

南昌大学通信实验中心
典型自编教材电子文档

现代通信 设计·实验·测试

Page 1

信息论与纠错编码

Page 12

电子技能基础

Page 22

高等学校教材

XIAN DAI TONG XIN

现代通信

设计·实验·测试

(修订版)

主 编 方安安
副主编 王平 陈桢等



江西科学技术出版社

图书在版编目 (GIP) 数据

现代通信设计·实验·测试/方安安主编. —南昌:

江西科学技术出版社, 2003.10

ISBN 7-5390-2349-X/TN.46

I. 现… II. 方… III. 通信技术 - 高等学校 - 教材

IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 097316 号

国际互联网 (Internet) 地址:

HTTP: //WWW.NCU.EDU.CN:800/

现代通信设计·实验·测试 方安安 主编

出版

发行 江西科学技术出版社

社址 南昌市新魏路 17 号

邮编: 330022 电话: (0791) 8513294 8513098

印刷 江西省南昌市百花印刷厂

经销 各地新华书店

开本 787mm × 1092mm 1/6

字数 650 千字

印张 23.5

印数 2000 册

版次 2006 年 6 月第 2 修订版 2006 年 6 月第 2 次印刷

书号 ISBN 7-5390-2349-X/TN.46

定价 38.8 元

(赣科版图书凡属印装错误, 可向出版社发行部或承印厂调换)

目 录

第一章 通信原理

通信原理实验系统简介	1
实验一 通信原理多种信号的产生	5
实验二 中央集中控制器系统单元实验	15
实验三 脉冲幅度调制(PAM)及系统实验	26
实验四 脉冲编码调制(PCM)及系统实验	33
实验五 增量调制编码系统实验	46
实验六 增量调制译码系统实验	56
实验七 基本锁相环锁相式数字频率合成器系统实验	65
实验八 二相 BPSK(DPSK)调制实验	80
实验九 二相(PSK,DPSK)解调器(合载波提取)系统实验	90
实验十 数字同步技术	98
实验十一 FSK 调制解调实验	107
实验十二 通信系统综合实验	114
增量调制调制器原理介绍	119

第二章 光纤通信

光纤传输系统介绍	135
光纤通信原理实验系统总体介绍	137
光学器件使用注意事项	138
实验一 发光二极管 P-I 特性测试实验	139
实验二 半导体激光器 P-I 特性测试实验	142
实验三 预失真补偿实验	145
实验四 数字发送单元指标测试实验	149
实验五 数字接收单元指标测试实验	151
实验六 光纤传输特性测试实验	154
实验七 光无源器件测试实验	159
实验八 模拟信号光发送光接收系统实验	163
实验九 数字信号光发送光接收系统实验	166
实验十 电话光纤传输系统实验	169
实验十一 图像光纤传输系统实验	172
实验十二 数字光纤通信系统输入、输出接口码型变换实验	174
实验十三 数字光纤通信系统线路编码和译码实验	178
实验十四 数字光纤通信系统综合实验	182
实验十五 数字光纤通信系统性能测试实验	184

实验十六 光纤通信系统测量中的眼图分析方法测试实验	186
实验十七 光纤接入网中的多址技术光时分复用技术实验	190
实验十八 光纤接入网中的多址技术光波分复用技术实验	193
实验十九 光时分复用与波分复用相结合实现多部电话传输系统实验	196
实验二十 CPLD 下载实验	199

第三章 程控交换

程控交换系统介绍	203
实验一 程控交换原理实验系统及控制单元实验	206
实验二 用户线接口电路及二/四线变换实验	212
实验三 程控交换 PCM 编译码器实验	219
实验四 多种信号音及铃流信号发生器实验	224
实验五 双音多频 DTMF 接收实验	232
实验六 空分交换网络原理系统实验	238
实验七 程控交换原理编程调试实验	243
实验八 中继接口通信实验	254
实验九 程控交换原理系统综合实验	256
实验十 时分复用与时隙交换原理实验	260
实验十一 时隙交换综合实验	265
时隙交换编程与调试	271

第四章 数模混合系统的课程设计

课程设计题目一 脉冲编码调制(PCM)的实验研究及设计	276
课程设计题目二 增量调制(ΔM)的实验研究及设计	281
课程设计题目三 数字基带传输系统的实验研究及设计	285
课程设计题目四 频率键控(2FSK)系统的实验研究及设计	289
课程设计题目五 差分相位键控(2DPSK)系统的实验研究及设计	293
课程设计题目六 循环码(n,K)编/译码的实验研究及设计	296
课程设计题目七 直接扩谱与码分多址(CDMA)的实验研究及设计	303
课程设计题目八 锁相频率合成器的实验研究及设计	307
课程设计题目九 红外遥控发射/接收器的实验研究及设计	312
课程设计题目十 多路数字无线遥控电路的实验研究及设计	316
课程设计题目十一 数字调制系统实验参考电路	320

第五章 常用仪器设备使用操作指导

AV5232E 误码测试仪	323
V2498A 光纤多用表使用说明书	344
CA8022 双踪示波器操作说明	349
MY 系列数字万用表使用说明书	357
EE1641B-EE1643B 函数信号发生器/计数器	363
参考文献	368

实验三 脉冲幅度调制(PAM)及系统实验

实验内容

- (1) 抽样定理实验。
- (2) 脉冲幅度调制(PAM)及系统实验。

一、实验目的

本系统可进行两项实验,脉冲幅度调制实验和PAM通信系统实验。通过脉冲幅度调制实验,使学生能加深理解,脉冲幅度调制的特点和这种调制方式的组成原理,从而使学生不但能更清楚脉冲幅度的调制原理,而且还能通过实验电路的组成、波形和所测数据分析,加深理解这种调制的优缺点;同时,还能通过脉冲调制实验,对脉冲调制系统中最重要 的取样定理,在理论和实际演示过程中得到巩固。

通过PAM通信系统实验,使学生对脉冲幅度调制方式建立一个系统概念。

二、实验预习要求

主要预习《通信系统原理》,教材中关于“脉冲模拟调制系统”这一章中的“低通信号的取样定理”、“脉冲幅度调制”等主要章节,其次预习一下PPM、PDM调制系统。

三、实验仪器仪表及所用芯片

(一) 实验仪器仪表

- | | |
|---------------------------|----|
| (1) +5V、+12V、-12V三组直流稳压电源 | 一台 |
| (2) 双踪示波器 | 一台 |
| (3) 低频信号源 | 一台 |
| (4) 万用表 | 一台 |
| (5) 电子与通信原理实验系统实验箱 | 一台 |

(二) 所用芯片引脚功能简介

555计时(定时)器内部方框图,见图1-3-1。

四、实验电路工作原理

(一) 电路组成

脉冲幅度调制实验系统图见图1-3-2所示,主要由输入电路、调制电路、脉冲发生电路、解调滤波电路、功放输出电路等五部分组成,其具体的电原理图如图1-3-3所示。

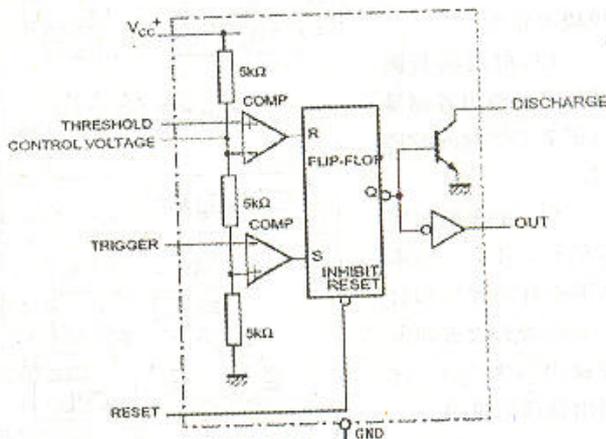


图1-3-1 555内部方框图

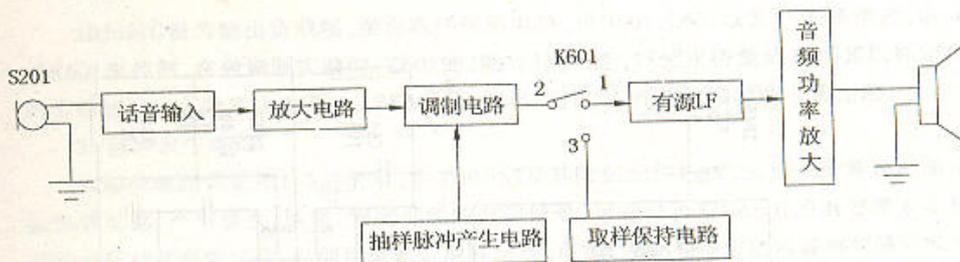


图1-3-2 脉冲振幅调制电原理框图

(二) 实验电路工作原理

这是一种简单的脉冲幅度调制实验,在设计上有一定的普遍性和代表性,比较清晰直观,为了能使学生在实验时有一个感性认识和方便测试,没有采用大规模集成电路,而是采用分离元件与集成电路相结合的设计。便于学生熟悉整体与部分、分离与集成以及实验中任意改变元件的数值,加强理论与实践相结合。下面就将电路中五部分的工作原理分别介绍如下:

1. 输入电路

该电路由低通滤波、限幅电路等组成,其中低通滤波器主要用在发端的波形编码电路中,即所谓的发端通道电路中。因此,该电路还用于PCM、增量调制编码电路中。见图1-3-4所示。在实验四、实验五的实验中,该电路不再介绍。由限幅二极管D601、D602组成双向限幅电路,主要防止外加输入信号过大,而损坏后面调制电路中的场效应管器件。具体电路见1-3-3所示。关于PAM、PCM、增量调制三种波形编码的原理框图见总体介绍中的图3所示。

