

DIANZI DIANLU KECHENG SHEJI

电子电路课程设计

张豫滇 苏起虎 林彦杰编著

河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子电路课程设计 / 张豫滇, 苏起虎, 林彦杰编著.

—南京: 河海大学出版社, 2005. 8

ISBN 7-5630-1947-2

I. 电... II. ①张... ②苏... ③林... III. 电子电
路-课程设计-高等学校 IV. TN710-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 093498 号

书 名 / 电子电路课程设计

书 号 / ISBN 7-5630-1947-2/TM·25

责任编辑 / 周 勤

封面设计 / 步江华

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)83737852(行政部) (025)83722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 南通市印刷总厂有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16 13.25 印张 300 千字

版 次 / 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 15.00 元

《电子电路课程设计》一书是电子电路课程设计的配套教材。这本教材适用于开设这门课程的电类工科专业以及部分电类理科专业。

电子电路课程设计是集中性的实践类教学课程,一般为2周(32学时)。这门课程要求的前期课程有:模拟电路、数字电路、电子电路实验(含模拟电路和数字电路实验)。开设这门课程的目的是:让学生巩固和深化前期电子电路类所学课程的理论,进一步提高电子电路的设计和实践能力;在前期课程基础上,讲述综合性和系统性电子电路的设计原则、方法,拓展电子电路设计与实践技术方面的知识;通过具有综合性或系统性的大型课题,使学生电子电路设计、装配、调测、故障处理和文档整理等方面的能力得到进一步提高,同时使学生体会到电子电路在实践中的工程技术特点,提高自己的科技素质。

由于本教材是针对电子电路课程设计编写的,重点是电子电路的设计与实现,同时考虑到学生尚未学习单片机、数字信号处理器等知识,故在讨论电子系统的设计方法时未涉及这些智能型器件的应用。含有智能器件的电子系统设计方法将在后续相关课程中介绍。

《电子电路课程设计》的主要内容有:

1. 综合型电子电路和电子系统的设计原则和基本方法。
2. 电子电路设计与实验技术方面一些必要知识的拓展,如电子电路的电磁兼容性设计,电子电路及元器件资料的查找,电子系统的装配以及电子系统的故障处理等。
3. 在讲述上述内容时,始终引导学生注意树立工程和技术观点,不但要求学生从掌握知识的角度去学习和实践,还引导学生从方法论这一更高的基本观点去考虑和处理电子电路方面的技术问题。
4. 提供了30个大型课题。这些课题是我校电工电子教学实验中心的教师在多年的实验教学实践中开发、收集和整理的。课题分为数字电路、模拟与数字复合型电路、小型数字系统和可编程器件及EDA软件应用四种类型。每一个课题要求均以技术指标的形式给出。考虑到电子电路课程设计的开课时间一般为二年级下学期末或三年级上学期初,学生大多未进入专业

课的学习,所以本教材中所选的课题多为不需要特定专业知识的课题。为了帮助学生了解课题要求或补充一些课题所需的必要知识,每个课题均有设计和实验提示。

对《电子电路课程设计》教材的使用方法提出如下建议:

1. 由教师选定设计课题并规定提供的元器件范围。

2. 教师分三次以集中授课方式对学生进行辅导。第一次针对课题,帮助学生正确分析,明确设计要求和设计条件,并指导学生如何自学本教材以及如何参阅资料;第二次是在学生初步设计出电路后,指导学生如何装配电路,同时给出调测电路的指导;第三次是在学生完成测试后,对完成的电路指标进行验收并指导学生正确撰写设计报告。

3. 学生在分析课题要求、查阅资料、方案拟定、电路设计、电路装配、电路调测和撰写报告的各个阶段,均应认真学习教材中的相关内容,边学边用,学以致用,提高理论联系实际的水平,培养分析问题和解决问题的能力。

本教材第1章~第5章、第9章及附录由张豫滇编写,第6章~第8章由苏起虎、林彦杰和张豫滇共同编写,第4章的照片资料由李旭平提供。全书由张豫滇统稿。

编 者

2005年7月1日于南京邮电大学

目 录

前言	
第 1 章 电子系统设计概述	1
1.1 电子系统及其特点	1
1.2 电子系统设计的基本策略和流程	2
1.3 电子系统设计时应考虑的主要因素	9
第 2 章 算法研究及整体方案的拟定	13
2.1 电子系统技术指标的分析	13
2.2 算法研究	16
2.3 电子系统整体方案的设计	19
2.4 整体技术指标的分解与单元电路技术指标的拟定	21
第 3 章 电路设计	24
3.1 模拟电路设计的一般原则	24
3.2 数字电路设计的一般原则	25
3.3 电子电路的电磁兼容性概述	27
第 4 章 电子系统的装配、调测及故障处理	41
4.1 电子系统实验电路的装配	41
4.2 电子系统的调测	48
4.3 电子电路故障处理	50
第 5 章 电子系统设计中资料的查找与技术文档的整理	60
5.1 电子系统整体方案资料的查找	60
5.2 电子电路资料的查找	62
5.3 元器件资料的查找	63
5.4 查找电子资料的工具	66
5.5 技术文档	67
第 6 章 数字电路设计课题	72
课题一 简易数字频率计	72

