信号具有足够大的能量，为实现人们所预期的功能服务。

第三，它们都设置了不同的执行机构，如喇叭、电铃、继电器、示波管、表头等，把传送来的电能转换成其它形式的能量，以完成人们需要的功能。

为了表示模拟电路装置的结构形式，按照器件的工作性质，通常把传感器件和执行机构单独列出，而把放大和变换电信号的部分简称模拟电路。所以一般说典型模拟装置是由三部分组成，即传感器件，模拟电路和执行机构。图2-1-1画出了模拟电路装置的方框图。



图2-1-1 模拟电路装置的方框图

由于模拟电路装置的用途不同，所需的传感器件和执行机构也各不一样。同时这些部件要实现电能和其它形式能量的转换，所涉及的技术知识面很广，它在模拟电路的课程设计任

务中，一般不作为重点来要求。所以，本书对传感器件和执行机构的有关知识和设计方法不作介绍。如果读者在设计题目中需要，请参阅有关书籍或资料，从定型产品中选用。

二、电路设计的主要任务

在上述模拟电路装置里，实现电信号放大和变换的电子线路部分——模拟电路，是我们在课程设计中要研究和讨论的主要内容。

无论是传感器送来的电信号，还是直接输入或电路本身产生的电信号一般都是十分微弱的，往往不能推动执行机构工作，而且有时信号的波形也不符合执行机构的要求。所以对这种信号需要进行放大或者变换，才能保证执行机构正常工作。可见，信号放大和变换电路部分是模拟装置的核心。

模拟电路知识告诉我们，任何复杂的电路，都是由简单的单元电路组合而成的，电信号的放大和变换也是由一些基本功能电路来完成的。所以，要设计一个复杂的电路装置，可以分解成若干具有基本功能的电路，如放大器、振荡器、整流器以及各种波形变换电路等等，然后分别对这些单元电路进行设计。使一个复杂任务，变成简单任务，利用我们学过的知识即可完成。

在各种基本功能电路中，放大器应用得最普遍，也是最基本的电路形式。其它电子线路多是由放大器组合或派生而成的。例如，放大器加了正反馈可以变成振荡器；采用负反馈可以作成恒压源、恒流源；利用储能元件适当联接反馈形式又可成为波形变换器。所以掌握放大器的设计方法是作好电路设计的基础。另外，由于单级放大器性能往往不能满足实际需要，因此，在许多模拟装置中，采用的是多级放大电路。显然多级放大器是模拟电路中的关键部分，它又具有典型性，是课程设计经常要研究的内容。本章将从简单放大器设计计算入手，重点介绍多级放大电路设计方法。

三、电路设计的基本方法

随着生产工艺水平的提高，线性集成电路和各种具有专用功能的新型元器件迅速发展起来，它给电路设计工作带来了很大的变革。许多设备和装置，已渐渐由线性集成块直接组装而成。这种新型电路的设计方法，要求设计者把精力从单元电路设计中转移到整体方案设计上来，必须十分熟悉各种集成电路的性能和指标，应当十分注意新型器件的开发和利用，再凭借基本的设计公式和理论以及工程实践经验，恰当地选取集成元件，经过一定联机实验，即可完成系统设计。电路工程技术人员，应当注重这种训练，积累这方面的经验，以适应电子技术发展的需要。

但是，从我国现有条件来看，集成元件的生产，无论是品种和数量，目前都还不能适应电子技术的发展需求，所以，分立元件的电路还在大量的应用。原始单元电路的设计方法在生产 and 科研中也还普遍需要。而且这种分立元件电路的设计方法，主要是运用基本单元电路的理论和分析方法，比较容易为初学设计者所掌握。另外，它还有助于学生熟悉各种电子器件，掌握电路的设计基本程序和方法，学会布线、焊接、组装电路等基本技能。

为此，在模拟电路设计课题中，我们主要选择了分立元件模拟电路装置的设计，本章也着重讲解分立元件电路的设计方法。当然，为了让学生了解和熟悉集成电路和新型器件的使用方法，本书在设计课题中，也适当选入了线性集成电路和场效应管等新型器件组成的电路装置。

第二节 单级放大电路的分析与元件参数的计算

分析一个给定的电路，它的性能指标是唯一确定的。但是实现某一性能指标的电路，答案可能是多种多样的，即使求得的电路形式一样，其中元器件的参数也可以有很大差别。可见给出指标要求，设计电路的方法灵活性很大，它比分析电路要复杂一些。所以，设计一个十分简单的电路，也没有一个固定的程式和方法，通常是根据给定的条件和技术指标具体确定。

