

门老师
教你学电子



电子爱好者入门

DIANZI AIHAOZHE RUMEN

门宏 编著

电子技术
基础知识

看懂电路图

玩转万用表

识别和检测
半导体管

识别和检测
元器件

识别和选用
集成电路、
电子制作技能
与技巧
.....



化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子爱好者入门/门宏编著. —北京: 化学工业出版社, 2016.9

(门老师教你学电子)

ISBN 978-7-122-27501-1

I. ①电… II. ①门… III. ①电子技术-基本知识
IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 148075 号

责任编辑: 宋 辉

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 边 涛

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 400 千字 2016 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

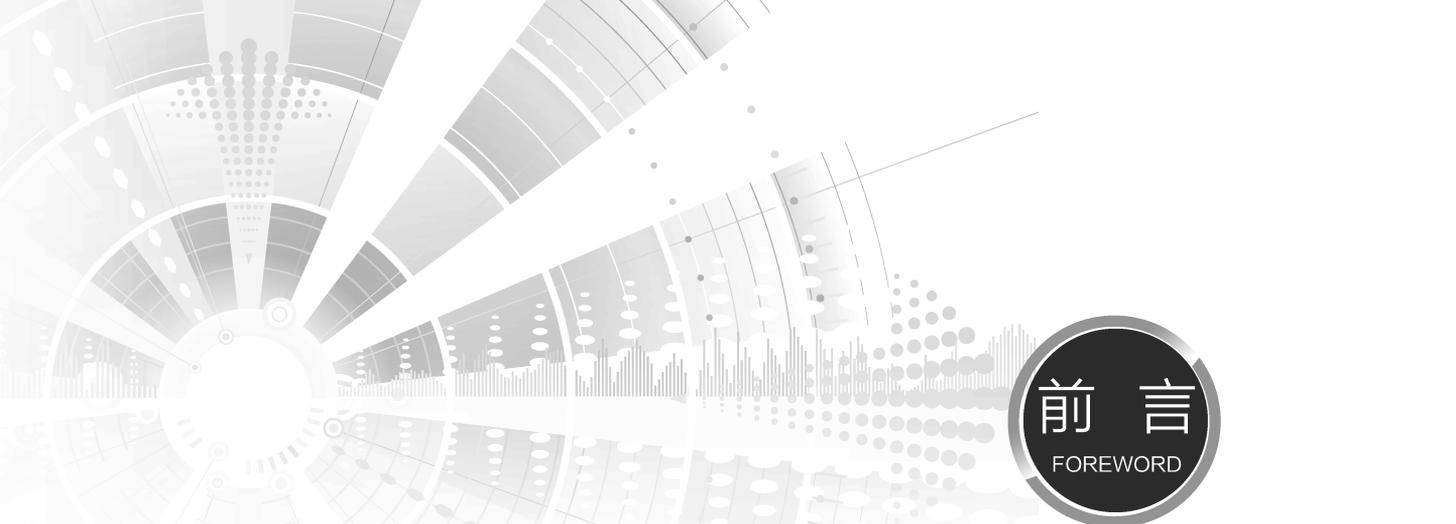
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

读者朋友你好，你打开了本书真是我们的缘分，说明我们有相同的兴趣爱好，我们有共同关心的话题，我们有共同的奋斗目标，因为我们都是志同道合的电子技术爱好者。

当今世界已步入信息时代，“互联网+”正在深刻地改变着整个社会形态。电子技术是信息社会的基础，“互联网+”离不开电子技术，我们每一个人的工作、学习和生活也离不开电子技术。在大众创业、万众创新的时代浪潮中，无论你想开网店，还是打算开发手游，或是准备进军互联网金融，掌握一定的电子技术都会让你获益匪浅。

也许你会问“怎样才能又快又好地学会电子技术呢？”，我也在问自己“能给读者多一些什么帮助呢？”这时我想到了学校，想到了教室，想到了课堂。于是，笔者与编辑共同策划了这套“门老师教你学电子”丛书奉献给读者朋友。

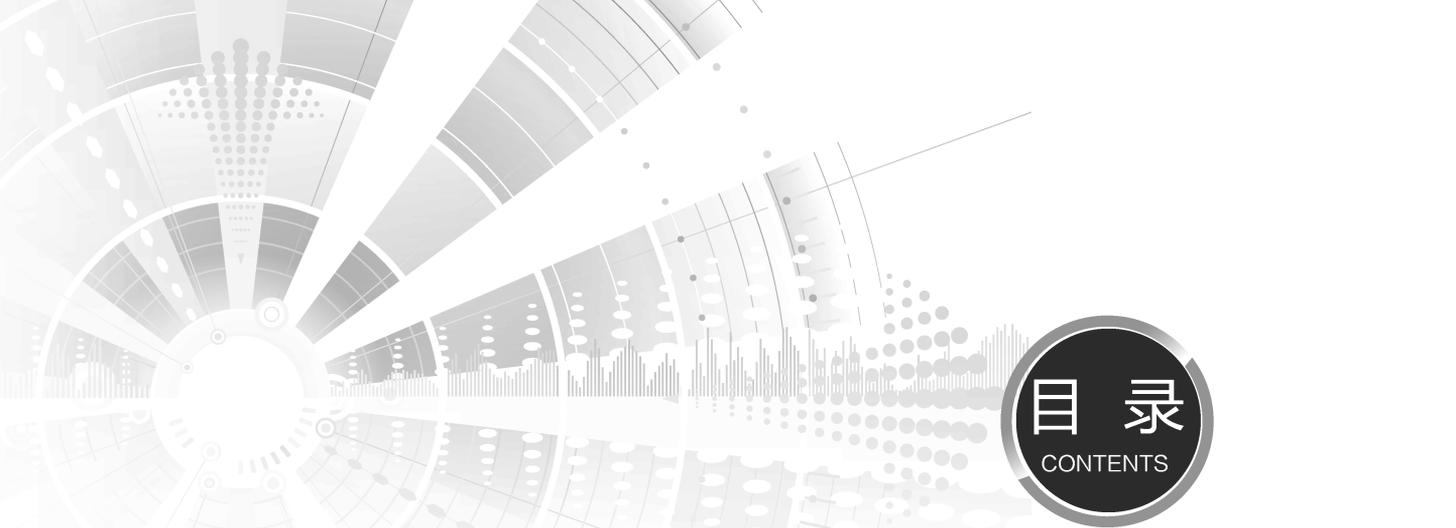
“门老师教你学电子”丛书是笔者根据初学者的特点和要求，结合自己长期从事电子技术教学工作的实践精心编著的，宗旨就是让初学者看得懂、学得会、记得住、用得上，做到入门快、掌握好、会操作、能提高。丛书采用图解的形式、通俗的语言，深入浅出、实用性强，真正起到手把手教你快速学会电子技术的效果。

《电子爱好者入门》是“门老师教你学电子”丛书中的一本，目的是帮助电子技术爱好者快速入门。全书共分8章，第1章讲解电子技术的基础知识，第2章讲解看懂电路图的方法和技巧，第3章讲解万用表的基本性能和使用方法，第4章讲解半导体管的识别和检测，第5章讲解元器件的识别和检测，第6章讲解集成电路的识别和选用，第7章讲解自制电子仪表，第8章讲解实际操作技能与技巧。

本书适合广大电子技术爱好者、电子技术专业人员、家电维修人员和相关行业从业人员阅读学习，并可作为职业技术学校 and 务工人员上岗培训的基础教材。

本书由门宏编著，为本书编写提供了帮助门雁菊、施鹏、张元景、吴敏、张元萍、李扣全、吴卫星、张乐等。书中如有不当之处，欢迎读者朋友批评指正。

编著者



目录

CONTENTS

第 1 章 电子爱好者的门票——电子技术基础知识

1.1 最基本的概念	1	1.2.2 电路原理图	5
1.1.1 电压	1	1.2.3 实物图	5
1.1.2 电流	2	1.2.4 方框图	6
1.1.3 电阻	2	1.2.5 电路板图	7
1.1.4 欧姆定律	3	1.3 元器件的基础知识	7
1.1.5 功率	3	1.3.1 什么是电子元器件	7
1.1.6 并联	3	1.3.2 元件与器件	7
1.1.7 串联	4	1.3.3 线性与非线性	8
1.2 电路图的基础知识	5	1.3.4 无源与有源	8
1.2.1 什么是电路图	5		

第 2 章 练就火眼金睛——看懂电路图

2.1 电路图的画法规则	9	2.2.3 常见单元电路的结构特点	18
2.1.1 信号处理流程的方向	9	2.2.4 等效电路法分析	19
2.1.2 图形符号的位置与状态	10	2.3 集成电路的看图方法	20
2.1.3 连接线的表示方法	12	2.3.1 了解集成电路的基本功能	21
2.1.4 电源线与地线的表示方法	13	2.3.2 识别集成电路的引脚	22
2.1.5 集成电路的习惯画法	14	2.3.3 从输入输出关系上分析	27
2.2 单元电路的看图方法	15	2.3.4 集成电路的接口关系分析	29
2.2.1 单元电路的作用与功能	15		
2.2.2 输入信号与输出信号之间的关系	16		

第 3 章 掌握鉴宝魔镜——玩转万用表

3.1 指针式万用表	31	3.1.2 万用表的功能	34
3.1.1 万用表的结构	32	3.1.3 万用表的使用方法	36

3.2 数字万用表·····	43	3.2.3 数字万用表的测量原理·····	48
3.2.1 数字万用表的结构·····	43	3.2.4 数字万用表的使用方法·····	51
3.2.2 数字万用表的功能·····	45		

第 4 章 怎样识别和检测半导体管

4.1 晶体二极管·····	56	4.6.1 认识晶体闸流管·····	79
4.1.1 认识晶体二极管·····	56	4.6.2 检测晶体闸流管·····	82
4.1.2 检测晶体二极管·····	59	4.7 发光二极管与 LED 数码管·····	84
4.2 稳压二极管·····	60	4.7.1 认识发光二极管与 LED 数码管·····	84
4.2.1 认识稳压二极管·····	61	4.7.2 检测发光二极管与 LED 数码管·····	88
4.2.2 检测稳压二极管·····	63	4.8 光电二极管·····	90
4.3 晶体三极管·····	64	4.8.1 认识光电二极管·····	90
4.3.1 认识晶体三极管·····	65	4.8.2 检测光电二极管·····	92
4.3.2 检测晶体三极管·····	69	4.9 光电三极管·····	93
4.4 场效应管·····	70	4.9.1 认识光电三极管·····	93
4.4.1 认识场效应管·····	71	4.9.2 检测光电三极管·····	95
4.4.2 检测场效应管·····	74	4.10 光电耦合器·····	96
4.5 单结晶体管·····	75	4.10.1 认识光电耦合器·····	96
4.5.1 认识单结晶体管·····	76	4.10.2 检测光电耦合器·····	98
4.5.2 检测单结晶体管·····	78		
4.6 晶体闸流管·····	79		

第 5 章 怎样识别和检测元器件

5.1 电阻器·····	100	5.6.2 检测变压器·····	128
5.1.1 认识电阻器·····	100	5.7 继电器·····	129
5.1.2 检测电阻器·····	105	5.7.1 认识继电器·····	129
5.2 电位器·····	106	5.7.2 检测继电器·····	132
5.2.1 认识电位器·····	106	5.8 扬声器与耳机·····	133
5.2.2 检测电位器·····	109	5.8.1 认识扬声器·····	133
5.3 电容器·····	110	5.8.2 认识耳机·····	136
5.3.1 认识电容器·····	110	5.8.3 检测扬声器与耳机·····	136
5.3.2 检测电容器·····	114	5.9 讯响器与蜂鸣器·····	137
5.4 可变电容器·····	116	5.9.1 认识讯响器与蜂鸣器·····	137
5.4.1 认识可变电容器·····	116	5.9.2 检测讯响器与蜂鸣器·····	139
5.4.2 检测可变电容器·····	119	5.10 话筒·····	140
5.5 电感器·····	119	5.10.1 认识话筒·····	141
5.5.1 认识电感器·····	120	5.10.2 检测话筒·····	143
5.5.2 检测电感器·····	122	5.11 晶体·····	144
5.6 变压器·····	123	5.11.1 认识晶体·····	144
5.6.1 认识变压器·····	124	5.11.2 检测晶体·····	146

第6章 怎样识别和选用集成电路

6.1 集成运算放大器	148	6.4.4 计数器	165
6.1.1 认识集成运算放大器	148	6.4.5 译码器	165
6.1.2 常用集成运算放大器	150	6.4.6 移位寄存器	166
6.2 集成稳压器	153	6.4.7 模拟开关	166
6.2.1 认识集成稳压器	153	6.4.8 运算电路	167
6.2.2 常用集成稳压器	154	6.4.9 常用 CMOS 数字集成 电路	167
6.3 时基集成电路	156	6.5 音响集成电路	171
6.3.1 认识时基集成电路	157	6.5.1 音响集成电路的基本 知识	172
6.3.2 时基集成电路的典型 应用	159	6.5.2 功率放大集成电路	173
6.4 数字集成电路	161	6.5.3 前置放大集成电路	178
6.4.1 认识数字集成电路	161	6.5.4 高中频集成电路	184
6.4.2 门电路	162	6.5.5 解码与控制集成电路	190
6.4.3 触发器	163		

第7章 自我装备——自制电子仪表

7.1 自制万用表	195	7.3.1 电路分析	205
7.1.1 电路分析	195	7.3.2 制作方法	206
7.1.2 制作方法	197	7.3.3 调试与使用	209
7.1.3 电路调试	200	7.4 自制无线电综合检测仪	210
7.2 自制音频信号发生器	200	7.4.1 特点与功能	211
7.2.1 电路分析	201	7.4.2 电路分析	211
7.2.2 制作方法	202	7.4.3 制作方法	217
7.2.3 电路调试	205	7.4.4 电路调试	217
7.3 自制高频信号发生器	205		

第8章 实战制胜的法宝——技能与技巧

8.1 制作电路板	220	8.3 元器件安装	230
8.1.1 设计电路板的一般原则 ..	220	8.3.1 安装方式	230
8.1.2 设计中的注意事项	222	8.3.2 集成电路空闲引脚的 处置	231
8.1.3 制作步骤与方法	223	8.3.3 屏蔽线与屏蔽罩	233
8.2 焊接技能	225	8.4 元器件的代用	235
8.2.1 电烙铁与焊料的选用	225	8.4.1 电阻器的代用	235
8.2.2 电路板表面的处理	226	8.4.2 电容器的代用	236
8.2.3 元器件引脚与导线线头 的处理	227	8.4.3 晶体二极管的代用	238
8.2.4 焊点形状的控制	229	8.4.4 晶体三极管的代用	239

8.4.5	光电三极管的代用	240	8.5.2	自制电容器	246
8.4.6	晶体闸流管的代用	241	8.5.3	自制电感器	248
8.4.7	电源变压器的代用	241	8.5.4	自制光电耦合器	249
8.5	自制元器件	244	8.5.5	自制继电器	249
8.5.1	自制电阻器	245	8.5.6	自制电源变压器	251

参考文献

第 1 章

电子爱好者的门票—— 电子技术基础知识

电子技术就好比是一座拥有众多城堡、充满神秘故事的迪士尼乐园，吸引无数电子爱好者欲入其中。入门当然需要门票，迪士尼乐园的门票是用金钱购买的，而电子技术殿堂的门票则是用知识换取的。作为电子爱好者，你需要掌握最基本的基础知识，才能够跨进电子技术殿堂的门槛。

1.1 最基本的概念

电子技术最基本的基础知识有哪些呢？站在不同的角度可以有不同的回答。但是对于欲入门的初学者来说，可以认为电压、电流、电阻等是电子技术中最重要的基础概念。我们要学习和掌握电子技术，就需要对这些概念有一个基本的了解。

1.1.1 电压

什么是电压？电压就是指某点相对于参考点的电位差。某点电位高于参考点电位称为正电压，某点电位低于参考点电位称为负电压。电压的符号是“ U ”。电压的单位为伏特，简称伏，用字母“ V ”表示。

形象地说，电压就好比自来水管中的水压。如图 1-1 所示，水塔的水位高于水龙头的水位，它们之间的水位差即为水压。有了水压，自来水才能从水龙头里流出来。

对于一节电池来说，电压就是电池正、负极之间的电位差，如图 1-2 所示。一般以电池负极为参考点（电位为 $0V$ ），那么电池正极的电压为

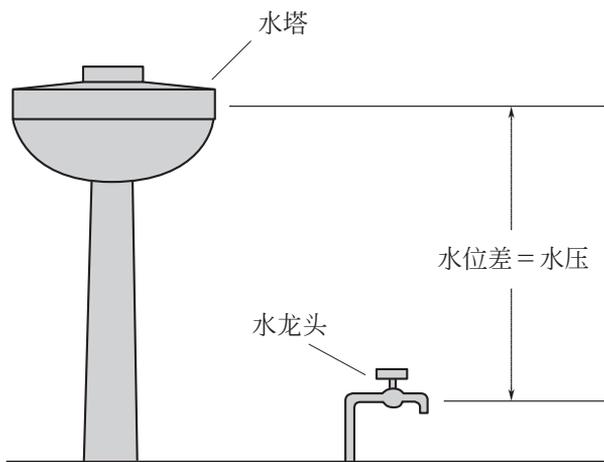


图 1-1 水压的概念

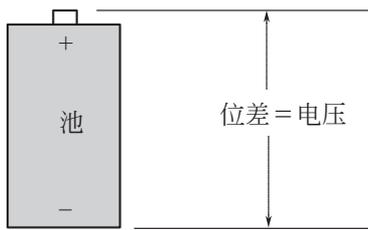


图 1-2 电压的概念

“1.5V”。如果以电池正极为参考点，则电池负极的电压为“-1.5V”。

可以说，电压是产生电流的原动力，有了电压，才会有电流在电路中的流动。在电路中，通常以公共接地点为参考点。如果说电路中某点的电压是6V，其含义就是说该点相对于公共接地点具有6V的电位差。至于我们的家庭用电220V电压，是指相线相对于零线具有220V的电位差，当然它是交流电压，这点我们以后再详细说。

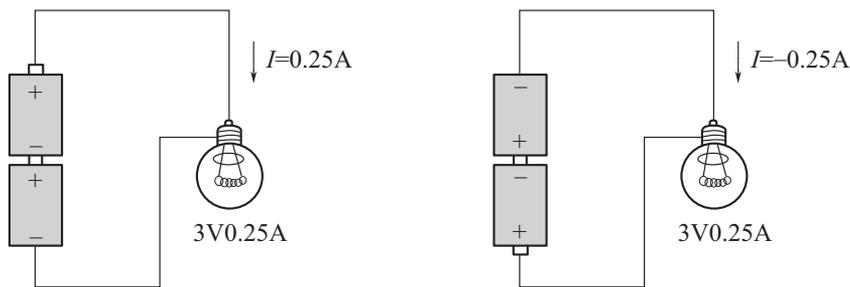
❖ 1.1.2 电流

什么是电流？电流就是指电荷有规则地移动。产生电流的先决条件是有电压的存在，并且电路要构成回路。没有电压，就好像没有落差的水，形成不了电流。同样重要的是，电路没有构成回路，就好像水渠不通，也形成不了电流。

在电路中，电流总是从电压高的地方流向电压低的地方，就像水从高处流向低处一样。电流的符号是“ I ”。电流的单位为安培，简称安，用字母“A”表示。

有时我们为了分析电路需要，可以预先设定一个电流的方向。这时，实际电流的方向与预设方向相同的称为正电流，实际电流的方向与预设方向相反的称为负电流。

我们以最简单的手电筒电路为例来说明电流方向的概念。如图1-3所示为手电筒电路，如果我们规定电流的方向为从上到下，那么图1-3(a)中电流 $I=0.25\text{A}$ 。如果我们将电池颠倒过来装入手电筒，如图1-3(b)所示，那么电流 $I=-0.25\text{A}$ 。



(a) 正电

(b)

图 1-3 电流的方向

❖ 1.1.3 电阻

什么是电阻？简单来说，电阻就是指电流在电路中所遇到的阻力，或者说是指物体对电流的阻碍能力。电阻越大，电流所受到的阻力就越大，因此电流就越小。反之，电阻越小，电流所受到的阻力就越小，因此电流就越大。电阻的符号是“ R ”。电阻的单位为欧姆，简称欧，用字母“ Ω ”表示。

任何物体都存在电阻，导体也不例外。大家可能有这样的体验，电饭煲在煮饭的时候，导线会有些许发热，究其原因就是因为制作导线的铜存在电阻，虽然电阻很小，但是在煮饭的大电流下仍会消耗部分电能，以热的形式散发出来，如图1-4所示。

那么电阻是不是一无是处呢？当然不是。正因为有电阻的存在，我们才能够控制电流的大小。为了让电流按照人们的意愿做功，人们发明了电阻器。

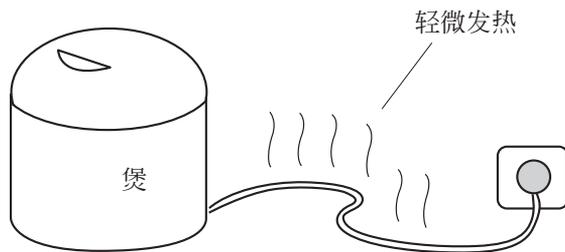


图 1-4 导线发热

❖ 1.1.4 欧姆定律

欧姆定律是一个很重要的基本定律。我们知道，电流在电压的驱动下、在电阻的限制下流动。电压、电流、电阻三者之间存在着必然的、内在的、互相制约的关系，欧姆定律就是反映电压、电流、电阻三者之间关系的数学公式。

欧姆定律：电路中电流的大小等于电压与电阻的比值，即 $I = \frac{U}{R}$ 。

实际上，我们只要知道了电压、电流、电阻三项中的任意两项，就可以通过欧姆定律来求出另外一项。即欧姆定律还可以写作以下两种形式： $U = IR$ ， $R = \frac{U}{I}$ 。

❖ 1.1.5 功率

电功率简称功率，是指电能单位时间所做的功，或者说是表示电能转换为其他形式能量的速率。功率的符号是“P”。功率的单位为瓦特，简称瓦，用字母“W”表示。功率在数值上等于电压与电流的乘积，即 $P = UI$ 。

例如，某盏电灯在点亮时的电流约为 0.455A，那么这盏电灯在点亮时的功率为 $P = 220V \times 0.455A = 100W$ ，如图 1-5 所示。

电路中的元器件在工作时会产生热量，这些热量是由电能转换而来的，它与元器件在工作时所消耗的功率，或者说所加的电压和所通过的电流有关。

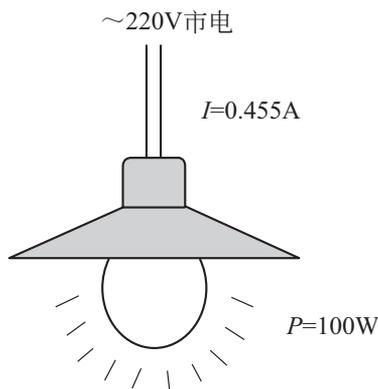


图 1-5 功率的概念

❖ 1.1.6 并联

什么是并联？并联是指两个或两个以上物体并行连接在一起，就好像高速公路的收费站，许多收费通道并排在一起，可以提高通过能力。电子技术中的并联主要有元器件的并联、电路的并联、电气设备的并联等。

在元器件的并联中，电阻并联后总阻值减小。两个电阻的并联如图 1-6 所示，两个电阻并联后，等效为一个电阻 R，电阻 R 的电阻值 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。当 $R_1 = R_2$ 时， $R = \frac{1}{2} R_1$ 。

电容并联后总容量增大。两个电容的并联如图 1-7 所示，电容 C_1 的电容量为 C_1 ，电容 C_2 的电容量为 C_2 ，两个电容并联后，等效为一个电容 C，电容 C 的电容量 $C = C_1 + C_2$ 。当 $C_1 = C_2$ 时， $C = 2C_1$ 。

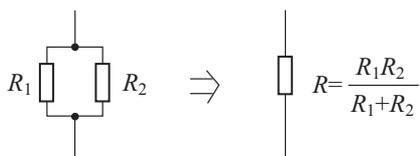


图 1-6 电阻的并联

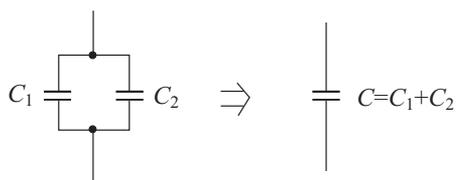


图 1-7 电容的并联

测量电压时一般采用并联方式。如图 1-8 所示，电压表 PV 并联在灯泡 EL 上，即可测量灯泡上的电压。

我们家里的所有电气设备都是并联用电的。例如，灯泡的并联如图 1-9 所示，两个灯泡 EL₁、EL₂ 并联连接在 220V 电源上，每个灯泡都得到 220V 电压。

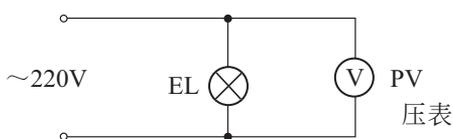


图 1-8 并联测量电压

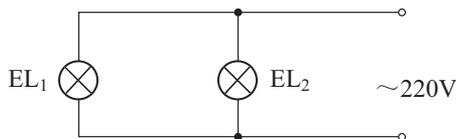


图 1-9 灯泡的并联

❖ 1.1.7 串联

什么是串联？串联是指两个或两个以上物体首尾相连串接在一起，就好像一列火车，各个车厢串联在一起。电子技术中的串联主要有元器件的串联、电路的串联、电气设备的串联等。

在元器件的串联中，电阻串联后总阻值增大。两个电阻的串联如图 1-10 所示，电阻 R₁ 的电阻值为 R₁，电阻 R₂ 的电阻值为 R₂，两个电阻串联后，等效为一个电阻 R，电阻 R 的电阻值 $R = R_1 + R_2$ 。当 $R_1 = R_2$ 时， $R = 2R_1$ 。

电容串联后总容量减小。两个电容的串联如图 1-11 所示，电容 C₁ 的电容量为 C₁，电容 C₂ 的电容量为 C₂，两个电容串联后，等效为一个电容 C，电容 C 的电容量 $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ 。当 $C_1 = C_2$ 时， $C = \frac{1}{2} C_1$ 。

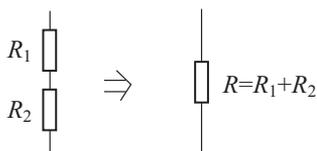


图 1-10 电阻的串联

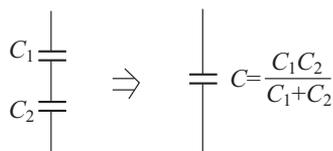


图 1-11 电容的串联

测量电流时一般采用串联方式。如图 1-12 所示，电流表 PA 串接在灯泡 EL 的电路中，即可测量灯泡的电流。

灯泡的串联如图 1-13 所示，两个功率相等的灯泡 EL₁、EL₂ 串联连接在 220V 电源上，每个灯泡得到一半电压，即 110V 电压。这可以是两个 110V 灯泡的一种应用方式，也可以是两个 220V 灯泡降低亮度延长寿命的应用方式。

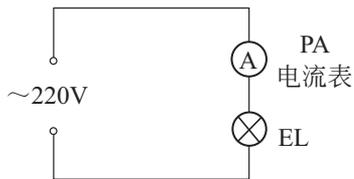


图 1-12 串联测量电流

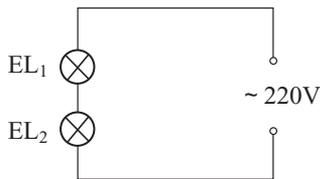


图 1-13 灯泡的串联

1.2 电路图的基础知识

1.2.1 什么是电路图

什么是电路图？用一句话来说，电路图就是关于电路的图纸。电路图由各种符号和线条按照一定的规则组合而成，反映了电路的结构与工作原理。

形象地说，电路图就好比地图，如图 1-14 所示。我们大家都很熟悉的地图，实际上是一种由抽象符号组成的各个地点之间的路线图。电路图则是由抽象符号组成的各个元器件之间的电子流动的路线图。

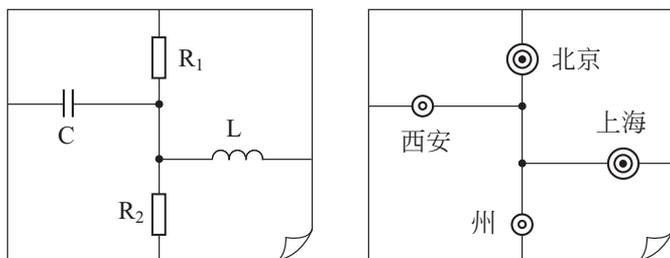


图 1-14 电路图好比地图

广义的电路图概念包括电路原理图、实物图、方框图、电路板图等。通常所说的电路图是指电路原理图。

1.2.2 电路原理图

电路原理图是一种由各种特定的抽象符号和字符组成的、反映电子设备中各元器件的电气连接情况的图纸。通过电路原理图，我们可以详细了解电子设备的电路结构、工作原理和接线方法，还可以进行定量的计算分析和研究。电路原理图是电子制作和维修的最重要的依据。

例如，如图 1-15 所示为调频无线话筒的电路原理图，它用抽象的符号反映出调频无线话筒的电路结构与工作原理。

1.2.3 实物图

实物图顾名思义是一种用实物图形表示电路中各个元器件连接情况的图纸。实物图由写实的元器件图形和连接线条等组成，具有很好的直观性，可以帮助初学者更好更快地理解电路图，也是初学者“照葫芦画瓢”组装简单小制作的好帮手。

如图 1-16 所示为调频无线话筒的实物图，它形象直观地反映出构成调频无线话筒的各

个元器件以及它们之间的连接关系。不论你是资深工程师还是初入门的爱好者，相信实物图都是能一看就懂的。

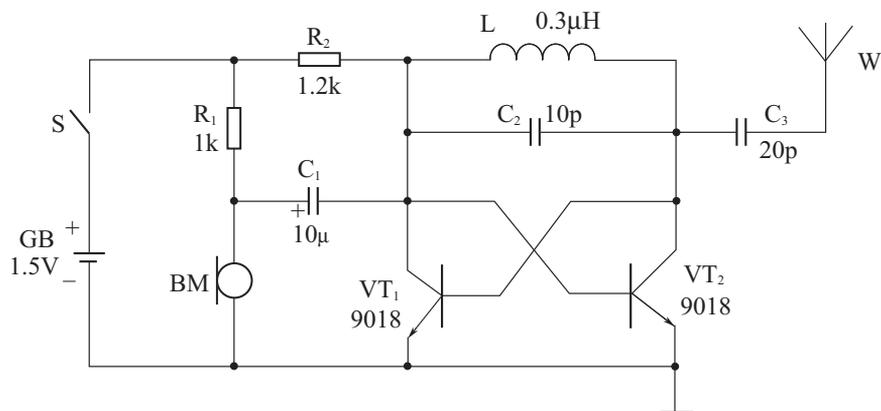


图 1-15 电路原理图

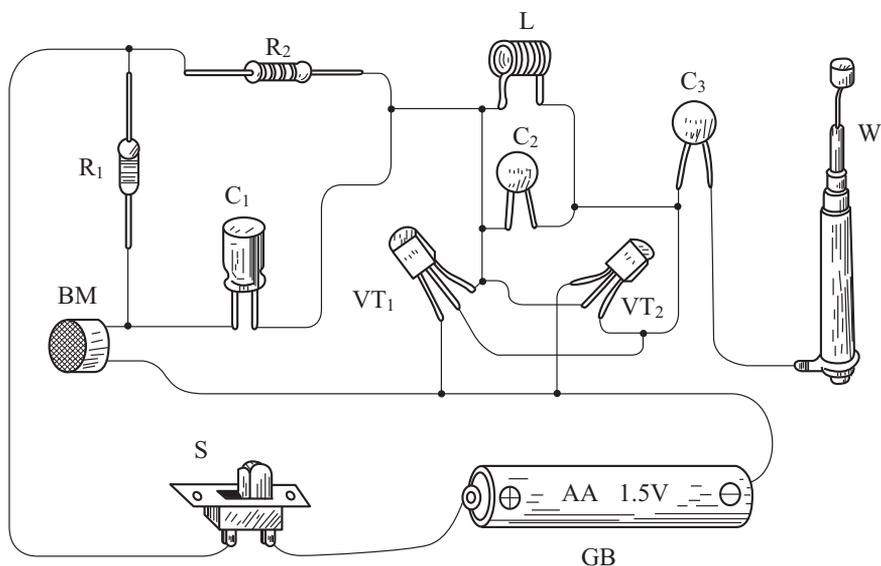


图 1-16 实物图

1.2.4 方框图

方框图由方框、线条和说明文字组成，是一种概括地反映电子设备的电路结构与功能的图纸，有助于我们从整体上了解和研究电路原理。

如图 1-17 所示为调频无线话筒的方框图，它简明地反映出调频无线话筒的电路组成和各部分功能。（本书分享多更索搜@雅书）

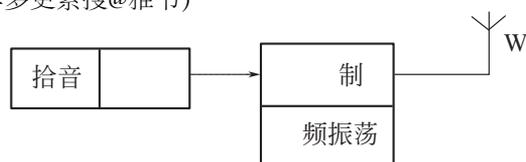


图 1-17 方框图

1.2.5 电路板图

电路板图由写实的电路板线路、相应位置上的元器件符号和注释字符等组成，是一种反映电路板上元器件安装位置和布线结构的图纸，为实际制作和维修提供了很大的方便。

如图 1-18 所示为调频无线话筒的电路板图，它是根据电路原理图设计绘制的实际安装图，标明了调频无线话筒各元器件在电路板上的安装位置。

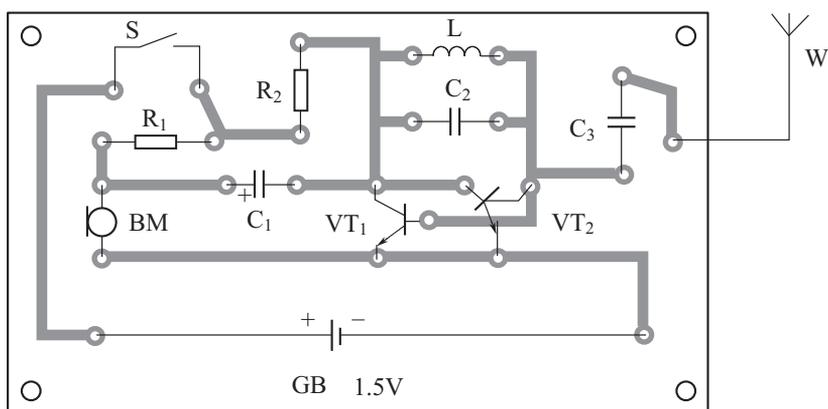


图 1-18 电路板图

1.3 元器件的基础知识

电子元器件是构成各种电子电路和电子设备的基本单元，也可以说是所有电子电路和电子设备的“细胞”，而电子元器件知识则是电子技术的基础。

1.3.1 什么是电子元器件

电子元器件是指具有某种独立功能的、在电子电路中使用的、最基本的零件，例如，电阻器、电容器、电感器、晶体管等。随着微电子技术的发展，某些具有特定功能的、相对独立的组件，也被纳入了电子元器件的范畴，如各种集成电路等。

我们平时经常说的“电子元器件”，是一个总体的概念。实际上“电子元器件”这个概念包括“电子元件”和“电子器件”。就好比我们平时所说的“动植物”这个概念，它包括了“动物”和“植物”两部分。

除此之外，从不同的视角来看，“电子元器件”还可以分为“线性元器件”与“非线性元器件”、“无源元器件”与“有源元器件”等。

1.3.2 元件与器件

电子元件，是指利用其自身固有功能作为电子电路的基本参数的零部件，一般是指电阻器、电容器、电感线圈、变压器等。电子元件基本上是具有线性特性的无源元件。

电子器件，是指在真空、气体或固体中，利用和控制电子的运动规律而制成的零部件，主要包括电真空器件（如电子管、显像管等）和固体电子器件（如晶体管、集成电路等）两大类。电子器件基本上都具有非线性特性，大多数是有源器件。

❖ 1.3.3 线性与非线性

线性元件，是指其自变量与应变量（通常为电压与电流）之间呈现线性关系的一类电子元件。例如，电阻器就是典型的线性元件。如图 1-19 所示为电阻器的伏安特性曲线，可见，其电压与电流的关系为一条直线（线性关系），改变电阻值的大小只会影响这条直线的斜率，而不会改变其直线性质（图 1-19 中 R_2 大于 R_1 ）。

非线性元器件，是指其自变量与应变量（通常为电压与电流）之间呈现非线性关系的一类电子元件。晶体二极管、晶体三极管等都是典型的非线性器件。如图 1-20 所示为晶体二极管的伏安特性曲线，可见，其电压与电流的关系为一条曲线（非线性关系）。

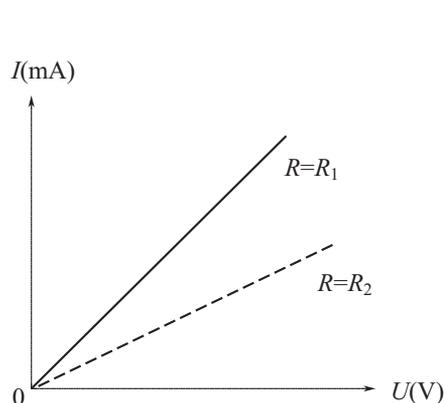


图 1-19 线性关系

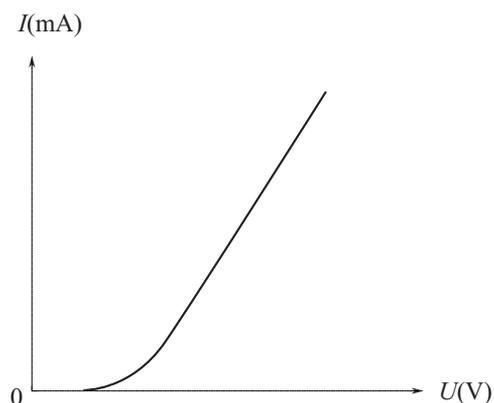


图 1-20 非线性关系

❖ 1.3.4 无源与有源

无源元器件，是指无需工作电源即可正常工作的一类元器件，例如，电阻器、电容器、电感器、变压器、扬声器等。无源元器件在电路中只需要输入信号，不需要外加电源就能正常工作。

有源元器件，是指必须有工作电源才能正常工作的一类元器件，例如，晶体管、电子管、集成电路、显像管等。有源元器件在电路中除了输入信号外，还需要外加电源才能够正常工作。

第2章

练就火眼金睛——看懂电路图

首次接触电路图时，大家也许都有这样的感觉：这简直就是一份天书，或是一份内藏玄机的藏宝图，我们怎样才能读懂它呢？唯一的办法就是像孙大圣一样，练就一对能够洞悉一切的火眼金睛。掌握电路图的画法规则、单元电路的看图方法和集成电路的看图方法，我们也就等于是拿到了藏宝图的密钥，看懂电路图就是顺理成章的事了。

2.1 电路图的画法规则

电子电路和电子设备多种多样，需要实现的功能和达到的目的不同，其电路图的简繁程度也不同。简单的电路图只有一个单元电路、几个元器件，复杂的电路图往往包含许多单元电路、成千上万个元器件。怎样才能看懂这些千差万别的电路图呢？了解电路图的画法规则、掌握一定的看图技巧是必不可少的。

为了准确清晰地表达电子设备的电路结构，正确方便地读懂电路图的全部内容，电路图中除了必须使用统一规定的图形符号和文字符号外，还应该遵循一定的画法规则。这些规则主要包括以下内容。

电路图中信号处理流程的方向一般为从左到右，反馈信号的流程方向一般与主电路通道的流程方向相反。

元器件图形符号在电路图中的方位可以根据绘图需要放置。有些元器件包括若干组成部分，在电路图中可以根据需要采用集中画法或分散画法。

开关、继电器等具有可动部分的操作性器件，在电路图中的图形符号所表示的均为不动作时的状态。

所有接地符号都是连接在一起的。

✦ 2.1.1 信号处理流程的方向

什么是信号处理流程方向？信号处理流程方向是指电路图中所处理的信号（包括信息信号和控制信号），从最初的输入端到最终的输出端的走向。虽然各种电路图的结构功能和复杂程度千差万别，有的电路图只有简单的一条信号通道，有的电路图具有多条互相牵涉的信

号通道，但是仍存在一些基本的规则。

(1) 一般电路的信号处理流程方向

电路图中信号处理流程方向一般为从左到右，就是将先后对信号进行处理的各个单元电路，按照从左到右的方向排列，这是最常见的排列形式。也有些电路图的信号处理流程按照从上到下的方向排列。

例如，如图 2-1 所示超外差收音机电路方框图，其信号处理流程方向就是典型的从左到右排列。无线电信号从左边天线 W 处输入，依次经变频、中放、检波、低放、功放，最后从右边扬声器 BL 处输出声音。

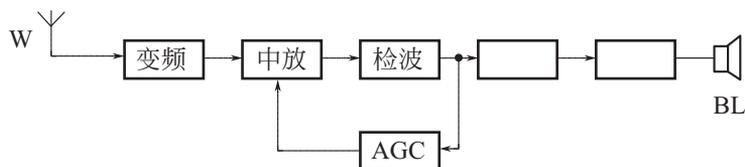


图 2-1 超外差收音机方框图

(2) 反馈电路的信号处理流程方向

有些电路图中具有反馈电路，反馈信号的流程方向一般与主电路通道的流程方向相反。如果主电路的信号处理流程方向为从左到右，则反馈信号的方向为从右到左；如果主电路的信号处理流程方向为从上到下，则反馈信号的方向为从下到上。

如图 2-1 所示超外差收音机电路方框图中，自动增益控制电路（AGC）是一反馈电路，反馈信号流程方向为从右到左，与主电路从左到右的信号处理流程方向相反。

(3) 复杂电路的信号处理流程方向

有些较复杂的电路图，由于某种原因，在总体符合以上规则的情况下，部分信号处理的流程作了逆向的安排，这也是常见的，但通常会用箭头符号指示出流程方向。

例如，如图 2-2 所示电子钟电路方框图，为了符合人们看图时的“时”、“分”、“秒”的视觉习惯，就采用了从右到左、从下到上的非常规的信号流程方向。

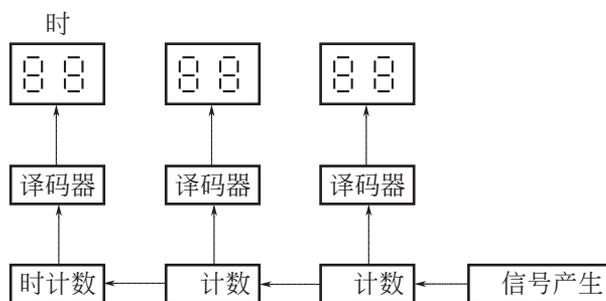


图 2-2 电子钟方框图

2.1.2 图形符号的位置与状态

我们知道，电路图中包含有各种图形符号，可以说图形符号是构成电路图的主体。那么这些图形符号的位置与状态允许有变化吗？在回答这个问题时首先要告诉大家的是这些图形符号是自由的，就是说在电路图中这些图形符号可以任意旋转或翻转。下面我们就详细谈谈图形符号的位置与状态。（书fen享更多搜suo雅 书）

(1) 图形符号的方位

元器件图形符号在电路图中的方位可以根据绘图需要放置，既可以横放，也可以竖放；既可以朝上，也可以朝下；还可以旋转或镜像翻转。例如，NPN 晶体管符号在电路图中就可以有多种方位的画法，如图 2-3 所示。

