

山东省教育委员会“九五”立项教材

现代电子系统设计

刘润华 等编著



石油大学出版社

TN702

L71

414415

山东省教委“九五”立项教材

现代电子系统设计

刘润华 董传岱 邬彦辉 于云华 编著

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代电子系统设计/刘润华等编著. —东营:石油大学出版社, 1998. 5

山东省教育委员会“九五”立项教材

ISBN 7-5636-1100-2

I. 现… II. 刘… III. 电子系统-设计-教材 IV. TN103

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13368 号

DV53/18

现代电子系统设计

刘润华 等编著

出版者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257062)

印刷者:山东东营新华印刷厂印刷

发行者:石油大学出版社(电话 0546-8392563)

开 本:787×1092 1/16 印张:13.125 字数:336 千字

版 次:1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:20.00 元

前 言

现代电子技术发展极为迅速,新的理论、方法、器件等层出不穷,它的应用已渗透到工业、农业、商业、医疗、国防以及日常生活中,促进了国民经济的迅速增长。为了帮助广大电子技术工作者、电类专业的大学生和电子爱好者掌握和用好现代电子系统设计的有关知识与技能,我们联合山东工程学院,组织编写了《现代电子系统设计》一书。本书经山东省教委批准为“山东省教育委员会‘九五’立项教材”。该书介绍了电子系统设计必要的基础知识、常规电子设计思想及有关电路元器件的选择方法;介绍了现代的计算机辅助设计、可编程逻辑器件的设计和单片机应用系统的设计方法;列举了设计实例,以帮助读者进一步熟悉电子设计的审题、方案论证、参数计算、安装调试以及总结等步骤;列出了用于电子技术课程设计和综合系统设计的具有代表性的课题。

本书具有下列特点:

1. **先进性** 电子电路的计算机辅助设计是电子系统设计不可缺少的环节,越来越引起电子设计工作者的重视。本书选用了 Electronics Workbench EDA 这一功能强、价位低、界面良好的最新仿真软件。有了这一软件,便相当于拥有一个先进的“电子实验室”,读者可以随意设计自己需要的电路并进行仿真,可以进行静态、动态等多种分析,也可观察其波形。可编程逻辑器件是近几年来发展极快、应用很广的一类新型器件,本书重点介绍了 LATTICE 公司和 AMD 公司的最新产品和设计开发软件。绘图软件也选用了最新版本 Protel。

2. **实用性** 学习电子技术重在于用,因此,本书自始至终都突出它的实用性。常用电子元器件一章不是罗列各种元器件,而是指导读者在设计电路时,针对不同情况和要求应怎样选择元器件。在电路设计时,突出设计电路的步骤、方法、单片机系统的接口方法以及电路的安装调试方法等重点内容。电子技术课程设计题目都具有较强的实用价值;综合系统设计题目均选自历届全国大学生电子设计竞赛试题。

3. **便于自学** 本书详细地介绍了电子电路的仿真、PLD 器件的开发以及绘制电路原理图和印制板图三类软件的使用说明和详细的上机操作步骤,因此,对于学完电子技术基础的读者来说,完全可以用本书靠自学掌握这三部分内容。

本书可作为电子技术课程设计教材,数字电路、电子电路 CAD 课程补充教材,更适合作为大学生电子设计竞赛的指导书。

本书共分七章,第一、二章由董传岱编写,第三、五、七章由刘润华编写,第四章由于云华编写,第六章由邬彦辉编写,全书由刘润华统稿。

本书由林柏华教授主审,他对初稿提出了许多宝贵的修改意见。张红岩同志绘制了本书的部分插图。在编写过程中,得到了山东省教委高教处、石油大学教务处等有关领导的大力支持,也得到了石油大学电子学教研室许多老师的帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,加之编写时间仓促,缺点和错误在所难免,诚恳希望各兄弟院校的老师 and 读者指正,以便再版时予以修订。

作 者

1998 年 6 月于石油大学

目 录

第一章 电子系统设计基础知识	1
§ 1.1 电子系统的设计方法	1
§ 1.2 电子电路的组装、调试与总结	3
§ 1.3 电子电路的抗干扰措施	6
第二章 常用电子元器件	9
§ 2.1 电阻器	9
§ 2.2 电位器	14
§ 2.3 电容器	17
§ 2.4 电感器	22
§ 2.5 半导体分立器件	23
§ 2.6 半导体集成电路	30
第三章 电子电路的仿真	34
§ 3.1 EWB 概述及安装	34
§ 3.2 EWB 的主窗口	36
§ 3.3 EWB 的操作使用方法	46
§ 3.4 EWB 的主要分析功能	61
第四章 PLD 在系统可编程技术	67
§ 4.1 可编程逻辑器件(PLD)基本原理	67
§ 4.2 通用阵列逻辑(GAL)原理及应用	73
§ 4.3 高密度、在系统可编程逻辑器件	77
§ 4.4 ISP Synario System 使用指南	90
§ 4.5 PALASM4 软件使用指南	101
第五章 单片机应用系统设计	112
§ 5.1 单片机应用系统设计概述	112
§ 5.2 单片机的系统扩展	114
§ 5.3 单片机接口设计	124
第六章 PROTEL FOR WINDOWS 设计软件	139
§ 6.1 PROTEL 概述和安装	139
§ 6.2 电路原理图设计	143
§ 6.3 印制板图设计	160
附录 主工具栏及常用功能键说明	174
第七章 设计实例及课题	178
§ 7.1 设计实例	178
§ 7.2 电子技术课程设计课题	187
题目一 可编程函数发生器	187
题目二 数控有源滤波器	188