为了帮助学生逐步掌握电路设计的方法，本节从几个单级放大电路的分析入手，讲解电路中元器件参数的设计思路，给出常用的计算公式，为以后多级放大电路的综合设计提供些预备知识。

一、分压式电流负反馈单级放大电路

图2-2-1为分压式电流负反馈单级放大电路，因为射极接有直流反馈电阻 R_e ，可以稳定静态工作点，所以，又称作电流反馈工作点稳定电路。

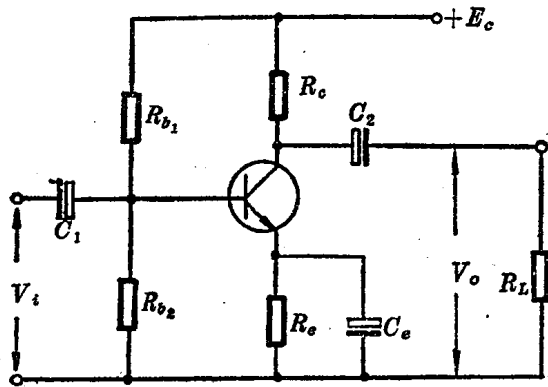


图2-2-1 分压式电流负反馈单级放大电路图

从已学过的电路知识可知，单级放大电路的基本要求是：放大倍数足够大，通频带足够宽，电路温度稳定性好。所以，设计电路时，主要以上述三个指标为主要依据。

例如，已知负载电阻 R_L ，中频电压放大倍数 A_{vm} （或输出电压幅度 V_{om} ），上限频率 f_h ，下限频率 f_l ，输入电阻 r_i ，信号源内阻 R_s 。要求设计此放大电路，确定各元件参数。

1. 选择三极管及其参数

晶体三极管是放大电路的心脏，它对电路的性能指标影响很大，需要认真选择。由于硅晶体管温度稳定性一般比锗管要好得多，目前在多数电子线路中已普遍采用硅管。所以本书在电路介绍和设计中，都以硅管为主。

晶体管选择的原则是：

(1) 根据放大倍数的要求，选择 β 值较大的管子。不过 β 值太大，温度稳定性不好，一般选管时满足：

$$\beta = 50 \sim 100 \quad (2-1)$$

(2) 根据放大器通频带的要求，使管子 β 的截止频率 f_β 要高于上限频率 f_h 。一般取：

$$f_\beta > (2 \sim 3) f_h \quad (2-2)$$

小功率单管放大电路，通常用3DG系列的三极管就能满足要求。

(3) 在大信号RC耦合放大器中，应注意使管子最大反压小于其极限参数，应保证：

$$BV_{CEO} > E_c \quad (2-3)$$

(4) 最大管耗应满足：

$$P_{CM} > (1.5 \sim 2) P_{cm \max} = (1.5 \sim 2) I_{CQ} \cdot \frac{E_c}{2}$$

2. 确定静态工作点，计算集电极电阻 R_c 。

三极管选定后，为确保达到 A_{vm} 的要求，还应选择合适的静态工作点。因为 β 一定，当静态工作电流 $I_E \uparrow$ 时， $r_{be} \downarrow$ ，则 $A_v \uparrow$ 。但工作点的选定又和其他指标(如噪声、动态范围)有关，后面还将根据放大器所处的位置详细介绍静态工作点的要求。这里仅按工作信号的大小，介绍工作点的一般要求和 R_c 的计算方法。

(1) 对于小信号放大电路，一般容易满足动态范围的要求，工作点的选定应兼顾电压放大倍数 A_v 和噪声系数NF的要求。若静态电流 I_E 选定，在 β 较大时 $\frac{\beta}{r_{be}}$ 基本为定值，此时计算 R_c 主要考虑满足中频放大倍数 A_{vm} 的要求。

图2-2-2为工作点稳定电路的交流等效电路，不难求出：

$$|A_{vm}| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{\beta}{r_{be}} R_L'$$