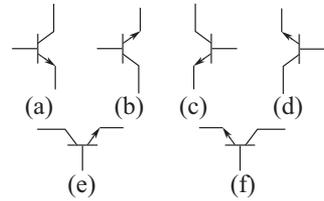


图 2-3 晶体管符号的多种方位

(2) 集中画法与分散画法

有些元器件包括若干组成部分，在电路图中可以根据需要采用集中画法或分散画法。包括以下两种情况。

一是某些元器件具有多个同时动作的部件，如波段开关、多组触点的继电器等。以多组联动的波段开关为例，既可以把各组开关集中画在一起，并用虚线相连表示联动，如图 2-4(a) 所示；也可以把各组开关分别画在它们控制的电路附近，而用文字符号“ S_{1-1} ”、“ S_{1-2} ”、“ S_{1-3} ”表示它们是同属 S_1 的多组联动开关，如图 2-4(b) 所示。

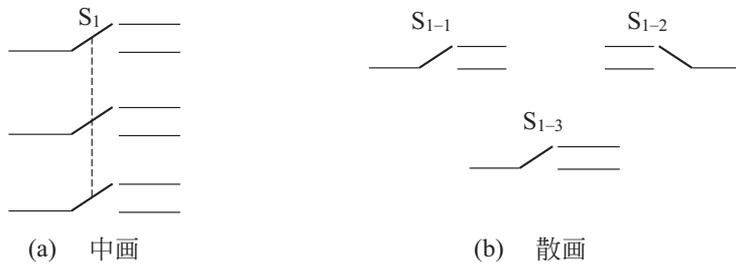


图 2-4 波段开关的两种画法

二是某些元器件包含若干个独立单元，这种情况以集成电路为多，如双功放、四运放、六反相等。以双功放集成电路为例，如图 2-5(a) 所示为集中画法，图 2-5(b) 所示为分散画法。

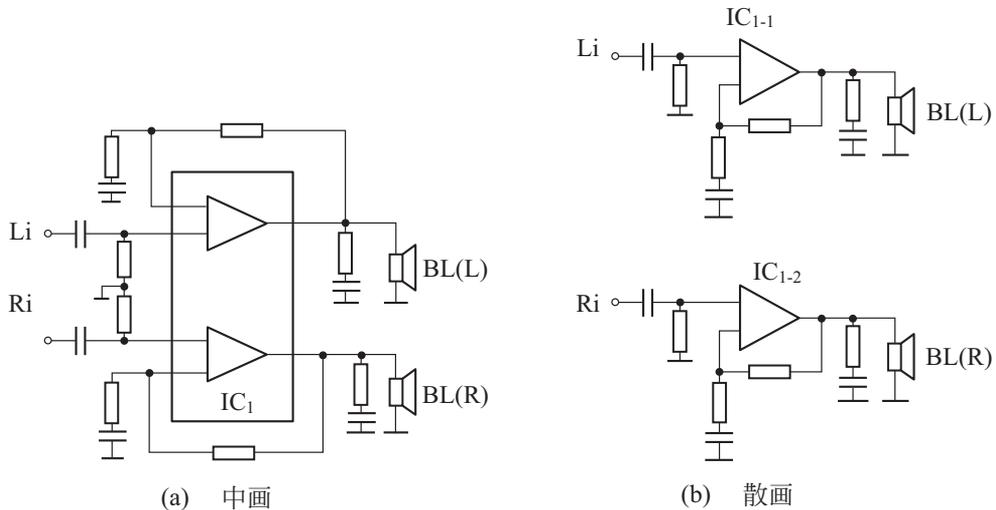


图 2-5 功放集成电路的两种画法

一般来讲，较简单的电路图多采用集中画法，较复杂的电路图通常采用分散画法。

(3) 操作性器件的状态

开关、继电器等具有可动部分的操作性器件，在电路图中的图形符号所表示的均为不动作时的状态。即开关处于断开状态，如图 2-6 所示；继电器处于未吸合的静止状态，其常开触点处于断开位置，其常闭触点处于闭合位置，如图 2-7 所示。



图 2-6 开关的状态

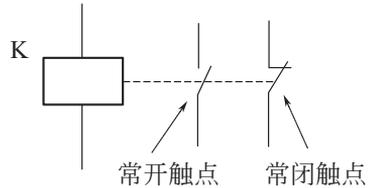


图 2-7 继电器的状态

2.1.3 连接线的表示方法

电路图中除了元器件图形符号外，还有大量连接线。这些连接线中，主要的和最多的是连接导线，用实线表示。另外，还有一些非电的连接，用虚线表示。

(1) 导线的连接与交叉

元器件之间的连接导线在电路图中用实线表示。导线的连接与交叉的画法如图 2-8 所示，如图 2-8(a) 所示横竖两导线交点处画有一圆点，表示两导线连接在一起；如图 2-8(b) 所示两导线交点处无圆点，表示两导线交叉而不连接。

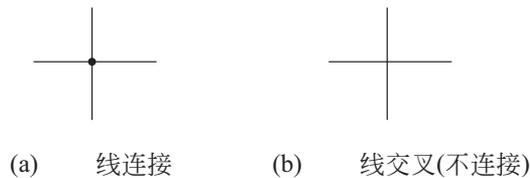


图 2-8 导线的连接与交叉

连接导线也可以用简化的画法。如图 2-9 所示电路中 IC₁ 与 IC₂ 之间的连线上画有 3 道小斜杠，表示这里有 3 条导线分别将 IC₁ 与 IC₂ 的 A 与 A、B 与 B、C 与 C 连接在一起，而这 3 条导线之间并不连接。



图 2-9 连接导线的简化画法

当连接导线的两端相距较远、中间相隔较多的图形区域时，可以采用中断加标记的画法。例如，如图 2-10 所示电路中，IC₁ 的 B 端与 IC₂ 的 G 端之间的连接导线采用了中断画法，并在中断的两端标注有相同的标记“a”，分析电路图时应理解为两个“a”端之间有一条连接导线。

(2) 非电连接的表示方法

某些元器件之间具有非电的（如机械的）联系，则用虚线在电路图上表示出来。如

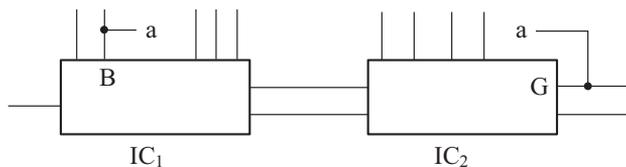


图 2-10 连接导线的中断画法

图 2-11 所示收音机电路图中，虚线将电位器 RP 与开关 S 联系起来，表示电源开关 S 受音量电位器 RP 的旋轴控制，它们是一个联动的带开关电位器。

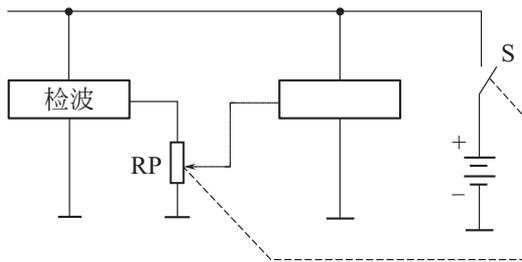


图 2-11 开关与电位器的非电连接

2.1.4 电源线与地线的表示方法

电源线与地线是电子电路的重要组成部分，它们承担着为电路提供工作电源的重任。那么在电路图中，电源线与地线的表示方法有哪些画法规则呢？

(1) 电源线与地线的安排

电路图中，通常将电源线或双电源中的正电源引线安排在元器件的上方，将地线或双电源中的负电源引线安排在元器件的下方，如图 2-12 所示。

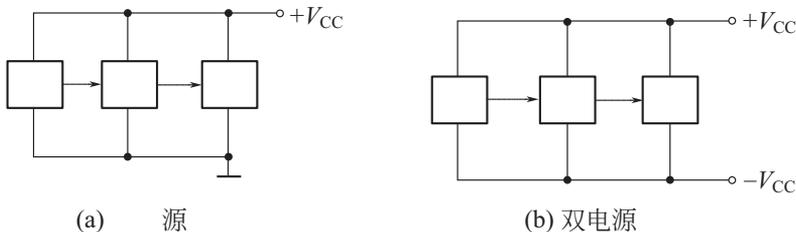


图 2-12 电源线的安排

一般情况下接地符号是向下引出的，但有时出于绘图布局上的需要，接地符号也可以向上、向左或向右引出，如图 2-13 所示。

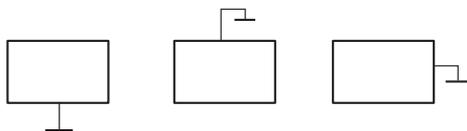


图 2-13 地线的安排

(2) 电源线与地线的分散表示法

较复杂的电路图中往往不将所有地线连在一起，而代之以一个个孤立的接地符号，如

图 2-14(a) 所示，看图时我们应理解为所有地线符号是连接在一起的，如图 2-14(b) 所示。

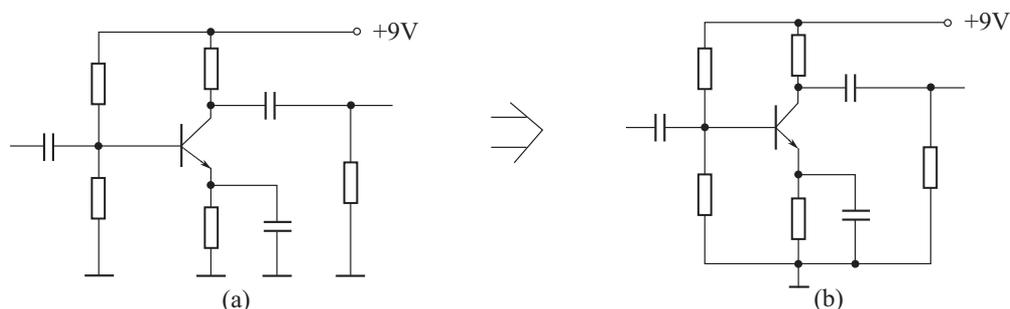


图 2-14 地线的分散画法

有些电路图中的电源线也采用这种分散表示的画法，应理解为所有标示相同（如都是 +9V）的电源线都是连接在一起的。

(3) 集成电路的电源线与地线

通常电路图中不画出集成运放以及数字集成电路的电源引线 and 地线，因为这不影响分析电路功能，但在分析电源电路和实际制作时，不能忘记其电源引线 with 地线，如图 2-15 所示。

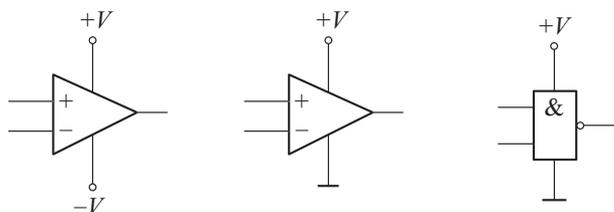


图 2-15 集成电路的电源线与地线

2.1.5 集成电路的习惯画法

集成电路内部电路一般都很复杂，包含若干个单元电路和许多元器件，但在电路图中通常只将集成电路作为一个元器件来看待，因此，几乎所有电路图中都不画出集成电路的内部电路，而是用一个矩形或三角形的图框表示。

(1) 集成运算放大器和电压比较器

集成运算放大器、电压比较器等习惯上用三角形图框表示，如图 2-16 所示。其左侧直边有正、负两个输入端，其右侧三角形顶点处为输出端，三角形图框的顶点方向即为信号处理流程的方向。

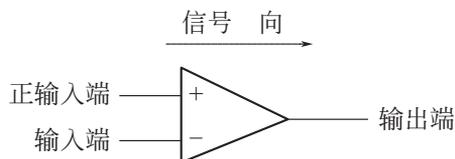


图 2-16 集成运放和电压比较器符号

(2) 集成稳压器和时基电路

集成稳压器、时基电路等习惯上用矩形图框表示，如图 2-17 所示。各引脚均标注有编号，引脚功能需查阅相关资料。

引脚编号可以标注在矩形图框外，如图 2-17(a) 所示；也可以标注在矩形图框内，如图 2-17(b) 所示；还可以标注在矩形图框上，如图 2-17(c) 所示。矩形图框上的各个引脚可以按顺序排列，如图 2-17(c) 所示；也可以根据绘图需要不按顺序排列，如图 2-17(b) 所示。其他各类集成电路，绝大多数也都采用这种矩形图框表示法。

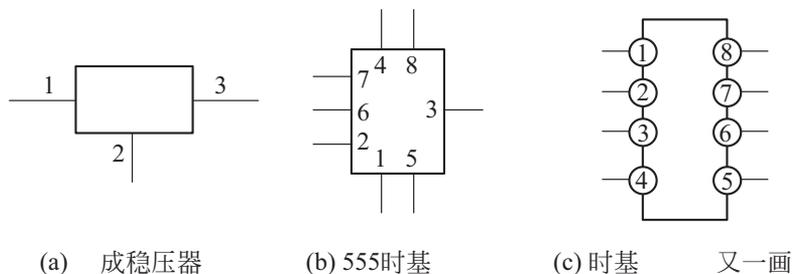


图 2-17 集成稳压器和时基电路符号

(3) 集成电压放大器和集成功率放大器

集成电压放大器、集成功率放大器等既有用三角形图框表示的，也有用矩形图框表示的。如图 2-18 所示为集成功率放大器的两种画法，图 2-18(a) 中集成功放 IC₁ 采用三角形图框，图 2-18(b) 中集成功放 IC₁ 采用矩形图框，两者形式不同，实质一样。从看图的角度来说，放大器采用三角形图框表示，信号处理流程的方向更加直观明了。

2.2 单元电路的看图方法

在讲单元电路看图方法之前，我们先来了解什么是单元电路？简单地说，单元电路是指具有某项功能、相对独立的电路部分，例如，放大电路、振荡电路、滤波电路等。如果把元器件比作细胞，那么单元电路就是器官，电路图的整体功能是通过各个不同功能的单元电路有机组合而实现的。

2.2.1 单元电路的作用与功能

分析单元电路首先应了解该单元电路的作用与功能，这从整机电路方框图中很容易搞清楚。单元电路种类众多，可分为放大电路、振荡电路、滤波电路、调制与解调电路和电源电路等类型，它们各自具有独特的作用与功能。

(1) 放大电路

放大电路的作用是对输入信号进行放大，常见的放大电路有电压放大器、电流放大器、功率放大器等。电压跟随器是电压放大倍数等于 1 的放大电路，其作用是阻抗变换和缓冲。

(2) 振荡电路

振荡电路的作用是产生信号电压，包括正弦波振荡器和其他波形振荡器。

(3) 有源滤波电路

有源滤波电路的作用是限制通过信号的频率，包括低通有源滤波器、高通有源滤波器、

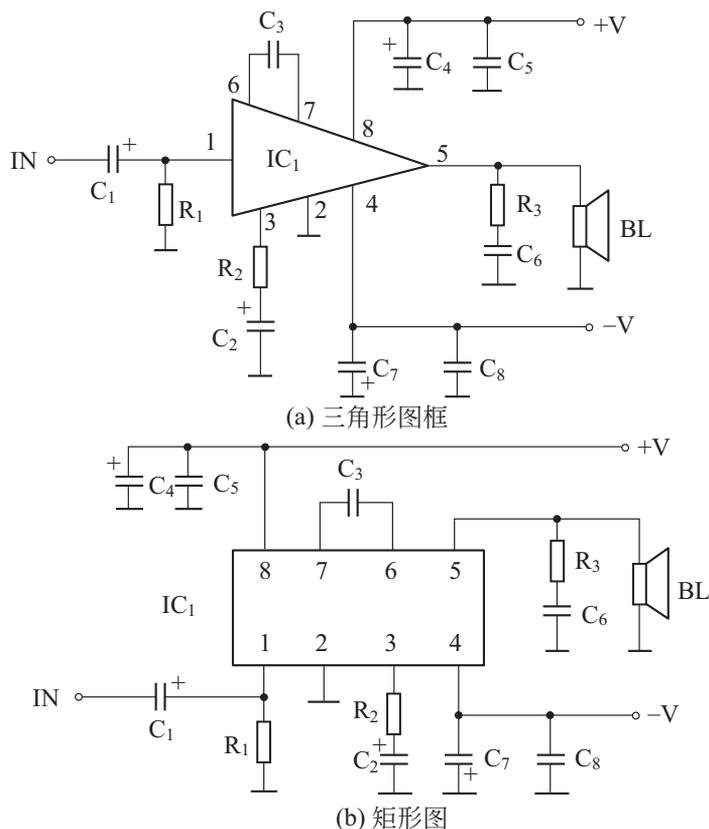


图 2-18 集成功放符号

带通有源滤波器和带阻有源滤波器。

(4) 调制与解调电路

调制电路的作用是将信号电压调制到载频上，调制方法包括调幅、调频和调相。解调电路的作用是从已调载频中解调出信号电压，检波电路和鉴频电路都属于解调电路。

(5) 电源电路

电源电路的作用是为其他电路提供工作电源或实现电源转换。常见的电源电路有整流电路、滤波电路、稳压电路、恒流电路和电源变换电路等，它们具有不同的作用与功能。如整流滤波电路的作用是将交流电变换为直流电，稳压电路的作用是提供稳定的工作电压，恒流电路的作用是提供恒定的电流，逆变电路的作用是将直流电变换为交流电，直流变换电路的作用是将一种直流电变换为另一种直流电等。

2.2.2 输入信号与输出信号之间的关系

除了振荡器等信号产生电路外，一般单元电路都有信号输入端和信号输出端，单元电路按照其既定的作用与功能，对输入信号进行处理、加工或变换，然后输出。

特定的单元电路，其输出信号与输入信号之间存在特定的函数关系。弄清楚输入信号与输出信号的关系，对于分析单元电路十分重要，特别是许多由专门集成电路构成的单元电路，更是只能从输入信号与输出信号的关系上来加以分析。

几类主要的单元电路的输入信号与输出信号之间具有以下特定关系。

(1) 放大电路的输入输出关系

放大电路的输出信号幅度是输入信号幅度的若干倍，其他特征不变。其中，同相放

大器输出信号与输入信号相位相同，反相放大器输出信号与输入信号相位相反，如图 2-19 所示。电压跟随器可理解为放大倍数 $A=1$ 的放大器。衰减器可理解为放大倍数为负数的放大器。

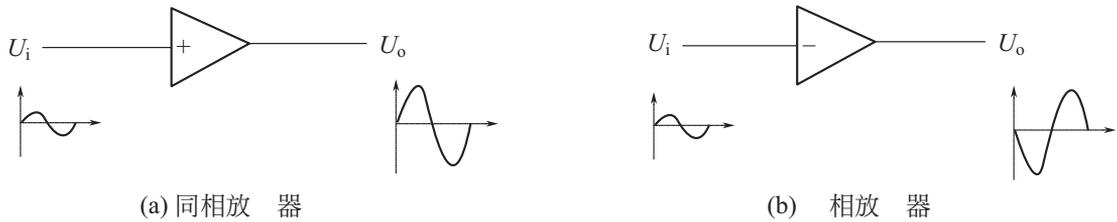


图 2-19 放大电路的输入输出关系

(2) 滤波电路的输入输出关系

滤波电路的输入信号中只有符合要求的特定频率部分能够到达输出端，不符合的部分则被滤除。例如，高通滤波器只允许频率高于转折频率 f_o 的信号通过，低通滤波器只允许频率低于转折频率 f_o 的信号通过，带通滤波器只允许频率处于高低转折频率 f_2 与 f_1 之间的信号通过，带阻滤波器只允许频率低于低端转折频率 f_1 或高于高端转折频率 f_2 的信号通过，如图 2-20 所示。

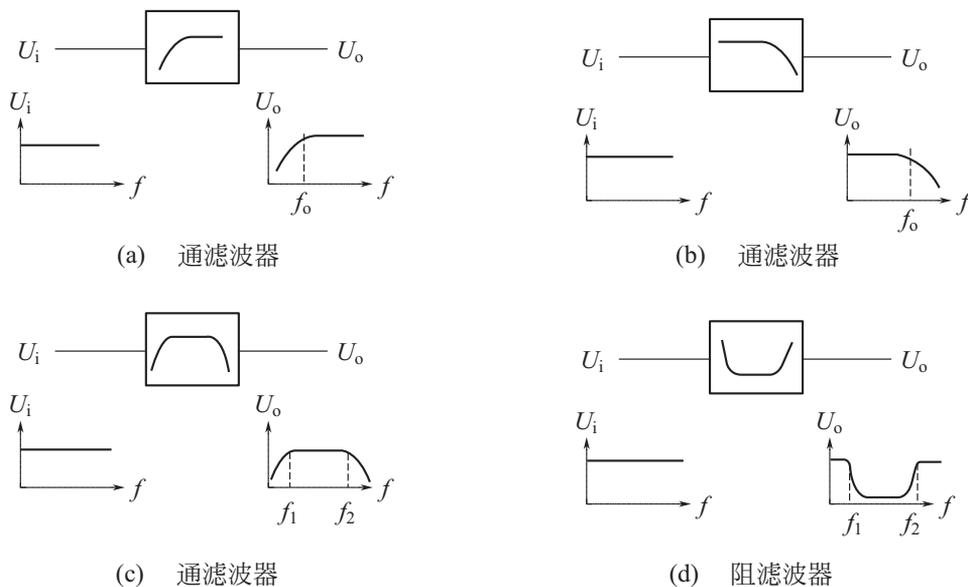


图 2-20 滤波电路的输入输出关系

(3) 调制与解调电路的输入输出关系

调制电路一般具有两个输入端和一个输出端，两个输入信号分别是调制信号和载频信号，输出信号是含有输入调制信号信息的载频信号。调制方式主要有调幅、调频、调相等，如图 2-21(a) 所示为调幅电路示意图，图 2-21(b) 所示为调频电路示意图。

解调电路则正好相反，输入的是含有调制信号信息的载频信号，输出的是调制信号，载频已被滤除。

(4) 信号发生电路

信号发生电路一般没有输入端，而只有输出端，向外提供特定的输出信号。有些信号发

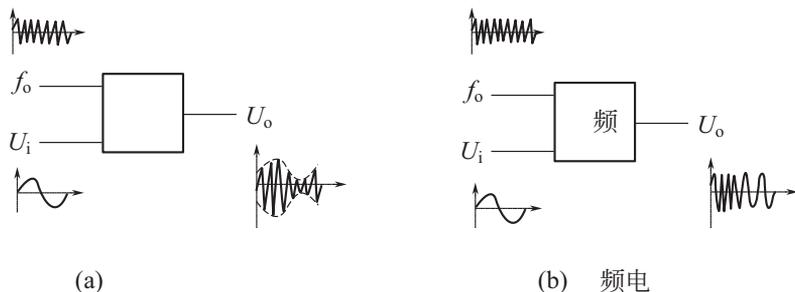


图 2-21 调制电路的输入输出关系

生电路具有控制端，用以对振荡信号进行参数调节或振荡控制。

2.2.3 常见单元电路的结构特点

很多常见的单元电路，例如，放大电路、振荡电路、电压跟随器、电压比较器、有源滤波器等，往往具有特定的电路结构。掌握常见的单元电路的结构特点，对于看图识图会有很大的帮助。

(1) 放大电路的结构特点

放大电路的结构特点是具有一个输入端和一个输出端，在输入端与输出端之间是晶体管或集成运放等放大器件，如图 2-22 所示。有些放大器具有负反馈。如果输出信号是由晶体管发射极引出，则是射极跟随器电路。

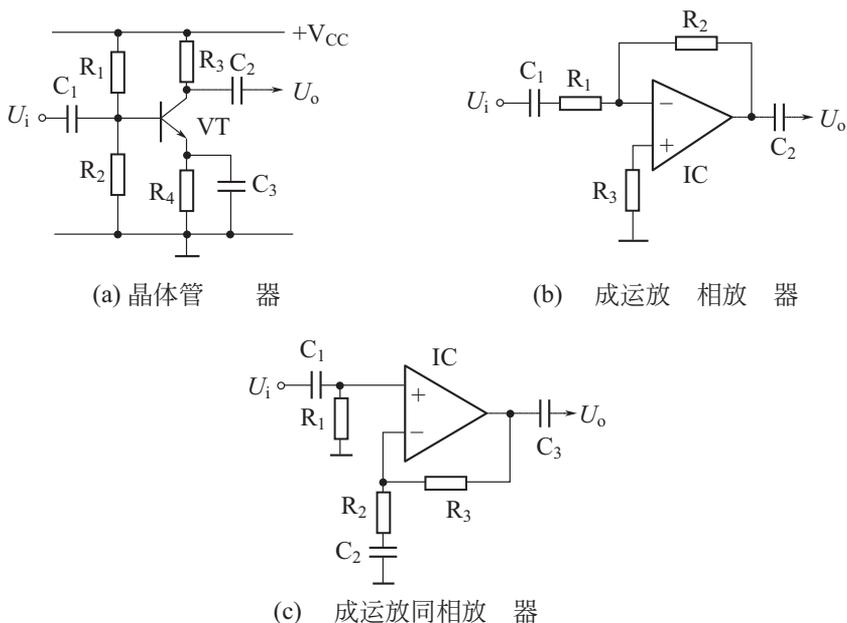


图 2-22 放大电路的结构

(2) 振荡电路的结构特点

振荡电路的结构特点是没有对外的电路输入端，晶体管或集成运放的输出端与输入端之间接有一个具有选频功能的正反馈网络，将输出信号的一部分正反馈到输入端以形成振荡。

如图 2-23(a) 所示为晶体管振荡器，晶体管 VT 的集电极输出信号，由变压器 T 倒相后正反馈到其基极，T 的初级线圈 L_1 与 C_2 组成选频回路，决定电路的振荡频率。

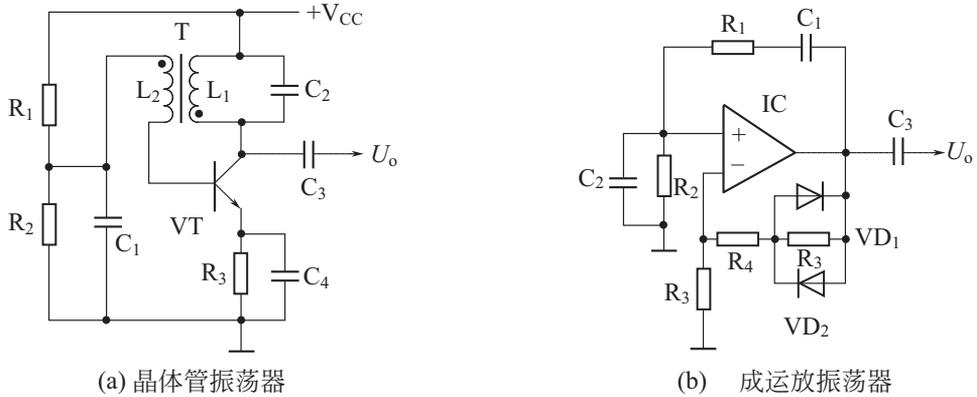


图 2-23 振荡电路的结构

如图 2-23(b) 所示为集成运放振荡器，在集成运放 IC 的输出端与同相输入端之间，接有 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 组成的桥式选频反馈回路，IC 输出信号的一部分经桥式选频回路反馈到其输入端，振荡频率由组成选频回路的 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 的值决定。

(3) 差动放大器的结构特点

差动放大器的结构特点是具有两个输入端（正输入端和负输入端）和一个输出端，如图 2-24 所示。集成运放 IC 的输出端与反相输入端之间接有一反馈电阻 R_3 ，使 IC 工作于线性放大状态，输出信号是两个输入信号差值的 A 倍 ($A = \frac{R_3}{R_1}$)。

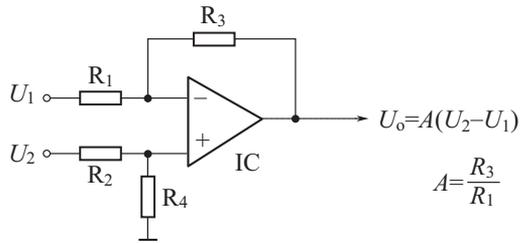


图 2-24 差动放大器的结构

(4) 滤波电路的结构特点

滤波电路的结构特点是含有电容器或电感器等具有频率函数的元件，有源滤波器还含有晶体管或集成运放等有源器件，在有源器件的输出端与输入端之间接有反馈元件。由于电感器比较笨重，有源滤波器通常采用电容器作为滤波元件，如图 2-25 所示。

高通滤波器电路中电容器接在信号通路，如图 2-25(a) 所示，低通滤波器电路中电容器接在旁路或负反馈回路，如图 2-25(b) 所示，带通滤波器在信号通路和负反馈回路中都有电容器，如图 2-25(c) 所示。

2.2.4 等效电路法分析

放大电路、振荡电路、有源滤波器等单元电路，都包括交流回路和直流回路，并且互相交织在一起，有些元器件只在一个回路中起作用，有些元器件在两个回路中都起作用。为了方便更清晰地分析单元电路，可以分别画出交流等效电路和直流等效电路。

(1) 交流等效电路

交流回路是单元电路处理交流信号的通路。对于交流信号而言，电路中的耦合电容和旁路电容都视为短路；电源对交流的阻抗很小，且电源两端并接有大容量的滤波电容，也视为短路，这样便可绘出其交流等效电路。例如，如图 2-26(a) 所示晶体管放大器电路，按照上述方法绘出的交流等效电路如图 2-26(b) 所示。

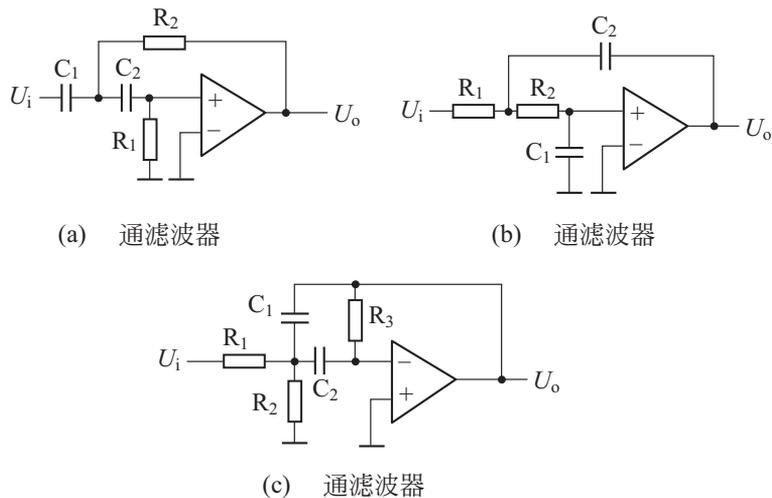


图 2-25 有源滤波电路的结构

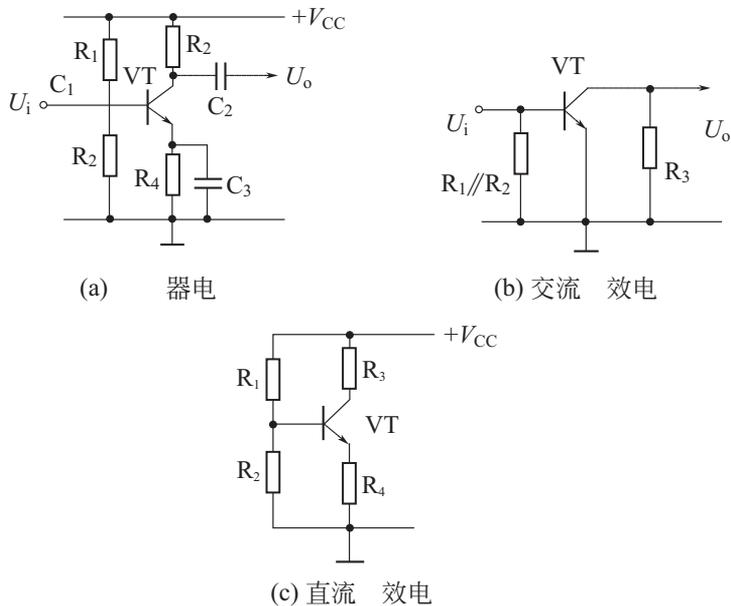


图 2-26 等效电路

(2) 直流等效电路

直流回路为单元电路提供正常工作所必须的电源条件。对于直流而言，电路图中所有电容均视为开路，很容易即可绘出其直流等效电路。如图 2-26(a) 所示晶体管放大器电路的直流等效电路，如图 2-26(c) 所示直流回路为晶体管 VT 提供直流工作电源和合适的静态工作点。

2.3 集成电路的看图方法

随着微电子技术的不断发展，各种无线电和电子设备越来越多地使用集成电路，集成电路符号也就越来越多地出现在各种电路图中。由于电路图中一般不画出集成电路的内部电

路，使得应用集成电路构成的电路图不像分立元件电路图那样直观易读。

因此，看懂含有集成电路的电路图需要掌握一些特殊的看图方法，主要包括了解集成电路的基本功能、正确识别集成电路的引脚、分析集成电路输出信号与输入信号之间的关系、分析各个集成电路之间以及集成电路与其他分立元件电路之间的接口关系等。

2.3.1 了解集成电路的基本功能

集成电路往往都是电路图中各单元电路的核心，在单元电路中起着主要的作用。从图面上看，某些单元电路就是由一块或几块集成电路再配以必需的外围元器件构成的。要看懂这样的电路图，关键是了解和掌握处于核心地位的集成电路的基本功能，以此为突破口分析整个电路的工作原理。

集成电路的品种繁多，功能各异，特别是对于缺少资料和经验的电子爱好者来说，掌握电路图中集成电路的功能并非易事。但是也不必过于畏难，我们可以通过了解电路作用、查找资料、分析接口情况等方法，来搞清楚集成电路的基本功能。下面给大家介绍一些实用的基本方法。

(1) 根据单元电路作用判断集成电路功能

一般而言，集成电路是单元电路的核心，单元电路的作用主要是依靠该集成电路来实现和完成的。所以，根据单元电路所承担的任务和所起的作用，即可大致判断出在单元电路中起核心作用的集成电路的基本功能。

例如，如图 2-27 所示为以集成电路 IC₁ 为核心构成的一个单元电路，如图 2-28 所示扩音机电路原理方框图可知，该单元电路的作用和任务是对音频信号进行功率放大，因此，作为核心器件的集成电路 IC₁ 的基本功能是功率放大，IC₁ 应该是一个集成功率放大器。

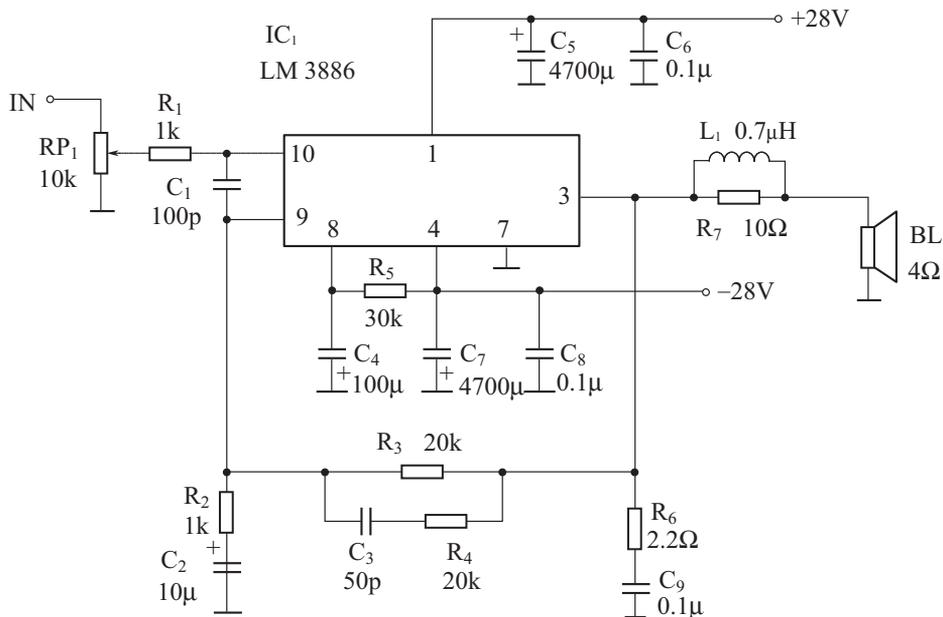


图 2-27 集成功放电路

(2) 通过查找资料了解集成电路功能

通常在较完整的电路图中，均会标注有各个集成电路的型号。我们可以根据电路图提供的型号，通过查阅集成电路手册等技术资料，搞清楚这些集成电路的基本功能以及其他相关

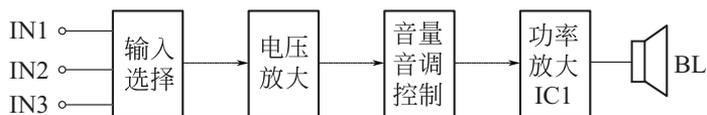


图 2-28 扩音机方框图

数据，这对于看懂集成电路电路图将会有极大的帮助。

如图 2-27 所示功率放大电路中，集成电路 IC₁ 的型号为 LM3886，通过查阅手册可以很清楚地了解到：LM3886 是高性能集成功率放大器，频率响应范围为 5Hz~100kHz，输出功率 50W，总谐波失真 0.03%，具有过压、过载、超温保护功能和静噪功能，以 LM3886 为核心构成的音频功放电路具有很好的技术性能。

(3) 依据前后接口情况分析集成电路功能

由于新型集成电路层出不穷，而阅图者所能接触到的技术资料有限，会给查找集成电路资料造成困难。在无法通过查阅资料了解集成电路的情况下，我们还可以通过分析集成电路与其前级电路的接口关系，以及与其后续电路的接口关系，来确定该集成电路的基本功能。

仍以图 2-27 所示功率放大单元电路为例。集成电路 IC₁ 的前级电路是音量控制电路，输入电压信号经音量电位器 RP₁ 后到达 IC₁。集成电路 IC₁ 的后面连接的是扬声器 BL。通过分析可知，音量电位器 RP₁ 输出的电压信号不足以推动扬声器 BL 发声，在它们之间必须有一个功率放大器。所以，处于音量电位器 RP₁ 与扬声器 BL 之间的集成电路 IC₁ 的基本功能应该是功率放大。

❖ 2.3.2 识别集成电路的引脚

一个集成电路内部通常集成了一个甚至多个单元电路，通过若干引脚与外界电路相连接。在电路图中，集成电路仅以一个矩形或三角形图框表示，往往缺乏内部细节，在这种情况下，看懂电路图的关键是正确识别集成电路的各个引脚。

(1) 集成电路引脚的作用

集成电路引脚的主要作用是建立集成电路内部电路与外围电路的连接点，只有按要求在引脚上连接上外接的元器件或电路，集成电路才能正常工作。集成电路引脚的作用主要有以下几个方面。

一是引脚上外接的元器件是集成电路内部电路的有机组成部分，只有在外接元器件的配合下，集成电路才能构成一个完整的电路。

二是通过引脚为集成电路提供工作电源，包括正电源、负电源、接地端。

三是通过引脚为集成电路提供输入信号，并引出集成电路处理后的输出信号。

各种集成电路由于功能不同，决定了它们的引脚也不尽相同。但是电源引脚、接地引脚、信号输入和输出引脚则是大多数集成电路所必需的。所以，识别和掌握集成电路各引脚的作用和功能，是看懂和分析含有集成电路的电路图的有效方法。

(2) 电源引脚

电源引脚的作用是为集成电路引入直流工作电压。集成电路有单电源供电和双电源供电两种类型。

单电源供电一般是采用单一的正直流电压作为工作电压，集成电路具有一个电源引脚，电路图中有时在电源引脚旁标注有“V_{CC}”字符，如图 2-29(a) 所示。

双电源供电一般是采用对称的正、负直流电压作为工作电压，集成电路具有两个电源引脚，电路图中有时分别在正、负电源引脚旁标注有“+V_{CC}”和“-V_{SS}”字符，如图 2-29

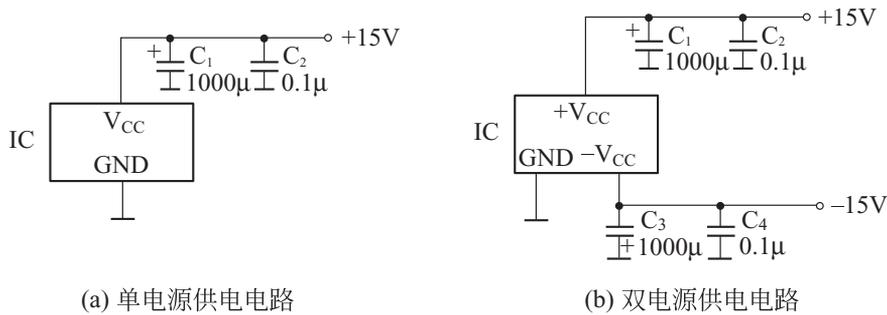


图 2-29 电源引脚

(b) 所示。

电源引脚的外电路具有以下明显的特征：①电源引脚直接与相应的电源电路的输出端相连接。②电源引脚与地之间一般都接有大容量的电源滤波电容（如图 2-29 中的 C_1 、 C_3 ），有的电路还在大容量滤波电容旁并接一个小容量的高频滤波电容（如图 2-29 中的 C_2 、 C_4 ）。

集成电路也可能具有更多的电源引脚，主要是以下两种情况。

一是有些集成电路内部的前、后级单元电路分别有自己独立的电源引脚，以便分别供电或接入电源退耦电路，如图 2-30 所示。

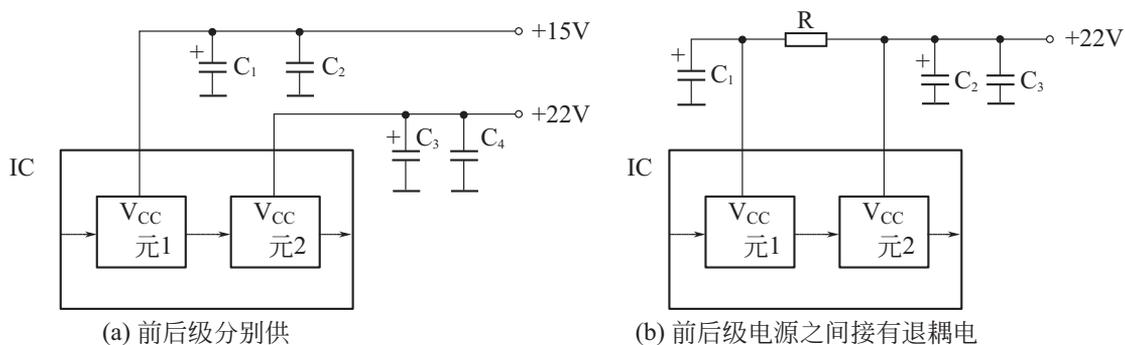


图 2-30 多电源引脚

二是有些集成电路内部包含有电子滤波稳压电路，可以输出稳定的直流电压为其他单元电路供电，因此该集成电路另外具有一个电源输出引脚，如图 2-31 所示。

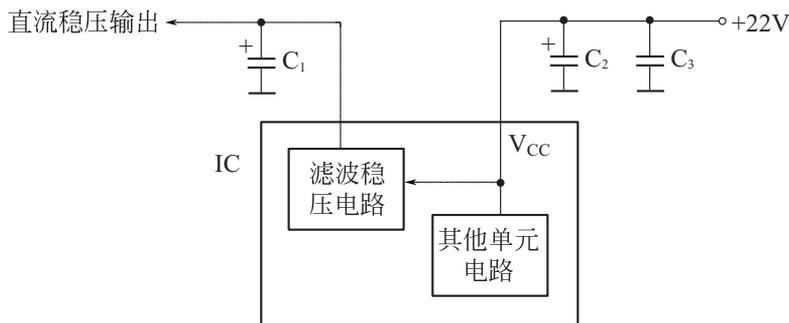


图 2-31 具有电源输出引脚

电源稳压集成电路没有专门的电源引脚。这是因为电源稳压集成电路是串接在电源电路中工作的，直流电压从稳压集成电路的输入端输入，经内部电路稳压后从输出端输出，如

图 2-32所示。

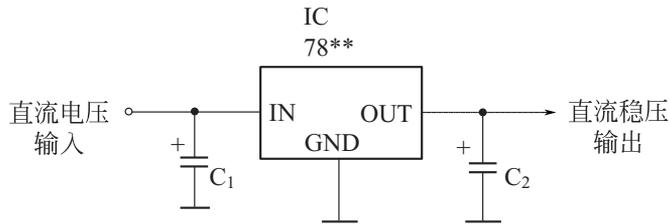


图 2-32 稳压集成电路

(3) 接地引脚

接地引脚的作用是将集成电路内部的地线与外电路的地线连通。集成电路一般具有一个接地引脚，电路图中有时在接地引脚旁标注有“GND”字符，如图 2-29 所示。

接地引脚的外电路的明显特征是直接与电路图中的地线相连接，或者直接绘有接地符号。

在电路图中有些集成电路可能有多个接地引脚，主要有两种情况。

一是有些集成电路内部的前、后级单元电路分别有自己独立的接地引脚，如图 2-33 所示。

二是将集成电路内部闲置不用的单元电路的信号引脚接地，以保证整个集成电路工作的稳定性，如图 2-34 所示。这样接地的引脚并不是真正的接地引脚，但在分析电路图时可以不作严格区分。