题目三	开关型直流稳压电源·····	190
题目四	数字电压表·····	190
题目五	电容数字测量仪·····	191
题目六	数字频率计·····	192
题目七	数字显示的峰值检测系统·····	194
题目八	多踪示波器·····	195
§ 7.3	综合设计课题(历届全国大学生电子设计竞赛试题)·····	196
题目一	简易数控直流电源·····	196
题目二	多路数据采集系统·····	197
题目三	实用低频功率放大器·····	198
题目四	实用信号源的设计和制作·····	199
题目五	简易无线电遥控系统·····	199
题目六	简易电阻、电容和电感测试仪·····	200
题目七	直流稳定电源·····	201
题目八	简易数字频率计·····	202
题目九	水温控制系统·····	203
题目十	调幅广播收音机·····	203

第一章 电子系统设计基础知识

根据电子系统的功能或任务要求,电子系统设计包括方案选择、电子电路设计、组装、调试、总结等环节。本章简要介绍有关的基本知识,为设计电子系统提供一个总体思路。

§ 1.1 电子系统的设计方法

在设计一个电子电路系统时,首先必须明确系统的设计任务,根据任务进行方案选择,然后对方案中的各部分进行单元电路的设计、参数计算和元器件选择,最后将各部分连接在一起,画出一个符合设计要求的完整的系统电路图。

一、明确系统的设计任务要求

对系统的设计任务进行具体分析,充分了解系统的性能、指标、内容及要求,以便明确系统应完成的任务。

二、方案选择

这一步的工作要求是把系统要完成的任务分配给若干个单元电路,并画出一个能表示各单元功能的整机原理框图。

方案选择的重要任务是根据掌握的知识和资料,针对系统提出的任务、要求和条件,完成系统的功能设计。在这个过程中要敢于探索,勇于创新,争取方案的设计合理、可靠、经济、功能齐全、技术先进。并且对方案要不断进行可行性和优缺点的分析,最后设计出一个完整框图。

三、单元电路的设计、参数计算和器件选择

根据系统指标和功能框图,明确任务,进行各单元电路的设计、参数计算和元器件选择。

1. 单元电路设计

单元电路是整机的一部分,只有把各单元电路设计好才能提高整体设计水平。

每个单元电路设计前都需明确本单元电路的任务,详细拟定出单元电路的性能指标,与前后级之间的关系,分析电路的组成形式。具体设计时,可以模仿成熟的先进的电路,也可以进行创新或改进,但都必须保证性能要求。而且,不仅单元电路本身要求设计合理,各单元电路间也要互相配合,注意各部分的输入信号、输出信号和控制信号的关系。

2. 参数计算

为保证单元电路达到功能指标要求,就需要用电子技术知识对参数进行计算,例如放大电路中各电阻值、放大倍数;振荡器中电阻、电容、振荡频率等参数。只有很好地理解电路的工作原理,正确利用计算公式,计算的参数才能满足设计要求。

参数计算时,同一个电路可能有几组数据,注意选择一组能完成电路设计功能、在实践中能真正可行的参数。

计算电路参数时应注意下列问题:

- (1) 元器件的工作电流、电压、频率和功耗等参数应能满足电路指标的要求。
- (2) 元器件的极限参数必须留有足够裕量,一般应大于额定值的 1.5 倍。
- (3) 电阻器和电容器的参数应选计算值附近的标称值。

3. 元器件选择

(1) 阻容元件的选择。电阻器和电容器种类很多,正确选择电阻器和电容器是很重要的。不同的电路对电阻器和电容器性能的要求也不同,有些电路对电容器的漏电要求很严,有些电路对电阻器、电容器的性能和容量要求很高,如滤波电路中常用大容量($100 \sim 3000\mu\text{F}$)铝电解电容器,为滤掉高频,通常还需并联小容量($0.01 \sim 0.1\mu\text{F}$)瓷片电容器。设计时要根据电路的要求选择性能和参数合适的阻容元件,并要注意功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求。