课题二	数字电子钟	76
课题三	作息时间信号机	81
课题四	十翻二运算电路	86
课题五	数控脉宽脉冲信号发生器	93
课题六	脉冲按键拨号电路	96
第7章 模拟与数字综合型电路设计课题		100
课题七	脉搏计	100
课题八	温度测量仪	104
课题九	交流数字电压表	109
课题十	简易晶体管特性图示仪	112
课题十一	数字式电容测试仪	116
课题十二	数控基准电压源	121
课题十三	数控自动增益控制电路(AGC)	124
课题十四	数控正弦函数信号发生器	128
课题十五	CRT 字符图形显示电路	132
课题十六	数字式电缆对线器	136
课题十七	示波器通道扩展电路	142
课题十八	简易频率合成器	145
课题十九	可编程数字移相器	152
课题二十	数字式占空比测量仪	157
课题二十一	数字式相位差测量仪	160
课题二十二	数字式三极管 β 值测试仪	163
课题二十三	FSK 调制与解调电路	166
第8章 小型数字系统设计课题		171
课题二十四	密码锁	171
课题二十五	交通灯管理器	175
课题二十六	时序比较器	178
课题二十七	可编程电子音乐自动演奏电路	182
第9章 可编程器件及 EDA 软件应用设计课题		188
课题二十八	串行序列信号延时测试系统	188
课题二十九	电梯控制电路	190
课题三十	出租车计价器	193
附录一	参考书目	196
附录二	中国图书馆图书分类法简表	202
附录三	常用电子网站网址	205

第 1 章 电子系统设计概述

本章将介绍电子系统的特点、设计并实现电子系统的大致过程、在设计电子系统时应考虑的主要因素以及设计工具的选择。为了使读者在方法学方面扩展眼界,本章还将简单介绍电子系统的设计策略。

通过本章学习,希望读者能初步了解电子系统设计所涉及的各个方面。

1.1 电子系统及其特点

1.1.1 电子系统定义

目前,电子技术在交通、通信、医学、军事、工业自动化、家用电器等领域有着极其广泛的应用,各领域、各专业中的电子技术与其他设备、部件紧密地融为一体,所以,若对电子系统下一个确切的定义,指明其内涵和外延是十分困难的。但是,如果认真分析电子技术在各个领域设备中所起的作用,则可以发现电子技术的主要作用是信号的产生、集采、传输、处理及控制,即电信号处理。如果仅从完成电信号处理任务这一角度来定义电子系统,则可将能够独立完成某种特定电子信号处理功能的电子电路称为电子系统。

上述电子系统的定义是从对电信号处理的功能角度来阐述的,而功能是个宽泛的概念,某些特定的功能又可细分为许多子功能。例如,可以将处理电视信号的设备定义为一种广播电视系统,而这一系统又可进一步细分为录制(摄像机)、编辑(编辑机)、发射(发射机)、传输(天线、微波或有线电视)、接收机(电视机)各个部分,这些部分都能独立完成一特定功能,它们也是电子系统。为了便于区分,常将一个大规模电子系统所容纳的各个下层电子系统称为子系统。如果某一电子系统规模十分庞大,则它的某些下层子系统还可划分为更小的子系统。

1.1.2 模拟电子系统和数字电子系统

上述电子系统和子系统都是以能否独立完成某种电信号处理功能来定义的。如果在此基础上,根据处理信号时所采用的电子技术手段来划分,则电子系统可划分为模拟电子系统、数字电子系统或模数混合电子系统。

1.1.2.1 模拟电子系统

以模拟电子技术作为处理电信号的主要技术手段,这样的电子系统称为模拟电子系统。

电子技术应用领域中常把被处理的某些物理量(如声音、图像、温度、转速等)通过传感器转换为电信号,利用模拟电路理论所提供的放大、整改、调制、检波等各种电路,对信号的电压或电流的幅度、相角、频率、波形等参数进行处理,以达到电信号处理的目的,这种处理电信号的方式称为模拟电子技术。以模拟电子技术作为处理信号的主要手段的电子系统称为模拟电子系统。例如,电工电子实验中常用的模拟式交流电压表就是一种模拟电子系统。它在处理被测信号时所用到的衰减、放大、整流、显示等处理手段均为模拟电子技术。

需要说明的是,模拟电子系统与模拟电路是两个不同的概念,两者不可混为一谈。模拟系统处理信号的主要手段是模拟技术,采用的是模拟电子电路,但一些辅助性部分常常要用到数字电路。

1.1.2.2 数字电子系统

先将某些被处理的物理量转换为模拟电信号,再应用模数转换技术将信号转换为数字信号,在此基础上应用数字信号处理技术对信号进行滤波、放大、调制、传输等各种处理,这种以采用数字信号处理技术为主的电子系统称为数字电子系统。

需要说明的是,数字电子系统也常常用到一些模拟电路,所以数字系统不能等同于数字电路,两者不能混为一谈。

在信号处理方面,与模拟系统相比,数字系统有着精度高、可靠性好、稳定性强和便于结构化和智能化的优点,并正逐步取代模拟电子系统。随着微电子技术的飞速发展、集成电路规模的不断增大以及计算机技术(DSP、CPU、MCU)微型化和高速化的进一步发展,计算机技术在数字系统中会得到更广泛的应用,从而会使得数字系统的智能化不断提高、性能日臻完善。