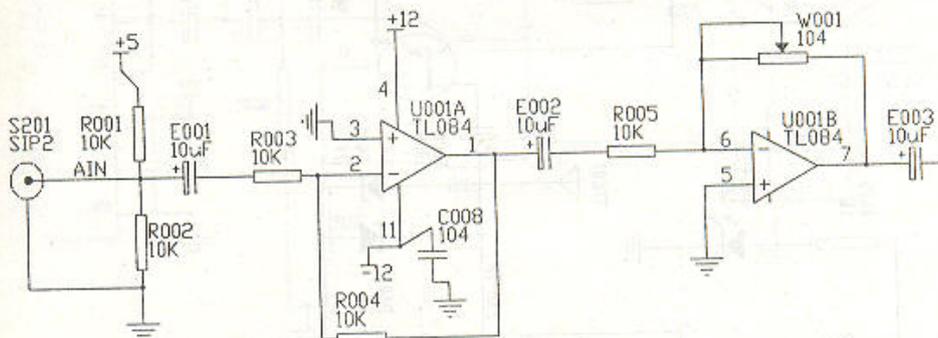


图1-3-4 (PAM、PCM、增量调制)发送通道输入电路电原理图

2. 调制电路

调制电路见图1-3-3中的CB601。这是一种单管调制器,采用场效应管3DJ6F来担任,利用其阻抗高的特点和控制灵敏的优越性,能很好的满足调制要求。取样脉冲由该管的S极加入,D极输入音频信号,由于场效应管有良好的开关特性,在TP602处便可以测到理想的脉冲幅度调制信号,该信号为双极性脉冲幅度信号,不含直流分量。脉冲序列可表示为: $S_p(t) = \sum_r(t - KT_s)$,其傅氏变换 $F_s(W) = \sum C_{kf}(w - KW_k)$,由此可见,成周期性上、下边带频谱信号。

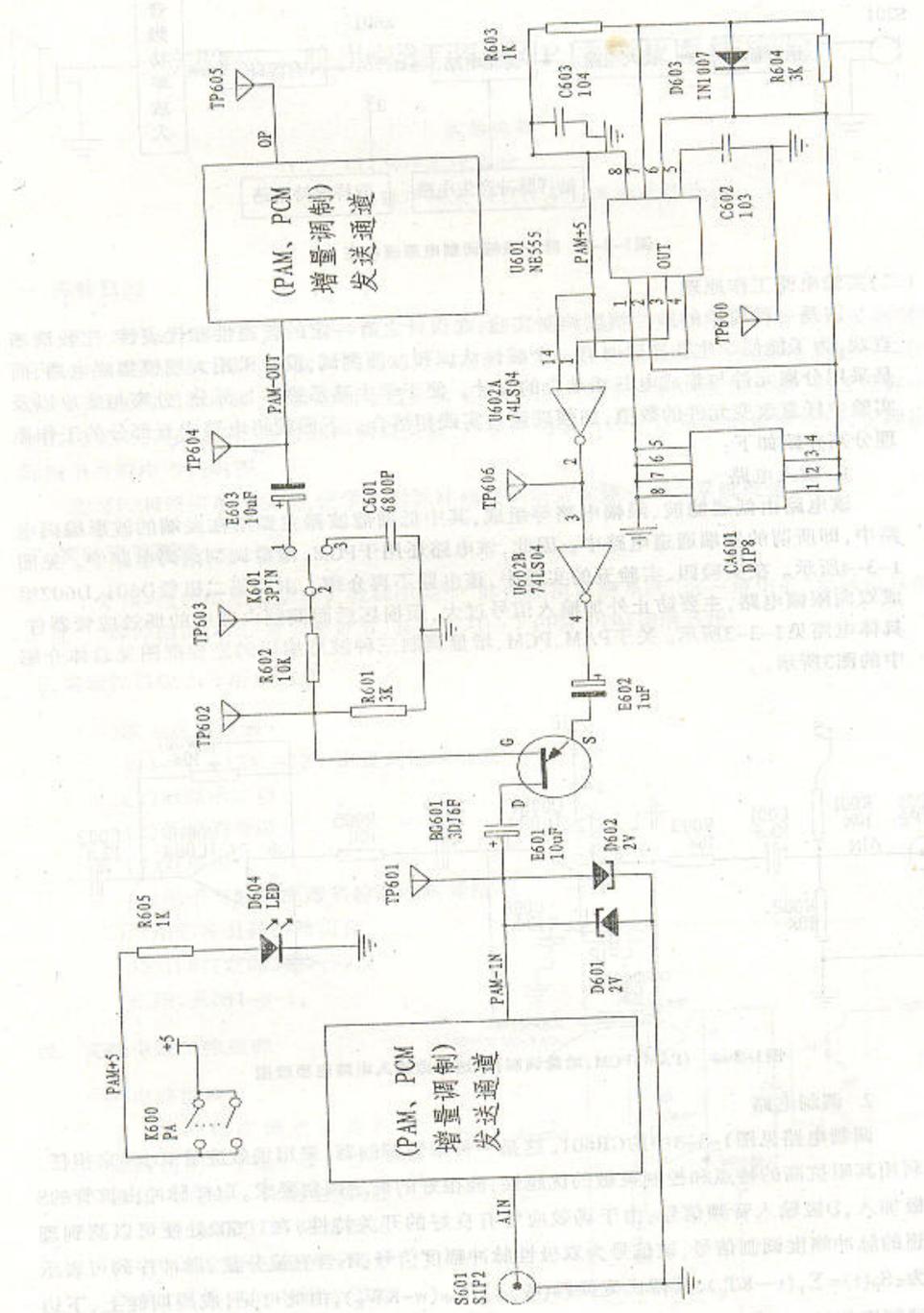


图1-3-3 PAM电路原理图

3DJ6的G极为输出负载端,接有取样保持电路,由R601、C601以及R602等组成,由开关K601来控制,在做调制实验时,K601的2端与3端相连,以便更清楚地观察其取样定理的多种波形。在做系统实验时,将K601的1端与2端相连,即与解调滤波电路连通。

3. 脉冲发生电路

该部分电路详见图1-3-3所示,主要由555及其附加元件组成,这是一个普通的单谐振荡器电路,产生极性、脉宽、频率可调的方波信号,可通过改变CA601的电容量来实现其输出脉冲频率的变化,以使用来验证取样定理。可在TP606处很方便地观测到脉冲频率变化情况和输出的脉冲波形。

4. 解调与滤波电路

根据调制信号的付氏级数展开式

$$F_s(\omega) = \sum C_{kx}(\omega - K\omega_k)$$

可以看出它是由一系列上、下边带频谱所组成。因此,在接收端通过低通滤波器后将其中基带频谱提取出来。本实验就是通过低通滤波器来解调的,这部分电路详见图1-3-4所示。

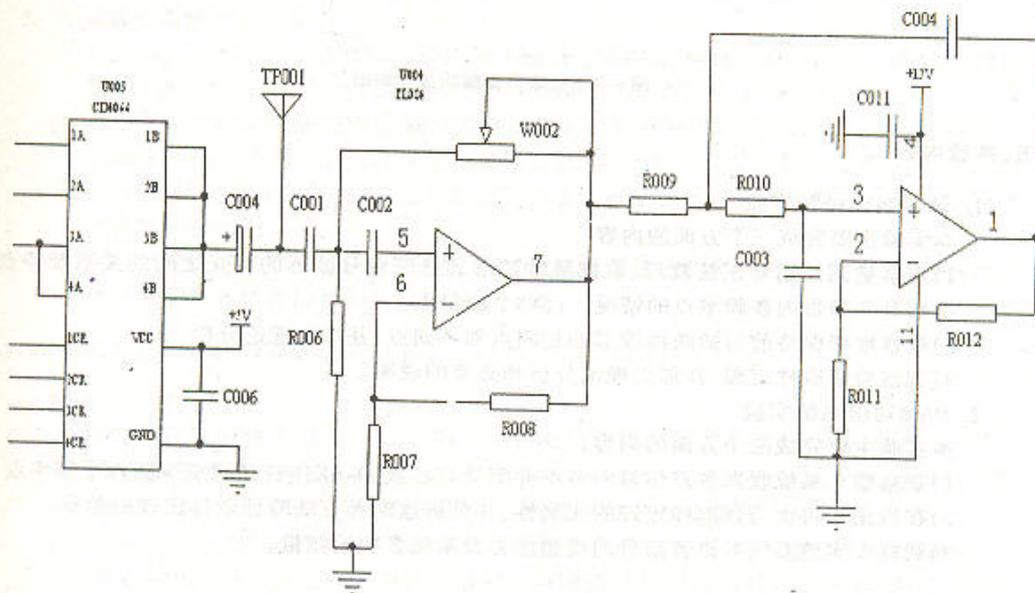


图1-3-5 (PAM、PCM、增量调制)接收通道输出电路电原理图

解调滤波电路由集成运放电路组成,主要以TL084等元件构成。组成了一个二阶有源低通滤波器,其截止频率设计在3.4KHz左右,因为该滤波器负担着解调的作用,因此它的质量好坏直接影响着系统的工作状态。该电路还可以用在接收通道电路中,即PCM译码、增量调制译码电路中,可在TP605处观测滤波器解调后的信号波形。

5. 功放输出电路

功放电路主要用来放大输出信号,提高解调后的音频信号的电平或者说提高输出功率。该电路选用了常见的小功率运放LM386集成电路作为核心芯片,配以少量的外围元件来完成。放大后的音频信号由喇叭作为负载输出。见图1-3-5所示。

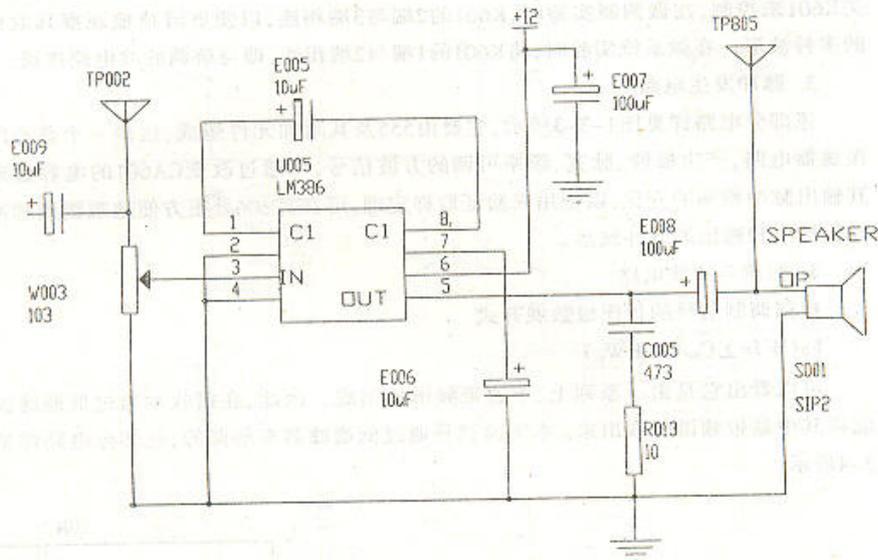


图1-3-6 输出音频功放电路图

五、实验内容

1. 脉冲幅度调制实验

本实验主要完成三个方面的内容

- 1) 观察被调制信号正弦波形、取样脉冲波形和已调信号波形的相互之间的关系及特点，特别是音频带内各频率点的情况。(测5个测量点)
- 2) 观察取样保持前后的两种波形的相同点和不同点，并加以理论分析。
- 3) 观察验证取样定理，并加以理论分析和必要的说明。