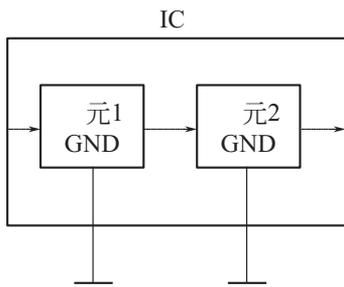


图 2-33 多接地引脚

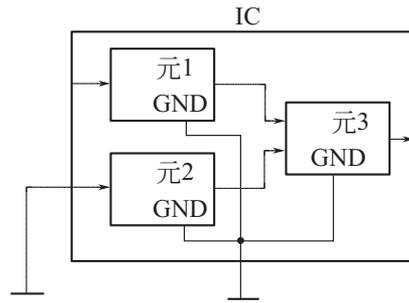


图 2-34 闲置引脚接地

(4) 信号输入引脚

信号输入引脚的作用是将输入信号引入集成电路。除了信号源类集成电路外，一般集成电路至少具有一个信号输入引脚，电路图中有时在信号输入引脚旁标注有“IN”字符，如图 2-35(a) 所示。



(a) 单一信号输入引脚 (b) 同相、反相信号输入引脚

图 2-35 信号输入引脚

有些集成电路同时具有同相输入和反相输入两个信号输入引脚，则在电路图中同相输入引脚旁标注有“+”字符，反相输入引脚旁标注有“-”字符，如图 2-35(b) 所示。

集成电路信号输入引脚的外电路特征是通过一个耦合元件与前级电路的输出端相连接。这个耦合元件可以是耦合电容 C，或者是耦合电阻 R，或者是 RC 耦合电路，或者是耦合变压器 T 等，如图 2-36 所示。

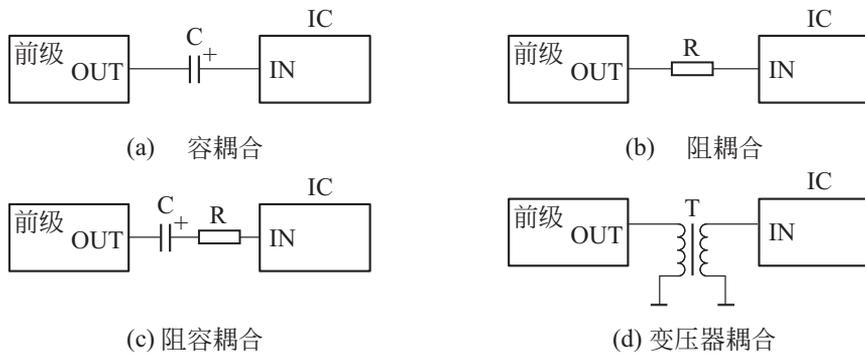


图 2-36 输入信号耦合方式

有些集成电路具有较多的信号输入引脚，可以分为三种情况。

一是集成电路内部的前、后级单元电路分别有自己独立的信号输入引脚，如图 2-37(a) 所示。

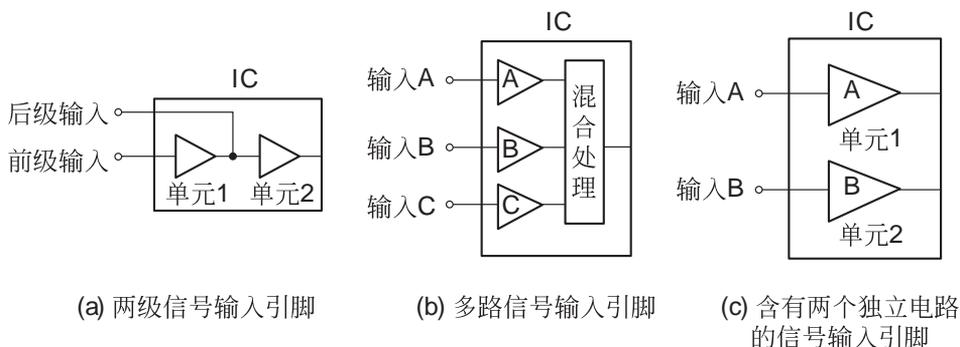


图 2-37 多信号输入引脚

二是集成电路具有混合处理多个输入信号的功能，所以具有多个信号输入引脚，如图 2-37(b) 所示。

三是集成电路内部包含有两个或更多互相独立的单元电路，例如，双声道功放集成电路，每一声道都有自己的信号输入引脚，如图 2-37(c) 所示。

振荡器、函数发生器等信号源类集成电路一般没有信号输入引脚。

(5) 信号输出引脚

信号输出引脚的作用是将集成电路的输出信号引出。集成电路至少具有一个信号输出引脚，电路图中有时在信号输出引脚旁标注有“OUT”字符，如图 2-38 所示。

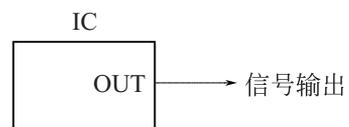


图 2-38 信号输出引脚

集成电路信号输出引脚的外电路特征是通过电容、电阻、变压器等耦合元件与后续电路的输入端相连接，如图 2-39 所示；或者直接驱动扬声器、发光二极管、指示表头等负载，如图 2-40 所示。

有些集成电路具有较多的信号输出引脚，有以下三种情况。

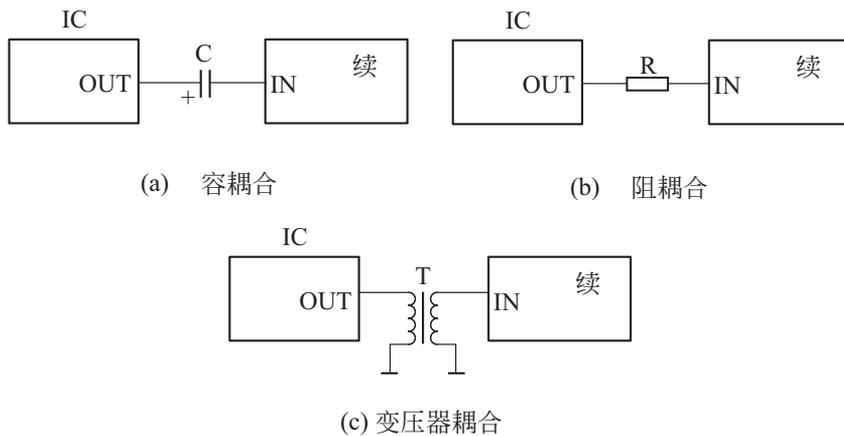


图 2-39 输出信号耦合方式

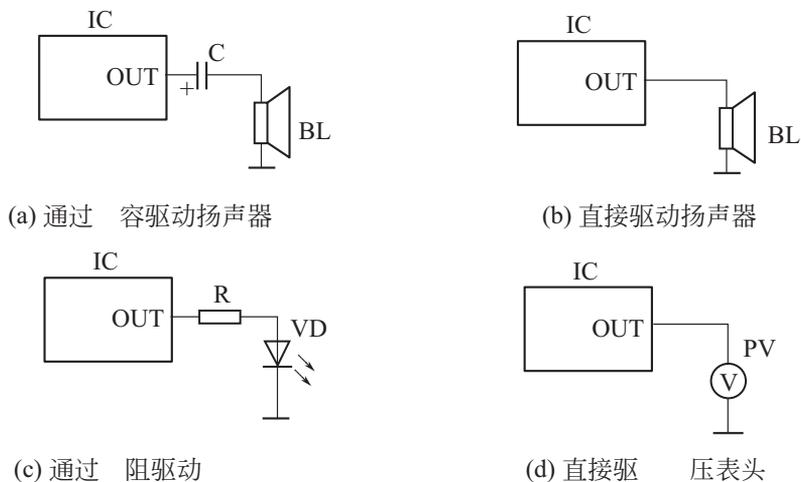


图 2-40 直接驱动负载

一是集成电路内部的前、后级单元电路分别有自己独立的信号输出引脚，如图 2-41(a) 所示。

二是集成电路具有多路输出功能，所以具有多个信号输出引脚，如图 2-41(b) 所示。

三是集成电路内部包含有两个或更多互相独立的单元电路，例如，双声道功放集成电路，每一声道都有自己的信号输出引脚，如图 2-41(c) 所示。

(6) 其他引脚

除了上述电源、接地、输入、输出 4 种基本引脚之外，有些集成电路还具有一些其他引脚，例如，外接电阻、电容、电感、晶体等元器件的引脚，自举、消振、负反馈、退耦等保证工作的引脚，静噪、控制等附加功能引脚等。

例如，如图 2-27 所示功率放大电路中，集成电路 IC₁ 型号为 LM3886，单列直插式封装，共有 11 个引脚，其中三个为空脚，两个同为正电源引脚，如图 2-42 所示。

在图 2-27 电路图中，画出了 LM3886 实际使用的 7 个引脚：1 脚为正电源引脚，4 脚为负电源引脚，7 脚为接地引脚，10 脚为同相输入引脚，9 脚为反相输入引脚，3 脚为输出引脚，8 脚为静噪引脚。

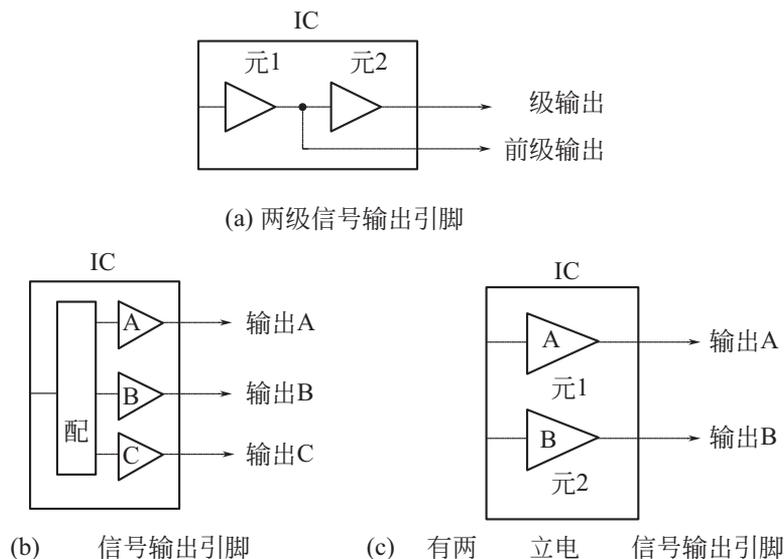


图 2-41 多信号输出引脚

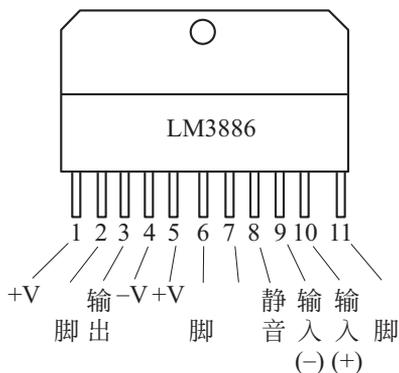


图 2-42 LM3886 的引脚

2.3.3 从输入输出关系上分析

在电路图中，集成电路仅以一矩形或三角形图框表示，一般不画出内部电路，这给我们分析电路图带来一定难度。在缺乏集成电路内部电路资料的情况下，如何看懂电路图呢？可以运用“黑箱理论”来解决这一问题，即把集成电路看作是一个“黑箱”，我们不必去研究“黑箱”内部的结构和工作过程，而从其输出信号与输入信号的关系上进行分析，从而看懂整个电路图。

集成电路输出信号与输入信号之间的关系主要有幅度变化关系、频率变化关系、阻抗变化关系、相位变化关系和波形变化关系等。下面我们逐一分析。

(1) 幅度变化关系

幅度变化关系是指集成电路的输出信号与输入信号相比，其幅度发生了变化而其他参数不变，如图 2-43 所示。

如果输出信号的幅度大于输入信号，我们就可以判定这个集成电路是一个放大电路，例如，电压放大器、中频放大器、前置放大器、功率放大器等。如果输出信号的幅度小于输入

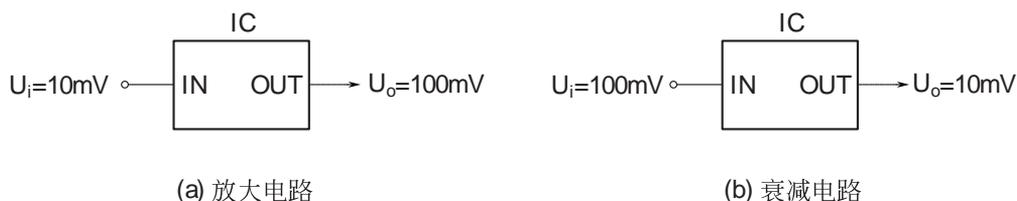


图 2-43 幅度变化

信号，则该集成电路是一个衰减电路，例如，衰减器、分压器等。

(2) 频率变化关系

频率变化关系是指集成电路的输出信号与输入信号相比，其频率发生了变化，如图 2-44 所示。

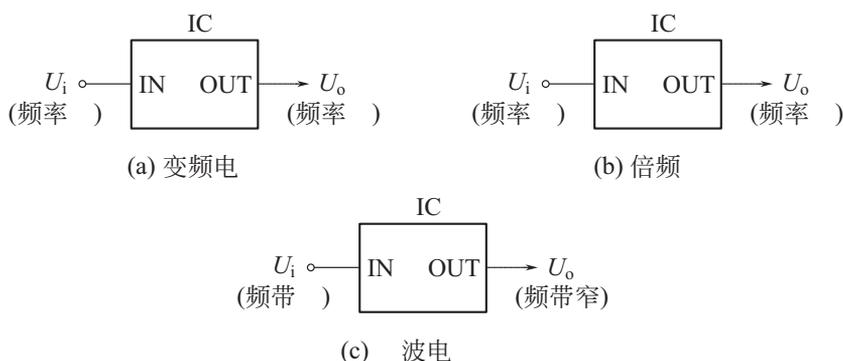


图 2-44 频率变化

如果输出信号的频率低于输入信号，则该集成电路是一个变频电路。如果输出信号的频率高于输入信号，则该集成电路是一个倍频电路。如果输出信号的频带是输入信号的一部分，则该集成电路是一个滤波电路。

(3) 阻抗变化关系

阻抗变化关系是指集成电路的输出信号与输入信号相比，其阻抗发生了变化，则该集成电路是一个阻抗变换电路，如图 2-45 所示。

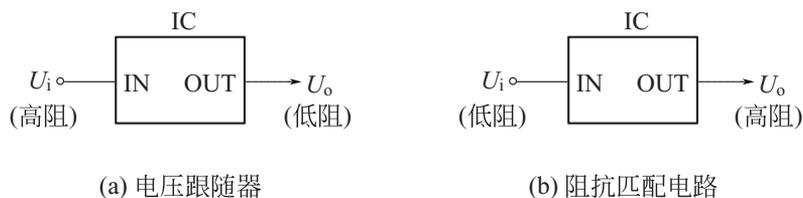


图 2-45 阻抗变化

如果输出信号的阻抗低于输入信号，则该集成电路是电压跟随器、缓冲器等。如果输出信号的阻抗高于输入信号，则该集成电路是阻抗匹配电路、恒流输出电路等。

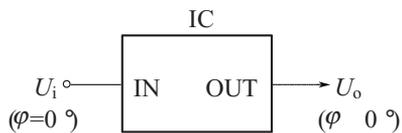


图 2-46 相位变化

(4) 相位变化关系

相位变化关系是指集成电路的输出信号与输入信号相比，其相位发生了变化，则该集成电路是一个移相电路，如图 2-46 所示。如果移相角度为 180° ，可以称为

反相电路。

(5) 波形变化关系

波形变化关系是指集成电路的输出信号与输入信号相比，其波形发生了变化，则该集成电路是一个整形电路，如图 2-47 所示。

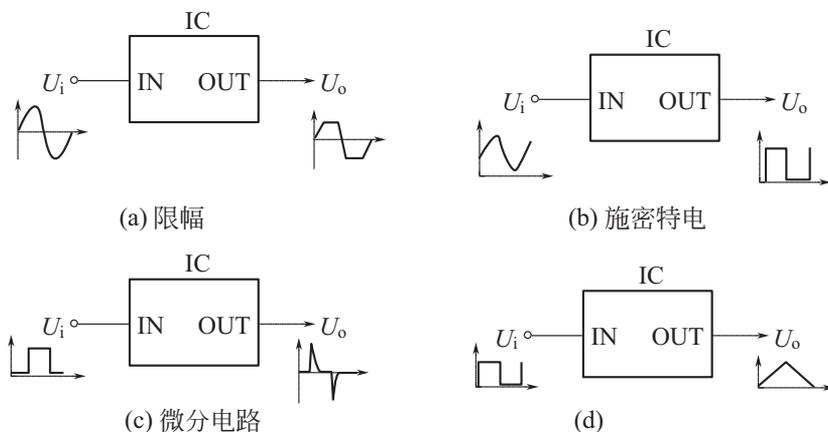


图 2-47 波形变化

如图 2-47(a) 所示为输出信号幅度受到限制的限幅电路。图 2-47(b) 所示为波形边沿变得陡峭的施密特触发器电路。图 2-47(c) 所示为强调输入信号变化率的微分电路。图 2-47(d) 所示为强调输入信号随时间积累情况的积分电路。

除此之外，还有诸如调制关系、解调关系、逻辑关系、控制关系等。有些集成电路的输入输出信号之间可能同时包含数种上述基本关系，甚至具有更复杂的输入输出关系。因此，熟练掌握这些基本关系，有助于我们融会贯通、举一反三地分析各种集成电路的电路图。

2.3.4 集成电路的接口关系分析

电路图中往往会包含有若干个集成电路，它们之间通过一定的电路组成了一个有机的整体。分析各个集成电路之间以及集成电路与其他分立元件电路之间的接口关系，也是看懂集成电路电路图的有效方法。

(1) 从集成电路与其他集成电路的接口关系上分析

在电路图中，已知一些集成电路的功能与作用，我们就可以从各集成电路之间的接口关系上，分析出未知集成电路的在电路图中的作用。

如图 2-48 所示电路为例， IC_1 为一未知集成电路，其两个输入端中，“ IN_1 ”与高放集成电路的输出端相接，输入高频信号；“ IN_2 ”与本振集成电路的输出端相接，输入本振信号。 IC_1 的输出端“OUT”与中放集成电路的中频信号输入端相接。因此，通过分析可以得知， IC_1 为混频集成电路，广播电台信号经高放级放大后输入 IC_1 ，同时本振级产生的本振信号也输入 IC_1 ，由 IC_1 混频后输出中频信号至中放级。

(2) 从集成电路与分立元件电路的接口关系上分析

由于分立元件电路比较直观、容易看懂，因此，通过对集成电路与分立元件电路接口关系的分析，可以帮助我们掌握该集成电路在整个电路中的作用。

如图 2-49 所示电路中，集成电路 IC_2 通过变压器 T_3 与分立元件电路相连接。我们先来分析这个分立元件电路，进而推断出集成电路 IC_2 的功能与作用。

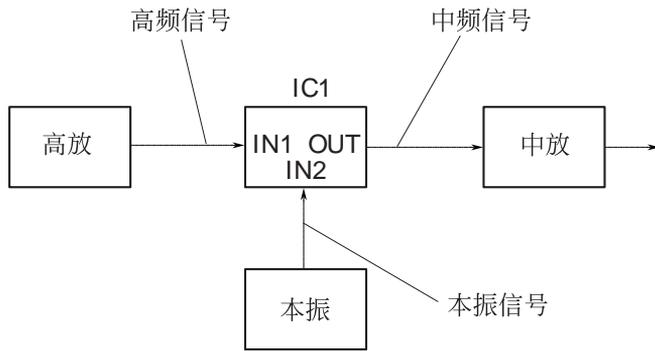


图 2-48 混频电路

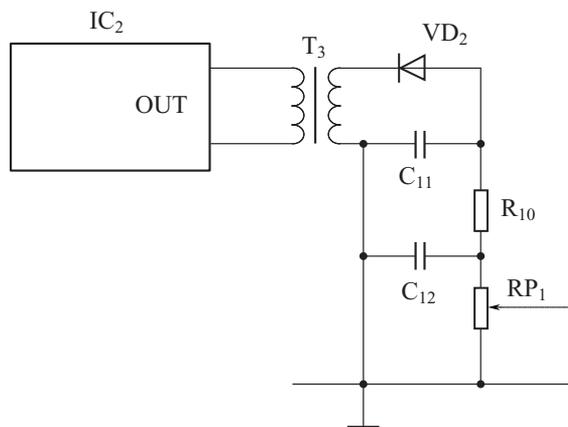


图 2-49 中频电路

该分立元件电路是一个典型的检波电路， VD_2 为检波二极管， C_{11} 、 R_{10} 、 C_{12} 组成 π 型滤波网络， RP_1 为音量电位器， T_3 为中频变压器。 IC_2 的输出信号由 T_3 耦合至检波电路进行检波。因此， IC_2 是中频放大器集成电路，承担电路中中频放大的任务。

第 3 章

掌握鉴宝魔镜——玩转万用表

电子技术中有许多未知宝藏需要我们去鉴别，也许你会想，假如能有一个鉴宝魔镜该多好啊！别急，告诉你这个鉴宝魔镜真的存在，它就是万用表。

万用表是万用电表的习惯简称。万用表是一种最基本最常用的多功能电子仪表，它能够检测电压、电流、电阻等电参数，还能够检测各种元器件和各种电路，细算起来，还真的具有上万种用途呢。

万用表品种繁多，性能各异，分为指针式万用表和数字万用表两大类。早期的万用表都是指针式万用表，随着微电子技术和数字电路的大发展，人们又发明了数字化的万用表，为了区别于传统的万用表，将其称为“数字万用表”。我们笼统地说“万用表”，通常是指指针式万用表。指针式万用表与数字万用表各有长短，目前都在普遍使用。

3.1 指针式万用表

指针式万用表具有电路简单、可以动态显示、测量电压电流无需安装电池等特点。指针式万用表最明显的特征是采用微安表头作为测量指示，外形如图 3-1 所示。我们通常将指针式万用表简称为“万用表”。

万用表实质上是电压表、电流表、欧姆表的有机组合，使用时根据需要，通过转换开关进行转换，如图 3-2 所示。因此，也有人将万用表称之为三用表。

万用表的功能较多，各型号万用表的功能不尽相同，但都包括以下基本功能：测量直流电流、测量直流电压、测量交流电压、测量电阻。许多万用表还具有以下派生功能：测量音频电平、测量电容、测量电感及测量晶体管直流参数等，如图 3-3 所示。

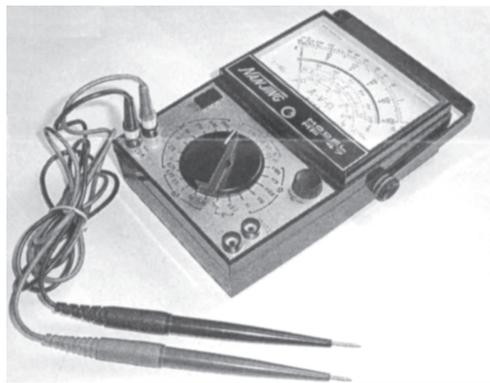


图 3-1 指针式万用表

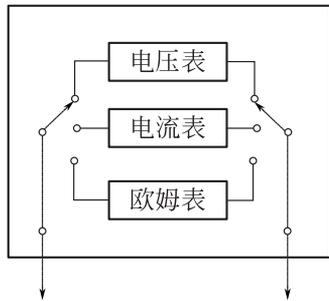


图 3-2 万用表原理

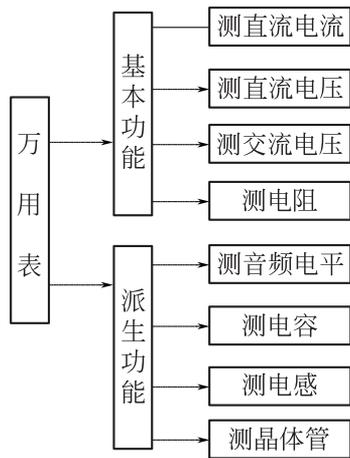


图 3-3 万用表的功能

3.1.1 万用表的结构

如图 3-4 所示为万用表的基本电路结构方框图，由 5 大部分组成：①表头及表头电路，用于指示测量结果。②分压器，主要用于测量交、直流电压。③分流器，主要用于测量直流电流。④电池、调零电位器等，用于测量电阻。⑤测量选择电路，用于选择挡位和量程。

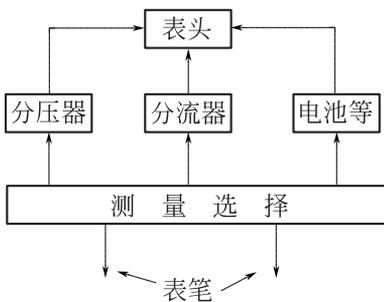


图 3-4 万用表方框图

万用表基本上都采用磁电式微安表头，其文字符号为“PA”，图形符号如图 3-5(a) 所示。图 3-5(b) 为磁电式微安表头结构和工作原理示意图，在马蹄形永久磁铁极掌间的强磁场中，放置一线圈，当有电流通过该线圈时，电磁作用力使线圈顺时针偏转，偏转角度与通过该线圈的电流成正比。在线圈上垂直粘有一指针，即可准确指示出通过线圈的电流大小。

一指针，即可准确指示出通过线圈的电流大小。

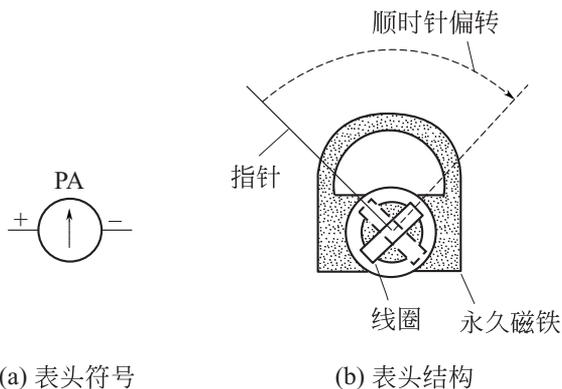


图 3-5 万用表表头

为防止万用表在使用中用错挡位而烧毁表头，一般都设计有表头保护电路。如图 3-6 所

示为硅二极管保护电路，二极管 VD_1 、 VD_2 互为反向地并接在表头两端，使得表头两端的电压不论正负都不超过 0.7V，确保过载时不会损坏表头。

万用表的型号很多，电路与功能大同小异。我们下面以市场保有量较多的 MF47 型万用表为例进行介绍。MF47 型万用表是设计新颖的磁电系整流式多量限万用表，具有灵敏度高、体积轻巧、性能稳定、过载保护可靠、读数清晰、使用方便的特点，比较适合业余爱好者使用。

MF47 型万用表外形如图 3-7 所示，由提把、表头、测量选择开关、欧姆挡调零旋钮、表笔插孔、晶体管插孔等部分构成。

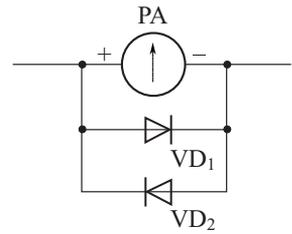


图 3-6 表头保护电路

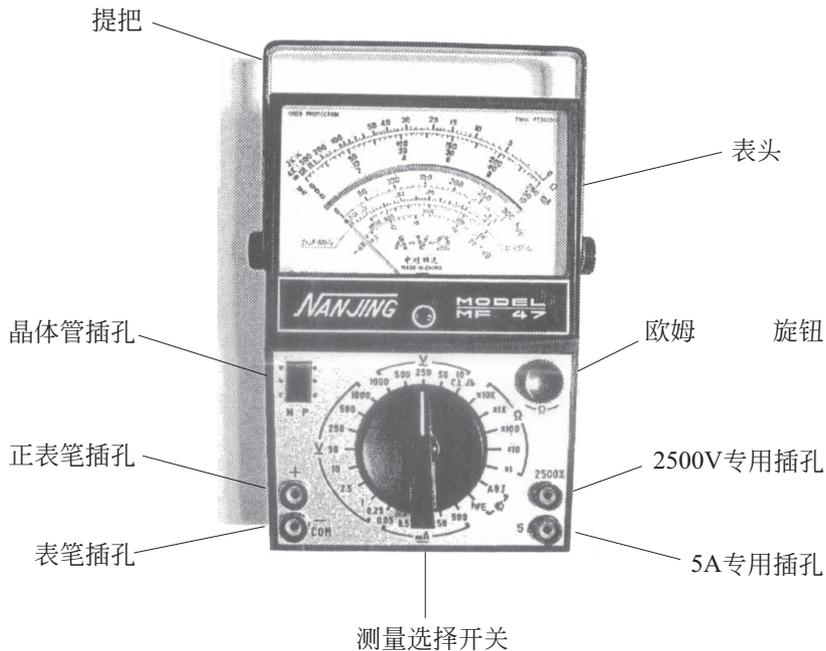


图 3-7 MF47 型万用表

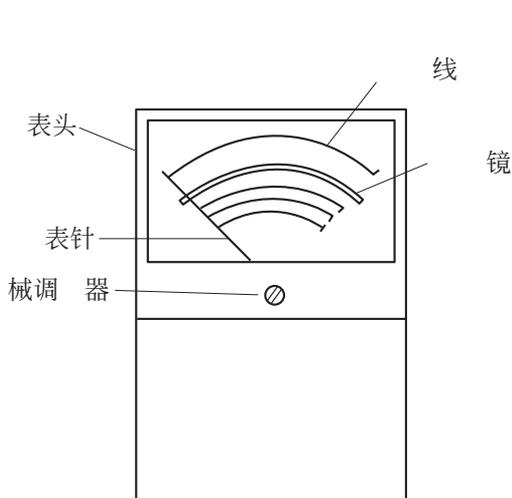


图 3-8 表头机械调零器

万用表面板上部为微安表头。表头中表针下面的标度盘上共有 6 条刻度线，从上往下依次是电阻刻度线、电压电流刻度线、晶体管 β 值刻度线、电容刻度线、电感刻度线、电平刻度线。标度盘上还装有反光镜，用以消除视差。表头的下边中间有一个机械调零器，用以校准表针的机械零位，如图 3-8 所示。

面板下部中间是测量选择开关，只需转动一个旋钮即可选择各量程挡位，使用方便。测量选择开关指示盘与表头标度盘相对应，按交流红色、晶体管绿色、其余黑色的规律印制成 3 种颜色，使用中不易搞错。

该万用表共有 4 个表笔插孔。面板左下角有正、负表笔插孔，一般习惯上将红表笔插入正插孔，黑表笔插入负插孔。面板右下角有 2500V 和 5A 专用插孔，当测量 2500V 交、直流电压时，正表笔应改为插入 2500V 插孔；当测量 5A 直流电流时，正表笔应改为插入 5A 插孔；如图 3-9 所示。

面板下部右上角是欧姆挡调零旋钮，用于校准欧姆挡“0Ω”的指示。面板下部左上角是晶体管插孔。插孔左边标注为“N”，检测 NPN 型晶体管时插入此孔；插孔右边标注为“P”，检测 PNP 型晶体管时插入此孔，如图 3-10 所示。（本书分享·索雅书）

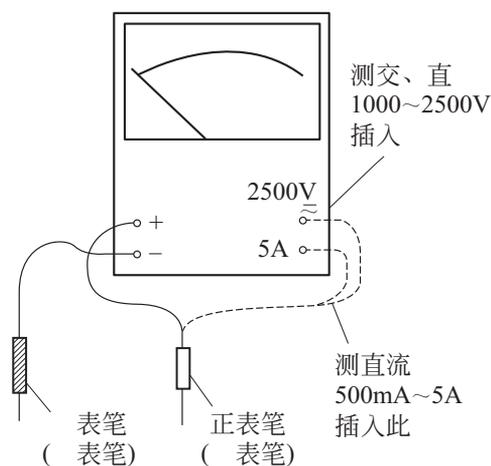


图 3-9 表笔插孔

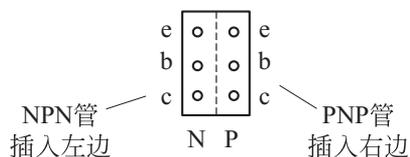


图 3-10 晶体管测量插孔

✦ 3.1.2 万用表的功能

MF47 万用表量程齐全，共具有 8 大类 34 个测量挡位，见表 3-1，包括测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻的 26 个基本量程，以及测量音频电平、电容、电感、晶体管直流参数等 8 个附加量程。

表 3-1 MF47 型万用表测量范围

测量对象	测量范围	挡位数
直流电流	0~5A	6
直流电压	0~2500V	9
交流电压	0~2500V	6
电阻	0~∞(可读 0~40MΩ)	5
音频电平	-10~+62dB	5
电容	0.001~0.3μF	1
电感	20~1000H	1
晶体管	β :0~300, I_{cb0} , I_{ceo}	1

(1) 直流电流挡

直流电流挡测量范围为 0~5A，分为 0.05mA、0.5mA、5mA、50mA、500mA、5A 等 6 挡，其中 5A 挡使用专用插孔，其余各挡由测量选择开关转换。

(2) 直流电压挡

直流电压挡测量范围为 0~2500V，灵敏度为 20kΩ/V，分为 0.25V、1V、2.5V、10V、50V、250V、500V、1000V、2500V 等 9 挡，其中 2500V 挡使用专用插孔，其余各挡由测量选择开关转换。

(3) 交流电压挡

交流电压挡测量范围为 0~2500V，灵敏度为 4kΩ/V，分为 10V、50V、250V、500V、1000V、2500V 等 6 挡，其中 2500V 挡使用专用插孔，其余各挡由测量选择开关转换。

(4) 电阻挡

电阻挡具有×1、×10、×100、×1k、×10k 等 5 挡，见表 3-2。各挡中心阻值分别为 22Ω、220Ω、2.2kΩ、22kΩ、220kΩ。最大可读量程为 40MΩ。

表 3-2 MF47 型万用表电阻挡测量范围

	挡 位	可 读 量 程	中心阻值
电 阻	×1	0~4kΩ	22Ω
	×10	0~40kΩ	220Ω
	×100	0~400kΩ	2.2kΩ
	×1k	0~4MΩ	22kΩ
	×10k	0~40MΩ	220kΩ

(5) 音频电平测量

音频电平使用交流电压挡测量，测量范围为 -10~+62dB (0dB=0.775V)，共分为 5 挡，见表 3-3。

表 3-3 MF47 型万用表音频电平测量范围

	挡 位	量 程
音 频 电 平	10V ~	-10~+22dB
	50V ~	+4~+36dB
	250V ~	+18~+50dB
	500V ~	+24~+56dB
	1000V ~	+30~+62dB

(6) 电容测量

电容测量使用交流 10V 挡，测量范围为 0.001~0.3μF，见表 3-4。

表 3-4 MF47 型万用表电容、电感测量范围

测量对象	挡 位	量 程
电 容	10V ~	0.001~0.3 μ F
电 感		20~1000H

(7) 电感测量

电感测量也使用交流 10V 挡，测量范围为 20~1000H，见表 3-5。

(8) 晶体管测量

测量晶体管直流参数时， β 值测量具有一个校准挡位“ADJ”和一个测量挡位“ h_{FE} ”，测量范围 0~300（倍）。 I_{cbo} 和 I_{ceo} 的测量使用“R \times 1k”挡，测量范围 0~60 μ A。如果 I_{ceo} 较大，可使用“R \times 100”挡，测量范围 0~600 μ A，见表 3-5。

表 3-5 MF47 型万用表晶体管直流参数测量范围

晶 体 管	项 目	挡 位	量 程
	β	h_{FE}	0~300
	I_{cbo}	R \times 1k	0~60 μ A
	I_{ceo}	R \times 1k	0~60 μ A
R \times 100		0~600 μ A	

3.1.3 万用表的使用方法

由于万用表电阻挡必须使用直流电源，因此，使用前应给万用表装上电池。一般万用表的电池盒设计在表背面，图 3-11 所示为 MF47 万用表背面的电池盒。

打开电池盒盖后，可见两个电池仓，如图 3-12 所示。左边是低压电池仓，装入一枚 1.5V 的 2 号电池。右边是高压电池仓，装入一枚 15V 的层叠电池。

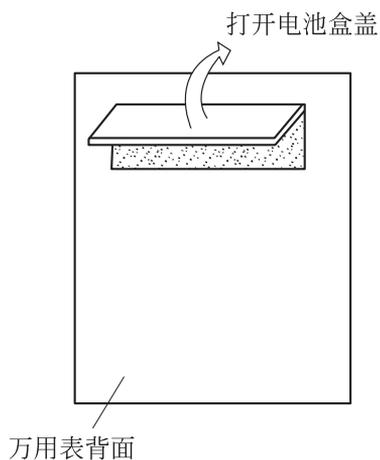


图 3-11 万用表电池盒

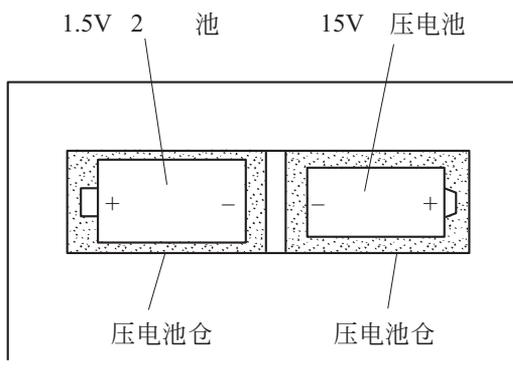


图 3-12 电池盒中的电池

接下来将表笔（测试棒）插入万用表插孔中。一般习惯上将红表笔插入“+”表笔插孔，黑表笔插入“-”表笔插孔。

万用表在使用前，还应检查表针是否指在机械零位上。即表针在静止时，是否准确指在刻度线最左边的“0”位上，如不在，应用小螺钉旋具缓慢旋转表头下边的机械调零器，调节表针的静止位置使其准确指“0”。

使用万用表进行测量时，首先应根据测量对象选择相应的挡位，然后根据测量对象的估计大小选择合适的量程。例如，测量 220V 市电，可选择“交流电压 250V”挡，如图 3-13 所示。如果无法估计测量对象的大小，则应先选择最大量程，然后逐步减小，直至能够准确读数。

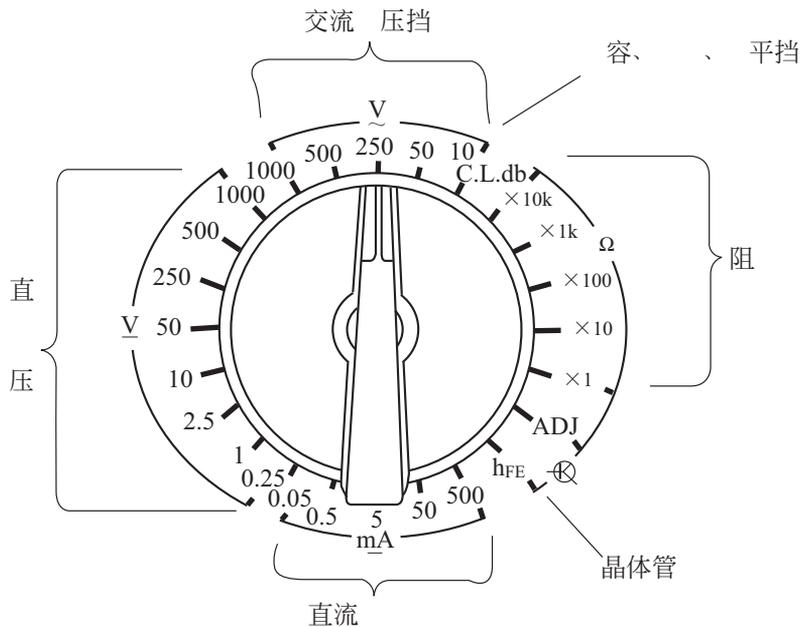


图 3-13 测量挡位与量程

测量时应注意，尽量使表针行程大些，即表针指示在刻度线的中间及偏右位置，如图 3-14 所示。因为万用表表针偏转角度较大时测量精度较高，特别是电阻、电容、电感、电平等非线性刻度线，中间及偏右位置较准确。

读数时，眼睛应垂直于表面观察表针。如果视线不垂直，将会产生视差，使得读数出现误差，如图 3-15 所示。

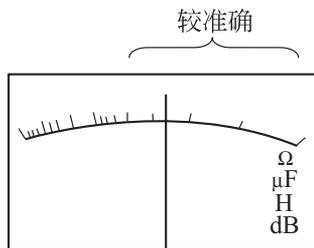


图 3-14 表针偏转角度大精度高

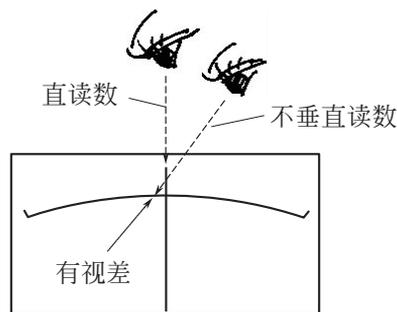


图 3-15 读数误差的产生

为了消除视差，MF47 等万用表在表面的标度盘上都装有反光镜，如图 3-16 所示。读数时，应移动视线使表针与反光镜中的表针镜像重合，这时的读数无视差。

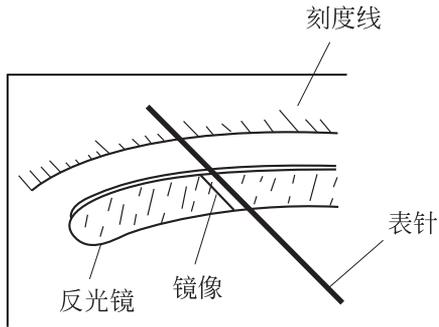


图 3-16 标度盘的反光镜

(1) 测量直流电流

测量直流电流时，万用表构成的电流表应串入被测回路，既可以串入电源正极与被测电路之间，也可以串入被测电路与电源负极之间，如图 3-17 所示。

测量 500mA 及其以下直流电流时，转动万用表上的测量选择开关至所需的“mA”挡。测量 500mA 以上至 5A 的直流电流时，将测量选择开关置于“500mA”挡，并将正表笔改插入“5A”专用插孔。