(2) 分立元件的选择。分立元件包括二极管、晶体三极管、场效应管、光电二极管、光电三极管、晶闸管等。根据其用途分别进行选择。

选择的器件种类不同,注意事项也不同。例如选择晶体三极管时,首先注意是 NPN 型还是 PNP 型管,是高频管还是低频管,是大功率管还是小功率管,并注意管子的参数 P_{CM} 、 I_{CM} 、 BU_{CEO} 、 BU_{EBO} 、 I_{CBO} 、 β 、 f_{T} 和 f_{β} 是否满足电路设计指标的要求,高频工作时要求 $f_{\text{T}}=(5 \sim 10)f$, f 为工作频率。

(3) 集成电路的选择。由于集成电路可以实现很多单元电路甚至整机电路的功能,所以选用集成电路设计单元电路和总体电路既方便又灵活,它不仅使系统体积缩小,而且性能可靠,便于调试及安装,在设计电路时颇受欢迎。

集成电路有模拟集成电路和数字集成电路。器件的型号、功能、特性可查阅有关手册。

选择的集成电路不仅要在功能和特性上实现设计方案,而且要满足功耗、电压、速度、价格等多方面要求。

四、计算机辅助设计

随着电子计算机及其相关技术的发展,一门崭新的技术正在世界范围内兴起,这就是计算机辅助设计(CAD)技术。电子电路 CAD 是 CAD 技术的一个分支,它旨在帮助电子设计工程师开发新的电子电路与系统,其内容包括方案验证与设计、电路与印刷板设计等。

1. 电路图的绘制

目前比较流行的或应用广泛的绘图软件包有 PROTEL 和 OrCAD/STD。关于软件包的使用可参考第六章和其它书籍。下面介绍一下绘制电路图时应注意的几个问题。

(1) 布局合理、排列均匀、图面清晰、便于看图、有利于对图的理解和阅读。

有时一个总电路图由几部分组成,绘图时应尽量把总电路图画在一张纸上。如果电路比较复杂,需绘制几张图,则应把主电路图画在同一张图纸上,而把一些比较独立或次要的部分画在另外的图纸上,并在图的断口两端做上标记,标出信号从一张图到另一张图的引出点和引入点,以此说明各图纸在电路连线之间的关系。

有时为了强调并便于看清各单元电路的功能关系,每一个功能单元电路的元件应集中布置在一起,并尽可能按工作顺序排列。

(2) 注意信号的流向,一般从输入端或信号源画起,从左至右或由上至下按信号的流向依次画出各单元电路,而反馈通路的信号流向则与此相反。

(3) 图形符号要标准,图中应加适当的标注。电路图的中、大规模集成电路器件,一般用方框表示,在方框中标出它的型号,在方框的边线两侧标出每根线的功能名称和管脚号。除中、大规模器件外,其余元器件符号应当标准化。

(4) 连接线应为直线,并且交叉和折弯应最少。通常连接线可以水平布置或垂直布置,一般不画斜线。互相连通的交叉线,应在交叉处用圆点表示。根据需要,可以在连接线上加注信号名或其它标记,表示其功能或其去向。有的连线可用符号表示,例如器件的电源一般标电源电压的数值,地线用符号“ $\perp$ ”表示。

2. 电子电路的仿真

前面谈到了电子系统的方案选择、电路设计以及参数计算和元器件选择。但是,方案的选择是否合理,电路设计是否正确,元器件选择是否经济,这些问题还有待于研究。传统的设计方法只能通过实验来解决以上问题,这样不仅延长了设计时间,而且需要大量元器件,有时设计不当可能要烧坏元器件,因此设计成本高。而利用电子电路 CAD 技术,可对设计的电路进行分析、仿真、虚拟实验,不仅提高了设计效率,而且可以通过反复仿真得到一个最佳方案。目前应用较为广泛的电子电路仿真软件有 PSPICE、OrCAD。最近又出现了功能多、应用方便的 ELECTRONICS WORK BENCH (详见第三章)。

3. 印刷电路板的设计

借助计算机对印刷电路板进行辅助设计已经取代了传统的手工设计,它不仅可以使底图更整洁、标准,而且能够解决手工布线印刷导线不能过细和较窄的间隙不易布线等问题,同时可彻底解决双面板焊盘严格的一一对应问题。

PROTEL 软件包是绘制印刷电路板的最常用软件,目前又出现了 WINDOWS 版的 PROTEL,更有利于用户的使用。除此以外,也可用 OrCAD/PCBT 设计印刷电路板。

§ 1.2 电子电路的组装、调试与总结

一、电子电路的组装

1. 元器件的焊接技术

当印刷电路板设计好后,需要将元器件焊接在印刷板上。焊接质量取决于四个条件:焊接工具、焊料、焊剂、焊接技术。

(1) 焊接工具。电烙铁是焊接的主要工具,直接影响着焊接质量。要根据不同的焊接对象选择不同功率的电烙铁。焊接集成电路一般可选用 25W 的,元器件管脚较粗或印刷板焊盘面积较大时可选用 45W 或功率更大的。焊接 CMOS 电路一般选用 20W 内热式电烙铁,而且外壳要连接良好的接地线。若用外热式电烙铁,最好采用烙铁断电,用余热焊接,必要时还要采取人体接地的措施。

