

电子技术课程设计

张玉璞 李庆常 编著

北京理工大学出版社

(京)新登字 149 号

内 容 简 介

本书为大学工科电子技术专业课程设计教材。全书包括模拟、数字两大部分,共十个课题。内容基本涉及到电子技术基础的有关理论和知识。选材新颖,反映了当前电子技术的新进展。该教材理论与实践密切结合,使学者把基础理论和一般实验课提升到综合运用,真正补足了电子电路小系统的设计、实验能力。

本书适用于本科电子技术专业学生,也可作大专同类专业选学教材,并可作为科研工作者的参考材料。

电子技术课程设计

张玉璞 李庆常 编著

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 5 375 印张 119 千字

1994 年 9 月第一版 1996 年 3 月第二次印刷

ISBN 7-81013-950-9/TN·50

印数 4001-9000 册 定价 4.60 元

前 言

电子技术课程设计是继电子技术理论课和实验课之后的重要实践课程。它的任务是在学生掌握和具备电子技术基础知识和单元电路设计能力后,综合所学知识进一步学习电子电路系统设计方法和实验方法,为今后从事电子技术领域工程设计打好基础。为此,本教材在编写方法上采取了“电子电路系统设计过程示范”的形式,目的在于使学生熟悉和掌握“系统设计”的一般步骤和方法,进行一次必要的系统设计的基本训练。

使用本教材时,学生应认真阅读前面的“电子电路系统设计的基础知识”部分,从而掌握系统设计的基本方法,以及安装调试、故障排除的一般规律,而后在“电子电路系统设计课题中任选一题进行设计。

设计课题分为模拟和数字两大部分,每个部分各有五个课题。每个课题由三个部分组成,即“任务书”、“设计过程举例”以及“选作课题要求”。在“设计过程举例”中,突出了课题分析、方案论证、方案实现、安装调试四个阶段。学生在选定课题后,应仔细阅读“任务书”,后面两部分先不要阅读,在独立完成初步设计后,再阅读后两部分,以便与自己的设计进行比较,找出问题,最后完善设计,对于基础较好的学生可直接选用选作课题进行设计。

完成课程设计共需 36 学时,建议学时分配如下。

阅读教材,完成课题设计	12 学时
安装调试,测试技术指标	24 学时

本书由苏舫教授审阅,在课题的选取和内容安排上提出了许多宝贵意见,在此向苏舫教授表示感谢。

编者

1993.12

目 录

电子系统设计的基础知识	1
第一部分 模拟电子电路课程设计	8
课题(一) 全集成电路高保真扩音机	8
课题(二) 可编程函数发生器	35
课题(三) 音乐彩灯控制器	47
课题(四) 开关型直流稳压电源	62
课题(五) 可编程有源滤波器	82
附录 集成运放电路设计的一般方法	90
第二部分 数字电子电路课程设计	96
课题(一) 数字波形合成器	96
课题(二) 浮点频率计	113
课题(三) 数字定时控制器	125
课题(四) 数字存贮示波器	136
课题(五) 示波器乒乓游戏机	146
参考文献	162

电子系统设计的基础知识

电子系统分为模拟型和数字型或两者兼而有之的混合型电子系统,无论哪一种型式的电子系统,它们都是能够完成某种任务的电子设备。一般把规模较小的功能单一的称为单元电路,而功能复杂,由若个单元电路(功能块)组成规模较大的电子电路称为电子系统。通常电子系统都由输入、输出、信息处理三大部分组成,用来实现对某些信息的处理、控制或带动某种负载。图 0-1 为电子系统基本组成方框图。

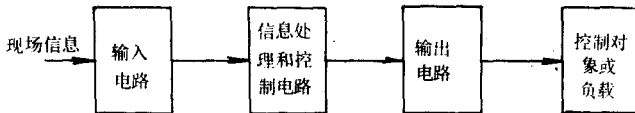


图 0-1 电子系统方框图

对于模拟型电子系统,输入电路主要起到系统与信号源的阻抗匹配,信号的输入与输出连接方式的转换、信号的综合等作用,输出电路主要解决与负载或被控对象的匹配和输出足够大的功率去带动负载。而对于数字型电子系统,输入与输出电路主要解决与现场信号与控制对象的接口问题,输入电路往往由 A/D 转换器组成,而输出电路则由 D/A 转换器加功率放大器组成。