1.1.2.3 模数混合系统

一些电子设备具有多项功能,有的功能采用模拟电子技术,有的功能采用数字技术,这样的电子系统称为模数混合系统。例如,电工电子实验中用到的函数发生器(采用 DDS 技术的除外)既具有信号源功能,又具有频率测量功能,其信号源部分采用的是模拟技术,而频率测量部分采用的是数字技术,这种仪表就可归类为模数混合系统。

1.2 电子系统设计的基本策略和流程

电子系统是一个功能齐全、结构复杂的系统,采用什么方法来构建这个系统(即电子系统设计的基本策略),是设计者首先应考虑的问题。由于电子系统的复杂性,所以到目前为止还没有一种规范的构建整个电子系统的方法。但是,人们从实践中总结出了三种较为通

用的电子系统设计思路：一是自下而上的设计思路；二是自顶向下的设计思路；三是围绕核心器件的设计思路。这三种思路反映了电子系统设计方法上的不同策略，现分述如下：

1.2.1 自下而上的设计策略

长期的实践使人们在电子电路设计与调试方面积累了相当丰富的经验，熟练了各种单元电路的功能及其可达到的最佳技术指标，当需要构建一个电子系统时，人们会很自然地将各种熟识的电子电路拼凑成一个完整的电子系统。人们常将电子系统的整体指标作为上层要求来考虑，相应地，便将具体的电子电路称为下层电路。因此，习惯上将这种先考虑下层电路再由电路拼凑成整体的思路称为自下而上的设计策略。

例 1-1 试设计一个模拟式交流电压表，其电压测量范围为 $30\ \mu\text{V}\sim 30\ \text{V}$ ，频率范围为 $10\ \text{Hz}\sim 500\ \text{kHz}$ 。要求采用自下而上的设计方法并给出整体方案的设计说明。

设计说明：

1) 模拟交流电压表表头一般应采用磁电系直流表头。该类表头的满刻度电流在 $50\ \mu\text{A}\sim 200\ \mu\text{A}$ 之间。可选择已熟知的某型号表头，其满刻度电流为 $100\ \mu\text{A}$ 。先设置图 1-1 中的表头。

2) 由于表头指针与流经表头的直流电流量成正比，故必须将被测的交流正弦电压信号转为直流电流信号。已有典型的交流整流电路，其输入阻抗约在 $10\ \text{k}\Omega$ ，则整流电路信号电压有效值应为 $U=100\ \mu\text{A}\times 10\ \text{k}\Omega=1\ \text{V}$ ，再设置图 1-1 中的整流电路。

3) 考虑到当最小被测信号电压为 $30\ \mu\text{V}$ 时，电表头指针应为满刻度，故要求此时整流电路输入信号为 $1\ \text{V}$ 。由此可知，交流电压表内部必须有放大器，并且放大倍数为 $1\ \text{V}\div 30\ \mu\text{V}=3.3\times 10^4$ 。据此，应考虑在图 1-1 中设置一个放大器。

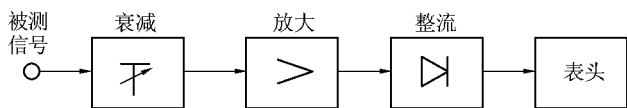


图 1-1 交流电压表方案之一

4) 若考虑当输入信号较大时将使图 1-1 放大器出现饱和，则必须设置图 1-1 中所示的衰减电路，以保证进入放大器的大信号不至于使放大器饱和。

5) 进一步分析可以发现，放大器本身有噪声信号。为了保证测量准确，希望信号/噪声比尽量大一些。而图 1-1 所示的方案，放大器放大倍数是固定的，当被测信号较大时，必须先用衰减器将其衰减到 $30\ \mu\text{V}$ 数量级，然后再放大。这样将使被测信号通过放大的原信噪比降低，因此需进一步修改。

6) 为了尽可能保证交流电压表的处理过程有合理的信噪比，可采用图 1-2 所示的方案二，将方案一中衰减器和放大器都分成二级。前级放大器放大倍数较大，后级放大器放大倍数较小，而后级衰减器衰减倍数较大，前级衰减器衰减倍数较小，当被测信号较小时，信号可经过前级衰减器、前级放大器以及后级放大器，同时令后级衰减器衰减为零，这样，小信号可得到两级放大。

若被测信号较大，通过量程开关，将前级放大跳过，信号经前、后两级衰减后进入后级放

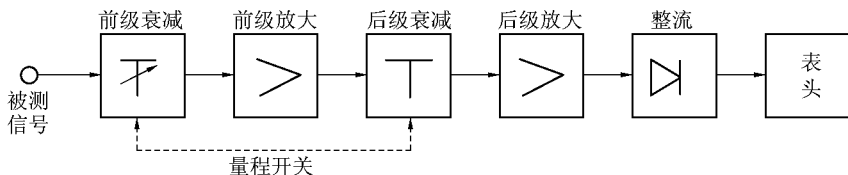


图 1-2 交流电压表方案之二

大器,这样,可使大信号时的信噪比得到保证。

例 1-1 所用的就是自下而上的设计思路,在应用这种方法时也需要进行整体考虑,但其设计方法的主要特征是用已知电子电路去拼凑出整个系统,如果一次拼凑不成功,则通过反复修改、反复拼凑,直至达到系统的整体要求。