2. PAM通信系统实验

本实验主要完成三个方面的内容：

- 1) 观察整个系统收发各点信号的特点并测量其参数，0~6KHz音频段至少测六个频率点。
- 2) 在输出端再次验证取样定理的正确性，并分析这两种方法验证取样定理的差别。
- 3) 观察本实验系统对语音信号的传输能力及系统参数的测量。

六、实验步骤及注意事项

1. 脉冲幅度调制实验步骤

(1) 在S201处，用外加信号源送0~4KHz音频带内的某一频率信号 f_{sr} ，然后用示波器在TP601处观察测量，以该点信号输出幅度不失真时较大为好，如有削顶失真则减小外加信号源的输出幅度，达到上述要求。在TP606处观察其方波取样脉冲信号。调整CA601处可变电容，使该脉冲信号的频率 $f_c=(5-10)f_{sr}$ 。在TP602处观察并用示波器测量该点波形。并做详细记录、绘图。

改变外加信号源的频率 f_{sr} 使之分别为300Hz、800Hz、1.6KHz、2.4KHz、4KHz，在TP601和TP602两点用示波器观测其波形，做详细记录并绘图。

(2) 将 $f_{sr}=4KHz$ ，改变抽样脉冲发生电路中的CA601，使TP606处的脉冲信号频率分别为

$f_c > 2f_{sr}$ 、 $f_c = 2f_{sr}$ 、 $f_c < 2f_{sr}$ 四种情况,并将每次的各点波形数据详细记录,借助理论分析说明取样定理的正确性。

2. 脉冲幅度调制实验注意事项

(1)+5V工作。

(2)按下按键开关;K2、K100、K600、K3。

(3)按一下“开始”与“PAM”功能键,显示代码“8”。

(4)跳线开关设置:

A、K601的跳线接在1-2位置时,做PAM调制、解调实验。

B、K601的跳线接在2-3位置时,做PAM取样保持实验。

(5)外加300Hz~3400Hz信号从S201进入。

(6)CA601上插电容,可改变抽样时钟。电容在5600pf~0.1uf之间选取。

(7)音频带内五点波形调好后,最好连续变化输入信号频率,使之在0~4KHz话音频带内调制均能达到要求。

(8)验证取样定理时,有时会产生不同步现象,在示波器中观察不到稳定的信号。此时可适当调整外加信号频率,使之同步,有时需要反复耐心地调整才能观察到。特别当观察 $f_c > 2f_{sr}$ 时,注意判断区别临界状态时的波形及频率,并记下奈氏(Nyquist)速率。

3. PAM通信系统实验步骤

(1)在S201处,分别送 $f_{sr}=0.3\text{KHz}$ 、 0.8KHz 、 1.6KHz 、 2KHz 、 4KHz 、 6KHz 信号。将K601的1端和2端相连,分别用示波器观测TP601~TP606各点波形,并做详细记录、绘图。

(2)将输入信号固定在 $f_{sr}=3\text{KHz}$,然后改变脉冲发生器电路中CA601,使 $f_c > 2f_{sr}$ 、 $f_c = 2f_{sr}$ 、 $f_c < 2f_{sr}$,在TP605处用示波器观测系统输出波形,以判断和验证取样定理在系统中的正确性,同时做详细记录和绘图,并记下在系统通信状态下的奈奎斯特速率。并分析比较其所测结果。

(3)在S201处送语音信号,TP605处用示波器观察语音输出波形,通过喇叭听语音,感性判断该系统对话音信号的传输质量。

七、PAM系统实验电路波形简要说明如下:

1. 测量点说明

(1)TP601:在S201输入端输入一个300~3400Hz的小幅度正弦波信号,若幅度过大,则被限幅电路限幅成方波了,因此信号的波形幅度尽量小一些。方法是:可改变外部信号源的幅度大小,或调节通信话路终端发送滤波器电路中的电位器W001。

(2)TP602:抽样脉冲波形输出,其抽样脉冲波形由抽样时钟电路(测量点TP606)决定,在抽样时钟电路里,在CA601中插上电容,可改变抽样时钟的频率。电容值在5600pf~0.1 μf 之间选取。

(3)TP603:抽样脉冲波形保持输出。

(4)TP604:收端PAM信号,由发端PAM调制信号送入,由开关K601的1脚与2脚相接。

(5)TP605:收端PAM解调信号输出,由通信话路终端接收滤波器输出,输出幅度的大小可由通信话路终端接收滤波器电路中的电位器W003进行调节。

(6)TP606:抽样时钟信号输出,其抽样频率由CA601上的电容决定,以决定抽样频率是大于8KHz或等于8KHz还是小于8KHz,用频率计测量其频率的大小。电容值在5600pf~0.1 μf 之间选取。

2. PAM通信系统实验注意事项

(1)基本注意事项同“脉冲幅度调制实验”。

(2) 话音通信实验时,注意声音小些,以免互相影响。

八、讨论思考题

- (1) 简述取样定理。
- (2) 本实验是什么方式的取样?为什么?
- (3) 本实验的取样形式同理想取样有何区别?理论和实验相结合加以分析。
- (4) 在取样之后,其已调波形中包不包含直流分量,为什么?
- (5) 系统造成失真的原因有哪些?
- (6) PAM系统解调为什么采用低通滤波器就可以完成?
- (7) PAM系统与连续被调制系统比较有哪些优缺点?在多路复用时还应考虑哪些因素?

九、实验报告要求

- (1) 结合学过的理论知识简述对本实验系统电路及实验方法的理解。
- (2) 绘出所做实验的电路、仪表连接调测图。并列所测各点的波形、频率、电压(电平)等有关数据,对所测数据做简要分析说明。必要时借助于计算公式及推导。
- (3) 在调测实验时,若遇到故障,请将故障现象及排除故障的过程详细注明。
- (4) 报告统一用报告纸,字迹要清楚,内容简洁明了。
- (5) 实验中有何重要的建议及发现的特殊现象请注明。
- (6) 任课老师规定的其他内容。
- (7) 若发生实验事故,请将事故的发生原因、现象、处理的过程在实验报告中解释清楚。

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

信息论与纠错编码

孙丽华 主编 谢仲华 陈荣伶 副主编

赵长奎 主审

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

内 容 简 介

本书重点介绍了信息论与纠错编码的基础内容及应用,共分10章,内容包括:信息及信息的度量,离散信源及信源熵,离散信道及信道容量,信源编码定理和信道编码定理,平均失真测度和信息率失真函数,率失真编码定理,纠错编码代数基础,线性分组码,循环码和卷积码。

本书内容深入浅出,概念清晰,对一些较难理解的概念,配有较多的例题。本书适合作为高等院校电子技术、信息工程、通信工程、雷达、计算机、自动化、仪器仪表等相关专业的本科教材,亦可供从事信息科学、系统工程等的科研人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

信息论与纠错编码 / 孙丽华主编. —北京: 电子工业出版社, 2005.3
新编电气与电子信息类本科规划教材
ISBN 7-121-00918-8

I. 信… II. 孙… III. ①信息论—高等学校—教材 ②信源编码—编码理论—高等学校—教材 ③信道编码—编码理论—高等学校—教材 IV. TN911.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 008281 号

责任编辑: 王 颖
印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
出版发行: 电子工业出版社
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036
经 销: 各地新华书店
开 本: 787×1092 1/16 印张: 13.5 字数: 346 千字
印 次: 2006 年 5 月第 2 次印刷
印 数: 3000 册 定价: 18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

目 录

第 1 章 信息论基础	(1)
1.1 信息的概念	(2)
1.2 信息传输系统	(3)
1.3 离散信源及其数学模型	(4)
1.3.1 离散无记忆信源	(5)
1.3.2 离散无记忆的扩展信源	(5)
1.3.3 离散平稳有记忆信源	(6)
1.3.4 马尔可夫信源	(7)
1.4 离散信道及其数学模型	(8)
1.4.1 离散无记忆信道	(9)
1.4.2 离散无记忆的扩展信道	(10)
本章小结	(11)
思考题与习题	(12)
第 2 章 信息的度量	(13)
2.1 自信息量和互信息量	(14)
2.1.1 自信息量和条件自信息量	(15)
2.1.2 互信息量和条件互信息量	(18)
2.2 离散集的平均自信息量	(22)
2.2.1 信息熵	(22)
2.2.2 熵函数的性质	(26)
2.3 离散集的平均互信息量	(31)
2.3.1 平均互信息量	(31)
2.3.2 平均互信息量的性质	(33)
2.3.3 有关平均互信息量的两条定理	(36)
2.4 N 维扩展信源的熵和平均互信息量	(39)
2.4.1 N 维扩展信源的熵	(39)
2.4.2 N 维扩展信源的平均互信息量	(41)
2.4.3 有关 N 维平均互信息量的两条定理	(42)
本章小结	(44)
思考题与习题	(44)
第 3 章 离散信源无失真编码	(47)
3.1 概述	(48)
3.1.1 码的分类	(49)
3.1.2 平均码长的计算	(52)
3.1.3 信息传输率	(54)