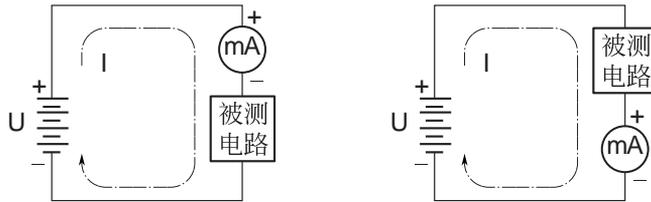


图 3-17 串联测量直流电流

图 3-18 所示为测量晶体管集电极电流示意图，首先断开电源开关 S，并切断电阻 R_c 与 VT 集电极之间的连接，在集电极回路形成一个开口。然后将万用表置于适当的“mA”挡，正表笔接回路开口处 R_c 一端，负表笔接 VT 集电极，如图 3-19 所示。接通电源开关 S，万用表即指示出被测晶体管的集电极电流值。

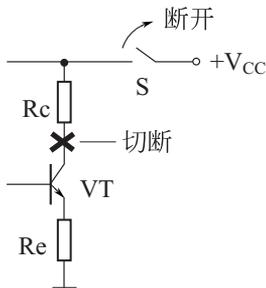


图 3-18 集电极回路形成开口

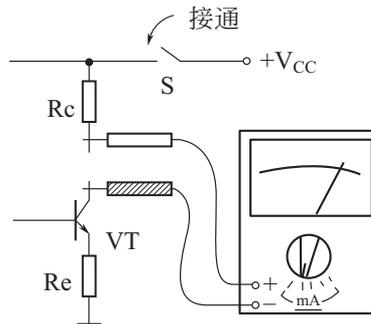


图 3-19 测量集电极电流

(2) 测量直流电压

测量直流电压时，万用表构成直流电压表，直接并接于被测电压两端。如图 3-20 所示电路，需测量 R_2 上压降，电压表并接于 R_2 上即可。

测量 1000V 及其以下直流电压时，转动万用表上的测量选择开关至所需的“直流 V”挡。测量 1000V 以上至 2500V 的直流电压时，将测量选择开关置于“直流 1000V”挡，并将正表笔改插入“2500V”专用插孔。

如图 3-21 所示为测量晶体管发射极电压 (R_e 上压降) 示意图，将万用表置于适当的“直流 V”挡，正表笔接 VT 发射极、负表笔接地（即跨接于 R_e 上），万用表即指示出被测晶体管的

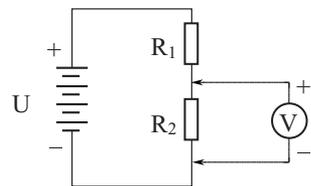


图 3-20 并联测量直流电压

发射极电压值。

(3) 测量交流电压

测量交流电压与测量直流电压相似。测量 1000V 及其以下交流电压时，转动万用表上的测量选择开关至所需的“交流 V”挡。测量 1000V 以上至 2500V 的交流电压时，将测量选择开关置于“交流 1000V”挡，并将正表笔改插入“2500V”专用插孔。

如图 3-22 所示为测量电源变压器次级电压示意图，将万用表置于适当的“交流 V”挡，两表笔不分正、负，分别接电源变压器次级两引出端，万用表即指示出被测交流电压值。

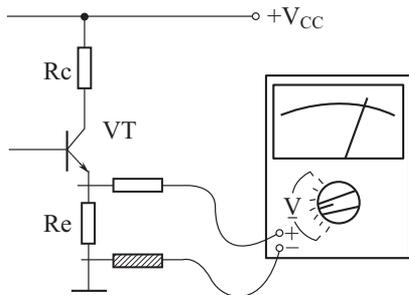


图 3-21 测量发射极电压

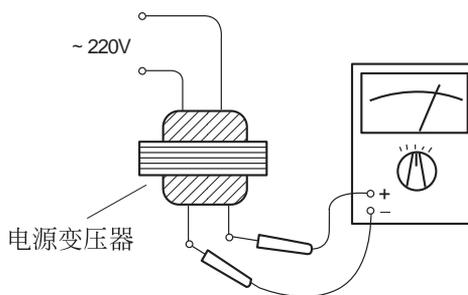


图 3-22 测量变压器次级电压

(4) 测量电阻

测量电阻时，根据被测电阻的估计值，转动万用表上的测量选择开关至适当的“ Ω ”挡。首先进行欧姆挡校零，将万用表两表笔短接，调节欧姆挡调零旋钮，使表针准确指向“0 Ω ”，如图 3-23 所示。测量中每次更换挡位后，均应重新校零。

测量电阻时，将万用表置于适当的“ Ω ”挡，两表笔（不分正、负）分别接被测电阻的两端，万用表即指示出被测电阻的阻值，如图 3-24 所示。

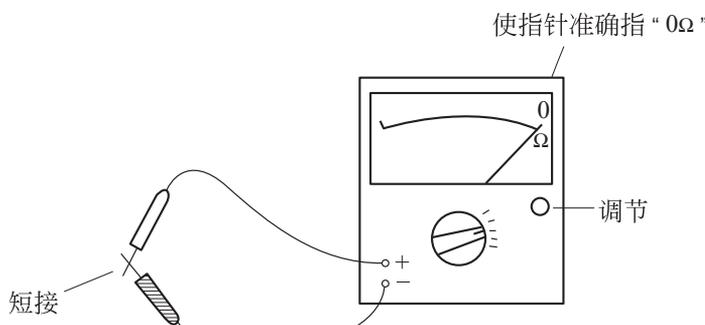


图 3-23 欧姆挡校零

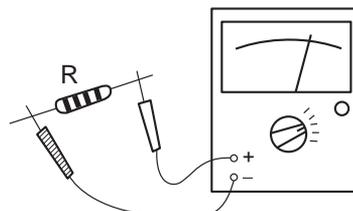


图 3-24 测量电阻

测量电路板上的在路电阻时，应如图 3-25 所示将被测电阻的一端从电路板上焊开，然后再进行测量。否则由于电路中其他元器件的影响，测得的电阻值误差将很大。测量电路电阻时应先切断电路电源，如电路中有电容则应先行放电，以免损坏万用表。

(5) 测量音频电平

音频信号也是一种交流信号，因此测量音频电平使用万用表的交流电压挡，一般使用“交流 10V”挡，转动万用表上的测量选择开关至“交流 10V”挡即可。表面上的音频电平刻度线是以交流电压 10V 挡为基准刻度的，0dB=0.775V，刻度范围为 -10~+22dB，如

图 3-26 所示读数为 +17dB。

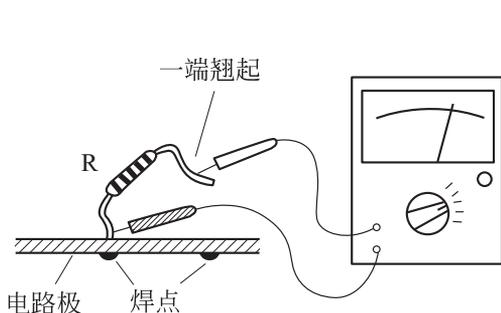


图 3-25 测量在路电阻

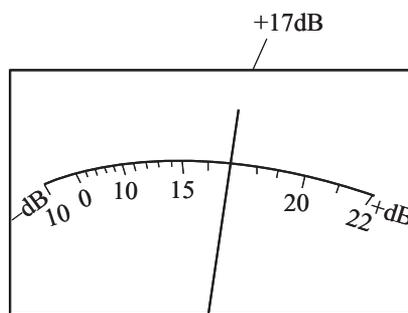


图 3-26 音频电平的读数

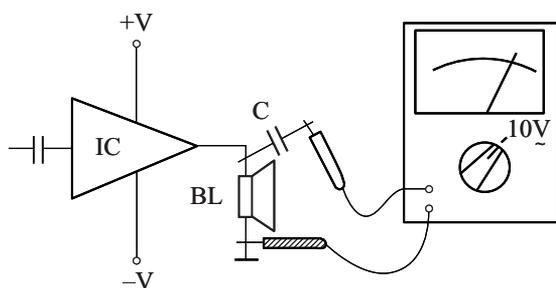


图 3-27 测量放大器输出电平

如图 3-27 所示为测量音频放大器输出电平示意图，万用表置于“交流 10V”挡，两表笔不分正、负，一表笔接地，另一表笔串接一个 $0.1\mu\text{F}$ 左右的隔直流电容器 C 后接放大器输出端，万用表即指示出被测音频电平值。

如果被测音频电平值超过 +22dB，可选用交流电压挡的 50V 及其以上各挡位，但其读数应如表 3-6 所示加上修正量。例如，用万用表“交流电压 50V”挡测量电

平时，表针指示仍如图 3-26 所示，则其电平值为 +17dB（读数值）加上 +14dB（50V 挡修正量）等于 +31dB。

表 3-6 MF47 型万用表测量音频电平时读数的修正量

量 程 挡 位	读 数 修 正 量
10V ~	0
50V ~	+14dB
250V ~	+28dB
500V ~	+34dB
1000V ~	+40dB

(6) 测量电容

测量电容时，采用 10V、50Hz 的交流电压作为信号源，万用表应置于“交流电压 10V”挡。应该注意的是 10V、50Hz 交流电压必须准确，否则会影响测量的准确性。

测量时，通过电源变压器将交流 220V 市电降压后获得 10V、50Hz 交流电压。将被测电容 C 与任一表笔串联后，再串接于 10V 交流电压回路中，如图 3-28 所示，万用表即指示出被测电容 C 的容量，直接从“C”刻度线读取读数。

(7) 测量电感

测量电感与测量电容相同，采用 10V、50Hz 的交流电压作为信号源，万用表置于“交流电压 10V”挡。将被测电感 L 与任一表笔串联后，再串接于 10V 交流电压回路中，如图 3-29 所示，万用表即指示出被测电感 L 的电感量，直接从“L”刻度线读取读数。

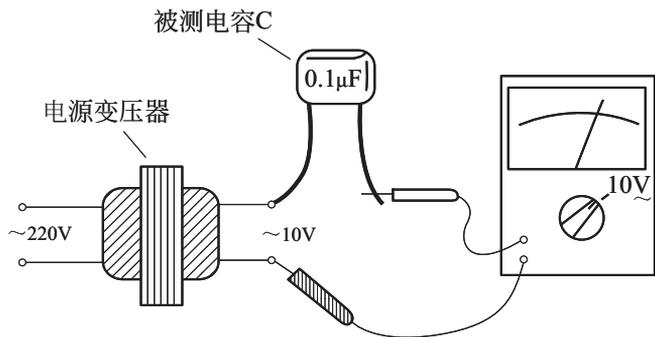


图 3-28 测量电容

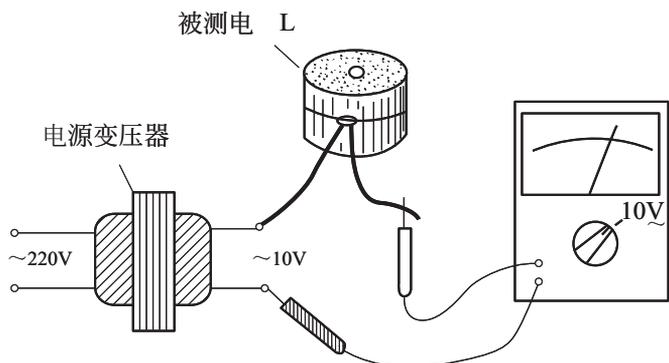


图 3-29 测量电感

(8) 测量晶体管放大倍数

测量晶体管直流放大倍数时，首先将万用表上的测量选择开关转动至“ADJ（校准）”挡位，两表笔短接，调节欧姆挡调零旋钮使表针对准 h_{FE} 刻度线的“300”刻度，如图 3-30 所示。

然后分开两表笔，将测量选择开关转动至“ h_{FE} ”挡位，如图 3-31 所示，即可插入晶体管进行测量，这时万用表表针所指示的即为该管的直流放大倍数，直接从“ h_{FE} ”刻度线读取读数。

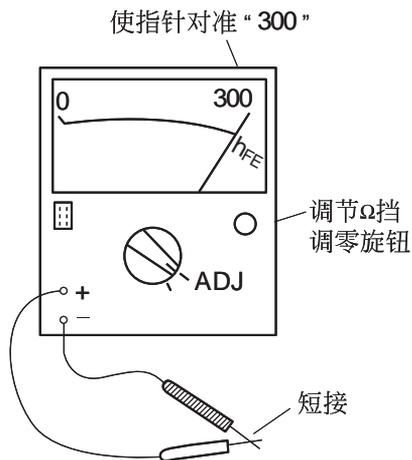


图 3-30 晶体管挡校准

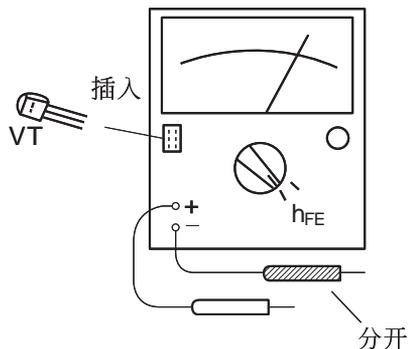


图 3-31 测量晶体管放大倍数

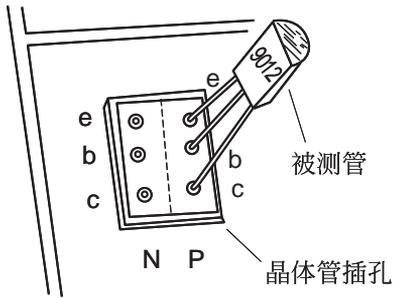


图 3-32 晶体管测量插孔

万用表上的晶体管插孔，左半边供测量 NPN 型管用，右半边供测量 PNP 型管用。例如，测量晶体管 S9012，因为 S9012 是 PNP 型管，所以插入右半边插孔，如图 3-32 所示。

(9) 测量晶体管反向电流

测量晶体管集电极与基极间反向截止电流 I_{cbo} 时，万用表置于“ $\Omega \times 1k$ ”挡，首先短接两表笔并调节欧姆挡调零旋钮，使表针准确指向“ 0Ω ”，如图 3-33 所示。

校零结束后分开两表笔，将被测晶体管发射极悬空，基极插入“e”插孔，集电极插入“c”插孔，如图 3-34 所示。由于此时满度电流值为 $60\mu A$ ，可看 0~10 的线性刻度，将读数乘以 $6\mu A$ 即是被测晶体管的 I_{cbo} 值。

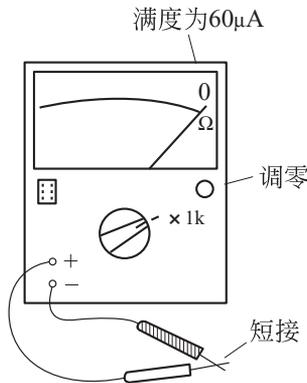


图 3-33 测量前校零

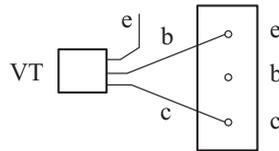


图 3-34 测量晶体管 I_{cbo}

测量晶体管集电极与发射极间反向截止电流 I_{ceo} 时，万用表仍用“ $\Omega \times 1k$ ”挡，被测晶体管基极悬空，发射极插入“e”插孔，集电极插入“c”插孔，如图 3-35 所示。读数方法与测量 I_{cbo} 相同。

如果被测晶体管的 I_{ceo} 值大于 $60\mu A$ ，可改用万用表的“ $\Omega \times 100$ ”挡进行测量（换挡后应重新校零），此时满度电流值为 $600\mu A$ ，如图 3-36 所示。仍然观察 0~10 的线性刻度，将读数乘以 $60\mu A$ 即可得到被测晶体管的 I_{ceo} 值。

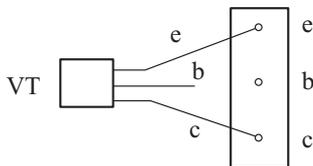


图 3-35 测量晶体管 I_{ceo}

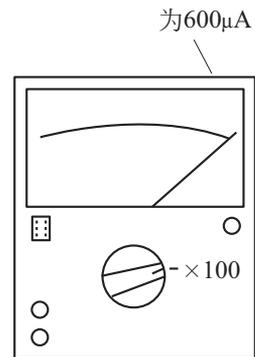


图 3-36 测量较大的 I_{ceo}

3.2 数字万用表

数字万用表最显著的特征，或者说与传统的指针式万用表最大的不同就是没有微安表头，而是采用数字显示屏显示测量结果，如图 3-37 所示。

数字万用表是一种数字化的新型测量仪表，它的显著特点是测量精度和输入阻抗高、测量对象和量程宽、功能齐全、读数显示准确直观等。如图 3-38 所示为数字万用表的原理方框图，可见，除用数字电压表取代传统万用表的表头外，其余部分相类似。



图 3-37 数字万用表

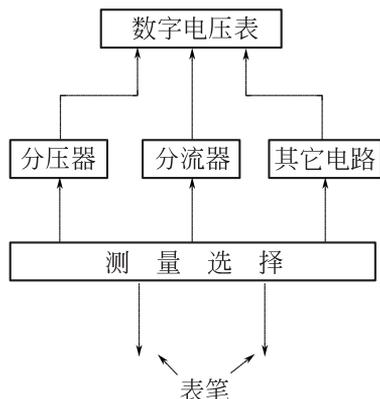


图 3-38 数字万用表原理

数字万用表可以测量交、直流电压，交、直流电流，电阻等，有的还具有测量电容、电感、晶体管、频率、温度等功能。数字万用表的型号种类也很多，但其结构功能大同小异，下面以较常用的 DT890B 型数字万用表为例进行介绍。

3.2.1 数字万用表的结构

DT890B 是三位半便携式数字万用表，LCD 液晶显示屏最大显示读数为“±1999”（“+”符号不显示出来）。整机采用 9V 层叠电池为电源，功耗约 30mW。该表具有全量程过载保护、自动调零、自动显示极性、闲置时自动关机、防跌落等功能，显示字符较大，操作使用方便，性能稳定可靠。

DT890B 数字万用表的基本电路结构如图 3-39 所示，由以下部分组成：①200mV 数字电压表（数字表头），用于显示测量结果。②分压器，主要用于测量电压。③电流/电压变换器，用于测量电流。④交流/直流变换器，用于测量交流电压和电流。⑤电阻/电压变换器，用于测量电阻。⑥电容/电压变换器，用于测量电容。⑦ h_{FE} 测量电路，用于测量晶体管。⑧测量选择电路，用于选择挡位和量程。

200mV 数字电压表构成了数字万用表的基本测量显示部件（相当于指针式万用表的表头），其电路原理如图 3-40 所示，由双积分 A/D 转换器（模拟/数字转换器）、译码驱动器 and 三位半 LCD 显示屏组成，其中 A/D 转换器和译码驱动器等包含在专用集成电路 IC7106 当中。

被测电压由“IN”端输入，经 A/D 转换器将模拟电压转换为数字信号、译码驱动器译码后驱动 LCD 显示屏显示测量结果，最大量程为 200mV。再配以由分压器、电流/电

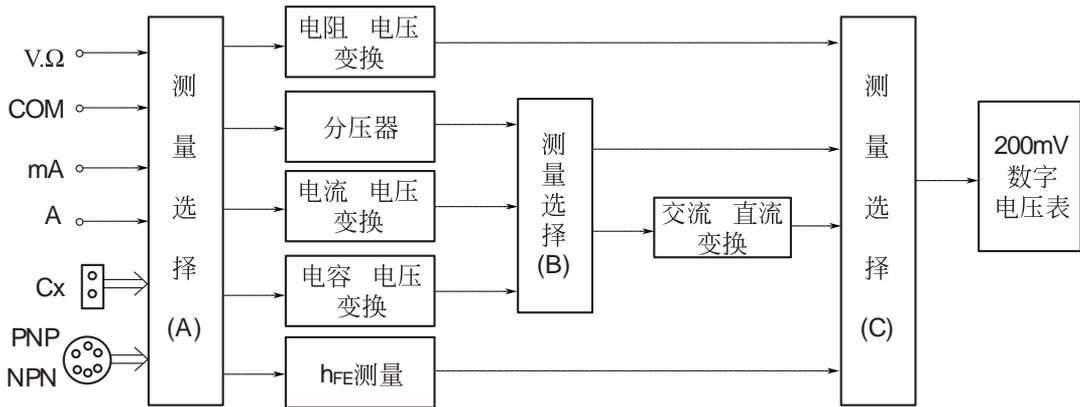


图 3-39 数字万用表电路结构

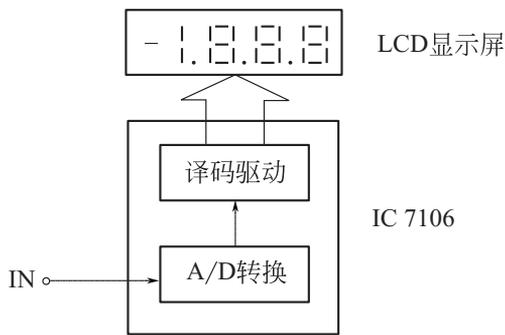


图 3-40 数字电压表原理

压变换器、交流/直流变换器、电阻/电压变换器、电容/电压变换器、 h_{FE} 测量电路等组成的量程扩展电路，即构成了多量程的数字万用表。

数字万用表采用毫伏级数字电压表作为基本测量显示部件，属于电压型测量；而指针式万用表采用微安表头作为基本测量显示部件，属于电流型测量，如图 3-41 所示。因此数字万用表比传统万用表具有更高的输入阻抗和灵敏度，对被测电路的影响更小，测量的精度更高。

DT890B 数字万用表外形如图 3-42 所示，由 LCD 液晶显示屏、电源开关、测量选择开关、测试表笔插孔、电容器插孔和晶体管插孔等部分构成。

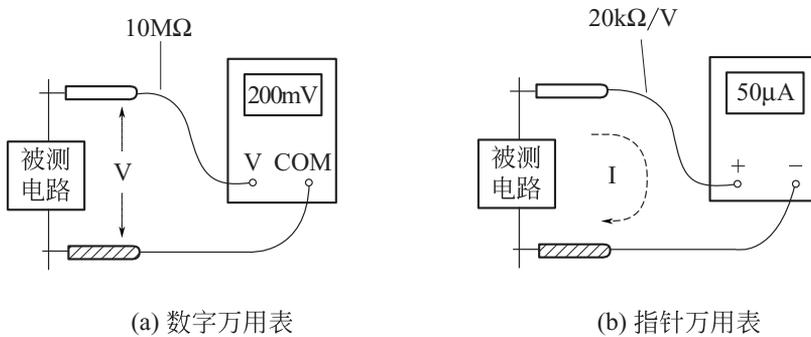


图 3-41 测量原理比较

数字万用表上部为 LCD 液晶显示屏，可以直接显示三位半数字字符，小数点根据需要自动移动，负号“-”根据测量结果自动显示。

显示屏下面是控制面板。面板中央为测量选择开关，只需转动这一个旋钮即可选择各量程挡位，使用方便。测量选择开关指示盘按测量类别分别用红色、绿色、白色 3 种颜色间隔印制，使用中不易搞错。

面板下部有 4 个测量表笔插孔。一个黑色的是负表笔插孔，即公共端插孔“COM”。三



图 3-42 DT890B 数字万用表

个红色的是正表笔插孔，分别是电压电阻测量插孔“VΩ”、毫安级电流测量插孔“mA”、安培级电流测量插孔“A”，如图 3-43 所示。使用时，通常将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔根据测量需要插入相应的正表笔插孔。

面板的左上角设有整机电源开关（POWER），按下为“开”，再按一下使其弹起为“关”。面板的右上角是晶体管插孔，插孔左边标注为“PNP”，检测 PNP 型晶体管时插入此孔；插孔右边标注为“NPN”，检测 NPN 型晶体管时插入此孔，如图 3-44 所示。

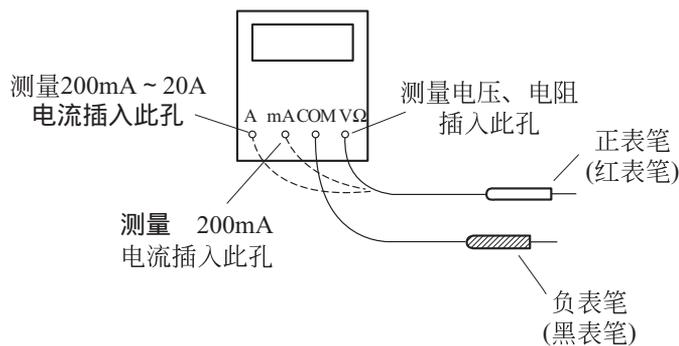


图 3-43 表笔插孔

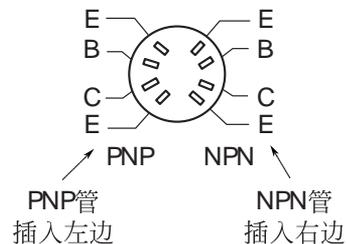


图 3-44 晶体管插孔

3.2.2 数字万用表的功能

DT890B 数字万用表量程齐全，共具有 8 大类 32 个测量挡位，见表 3-7，包括测量直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻的 25 个基本量程，以及测量电容、晶体二极管及通断、晶体三极管 h_{FE} 值等 7 个附加量程。

表 3-7 DT890B 数字万用表测量范围

测量对象	测量范围	挡位数
直流电压	0~1000V	5
交流电压	0~700V	5

续表

测量对象	测量范围	挡位数
直流电流	0~20A	4
交流电流	0~20A	4
电阻	0~200M Ω	7
电容	$1 \times 10^{-6} \sim 20 \mu\text{F}$	5
晶体二极管	正向压降	1
晶体三极管	$\beta: 0 \sim 1000$	1

(1) 直流电压挡

直流电压挡测量范围为 0~1000V，输入阻抗 10M Ω ，最小分辨率 0.1mV，分为 200mV、2V、20V、200V、1000V 等 5 挡，见表 3-8，各挡位由测量选择开关转换。

表 3-8 DT890B 数字万用表直流电压挡测量范围

测量对象	挡 位	量 程	分 辨 率
直 流 电 压	200mV	0~199.9mV	0.1mV
	2V	0~1.999V	1mV
	20V	0~19.99V	10mV
	200V	0~199.9V	0.1V
	1000V	0~1000V	1V

(2) 交流电压挡

交流电压挡测量范围为 0~700V，输入阻抗 10M Ω ，最小分辨率 0.1mV，分为 200mV、2V、20V、200V、700V 等 5 挡，见表 3-9，各挡位由测量选择开关转换。

表 3-9 DT890B 数字万用表交流电压挡测量范围

测量对象	挡 位	量 程	分辨率
交 流 电 压	200mV	0~199.9mV	0.1mV
	2V	0~1.999V	1mV
	20V	0~19.99V	10mV
	200V	0~199.9V	0.1V
	700V	0~700V	1V

(3) 直流电流挡

直流电流挡测量范围为 0~20A，最小分辨率 1 μA ，分为 2mA、20mA、200mA、20A 等 4 挡，见表 3-10。其中 200mA 以下使用“mA”插孔，200mA 以上使用“A”插孔，并由测量选择开关转换。

表 3-10 DT890B 数字万用表交、直流电流挡测量范围

测量对象	挡 位	量 程	分辨率
交、直 流 电 流	2mA	0~1.999mA	1 μ A
	20mA	0~19.99mA	10 μ A
	200mA	0~199.9mA	0.1mA
	20A	0~19.99A	10mA

(4) 交流电流挡

交流电流挡测量范围为 0~20A，最小分辨率 1 μ A，分为 2mA、20mA、200mA、20A 等 4 挡，见表 3-10。其中 200mA 以下使用“mA”插孔，200mA 以上使用“A”插孔，并由测量选择开关转换。

(5) 电阻挡

电阻挡测量范围为 0~200M Ω ，最小分辨率 0.1 Ω ，分为 200 Ω 、2k Ω 、20k Ω 、200k Ω 、2M Ω 、20M Ω 、200M Ω 等 7 挡，见表 3-11，各挡位由测量选择开关转换。

表 3-11 DT890B 数字万用表电阻挡测量范围

测量对象	挡 位	量 程	分辨率
电 阻	200 Ω	0~199.9 Ω	0.1 Ω
	2k Ω	0~1.999k Ω	1 Ω
	20k Ω	0~19.99k Ω	10 Ω
	200k Ω	0~199.9k Ω	0.1k Ω
	2M Ω	0~1.999M Ω	1k Ω
	20M Ω	0~19.99M Ω	10k Ω
	200M Ω	0~199.9M Ω	0.1M Ω

(6) 电容挡

电容挡测量范围为 $1 \times 10^{-6} \sim 20\mu\text{F}$ ，最小分辨率 1pF，分为 2nF、20nF、200nF、2 μF 、20 μF 等 5 挡，见表 3-12。被测电容器插入“C_X”专用插孔，各挡位由测量选择开关转换。

表 3-12 DT890B 数字万用表电容测量范围

测量对象	挡 位	量 程	分辨率
电 容	2nF	0~1.999nF	1pF
	20nF	0~19.99nF	10pF
	200nF	0~199.9nF	0.1nF
	2 μF	0~1.999 μF	1nF
	20 μF	0~19.99 μF	10nF

(7) 晶体二极管及通断挡

晶体二极管及通断挡可以测量二极管的正向压降，或判断被测线路的通断。

(8) 晶体三极管 h_{FE} 挡

晶体三极管 h_{FE} 挡, 测量范围为 $1\sim 1000$, 最小分辨率为 1 。

3.2.3 数字万用表的测量原理

数字万用表通过测量选择开关的转换, 即可构成电压表、电流表、欧姆表、电容表等基本形态。

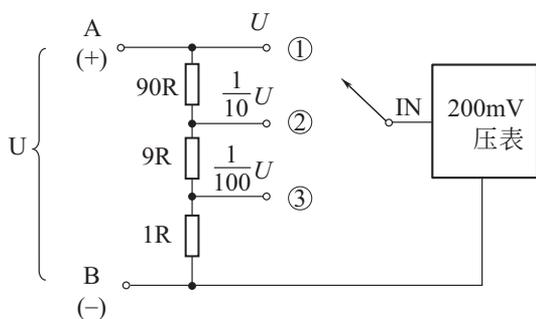


图 3-45 数字直流电压表原理

(1) 直流电压表

测量直流电压时, 通过测量选择开关的转换, 电路构成直流电压表, 如图 3-45 所示。电阻 $1R$ 、 $9R$ 、 $90R$ 构成分压器, 被测电压 U 加在分压器的 A、B 两端间, A 端为正, B 端为负。200mV 电压表仅测量取样电阻上的电压, 取样电阻可以是分压器的一部分, 也可以是分压器的全部。改变取样比, 即可改变量程。

当 200mV 电压表输入端 IN 接入①端时, 整个分压器都是取样电阻, 取样电压 $U_{IN}=U$ 。当 200mV 电压表输入端 IN 接入②端时, 取样电阻为 $1R+9R$, 取样电压 $U_{IN}=1/10U$, 量程扩大为 10 倍。当 200mV 电压表输入端 IN 接入③端时, 取样电阻为 $1R$, 取样电压 $U_{IN}=1/100U$, 量程扩大为 100 倍。

由于取样电压的变化倍率为 10 的整数倍, 因此只需相应移动 LCD 显示屏中显示数字的小数点位置, 即可直观地显示出被测电压的实际数值。取样比的改变和小数点位置的移动, 由测量选择开关根据量程同步控制。

(2) 直流电流表

测量直流电流时, 通过测量选择开关的转换, 电路构成直流电流表, 如图 3-46 所示。取样电阻 R 构成电流/电压转换器, 被测电流 I 由 A 端进、B 端出, 在取样电阻 R 上必然产生电压降 U_R , $U_R=IR$, 200mV 电压表测量取样电阻上的电压降, 便可间接测得电流值。改变取样电阻的大小, 即可改变量程。

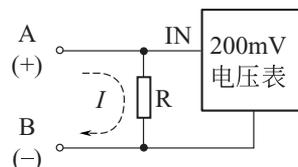


图 3-46 数字直流电流表原理

量程转换原理如图 3-47 所示, 取样电阻由 $1R$ 、 $9R$ 、 $90R$ 等电阻构成。当被测电流输入端 A 和 200mV 电压表输入端 IN 接入①端时, 取样电阻 $R_1=90R+9R+1R=100R$ 。当被测电流输入端 A 和 200mV 电压表输入端 IN 接入②端时, 取样电阻 $R_2=9R+1R=10R$, 缩小为 R_1 的 $1/10$, 要获得相同的电压降电流必须增大 10 倍, 即量程扩大为 10 倍。当被测电流输入端 A 和 200mV 电压表输入端 IN 接入③端时, 取样电阻 $R_3=1R$, 缩小为 R_1 的 $1/100$, 量程扩大为 100 倍。

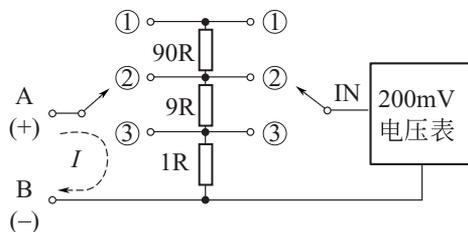


图 3-47 电流表量程转换原理

由于取样电阻的变化倍率为 10 的整数倍，因此，只需相应移动 LCD 显示屏中显示数字的小数点位置，即可直观地显示出被测电流的实际数值。取样电阻的改变和小数点位置的移动，由测量选择开关根据量程同步控制。

(3) 交流电压表

测量交流电压时，通过测量选择开关的转换，电路构成交流电压表，如图 3-48 所示。交流电压挡与直流电压挡共用一个分压器，所不同的是测量交流电压时，在 200mV 电压表输入端 IN 与分压器之间增加了一个交流/直流变换器，将取样电阻上的交流电压转换为直流电压送入 200mV 电压表测量显示。交流/直流变换器同时能够将交流电压的峰值校正为有效值，因此 LCD 显示屏显示的读数为被测交流电压的有效值。

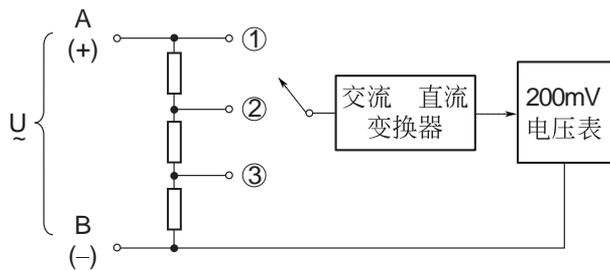


图 3-48 数字交流电压表原理

(4) 交流电流表

测量交流电流时，通过测量选择开关的转换，电路构成交流电流表，如图 3-49 所示。与图 3-47 相比可见，交流电流表只是在直流电流表电路基础上增加了一个交流/直流变换器，将被测交流电流 I 在取样电阻上产生的交流电压转换为直流电压再送入 200mV 电压表测量显示。同样因为交流/直流变换器的校正作用，LCD 显示屏显示的读数为被测交流电流的有效值。

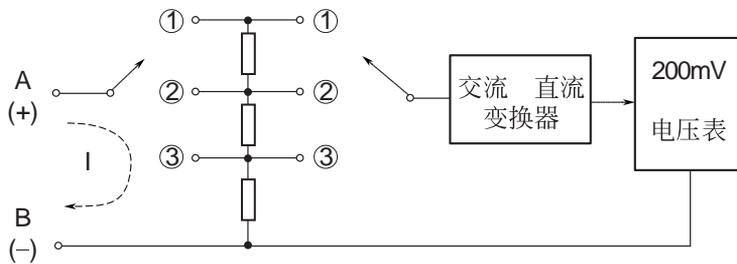


图 3-49 数字交流电流表原理

(5) 欧姆表

测量电阻时，通过测量选择开关的转换，电路构成欧姆表，如图 3-50 所示。标准电阻 R_0 和被测电阻 R_x 构成电阻/电压变换器，在两电阻上加一标准电压 U ，则 R_0 和 R_x 上分别按比例产生一定的电压降。由于标准电阻 R_0 已知，因此测量 R_x 上的电压降 U_x 即可间接测得被测电阻 R_x 的阻值。

根据 200mV 电压表中集成电路 IC7106 的特性，当 $R_x = R_0$ 时显示读数为 1000，合理设计 R_0 的取值，便可使 LCD 显示屏直接显示被测电阻的阻值。改变标准电阻 R_0 的

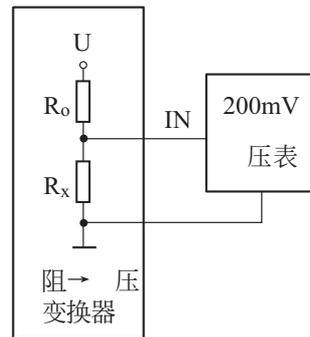


图 3-50 数字欧姆表原理

大小，即可改变量程。

欧姆表量程转换原理如图 3-51 所示，标准电阻 R_0 包括 $1R$ 、 $9R$ 、 $90R$ ，当标准电压 U 接入③端时， $R_0=1R$ 。当标准电压 U 接入②端时， $R_0=1R+9R=10R$ ，量程扩大 10 倍。当标准电压 U 接入①端时， $R_0=1R+9R+90R=100R$ ，量程扩大 100 倍。

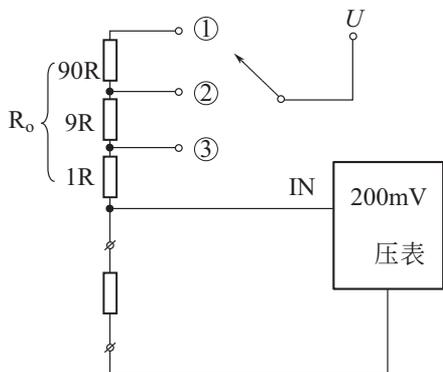


图 3-51 欧姆表量程转换原理

由于标准电阻的变化倍率为 10 的整数倍，因此，只需相应移动 LCD 显示屏中显示数字的小数点位置，即可直观地显示出被测电阻的阻值。标准电阻的改变和小数点位置的移动，由测量选择开关根据量程同步控制。

(6) 电容表

测量电容时，通过测量选择开关的转换，电路构成电容表，如图 3-52 所示。电容/电压变换器将被测电容 C_x 转换为相应的交流电压，再由交流/直流变换器将交流电压转换为直流电压送入 200mV 电压表测量显示。

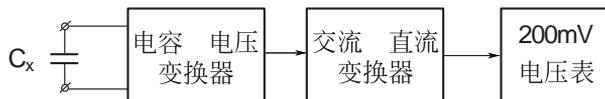


图 3-52 数字电容表原理

电容/电压变换器电路原理如图 3-53 所示，测量信号源为 400Hz 正弦波信号，通过被测电容 C_x 耦合至放大器 IC 进行放大， U_o 为放大后的输出信号。IC 的放大倍数 A 取决于反馈电阻 R_f 与被测电容 C_x 的容抗 ($\frac{1}{\omega C_x}$) 之比，即 $A =$

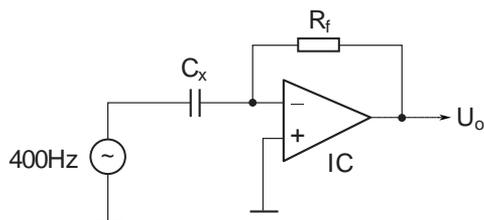


图 3-53 电容/电压变换原理

$$\frac{R_f}{\frac{1}{\omega C_x}} = R_f \omega C_x, C_x \text{ 的容量越大, IC 的放大倍数}$$

越大。由于 400Hz 正弦波信号源的频率和振幅均为恒定，因此输出信号 U_o 的大小即反映了被测电容 C_x 的容量大小。

如图 3-54 所示为电容表量程转换原理。放大器的反馈电阻 R_f 包括 $1R$ 、 $9R$ 、 $90R$ ，

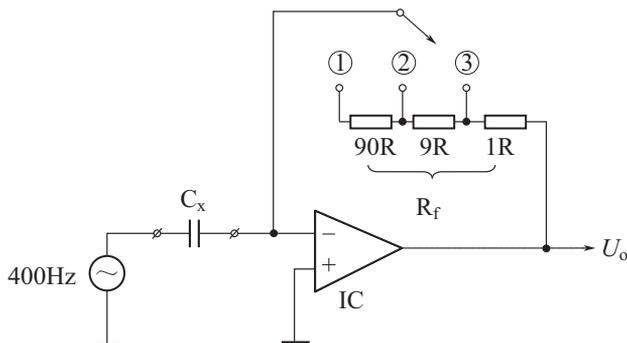


图 3-54 电容表量程转换原理

当 IC 反相输入端接入③端时, $R_f=1R$ 。当 IC 反相输入端接入②端时, $R_f=1R+9R=10R$ 。根据 $A=\frac{R_f}{\frac{1}{\omega C_x}}=R_f\omega C_x$, 反馈电阻 R_f 越大, IC 的放大倍数越大, R_f 扩大 10 倍,

量程即扩大 10 倍。当 IC 反相输入端接入①端时, $R_f=1R+9R+90R=100R$, 量程扩大 100 倍。

由于反馈电阻 R_f 的变化倍率为 10 的整数倍, 因此, 只需相应移动 LCD 显示屏中显示数字的小数点位置, 即可直观地显示出被测电容的容量。反馈电阻 R_f 的改变和小数点位置的移动, 由测量选择开关根据量程同步控制。

✦ 3.2.4 数字万用表的使用方法

数字万用表是有源仪表, 必须接上电源才能工作, 因此使用数字万用表时应首先装上电池。大多数数字万用表使用层叠电池, 以 DT890B 数字万用表为例, 如图 3-55 所示打开数字万用表后盖, 装入一枚 9V 层叠电池, 再将后盖盖好。

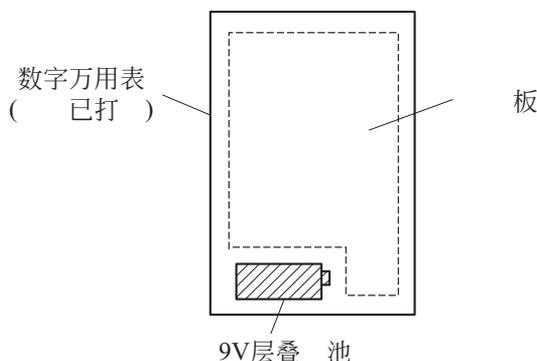


图 3-55 数字万用表需装电池

然后将测量表笔插入数字万用表的插孔中。一般习惯上将红表笔按测量需要插入“VΩ”或“mA”或“A”插孔作为正表笔, 将黑表笔插入“COM”插孔作为负表笔。按下控制面板上的电源开关 (POWER), LCD 显示屏应有“000”字符显示。如果显示出“BAT”字样, 表示电池电压不足, 应更换新电池。

使用数字万用表进行测量时, 首先应根据测量对象选择相应的挡位, 然后根据测量对象的估计大小选择合适的量程。例如, 测量 9V 电池电压, 可选择“直流电压 20V”挡。DT890B 数字万用表各挡位如图 3-56 所示。如果无法估计测量对象的大小, 则应先选择该挡位的最大量程, 然后根据显示情况逐步减小量程, 直至能够准确显示读数。

选择测量量程时, 应尽量使 LCD 显示屏中显示较多的有效数字, 以提高测量精度。例如, 测量某 1.5V 电池的开路电压, 选择“直流电压”的 200V、20V、2V 挡均可测量, 但 2V 挡显示的有效数字最多, 因此测量精度较高, 如图 3-57 所示。如果显示屏仅在最高位显示“1”, 表示测量对象超过所选量程, 应选择更高量程进行测量。

(1) 测量直流电压

测量直流电压时, 红表笔插入“VΩ”插孔为正表笔, 黑表笔插入“COM”插孔为负表笔, 转动测量选择开关至所需的“直流 V”挡, 数字万用表构成直流电压表, 直接并接于被测电压两端即可测量。