1.2.2 自顶向下的设计策略

自顶向下的设计思路是:先将电子系统作为一个整体看待,对其整体功能进行描述,然后将整体划分为功能各异的模块,并对各个模块的功能以及各模块之间的信号关系进行描述,同时设法验证各模块组合后的功能是否能达到系统的整体要求。各模块功能确定后,再根据需要将模块进一步分解成下层子模块或者最底层的电路级要求,最后再进行最底层的电路设计。

自顶向下设计思路的特点是,逐步细化,逐步验证,逐步求精。由于每一步细化的过程对方案的可行性都进行了验证,所以,当细化到最底层电子电路时,对各个电路的要求已经十分明确。这种自顶向下的设计方法可以避免出现因底层电路变化而更改整个系统构成的情况出现,有利于提高设计工作的效率。

例 1-2 试设计一个超声波测距电路。要求是:1) 由电路发送一个脉冲信号 FS;2) 脉冲信号遇到被测物体后产生反射,反射波回到发送端并定义为信号 HB;3) 测距电路根据回波信号的到达时间计算出被测物体与测量电路的距离并显示出来。采用自顶向下的设计方法并给出整体方案的设计说明。

方案设计说明:

首先画出最顶层的整体结构图,如图 1-3 所示。根据超声波测距原理可画出主要测量信号的时序图,如图 1-4 所示。当发送信号 FS 送出后,信号遇到被测物体反射回到发送端,发送端收到的回波信号为 HB。

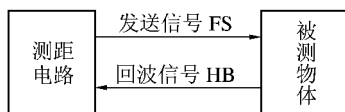


图 1-3 测距系统顶层方框图

若能测出发送信号 FS 的起始沿与回波信号 HB 起始沿之间的时间长度(即 SJ 信号宽度),则可根据信号的超声波传输速度算出被测物体距测量系统的距离。据此,可将测距系统进一步细化,如图 1-5 所示。这一系统方案已细化为控制器、数据处理器、发超声波转换器和收超声波转换器 4 个部分。

再根据测距原理,可将数据处理器进一步细化为时钟电路、发送信号产生电路、计时电路、距离计算电路和显示电路,进一步细化后的系统方框图如图 1-6 所示。图 1-6 中时钟电路产生两个信号,CP 作为控制电路的时钟,而 FSSZ 作为给发送信号产生电路的发送时基信号。控制电路通过 FSKZ 信号给出发送命令,发送信号产生电路收到 FSKZ 信号后发

生超声波发送信号 FS,FS 的频率由 FSSZ 信号确定。控制电路在发出 FSKZ 信号的同时也向计时电路发出一个 JSKZ 信号,JSKZ 信号启动计时电路计时,当接收部分的超声波转换回收到回波后,即向计时电路和控制电路发送一个 HB 信号。计时电路收到 HB 信号后给距离计时电路发出一个计时值 SJ,控制电路收到 HB 信号后发出 JLKZ 信号,命令距离计算电路计算出距离值,距离计算电路同时将距离值发送给显示电路,信号名为 XS,显示电路根据 XS 信号显示出距离值。

如果需要,还可对图 1-6 进一步细化,细化过程中各个模块之间的信号关系需要确定,并用信号处理流程图方式描述。本例只说明自顶向下设计的过程,有关信号名的定义及其相互关系的描述方法,将在后面的章节中介绍。