3.2	等长码及等长编码定理	(55)
3.3	变长码及变长编码定理	(58)
3.3.1	变长码	(58)
3.3.2	克拉夫特不等式	(59)
3.3.3	变长编码定理	(61)
3.4	变长码的编码方法	(66)
3.4.1	香农编码法	(66)
3.4.2	费诺编码法	(68)
3.4.3	霍夫曼编码法	(69)
	本章小结	(73)
	思考题与习题	(74)
第4章	率失真编码	(78)
4.1	失真测度与平均失真	(79)
4.2	信息率失真函数 $R(D)$	(82)
4.2.1	率失真函数的定义	(82)
4.2.2	率失真函数的值域、定义域	(83)
4.2.3	率失真函数的性质	(84)
4.3	率失真函数的计算	(87)
4.3.1	两种特殊情况下的求解	(87)
4.3.2	$R(D)$ 的参数表示法	(91)
4.4	率失真信源编码定理	(95)
	本章小结	(95)
	思考题与习题	(96)
第5章	离散信道的信道容量	(99)
5.1	信道容量的定义	(100)
5.2	离散无记忆信道容量的计算	(100)
5.2.1	达到信道容量的充要条件	(101)
5.2.2	几类特殊信道	(105)
5.3	组合信道的容量	(112)
5.3.1	独立并行信道	(112)
5.3.2	和信道	(113)
5.3.3	串行信道	(114)
	本章小结	(116)
	思考题与习题	(117)
第6章	有噪信道编码	(119)
6.1	信道编码的基本概念	(120)
6.2	译码规则及错误概率	(122)
6.3	信道编码定理	(126)
6.4	费诺不等式及信道编码逆定理	(129)
6.4.1	费诺不等式	(129)

6.4.2	信道编码逆定理	(131)
	本章小结	(132)
	思考题与习题	(133)
第7章	纠错编码代数基础	(135)
7.1	群	(136)
7.1.1	群的定义	(136)
7.1.2	子群	(138)
7.1.3	群的陪集分解	(139)
7.2	环	(140)
7.2.1	环的定义	(140)
7.2.2	整数剩余类环	(142)
7.2.3	多项式剩余类环	(142)
7.3	域	(143)
7.3.1	域的定义	(143)
7.3.2	有限域	(144)
7.3.3	有限域的本原元	(145)
7.3.4	有限域的结构	(146)
7.3.5	有限域的共轭根组	(147)
7.3.6	有限域的综合举例	(148)
	本章小结	(150)
	思考题与习题	(150)
第8章	线性分组码	(152)
8.1	纠错编码的基本概念	(153)
8.1.1	信道纠错编码	(153)
8.1.2	差错控制系统模型及分类	(153)
8.1.3	纠错编码的分类	(154)
8.1.4	差错类型	(155)
8.2	线性分组码的编码	(156)
8.2.1	生成矩阵	(156)
8.2.2	校验矩阵	(158)
8.2.3	编码的实现	(160)
8.3	伴随式与译码	(161)
8.3.1	码的距离和重量	(161)
8.3.2	线性码的纠检错能力	(162)
8.3.3	陪集分解与伴随式	(163)
8.3.4	标准阵列与译码表	(165)
8.4	汉明码	(168)
8.4.1	汉明码的构造	(168)
8.4.2	汉明限与完备码	(169)
	本章小结	(170)

(11) 思考题与习题	(170)
第 9 章 循环码	(172)
(12) 9.1 循环码的一般概念	(173)
(13) 9.1.1 循环码的定义	(173)
(14) 9.1.2 循环码的多项式描述	(173)
(15) 9.1.3 循环码的生成多项式	(175)
(16) 9.2 循环码的编码	(177)
(17) 9.2.1 利用生成多项式 $g(x)$ 实现编码	(177)
(18) 9.2.2 除法电路	(178)
(19) 9.2.3 编码电路	(179)
(20) 9.3 循环码的译码	(180)
(21) 9.3.1 伴随式计算	(181)
(22) 9.3.2 循环码的译码	(182)
(23) 9.3.3 Meggit 通用译码器	(184)
(24) 9.4 一些重要的循环码	(184)
(25) 9.4.1 循环汉明码	(184)
(26) 9.4.2 BCH 码	(185)
(27) 本章小结	(188)
(28) 思考题与习题	(188)
第 10 章 卷积码	(190)
(29) 10.1 卷积码的基本概念	(191)
(30) 10.1.1 卷积码概述	(191)
(31) 10.1.2 卷积码的矩阵描述	(192)
(32) 10.2 卷积码的概率译码	(195)
(33) 10.2.1 状态图和网格图	(195)
(34) 10.2.2 最大似然译码	(196)
(35) 10.2.3 维特比译码算法	(198)
(36) 本章小结	(201)
(37) 思考题与习题	(202)
参考文献	(203)
(38)	(203)
(39)	(203)
(40)	(203)
(41)	(203)
(42)	(203)
(43)	(203)
(44)	(203)
(45)	(203)
(46)	(203)
(47)	(203)
(48)	(203)
(49)	(203)
(50)	(203)

状态的一步转移概率分别为

$$\begin{aligned} p(s_1|s_1) &= \frac{2}{3} & p(s_2|s_1) &= \frac{1}{3} & p(s_3|s_1) &= 0 \\ p(s_1|s_2) &= 0 & p(s_2|s_2) &= \frac{3}{4} & p(s_3|s_2) &= \frac{1}{4} \\ p(s_1|s_3) &= \frac{1}{2} & p(s_2|s_3) &= \frac{1}{2} & p(s_3|s_3) &= 0 \end{aligned}$$

由于系统达到平稳分布, 由方程组

$$\begin{cases} p(s_1) = \frac{2}{3}p(s_1) + \frac{1}{2}p(s_3) \\ p(s_2) = \frac{1}{3}p(s_1) + \frac{3}{4}p(s_2) + \frac{1}{2}p(s_3) \\ p(s_3) = \frac{1}{4}p(s_2) \\ p(s_1) + p(s_2) + p(s_3) = 1 \end{cases}$$

可进一步求出各个状态的概率分布, 得: $p(s_1) = \frac{3}{13}$, $p(s_2) = \frac{8}{13}$, $p(s_3) = \frac{2}{13}$

1.4 离散信道及其数学模型

信道是信息传输的通道, 如图 1-3 所示, 信道有输入端和输出端。通信系统中将各个部分的噪声或干扰等效成从信道输入。由于干扰的存在, 信道的输入和输出之间一般不是确定的函数关系。可以将信道看做是一个变换器, 它将输入消息 x 变换成输出消息 y , 以信道转移概率 $p(y|x)$ 来描述信道的统计特性。



图 1-3 信道模型

信道可以按不同的特性进行分类, 根据输入和输出信号的特点可分为以下几种。

- 离散信道: 信道的输入和输出都是时间上离散、取值离散的随机序列。离散信道有时也称为数字信道。
- 连续信道: 信道的输入和输出都是时间上离散、取值连续的随机序列, 又称为模拟信道。
- 半连续信道: 输入序列是离散的, 而输出序列是连续的。
- 波形信道: 信道的输入和输出都是时间上连续, 并且取值也连续的随机信号。

根据统计特性, 即转移概率 $p(y|x)$ 的不同, 信道又可分类为以下两种。

- 无记忆信道: 信道的输出 y 只与当前时刻的输入 x 有关。
- 有记忆信道: 信道的输出 y 不仅与当前时刻的输入有关, 还与以前的输入有统计关系。

1.4.1 离散无记忆信道

离散无记忆信道的输入和输出消息都是离散无记忆的单个符号，设离散无记忆信道 (DMC, Discrete Memoryless Channel) 的输入符号 $x_i \in \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$, $1 \leq i \leq I$, 输出符号 $y_j \in \{b_1, b_2, \dots, b_D\}$, $1 \leq j \leq J$, 信道的特性可表示为转移概率矩阵, 即

$$P = \begin{bmatrix} p(y_1|x_1) & p(y_2|x_1) & \dots & p(y_J|x_1) \\ p(y_1|x_2) & p(y_2|x_2) & \dots & p(y_J|x_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p(y_1|x_i) & p(y_2|x_i) & \dots & p(y_J|x_i) \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & q-1 & q \\ q & q-1 & 0 \end{bmatrix} = q \text{ 状图}$$

矩阵第 i 行第 j 列的概率 $p(y_j|x_i)$ 对应为已知输入符号为 x_i , 当输出符号为 y_j 时的信道转移概率, 满足 $0 \leq p(y_j|x_i) \leq 1$, 且 $\sum_{j=1}^J p(y_j|x_i) = 1$ 。

也可以将信道特性表示成图 1-4 的形式。

下面列举几种常见的离散无记忆信道。

1. 二元对称信道 (BSC, Binary Symmetric Channel)

这是一种很重要的信道, 它的输入符号 $x \in \{0, 1\}$, 输出符号 $y \in \{0, 1\}$, 转移概率 $p(y|x)$ 如图 1-5 所示。有 $p(0|0) = p(1|1) = 1-p$, $p(1|0) = p(0|1) = p$, 信道特性可表示为信道矩阵 $P = \begin{bmatrix} 1-p & p \\ p & 1-p \end{bmatrix}$, 式中 p 称做信道错误概率。

相应地有 k 元对称信道, $x, y \in \{0, 1, \dots, k-1\}$, 信道转移概率为

$$p(y|x) = \begin{cases} 1-p, & x=y \\ \frac{p}{k-1}, & x \neq y \end{cases}$$

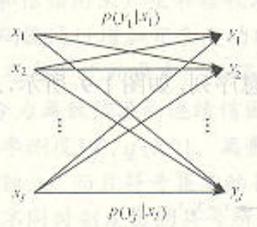


图 1-4 单符号离散无记忆信道

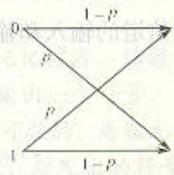


图 1-5 二元对称信道

2. 无干扰信道

这是一种最理想的信道, 也称做无噪信道, 信道的输入和输出符号间有确定的一一对应关系, 即 $p(y|x) = \begin{cases} 1, & x=y \\ 0, & x \neq y \end{cases}$ 。

在图 1-6 所示的三元无干扰信道中, $x, y \in \{0, 1, 2\}$, 对应信道矩阵是单位矩阵

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. 二元删除信道

实际中, 当我们对于接收符号不能做出肯定或否定判决时, 可引入删除符号, 表示对该符号存有疑问, 可作为有误或等待得到更多信息时再进行判决。

二元删除信道如图 1-7 所示, 输入符号 $x \in \{0, 1\}$, 输出符号 $y \in \{0, e, 1\}$, 转移概率矩阵为 $P = \begin{bmatrix} p & 1-p & 0 \\ 0 & 1-p & p \end{bmatrix}$ 。