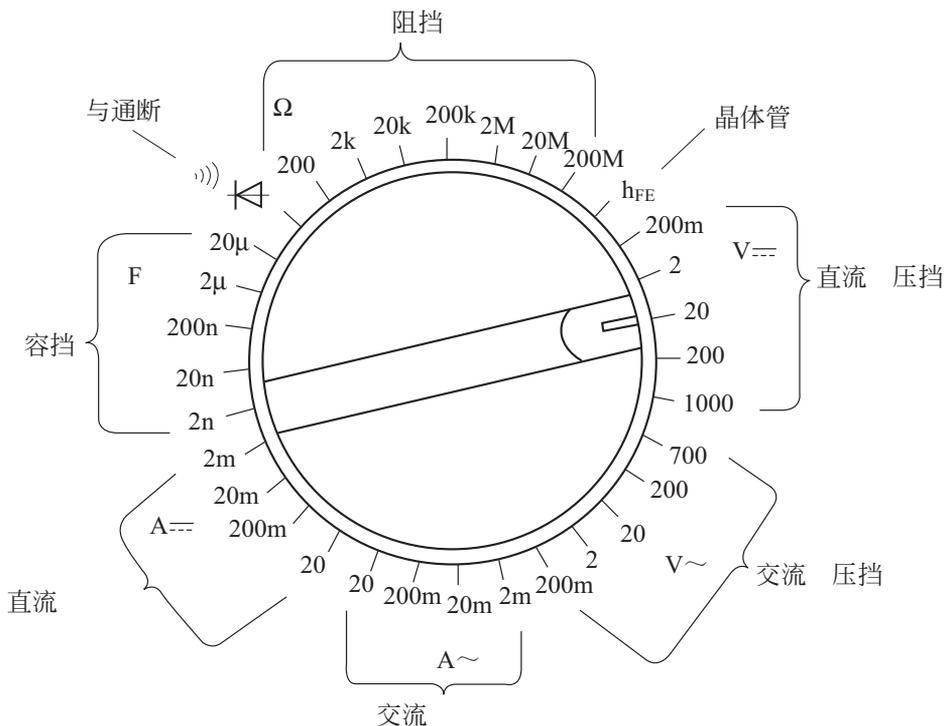


图 3-56 数字万用表各挡位

例如，需测量某电池 GB 的电压，将正表笔接电池正极、负表笔接电池负极，如图 3-58 所示，LCD 显示屏即显示出被测电池的电压。

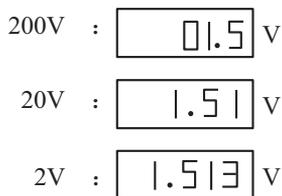


图 3-57 显示较多有效数字

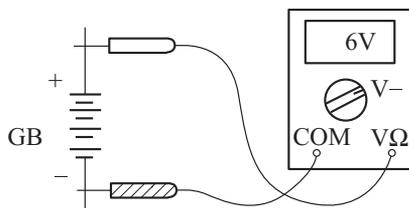


图 3-58 测量电池电压

因为数字万用表具有自动显示正、负极性的功能，实际上测量过程中即使正、负表笔接反也能正确显示测量结果。如图 3-59 所示，测量结果显示为“-6V”，表示正表笔接在了被测电池的负端、负表笔接在了被测电池的正端，被测电池 GB 的电压为 6V。这是指针式万用表所无法比拟的一个优点，特别是在被测电压极性不清楚的情况下，给测量工作提供了很大的方便。

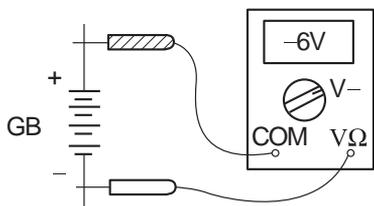


图 3-59 自动显示电压极性

(2) 测量交流电压

测量交流电压时，红表笔插入“VΩ”插孔，黑表笔插入“COM”插孔，转动测量选择开关至所需的“交流 V”挡，数字万用表构成交流电压表，直接并接于被测电压两端即可测量。

如图 3-60 所示为测量交流 220V 市电电压的例子，测量选择开关置于“交流 700V”挡，两表笔不分正、负

分别插入市电电源插座的两个插孔，LCD 显示屏即显示出被测市电的电压为 220V。

(3) 测量直流电流

测量直流电流时，红表笔插入“mA”插孔或“A”插孔为正表笔，黑表笔插入“COM”插孔为负表笔，转动测量选择开关至所需的“直流 A”挡，数字万用表构成直流电流表，串入被测电流回路即可测量。

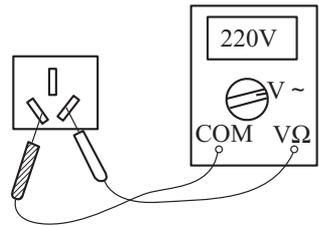


图 3-60 测量交流市电电压

测量 200mA 以下直流电流时，红表笔应插入“mA”插孔。测量 200mA 及以上直流电流时，红表笔应插入“A”插孔。

例如，测量某直流继电器 K 的工作电流，首先如图 3-61(a) 所示断开继电器 K 的电流回路，然后将正表笔接电池正极、负表笔接继电器，如图 3-61(b) 所示，LCD 显示屏即显示出被测继电器 K 的工作电流。

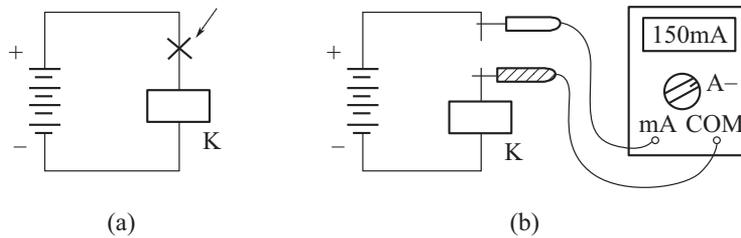


图 3-61 测量继电器工作电流

与测量直流电压时同理，测量直流电流过程中如果正、负表笔接反，将显示测量结果为“-150mA”，如图 3-62 所示，表示被测电流由负表笔流向正表笔。数字万用表使得测量直流电流时不必考虑其电流方向，这在电流方向不明确的情况下特别方便，测量电流大小的同时也测出了电流的方向。

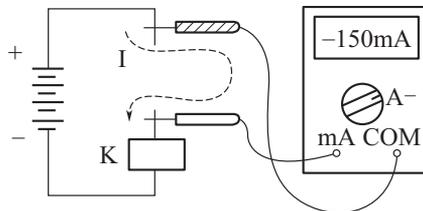


图 3-62 自动显示电流极性

(4) 测量交流电流

测量交流电流与测量直流电流相似，转动测量选择开关至所需的“交流 A”挡，数字万用表构成交流电流表，串入被测电流回路即可测量。

测量 200mA 以下交流电流时，红表笔应插入“mA”插孔。测量 200mA 及以上交流电流时，红表笔应插入“A”插孔。

例如，测量 40W 照明灯泡的工作电流，如图 3-63 所示将数字万用表置于“交流 200mA”挡，串入照明灯泡 EL 的电流回路（两表笔不分正、负），LCD 显示屏即显示出被测照明灯泡 EL 的工作电流。

(5) 测量电阻

测量电阻时，红表笔插入“VΩ”插孔，黑表笔插入“COM”插孔，转动测量选择开关

至适当的“ Ω ”挡，数字万用表即构成欧姆表。

如图 3-64 所示，测量时将两表笔（不分正、负）分别接被测电阻的两端，LCD 显示屏即显示出被测电阻 R 的阻值。数字万用表测量电阻前不用校零，这点比指针式万用表使用方便。

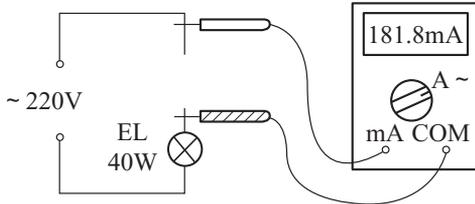


图 3-63 测量灯泡工作电流

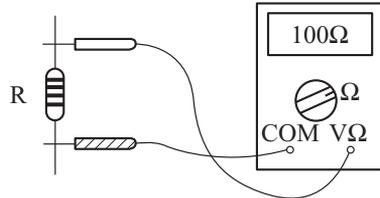


图 3-64 测量电阻

测量选择开关的“ Ω ”挡量程可根据被测电阻的估计值选择。如果显示屏仅在最高位显示“1”，表示所选量程小于被测电阻，应选择更高量程进行测量。测量大阻值电阻时，LCD 显示屏的读数需要几秒钟后才能稳定，这是正常现象。

(6) 测量电容

测量电容时，不用接表笔，转动测量选择开关至适当的“F”挡，数字万用表即构成电容表。将被测电容器 C 插入数字万用表左侧的“ C_x ”插孔即可，不必考虑电容器的极性，也不必事先给电容器放电，如图 3-65 所示。

测量选择开关的“F”挡量程可根据被测电容的估计值选择。如果显示屏仅在最高位显示“1”，表示所选量程小于被测电容，应选择更高量程进行测量。测量大容量电容时，LCD 显示屏的读数需要一定的时间才能稳定，属正常现象。

(7) 测量晶体二极管和测通断

测量晶体二极管时，红表笔插入“ $V\Omega$ ”插孔为正表笔，黑表笔插入“COM”插孔为负表笔，转动测量选择开关至“ $\text{—}|>$ ”挡，将正表笔接被测二极管正极、负表笔接被测二极管负极，即可测量晶体二极管的正向压降，如图 3-66 所示。

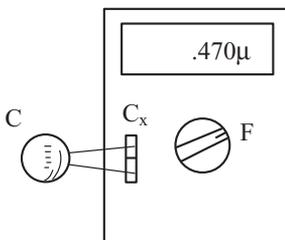


图 3-65 测量电容

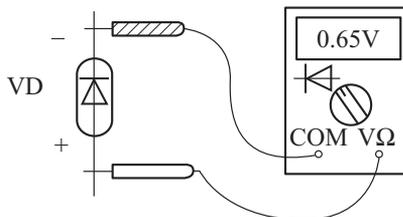


图 3-66 测量二极管正向压降

在此挡位还可进行通断测试，即将两表笔连接到被测线路的两点，如数字万用表内的蜂鸣器响起，则表示两表笔所接触的两点间导通或阻值低于 90Ω 。

(8) 测量晶体三极管

测量晶体三极管直流放大倍数时，不用接表笔，转动测量选择开关至“ h_{FE} ”挡，将被测晶体管插入数字万用表控制面板右上角的晶体管插孔即可测量，如图 3-67 所示。

晶体管插孔左半边标注为“PNP”，供测量 PNP 型晶体管用；右半边标注为

“NPN”，供测量 NPN 型晶体管用。例如，测量 S9014 晶体管，因为 S9014 是 NPN 型晶体管，所以应插入右边插孔中，如图 3-68 所示，LCD 显示屏即显示出被测晶体管的直流放大倍数。

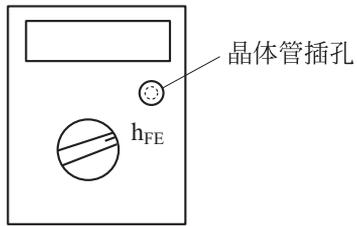


图 3-67 测量晶体三极管放大倍数

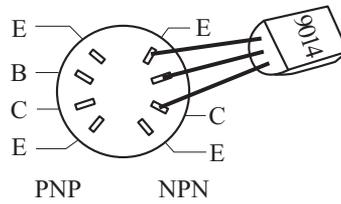


图 3-68 晶体三极管测量插孔

第4章

怎样识别和检测半导体管

半导体管是电子元器件中的核心器件，在各种电子电路中起着关键作用。常用半导体管主要有晶体二极管、晶体三极管、晶体闸流管、光电管等。电子爱好者入门的重要功课之一，就是要认识和了解常用半导体管，进而能够正确应用半导体管。下面我们就来具体地谈谈怎样认识和检测常用半导体管。

4.1 晶体二极管

晶体二极管通常简称为二极管。二极管最明显的特征是具有两个引脚（二极）。晶体二极管品种很多，大小各异，较常见的有玻璃壳二极管、塑封二极管、金属壳二极管、螺栓状金属壳二极管、微型二极管、功率型二极管等，如图 4-1 所示。

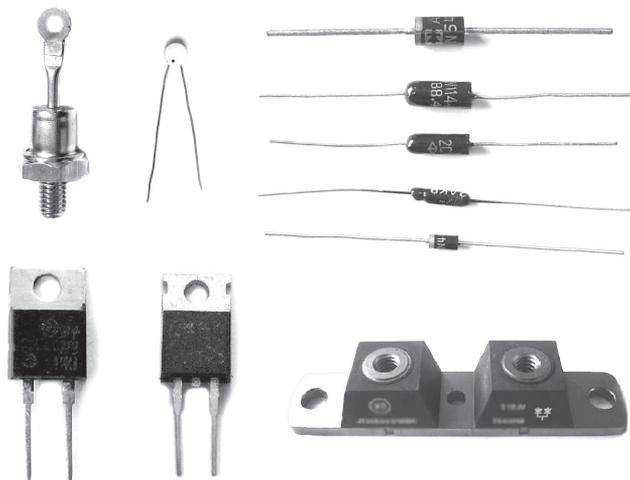


图 4-1 晶体二极管

✦ 4.1.1 认识晶体二极管

(1) 晶体二极管的符号与型号

晶体二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 4-2 所示。

各国各厂家对晶体二极管的型号命名有不同的规定。国产晶体二极管的型号命名由五部分组成，如图 4-3 所示：第一部分用数字“2”表示二极管，第二部分用字母表示材料和极性，第三部分用字母表示类型，第四部分用数字表示序号，第五部分用字母表示规格。

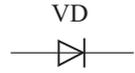


图 4-2 晶体二极管符号

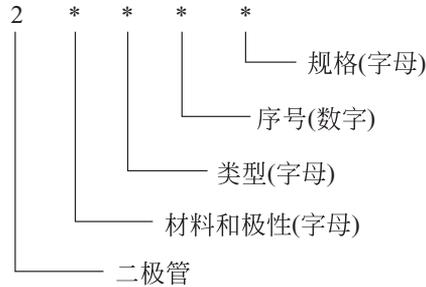


图 4-3 晶体二极管型号

晶体二极管型号的意义见表 4-1。例如，2AP9 为 N 型锗材料普通检波二极管，2CZ55A 为 N 型硅材料整流二极管，2CK71B 为 N 型硅材料开关二极管。

表 4-1 晶体二极管型号的意义

第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
2	A: N 型锗材料	P: 普通管	序号	规格 (可缺)
	B: P 型锗材料	Z: 整流管		
	C: N 型硅材料	K: 开关管		
	D: P 型硅材料	W: 稳压管		
	E: 化合物	L: 整流堆		
		C: 变容管		
		S: 隧道管		
		V: 微波管		
		N: 阻尼管		
	U: 光电管			

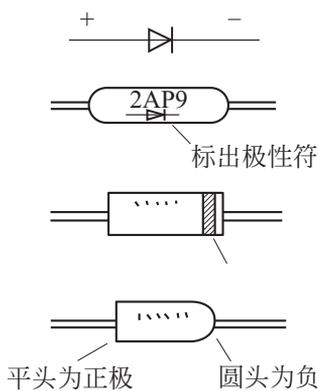


图 4-4 晶体二极管引脚

晶体二极管两引脚有正、负极之分，如图 4-4 所示。二极管符号中三角一端为正极，短杠一端为负极。二极管实物中，有的将电路符号印在二极管上标示出极性；有的在二极管负极一端印上一道色环作为负极标记；有的二极管两端形状不同，平头为正极、圆头为负极，使用中应注意识别。

(2) 晶体二极管的参数

晶体二极管的参数很多，常用的检波、整流二极管的主要参数有最大整流电流 I_{FM} 、最大反向电压 U_{RM} 和最高工作频率 f_M 等。

① 最大整流电流 I_{FM} ，是指二极管长期连续工作时，

允许正向通过 PN 结的最大平均电流。使用中实际工作电流应小于二极管的 I_{FM} ，否则将损坏二极管。

② 最大反向电压 U_{RM} ，是指反向加在二极管两端而不致引起 PN 结击穿的最大电压。使用中应选用 U_{RM} 大于实际工作电压 2 倍以上的二极管，如果实际工作电压的峰值超过 U_{RM} ，二极管将被击穿。

③ 最高工作频率 f_M 。由于 PN 结极间电容的影响，使二极管所能应用的工作频率有一个上限。 f_M 是指二极管能正常工作的最高频率。在作检波或高频整流使用时，应选用 f_M 至少 2 倍于电路实际工作频率的二极管，否则不能正常工作。

(3) 晶体二极管的作用

晶体二极管具有单向导电特性，就好像是一条单行线，只允许电流从正极流向负极，而不允许电流从负极流向正极，如图 4-5 所示。

锗二极管和硅二极管在正向导通时具有不同的正向管压降，当所加正向电压大于正向管压降时，二极管导通。锗二极管的正向管压降约为 0.3V，硅二极管的正向管压降约为 0.7V，如图 4-6 所示。从伏安特性曲线可见，二极管的电压与电流为非线性关系，因此晶体二极管是非线性半导体器件。

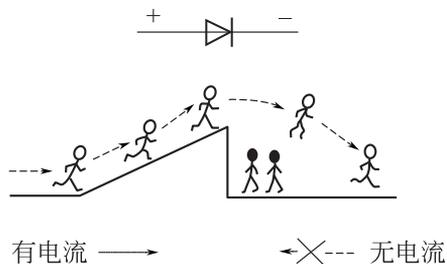


图 4-5 单向导电性

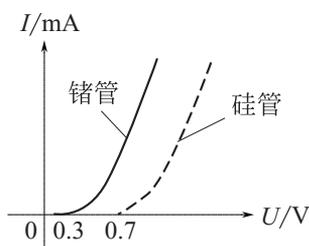


图 4-6 二极管伏安特性曲线

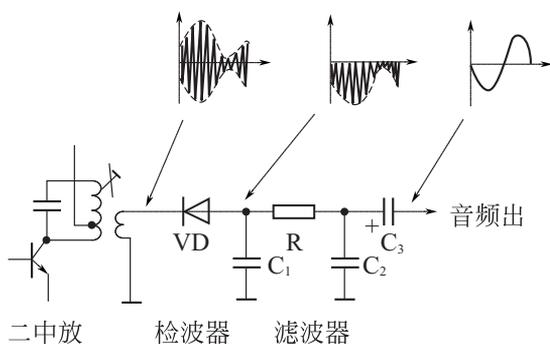


图 4-7 二极管检波

晶体二极管的主要作用之一是检波。如图 4-7 所示为超外差收音机检波电路，第二中放输出的调幅波加到二极管 VD 负极，其负半周通过了二极管，而正半周被截止，再由 RC 滤波器滤除其中的高频成分，输出的就是调制在载波上的音频信号，这个过程称为检波。

晶体二极管的另一主要作用是整流。如图 4-8 所示为整流电源电路，由于二极管的单向导电特性，在交流电压正半周时二极管 VD 导通，有输出；在交流电压负半周时二极管 VD 截止，无输出。经二极管 VD 整流出来的脉动电压再经 RC 滤波器滤波后即成为直流电压。

(4) 全桥整流堆

全桥整流堆通常简称为全桥，是一种整流二极管的组合器件，如图 4-9 所示。全桥整流堆有长方形、圆形、扁形、方形等，并有多种电压、电流、功率规格。全桥整流堆的文字符号为“UR”，图形符号如图 4-10 所示。

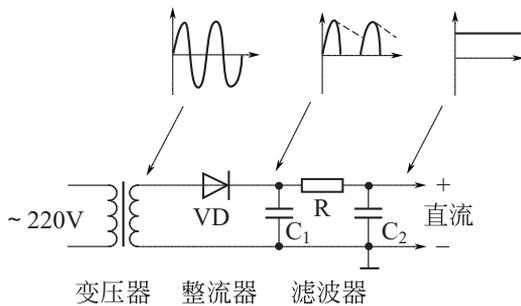


图 4-8 二极管整流

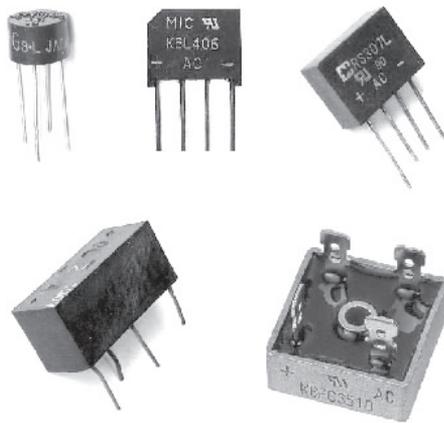


图 4-9 全桥整流堆

全桥整流堆内部包含 4 只整流二极管，并按一定规律连接，如图 4-11 所示。全桥整流堆有 4 个引脚，即两个交流输入端（用符号“~”标示）、一个直流正极输出端（用符号“+”标示）和一个直流负极输出端（用符号“-”标示）。

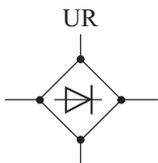


图 4-10 全桥整流堆符号

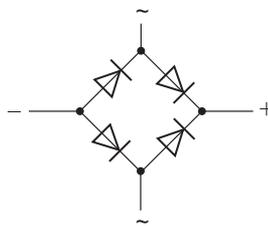


图 4-11 全桥整流堆结构

全桥整流堆主要用于桥式全波整流电路。当交流电正半周时，电流 I 经 VD_2 、负载 R 、 VD_4 形成回路，负载上电压 U_R 为上正下负，如图 4-12 所示。

当交流电负半周时，电流 I 经 VD_3 、负载 R 、 VD_1 形成回路，负载上电压 U_R 仍为上正下负，如图 4-13 所示，从而实现了全波整流。使用全桥整流堆，可以简化整流电路的结构。

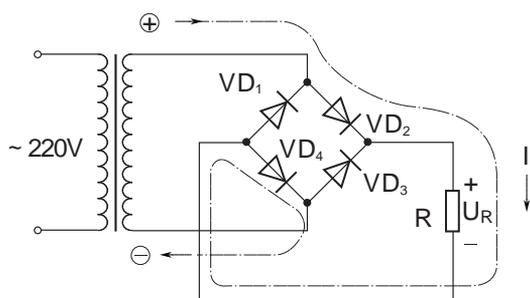


图 4-12 全波整流（正半周）

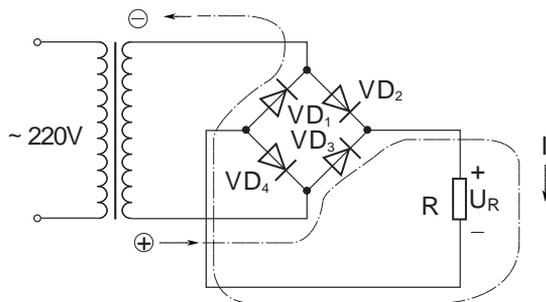


图 4-13 全波整流（负半周）

4.1.2 检测晶体二极管

晶体二极管可用万用表电阻挡进行引脚识别和检测，一般可将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡。检测前应先进行电阻挡校零，方法是将万用表两表笔短接，调节万用表面板上的电阻挡

校零旋钮，使万用表表针准确指向“0Ω”。

(1) 判别正、负极引脚

万用表两表笔分别接到二极管的两端，如果测得的电阻值较小，则为二极管的正向电阻，这时与黑表笔相连接的是二极管正极，与红表笔相连接的是二极管负极，如图 4-14 所示。

如果测得的电阻值很大，则为二极管的反向电阻，这时与黑表笔相接的是二极管负极，与红表笔相接的是二极管正极，如图 4-15 所示。

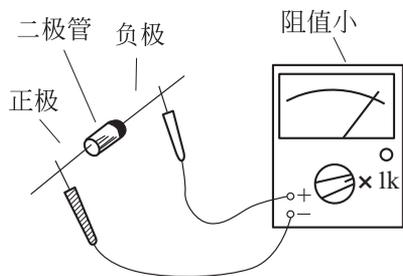


图 4-14 检测二极管正向电阻

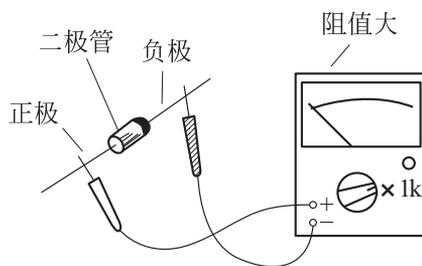


图 4-15 检测二极管反向电阻

这里需要说明的是红表笔应插入万用表“+”表笔插孔，它与表内电池负极相连。黑表笔应插入万用表“-”表笔插孔，它与表内电池正极相连。

(2) 检测二极管

正常的二极管，其正、反向电阻的阻值应该相差很大，且反向电阻接近于无穷大。如果某二极管正、反向电阻值均为无穷大，说明该二极管内部断路损坏。如果正、反向电阻值均为“0”，说明该二极管已被击穿短路。如果正、反向电阻值相差不大，说明该二极管质量太差，也不宜使用。

(3) 区分锗二极管与硅二极管

由于锗二极管和硅二极管的正向管压降不同，因此可以用测量二极管正向电阻的方法来区分。如果正向电阻小于 $1\text{k}\Omega$ ，则为锗二极管，如图 4-16 所示；如果正向电阻为 $1\sim 5\text{k}\Omega$ ，则为硅二极管，如图 4-17 所示。

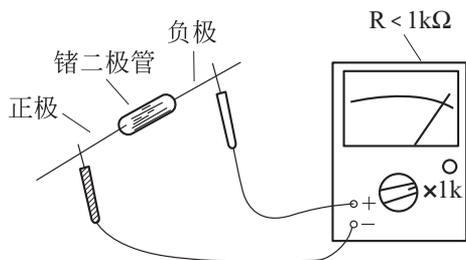


图 4-16 检测锗二极管

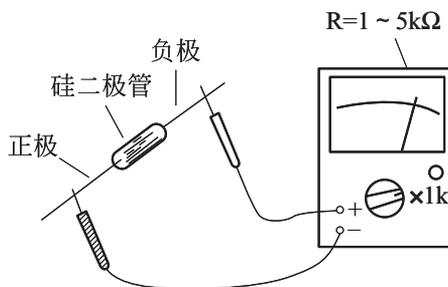


图 4-17 检测硅二极管

4.2 稳压二极管

稳压二极管顾名思义，就是能够稳定电压的二极管。稳压二极管是一种特殊的晶体二极管，与一般二极管不同的是稳压二极管工作于反向击穿状态。如图 4-18 所示为部分稳压二

极管外形。

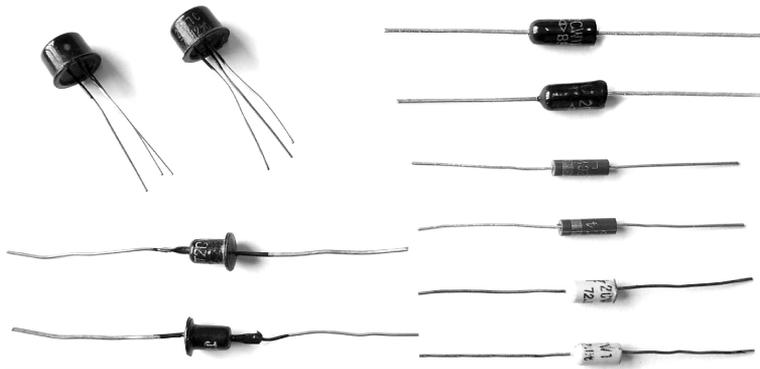


图 4-18 稳压二极管

4.2.1 认识稳压二极管

稳压二极管有许多种类。按封装不同可分为玻璃外壳、塑料封装、金属外壳稳压二极管等；按功率不同可分为小功率（1W 以下）和大功率稳压二极管；还可分为单向击穿（单极型）和双向击穿（双极型）稳压二极管等类型。

(1) 稳压二极管的符号

稳压二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 4-19 所示。

稳压二极管两引脚有正、负极之分。稳压二极管的管体上一般均印有负极标志或图形符号，如图 4-20 所示，使用时应注意识别（书f享在搜suo雅书yabook）。



图 4-19 稳压二极管符号

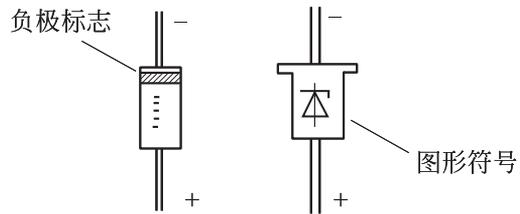


图 4-20 稳压二极管引脚

(2) 稳压二极管的参数

稳压二极管的主要参数是稳定电压 U_Z 和最大工作电流 I_{ZM} 。

① 稳定电压 U_Z ，是指稳压二极管在起稳压作用的范围内，其两端的反向电压值。不同型号的稳压二极管具有不同的稳定电压 U_Z ，使用时应根据需要选取。

② 最大工作电流 I_{ZM} ，是指稳压二极管长期正常工作时，所允许通过的最大反向电流值。使用中应控制通过稳压二极管的工作电流，使其不超过最大工作电流 I_{ZM} ，否则将烧毁稳压二极管。

(3) 稳压二极管的作用

稳压二极管是利用 PN 结反向击穿后，其端电压在一定范围内基本保持不变的原理工作的。图 4-21 是稳压二极管的伏安特性曲线。

当加上正向电压或反向电压较小时，稳压二极管与一般二极管一样具有单向导电性。当反向电压大到一定程度时，反向电流剧增，二极管进入了反向击穿区，这时即使反向电流在

很大范围内变化，二极管端电压仍保持基本不变，这个端电压即为稳定电压 U_Z 。只要使反向电流不超过最大工作电流 I_{ZM} ，稳压二极管是不会损坏的。

稳压二极管的作用是稳压，主要应用在各种稳压电路中。

如图 4-22 所示为简单并联稳压电路，稳压二极管 VD 上的电压即为输出电压。这种简单并联稳压电路主要应用在输入电压变化不大、负载电流较小的场合。

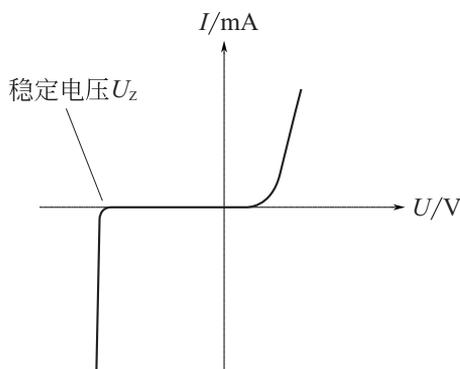


图 4-21 稳压二极管特性曲线

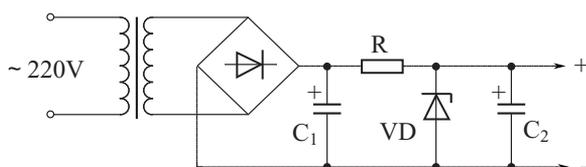


图 4-22 并联稳压电路

如图 4-23 所示为简单串联稳压电路，由于调整管 VT 的基极电压被稳压二极管 VD 所稳定，所以当输出电压发生变化时，调整管 VT 的基-射极间电压相应变化，使得 VT 的管压降向相反方向变化，从而使输出电压基本保持稳定。

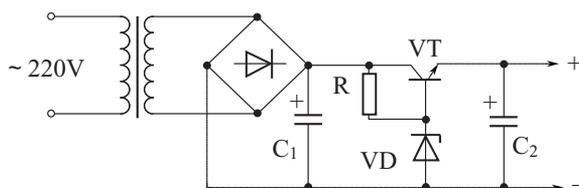


图 4-23 串联稳压电路

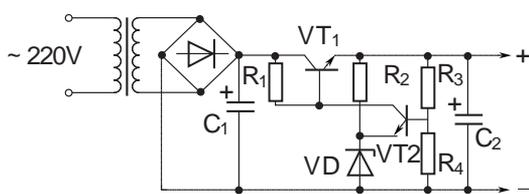


图 4-24 带放大串联稳压电路

如图 4-24 所示为应用广泛的典型串联稳压电路，在调整管 VT_1 基极与稳压二极管 VD 之间，增加了一个由 VT_2 构成的直流放大器，起比较放大作用，因此该电路稳压效果较好。当输出电压发生变化时， VT_2 将输出电压与稳压二极管 VD 提供的基准电压进行比较，并将差值放大后去控制调整管 VT_1

的管压降作相反方向的变化，从而保持输出电压稳定。

(4) 三引脚稳压二极管

三引脚稳压管是一种具有温度补偿的稳压二极管，如 2DW7 系列、2DW8 系列等，其外形与晶体三极管一样，具有三条引脚，其管壳内包含了两个背靠背反向串联的稳压二极管，如图 4-25 所示。

工作时，这两个反向串联的二极管一个反向击穿，另一个正向导通。由于二极管正向导通和反向击穿时的温度系数正好相反，可以互相抵消。因此，这类稳压二极管具有较高的温度稳定性，主要应用于对温度稳定度要求较高的精密稳压电路中。

三引脚稳压管的 1 脚和 2 脚分别为两个稳压二极管的负极，由于是对称的，可随意互换，使用时一个接电源正极，另一个接地。3 脚为两个稳压二极管的公共正极，悬空不用，如图 4-26 所示。

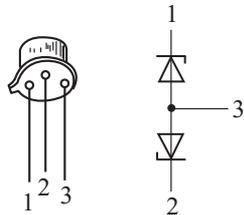


图 4-25 三引脚稳压管

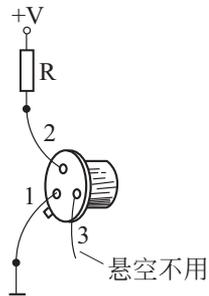


图 4-26 三引脚稳压管应用

(5) 瞬态电压抑制二极管

瞬态电压抑制二极管是一种特殊的稳压二极管，它在遇到高能量瞬态浪涌电压时，能迅速反向击穿，将浪涌电流分流，并将其电压钳位于规定值，起到过压保护作用。瞬态电压抑制二极管有单极型（单向击穿型）和双极型（双向击穿型）两种，其符号如图 4-27 所示。

单极型瞬态电压抑制二极管一般用于直流电路负载保护，如图 4-28 所示。VD 为单极型瞬态电压抑制二极管，R 是限流电阻。当电路出现浪涌高电压时，VD 迅速击穿泄放浪涌电流，并将电路电压钳位于规定值，保护了负载的安全。

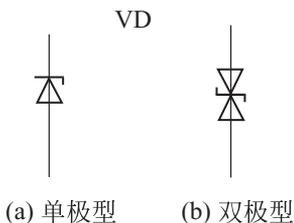


图 4-27 瞬态电压抑制二极管符号

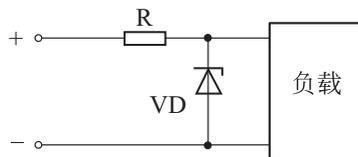


图 4-28 单极型瞬态电压抑制二极管应用

双极型瞬态电压抑制二极管具有双向过压保护功能，可用于包括交流电路在内的各电路不同部位的保护，如图 4-29 所示，VD₁、VD₂ 为双极型瞬态电压抑制二极管。

瞬态电压抑制二极管具有钳位系数很小、体积小、响应快（不到 1ns）、每次经受瞬态电压后性能不会下降、电压范围很宽等特点，可以有效降低由于雷电、电路中开关通断时感性元件产生的高压脉冲等的危害，在电话交换机、仪器电源电路、感性负载电路等系统中得到了广泛的应用。

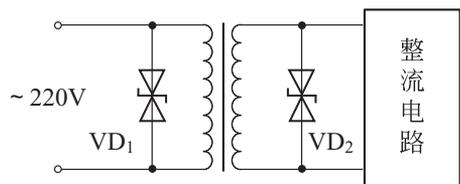


图 4-29 双极型瞬态电压抑制二极管应用

4.2.2 检测稳压二极管

稳压二极管可用万用表电阻挡进行引脚识别和检测，方法与检测晶体二极管基本相同，只是稳压二极管的反向电阻要小一些。如何测量稳压二极管的稳压值呢，可以用以下两种方法。

(1) 万用表电阻挡测量

对于稳压值在 15V 以下的稳压二极管，可以用 MF47 万用表直接测量其稳压值。方法是将万用表置于“R×10k”挡，红表笔（表内电池负极）接稳压二极管正极，黑表笔（表内电池正极）接稳压二极管负极，如图 4-30 所示。

因为 MF47 万用表内“R×10k”挡所用高压电池为 15V，所以读取测量数值时，刻度线最左端为 15V，最右端为“0”。例如，测量时表针指在左 1/3 处，则其读数为 10V，如图 4-31 所示。

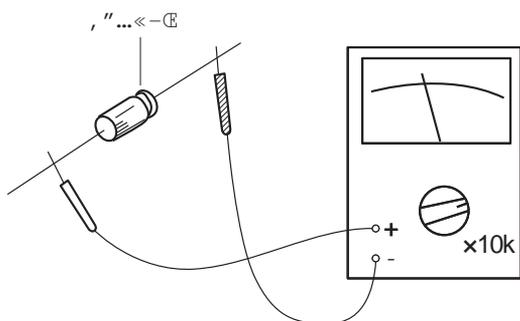


图 4-30 电阻挡测量稳压值

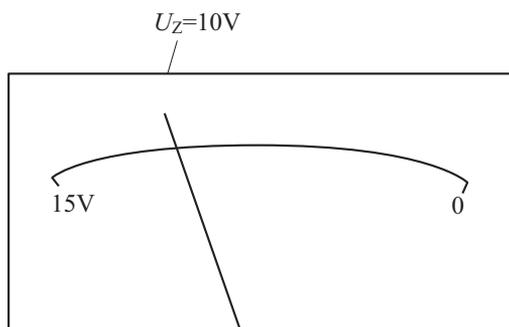


图 4-31 稳压值的读数

可利用万用表原有的 50V 挡刻度来读数，并代入公式求出：稳压值 = $\frac{50-X}{50} \times 15\text{V}$ ，式中，X 为 50V 挡刻度线上的读数。如果所用万用表的“R×10k”挡高压电池不是 15V，则将上式中的“15V”改为自己所用万用表内高压电池的电压值即可。

(2) 万用表电压挡测量

对于稳压值 $\geq 15\text{V}$ 的稳压二极管，可以按图 4-32 所示，用一输出电压大于稳压值的直流电源，通过限流电阻 R 给稳压二极管加上反向电压，用万用表直流电压挡即可直接测量出稳压二极管的稳压值。测量时，适当选取限流电阻 R 的阻值，使稳压二极管反向工作电流为 5~10mA 即可。

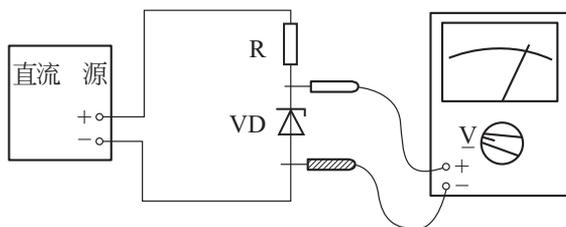


图 4-32 电压挡测量稳压值

4.3 晶体三极管

晶体三极管通常简称为三极管。除了晶体三极管，电子管也有三极管，由于目前使用很少，因此我们将晶体三极管简称为三极管并不会引起混淆。

晶体三极管最明显的特征是具有三个引脚（三极）。晶体三极管的种类繁多，外形

多样，如图 4-33 所示。晶体三极管是电子电路中的核心器件之一，在各种电路中的应用十分广泛。

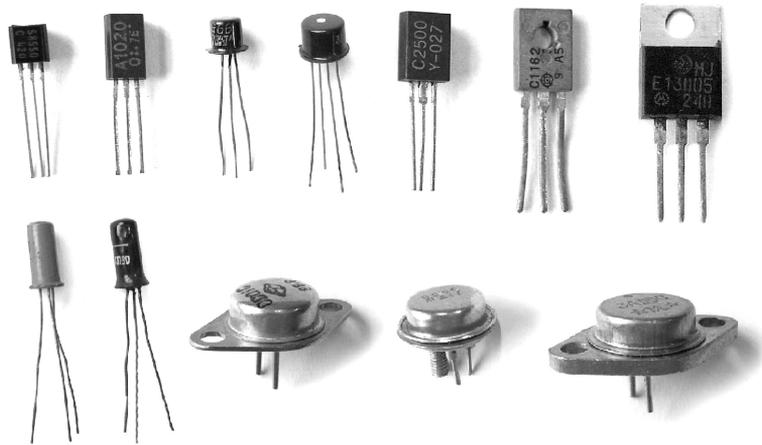


图 4-33 晶体三极管

4.3.1 认识晶体三极管

晶体三极管按所用半导体材料的不同，可分为锗管、硅管和化合物管。按导电性不同，可分为 NPN 型和 PNP 型两大类。按截止频率高低，可分为超高频管、高频管 ($\geq 3\text{MHz}$) 和低频管 ($< 3\text{MHz}$)。按耗散功率大小，可分为小功率管 ($< 1\text{W}$) 和大功率管 ($\geq 1\text{W}$)。按用途不同，可分为低频放大管、高频放大管、开关管、低噪声管、高反压管、复合管等。

(1) 晶体三极管的符号与型号

晶体三极管的文字符号为“VT”，图形符号如图 4-34 所示。

各国各厂家对晶体三极管的型号命名有不同的规定。国产晶体三极管的型号命名由五部分组成，如图 4-35 所示。第一部分用数字“3”表示三极管，第二部分用字母表示材料和极性，第三部分用字母表示类型，第四部分用数字表示序号，第五部分用字母表示规格。

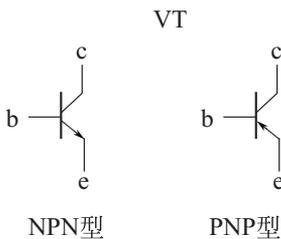


图 4-34 晶体三极管符号

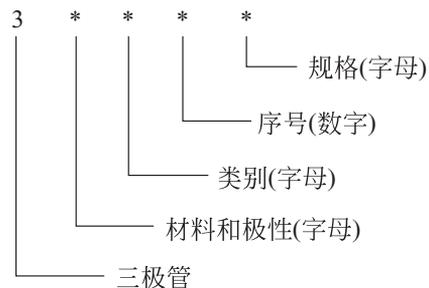


图 4-35 晶体三极管型号

晶体三极管型号的意义见表 4-2。例如，3AX31 为 PNP 型锗材料低频小功率晶体三极管，3DG6B 为 NPN 型硅材料高频小功率晶体三极管，3DK7 为 NPN 型硅材料开关晶体三极管。

表 4-2 晶体三极管型号的意义

第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
3	A:PNP 型锗材料	X:低频小功率管	序 号	规格 (可 缺)
	B:NPN 型锗材料	G:高频小功率管		
	C:PNP 型硅材料	D:低频大功率管		
	D:NPN 型硅材料	A:高频大功率管		
	E:化合物材料	K:开关管		
		T:闸流管		
		J:结型场效应管		
		O:MOS 场效应管		
	U:光电管			

晶体三极管具有三根引脚，分别是基极 b、发射极 e 和集电极 c，使用中应识别清楚。绝大多数小功率三极管的引脚均按 e-b-c 的标准顺序排列，并标有标志，如图 4-36 所示。但也有例外，如某些三极管型号后有后缀“R”，其引脚排列顺序往往是 e-c-b。

(2) 晶体三极管的参数

晶体三极管的参数很多，包括直流参数、交流参数、极限参数三类，主要的有电流放大系数 β 、特征频率 f_T 、集电极-发射极击穿电压 BU_{CE0} 、集电极最大电流 I_{CM} 、集电极最大功耗 P_{CM} 等。