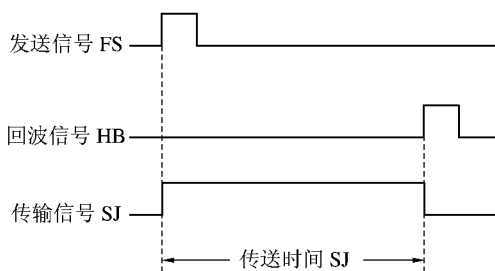


图 1-4 测距主要信号时序图

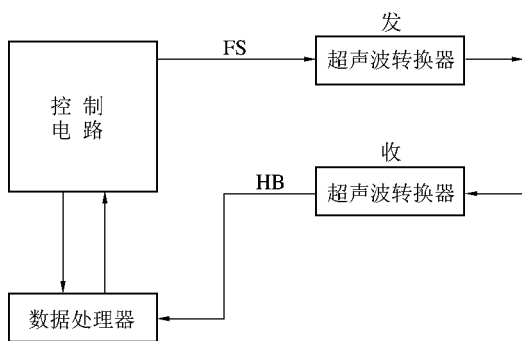


图 1-5 测距系统初步方框图

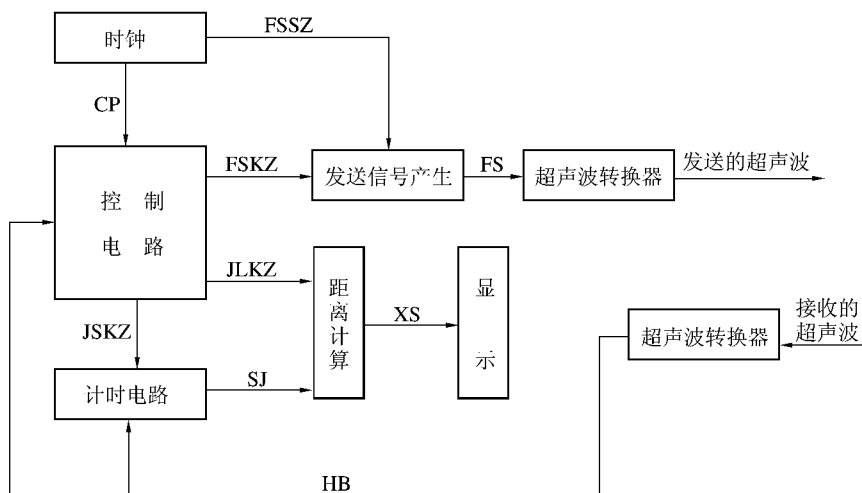


图 1-6 细化后测距系统方框图

随着电子设计自动化(EDA)技术的发展,一些 EDA 软件公司已推出了性能完善的 EDA 软件。这些软件允许用户用高级语言(如 C 语言)来描述电子系统的整体功能(逻辑),在此基础上由计算机自动将整体划分为多个功能模块,同时对划分后的各模块以及模块之间的关系进行功能仿真。如果必要,再将某些模块进一步划分为更小的模块,在整体模块级

仿真成功的情况下,将模块功能转化为硬件描述语言(HDL),使模块功能变为最终的电路方式。

由于自顶向下的设计策略具有由表及里、从全局到局部、逐步求精的特点,这一特点特别适用于电子设计自动化技术,所以自顶向下的设计是目前电子系统设计时最为流行的方法。

1.2.3 围绕核心器件的设计策略

由于微电子技术的飞速发展,集成电路的规模越来越大,功能越来越强,早先需要用众多分立元件或中小规模集成电路构成的特定功能的电路,现在往往已集成在一片或几片集成电路上。目前,一个电子系统集成在一块集成芯片上的产品被称为在片系统(SOC, System on a Chip),它的出现对电子系统的设计方法产生了巨大影响。我们称这类芯片为核心器件。这类核心器件功能完善,对外围电路和外部信号都有具体的限定条件,一旦在电子系统中采用这类器件,整个系统的结构都必须符合这类器件的要求,因此电子系统的设计带有围绕核心器件进行的特点。我们称电子系统的这种设计方法为围绕核心器件的设计策略。

例 1-3 试设计一个函数发生器,要求可选的输出信号波有正弦波、矩形波和三角波,输出信号频率范围为 1 Hz~20 kHz,输出电压幅度为 0~5 V,可显示输出信号频率。要求采用围绕核心器件的设计方法,并给出整体方案的设计说明。

方案设计说明:

函数发生器设计方案有多种,若采用大规范函数发生器集成电路 ICL8038,由于它本身就有三种波形的输出,频率调节也十分方便,故可围绕它增加一些辅助电路来构成函数发生器,图 1-7 是其中的一种方案。

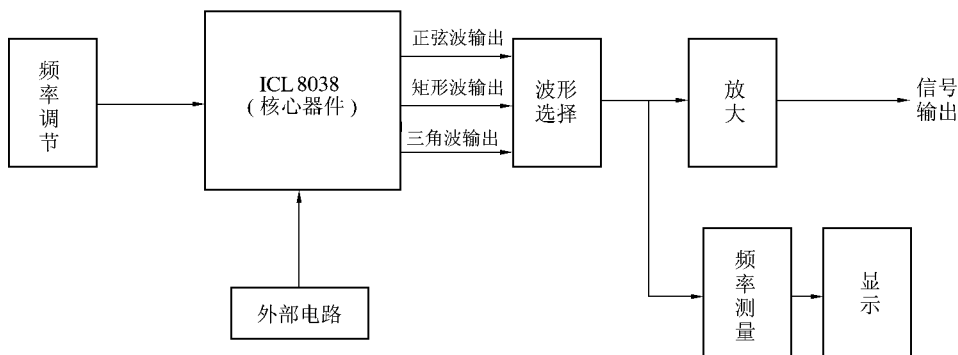


图 1-7 围绕核心器件设计的方框图

1.2.4 电子系统设计流程

电子系统从设计到调测成功需要经历多个环节,这些环节的前后顺序构成图 1-8 所示的流程。现将这一流程的各个环环节分述如下:

1. 技术指标(用户要求)

电子系统要达到的功能和电气技术指标,我们称之为技术指标或用户要求。该技术指

标(用户要求)是由用户或者上级工程师提出的。技术指标既是电子系统设计要达到的目标,也是用户验收电子系统是否满足设计要求的标准。

用户拟定的技术指标必须完整、明确,否则设计人员无从下手,甚至会造成设计返工。但是,在实践中常常会遇到设计过程中用户要求修改技术指标的情况,只要需修改的技术指标不是全局性的,未对整个设计造成重大影响,这种情况还是允许的。

2. 技术指标的确认与分析

设计者拿到电子系统的技术指标后,首先要理解指标要求。如果用户给出的技术指标的方式不规范、内容不明确,则需要与用户沟通,最后采用双方认可的规范的方式来表达技术指标。