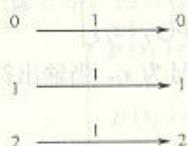


图 1-6 三元无干扰信道

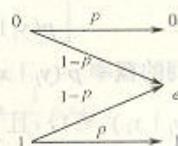


图 1-7 二元删除信道

假如以高、低电平代表输入的 1、0, 设输出高电平 (大于 2.4V) 判决为输出 1, 输出低电平 (小于 0.7V) 判决为输出 0, 当然由于信道的干扰, 输出电平也可能介于 0.7~2.4V 之间, 将这一区间的输出判决为删除符号 e 。可以看出, 0 错成 1 的可能性要比错成 e 的可能性小得多, 同样, 1 错成 0 比错成 e 的可能性小得多。

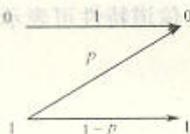


图 1-8 二元 Z 信道

4. 二元 Z 信道

二元 Z 信道如图 1-8 所示, 信道输入符号 $x \in \{0, 1\}$, 输出符号 $y \in \{0, 1\}$, 转移概率矩阵为 $P = \begin{bmatrix} p & 1-p & 0 \\ 0 & 1-p & p \end{bmatrix}$ 。

1.4.2 离散无记忆的扩展信道

N 维离散扩展信道的输入和输出都是长为 N 的消息序列, 如图 1-9 所示, $x = x_1 x_2 \cdots x_N$, $y = y_1 y_2 \cdots y_N$ 。

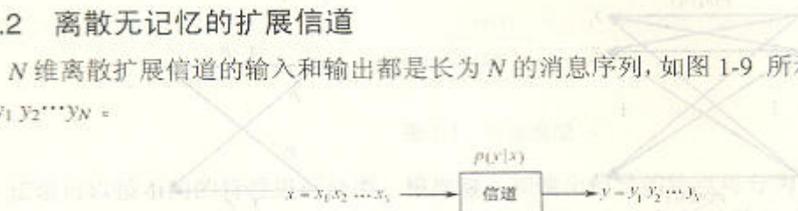


图 1-9 N 维扩展信道

若 $x_i \in \{a_1, a_2, \cdots, a_k\}$, $y_j \in \{b_1, b_2, \cdots, b_D\}$, $1 \leq i, j \leq N$, 则长为 N 的输入消息序列集为 $X = \{a_1 a_1 \cdots a_1, a_1 a_2 \cdots a_2, \cdots, a_k a_k \cdots a_k\}$, $x \in X$, 输出消息序列集为 $Y = \{b_1 b_1 \cdots b_1, b_2 b_2 \cdots b_2, \cdots, b_D b_D \cdots b_D\}$, $y \in Y$ 。信道的特性用序列的转移概率 $p(y|x) = p(y_1 y_2 \cdots y_N | x_1 x_2 \cdots x_N)$ 描述。

当信道无记忆时, $p(y|x) = \prod_{i=1}^N p(y_i | x_i)$, 满足 $\sum_y p(y|x) = 1$ 。

【例 1.6】 求二元对称信道的二维扩展信道。

解: 二元对称信道的输入符号 $x \in \{0, 1\}$, 输出符号 $y \in \{0, 1\}$, 转移概率 $p(0|0) = p(1|1) =$

$1-p$, $p(1|0)=p(0|1)=p$, 二维扩展后输入和输出都是长为 2 的符号序列, $x \in \{00, 01, 10, 11\}$, $y \in \{00, 01, 10, 11\}$ 。

可以计算出序列的转移概率 $p(y|x)$ 分别为

$$p(00|00) = p(0|0) \cdot p(0|0) = (1-p)^2$$

$$p(01|00) = p(0|0) \cdot p(1|0) = (1-p)p$$

\vdots

$$p(10|01) = p(1|0) \cdot p(0|1) = p^2$$

\vdots

$$p(11|11) = p(1|1) \cdot p(1|1) = (1-p)^2$$

表示成矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} (1-p)^2 & (1-p)p & p(1-p) & p^2 \\ (1-p)p & (1-p)^2 & p^2 & p(1-p) \\ p(1-p) & p^2 & (1-p)^2 & (1-p)p \\ p^2 & p(1-p) & (1-p)p & (1-p)^2 \end{bmatrix}$$

本章小结

本章主要讨论的是信息论的基本概念, 主要内容有:

(1) 信息是关于事物运动的状态和规律, 消息是能被人们感觉器官感知的客观物质和主观思维的运动状态或存在状态。通信系统中形式上传输的是消息, 实质上传输的是信息, 消息是信息的载体。从通信的角度讲, 信息论是应用近代概率统计方法研究狭义信息的度量方法, 研究各种信源、信道的描述和信源、信道的编码。

(2) 信息传输系统由信源、信源编码器及信道编码器、信道、信源译码器及信道译码器、信宿组成。信源和信宿用来产生和接收消息的。信源编码器将信源的冗余度剔除以提高通信的有效性, 信道编码器通过增加冗余度的纠错、检错码元来提高通信的可靠性。信道是消息传输的通道, 信道中存在干扰或噪声。译码是编码的逆过程。

(3) 信源分为离散信源和连续信源, 无记忆信源和有记忆信源。信源的数学模型为一个样本空间及其概率测度 $[X, q(X)]$ 。离散无记忆信源每次只输出一个符号, 不同时刻发出的符号之间彼此统计独立, 而且符号集中的符号数目是有限的或可数的; 离散无记忆扩展信源输出的消息是由许多不同时刻发出的符号所组成的符号序列, 先、后发出的符号彼此间统计独立。符号序列的概率是序列中各个符号概率的乘积; 离散平稳有记忆信源时间上先、后发出的符号间有依赖关系, 且这种依赖性与时间起点无关, 只与关联长度有关; 马尔可夫信源某一时刻信源的输出只与当时的信源状态有关, 而与以前的状态无关, 并且某一时刻信源所处的状态只由当前的输出符号和前一时刻的状态惟一决定。

(4) 信道分为离散信道和连续信道, 无记忆信道和有记忆信道。信道的数学模型用转移概率描述。

离散无记忆信道的输入和输出都是离散无记忆的单个符号。离散无记忆 N 维扩展信道的输入和输出都是长为 N 的符号序列。序列的信道转移概率是序列中对应 N 个符号的信道转移概率的乘积。

电子技术基础

王港元 等 编著



成都科技大学出版社

内 容 提 要

本书是电子技术最基本的普及读物。本书的作者是江西省历届大学生制作大赛的电子类指导老师。他们非常了解要从事电子制作实践,无论是电子专业还是非电子专业的学生,都还缺少一点电子技术基础。本书正是为此而编著的。

本书的最大特点就是实践性。内容从如何识别、检测和选用基础电子元器件(电阻器、电容器、晶体管、集成电路、开关、继电器、接插件、电声器件、传感器等)入手,逐步落实到如何设计、制作和调试一个单元电路或一个简单的电子产品,直观、实在、可动手操作。

本书的另一个特点是通俗易懂。由于本书内容在编排方法上循循善诱,深入浅出,不仅具有大学学历的大学生,刚参加工作的工程技术人员为尽快熟悉业务需要读本书,就是仅具中学文化程度而希望步入电子行业(如家电维修、电子工厂的技工等)的初学者,也需要读而且能读懂本书。有老师指导更好,没有老师指导,读者通过自学本书后,也可自己动手,从事简单的电子技术工作了。

王港元 著
何红志 编

电 子 技 能 基 础

王港元等 编著

责任编辑:石荣新 何红志

*

成都科技大学出版社出版发行

四川省制版印刷中心印刷

新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:500千字

版次:1999年4月第1版 印次:1999年4月第1次印刷

印数:1-10 500册

ISBN 7-5616-3833-7/TN·96

定价:26.50元

目 次

1 电子元件及其识别

1.1 电阻器	1
1.1.1 电阻器的特性	1
1.1.2 电阻器与电位器的型号命名方法	1
1.1.3 电阻器的质量参数及选用知识	2
1.1.4 电阻器的串、并联及其作用	5
1.2 电位器	6
1.2.1 电位器的结构与特性	6
1.2.2 电位器的种类	7
1.3 特殊电阻器	8
1.3.1 水泥电阻器	8
1.3.2 熔断电阻器	8
1.3.3 保险丝及其代用	9
1.3.4 敏感型电阻器	10
1.4 电容器	10
1.4.1 电容器的特性	10
1.4.2 电容器的种类及其识别	11
1.4.3 电容器的规格与标志	13
1.4.4 电容器的质量参数	15
1.4.5 电容器的串、并联及其作用	18
1.4.6 用万用表估测电容器的方法	19
1.4.7 电容器的使用常识	21
1.5 电感器	22
1.5.1 电感线圈及其种类、基本参数、绕制方法、使用常识	22
1.5.2 变压器及其种类、特性、设计知识	26
1.5.3 变压器的型号命名方法	33
1.6 习题	34
1.7 测量误差的概念及阻容件的测量	34
1.7.1 测量误差的概念	34
1.7.2 阻容件的识别与检测	36

2 晶体管及其检测

2.1 晶体二极管型号的命名方法	38
2.2 晶体二极管的一般结构及其基本特性	39
2.2.1 晶体二极管的结构	39
2.2.2 二极管的特性和主要参数	39
2.3 几种普通的二极管	41
2.3.1 整流二极管	41