① 电流放大系数 β 和 h_{FE} 。是晶体三极管的主要电参数之一。 β 是晶体三极管的交流电流放大系数，指集电极电流 I_c 的变化量与基极电流 I_b 的变化量之比，反映了晶体三极管对交流信号的放大能力。 h_{FE} 是晶体三极管的直流电流放大系数，指集电极电流 I_c 与基极电流 I_b 的比值，反映了晶体三极管对直流信号的放大能力。如图 4-37 所示为 3DG6 管的输出特性曲线，当 I_b 从 $40\mu A$ 上升到 $60\mu A$ 时，相应的 I_c 从 $6mA$ 上升到 $9mA$ ，其放大系数 $\beta = \frac{(9-6) \times 10^3}{60-40} = 150$ 。

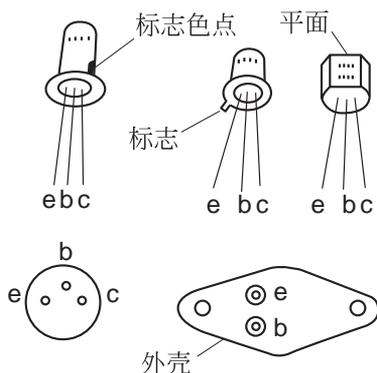


图 4-36 晶体三极管引脚

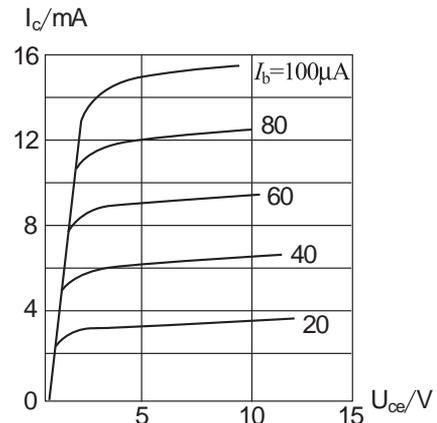


图 4-37 3DG6 输出特性曲线

② 特征频率 f_T 。是晶体三极管的另一主要电参数。晶体三极管的电流放大系数 β 与工

作频率有关，工作频率超过一定值时， β 值开始下降。当 β 值下降为 1 时，所对应的频率即为特征频率 f_T ，如图 4-38 所示，这时晶体三极管已完全没有电流放大能力。一般应使晶体三极管工作于 $5\%f_T$ 以下。

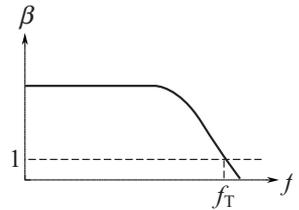


图 4-38 特征频率的意义

③ 集电极-发射极击穿电压 BU_{CEO} 。是晶体三极管的一项极限参数。 BU_{CEO} 是指基极开路时，所允许加在集电极与发射极之间的最大电压。工作电压超过 BU_{CEO} ，晶体三极管将可能被击穿。

④ 集电极最大电流 I_{CM} 。也是晶体三极管的一项极限参数。 I_{CM} 是指晶体三极管正常工作时，集电极所允许通过的最大电流。晶体三极管的工作电流不应超过 I_{CM} 。

⑤ 集电极最大功耗 P_{CM} 。是晶体三极管的又一项极限参数。 P_{CM} 是指晶体三极管性能不变坏时所允许的最大集电极耗散功率。使用时晶体三极管实际功耗应小于 P_{CM} ，并留有一定余量，以防烧管。

(3) 晶体三极管的作用

晶体三极管的基本工作原理如图 4-39 所示（以 NPN 型管为例）。当给基极（输入端）输入一个较小的基极电流 I_b 时，其集电极（输出端）将按比例产生一个较大的集电极电流 I_c ，这个比例就是三极管的电流放大系数 β ，即 $I_c = \beta I_b$ 。发射极是公共端，发射极电流 $I_e = I_b + I_c = (1 + \beta) I_b$ 。可见，集电极电流和发射极电流受基极电流的控制，所以晶体三极管是电流控制型器件。

① 晶体三极管最基本的作用是放大。如图 4-40 所示为晶体三极管放大电路，输入信号 V_i 经 C_1 加至三极管 VT 基极，使其集电极电流相应变化，并在集电极负载电阻 R_c 上产生压降，经 C_2 输出。由于输出电压等于电源电压与 R_c 上压降的差值，因此输出电压 V_o 与输入电压 V_i 相位相反。 R_1 、 R_2 为 VT 的基极偏置电阻。

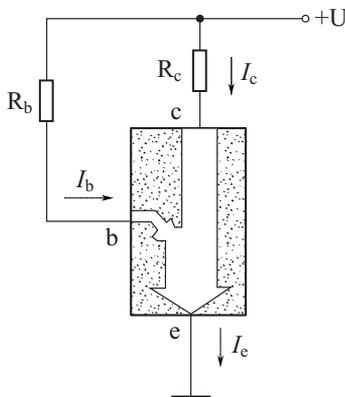


图 4-39 晶体三极管工作原理

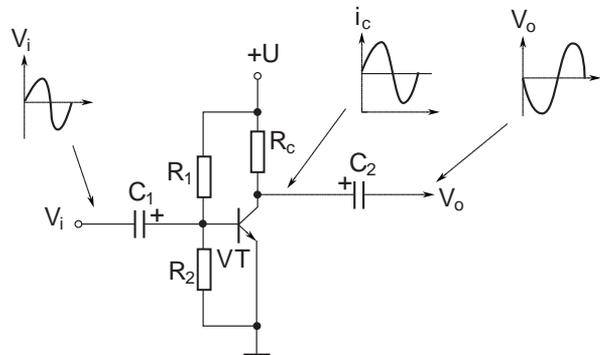


图 4-40 放大电路

② 晶体三极管可以用作振荡。如图 4-41 所示为电子门铃电路，三极管 VT 与变压器 T 等构成变压器反馈音频振荡器，由于变压器 T 初、次级之间的倒相作用，VT 集电极的音频信号经 T 耦合后正反馈至其基极，形成振荡。

③ 晶体三极管具有开关作用。如图 4-42 所示为驱动发光二极管的电子开关电路，开关管 VT 的基极由脉冲信号 CP 控制，当 $CP = 1$ 时 VT 导通，发光二极管 VD 发光；当 $CP = 0$ 时 VT 截止，发光二极管 VD 熄灭。R 为限流电阻。

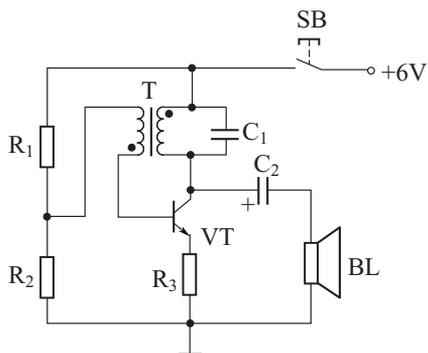


图 4-41 振荡电路

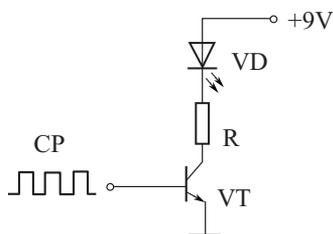


图 4-42 开关电路

④ 晶体三极管可以用作可变电阻。如图 4-43 所示为录音机录音电平自动控制电路 (ALC 电路)，话筒输出的信号经 R_2 与 VT 集-射极间等效电阻分压后，送往放大器进行放大。由于晶体三极管集-射极间等效电阻随其基极电流变化而变化，而基极电流由放大器输出信号经整流获得的控制电平控制，使分压比随输出信号作反向改变，从而实现录音电平自动控制。

⑤ 晶体三极管还具有阻抗变换的作用。如图 4-44 所示为射极跟随器电路，由于电路输出信号自三极管 VT 的发射极发出，输出电压全部负反馈到输入端，所以射极跟随器具有很高的输入阻抗 Z_i 和很小的输出阻抗 Z_o ，常用作阻抗变换、缓冲等。

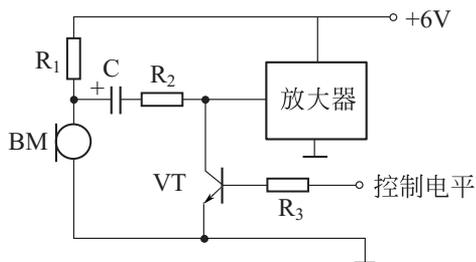


图 4-43 可变电阻电路

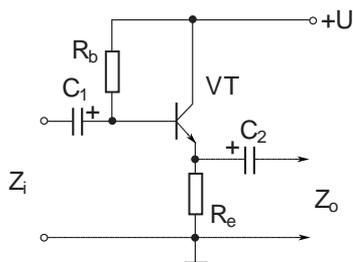


图 4-44 阻抗变换电路

(4) 特殊晶体三极管

除了普通三极管外，晶体三极管家族中还有一些特殊的成员，例如，复合管、带阻三极管等。

复合管是由两个或更多三极管按一定规律组合在一起而成。达林顿管就是一种复合管，如图 4-45 所示为两个 NPN 型三极管构成的达林顿管，等效为一个高 β 值的晶体三极管， $\beta = \beta_1 \beta_2$ 。达林顿管也可由两个 PNP 管或者一个 PNP 管和一个 NPN 管构成，如图 4-46 所示。

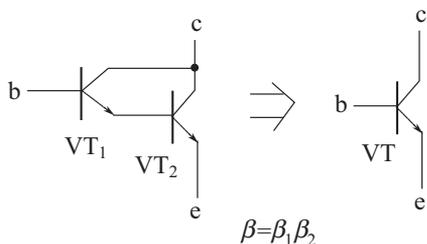


图 4-45 达林顿复合管

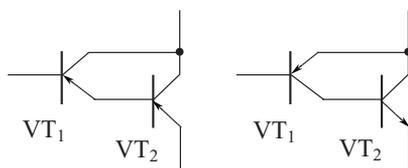


图 4-46 达林顿管的其他形式

带阻三极管是一种内部包含有一个或几个电阻的晶体三极管，近年来在家用电器和音像设备中应用较多。如图 4-47 所示为较常见的两种带阻三极管内部电路结构。

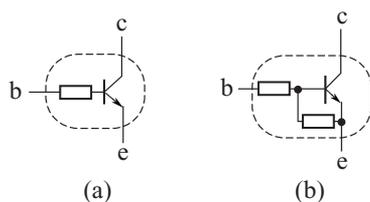


图 4-47 带阻三极管

4.3.2 检测晶体三极管

晶体三极管可以用万用表电阻挡进行引脚识别和检测。检测时将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，并首先进行电阻挡校零。

(1) 检测 NPN 三极管

检测 NPN 三极管的方法如图 4-48 所示，先用黑表笔接某一引脚，红表笔分别接另外两引脚，测得两个电阻值。再将黑表笔换接另一引脚，重复以上步骤，直至测得两个电阻值都很小，这时黑表笔所接的是基极 b。改用红表笔接基极 b，黑表笔分别接另外两引脚，测得两个电阻值应都很大，说明被测三极管基本上是好的。

(2) 检测 PNP 三极管

检测 PNP 三极管的方法如图 4-49 所示，先用红表笔接某一引脚，黑表笔分别接另外两引脚，测得两个电阻值。再将红表笔换接另一引脚，重复以上步骤，直至测得两个电阻值都很小，这时红表笔所接的是基极 b。改用黑表笔接基极 b，红表笔分别接另外两引脚，测得两个电阻值应都很大，说明被测三极管基本上是好的。

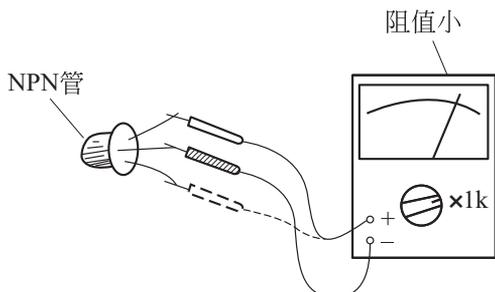


图 4-48 检测 NPN 三极管

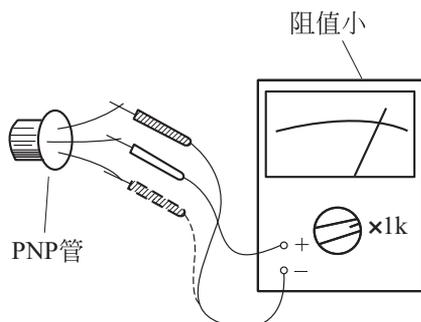


图 4-49 检测 PNP 三极管

(3) 电阻挡测量三极管放大倍数

基极 b 确定以后，即可识别集电极 c 和发射极 e，并测量三极管的电流放大系数 β 。

以 NPN 管为例，测量时将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，红表笔接基极以外的一引脚，左手拇指与中指将黑表笔与基极捏在一起，同时用左手食指触摸余下的引脚，这时表针应向右摆动，如图 4-50 所示。

将基极以外的两引脚对调后再测一次。两次测量中，表针摆动幅度较大的那一次，黑表笔所接为集电极 c，红表笔所接为发射极 e。表针摆动幅度越大，说明被测三极管的 β 值越大。

(4) 专门挡测量三极管放大倍数

MF47 等具有“ β ”或“ h_{FE} ”挡的万用表，测量三极管放大倍数更加方便。将万用表置于“ h_{FE} ”挡，如图 4-51 所示将三极管插入测量插座（基极插入 b 孔，另两引脚随意插入），记下 β 读数。

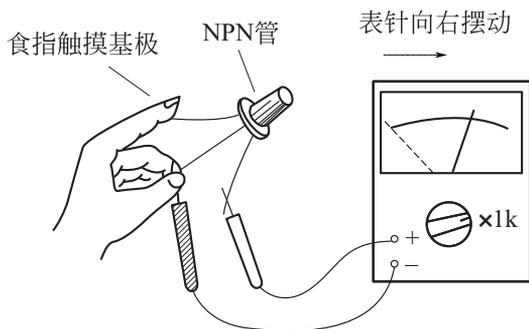


图 4-50 电阻挡测量放大倍数

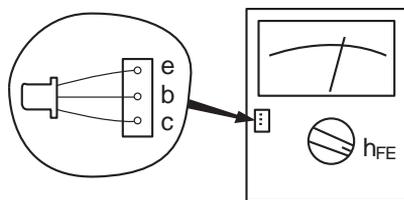


图 4-51 专门挡测量放大倍数

再将基极以外的两引脚对调后插入，也记下 β 读数。两次测量中， β 读数大的那一次引脚插入是正确的。测量时需注意 NPN 管和 PNP 管应插入各自相应的插座。

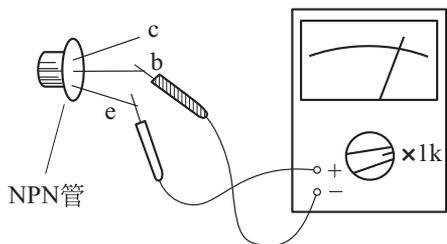


图 4-52 区分锗三极管与硅三极管

(5) 区分锗三极管与硅三极管

由于锗材料三极管的 PN 结压降约为 0.3V，而硅材料三极管的 PN 结压降约为 0.7V，所以可通过测量 b-e 结正向电阻的方法来区分锗三极管与硅三极管。测量时万用表置于“R×1k”挡，对于 NPN 管，黑表笔接基极 b，红表笔接发射极 e，如果测得的电阻值小于 $1k\Omega$ ，则被测管是锗三极管。如果测得的电阻值在 $5\sim 10k\Omega$ ，则被测管是硅三极管，如图 4-52 所示。对于 PNP 管，则对调两表笔后测量

即可。

4.4 场效应管

场效应管也是一种晶体管，由于它是利用场效应原理工作的，所以称之为场效应管。与普通双极型晶体管相比较，场效应管具有输入阻抗高、噪声低、动态范围大、功耗小、易于集成等特点，得到了越来越广泛的应用。场效应管的种类也很多，如图 4-53 所示。

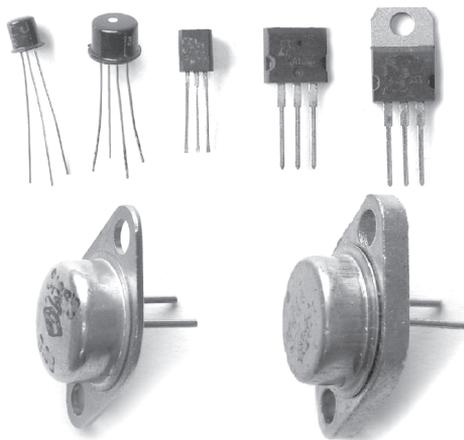


图 4-53 场效应管

4.4.1 认识场效应管

场效应管主要分为结型场效应管和绝缘栅场效应管两大类。绝缘栅场效应管也叫作金属氧化物半导体场效应管，简称为 MOS 场效应管。结型场效应管又分为 N 沟道管和 P 沟道管。绝缘栅场效应管又分为耗尽型 MOS 管和增强型 MOS 管，又都有 N 沟道和 P 沟道之分。

场效应管还有单栅极管和双栅极管之分。双栅场效应管具有两个互相独立的栅极 G_1 和 G_2 ，从结构上看相当于由两个单栅场效应管串联而成，其输出电流的变化受到两个栅极电压的控制。双栅场效应管的这种特性，使得其用作高频放大器、增益控制放大器、混频器和解调器时带来很大方便。

(1) 场效应管的符号

场效应管的文字符号为“VT”，图形符号如图 4-54 所示。

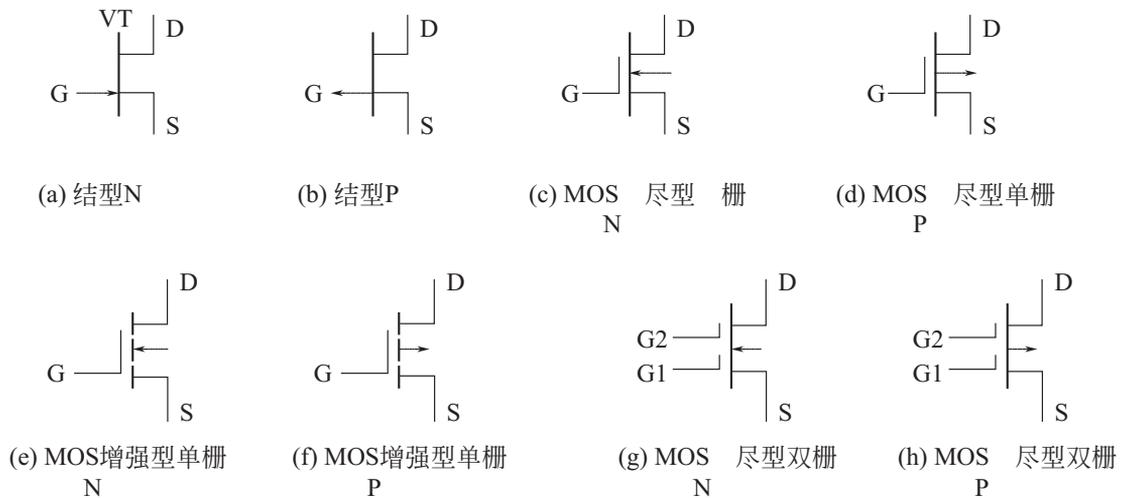


图 4-54 场效应管符号

场效应管一般具有 3 个引脚（双栅管有 4 个引脚），它们是栅极 G、源极 S 和漏极 D，它们的功能分别对应于双极型晶体管的基极 b、发射极 e 和集电极 c。由于场效应管的源极 S 和漏极 D 是对称的，实际使用中可以互换。如图 4-55 所示为一些常用场效应管的引脚，使用中应注意识别。

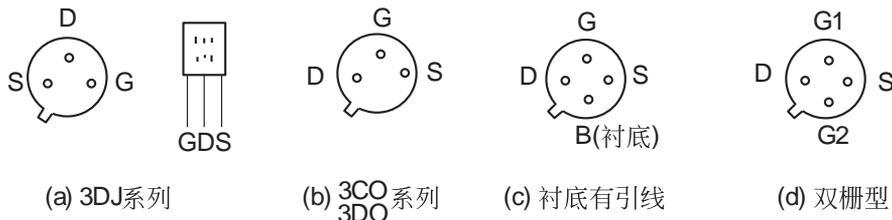


图 4-55 场效应管引脚

(2) 场效应管的参数

场效应管的参数很多，包括直流参数、交流参数和极限参数，主要有饱和漏源电流 I_{DSS} 、夹断电压 U_P （结型管和耗尽型绝缘栅管）、开启电压 U_T （增强型绝缘栅管）、跨导

g_m 、漏源击穿电压 BU_{DS} 、最大耗散功率 P_{DSM} 和最大漏源电流 I_{DSM} 等。

① 饱和漏源电流 I_{DSS} 。是指结型或耗尽型绝缘栅场效应管中，栅极电压 $U_{GS}=0$ 时的漏源电流。

② 夹断电压 U_P 。是指结型或耗尽型绝缘栅场效应管中，使漏源间刚截止时的栅极电压。如图 4-56 所示为 N 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线，如图 4-57 所示为 P 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线，可明确看出 I_{DSS} 和 U_P 的意义。

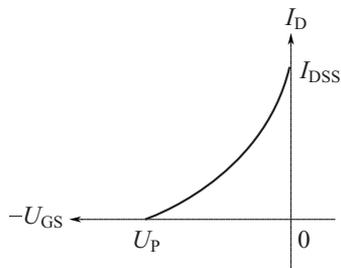


图 4-56 N 沟道场效应管曲线

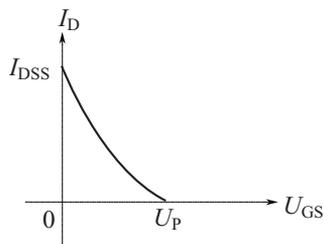


图 4-57 P 沟道场效应管曲线

③ 开启电压 U_T 。是指增强型绝缘栅场效应管中，使漏源间刚导通时的栅极电压。如图 4-58 所示为 N 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线，图 4-59 所示为 P 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线，可明确看出 U_T 的意义。

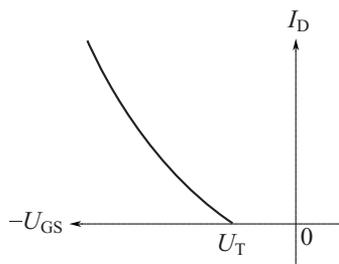


图 4-58 N 沟道场效应管开启电压

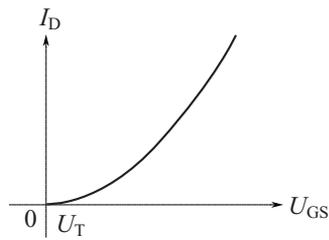


图 4-59 P 沟道场效应管开启电压

④ 跨导 g_m 。是表示栅源电压 U_{GS} 对漏极电流 I_D 的控制能力，即漏极电流 I_D 变化量与栅源电压 U_{GS} 变化量的比值。 g_m 是衡量场效应管放大能力的重要参数。

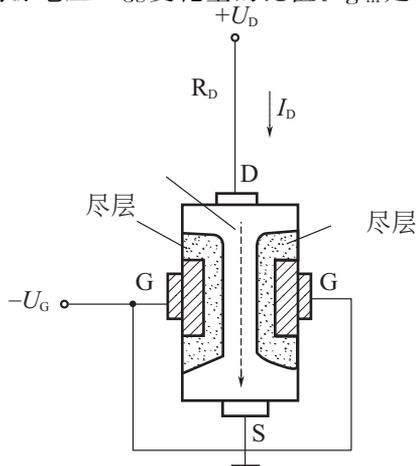


图 4-60 场效应管工作原理

⑤ 漏源击穿电压 BU_{DS} 。是指栅源电压 U_{GS} 一定时，场效应管正常工作所能承受的最大漏源电压。这是一项极限参数，加在场效应管上的工作电压必须小于 BU_{DS} 。

⑥ 最大耗散功率 P_{DSM} 。也是一项极限参数，是指场效应管性能不变坏时所允许的最大漏源耗散功率。使用时场效应管实际功耗应小于 P_{DSM} 并留有一定余量。

⑦ 最大漏源电流 I_{DSM} 。是又一项极限参数，是指场效应管正常工作时，漏源间所允许通过的最大电流。场效应管的工作电流不应超过 I_{DSM} 。

(3) 场效应管的作用

场效应管的基本工作原理如图 4-60 所示（以结型

N沟道管为例)。由于栅极G接有负偏压 $-U_G$ ，在G附近形成耗尽层。当负偏压($-U_G$)绝对值增大时，耗尽层增大，沟道减小，漏极电流 I_D 减小；当负偏压($-U_G$)绝对值减小时，耗尽层减小，沟道增大，漏极电流 I_D 增大。可见，漏极电流 I_D 受栅极电压的控制，所以，场效应管是电压控制器件，即通过输入电压的变化来控制输出电流的变化，从而达到放大等目的。

和双极型晶体管一样，场效应管工作时栅极也应加偏置电压。结型场效应管的栅极应加反向偏置电压，即N沟道管加负栅压，P沟道管加正栅压。增强型绝缘栅场效应管应加正向栅压。耗尽型绝缘栅场效应管的栅压可正可负，也可为“0”，见表4-3。加偏压的方法有固定偏置法、自给偏置法、直接耦合法等。

表 4-3 场效应管的偏置电压

类 型	沟 道	电 压 极 性	
		U_D	U_G
结 型	N	+	-
	P	-	+
MOS 耗尽型	N	+	-、0、+
	P	-	+、0、-
MOS 增强型	N	+	+
	P	-	-

场效应管广泛应用于放大、调制、阻抗变换、恒流源、可变电阻等场合。

① 如图4-61所示为场效应管放大器，输入信号 U_i 经 C_1 加至场效应管VT的栅极，使其漏极电流 I_D 相应变化，并在负载电阻 R_D 上产生压降，经 C_2 输出。 I_D 与 U_i 同相， U_o 与 U_i 反相。VT采用自给偏置法， R_G 为栅极电阻， R_S 为源极电阻。由于场效应管放大器的输入阻抗很高，因此耦合电容可以容量较小，不必使用电解电容器。

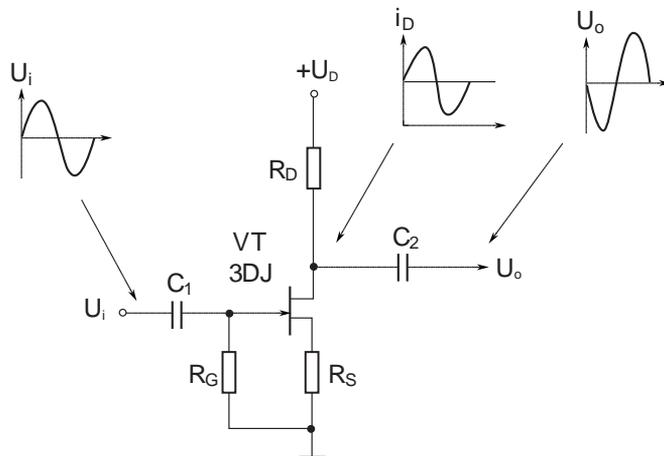


图 4-61 场效应管放大器

② 场效应管很高的输入阻抗非常适合作阻抗变换。如图4-62所示为场效应管源极输出器，其特点是输入阻抗 Z_i 很高、输出阻抗 Z_o 较低，常用于多级放大器的输入级作阻抗变换。

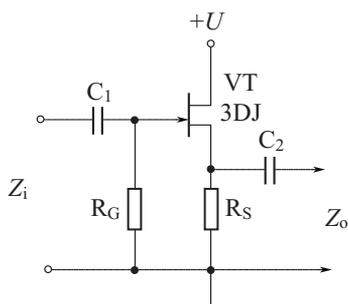


图 4-62 场效应管源极输出器

③ 场效应管可以用作可变电阻。如图 4-63 所示为录音机自动电平控制电路，当输入信号 U_i 增大导致 U_o 增大时，由 U_o 经 VD 负向整流后形成的栅极偏压 $-U_G$ 的绝对值也增大，使场效应管 VT 的等效电阻增大， R_1 与其的分压比减小，使进入放大器的信号电压减小，最终使 U_o 保持基本不变。

④ 场效应管可以方便地用作恒流源，如图 4-64 所示。如果漏极电流 I_D 因故增大，源极电阻 R_S 上形成的负栅压也随之增大，迫使 I_D 回落，反之亦然，使 I_D 保持恒定。恒定电流 $I_D = \frac{|U_p|}{R_S}$ 。

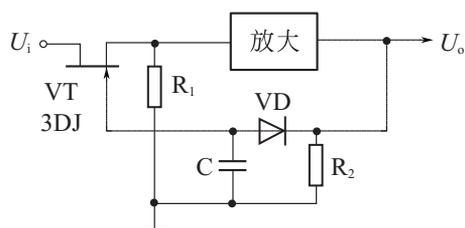


图 4-63 场效应管作可变电阻

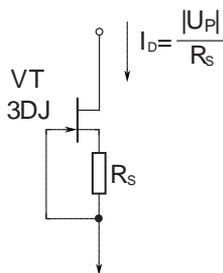


图 4-64 场效应管恒流源

⑤ 场效应管还可以用作电子开关。如图 4-65 所示为直流信号调制电路，场效应管 VT_1 、 VT_2 工作于开关状态，其栅极分别接入频率相同、相位相反的方波电压。当 VT_1 导通、 VT_2 截止时， U_i 向 C 充电；当 VT_1 截止、 VT_2 导通时，C 放电；其输出 U_o 便是与输入直流电压 U_i 相关的交变电压。

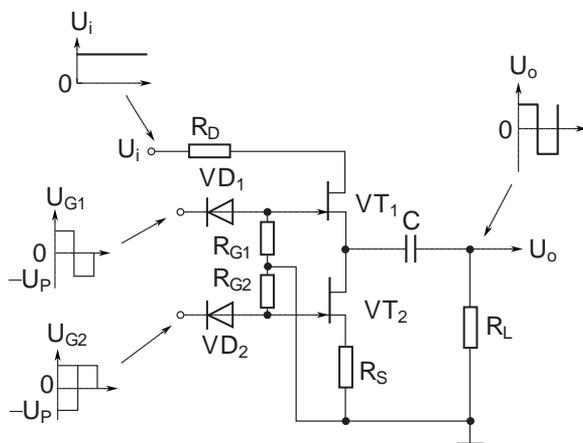


图 4-65 场效应管作电子开关

4.4.2 检测场效应管

场效应管可以用万用表电阻挡进行引脚识别和检测，检测时万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，并首先进行电阻挡校零。

(1) 引脚识别

结型场效应管的引脚识别方法如图 4-66 所示, 万用表置于“R×1k”挡, 用两表笔分别测量每两个引脚间的正、反向电阻。当某两个引脚间的正、反向电阻相等, 均为数千欧时, 则这两个引脚为漏极 D 和源极 S (可互换), 余下的一个引脚即为栅极 G。

(2) 检测与区分

如图 4-67 所示, 万用表黑表笔接栅极 G, 红表笔分别接另外两引脚, 如果测得两个电阻值均很大, 则为 N 沟道场效应管。如果测得两个电阻值均很小, 则为 P 沟道场效应管。如果测量结果不符合以上两步, 则说明该场效应管已坏或性能不良。

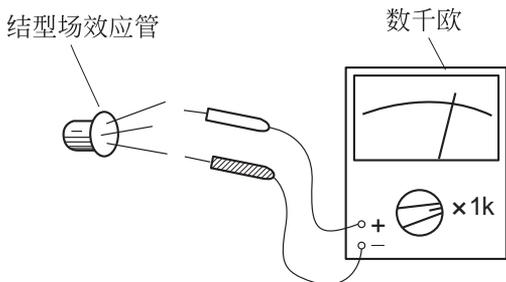


图 4-66 引脚识别

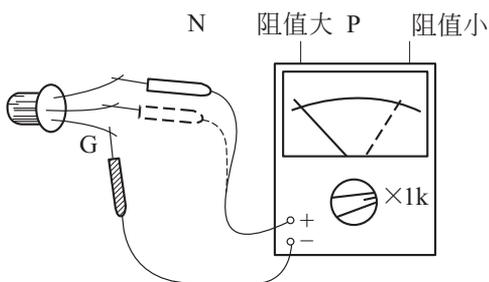


图 4-67 检测场效应管

(3) 估测结型场效应管放大能力

估测结型场效应管的放大能力时, 将万用表置于“R×100”挡, 两表笔分别接漏极 D 和源极 S, 然后用手捏住栅极 G (注入人体感应电压), 表针应向左或向右摆动, 如图 4-68 所示。表针摆动幅度越大说明场效应管的放大能力越大。如果表针不动, 说明该管已坏。

(4) 估测绝缘栅场效应管放大能力

估测绝缘栅场效应管 (MOS 管) 的放大能力时, 由于其输入阻抗很高, 为防止人体感应电压引起栅极击穿, 不要用手直接接触栅极 G, 而应手拿螺钉旋具的绝缘柄, 用螺钉旋具的金属杆去接触栅极 G, 如图 4-69 所示。判断方法与测量结型场效应管相同。

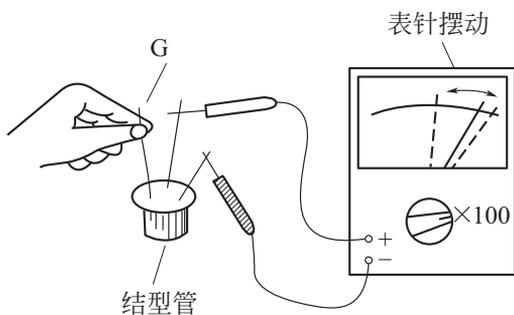


图 4-68 检测场效应管

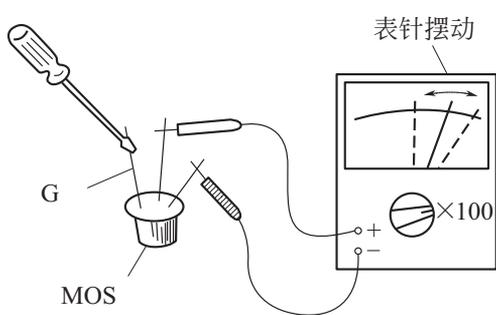


图 4-69 检测场效应管

4.5 单结晶体管

单结晶体管又称为双基极二极管, 是一种具有一个 PN 结和两个欧姆电极的负阻半导体器件。单结晶体管可分为 N 型基极单结晶体管和 P 型基极单结晶体管两大类, 具有陶瓷封

装和金属壳封装等形式，如图 4-70 所示为常见单结晶体管。



图 4-70 单结晶体管

4.5.1 认识单结晶体管

单结晶体管的文字符号为“V”，图形符号如图 4-71 所示。

国产单结晶体管的型号命名由五部分组成，如图 4-72 所示。第一部分用字母“B”表示半导体管，第二部分用字母“T”表示特种管，第三部分用数字“3”表示有三个电极，第四部分用数字表示耗散功率，第五部分用字母表示特性参数分类。

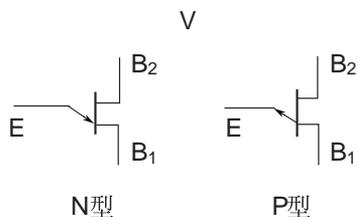


图 4-71 单结晶体管符号

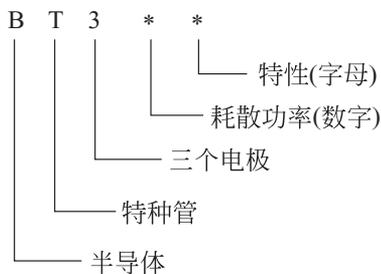


图 4-72 单结晶体管型号

单结晶体管共有三个引脚，分别是发射极 E、第一基极 B₁ 和第二基极 B₂。如图 4-73 所示为两种典型单结晶体管的引脚。

(1) 单结晶体管的参数

单结晶体管的主要参数有分压比、峰点电压与电流、谷点电压与电流、调制电流和耗散功率等。

① 分压比 η 。是指单结晶体管发射极 E 至第一基极 B₁ 间的电压（不包括 PN 结管压降）占两基极间电压的比例，如图 4-74 所示。 η 是单结晶体管很重要的参数，一般在 0.3~0.9，是由管子内部结构所决定的常数。

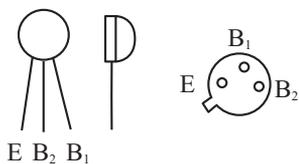


图 4-73 单结晶体管引脚

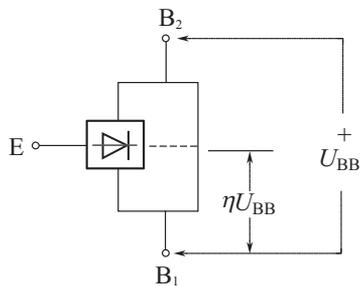


图 4-74 分压比的意义

② 峰点电压 U_P 。是指单晶体管刚开始导通时的发射极 E 与第一基极 B_1 间的电压，其所对应的发射极电流叫作峰点电流 I_P ，如图 4-75 所示。

③ 谷点电压 U_V 。是指单晶体管由负阻区开始进入饱和区时的发射极 E 与第一基极 B_1 间的电压，其所对应的发射极电流叫作谷点电流 I_V ，如图 4-75 所示。

④ 调制电流 I_{B2} 。是指发射极处于饱和状态时，从单晶体管第二基极 B_2 流过的电流。

⑤ 耗散功率 P_{B2M} 。是指单晶体管第二基极的最大耗散功率。这是一项极限参数，使用中单晶体管实际功耗应小于 P_{B2M} 并留有一定余量，以防损坏。

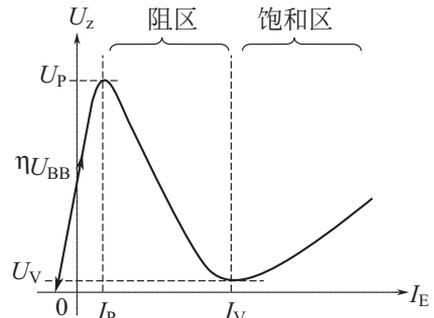


图 4-75 单晶体管特性曲线

(2) 单晶体管的作用

单晶体管最重要的特性是具有负阻特性，其基本工作原理如图 4-76 所示（以 N 基极单晶体管为例）。当发射极电压 U_E 大于峰点电压 U_P 时，PN 结处于正向偏置，单晶体管导通。随着发射极电流 I_E 的增加，大量空穴从发射极注入硅晶体，导致发射极与第一基极间的电阻急剧减小，其间的电位也就减小，呈现出负阻特性，特性曲线如图 4-75 所示。

① 单晶体管的基本作用是组成脉冲产生电路，包括振荡器、波形发生器等，并可使电路结构大为简化。

如图 4-77 所示为单晶体管弛张振荡器。单晶体管 V 的发射极输出锯齿波，第一基极输出窄脉冲，第二基极输出方波。 R_E 与 C 组成充放电回路，改变 R_E 或 C 即可改变振荡周期。该电路振荡周期 $T \approx R_E C \ln \left(\frac{1}{1-\eta} \right)$ ，式中， \ln 为自然对数，即以 e (2.718) 为底的对数。

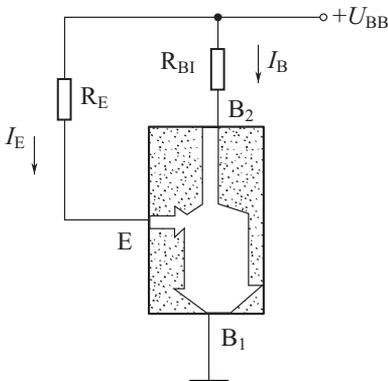


图 4-76 单晶体管工作原理

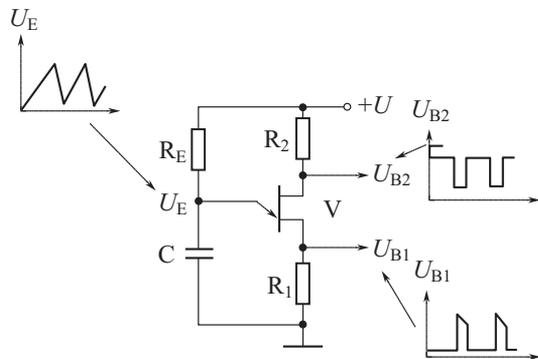


图 4-77 弛张振荡器

② 单晶体管可以用作延时电路。如图 4-78 所示为延时接通开关电路。电源开关 SA 接通后，继电器 K 并不立即吸合。这时电源经 R_P 和 R_1 向 C 充电，直到 C 上所充电压达到峰点电压 U_P 时，单晶体管 V 导通，K 才吸合。接点 K-1 和 K-2 使 K 保持吸合状态。调节 R_P 可改变延时时间。

③ 单晶体管还可以用作晶闸管触发电路。如图 4-79 所示为调光台灯电路。在交流电的每半周内，晶闸管 VS 由单晶体管 V 输出的窄脉冲触发导通，调节 R_P 便改变了 V 输出

窄脉冲的时间，即改变了 VS 的导通角，从而改变了流过照明灯泡 EL 的电流，实现了调光的目的。

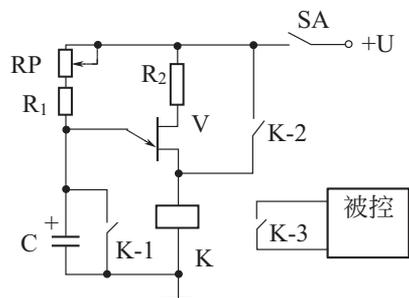


图 4-78 延时开关电路

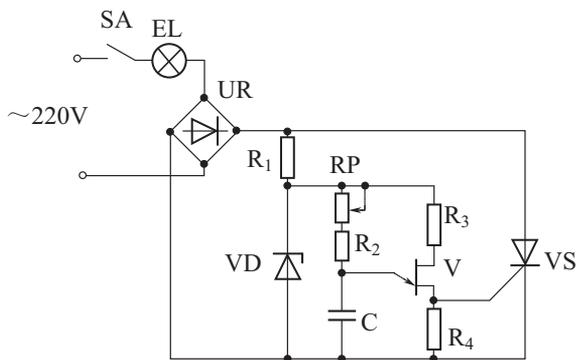


图 4-79 调光电路

4.5.2 检测单晶体管

单晶体管可以用万用电阻挡表进行检测，检测时万用表置于“R×1k”挡，并首先进行电阻挡校零。

(1) 检测两基极间电阻

万用表两表笔不分正、负，分别接单晶体管除发射极 E 以外的两个引脚，如图 4-80 所示，读数应为 3~10kΩ。

(2) 检测 PN 结

检测单晶体管 PN 结正向电阻（N 基极管为例，下同）时，万用表黑表笔（表内电池正极）接发射极 E，红表笔分别接两个基极，读数均应为数千欧，如图 4-81 所示。

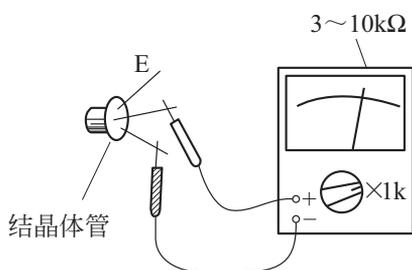


图 4-80 检测两基极间电阻

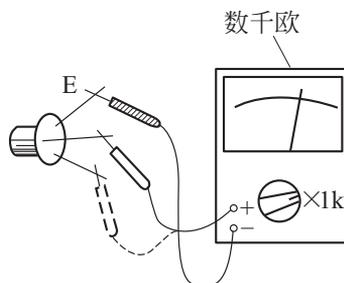


图 4-81 检测 PN 结正向电阻

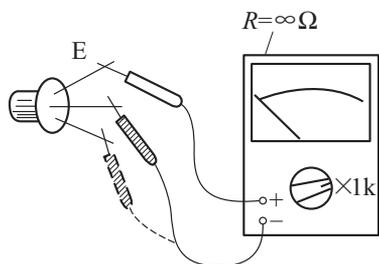


图 4-82 检测 PN 结正向电阻

检测单晶体管 PN 结反向电阻时，万用表红表笔接发射极 E，黑表笔分别接两个基极，读数均应为 $\infty\Omega$ ，如图 4-82 所示。如果测量结果与上述不符，则说明被测单晶体管已损坏。