电子系统的设计方法,没有一成不变的规定的步骤,它往往与设计者的经验、兴趣、爱好密切相关,但从总的设计过程来讲,可以归纳成以下四个步骤。

1. 课题分析

根据技术指标的要求,做好充分地调查研究,弄清系统所要求的功能和性能指标,以及目前该领域中类似系统所达到的水平,有没有能完成技术指标所要求功能的类似电路可以借鉴,如有,电路需经何种改动或电路参数需要哪些设计计算,电路性能即可达到指标要求等等,都要做到心中有数,从而对课题的可行性作出判断。

2. 方案论证

按照系统总的要求,把电路划分成若干个功能块,从而得到系统方框图。每个方框即是一个单元电路,按照系统性能指标要求,规划出各单元电路所要完成的任务,确定输出与输入的关系,决定单元电路的结构。为完成总的任务由系统方框图到单元电路的具体结构应是多解的,应该经过较为详细的方案比较和论证,以技术上的可行性和较高的性能价格比为依据,最后选定方案。

3. 方案实现

尽量选用市场上可以提供的中大规模集成电路,并通过应用性设计来实现各功能块的要求以及各功能块之间的协调关系。

该步骤的要点是:①熟悉目前数字或模拟集成电路的分类、特点,从而合理地选择所用芯片,方便地实现各功能块的要求,并且工作可靠、价格低廉。②对所选各功能块进行应用性设计时,要根据集成电路的技术要求和功能块应完成的任务,正确设计计算外围电路的参数,对于数字集成电路要正确处理各功能输入端。③要保证各功能块协调一致地工作,对于模拟系统按照需要采用不同耦合方式把它们连接起来;对于数字系统,协调工作主要通过控制器来完成。控制器作为一个

功能块,通常由移位寄存器或计数器构成的脉冲分配器(又称节拍发生器)来组成。由它发出一系列脉冲,控制各功能块按一定顺序有条不紊地工作。因此,对该控制器的要求是严格的,不允许有竞争冒险和过渡干扰脉冲出现,以免发生控制失误。因为这一原因,控制器多采用扭环形计数器来构成。目前在计算机或较大的数字系统中,这种控制多由所谓微程序控制器来实现,在此不多介绍。

4. 安装和调试

所设计的电子系统的安装与调试大多在通用实验板或逻辑实验箱上进行,验证是否达到任务书中各项要求。若达到,设计任务即可告一段落,可以进行样机研制阶段。若未达到,则需查找原因,从而决定返回以上哪个步骤重新进行,直到达到预期目的。

安装与调试过程按照先局部后整机的原则,把系统划分为若干个功能块,根据信号的流向逐块装调,使各功能块都要达到各自技术指标的要求,然后把它们连接起来进行统调和系统测试。在局部电路调试中,要注意各信号输入端的正确处理和恢复,一般不允许悬空,以便使调试工作进行顺利。

通常安装调试工作的第一步,就是根据实验板或实验箱为设计者提供的使用面积和各元器件体积大小,画出一张简单的装配图,以确定各元器件的实际位置,这对于后面的布线和调试工作是十分重要的。第二步就是把元器件按装配图指示的位置插入实验板或实验箱的面包板上,然后进行接线。在接线时,应首先连接各集成块的电源线和地线,然后插入外围电路各器件,最后完成各集成块之间的信号连线。忘记电源线和地线是初学者很容易出现的错误。在接线完成之后就可以进行第三步调试工作了。

在电路加电之前,对照原理图和布线图反复检查,尽量排除接线上的错误,特别是各集成块的电源线和地线的接线错误,因为这两条线一旦接反就会造成器件永久性损坏,所以在查线时要特别注意。查线时可借助于万用表进行。

检查接线确定无误后方可通电。通电后如果没有发现冒烟和集成块过热现象,就可以进行电路的调试,如检查电路能否正常复位,信号是否送到,电路的状态转换和输出是否正常等。如果所设计的是模拟系统,首先把输入端对地短路,检查各级静态工作点是否正确,输出信号是否为零,加入信号后各级输出与输入信号的对应关系是否正确等。