2.3.2	检波二极管	41
2.3.3	开关二极管	42
2.3.4	1N 系列塑封(玻封)硅二极管	42
2.3.5	用万用表测试二极管	44
2.4	特殊用途的二极管	46
2.4.1	稳压二极管	46
2.4.2	变容二极管	49
2.4.3	发光二极管(LED)	49
2.4.4	红外发光二极管	53
2.4.5	高压硅堆	55
2.4.6	阻尼二极管	56
2.5	晶体三极管	56
2.5.1	晶体三极管的结构与种类	56
2.5.2	三极管的伏安特性	57
2.5.3	三极管的常用偏置电路	58
2.5.4	三极管的三种工作状态	59
2.5.5	放大电路的三种基本组态	59
2.5.6	三极管的主要技术参数	61
2.5.7	三极管的检测	61
2.6	达林顿管	63
2.6.1	达林顿管的结构特点	63
2.6.2	达林顿管的主要技术参数	64
2.7	常见进口三极管的识别	65
2.8	场效应管	66
2.8.1	场效应管的结构	66
2.8.2	场效应管的特点	66
2.8.3	场效应管的伏安特性及用途	67
2.8.4	用万用表测试场效应管	68
2.9	单向晶闸管	69
2.9.1	单向晶闸管的结构及等效电路	69
2.9.2	单向晶闸管的伏安特性	70
2.9.3	用万用表检测单向晶闸管	70
2.10	双向晶闸管	71
2.10.1	双向晶闸管的结构和伏安特性	71
2.10.2	用万用表检测双向晶闸管	73
2.11	双向触发二极管	73
2.11.1	双向触发二极管的结构及伏安特性	73
2.11.2	双向触发二极管的检测	74
2.12	单结晶体管	74
2.12.1	单结晶体管的结构	74
2.12.2	单结晶体管的伏安特性	75
2.12.3	单结晶体管的检测	76
2.13	习题	76
2.14	晶体二极管、三极管的测试	77

3 集成电路应用常识

3.1 集成电路的结构特点与分类	78
3.1.1 集成电路的结构特点	78
3.1.2 集成电路的分类	79
3.2 数字集成电路的特点与分类	79
3.2.1 数字集成电路的特点	79
3.2.2 数字集成电路的分类	80
3.3 模拟集成电路的特点与分类	80
3.3.1 模拟集成电路的特点	80
3.3.2 模拟集成电路的分类	80
3.4 集成电路引脚排列的识别	81
3.4.1 多引脚的金属圆壳封装 IC	81
3.4.2 金属圆壳封装 IC	81
3.4.3 三端稳压集成电路	81
3.4.4 扁平单列直插 IC	82
3.4.5 扁平双列型 IC	82
3.4.6 非普通排列引脚 IC	82
3.5 集成电路应用须知	83
3.5.1 CMOS IC 应用须知	83
3.5.2 TTL IC 电路应用须知	83
3.6 实际电路举例——555 时基集成电路	84
3.6.1 555 电路的结构特点	84
3.6.2 电路的逻辑关系	85
3.6.3 555 电路的主要参数	85
3.6.4 555 电路的应用	86
3.7 习题	88

4 印制板及其设计与制作

4.1 印制电路板的结构	89
4.2 印制电路板的排版设计	89
4.2.1 印制电路板上的干扰与抑制	89
4.2.2 印制电路板的排版格式	94
4.3 印制板图的绘制	97
4.3.1 整体布局与印制板结构的确定	97
4.3.2 单线不交叉图的绘制	99
4.3.3 排版草图的绘制	103
4.3.4 印制板的手工制作	104
4.4 印制电路与元件的焊接	107
4.5 习题	108
4.6 制作自激多谐振荡器	108

5 开关、继电器、接插件及其选用

5.1 常用开关	110
----------	-----

5.1.1 常用开关的种类	110
5.1.2 开关的主要参数	112
5.2 薄膜开关	112
5.2.1 薄膜开关的结构与性能	113
5.2.2 薄膜开关的特点	113
5.3 水银导电开关	114
5.4 电磁继电器	114
5.4.1 电磁继电器的结构	114
5.4.2 电磁继电器的测试	115
5.4.3 继电器的附加电路	116
5.5 固态继电器	116
5.5.1 固态继电器的结构	116
5.5.2 固态继电器的工作原理	117
5.5.3 固态继电器的参数	118
5.5.4 固态继电器的应用	119
5.6 接插件	119
5.6.1 两芯插头座	121
5.6.2 印制电路板插座	121
5.7 习题	121
5.8 制作电铃声响延时器	121

6 电声器件与片状元件

6.1 扬声器	124
6.1.1 扬声器的种类与结构	125
6.1.2 扬声器的主要参数	126
6.1.3 扬声器的简易检测	126
6.2 传声器	126
6.2.1 动圈式传声器	127
6.2.2 驻极体传声器	129
6.3 耳机和耳塞机	129
6.4 片状元器件	129
6.4.1 片状元器件的特点	130
6.4.2 片状元器件的种类	133
6.4.3 片状元器件的包装	133
6.4.4 片状元器件的印制板焊盘要求	134
6.4.5 片状元器件的贴焊	135
6.5 习题	135
6.6 制作声控开关	135

7 传感器及其应用

7.1 传感器的组成与分类	137
7.1.1 传感器的组成方框图	137
7.1.2 传感器的分类	137
7.2 负温度系数热敏电阻器(NTC)	138

7.13.2 陶瓷谐振元件的种类	158
7.13.3 陶瓷谐振元件的主要参数	159
7.14 声表面波滤波器	159
7.14.1 声表面波滤波器的工作原理	159
7.14.2 声表面波滤波器的等效电路	160
7.15 肖特基二极管(SBD)	160
7.15.1 肖特基二极管的结构	160
7.15.2 肖特基二极管的伏安特性	161
7.16 习题	161
7.17 制作声光控制照明灯开关	162

8 数码显示器及显示电路

8.1 LED数码管与LED显示器	164
8.1.1 LED数码管的结构	164
8.1.2 LED数码显示器的分类	165
8.1.3 LED数码管的性能特点	166
8.2 液晶显示器(LCD)	166
8.2.1 液晶显示器的结构	166
8.2.2 液晶显示器的工作原理	167
8.3 LED数码显示电路	167
8.3.1 LED数码管的驱动方法	167
8.3.2 几种常用的LED数码显示电路	168
8.4 LCD数码显示电路	173
8.4.1 LCD数码管的驱动方法	173
8.4.2 LCD数码显示电路	174
8.5 习题	175
8.6 制作红外线遥控器	176

9 直流电源

9.1 AC/DC电路	178
9.1.1 交流电源滤波器	178
9.1.2 交流电压变换电路和整流电路	178
9.1.3 稳压电路	179
9.2 三端集成稳压器	180
9.2.1 三端固定输出正稳压器	180
9.2.2 三端固定输出负稳压器	181
9.2.3 三端可调输出正稳压器	181
9.2.4 三端可调输出负稳压器	181
9.2.5 三端集成稳压器的应用	181
9.3 DC/DC电路及开关稳压电源	182
9.3.1 降压式电路	182
9.3.2 升压式电路	184
9.3.3 电压反转式电路	186
9.3.4 高频变压器式开关电源	188

9.4 小型密封蓄电池	190
9.4.1 小型密封蓄电池的结构	190
9.4.2 小型密封蓄电池的性能特点	190
9.4.3 额定容量与额定电压	191
9.4.4 充电	191
9.5 习题	191
9.6 制作 PWR202A 型开关电源	192

10 微机自动布线设计软件的应用

10.1 印制电路板 CAD 的概述	194
10.2 PROTEL 软件包的主要特性及安装	194
10.2.1 PROTEL 的主要特性	194
10.2.2 PROTEL 软件包的安装	195
10.3 原理图编辑 SCHEDIT	196
10.3.1 如何进入原理图编辑状态	196
10.3.2 SCHEDIT 命令的执行方式	197
10.3.3 SCHEDIT 主菜单命令	197
10.4 原理图应用程序	208
10.4.1 原理图标注程序 ANNOTATE	208
10.4.2 原理图编译程序 POST	209
10.4.3 网络表转换程序 NETTRAN	209
10.4.4 原理图输出程序 SCHPLOT	209
10.4.5 原理图器件库编辑 SLM	211
10.5 印制电路板设计 TRAXEDIT	214
10.5.1 如何 TRAXEDIT 编辑状态	214
10.5.2 TRAXEDIT 编辑命令的执行方法	215
10.5.3 TRAXEDIT 主菜单命令	215
10.6 印制电路板实用程序	229
10.6.1 转换程序	229
10.6.2 印制电路板输出程序 TRAXPLOT	229
10.7 PROTEL 宏指令的设置	232
10.7.1 原理图宏指令的设置(SCHEDIT.KEY)	232
10.7.2 印制板图宏指令的设置(TRAXEDIT.KEY)	233
10.8 使用 PROTEL 设计印制电路板的工作过程	234
10.9 应用举例	235
10.9.1 电路介绍及工作原理	235
10.9.2 原理图器件的绘制	236
10.9.3 原理图的绘制	238
10.9.4 生成网络表文件	244
10.9.5 原理图的输出(打印)	244
10.9.6 绘制印制板图	246
10.9.7 打印印制板图	251
10.10 习题	253
10.11 印制电路板设计的 CAD 技术	254

11 电子制作的设计、组装与调试	
11.1 电子制作的设计	255
11.1.1 整机电路的设计	255
11.1.2 整机结构的设计	257
11.2 电子制作的组装	258
11.2.1 电子元器件的检验与筛选	258
11.2.2 电子产品的组装	259
11.3 电子制作的调试	259
11.3.1 调试准备	260
11.3.2 调试步骤	260
11.3.3 调试方法	262
11.4 调试举例	265
11.4.1 整机的工作原理	265
11.4.2 安装方法与静态调整	266
11.4.3 整机交流信号的调整	269
11.5 设计举例	272
11.5.1 明确产品设计的要求	272
11.5.2 方案的选择	272
11.5.3 单元电路的设计、参数计算和器件选择	273
11.5.4 整机电路图的绘制	276
11.6 习题	276
12 常用仪器仪表的正确使用	
12.1 万用表	277
12.1.1 万用表的性能	277
12.1.2 万用表的类型	277
12.1.3 正确的电表连接	277
12.2 示波器	278
12.2.1 示波器的说明	278
12.2.2 示波器的使用	280
12.2.3 使用注意事项	281
12.3 JT-1型晶体管特性图示仪	283
12.3.1 面板结构	283
12.3.2 晶体管图示仪的工作原理	285
12.3.3 图示仪的组成	286
12.3.4 图示仪的主要技术性能	287
12.3.5 图示仪的使用方法	287
12.3.6 使用范例	288
12.4 扫频仪	290
12.4.1 扫频仪的工作原理	290
12.4.2 扫频仪的使用方法	290
主要参考文献	294
附录 常用电气新旧图形符号对照表	295