(3) 测量单晶体管分压比

测量单晶体管的分压比 η 时，可按图 4-83 所示搭接一个测量电路，用万用表“直流 10V”挡测出 C_2 上的

电压 U_{C2} ，再按公式 $\eta = \frac{U_{C2}}{U_B}$ 计算即可。

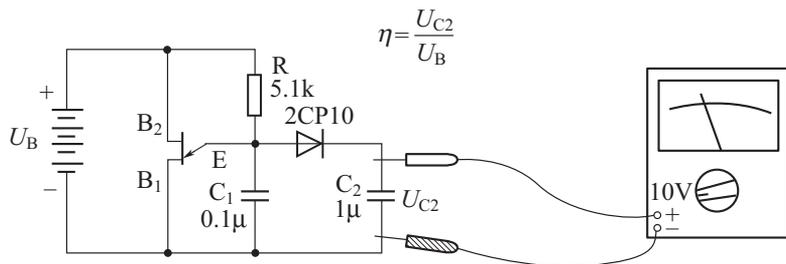


图 4-83 测量分压比

4.6 晶体闸流管

晶体闸流管简称为晶闸管，也叫作可控硅，是一种具有三个 PN 结的功率型半导体器件。晶体闸流管种类很多，外形各异，如图 4-84 所示。晶体闸流管就像自来水管上的闸门一样，可以随心所欲地控制通过的电流，它也因此而得名“闸流管”。

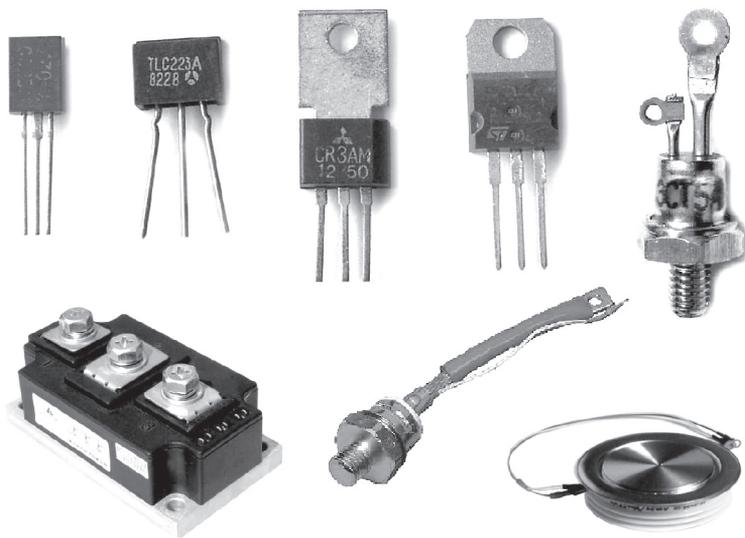


图 4-84 晶体闸流管

4.6.1 认识晶体闸流管

晶体闸流管按控制特性可分为单向晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管、正向阻断晶闸管、反向阻断晶闸管、双向触发晶闸管、光控晶闸管等。按电流容量可分为小功率管、中功率管和大功率管。按关断速度可分为普通晶闸管和高频晶闸管（工作频率 $> 10\text{kHz}$ ）。按封装形式可分为塑封式、陶瓷封装式、金属壳封装式和大功率螺栓式等。

(1) 晶体闸流管的符号与型号

晶体闸流管的文字符号为“VS”，图形符号如图 4-85 所示。

国产晶体闸流管的型号见表 4-4。单向晶闸管主要有 3CT 系列和 KP 系列，双向晶闸管主要有 3CTS 系列和 KS 系列，高频晶闸管主要有 KK 系列。

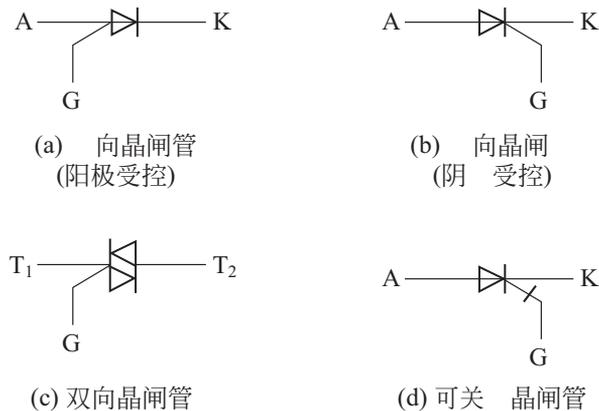


图 4-85 晶体闸流管符号

表 4-4 晶体闸流管的型号

类 型	型 号
单向晶闸管	3CT * * * KP * * *
双向晶闸管	3CTS * * KS * *
高频晶闸管	KK * *

晶体闸流管具有 3 个引脚。单向晶闸管的 3 个引脚是阳极 A、阴极 K、控制极 G，如图 4-86 所示为常见单向晶闸管的引脚。双向晶闸管的 3 个引脚是两个主电极 T₁、T₂，以及控制极 G，如图 4-87 所示为常见双向晶闸管的引脚电极，使用中应注意识别。

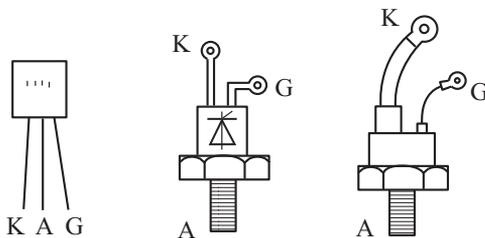


图 4-86 单向晶闸管引脚

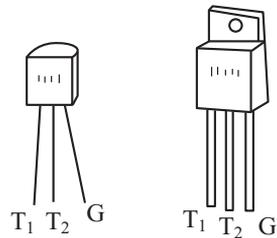


图 4-87 双向晶闸管引脚

(2) 晶体闸流管的参数

晶体闸流管的主要参数有额定通态平均电流、正反向阻断峰值电压、维持电流、控制极触发电压和电流等。

① 额定通态平均电流 I_T 。是指晶闸管导通时所允许通过的最大交流正弦电流的有效值。应选用 I_T 大于电路工作电流的晶闸管。

② 正向阻断峰值电压 U_{DRM} 。是指晶闸管正向阻断时所允许重复施加的正向电压的峰值。反向峰值电压 U_{RRM} 是指允许重复加在晶闸管两端的反向电压的峰值。电路施加在晶闸管上的电压必须小于 U_{DRM} 与 U_{RRM} 并留有一定余量，以免造成击穿损坏。

③ 维持电流 I_H 。是指保持晶闸管导通所需要的最小正向电流。当通过晶闸管的电流小于 I_H 时，晶闸管将退出导通状态而阻断。

④ 控制极触发电压 U_G 和控制极触发电流 I_G 。是指使晶闸管从阻断状态转变为导通状态时，所需的最小控制极直流电压和直流电流。

(3) 晶闸管的作用

晶闸管具有可控的单向导电性，即不但具有一般二极管单向导电的整流作用，而且可以对导通电流进行控制。

单向晶闸管是 PNP 四层结构，形成三个 PN 结，具有三个外电极 A、K 和 G，可等效为 PNP、NPN 两晶体管组成的复合管，如图 4-88 所示。在 A、K 间加上正电压后，管子并不导通。当在控制极 G 加上正电压时， VT_1 、 VT_2 相继迅速导通，此时即使去掉控制极电压管子仍维持导通状态。

双向晶闸管可以等效为两个单向晶闸管反向并联，如图 4-89 所示。双向晶闸管可以控制双向导通，因此除控制极 G 外的另两个电极不再分阳极阴极，而称之为主电极 T_1 、主电极 T_2 。

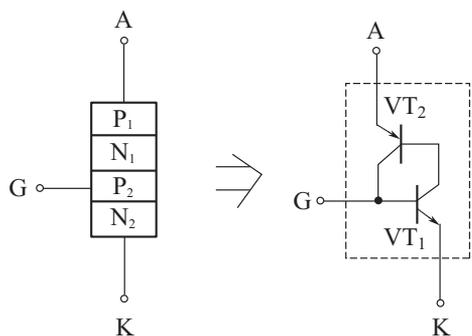


图 4-88 单向晶闸管原理

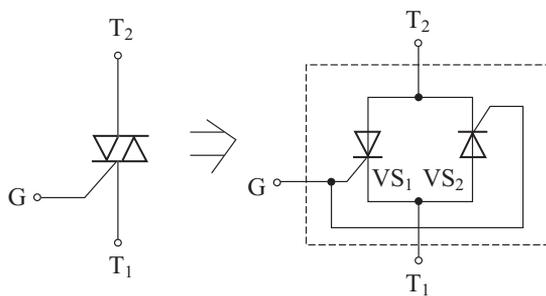


图 4-89 双向晶闸管原理

普通晶闸管导通后控制极即不起作用，要关断必须切断电源，使流过晶闸管的正向电流小于维持电流 I_H 。可关断晶闸管克服上述缺陷。如图 4-90 所示，当控制极 G 加上正脉冲电压时晶闸管导通，当控制极 G 加上负脉冲电压时晶闸管关断。

晶闸管具有以小电流（电压）控制大电流（电压）的作用，并具有体积小、重量轻、功耗低、效率高、开关速度快等优点，在无触点开关、可控整流、逆变、调光、调压、调速等方面得到广泛的应用。

① 晶闸管可以用作无触点开关。如图 4-91 所示为报警器电路，当探头检测到异常情况时，输出一正脉冲至控制极 G，晶闸管 VS 导通使报警器报警，直至有关人员到场并切断开关 S 才停止报警。

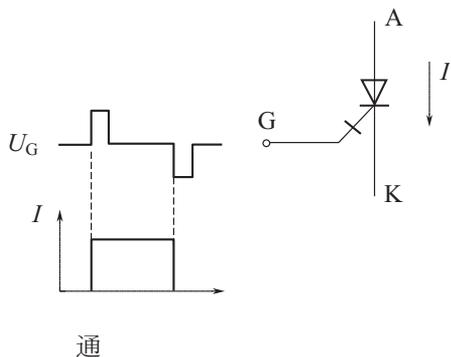


图 4-90 可关断晶闸管原理

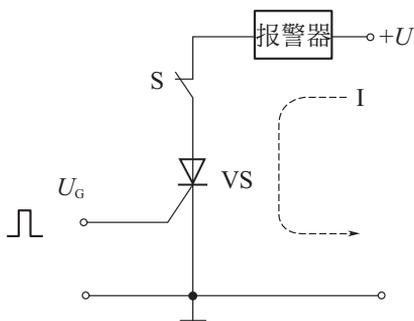


图 4-91 无触点开关

② 晶闸管可以用作可控整流，电路如图 4-92 所示。只有当控制极有正触发脉冲时晶闸管才导通进行整流，而每当交流电压过零时晶闸管关断。改变触发脉冲在交流电每半周内出现的迟早，即可改变晶闸管的导通角，从而改变了输出到负载的直流电压的大小。

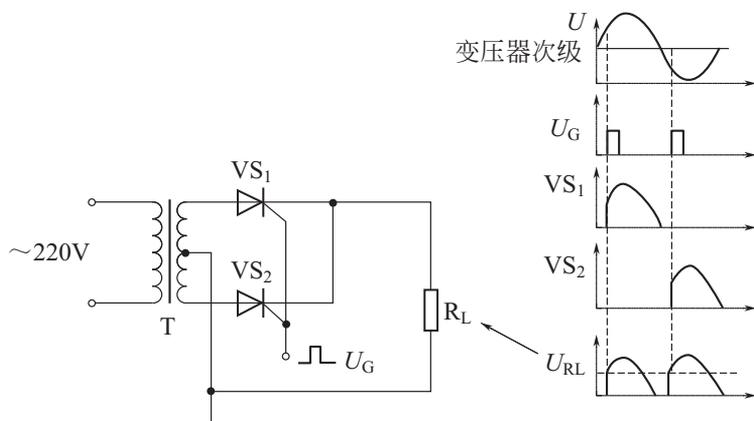


图 4-92 可控整流

③ 双向晶闸管可以用作无触点交流开关。如图 4-93 所示为交流固态继电器电路，当其输入端加上控制电压时，双向晶闸管 VS 导通，接通输出端交流电路。

④ 双向晶闸管可以用作交流调压器。图 4-94 电路中，RP、R 和 C 组成充放电回路，C 上电压作为双向晶闸管 VS 的触发电压。调节 RP 可改变 C 的充电时间，也就改变了 VS 的导通角，达到交流调压的目的。

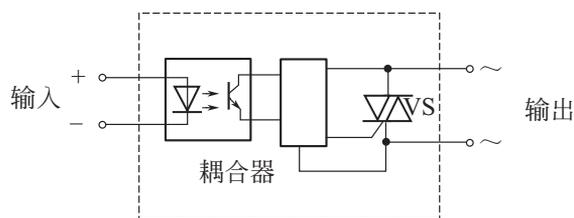


图 4-93 无触点交流开关

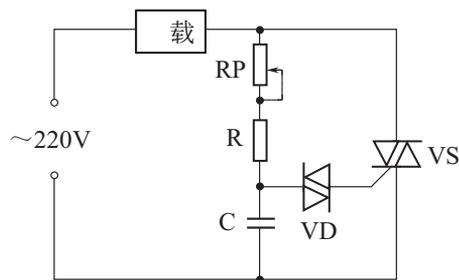


图 4-94 交流调压电路

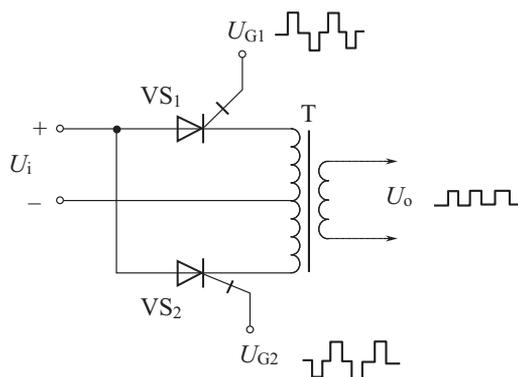


图 4-95 逆变电路

⑤ 可关断晶闸管可以很方便地构成直流逆变电路，如图 4-95 所示。两个可关断晶闸管 VS_1 、 VS_2 的控制极触发电压 U_{G1} 、 U_{G2} ，为频率相同、极性相反的正、负脉冲，使得 VS_1 与 VS_2 轮流导通，在变压器次级即可得到频率与 U_G 相同的交流电压。

4.6.2 检测晶体闸流管

晶体闸流管可以用万用表电阻挡进行检测，下面我们就分别谈谈单向晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管的检测方法。

(1) 检测单向晶闸管

检测时，将万用表置于“ $R \times 10\Omega$ ”挡，黑表笔（表内电池正极）接单向晶闸管控制极 G，红表笔接阴极 K，如图 4-96 所示，这时测量的是 PN 结的正向电阻，应有较小的阻值。对调万用表两表笔后测其反向电阻，应比正向电阻明显大一些。

万用表黑表笔仍接单向晶闸管控制极 G，红表笔改接至阳极 A，阻值应为 $\infty\Omega$ ，如图 4-97 所示。对调两表笔后再测应仍为 $\infty\Omega$ 。这是因为 G、A 间为两个 PN 结反向串联，正常情况下正、反向电阻均为 $\infty\Omega$ 。

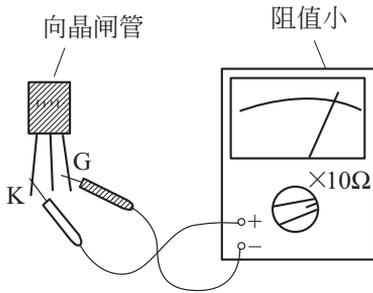


图 4-96 检测单向晶闸管（一）

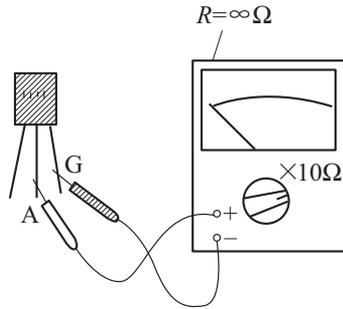


图 4-97 检测单向晶闸管（二）

检测单向晶闸管导通特性时，将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡，万用表黑表笔接阳极 A，红表笔接阴极 K，表针指示应为 $\infty\Omega$ 。用螺钉旋具等金属物将控制极 G 与阳极 A 短接一下（短接后即断开），表针应向右偏转并保持在十几欧姆处，如图 4-98 所示。否则说明该晶闸管已损坏。

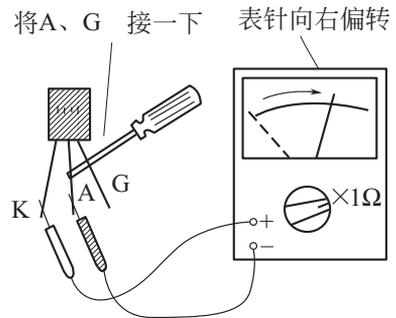


图 4-98 检测单向晶闸管导通特性

(2) 检测双向晶闸管

检测时，将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡，用万用表两表笔测量控制极 G 与主电极 T_1 间的正、反向电阻，均应为较小阻值，如图 4-99 所示。用两表笔测量控制极 G 与主电极 T_2 间的正、反向电阻，均应为 $\infty\Omega$ ，如图 4-100 所示。

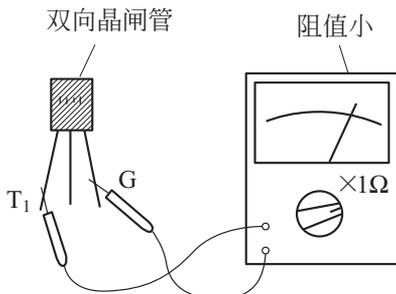


图 4-99 检测双向晶闸管（一）

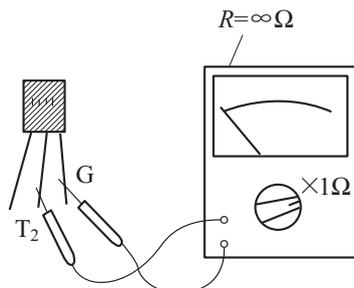


图 4-100 检测双向晶闸管（二）

检测双向晶闸管导通特性时，万用表黑表笔接主电极 T_1 ，红表笔接主电极 T_2 ，表针指示应为 $\infty\Omega$ 。将控制极 G 与主电极 T_2 短接一下，表针应向右偏转并保持在十几欧姆处，如图 4-101 所示。否则说明该双向晶闸管已损坏。

(3) 检测可关断晶闸管

检测时，将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡，黑表笔接阳极 A，红表笔接阴极 K，表针指示应为 $\infty\Omega$ 。然后用一节 1.5V 电池串联一只 100 Ω 左右限流电阻作为控制电压，其一端接在阴极 K 上，如图 4-102 所示。

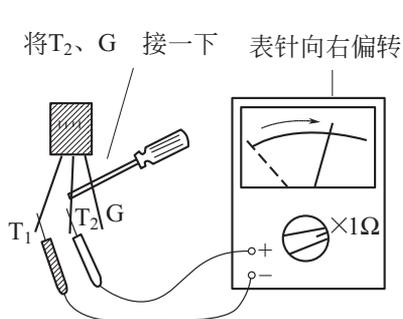


图 4-101 检测双向晶闸管导通特性

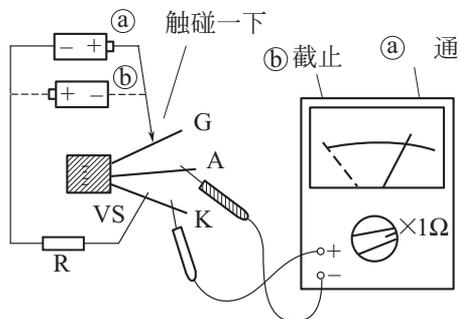


图 4-102 检测可关断晶闸管

当用电池正极触碰一下控制极 G 后，表针应右偏指示晶闸管导通。当调换电池极性用电池负极触碰一下控制极 G 后，表针应返回无穷大指示晶闸管关断。否则，说明该可关断晶闸管已损坏。

4.7 发光二极管与 LED 数码管

发光二极管是一种会发光的半导体器件，其英文缩写为“LED”。发光二极管与普通二极管一样具有单向导电性，不同之处是当有足够的正向电流通过 PN 结时，便会发光。LED 数码管则是发光二极管的组合器件。如图 4-103 所示为常用发光二极管与 LED 数码管。



图 4-103 发光二极管与 LED 数码管

4.7.1 认识发光二极管与 LED 数码管

发光二极管可说是最五彩缤纷的电子元件了。发光二极管种类很多，按发光光谱可分为可见光 LED 和红外光 LED 两类，其中可见光 LED 包括红、绿、黄、橙、蓝等颜色。按

发光效果可分为固定颜色 LED 和变色 LED 两类，其中变色 LED 包括双色和三色等。发光二极管的体积有大、中、小等多种规格。发光二极管还可分为普通型和特殊型两类。特殊型包括组合 LED、带阻 LED（电压型 LED）、闪烁 LED、LED 数码管等。

发光二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 4-104 所示。

发光二极管也有正、负极之分，如图 4-105 所示。发光二极管两引脚中，较长的是正极，较短的是负极。对于透明或半透明塑料封装的发光二极管，可以用肉眼观察到它的内部电极的形状，正极的内电极较小，负极的内电极较大。

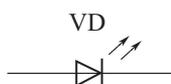


图 4-104 发光二极管符号

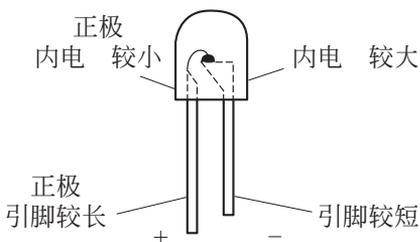


图 4-105 发光二极管引脚

(1) 发光二极管的参数

发光二极管的主要参数有最大工作电流 I_{FM} 和最大反向电压 U_{RM} 。

① 最大工作电流 I_{FM} 。是指发光二极管长期正常工作，所允许通过的最大正向电流。使用中不能超过此值，否则将会烧毁发光二极管。

② 最大反向电压 U_{RM} 。是指发光二极管在不被击穿的前提下，所能承受的最大反向电压。发光二极管的最大反向电压 U_{RM} 一般在 5V 左右，使用中不应使发光二极管承受超过 5V 的反向电压，否则发光二极管将可能被击穿。

发光二极管还有发光波长、发光强度等参数，业余使用时可不必考虑，只要选择自己喜欢的颜色和形状就可以了。

(2) 发光二极管的应用

发光二极管的典型应用电路如图 4-106 所示，R 为限流电阻。由于发光二极管是一个单向导电性器件，只有正向导通时才会发光。但发光二极管的管压降比普通二极管大，一般约为 2V 左右，电源电压必须大于管压降，发光二极管才能正常工作。

需要点亮多个发光二极管时，可以采用扫描驱动的方式，以简化电路和节约电能。如图 4-107 所示电路中，电子开关将电源电压依次快速轮流接入 4 个发光二极管，只要轮流的速度足够快，看起来这 4 个发光二极管都一直在亮着。

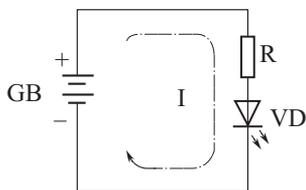


图 4-106 发光二极管的典型应用电路

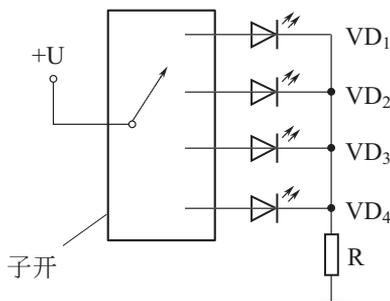


图 4-107 扫描驱动原理

(3) 双色发光二极管

双色发光二极管简称双色 LED，是将两种发光颜色（常见的为红、绿色）的管芯反向并联后封装在一起，如图 4-108 所示。当工作电压为左正右负时，电流 I_a 通过管芯 VD_1 使其发红光。当工作电压为左负右正时，电流 I_b 通过管芯 VD_2 使其发绿光。

可以用脉冲驱动的方式使双色 LED 发出其他颜色的光。如图 4-109 所示，在双色 LED 左右两端分别接入互为反相的脉冲电压 CP_1 和 CP_2 。只要 CP 频率足够高，当 CP_1 和 CP_2 占空比相同时，双色 LED 发橙色光。当 CP_1 占空比大于 CP_2 占空比时，双色 LED 发偏红光。当 CP_1 占空比小于 CP_2 占空比时，双色 LED 发偏绿光。

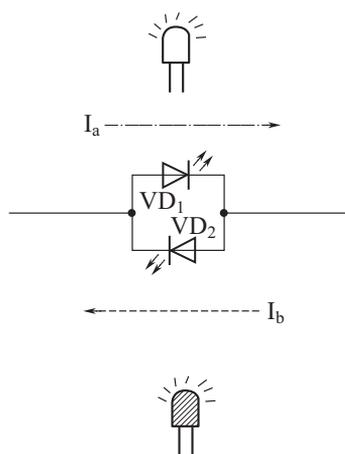


图 4-108 双色发光二极管

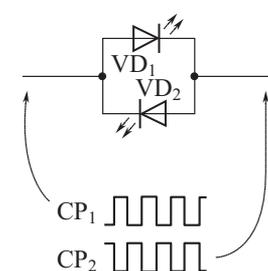


图 4-109 脉冲驱动双色发光二极管

(4) 变色发光二极管

变色发光二极管分为共阴极和共阳极两种，一般具有三个引脚。

共阴极三引脚变色 LED 内部结构如图 4-110 所示，两种发光颜色（通常为红、绿色）的管芯负极连接在一起。三个引脚中，左右两边的引脚分别为红、绿色管芯的正极，中间的引脚为公共负极。

使用时，公共负极 2 脚接地。当 1 脚接入工作电压时，电流 I_a 通过管芯 VD_1 使其发红光。当 3 脚接入工作电压时，电流 I_b 通过管芯 VD_2 使其发绿光。当 1 脚和 3 脚同时接入工作电压时，LED 发橙色光。当 I_a 与 I_b 的大小不同时，LED 发光颜色按比例在红橙绿之间变化，如图 4-111 所示。

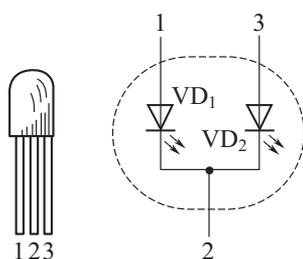


图 4-110 共阴极变色发光二极管

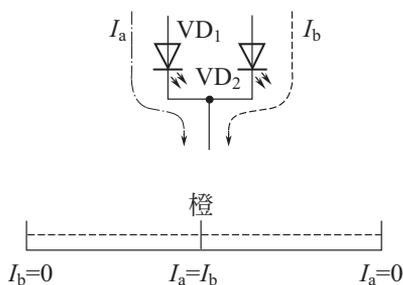


图 4-111 变色原理

共阳极三引脚变色 LED 内部结构如图 4-112 所示，与共阴极管不同的是两种发光颜色的管芯正极连接在一起。三个引脚中，左右两边的引脚分别为两种颜色管芯的负极，中间的引脚为公共正极。使用时公共正极 2 脚接工作电压，其余两引脚按需要接地即可。

(5) 三色发光二极管

三色发光二极管是将三种不同颜色的管芯封装在一起，也分为共阴极和共阳极两种，它们具有四个引脚。

共阴极四引脚三色 LED 内部结构如图 4-113 所示，三种发光颜色（如红、蓝、绿三色）的管芯负极连接在一起。四个引脚中，1 脚为绿色管芯的正极，2 脚为蓝色管芯的正极，3 脚为公共负极，4 脚为红色管芯的正极。使用时公共负极 3 脚接地，其余引脚按需要接入工作电压即可。

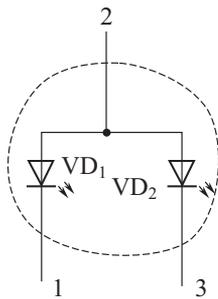


图 4-112 共阳极变色发光二极管

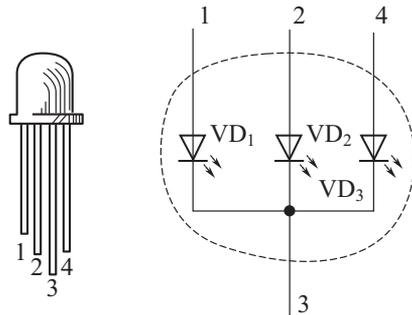


图 4-113 共阴极三色发光二极管

共阳极四引脚三色 LED 内部结构如图 4-114 所示，三种发光颜色的管芯正极连接在一起。使用时公共正极 3 脚接工作电压，其余引脚按需要接地即可。

(6) LED 数码管

LED 数码管是将若干发光二极管按一定图形组织在一起的显示器件。应用较多的是 7 段数码管，分为共阴极数码管和共阳极数码管两种。

共阴 LED 数码管内电路如图 4-115 所示，8 个 LED（7 段笔画和 1 个小数点）的负极连接在一起接地，译码电路按需给不同笔画的 LED 正极加上正电压，使其显示出相应数字。

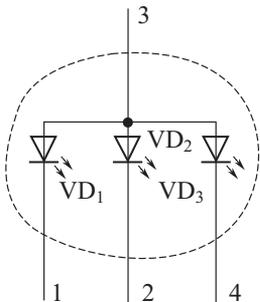


图 4-114 共阳极三色发光二极管

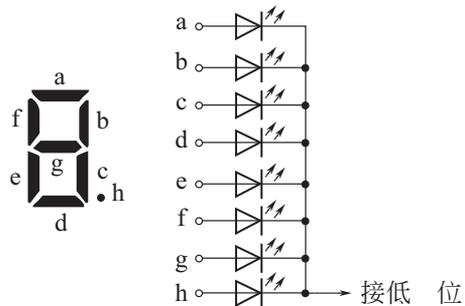


图 4-115 共阴极 LED 数码管

共阳 LED 数码管内电路如图 4-116 所示，8 个 LED 的正极连接在一起接正电压，译码电路按需使不同笔画的 LED 负极接地，使其显示出相应数字。

(7) 带阻发光二极管

带阻发光二极管又称电压型发光二极管，其电路结构如图 4-117 所示。带阻 LED 已将

限流电阻做到了发光二极管内，只要接入规定的直流电压即可发光。

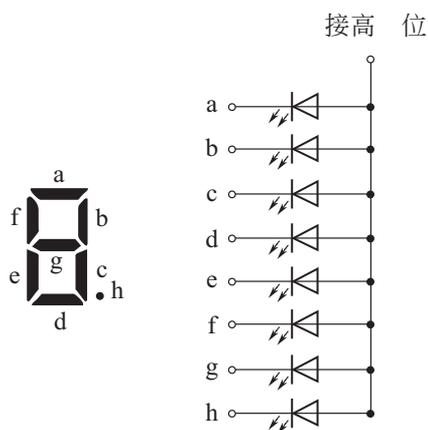


图 4-116 共阳极 LED 数码管

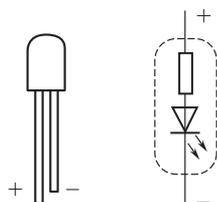


图 4-117 带阻发光二极管

(8) 闪烁发光二极管

闪烁发光二极管是一种特殊的 LED，它将控制电路集成到了发光二极管内，如图 4-118 所示，接入规定的直流电压即可发出一定频率的脉冲光。

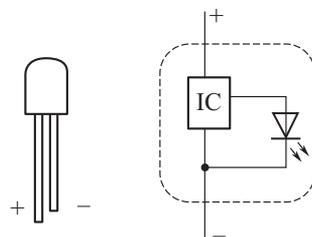


图 4-118 闪烁发光二极管

4.7.2 检测发光二极管与 LED 数码管

用万用表检测发光二极管时，必须使用“ $R \times 10k$ ”挡。因为发光二极管的管压降为 2V 左右，而万用表“ $R \times 1k$ ”及其以下各电阻挡表内电池仅为 1.5V，低于管压降，无论正、反向接入，发光二极管都不可能导通，也就无法检测。“ $R \times 10k$ ”挡时表内接有 15V（有些万用表为 9V）高压电池，高于管压降，所以可以用来检测发光二极管，如图 4-119 所示。

(1) 检测发光二极管

检测时，万用表黑表笔（表内电池正极）接 LED 正极，红表笔（表内电池负极）接 LED 负极，这时发光二极管为正向接入，表针应偏转过半，同时 LED 中有一发光亮点，如图 4-120 所示。

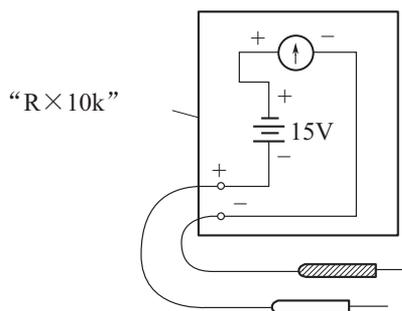


图 4-119 “ $R \times 10k$ ”挡

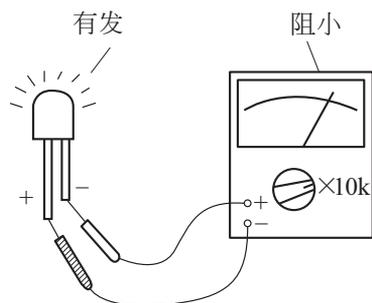


图 4-120 检测发光二极管（一）

再将两表笔对调后与发光二极管相接，这时为反向接入，表针应不动，LED 无发光亮点，如图 4-121 所示。如果无论正向接入还是反向接入，表针都偏转到头或都不动，则说明

该发光二极管已损坏。

(2) 检测双色发光二极管

检测双色发光二极管时，万用表表笔对调前后测量的都是 LED 的正向电阻，表针指示的阻值都较小，如图 4-122 所示。但两次测量的不是同一个管芯，LED 中的发光亮点应分别为两种颜色。

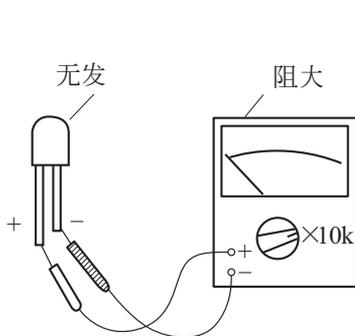


图 4-121 检测发光二极管 (二)

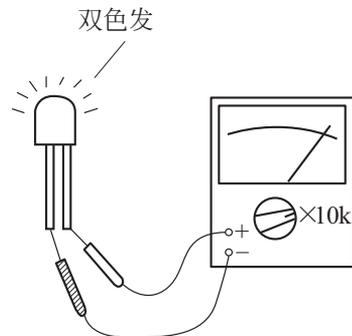


图 4-122 检测双色发光二极管

(3) 检测变色发光二极管

检测共阴极三引脚变色发光二极管的方法如图 4-123 所示，万用表红表笔接变色 LED 的中间引脚（公共负极），黑表笔分别接左右两引脚，LED 应分别有不同颜色的发光亮点，同时表针指示 LED 的正向电阻。检测共阳极三引脚变色发光二极管时，将万用表红、黑表笔对调即可。

(4) 检测三色发光二极管

检测共阴极四引脚三色发光二极管的方法如图 4-124 所示。万用表红表笔接公共负极 3 脚，黑表笔分别接其余三个引脚，LED 应分别有不同颜色的发光亮点，同时表针指示 LED 的正向电阻。检测共阳极四引脚三色发光二极管时，将万用表红、黑表笔对调即可。

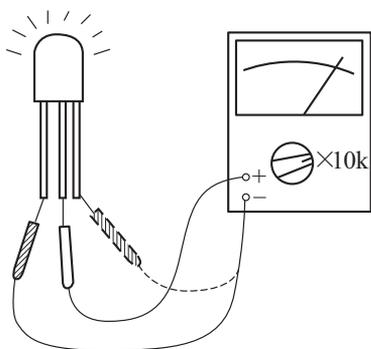


图 4-123 检测变色发光二极管

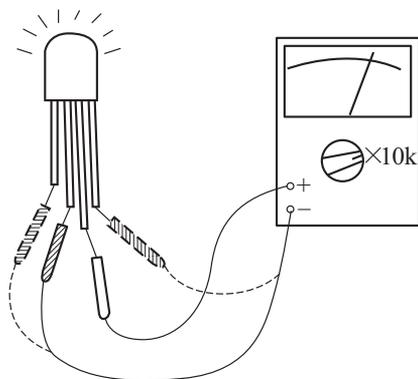


图 4-124 检测三色发光二极管

(5) 检测 LED 数码管

LED 数码管一般有 10 个引脚。上、下中间的引脚相通，为公共极。其余 8 个引脚为 7 段笔画和 1 个小数点。对于共阴极数码管，万用表红表笔接公共极，黑表笔依次分别接各笔段进行检测，如图 4-125 所示。对于共阳极数码管，万用表黑表笔接公共极，红黑表笔依次

分别接各笔段进行检测，如图 4-126 所示。

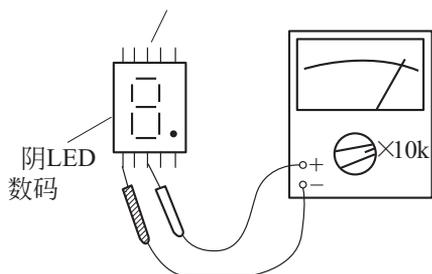


图 4-125 检测共阴极数码管

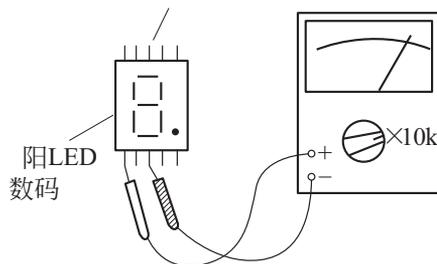


图 4-126 检测共阳极数码管

4.8 光电二极管

光电二极管是一种常用的光敏器件，它能够将光转换为电。光电二极管的特征是有一个透明的窗口，以便使光线能够照射到管芯的 PN 结上。光电二极管有多种，常见的有透明塑封光电二极管、金属壳封装光电二极管、树脂封装光电二极管等，如图 4-127 所示。



图 4-127 光电二极管

4.8.1 认识光电二极管

光电二极管有许多种类，常用的有 PN 结型、PIN 结型、雪崩型和肖特基结型等。用得最多的是硅材料 PN 结型光电二极管。国产光电二极管主要有 2CU 系列（N 型硅光电二极管）、2DU 系列（P 型硅光电二极管）和 PIN 系列（PIN 结型硅光电二极管）等，见表 4-5。

表 4-5 国产光电二极管的型号

类 型	型 号
N 型硅管	2CU * * *
P 型硅管	2DU * * *
PIN 型硅管	PIN * * *

光电二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 4-128 所示。

光电二极管两引脚有正、负极之分，靠近管键或色点的引脚是正极，另一引脚是负极；

较长的引脚是正极，较短的引脚是负极，如图 4-129 所示。

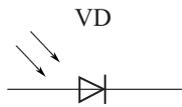


图 4-128 光电二极管符号

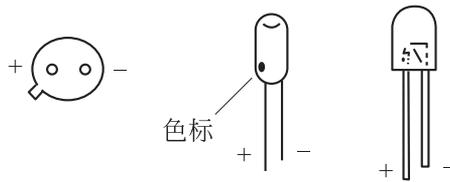


图 4-129 光电二极管引脚

(1) 光电二极管的参数

光电二极管的参数较多，主要参数有最高工作电压、光电流、光电灵敏度等。

① 最高工作电压 U_{RM} 。是指在不光照、反向电流不超过规定值（通常为 $0.1\mu A$ ）的前提下，光电二极管所允许加的最高反向电压，如图 4-130 所示。光电二极管的 U_{RM} 一般在 $10\sim 50V$ 范围，使用中不要超过。

② 光电流 I_L 。是指在受到一定光照时，加有反向电压的光电二极管中所流过的电流，约为几十微安，如图 4-130 所示。一般情况下，选用光电流 I_L 较大的光电二极管效果较好。

③ 光电灵敏度 S_n 。是指在光照下，光电二极管的光电流 I_L 与入射光功率之比，单位为 $\mu A/\mu W$ 。光电灵敏度 S_n 越高越好。

(2) 光电二极管的作用

光电二极管具有将光信号转换为电信号的功能，并且其光电流 I_L 的大小与光照强度成正比关系，如图 4-131 所示。

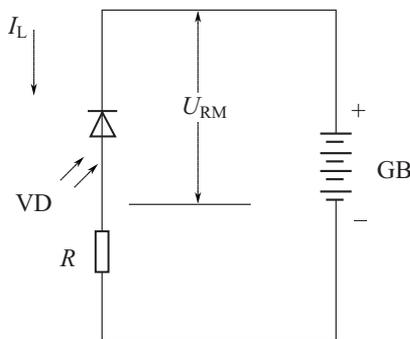


图 4-130 光电二极管电压与电流

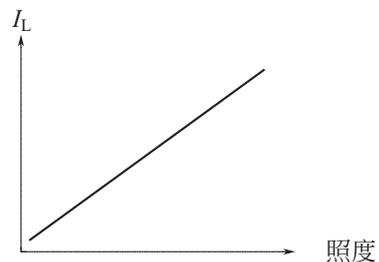


图 4-131 光电特性曲线

光电二极管的作用是进行光电转换。光电二极管通常工作在反向电压状态，如图 4-132 所示。无光照时，光电二极管 VD 截止，反向电流 $I=0$ ，负载电阻 R_L 上的输出电压 $U_o=0$ 。当有光照时，VD 的反向电流 I 明显增大并随光照强度的变化而变化，这时输出电压 U_o 也较大，并随光照强度的变化而变化，从而实现了光电转换。

光电二极管在光控、红外遥控、光探测、光纤通信、光电转换、光电耦合等方面有广泛的应用。

光电二极管可以用作光控。如图 4-133 所示为光控开关电路。无光照时，光电二极管 VD 因接反向电压而截止。当有光照到光电二极管 VD 时，VD 从截止转变为导通，使晶体管 VT_1 、 VT_2 导通，继电器 K 吸合接通被控电路。

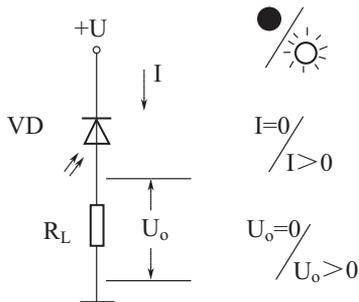


图 4-132 光电二极管应用

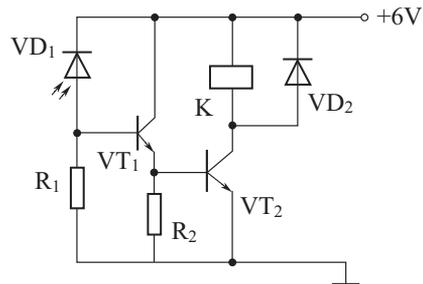


图 4-133 光控开关电路

光电二极管可以用作接收光信号。如图 4-134 所示为光信号放大电路，光信号由光电二极管 VD 接收，经 VT 放大后通过耦合电容 C 输出。

光电二极管还可以用作红外光到可见光的转换，电路如图 4-135 所示，红外光信号由光电二极管 VD₁ 接收、VT₁ 和 VT₂ 放大并驱动发光二极管 VD₂ 发出可见光。