在调试过程中会遇到各种故障,模拟系统最常见的故障是系统自激,即把输入端对地短路,用示波器观察各功能块的输出端都有幅度很大、频率很高的电压波形,这说明系统产生自激振荡,如不采取措施,很快会导致组件过热而损坏。产生自激振荡的原因主要有三种,一是各组件(某些运算放大器、模拟乘法器等)的频率补偿端漏接补偿电容,或电容的容值不合适。二是由于布线不合理形成空间交叉耦合,如功放级与输入级在几何位置上靠得太近,或由于输入级与输出级共用一根电源线或地线等。第三种原因是各功能块工作电流都要流经电源内阻,内阻压降对于系统某一级形成正反馈,而电路又未采取去耦措施等。以上三种原因都可能引起系统自激,解决的方法如图 0-2 所示。

如是第一种原因产生的自激,可在外补偿端接入 30pF 以下的电容,或在输出端和反相输入端之间接入 $1\sim 10\text{pF}$ 的补偿电容,如图 0-2(a)、(b)所示。如是第二种原因产生的自激,要重新布线,使输出级在几何位置上远离输入级,输出级的电源线和地线最好从电源的输出端点上单独接线,如图 0

—2(c)所示。第三种原因产生的自激,可采用去耦电路或加强电源滤波等方法加以解决,如图 0—2(d)、(e)所示。

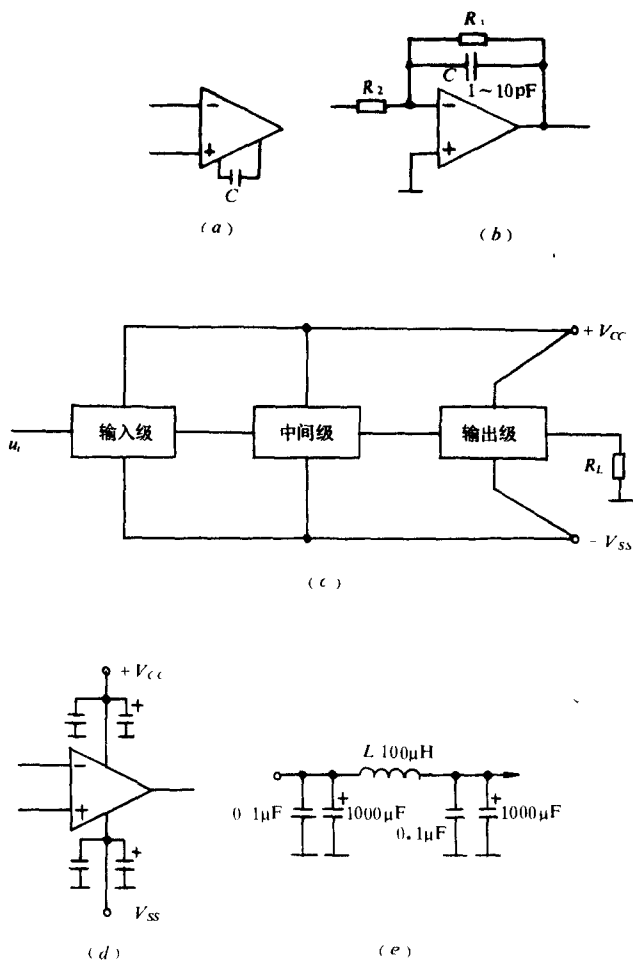


图 0—2 防止系统自激的几种方法

数字系统在安装调试中常见的故障有三种,接错线、漏接线和逻辑设计错误。排除方法可利用“故障点跟踪测试法”,即通过对某一预知特征点的观察,来确定电路工作是否正常。如发现该点的信号特征与预期结果不符,则向前一级查找,直至找到故障源。这种方法如能熟练地应用,可迅速找到故障点加以排除。

在应用以上方法时,要根据实际情况分别采用静态和动态测试法,如要测定电路的初始状态用静态测试法(电位法),如要了解电路状态转换情况,可用动态测试法(脉冲法)。

最常见的布线错误是漏接线和接错线。漏接线的结果往往使输入端浮空,浮空点的电平将偏离正常的逻辑电平,如TTL电路的输入端浮空点的电平大约为1.6V左右,而正常的“0”电平在0.2V与0.4V之间,“1”电平在2.4V与3.5V之间。CMOS电路的正常逻辑电平等于所用电源电压和地线电平。接错线有时会使器件输出端之间短路,两个具有相反电平的TTL电路输出端短路,输出电压大约为0.6V。对于这些特点的了解,将会有利于故障点的查找。

最常见的设计错误是对于某些输入端,设计者忘记了处理,从而造成浮空端子。这些端子对于TTL电路相当接了逻辑1电平,而对于CMOS电路,由于输入阻抗非常高,所以很小的噪声都会引起输入电平在逻辑1和逻辑0之间漂移。象计数器不计数、寄存器不寄存信息等问题,常常是设计者对诸如清零端、置数端、使能端等输入端未加处理而引入噪声所致。