当电子系统非常复杂,尤其是技术要求中有一些逻辑功能描述时,由于目前尚无一种十分规范的方法可以毫无歧义地描述出对复杂逻辑功能的要求,所以,涉及这类问题时必须用双方都能明白的方式对技术指标加以确认。

在双方确认技术指标的前提下,设计方必须对用户提出的技术指标的可行性进行分析。电子系统的可行性涉及众多因素(这些因素将在 1.3 节中进行介绍),只有通过可行性分析才能开展设计工作。在技术领域,因没有进行可行性分析或可行性分析失误而造成的损失在实际工作中是屡见不鲜的。

3. 算法分析

在设计电子系统时,人们常把构建电子系统的基本方法称为算法。算法是个宽泛的概念,它可以指解决整个电子系统的基本方法,也可以指解决某一模块或电路功能的方法。

由于不同电子系统的功能各异,规模有大有小,所以目前还没有一套通用的方法用以推导出各种电子系统的算法,只能依靠设计者的理论知识和实践经验,根据具体的条件来确立合理的算法。本书在给出设计课题之后,大都给出了相关系统算法的提示,读者可从中认真体会。

在确定算法时有许多必须考虑的因素,这些因素在 1.3 节中均有介绍。

4. 拟定整体方案

拟定整体方案是指根据算法的需要,将电子系统划分为功能不同的模块,以方框图的形式绘制出整机是由哪些模块构成以及各模块间的相互关系。实现某一电子系统往往有多种方案,在确定方案之前应该反复比较各种方案的优缺点,做到取长补短,综合考虑,找出最为优化的方案。

方案的优劣标准不是唯一的,它与电子系统的开发目的有关。例如,当某一电子产品的

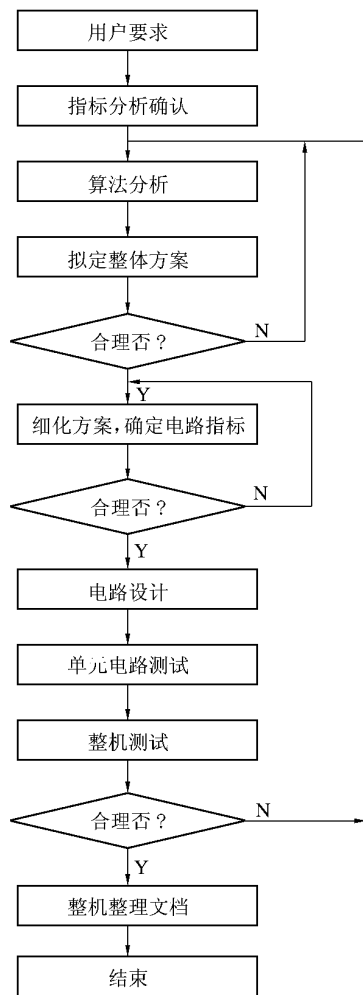


图 1-8 电子系统设计流程

开发要求快速,以便尽早占领市场时,这时采用不十分先进但非常成熟的技术为佳;若某一产品定位在技术领先上,则应尽量采用新器件、新技术,这样做会因为设计人员缺乏经验而使开发时间长一些,但仍可认为是最佳方案。

5. 细化方案,确定电路指标

由于电子系统的功能最终是由电子电路实现的,所以方案自顶向下细化的结果是对处于最底层的电子电路提出要求,这一要求要用电路技术指标的形式反映出来。

需要说明的是,在电子系统设计中,系统的整体技术指标是由用户提出的,但是,下层模块或者电子电路的技术指标一般要由设计者自己提出,若要保证提出的电路级技术指标合理可行,不但需要设计者有扎实的理论功底,还必须具备丰富的实践经验。

电子电路的技术指标确定后,还必须考虑其合理性和可行性,例 1-1 中最初提出的图 1-1 中放大电路指标就不尽合理,故而将一个放大器调整为两个,其技术指标也随之变化。电路级的技术指标是否合理,需要通过实验来判断。如果设计者经验丰富,则往往可根据经验直接做出判断。

拟定电路级技术指标时,考虑到最终实际实现的电路指标总会与要求的指标存在误差,多个电路误差累积后可能会使总误差超出整体误差要求,为避免这类问题,往往令电路级技术指标留有一定的富余量。换言之,就是使电路级指标更严格一些。例如,若原先要求某放大器的电压放大倍数 $A_u = 50$,误差 $\leq 10\%$,为留有富余量,可令误差 $\leq 5\%$,另外的 5% 作为余量处理。

6. 电路级设计

整个电子系统是由各种电子电路构成的,在整体方案合理的前提下,电子电路设计决定了整个电子系统的质量。电路设计需要有电子线路理论的支撑,需要有广博的元器件知识,更需要有丰富的电路设计和调测经验。

如果设计的是一个复杂的电子系统,则设计人员往往分为两类,一类是整体设计,一类是电路级设计(或部件设计)。在一些大公司或研究所,由于分工很细,有一些技术人员专门从事整体设计,而另一些技术人员专门承担电路级设计任务。