(2) 焊料。常用的焊料是焊锡,焊锡是一种铅锡合金。市场上出售的焊锡丝有两种:一种是将焊锡做成管状,管内填有松香,称松香焊锡丝,使用这种焊锡丝时,可以不加助焊剂;另一种是无松香的焊锡丝,焊接时要加助焊剂。

(3) 焊剂。焊接元器件通常使用的焊剂有松香和松香酒精溶液,后者比前者焊接效果好。

(4) 焊接技术。首先要求焊接牢固、无虚焊,其次是焊点的大小、形状及表面粗糙度等。焊接前,必须把焊点和焊件表面处理干净,轻的可用酒精擦洗,重的要用刀刮或砂纸磨,直到露出光亮金属后再蘸上焊剂,镀上锡,将被焊的金属表面加热到焊锡熔化的温度。焊接过程是这样的:把烙铁头放在焊件上,待焊件的温度达到焊锡熔化的温度时,使焊锡丝接触焊件,当适量的焊锡丝熔化后,立即移开焊锡丝,再移开烙铁,整个过程只需几秒钟。

2. 在面包板上的插接技术

在学生进行电子系统设计或课程设计过程中,为了提高元器件的重复利用率,往往在面包板上插接电路。下面介绍在面包板上用插接方式组装电路的方法。

(1) 集成电路的装插。插接集成电路时首先应认清方向,不要倒插,所有集成电路的插入方向要保持一致。

(2) 元器件的位置。根据电路图的各部分功能确定元器件在面包板上的位置,并按信号的流向将元器件顺序地连接,以易于调试。

(3) 导线的选用和连接。连接用的导线要求紧贴在面包板上,避免接触不良。连线不允许跨接在集成电路上,一般从集成电路周围通过,尽量做到横平竖直,这样便于查线和更换器件。

组装电路时要注意,电路之间要共地。正确的组装方法和合理的布局,不仅使电路整齐美观,而且能够提高电路工作的可靠性,便于检查和排除故障。

二、电子电路的调试

通常有以下两种调试电路的方法:

第一种是采用边安装边调试的方法。把一个总电路按框图上的功能分成若干单元电路,分别进行安装和调试,在完成各单元电路调试的基础上逐步扩大安装和调试的范围,最后完成整机调试。对于新设计的电路,此方法既便于调试,又可及时发现和解决问题。该方法适于课程设计中采用。

第二种方法是整个电路安装完毕,实行一次性调试。这种方法适于定型产品。

调试时应注意做好调试记录,准确记录电路各部分的测试数据和波形,以便于分析和运行时参考。

一般调试步骤如下:

1. 通电前检查

电路安装完毕,首先直观检查电路各部分接线是否正确,检查电源、地线、信号线、元器件引脚之间有无短路,器件有无接错。

2. 通电检查

接入电路所要求的电源电压,观察电路中各部分器件有无异常现象。如果出现异常现象,则应立即关断电源,待排除故障后方可重新通电。

3. 单元电路调试

在调试单元电路时应明确本部分的调试要求,按调试要求测试性能指标和观察波形。调试顺序按信号的流向进行,这样可以把前面调试过的输出信号作为后一级的输入信号,为最后的整机联调创造条件。电路调试包括静态和动态调试,通过调试掌握必要的数据、波形、现象,然后对电路进行分析、判断、排除故障,完成调试要求。

4. 整机联调

各单元电路调试完成后就为整机调试打下了基础。整机联调时应观察各单元电路连接后各级之间的信号关系,主要观察动态结果,检查电路的性能和参数,分析测量的数据和波形是否符合设计要求,对发现的故障和问题及时采取处理措施。

电路故障的排除可以按下述 8 种方法进行:

(1) 信号寻迹法。寻找电路故障时,一般可以按信号的流程逐级进行。从电路的输入端加入适当的信号,用示波器或电压表等仪器逐级检查信号在电路内各部分传输的情况,根据电路的工作原理分析电路的功能是否正常,如果有问题,应及时处理。调试电路时也可以从输出级向输入级倒推进行,信号从最后一级电路的输入端加入,观察输出端是否正常,然后逐级将适当信号加入前面一级电路输入端,继续进行检查。

(2) 对分法。把有故障的电路分为两部分,先检测这两部分中究竟是哪部分有故障,然后再对有故障的部分对分检测,一直到找出故障为止。采用“对分法”可减少调试工作量。

(3) 分割测试法。对于一些有反馈的环形电路,如振荡器、稳压器等电路,它们各级的

工作情况互相有牵连,这时可采取分割环路的方法,将反馈环去掉,然后逐级检查,可更快地查出故障部分。对自激振荡现象也可以用此法检查。

(4) 电容器旁路法。如遇电路发生自激振荡或寄生调幅等故障,检测时可用一只容量较大的电容器并联到故障电路的输入或输出端,观察对故障现象的影响,据此分析故障的部位。在放大电路中,旁路电容失效或开路,使负反馈加强,输出量下降,此时用适当的电容并联在旁路电容两端,就可以看到输出幅度恢复正常,也就可以断定旁路电容的问题。这种检查可能要多处试验才有结果,这时要细心分析可能引起故障的原因。这种方法也可用来检查电源滤波和去偶电路的故障。