此外,设计中常见的错误是对于竞争冒险考虑不周。这样的问题在调试过程中发现后,可根据具体情况选择不同的方法加以解决,例如,加滤波电容或重新修改逻辑设计等。

以上四个步骤是电子系统课程设计的中心环节。而在一般的工程设计中,还要进行工艺设计、样机制作、鉴定、小批量生产等工作。这些因超出了课程设计的范围,在这里不再多加叙述。

第一部分 模拟电子电路课程设计

课题(一) 全集成电路高保真扩音机

一、设计任务书

1. 题目

全集成电路高保真扩音机

2. 技术指标

- | | |
|----------------------|--|
| (1) 最大不失真输出功率 | $P_{OM} \geq 5W$ |
| (2) 负载阻抗 | $R_L = 4\Omega$ |
| (3) 频率特性(功率放大电路) | $f = 60Hz \sim 15kHz$ |
| (4) 失真度 | $\gamma < 3\%$ |
| (5) 频率均衡特性符合 RIAA 标准 | |
| (6) 音调调节特性 | 低音 $100Hz \pm 12dB$
高音 $10kHz \pm 12dB$ |
| (7) 输入灵敏度 | $< 5mV$ |
| (8) 输入阻抗 | $R_i \geq 100k\Omega$ |

二、设计过程举例

1. 课题分析

随着科学技术的不断进步,各种专用集成电路大量地涌现出来。在电子技术领域里,集成电路大有取代分立元件的趋势。在各种音响设备中,各种功能电路单元也不断地被集成电路所取代。技术难度大,工艺要求高的功率集成电路已形成系列化产品,并以高的性能价格比占领了市场。集成电路具有工

作可靠、外围电路简单,容易调试、内部设有各种保护设施、不易损坏等特点,同时还给系统设计带来极大方便。因此受到越来越多的从事电子技术工程人员和无线电爱好者的青睐和欢迎。

根据技术指标要求,全集成电路高保真扩音机,由三个部分组成,其方框图如图 1.1-1 所示。

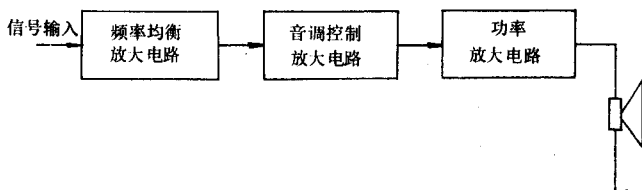


图 1.1-1 全集成电路高保真扩音机方框图

① 频率均衡放大电路 频率均衡放大电路主要任务有三个:一是与信号源相匹配,应具有较高的输入电阻;二是应具有频率均衡功能,频率均衡特性要符合 RIAA(美国工业协会)标准,以满足唱片对扩音机频率响应的要求;三是具有一定的中频电压放大倍数,以达到对整机电压增益的要求。

为了完成上述三项任务,频率均衡放大电路的基本电路应由运算放大器构成。利用理想运放所具备的输入电阻 $R_i = \infty$, 开环差模电压放大倍数 $A_{od} = \infty$, 输出电阻 $R_o = 0$ 的特点, 加入适当的选频网络作为反馈支路, 很容易实现对频率均衡特性和中频电压放大倍数的要求。

② 音调控制放大电路 音调控制放大电路有很多电路形式, 其中电路比较简单, 性能比较优良的是负反馈衰减式音调控制放大电路。这种电路特点是高低音可分别连续可调, 并

实现对高、低音的提升和衰减。电路由通用运算放大器及其外围电路组成,如电路参数选择合适,其调节特性可满足国际通用标准。

③ 功率放大电路 对功率放大电路的要求是输出功率足够大,转换效率高,非线性失真小,其幅频特性应满足指标所提出的要求,同时,其输出与输入端应与负载和音调控制放大电路相匹配。

市场销售的集成功放种类很多,从使用电源电压的高低、输出功率的大小、最佳负载值、到频率特性的宽窄等各有不同。电路设计者要善于从中选择能满足自己所需要的,外围电路简单、性能价格比较高的集成功放。