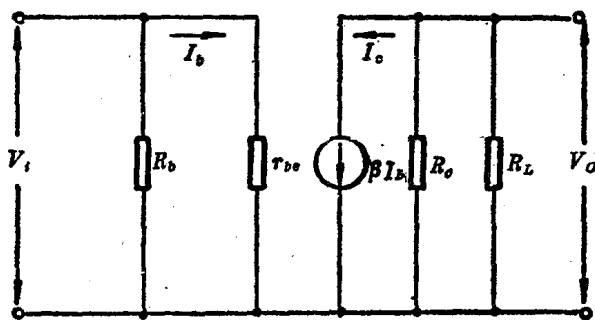


图2-2-2 工作点稳定电路交流等效电路

其中：

$$R_L' = R_c // R_L = \frac{R_c R_L}{R_c + R_L}$$

可求得

$$R_L' = \frac{|A_{vm}| \cdot r_{be}}{\beta} \quad (2-4)$$

所以：

$$R_c = \frac{R_L' \cdot R_L}{R_L - R_L'} \quad (2-5)$$

从式(2-4)和(2-5)可知，适当增大 R_c ，可以提高 $|A_{vm}|$ 的数值。但当增加到 $R_c \gg R_L$ 时， $|A_{vm}|$ 就不再有明显的提高。这时由图2-2-3可知，因为直流负载线斜率随 $R_c \uparrow$ ，而由①变为②。因为 I_b 保持一定，静态工作点Q向左移，甚至由放大区移到接近饱和区，管子 β 值下降， $|A_{vm}|$ 反而会降低。当然若减小 R_c ，①变为③由于直流负反馈作用， I_{CQ} 基本不变，Q点右移，这时 A_{vm} 值也会下降，而且管耗增加。

(2) 在大信号放大电路中，则主要应考虑管子的动态范围，使之满足指标要求。所以计算 R_c 要从满足最大输出电压入手。

图2-2-4是三极管理想输出特性。分别画出电路的直流负载线①和交流负载线②。若要保证动态范围最大，Q点应在交流负载线的中点。即：

$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= I_{CQ} \cdot R_L' \\ \text{又} \quad V_{CEQ} &= (E_C - V_E) - I_{CQ} \cdot R_C \\ V_0 &\leq \frac{V_{CEQ}}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

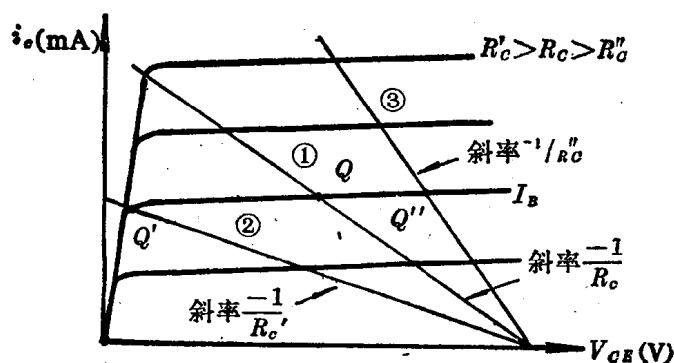


图2-2-3 三极管输出特性

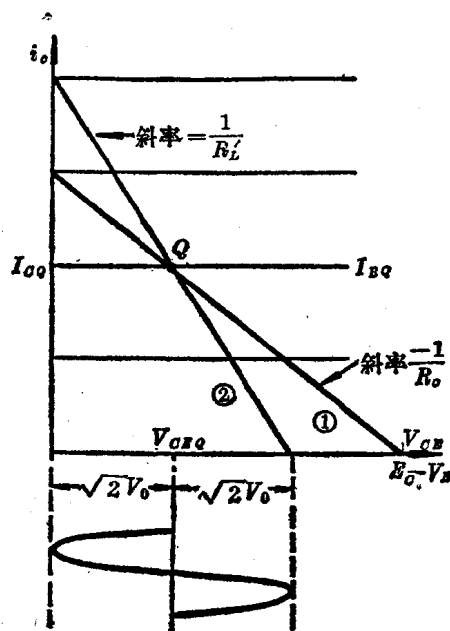


图2-2-4 三极管理想输出特性

其中 V_E 为射极电位， V_0 为输出电压有效值，由上边三个关系式，可求出：

$$I_{CQ} = \frac{E_C - V_E}{R_C + R_L'} \quad (2-6)$$

$$E_C - V_E \geq \sqrt{2} V_0 \cdot \left(2 + \frac{R_C}{R_L} \right) \quad (2-7)$$