7. 单元电路调测

只有在所有单元电路调测成功的前提下整机调测才能进行,因此单元电路调测是整机调测的基础。单元电路调测不但要满足技术指标要求,而且测试记录必须详尽、准确。因为,整机调测出现问题时,往往要分析各个单元电路的实际技术指标,从中找出问题。

8. 整机测试

电子系统的设计成功与否,必须通过对整个系统的严格测试才能确定。如果整机某项技术指标不符合要求,必须查找原因。若是因整体方案不合理造成,则必须修正整体方案;若某些电路有问题,则必须重新设计电路。一个复杂的电子系统大都需要经过多次整体方案和电路设计的修正,才能达到设计要求。

9. 整理设计文档

设计文档是指设计过程中产生的各种文件,它一般包括用户的原始技术指标,修改后双方确认的指标,算法论证,整机方案,电路设计,单元电路和整机测试记录,验收报告,设计总结等。

规范的设计文档不但是当前设计工作的全面反映,还是后续生产、维修和产品升级的重要资料。

1.3 电子系统设计时应考虑的主要因素

到目前为止,我们在讨论电子系统设计时所涉及到的主要是电子电路本身实践方面的问题,而在实际工作中,电子系统设计还必须考虑其他因素,这些因素有的本身就是一门学科,例如,电子系统的可靠性、可测性、电磁兼容性等。本节不可能详尽地介绍所涉及的这些因素,只能概括地介绍有关概念,以期读者有一初步的认识,以便今后进一步深入学习。

电子系统设计时应考虑的主要因素有算法选择、元件选用、可靠性设计、可测性设计、设计工具选用、电磁兼容性设计以及可行性等,现分述如下。

1.3.1 算法选择

算法在数学中是指解决数学问题的方法,电子技术领域中借用了这一名词,其含义为解决电子系统或部件技术问题的基本方法。

在电子技术领域,一些电子系统的算法已经成熟,并且已经形成了公认的国际标准。例如,数字通信设备 PCM 的相关语音处理、信令体系和传输的帧结构等都已经标准化了。研制这类设备时所有算法必须依据相关国际标准,否则,设计出的设备与其他厂商的设备无法互通。设计这类电子系统时,用户在技术指标中都会明确指出必须符合的标准,设计者不必自行研究算法,只需解决技术实现方面的问题。

当没有算法标准限制时,设计者必须考虑算法问题。由于目前还没有一种通用的方法可以保证设计者逐步导出所需的算法,所以,至今电子系统算法的研究,还必须依赖设计人员的专业知识、电子线路理论功底、实践经验和创造性。

在考虑算法之前,一般应确定实现电子系统的技术方向。换言之,就是确定是设计一个模拟系统、数字系统还是设计一个模数混合系统,在系统构成时是否采用智能型器件如单片机(MCU)、数字信号处理器(DSP)或中央处理器(CPU)。

本书第 6 章~第 9 章各个设计课题给出了各种电子系统算法的提示,读者可认真体会。由于本教材是电子电路课程设计的配套教材,所以没有涉及智能型器件(单片机 MCU、数字信号处理器 DSP)方面的问题。

1.3.2 元器件的选用

元器件是构成电子系统的物质基础。在电子技术发展的初期,尤其是当集成电路未出现时,元器件常常被称为零件,常被比作建筑高楼大厦时的砖瓦。目前,由于集成电路的飞速发展,高度集成化功能电路以及集成单片系统、嵌入式系统的出现,使得元件不仅仅处于零件的地位,在有些情况下,一块或几块核心集成器件就决定了电子系统的设计和构成,这类器件已不是“砖瓦”而应称之为大厦的核心框架。

有经验的电子电路设计人员熟知各种常用电子器件的性能,时刻关注当前器件的发展,了解器件的市场行情,这是因为元件器的选择往往决定电路设计的成败。笔者曾设计过一个对旁频防卫度指标有非常高的要求的锁相电路。最初在选取其中一只滤波电容时出于对减少电路体积的考虑,选用了一只体积小的涤纶 CL 型电容。由于调测时该指标一直不合格,因而改换一个体积大但品质因素好的聚丙 CB 型电容,问题便迎刃而解。

元器件选择不但要考虑功能上的需要,还要考虑器件类型的接口要求(如 TTL 与 CMOS 器件的接口)、功耗高低、生产厂商以及价格等。所有元器件(晶体管、集成电路)都有其“生命”周期,即它要经历上市试用、品质成熟、大量推广、逐步退出,直至完全停产这一周期。如果不了解元件当前所处生命周期的阶段,误选了将要或已经停产的器件,将对以后的生产和维修带来不利影响。

1.3.3 设计工具的选用

在计算机技术尚未普及的时代,电子电路设计和分析主要依靠人工完成,那时所能借助的设计工具主要是计算尺和手摇计算器等。由于这些计算工具功能有限,无法完成精确而复杂的分析和计算,所以,那时所建立的元器件模型都只能作简化和理想化处理。由这类简化模型所进行的电路分析,精度较差,计算结果往往与实际情况有较大差距,要达到设计目标还必须反复调测和反复修改设计。由此可见,设计工具落后不但使产品的开发过程效率低下,还将影响产品质量。