4 印制板及其设计与制作

4.1 印制电路板的结构

印制电路是在一块平面绝缘板上印制成电路,所印制的一般都是导线。印制有电路的平面板即称为印制电路板,简称为印制板。印制板除了印制导线外,也有印制元件的,但工艺很复杂。

印制电路板的材料主要是敷有铜箔的层压纸板与玻璃布板,称为敷铜板。也有用聚四氟乙烯和高频陶瓷做基板,这种材料介电常数及介质损耗很小。

印制板按结构分有:

(1) 单块印制电路板

单块印制电路板是指在厚为 $1\sim 2\text{ mm}$ 的绝缘基板上,一面或两面印制有电路,分别称单面印制电路板或双面印制电路板。

(2) 多层印制电路板

多层印制电路板,是指在与单块印制电路板上,印制三层以上的电路板。应用于高导线密度、体积小的高精密电路,其特点是接线短、直、抗干扰性好。

(3) 软印制电路板

这种印制板的基材是软的层状塑料或其他质软的绝缘材料,厚度约为 $0.25\sim 1\text{ mm}$ 。其一面或两面覆盖导电层而印刷制作的电路板。为了充分利用空间,将它卷曲成螺旋形放在设备内部。为了加固和防潮,常用环氧树脂灌注成一整体。

4.2 印制电路板的排版设计

在电子产品和设备中,印制电路板起到电气和机械的双重作用。因此如何将电路中的元器件按照要求在印制板上排列并组成有实用价值的电路板,这便是排版。将设计好的电路板转印到敷铜板上,并覆盖上保护层,再经过腐蚀、清洗、钻孔、抗氧化等工序后,便成为印制板了。

排版设计必须有合理的布局,同一个电路可以有多种布局方案,不同的布局方案所取得的效果也各不相同,实际上排版设计并无完全统一的公式可以套用,而只能在实践中积累经验。在掌握基础知识后,根据具体情况可以设计出较好的实施方案。才能使实际的组合电路稳定可靠的工作。

4.2.1 印制电路板上的干扰与抑制

在制作的电路板中,如果设计得不合理,会引起地线的共阻抗干扰、电源干扰、电磁干扰等,为了消除或抑制这些干扰,可以通过合理的设计布局来加以解决。

1) 地线的共阻抗干扰与消除

(1) 地线的共阻抗干扰

在电路图中通常用“ \perp ”符号表示接地。它表示电路中的零电位,并用来作为电路中其他各点电位的公共参考点。在实际电路中,前级和后级电路接地,由于地线中阻抗(电阻、电感)的存在,必

然会给电路带来共阻抗干扰。因此,在设计布置地线时,不可将凡有接地符号的点随意连接起来,这可能会产生有害的耦合而影响电路的正常工作。

举例来说,假如有一段长为 10 cm,宽为 1.0 mm 印制导线,其铜箔厚度为 0.05 mm,则导线的电阻可由下式算出:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中: L 为导线长度(m); S 为导线的截面积,即导线宽度乘铜箔厚度(mm^2); ρ 是铜的电阻率, ρ 为 $0.02(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$ 。将相关数据代入上式可得:

$$R = 0.02 \frac{0.1}{0.05 \times 1} \approx 0.04(\Omega)$$

若该电路在低频工作时,通过的交变电流为 1 A,则在这段印制导线上约产生 0.04 V 的交变电压降,如果有其他的电路回路也通过这一段导线,便会对其他电路产生影响而形成共阻抗干扰。

若在高频情况下,地线的共阻抗干扰主要以导线的感抗为主。当有一段导线远离其他导线,并且其长度远大于宽度时,导线的自感量 L 为:

$$L = 0.8(\mu\text{H}/\text{m}) \times l(\text{m})$$

因此,一段长为 10 cm 的导线便具有 $0.08 \mu\text{H}$ 的电感量。当导线上通过工作频率为 30 MHz 的电流时,其感抗为:

$$R_L = 2\pi fL = 6.28 \times 30 \times 10^6 \times 0.08 \times 10^{-6} \approx 16(\Omega)$$

由此可见,当频率较高时,导线的感抗将比导线本身的电阻要大几个数量级。这时,即使导线上仅流过 10 mA 的高频电流,在此段导线上也会产生 0.16 V 的高频电压降。因此,对于高频电路布局来说,应尽可能排列紧凑,使印制导线尽可能短。

(2) 消除地线共阻抗干扰的方法

一点接地法。一点接地的形式如图 4.1 所示。图中将各级内部接地元件,即本级电路的发射极、基极、集电极的所有接地元件均安排在一个接地点上与地线相接,这样可以有效地防止交流信号通过接地元件的分散和拾检。在实际的电路布线中,各级的接地元件多,不可能将这些元件都穿入一个穿线孔中,而是将本级接地元件尽可能就近安排在公共地线的一段或一个区域,如图 4.2(a) 所示。也可以从地线上引出接地分支或接地岛。这样,同样可达到一点接地的效果,如图 4.2(b) 所示。

在一点接地中需注意以下几个问题:

——本级接地元件的范围是指与本级放大元件直接连接或通过电容耦合的元件。由电感耦合的次级及其元件不属于本级。

——对于采用接地分支作一点接地的电路,在元件不多、体积不大时,其一点接地

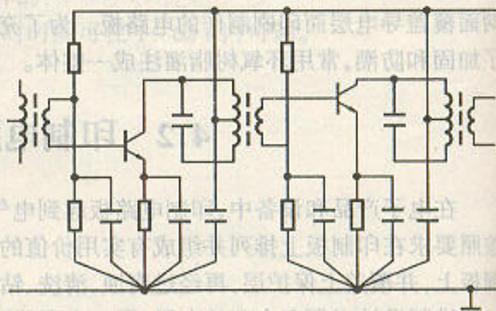


图 4.1 一点接地

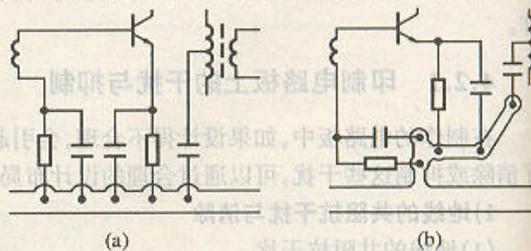


图 4.2 实际排版中的一点接地

的布局较好处理;在元件较多、体积较大时可以采用较长的接地分支,但不应使其他级的元件接入该接地分支,接地分支的远端也不能和其他接地地线连接。

有时,在一级电路中也可采用多分支接地的方法。这样,可不因接地元件过于集中而造成排列拥挤。但不论分支多少,各分支地线均不能作公共地线的一部分,或供本级以外的其他元件接地。

——一点接地除了本级的板内元件外,还包括与本级直接或通过电容连接的板外元件。不少初学者往往在排版中对本级引出板外元件的一点接地没有注意,从而造成局部电流的共阻抗干扰。

例如,在安排大功率音频输出级,由于输出功率管和滤波电解电容等元件体积较大而需装在板外,就应将这此元件的接地点与本级的板内电路的接地元件做到一点接地。

——高频电路的地线一般都采用大面积复盖接地,但这并不意味着各级元件可以任意分散接地,一点接地仍是十分必要的。通常为了减少元件之间的接地电感,不宜采用接地分支来一点接地,而是将本级各接地元件的接地点安排在较小的区域内,如图 4.3 所示。

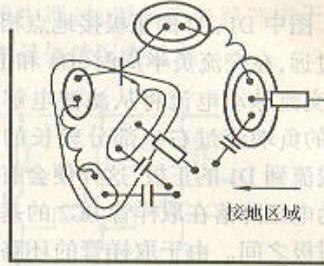


图 4.3 高频电路元件的一点接地

板内地线布局。通常一块印制板上都有若干级电路。所以,印制板上地线是用来连接电路各级或各部分之间接地的,而板内地线布局则主要应防止各级或各部分之间的全电流共阻抗干扰。所以,当板内的电路数目较多时,地线的布局必须做到下列几点:

- 各部分(必要时各级)的地线必须分开。
- 为消除或尽量减少各部分的公共地线段,总地线的引出点必须合理。
- 为了防止各部分通过总地线的公共引出线而产生的共阻抗干扰,在必要时可将某些部分的地线单独引出。

特别是在数字电路中,板内的元件较多,电路中又有大量的门电路和触发器,如 MOS 电路输入电阻较大,因此,对干扰信号特别敏感。又如电路工作在开关状态时,会产生一定的脉冲干扰,可能使触发器和门电路产生误触发。因此,地线的布局好坏将会直接影响电路的工作稳定。所以,必要时可以按级、按工作状态或按集成块分别布设地线,如图 4.4 所示。

——有些电路既有小信号输入端,又有大信号输出端,而通常输入、输出均经由面板交割。如果输入与输出都有接地点的话,它们的接地端务必分别用导线引到公共地线上,而不能共用一根接地线。

(3) 地线布局的几个要点

处理好全局与局部的关系。要处理好地线的布局,一定要从全局出发,对电路整体设计,而不应从局部考虑。要按照先全局后局部,先主要电路再次要电路的顺序加以考虑。如果全局与局部之间存在着相互制约时,则应权衡利弊后决定地线布局。

注意地线中电流的方向和分布。由于地线中有电阻存在,当地线中有电流通过时,电流的流向和电流大小也是决定地线布局的决定因素。地线布局的合理与否决定:地线中的电流是否流经了与此电流无关的其他电路或部件。

地线的分配。合理的地线布局并非地线分得越多越好。无论是板内还是板外,地线分得越多,

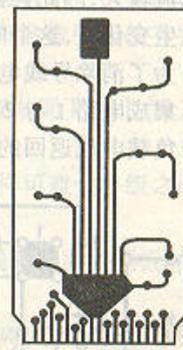


图 4.4 数字电路地线的一种布设方式

越容易造成接地的电位差,从而不利于电路的电气衔接,也给排版带来困难,同时布局也不美观。而地线分得过少又使地线产生共阻抗干扰的可能性增大。因此,地线的分配应以地线中的电流为依据。既互不相干的电流不能合用一根地线;允许在一根地线中通过的电流不能用地线分开。