(5) 对比法。将有问题的电路的状态、参数与相同的正常电路进行逐项对比。此方法可以比较快地从异常的参数中分析出故障。

(6) 替代法。把已调试好的单元电路代替有故障或有疑问的相同的单元电路(注意共地),这样可以很快判断故障部位。有时元器件的故障不很明显,如电容器漏电、电阻器变质、晶体管和集成电路性能下降等,这时用相同规格的优质元器件逐一替代实验,就可以具体地判断故障点,加快查找故障点的速度,提高调试效率。

(7) 静态测试法。故障部位找到后,要确定是哪一个或哪几个元器件有问题,最常用的就是静态测试法和动态测试法。静态测试是用万用表测试电阻值、电容器是否漏电、电路是否断路或短路,晶体管和集成电路的各引脚电压是否正常等。这种测试是在电路不加信号时进行的,所以叫静态测试。通过这种测试可发现元器件的故障。

(8) 动态测试法。当静态测试还不能发现故障时,可采用动态测试法。测试时在电路输入端加上适当的信号再测试元器件的工作情况,观察电路的工作状况,分析、判别故障原因。

组装电路要认真细心,要有严谨的科学作风。安装电路要注意布局合理。调试电路要注意正确使用测量仪器,调试过程中不断记录观察到的现象、测量到的数据和波形。通过组装调试电路,不断发现和解决问题,提高设计水平,圆满完成设计任务。

三、总结报告

电子系统设计的总结报告是对学生写科学论文和科研总结报告的能力训练。通过写报告,不仅把设计、组装、调试的内容进行全面总结,而且把实践内容上升到理论高度。总结报告应包括以下几点:

- (1) 课题名称。
- (2) 内容摘要。
- (3) 设计内容及要求。
- (4) 比较和选定设计的系统方案,画出系统框图。
- (5) 单元电路设计、参数计算和元器件选择。
- (6) 画出完整的电路图,并说明电路的工作原理。
- (7) 组装调试的内容。包括:
 - ① 使用的主要仪器和仪表;
 - ② 调试电路的方法和技巧;
 - ③ 测试的数据和波形并与计算结果比较分析;
 - ④ 调试中出现的故障、原因及排除方法。
- (8) 总结设计电路和方案的优缺点,指出课题的核心及实用价值,提出改进意见和展望。
- (9) 列出系统需要的元器件。

- (10) 列出参考文献。
- (11) 收获、体会。

§ 1.3 电子电路的抗干扰措施

电子系统的可靠性是由多种因素决定的,其中,电路的抗干扰性能是影响可靠性的主要因素之一。因此,研究电路的抗干扰技术是系统设计的重要内容。

在分析干扰时,要弄清形成干扰的三要素,即干扰源(噪声源)、接收电路和它们之间的耦合方式。常见干扰有供电系统的电源干扰、电磁场干扰和通道干扰等。

抑制干扰主要从形成干扰的三方面采取措施。

- (1) 消除和抑制噪声源。
- (2) 破坏干扰通道。
- (3) 削弱接收电路对噪声干扰信号的敏感性。

目前广泛采用的抗干扰措施有以下几种方法。

一、供电系统抗干扰措施

任何电源及输电线路都存在内阻,正是这些内阻引进了电源的噪声干扰。为保证电子线路正常工作,防止从电源引入干扰,可采取以下措施。

1. 采用交流稳压器供电

用交流稳压器供电可保证供电的稳定性,防止电源系统的过压和欠压,有利于提高整个系统的可靠性。

2. 采用隔离变压器供电

由于高频噪声通过变压器引入电路,主要不是靠初、次级线圈的互感耦合,而是靠初、次级间寄生电容耦合的,故隔离变压器的初级和次级间均用屏蔽层隔离,以减少其分布电容,提高抗共模干扰的能力。

3. 加装滤波器

(1) 低通滤波器。电源系统的干扰源大部分是高次谐波,因此采用低通滤波器滤去高次谐波,以改善电源波形。

(2) 交流电源进线的对称滤波器。根据要求可以采用对高频噪声干扰抑制有效的高频干扰电压对称滤波器,也可采用低频干扰电压对称滤波器。

(3) 直流电源出线的滤波器。为减弱公用电源内阻在电路间形成的噪声耦合,在直流电源输出端需加装高、低通滤波器。

(4) 退耦滤波器。一个直流电源同时对几个电路供电,为了避免通过电源内阻造成几个电路之间相互干扰,应在每个电路的直流电源进线之间加装 π 型 RC 或 LC 退耦滤波器。