由(2-7)式可求出：

$$R_C \leq \left(\frac{E_C - V_E}{\sqrt{2} V_0} - 2 \right) R_L \quad (2-8)$$

注意：射极电位 V_E 的数值，由电路的稳定性要求来确定，一般取：

$$V_E = \begin{cases} 3 \sim 5 \text{ V} & (\text{硅管}) \\ 1 \sim 3 \text{ V} & (\text{锗管}) \end{cases} \quad (2-9)$$

3. 计算偏置电路电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 和 R_e

(1) 射极电阻 R_e

射极电阻 R_e 愈大，负反馈愈强，电路温度稳定性愈好。但过大又会使射极电位 V_E 过高，由(2-7)可知，管子的动态范围将变小。所以在确定 V_E 时主要从稳定性考虑，一般取：

$$V_E \geq (5 \sim 10) V_{BE} \quad (2-10)$$

因为硅管 $V_{BE} = 0.7$ ，锗管 $V_{BE} = 0.1$ ，所以这一要求和(2-9)式是一致的。

因为：

$$R_e \approx \frac{V_E}{I_{CQ}}$$

由式(2-6)即可求出 R_e 。如果是小信号放大器，静态工作电流可以按经验数据选定，一般取：

$$\left. \begin{aligned} I_{CQ} &= 1 \sim 3 \text{ mA} \\ V_{CEQ} &= 2 \sim 3 \text{ V} \end{aligned} \right\} \quad (2-11)$$

(2) 求 R_{b1} 和 R_{b2}

从温度稳定度的计算表明, $R_b = R_{b1} // R_{b2}$ 的值愈小, 工作稳定性愈高, 但是 R_b 减小, 流过 R_{b1} 和 R_{b2} 直流电流加大, 损耗会增大。另外, 在目前大量应用硅管条件下, 温度不稳定性主要是由于 V_{BE} 变化引起, 为了减小 ΔV_{BE} 对 V_B 的影响, 又要求 R_{b2} 不能太小。通常偏置电流 I_{Rb} 应满足下述关系:

$$I_{Rb} \geq (5 \sim 10) I_{BQ} \quad (2-12)$$

若取 $I_{Rb} = 5 I_{BQ}$, 则

$$R_{b2} = \frac{V_B}{I_{Rb}} = \frac{V_B}{5 I_{BQ}} = \frac{\bar{\beta} V_B}{5 I_{CQ}} \approx 0.2 \cdot \bar{\beta} \cdot R_e$$

一般取 $\bar{\beta}$ 为 25~100 范围, 则:

$$R_{b2} = (5 \sim 20) R_e \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} R_{b1} &= \frac{E_C - V_B}{V_B + R_{b2} \cdot I_B} \cdot R_{b2} \\ &\approx \frac{E_C - V_B}{V_B} R_{b2} \end{aligned} \quad (2-14)$$

4. 计算耦合电容 C_1 、 C_2 和射极旁路电容 C_e 。

C_1 、 C_2 和 C_e 主要影响低频特性。当频率很低时, 放大器交流等效电路如图 2-2-5 所示。为了分析方便, 这里分别来考虑 C_1 、 C_2 和 C_e 的作用。

(1) 求耦合电容 C_1

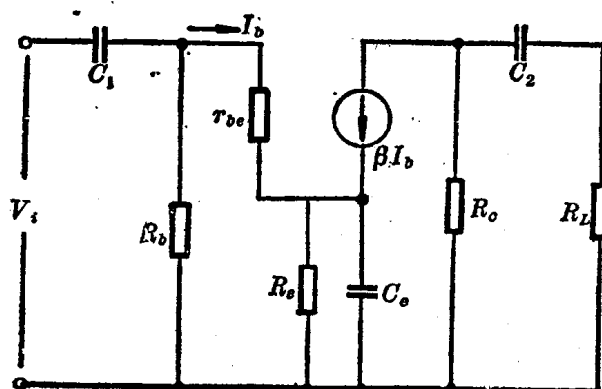


图2-2-5 低频等效电路

在输入回路中, 若 C_e 足够大, 可看成短路, 则等效电路如图 2-2-6 所示。随着输入信号 V_i 频率 f 的降低, C_1 的容抗增加, 使管子发射结两端电压 $|V_{be}|$ 减小, 所以 $|A_v|$ 也将减小。

$$\dot{V}_{be} = \frac{R_b // r_{be}}{1 + j\omega(R_b // r_{be})C_1} \dot{V}_i$$

设 $r_i = R_b // r_{be}$,

信号源 V_i 内阻为 R_s