2) 电源干扰与抑制

整机的各部分都是由电源供电而工作的,因而电源的正常与否将直接影响电路的工作。因此在排版设计中电源及电源线的合理布局对消除电源干扰有着重要的意义。

(1) 稳压电源的干扰抑制与布局

图 4.5 表明一种不合理的电源布局。图中 D1、D2 的正极接地点相互设置过远,在交流负半周时,D4 和 D1 导通,交流脉动电流将从滤波电解电容 C1 的负端流过右半部分较长的印制地线流到 D1 的正极,这样便会有部分脉动电压降落在取样管 BG2 的基极与发射极之间。由于取样管的环路增益很高,即使很微小的电压干扰进入取样管都可引起输出电压较大的变化,因此输出端在负半周会出现干扰纹波。

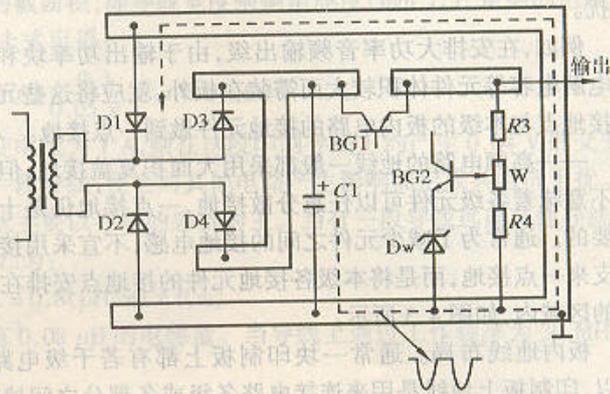


图 4.5 整流管接地点过远引起的干扰

对于 W317 三端集成稳压电路来说,具有输出可调、电路简单的优点,其电路如图 4.6 所示。其 1 为调整端,2 为输出端,3 为输入端。如果照原理图设计,可能有些人会将印制板设计成如图 4.7(a),在这种情况下,由于通常稳压器在输出端电流较大,因此会在印制导线上产生一电压降。当输出电流发生变化时,这个电压降便会通过 R1 使基准电压发生变化。为了消除导线电压降带来的干扰,应使 R1 尽量紧接在稳压集成电路 1 与 2 之间,见图 4.7(b)。同时 R2 的接地点应与负载电流返回的接地点在一起,否则负载在地线上的电

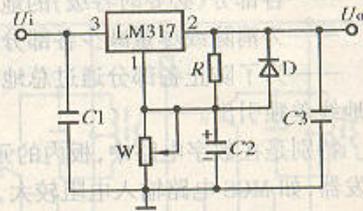


图 4.6 可调输出稳压电路

压降会通过 R2 附加到 1 上,从而造成输出电压偏差。

稳压电源在布局时尽可能安排在单独的印制板上。这样可以使电源印制板的面积减小,便于放置在滤波电容和调整管附近,有利于在调试和检修设备时将负载与电源断开。而当电源与电路合用印制板时,在布局中应

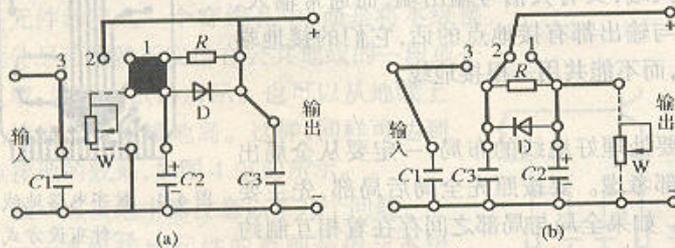


图 4.7 可调输出稳压电流印制板

避免稳压电源与电路元件混合布设或是使电源和电路合用地线。这样的布局不仅容易产生干扰,同时在维修时无法断开负载,到时将不得不切断部分印制导线,从而损伤印制板。

(2) 电源线的布局

电源线的布局并不因为有退耦电路的存在而可以随意安排。合理的走向对抑制干扰有重要作用,因此电源线的走向在布局时应注意以下几点:

在电原理图中,各部分均有电源退耦电路时,在布局中应将退耦电路设计在各相关电路附近,而不要将退耦电路集中放置在电源部分。这既影响旁路效果,又会在电源线和地线上流过脉动电流,从而造成窜扰。

对于各部分电路内部的电源走向,应采取从末级向前级供电(因末级交流信号电流最大),并将该部分的电源滤波电容安排在末级附近。图 4.8(a)所示的安排是合理的,对末级旁路效果最好。而图 4.8(b)是不合理的,此时末级信号电流将会在电源线和地线中通过,对其它电路造成干扰。当然,在有些电路中,工作电流较大的不一定是末级,这便需要根据具体情况去处理。

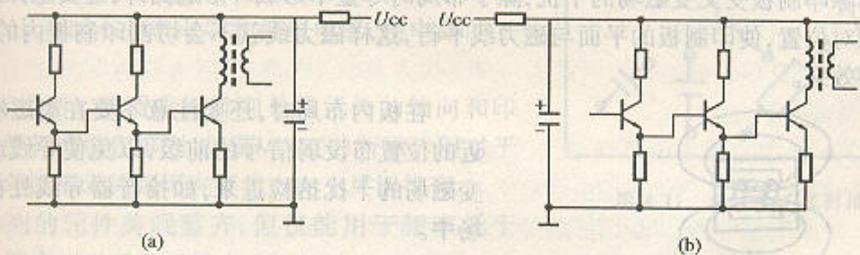


图 4.8 电路内部的电源走向

对一些主要的电流通道,如在调试和检修过程中需断开或测量电流,在布局时应在印制导线上安排电流缺口。

3) 电磁干扰与抑制

印制导线除了本身存在电感和电阻外,在导线间还存在着互感和电容。当电路工作频率较高或电流较大时,同样会对其他部分带来干扰。我们把这种由于导线之间的分布参数引起的有害耦合干扰称为寄生耦合干扰。

当有各种信号通路和输入、输出导线在板内布线时,为了防止寄生耦合,应做到下列几点。

- (1) 各级间的信号走线越短越好。
- (2) 各级电路在排列时,要按照信号的顺序排列,不要迂回或越级排列,这样可避免各级之间的信号线相互跨越。
- (3) 信号导线在排版时应避免相互靠近平行排列。特别是在处理板内跨线和双面印制板时,要注意使两面的导线呈垂直或交叉,不能平行。
- (4) 遇到板内需平行布设的信号导线,应使这些导线尽可能间隔一定的距离,或用地线、电源线隔开,达到屏蔽的目的。

在排版中并不是对所有的信号导线都不能平行,那实际上是办不到的。正确的方法是根据导线中的信号内容在布局时加以区别对待。例如,收音机中扬声器的输出走线对于天线磁棒、双连、中放级的走线来说,因其工作频率相差甚远,所以不易产生干扰,但对于音量电位器的走线来说却易产生干扰。而对于数字电路来说,由于方波信号中含有丰富的谐波成份,也可能引起电路的误触发。因此应该根据各种信号线的性质进行合理布局。

除了寄生耦合干扰外,由元件产生的恒定或交变的磁场,也会对电路工作带来干扰。

产生恒定磁场的元件一般是扬声器、聚焦线圈、永磁性仪表等。这类元件主要会影响磁性元件(如磁棒、中周线圈)和电子束元件(显象管、示波管等)。对于非磁性元件,如空心线圈、导线等由于其磁通不发生变化,所以不会产生感生电动势。

为了抑制恒定磁场的干扰,在布局时应尽可能使易受干扰的元件远离干扰源,并合理选择产生干扰与被干扰元件的相对位置和安装方向,可使干扰强度减至最低。

由于在电路中存在各种各样的电感线圈如电源变压器、中周、音频变压器等。这些元件中由于通过交变电流而在元件周围产生漏磁场,而交变磁场会在闭合线圈(导线)中产生感生电动势,从而会产生干扰。

在实际使用中,电源变压器是一个较大的磁场干扰源。如果印制板中有环形导线而且离变压器又比较近的话,一旦交变磁场垂直切割环形导线,便会产生感生环路电流,从而对电路产生干扰。

为了消除印制板受交变磁场的干扰,除了布局时尽量不形成环形通路外,还要选择好变压器与印制板的相对位置,使印制板的平面与磁力线平行,这样磁力线就不会切割印制板内的导线,得到较好的抑制效果。

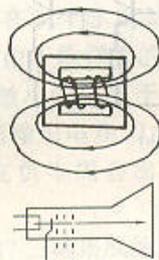


图 4.9 变压器与电子束管的安装位置

在板内布局时,还要注意不要在离磁场干扰源较近的位置布设弱信号的前级,以免使导线或元件将交变磁场的干扰拾检进来,如拾音器导线处在变压器磁场中。

电子束器件对交变磁场的干扰极为敏感。它会使图象扭曲、失真、使聚焦变差,所以,它远比恒定磁场的危害要大。为了防止交变磁场的干扰,通常要对变压器或显象管进行屏蔽。此外,选择变压器和电子束管的相互位置也十分重要,应该使变压器的磁场方向与电子束行进方向一致,如图 4.9。

在电路中,如果线圈彼此之间的位置过于靠近,也会在无屏蔽装置的线圈之间产生不必要的耦合。因此,除了在布局允许的条件下,尽可能合理的安排线圈间的相互位置,使线圈之间的耦合

尽量小。图 4.10 所示的是线圈间相互位置与耦合的关系:当线圈轴向在一条直线或平行时耦合最大,如图(a),互相垂直时耦合最小,如图(b)。

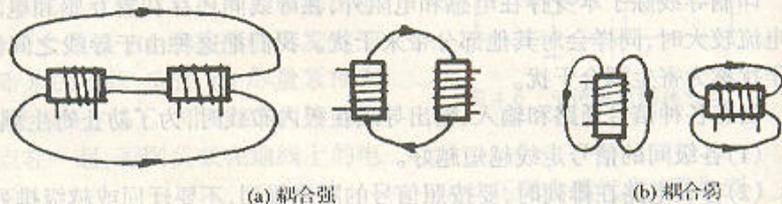


图 4.10 线圈之间的相互位置与耦合的关系

4.2.2 印制电路板的排版格式

印制板的排版格式是指板上元件的排列和印制导线、接点的形状所采用的方式。不同的排版格式,除了外观上的区别外,其电性能也各有不同。

1) 元件的安装方式

元件在印制板上可分为立式安装和卧式安装两种。立式安装是指元件的轴向垂直于印制板