集成功放有单电源供电和双电源供电两种电路形式,因此输出电路与负载的耦合方式上也分为 OTL 和 OCL 两类。前者的优点是只用一种电源,缺点是频率响应差,输出功率小,电源利用率不高;后者的优点是输出与负载直接耦合,频率响应好,电源利用率高,输出功率大,缺点是用两组电源。究竟采用哪种集成功放还要综合考虑。例如,如果上述的频率均衡和音调控制放大电路都采用单电源供电的运放,集成功放就采用 OTL 电路结构形式,此时要想提高输出功率和电源的利用率,可用两片 OTL 型集成功放组成 BTL 电路。如果上述两种电路采用双电源供电的运放,则集成功放应采用 OCL 的电路结构形式,同时还要根据自己所具备的条件来决定取舍。

2. 方案论证

(1) 中频电压增益分配

由技术指标可知,当输入信号为 5mV 时,输出功率 $P_{OM} = 5\text{W}$,此时输出电压有效值为

$$U_{om} = \sqrt{P_{om}R_L} = \sqrt{5 \times 4} = 4.47V$$

因此整机中频电压增益

$$A_{um} = \frac{U_{om}}{U_i} = \frac{4.47}{0.005} = 894$$

为留有一定的余量,确定整机中频电压增益为 1000,折合 60dB。按照各级放大电路的特点,中频电压增益分配为

频率均衡放大电路	35 dB
音调控制放大电路	0 dB
功率放大电路	25 dB

(2) 频率均衡放大电路的组成和公式推导

① 对频率均衡放大电路的要求 由于工艺上的要求,唱片或磁带在录制时要维持一定的频率特性,即压低了低频段,而提高了高频段。为了在重放时,使声音还原并维持高的保真度,就需要进行频率补偿或者叫做频率均衡。按照国际上的规定,频率均衡特性必须符合 RIAA(美国工业协会)标准,如图 1.1-2 所示。实现这一频率均衡任务的网络叫做 RIAA EQ 网络,带有这一反馈网络的放大电路,叫做频率均衡放大电路。所以,一般高保真度扩音机的前置级都是由频率均衡放大电路组成。

图 1.1-2 中实线为所需要的 RIAA 特性。它提高了低频段,而压低了高频段,这样就较好地补偿了录音特性。如果用折线(波特图)逼近 RIAA,可以找出这一频率曲线的转折频率分别为

$$f_1 = 51 \text{ Hz}, \quad f_2 = 510 \text{ Hz}, \quad f_3 = 2120 \text{ Hz}$$

频率均衡放大电路,就是实现具有这三个转折频率幅频特性的放大电路。

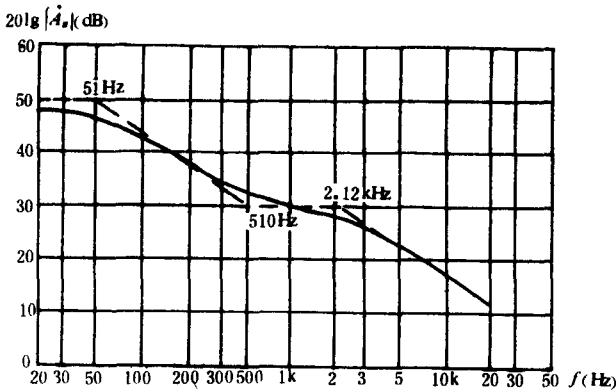


图 1 1-2 RIAA 特性

② 频率均衡放大电路的组成及公式推导 频率均衡放大电路是带有 EQ 反馈网络的负反馈放大电路,如图 1.1-3 所示。只要基本放大电路(开环)电压放大倍数 A 足够大,其反馈放大器的放大倍数

$$A_f = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_2 + Z_1}{Z_2}$$

适当选择 EQ 网络即

Z 中的参数,可使放大电路的放大倍数 $A_f = (Z_2 + Z_1)/Z_2$ 的幅频特性满足 RIAA 特性的要求。

在图 1.1-3 中, C_1, C_4 是耦合电容,其电容量较大,在通

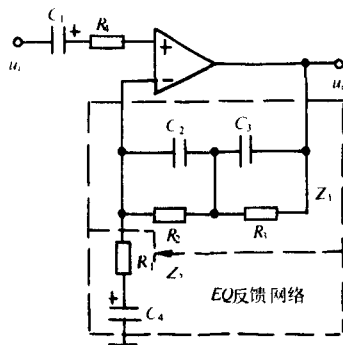


图 1 1-3 频率均衡放大电路