随着计算机技术的发展,许多电子电路设计的应用软件应运而生并迅速得到普及。由于计算机有着强大的计算能力,电子元器件不再采用高度简化和理想化的模型,而是采用与实际物理特性十分吻合的复杂模型,这使得设计计算结果与实际情况基本相符,从而大大减轻了后续调测和修改的工作量,极大地提高了设计工作的效率,从前电子产品开发的周期为 2 年~5 年,而目前由于借助了计算机技术,一般只需 3 个月~6 个月。

经设计和调试后完成的第一台产品称为样机。样机满足技术指标后还不能大批量投入生产,一般要经过小批量试产,再进一步中批量试产,待市场反馈信息证明其质量可靠后才能大批量生产。产品必须进行中小批量试产的一个重要原因是考虑元器件的分散性影响。由于同一型号的元器件在特性和误差上都不尽相同,设备中更换了同一型号的元件后就有可能引起整机技术性能的变化。一台设备往往要由成百上千个元件组成,每个元件都含有分散性,这种情况下照样机图纸装配出的另一台设备,其性能与样机必定有差异,只有差异在指标允许范围内才可认为该设备合格。早期由于元器件很多,无法用手工方式对元件误差带来的影响进行全面分析,所以只能靠小批量生产这种方法来验证元件分散性的影响。

采用计算机技术后,由于计算机的高速运算能力使得对各个元件的分散性影响进行分析成为可能,因此产品质量的可控性有了极大的提高,试生产的过程大为缩短。

在电子产品设计中还常常会遇到产品质量与价格的矛盾。例如,为保证产品质量,需要选用高精度高性能的元器件,但是,由于这样的元件成本高,必然使产品价格高,而价格对设备的市场有重大影响。反之,若选用低性能元件,尽管产品价格便宜,但是质量不高同样会影响产品的销售。这一矛盾的解决是要找出质量与价格的一个合理的折中点。可以为这个问题建立一个数学模型,然后求解,找出合理的设备质量要求和元器件价格要求。目前一些

电路设计软件已包含这一功能,选用这类软件不但可以解决电路设计的技术问题,还能对产品的质量控制和市场销售提供帮助。

1.3.4 可靠性与可测性考虑

评价一个电子产品的好坏主要从可靠性、性能和价格三个方面来衡量。其中可靠性是第一位的。可靠性可以定义为:系统在规定条件下规定时间内完成规定功能的能力。为了便于比较产品的可靠性,人们又引入了平均无故障工作时间 MTBF(Mean Time Between Failures)。它是指两次相邻故障间的平均工作时间。

影响可靠性的因素有电路设计观点、设计水平、元器件质量、元器件数量、生产工艺和工作环境等,在计算平均无故障时间 MTBF 时,每一个元件的失效率和每一个焊点虚焊的影响都必须考虑在内。20 世纪 70 年代,我国电视机的 MTBF 只有几十个小时,而目前已达几千小时。在通信领域,一些位于通信干线的设备要求其 MTBF 必须达到几万小时。

在早期,为了提高产品的可靠性,人们往往从生产过程中的各个环节着手。自 20 世纪 40 年代起,人们开始认识到从设计阶段就必须考虑可靠性的问题,为了提高产品的可靠性,人们常从容错和避错两方面着手。

容错的主要思路是,在系统中设置一些备用部件(或设备),一旦出现故障,系统能自动检测出故障部件(或设备)并自动将备用的设备倒换上去,从而使系统工作不受影响。

避错的主要思路是,尽量设计和生产不会产生故障的设备。实际上这是做不到的,因此应使设备的故障便于检查,尽量缩短出现故障后的查找时间。为此,人们又提出了一个可靠性指标的平均修复时间 MTTR(Mean Time to Repair)。平均修复时间的长短取决于系统是否便于测试,所以在系统设计时可测性是一个非常重要的方面。当代一些电子设备尽管没有容错能力,但往往有自动侦错能力,当设备出现问题时,能够自动检测并指示出故障部件。

电子系统的可测性不但影响可靠性,还与系统技术指标的评定有关。如果数字电路有 N 个输入变量,要验证该电路是否符合设计要求,一般要进行 2^N 次测量。例如,测量一个 32 位加法时,其两个加数共有 64 位,考虑进位后共有 65 个输入变量, 2^{65} 次测量是难以想像的。因此,为解决可测性问题,必须在整体方案上有所考虑,否则将面临无法测试的局面。

可靠性和可测性的问题超出了本课的教学要求,有兴趣的读者请参阅参考书目[1]和[2]。

1.3.5 电磁兼容性

电磁兼容性 EMC(Electro-magnetic compatibility)有两层含义:一是指电子系统在其工作的电磁环境下能否正常工作;二是指该电子系统本身形成的电磁信号对其周围的影响程度。在设计电子系统时既要考虑如何减少自身产生的和外部存在的电磁信号对本系统的不利影响,又要考虑如何将本系统产生的电磁干扰信号抑制在允许范围内。

电子系统的电磁兼容性涉及诸多因素,如设备整机的屏蔽结构和材料、设备的接地、元器件电磁辐射和屏蔽、导线的电阻、电源中干扰信号和内阻、分布参数和静电等。其中有一些因素是难以量化的,如果处理不当,不但会影响设备的电磁兼容性,甚至会导致整个系统