4. 采用分散独立电源功能块供电

在每个功能电路上用三端稳压集成块如7805、7905、7812、7912等组成稳压电源。每个功能块单独有电压过载保护,不会因某块稳压电源故障而使整个系统破坏,而且也减少了公共阻抗的相互耦合,大大提高了供电的可靠性,也有利于电源散热。

5. 采用高抗干扰稳压电源及干扰抑制器

采用超隔离变压器稳压电源。这种电源具有高的共模抑制比及串模抑制比,能在较宽的频率范围内抑制干扰。

采用反激变换器开关稳压电源。利用该电源的变换器的储能作用，在反激时把输入的干扰信号抑制掉。

采用频谱均衡法原理制成的干扰抑制器，把干扰的瞬变能量转换成多种频率能量，达到均衡目的。它的明显优点是抗电网瞬变干扰能力强。

二、屏蔽技术

防止静电或电磁的相互感应所采用的方法称之为“屏蔽”。屏蔽的目的就是隔断“场”的耦合。

1. 静电屏蔽

静电屏蔽是利用与大地相连的导电性良好的金属容器，使静电场的电力线在接地的导体处中断，即内部的电力线不外传而外部的电力线也不影响其内部，起到隔离电场的作用。

静电屏蔽能防止静电场的影响，在实际布线中如果在两导线之间敷设一条接地导线，可以削弱两导线之间由于寄生分布电容耦合而产生的干扰；也可将具有静电耦合的两个导体在间隔保持不变的条件下靠近大地，其耦合也将减弱。

2. 电磁屏蔽

采用导电性能良好的金属材料做成屏蔽层，利用高频电磁场对屏蔽金属的作用，使高频干扰电磁场在屏蔽金属内产生涡流，而此涡流产生的磁场又抵消或减弱高频干扰磁场的影响。

这种利用涡流反磁场作用的电磁屏蔽在原理上与屏蔽体是否接地无关，但一般在实际使用时屏蔽体经常接地，这样又可同时起到静电屏蔽的作用。

3. 低频磁屏蔽

采用高导磁材料作屏蔽层，以便将干扰磁通限制在磁阻很小的磁屏蔽体的内部，防止其干扰。一般选取坡莫合金类、对低频磁通具有高导磁率的铁磁材料，同时要有一定的厚度以减小磁阻。目前，铁氧体压制成的罐型磁芯也用作低频磁屏蔽或电磁屏蔽。设计屏蔽罩时要注意其开口和接缝不要横过磁力线的方向以免增加磁阻，破坏屏蔽性能。

4. 屏蔽规则

(1) 静电屏蔽罩必须与被屏蔽电路的零信号基准电位线相接。

(2) 零信号基准电位线的相接点必须保证干扰电流不流经信号线。由此可见，要求屏蔽的连接应使屏蔽线上的寄生电流直接泄露到接地点。

三、接地

接地是抑制干扰的重要方法，如能将接地和屏蔽正确结合起来，可解决大部分干扰问题。

在电子电路中，地线有系统地、机壳地(屏蔽地)、数字地(逻辑地)和模拟地等。如果一个电路有两点以上接地，则由于两点间的地电位差而引起干扰，因此一般采用“一点接地”。

1. 单点接地

多级电路通过公共接地母线后再在一点接地，如图 1-1(a)所示。该图虽然避免了点接地因地电位差引起的干扰，但在公共地线上却存在 A、B 和 C 三点不同的对地电位差。如果各级电平相差不大，这种接地方式可以使用。反之则不能使用，因为高电平会产生较大的地电流，并且使这个干扰窜入到低电平电路中去。这种接地方式仅限于级数不多、各级电平相差不大或抗干扰能力较强的数字电路。

图 1-1(b)是另一种单点接地方式，此时 A、B 和 C 三点对地电位只与本电路的地电流和地线阻抗有关，各电路之间的电流不形成耦合，该种接地方式一般用于频率在 1MHz 以下的电路中。

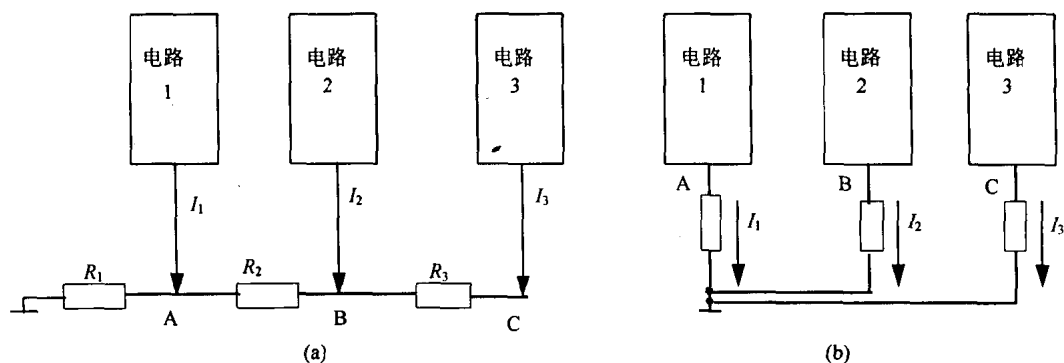


图 1-1 多级电路的单元接地

2. 数字、模拟电路的接地分开

一个系统既有高速逻辑电路，又有线性电路，为避免数字电路对模拟电路的工作造成干扰，两者的地线不要相混，而应分别与电源端地线相连。

四、传输通道的抗干扰措施

在电子电路信号的长线传输过程中会产生通道干扰。为了保证长线传输的可靠性，主要措施有光电耦合隔离、双绞线传输等。

1. 光电耦合隔离

采用光电耦合器可有效地切断地环路电流的干扰，如图 1-2 所示，电路 1 和 2 之间采用光电耦合，可把两个电路的地电位完全隔离，即使两个电路的地电位不同也不致于造成干扰。

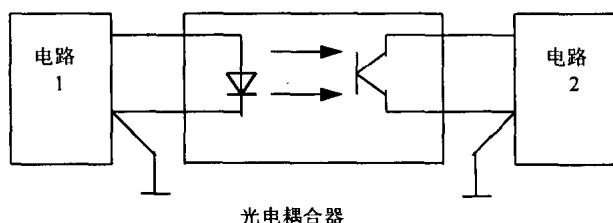


图 1-2 光电耦合隔离示意图

光电耦合隔离的主要优点是能抑制尖峰脉冲及各种噪声干扰，有很强的抗干扰能力。

2. 双绞线传输

在系统的长线传输中，双绞线是常用的一种传输线。它的缺点是频带较窄，优点是波阻抗高，抗共模噪声能力强。双绞线能使各个小环路的电磁感应干扰互相抵消，其分布电容为几十皮法(pF)，距离信号源近，可起到积分作用，故双绞线对电磁场具有一定抑制效果。

五、抗干扰的其它常用方法

- (1) 在电路的关键部位配置去耦电容。
- (2) CMOS 芯片的输入阻抗很高，使用时，对其不用端应根据功能接地或接正电源。
- (3) TTL 器件的多余输入端不能悬空，应根据其功能进行处理。
- (4) 按钮、继电器、接触器等元件的接点动作时会产生火花，必须用 RC 电路加以吸收。

第二章 常用电子元器件

电子元器件是构成电子电路的基础，熟悉各类电子元器件的性能、特点和用途，对设计和安装调试电子电路十分重要。本章将对常用电子元器件按其类别、性能、选用等进行简单介绍，力求对五花八门的电子元器件有一概括了解，以便在设计电子系统时能够正确选用。

§ 2.1 电 阻 器

电阻器是电子电路中应用最多的元件之一。电阻器的种类繁多。

按结构形式可分为：一般电阻器、片形电阻器、可变电阻器(电位器)。本节只介绍一般电阻器。

按材料可分为：合金型、薄膜型和合成型。

按用途可分为：

普通型：允许误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等。精密型：允许误差 $\pm 2\% \sim \pm 0.001\%$ 。

高频型：亦称无感电阻,功率可达 100W。高压型：额定电压可达 35kV。

高阻型：阻值为 $10 \sim 100M\Omega$ 。熔断型：亦称保险丝电阻器。

敏感型：阻值对温度、压力、气体等敏感。

一、电阻器的主要技术指标

1. 额定功率

电阻器在电路中长时间连续工作不损坏，或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率称为电阻器的额定功率。电阻器的额定功率是它在电路中工作允许消耗功率的限额。不同类型的电阻器有不同系列的额定功率，见表 2-1。

表 2-1 电阻器的功率等级

名 称	额定功率/W					
实芯电阻器	0.25	0.5	1	2	5	
线绕电阻器	0.5	1	2	6	10	15
	25	35	50	75	100	150
薄膜电阻器	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5	1
	2	5	10	25	50	100

2. 标称阻值

阻值是电阻器的主要参数之一，不同类型的电阻器，阻值范围不同，不同精度的电阻器其阻值系列不同，根据部标，常用的标称电阻值(E24、E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器)系列列于表 2-2。

3. 精度

实际阻值与标称阻值的相对误差称为电阻精度，也称允差。普通电阻的精度可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等，精密电阻的精度可分为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.05\% \cdots \pm 0.001\%$ 等十多种系列。在电子系统设计中，可根据电路的不同要求选用不同精度的电阻器。

表 2-2 标称值系列

标称值系列	精度	电阻器、电位器、电容器标称值 ^①							
E24	±5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E12	±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7		
		3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2		
E6	±20%	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8		

注：①表中数值再乘以 10^n ，其中 n 为整数。

4. 温度系数

所有材料的电阻率，都随温度变化而变化，电阻器的阻值同样如此。在衡量电阻器温度稳定性时，常使用温度系数：

$$\alpha_T = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1/^\circ\text{C})$$

式中， R_1 为温度为 t_1 时的电阻值， R_2 为温度为 t_2 时的电阻值。

金属膜、合成膜电阻，具有较小的正温度系数，碳膜电阻具有负温度系数。

5. 非线性

流过电阻中的电流与加在两端的电压不成比例变化时，称非线性电阻。一般金属型电阻线性度很好，非金属型电阻线性度差。

6. 噪声

噪声为产生于电阻器中的一种不规则电压。它包括热噪声和电流噪声两种。任何电阻器都有热噪声，降低电阻器的工作温度，可以减少热噪声；电流噪声与电阻器内的微观结构有关，合金型无电流噪声，薄膜型较小，合成型最大。

7. 极限电压

电阻器两端电压增加到一定值时，会发生烧毁现象，使电阻器损坏，根据电阻器的额定功率可计算电阻器的额定电压，当所加电压升高到一定值不允许再增加时的电压，称为极限电压。它受电阻器尺寸及结构的限制。

二、电阻器的标志内容及方法

电阻器有多项技术指标，但由于表面积有限和对参数关心的程度不同，一般只标明阻值、精度、材料、功率等项。对于 $1/8 \sim 1/2\text{W}$ 之间的小电阻器，通常只标注阻值和精度，材料及功率通常由外形尺寸及颜色判断。电阻器参数的标志方法通常用文字、符号直标或色带标出。

1. 文字符号直标

(1) 标称阻值。阻值单位： Ω 、 $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧)、 $\text{G}\Omega$ (吉欧)、 $\text{T}\Omega$ (太欧)。遇有小数时，常以 Ω 、 k 、 M 取代小数点，如 0.1Ω 标为 $\Omega 1$ ， 3.6Ω 标为 $3\Omega 6$ ， $3.3\text{k}\Omega$ 标为 $3\text{k}3$ ， $2.7\text{M}\Omega$ 标为 $2\text{M}7$ 。

(2) 精度。普通电阻精度分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三种，在电阻标称值后，标明 I(J)、II(K)、III(M) 符号。

精密电阻器的精度等级，可用不同的符号标明，见表 2-3。

表 2-3 精密电阻器的精度等级

%	±0.001	±0.002	±0.005	±0.01	±0.02	±0.05	±0.1	±0.2	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20
符号	E	X	Y	H	U	W	B	C	D	F	G	J	K	M

(3) 功率。通常 2W 以下的电阻器不标，通过外形尺寸即可判定，2W 以上功率的电阻器用数字标出。

(4) 材料。2W 以下的小功率电阻器，电阻器材料通常也不标出。对于普通碳膜和金属膜电阻器，通过外表颜色可以判定。通常碳膜电阻器涂绿色或棕色，金属膜电阻器涂红色或棕色。2W 以上功率的电阻器大部分在电阻体上以符号标出，符号含义如表 2-4。

表 2-4 电阻器材料及代表符号

符号	T	J	X	H	Y	C	S	I	N
材料	碳膜	金属膜	线绕	合成膜	氧化膜	沉积膜	有机实芯	玻璃釉膜	无机实芯

2. 色码标志法

小功率电阻器较多情况使用色标法，特别是 0.5W 以下的碳膜和金属膜电阻器更为普通。色标的基本色码及基本意义列于表 2-5。

表 2-5 色标的基本色码及意义

色别	第一环	第二环	第三环	第四环	第五环
	第一位数	第二位数	第三位数	应乘倍率	精度
棕	1	1	1	10	F±1%
红	2	2	2	10 ²	G±2%
橙	3	3	3	10 ³	
黄	4	4	4	10 ⁴	
绿	5	5	5	10 ⁵	D±0.5%
蓝	6	6	6	10 ⁶	C±0.2%
紫	7	7	7	10 ⁷	B±0.1%
灰	8	8	8	10 ⁸	
白	9	9	9	10 ⁹	
黑	0	0	0	10 ⁰	
金				10 ⁻¹	J±5%
银				10 ⁻²	K±10%

色标电阻（色环电阻）器：可分三环、四环、五环三种标法，含义见图 2-1。

三环色标电阻器：表示标称电阻值（精度均为±20%）。

四环色标电阻器：表示标称电阻值及精度。

五环色标电阻器：表示标称电阻值(三位有效数字)及精度。

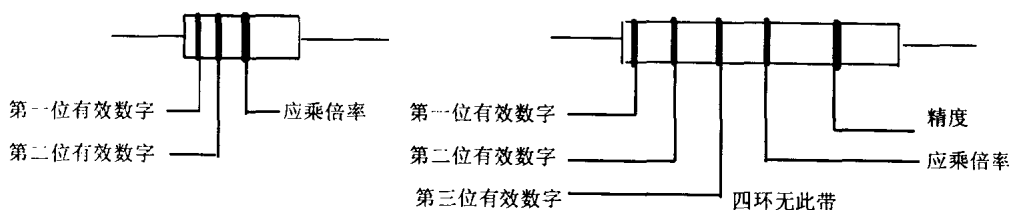


图 2-1 电阻器色环含义