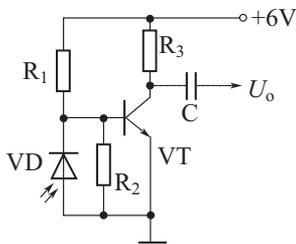


图 4-134 光信号放大电路

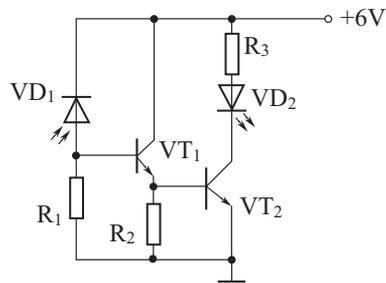


图 4-135 红外光转换电路

4.8.2 检测光电二极管

光电二极管的好坏可用万用表电阻挡检测。检测时，万用表置于“R×1k”挡，并首先进行电阻挡校零。

(1) 检测光电二极管

用万用表黑表笔（表内电池正极）接光电二极管正极，红表笔接光电二极管负极，测其正向电阻，应为 10~20kΩ，如图 4-136 所示。

(2) 检测光电性能

对调万用表两表笔，即红表笔接光电二极管正极，黑表笔接光电二极管负极。然后用一遮光物（如黑纸片等）将光电二极管的透明窗口遮住，如图 4-137 所示，这时测得的是无光照情况下的反向电阻，应为∞Ω。

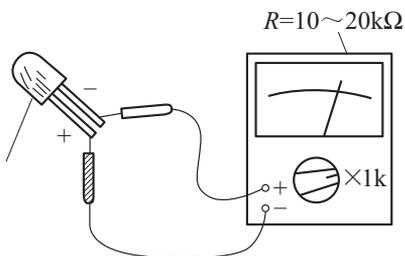


图 4-136 检测光电二极管

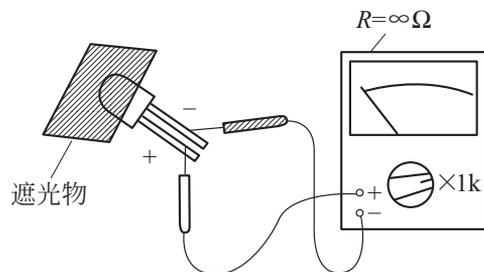


图 4-137 检测光电性能（无光照）

移去遮光物，使光电二极管的透明窗口朝向光源（自然光、白炽灯或手电筒等），这时表针应向右偏转至几千欧处，如图 4-138 所示。表针偏转越大说明光电二极管灵敏度越高。

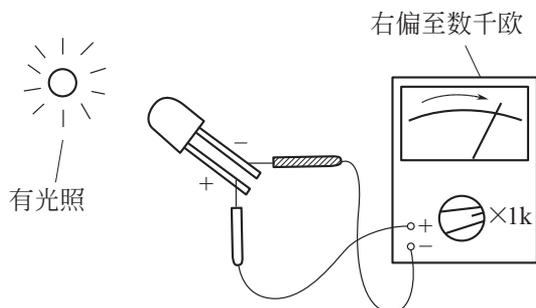


图 4-138 检测光电性能（有光照）

4.9 光电三极管

光电三极管是在光电二极管的基础上发展起来的光电器件，它不仅能实现光电转换，而且还具有放大功能，因而使用更方便、更广泛。与晶体三极管不同的是光电三极管具有一个透明的窗口，以便使光信号可以照射到管芯的基极上。图 4-139 所示为常见光电三极管。



图 4-139 光电三极管

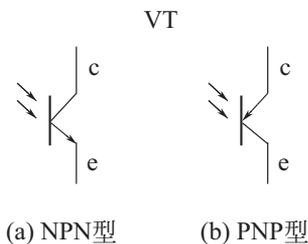
4.9.1 认识光电三极管

光电三极管也有许多种类，按导电极性可分为 NPN 型和 PNP 型，按结构类型可分为普通光电三极管和复合型（达林顿型）光电三极管，按外引脚数可分为二引脚式和三引脚式。

光电三极管的文字符号为“VT”，图形符号如图 4-140 所示。

光电三极管的型号命名方法与晶体三极管相同。目前普遍使用的是 3DU 系列 NPN 型硅光电三极管，其型号意义如图 4-141 所示。

光电三极管的基极即为光窗口，因此大多数光电三极管只有发射极 e 和集电极 c 两个引脚。也有部分光电三极管基极 b



(a) NPN型 (b) PNP型

图 4-140 光电三极管符号

有引出引脚，常作温度补偿用。如图 4-142 所示为常见光电三极管引脚示意图，靠近管键或色点的是发射极 e，离管键或色点较远的是集电极 c；较长的引脚是发射极 e，较短的引脚是集电极 c。

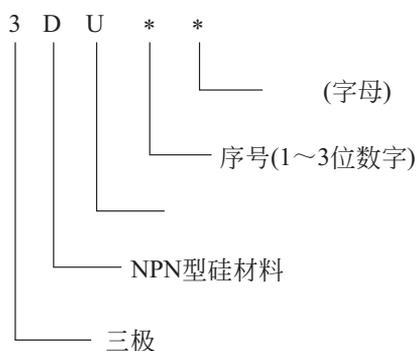


图 4-141 光电三极管型号

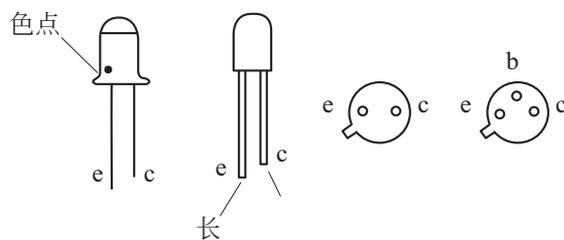


图 4-142 光电三极管引脚

(1) 光电三极管的参数

光电三极管的参数较多，主要参数有最高工作电压 U_{ce0} 、光电流 I_L 、最大允许功耗 P_{CM} 等。

① 最高工作电压 U_{ce0} 。是指在不光照、集电极漏电流不超过规定值（约 $0.5\mu A$ ）时，光电三极管所允许加的最高工作电压，一般在 $10\sim 50V$ ，使用中不要超过。

② 光电流 I_L 。是指在受到一定光照时光电三极管的集电极电流，通常可达几毫安。光电流 I_L 越大，光电三极管的灵敏度越高。

③ 最大允许功耗 P_{CM} 。是指光电三极管在不损坏的前提下所能承受的最大集电极耗散功率。

(2) 光电三极管的作用

光电三极管可以等效为光电二极管和普通三极管的组合元件，如图 4-143 所示。光电三极管基极与集电极间的 PN 结相当于一个光电二极管，在光照下产生的光电流 I_L 又从基极进入三极管放大，因此光电三极管输出的光电流可达光电二极管的 β 倍。

由于光电三极管本身具有放大作用，给使用带来了很大方便。如图 4-144 所示为光控开关电路，由于光控器件采用了光电三极管，因此该电路比使用光电二极管的同类电路简化了许多。

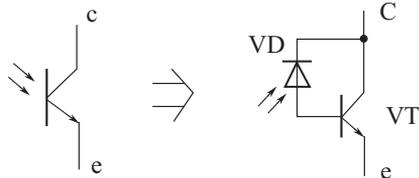


图 4-143 光电三极管原理

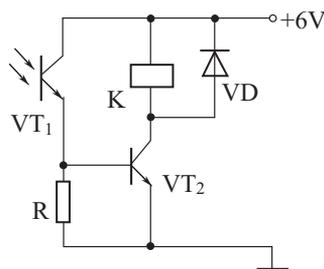


图 4-144 光控开关

光电二极管和光电三极管各有长处，见表 4-6。光电二极管温度特性和输出线性度好、响应时间快。光电三极管灵敏度高、输出光电流大。因此，在对输出线性要求较高或工作频率较高的场合应选用光电二极管，而一般的光电控制电路要求灵敏度高，应选用光电三极管。

表 4-6 光电二极管与光电三极管的比较

参 数	光电二极管	光电三极管
光电流	小	大
灵敏度	较低	高
输出特性线性度	好	差
响应时间	快	慢

达林顿型光电三极管是将光电三极管和晶体三极管按达林顿复合管形式组合在一起，如图 4-145 所示。由于光信号转换为电信号后，得到两级三极管的放大，总放大倍数等于两个三极管放大倍数的乘积，所以达林顿型光电三极管的灵敏度更高、光电流更大，可达十几毫安。达林顿型光电三极管的缺点是响应速度较慢。

4.9.2 检测光电三极管

光电三极管可以用万用表电阻挡检测。检测时，万用表置于“R×1k”挡并校零。下面以最常用的 NPN 型光电三极管为例，介绍检测步骤。

(1) 检测光电三极管

万用表黑表笔（表内电池正极）接光电三极管发射极 e，红表笔接集电极 c，此时光电三极管所加电压为反向电压，万用表指示的阻值应为无穷大，如图 4-146 所示。

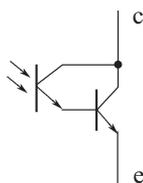


图 4-145 达林顿型光电三极管

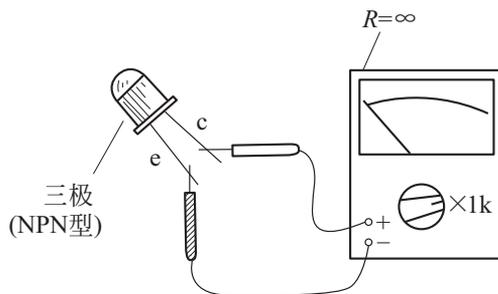


图 4-146 检测光电三极管（一）

用黑纸片等遮光物将光电三极管窗口遮住，对调两表笔再测，如图 4-147 所示，此时虽然所加为正向电压，但因其基极无光照，光电三极管仍无电流，其阻值接近为无穷大。

保持红表笔接发射极 e、黑表笔接集电极 c，然后移去遮光物，使光电三极管窗口朝向光源，如图 4-148 所示，这时表针应向右偏转到 1kΩ 左右，表针偏转越大说明其灵敏度越高。

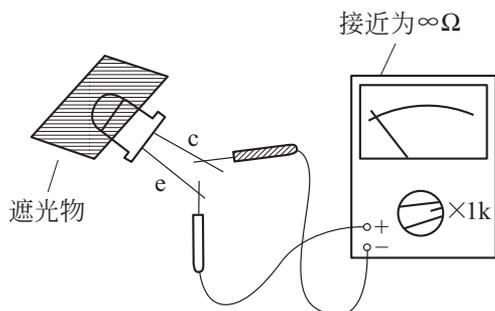


图 4-147 检测光电三极管（二）

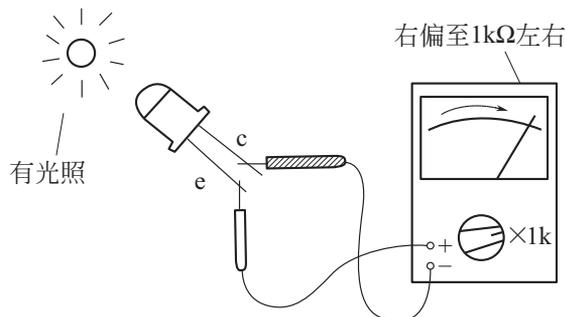


图 4-148 检测光电三极管（三）

(2) 区别光电二极管与光电三极管

由于光电二极管与光电三极管外形几乎一样，上述检测方法也可用来区别它们。遮住窗口测两引脚间的正、反向电阻，阻值一大一小者是光电二极管，两阻值均为无穷大者是光电三极管。

4.10 光电耦合器

光电耦合器是以光为媒介传输电信号的器件，可实现输入端与输出端之间既能传输电信号，又具有电的隔离性。光电耦合器外形就像一个集成块，如图 4-149 所示。

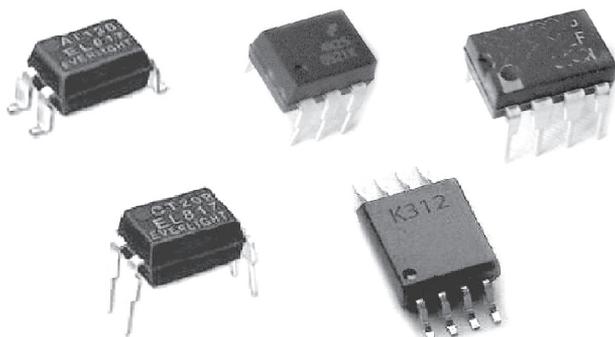


图 4-149 光电耦合器

4.10.1 认识光电耦合器

光电耦合器种类较多，按其内部输出电路结构不同可分为光电二极管型、光电三极管型、光敏电阻型、光控晶闸管型、达林顿型、集成电路型、光电二极管和半导体管型等。按其输出形式可分为普通型、线性输出型、高速输出型、高传输比输出型、双路输出型和组合型等。

光电耦合器的电路图形符号如图 4-150 所示。

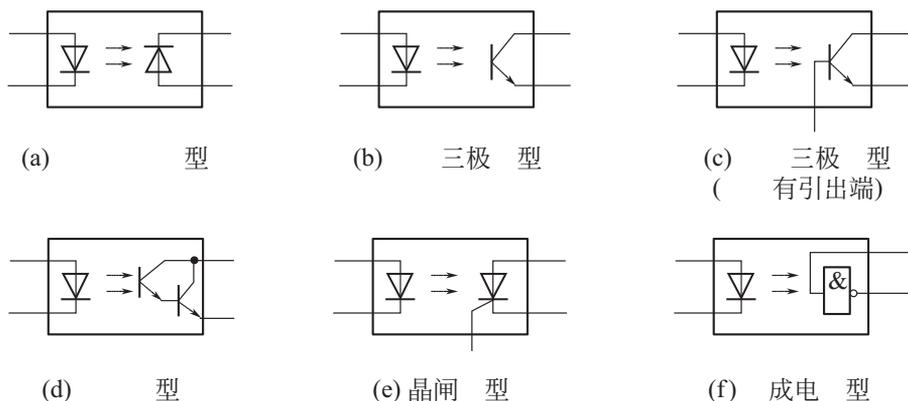


图 4-150 光电耦合器符号

光电耦合器的封装形式多种多样，仅双列直插式就有 4 脚、6 脚、8 脚等，使用时必须搞清楚它们的引脚。如图 4-151 所示为部分常见光电耦合器的引脚图。

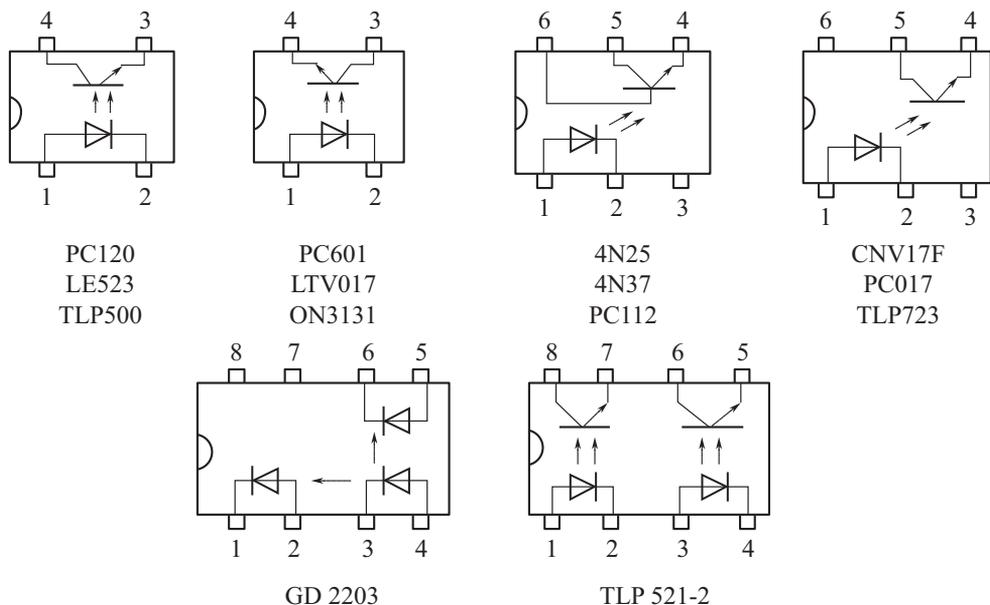


图 4-151 光电耦合器引脚

(1) 光电耦合器的参数

光电耦合器的主要参数有正向电压 U_F 、输出电流 I_L 、反向击穿电压 U_{BR} 等。

① 正向电压 U_F 。是光电耦合器输入端的主要参数，是指使输入端发光二极管正向导通所需要的最小电压（即发光二极管管压降），如图 4-152 所示。

② 输出电流 I_L 。是光电耦合器输出端的主要参数，是指输入端接入规定正向电压时，输出端光电器件通过的光电流，如图 4-152 所示。

③ 反向击穿电压 U_{BR} 。是一项极限参数，是指输出端光电器件反向电流达到规定值时，其两极间的电压降。使用中工作电压应在 U_{BR} 以下并留有一定余量。

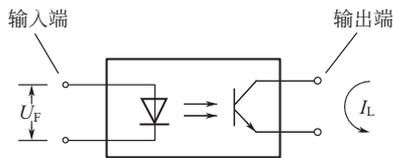


图 4-152 光电耦合器电压与电流

(2) 光电耦合器的作用

光电耦合器的作用是隔离传输。光电耦合器内部包括一个发光二极管和一个光电器件，其基本工作电路如图 4-153 所示（以光电三极管型为例）。

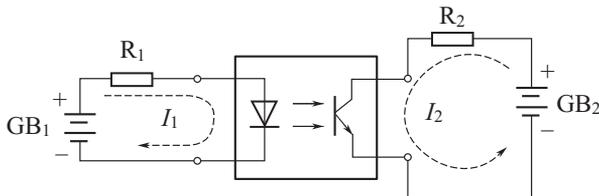


图 4-153 光电耦合器原理

当输入端加上电压 GB_1 时，电流 I_1 流过发光二极管使其发光，光电三极管接受光照后就产生光电流 I_2 ，从而实现了电信号的传输。由于这个传输过程是通过“电→光→电”的转换完成的， GB_1 与 GB_2 之间并没有电的联系，所以同时实现了输入端与输出端之间的电的

隔离。

光电耦合器具有传输效率高、隔离度好、抗干扰能力强、寿命长等特点，在隔离耦合、电平转换、继电控制等方面得到广泛的应用。

如图 4-154 所示为交流电钻隔离控制电路。当按下按钮开关 SB 时，光电耦合器产生输出电流，使双向晶闸管 VS 导通，电钻电动机 M 转动。由于光电耦合器的隔离作用，只需控制 3V 低压直流电即可间接控制交流 220V 电源。

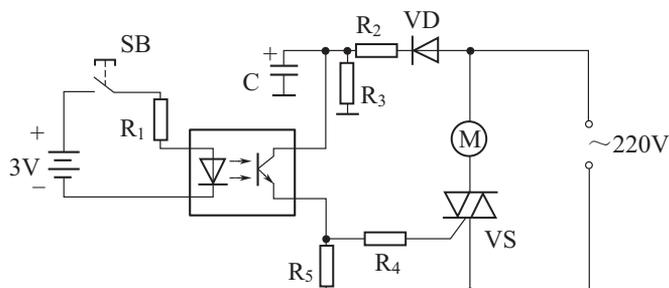


图 4-154 隔离控制电路

❖ 4.10.2 检测光电耦合器

光电耦合器输入部分与输出部分之间是绝缘的，因此，检测光电耦合器时应分别检测其输入部分和输出部分。

(1) 检测输入部分

将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，分别测量输入部分发光二极管的正、反向电阻，其正向电阻约为数百欧，反向电阻约为几十千欧。如图 4-155 所示为测量正向电阻时的情况。这里有一点需要说明，光电耦合器中的发光二极管的正向管压降较普通发光二极管低，在 1.3V 以下，所以可以用万用表“ $R \times 1k$ ”挡直接测量。

(2) 检测输出部分

以光电三极管型光电耦合器为例，在输入端悬空的前提下，测量输出端两引脚（光电三极管的 c、e 极）间的正、反向电阻均应为无穷大，如图 4-156 所示。

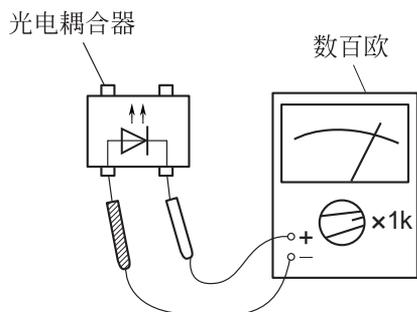


图 4-155 检测光电耦合器输入端

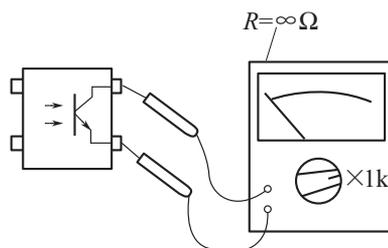


图 4-156 检测光电耦合器输出端

(3) 检测光电传输性能

如图 4-157 所示，将万用表置于“ $R \times 100$ ”挡，黑表笔接输出部分光电三极管的集电极 c，红表笔接发射极 e。当给光电耦合器输入端接入正向电压时，光电三极管应导通，万用表指示阻值很小。当切断输入端正向电压时，光电三极管应截止，阻值为无穷大。

(4) 检测绝缘电阻

将万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，测量输入端与输出端之间任两个引脚间的电阻，均应为无穷大，如图 4-158 所示。

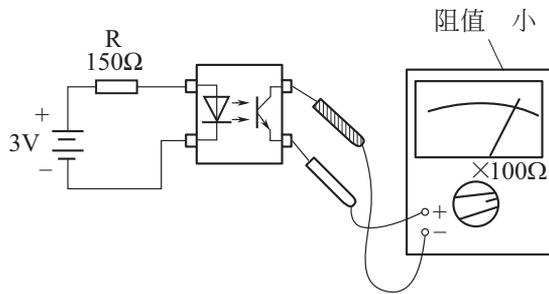


图 4-157 检测光电传输性能

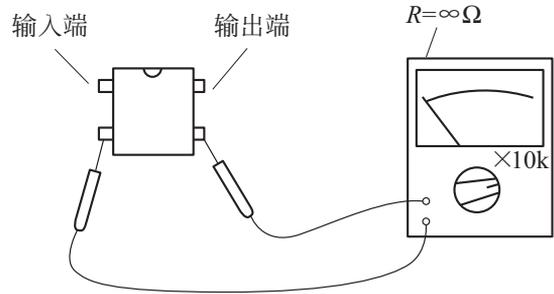


图 4-158 检测绝缘电阻

第 5 章

怎样识别和检测元器件

在电子设备中，除了半导体管等核心器件，还有许多通用元器件，它们共同组成各种各样的电子电路。本章我们就来讲讲怎样识别和检测电阻器、电容器、电感器、变压器、继电器、扬声器、话筒等元器件。

5.1 电阻器

电阻器通常简称为电阻，是一种最基本、最常用的电子元件。由于制造材料和结构不同，电阻器有许多种，常见的有碳膜电阻器、金属膜电阻器、有机实芯电阻器、线绕电阻器、固定抽头电阻器、可变电阻器、滑线式变阻器等，如图 5-1 所示。碳膜电阻器和金属膜电阻器应用较多。

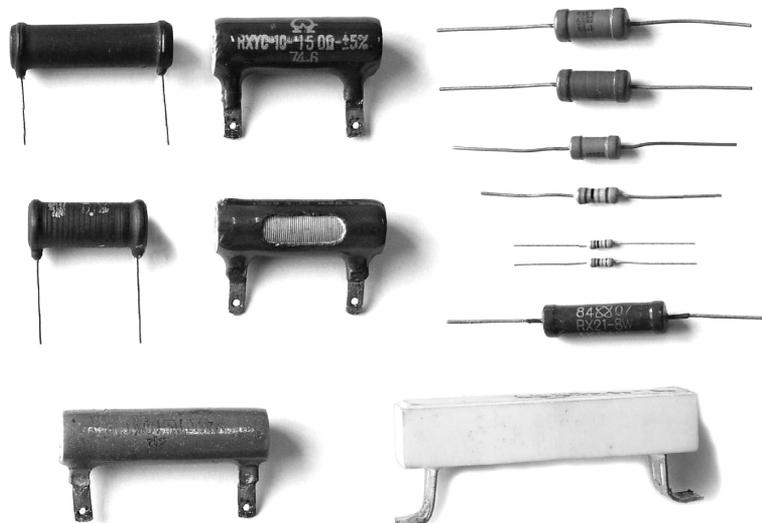


图 5-1 电阻器

5.1.1 认识电阻器

电阻器的文字符号为“R”，图形符号如图 5-2 所示。

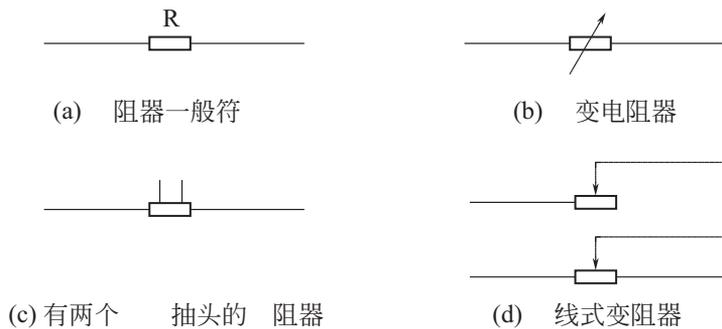


图 5-2 电阻器符号

电阻器的型号命名由四部分组成，如图 5-3 所示。第一部分用字母“R”表示电阻器的主称，第二部分用字母表示构成电阻器的材料，第三部分用数字或字母表示电阻器的分类，第四部分用数字表示序号。

电阻器型号的意义见表 5-1。

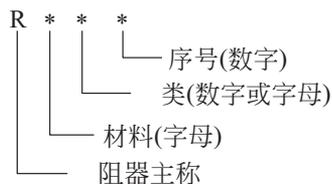


图 5-3 电阻器型号

表 5-1 电阻器型号的意义

第一部分	第二部分 (材料)	第三部分 (分类)	第四部分
R	H 合成碳膜	1 普通	序号
	I 玻璃釉膜	2 普通	
	J 金属膜	3 超高频	
	N 无机实芯	4 高阻	
	G 沉积膜	5 高温	
	S 有机实芯	7 精密	
	T 碳膜	8 高压	
	X 线绕	9 特殊	
	Y 氧化膜	G 高功率	
	F 复合膜	T 可调	

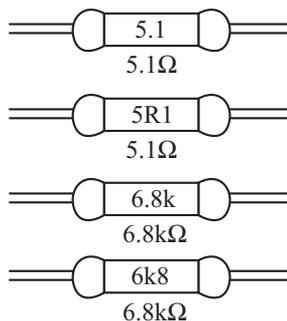


图 5-4 电阻值的标示

(1) 电阻器的参数

电阻器的主要参数有电阻值和额定功率。

电阻值简称阻值，基本单位是欧姆，简称欧 (Ω)。常用单位还有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)。它们之间的换算关系是 $1M\Omega = 1000k\Omega$, $1k\Omega = 1000\Omega$ 。

电阻器上阻值的标示方法有两种。一种是直标法，如图 5-4 所示。例如，在 5.1Ω 的电阻器上印有“5.1”或“5R1”字样，在 $6.8k\Omega$ 的电阻器上印有“6.8k”或“6k8”字样。

另一种是色环法，在电阻器上印有 4 或 5 道色环表示阻值等，阻值的单位为 Ω 。对于 4 环电阻器，第 1、2 环表示两位有效数字，第 3 环表示倍乘数，第 4 环表示允许偏差，如图 5-5 所

示。对于 5 环电阻器，第 1、2、3 环表示三位有效数字，第 4 环表示倍乘数，第 5 环表示允许偏差，如图 5-6 所示。

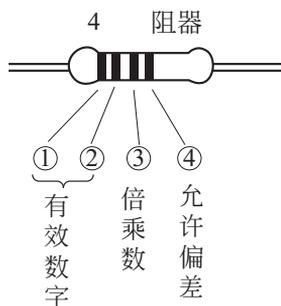


图 5-5 4 环电阻器

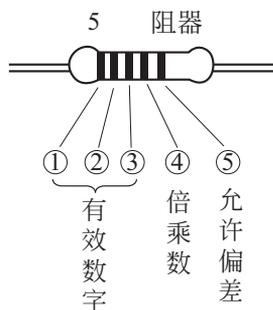


图 5-6 5 环电阻器

色环一般采用黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白、金、银 12 种颜色，它们的意义见表 5-2。例如，某电阻器的 4 道色环依次为“黄、紫、橙、银”，则其阻值为 47kΩ，误差为 ±10%。某电阻器的 5 道色环依次为“红、黄、黑、橙、金”，则其阻值为 240kΩ，误差为 ±5%。

表 5-2 电阻器上色环颜色的意义

颜色	有效数字	倍乘数	允许偏差
黑	0	$\times 10^0$	
棕	1	$\times 10^1$	±1%
红	2	$\times 10^2$	±2%
橙	3	$\times 10^3$	
黄	4	$\times 10^4$	
绿	5	$\times 10^5$	±0.5%
蓝	6	$\times 10^6$	±0.25%
紫	7	$\times 10^7$	±0.1%
灰	8	$\times 10^8$	
白	9	$\times 10^9$	
金		$\times 10^{-1}$	±5%
银		$\times 10^{-2}$	±10%

额定功率是电阻器的另一主要参数，常用电阻器的功率有 1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W 等，其符号如图 5-7 所示，大于 5W 的直接用数字注明。使用中应选用额定功率大于或等于电路要求的电阻器。

(2) 电阻器的作用

电阻器的主要作用是限流和降压。

如图 5-8 所示为电阻器用作限流的情况。从欧姆定律 $I=U/R$ 可知，当电压 U 一定时，流过电阻器的电流 I 与其阻值 R 成反比。由于限流电阻 R 的存在，将发光二极管 VD 的电流限制在 10mA。

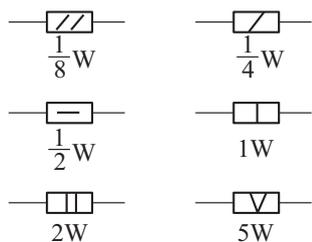


图 5-7 电阻器的功率符号

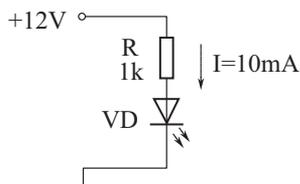


图 5-8 电阻器限流

调整晶体管的工作点是电阻器用作限流的一个例子。如图 5-9 所示为晶体管放大电路，晶体管集电极电流 I_c （工作点）由其基极电流 I_b 决定。改变晶体管基极电阻 R_b 的阻值，即可改变 I_b ，也就是改变了 I_c ，即改变了晶体管的工作点。

如图 5-10 所示为电阻器用作降压的情况。当电流流过电阻器时，必然会在电阻器上产生一定的压降，压降大小与电阻值 R 及电流 I 的乘积成正比，即： $U=IR$ 。利用电阻器的降压作用，可以使较高的电源电压适应元器件工作电压的要求。例如，继电器工作电压 6V、工作电流 60mA，而电源电压为 12V，必须串接一个 100Ω 的降压电阻 R 后，方可正常工作。

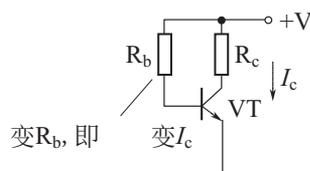


图 5-9 调整晶体管工作点

放大器的负载电阻也是利用电阻器的降压作用的例子。

如图 5-11 所示晶体管放大电路中，集电极电阻 R_c 即是负载电阻。输入信号 U_i 使晶体管集电极电流 I_c 相应变化，由于 R_c 的降压作用，从 VT 集电极即可得到放大后的输出电压 U_o 。（与 U_i 反相）。（更d书f享搜索雅 书.ya b o o K）

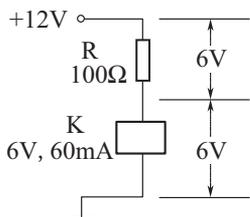


图 5-10 电阻器降压

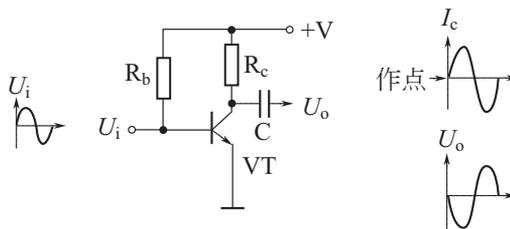


图 5-11 负载电阻的作用

基于电阻的降压作用，电阻器还可以用作分压器。如图 5-12 所示，电阻器 R_1 和 R_2 构成一分压器，由于两个电阻串联，通过这两个电阻的电流 I 相等，而电阻上的压降 $U=IR$ ， R_1 上压降为 $1/3U$ ， R_2 上压降为 $2/3U$ ，实现了分压（负载电阻必须远大于 R_1 、 R_2 ），分压比为 R_1/R_2 。

RC 滤波网络是一种特殊的分压器。如图 5-13 所示整流滤波电路中， R 与 C_2 可理解为分压器，输出电压 U_o 取自 C_2 上的压降。对于直流， C_2 的容抗无限大；而对于交流， C_2 的容抗远小于 R 。因此， C_2 上直流压降很大，而交流压降很小，达到了滤波的目的。

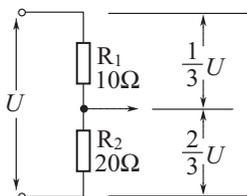


图 5-12 电阻器分压

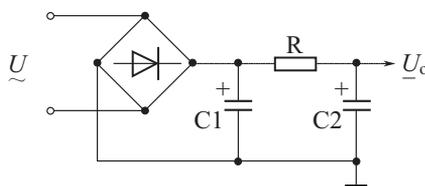


图 5-13 RC 滤波网络

(3) 敏感电阻器

电阻器家族中，除普通电阻器外，还有一些敏感电阻器，例如，热敏电阻器、光敏电阻器、压敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器及磁敏电阻器等。

敏感电阻器的型号命名由四部分组成，如图 5-14 所示。第一部分用字母“M”表示敏感电阻器的主称，第二部分用字母表示类别，第三部分用字母或数字表示用途或特征，第四部分用数字表示序号。

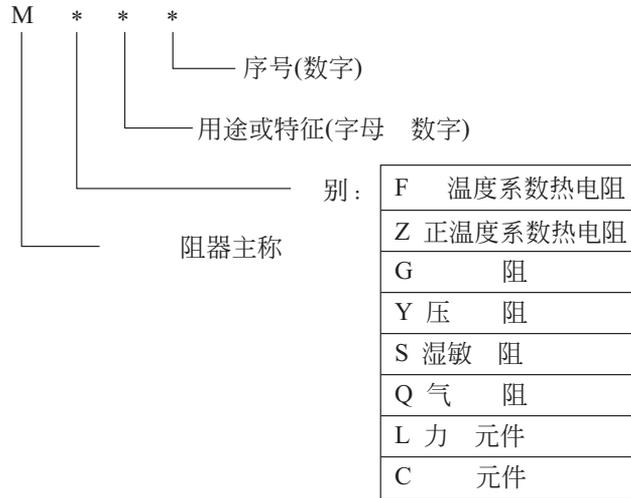


图 5-14 敏感电阻器型号

压敏电阻器的文字符号、图形符号和外形如图 5-15 所示。压敏电阻器是利用半导体材料的非线性特性原理制成的。当外加电压达到其临界值时，压敏电阻器的阻值会急剧变小。压敏电阻器主要用于过压保护、抑制浪涌电流等电路。



图 5-15 压敏电阻器

热敏电阻器的文字符号、图形符号和外形如图 5-16 所示。热敏电阻器大多由单晶或多晶半导体材料制成，它的阻值会随温度的变化而变化。热敏电阻器分为正温度系数和负温度系数两种：正温度系数热敏电阻器的阻值与温度成正比，负温度系数热敏电阻器的阻值与温度成反比。热敏电阻器一般用于自动控制、自动测温、电器设备的软启动等电路中，目前用得较多的是负温度系数热敏电阻器。



图 5-16 热敏电阻器

光敏电阻器的文字符号、图形符号和外形如图 5-17 所示。光敏电阻器大多数由半导体材料制成，它是利用半导体的光导电特性原理工作的。当入射光线增强时，光敏电阻器的阻值减小；当入射光线减弱时，阻值增大。光敏电阻器又可分为红外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器等，广泛应用于自动检测、光电控制、通信及报警等电路中。



图 5-17 光敏电阻器

5.1.2 检测电阻器

电阻器的好坏可用万用表的电阻挡检测。

(1) 指针式万用表检测

检测时，首先根据电阻器阻值的大小，将万用表上的挡位旋转到适当的“ Ω ”挡位。一般测量 100Ω 以下电阻器可选“ $R \times 1$ ”挡， $100 \sim 1000\Omega$ 电阻器可选“ $R \times 10$ ”挡， $1 \sim 10k\Omega$ 电阻器可选“ $R \times 100$ ”挡， $10 \sim 100k\Omega$ 电阻器可选“ $R \times 1k$ ”挡， $100k\Omega$ 以上电阻器可选“ $R \times 10k$ ”挡。

测量挡位选择确定后，需对万用表电阻挡进行校零。即将万用表两表笔互相短接，转动“调零”旋钮使表针指向电阻刻度的“ 0Ω ”位（满度），如图 5-18 所示。需特别注意的是测量中每更换一次挡位，均应重新对该挡进行校零。

然后，将万用表两表笔（不分正、负）分别与电阻器的两端引线相接，表针应指在相应的阻值刻度上。如表针不动、指示不稳定或指示值与电阻器上标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。

在测量几十千欧以上阻值的电阻器时，注意不可用手同时接触电阻器的两端引线，如图 5-19 所示，以免接入人体电阻带来测量误差。

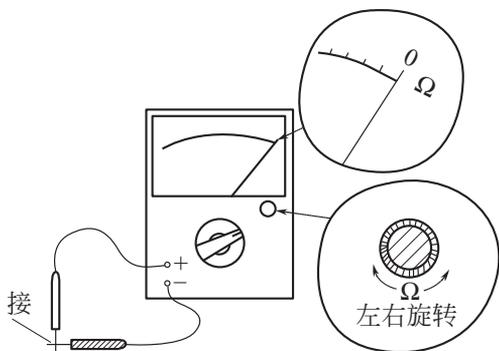


图 5-18 电阻挡校零

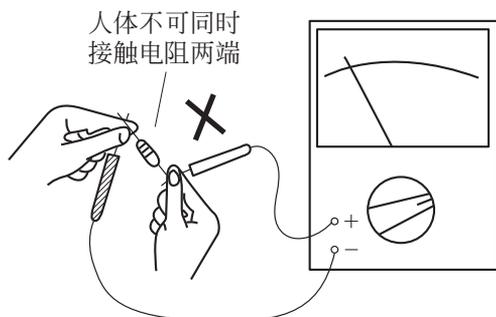


图 5-19 避免测量误差

(2) 数字万用表检测

数字万用表测量电阻器前不用校零，将挡位旋转到适当的“ Ω ”挡位，打开电源开关即可测量。

选择测量挡位时应尽量使显示屏显示较多的有效数字，一般测量 200Ω 以下电阻器可选“ 200Ω ”挡， $200 \sim 1999\Omega$ 电阻器可选“ $2k\Omega$ ”挡， $2 \sim 19.99k\Omega$ 电阻器可选

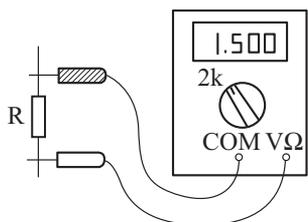


图 5-20 数字万用表检测电阻器

“20kΩ”挡，20~199.9kΩ电阻器可选“200kΩ”挡，200~1999kΩ电阻器可选“2MΩ”挡，2~19.99MΩ电阻器可选“20MΩ”挡，20~199.9MΩ电阻器可选“200MΩ”挡。200MΩ以上电阻器因已超出最高量程而无法测量（以DT890B数字万用表为例）。

测量时，两表笔（不分正、负）分别接被测电阻器的两端，LCD显示屏即显示出被测电阻R的阻值，如图5-20所示。如显示“000”（短路）、仅最高位显示“1”（断路）、或显示值与电阻器上标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。

5.2 电位器

电位器是一种最常用的可调电子元件。电位器的种类很多，按结构可分为旋转式电位器、直滑式电位器、带开关电位器、双连电位器及多圈电位器等；按照电阻体所用制造材料的不同，电位器又分为碳膜电位器、金属膜电位器、有机实芯电位器、无机实芯电位器、玻璃釉电位器及线绕电位器等，如图5-21所示。

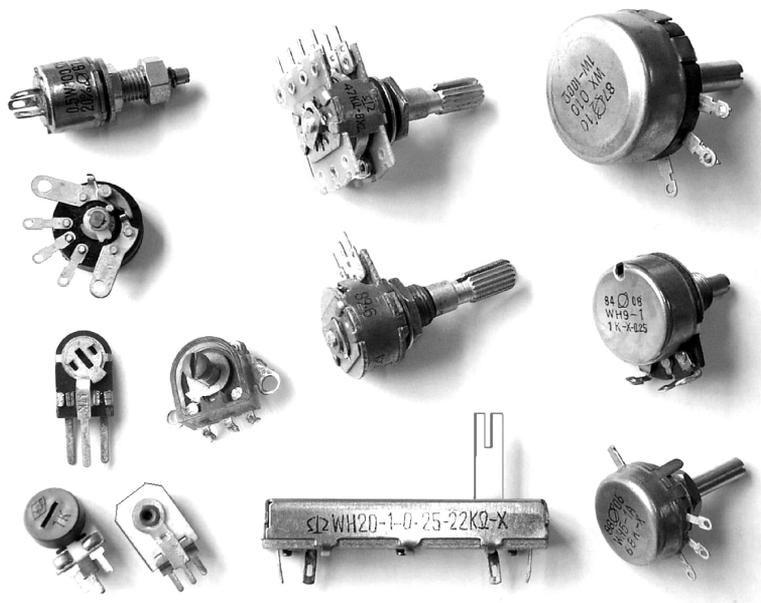


图 5-21 电位器

5.2.1 认识电位器

电位器是从可变电阻器发展派生出来的，它的特点是阻值可以连续改变。电位器的文字符号为“RP”，图形符号如图5-22所示。

电位器的型号命名由四部分组成，如图5-23所示。第一部分用字母“W”表示电位器的主称，第二部分用字母表示构成电位器电阻体的材料，第三部分用字母表示电位器的分类，第四部分用数字表示序号。

电位器型号的意义见表5-3。

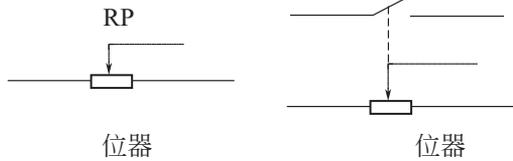


图 5-22 电位器符号

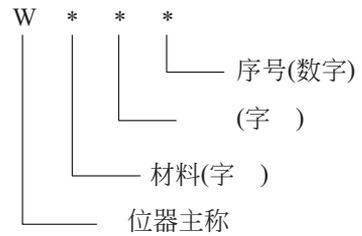


图 5-23 电位器型号

表 5-3 电位器型号的意义

第一部分	第二部分(材料)	第三部分(分类)	第四部分
W	H 合成碳膜	G 高压类	序号
	S 有机实芯	H 组合类	
	N 无机实芯	B 片式类	
	I 玻璃釉膜	W 螺杆预调类	
	X 线绕	Y 旋转预调类	
	J 金属膜	J 单旋精密类	
	Y 氧化膜	D 多旋精密类	
	D 导电塑料	M 直滑精密类	
	F 复合膜	X 旋转低功率	
		Z 直滑低功率	
	P 旋转功率类		
	T 特殊类		

(1) 电位器的参数

电位器的主要参数有标称阻值、阻值变化特性和额定功率。标称阻值是指电位器的最大阻值，通常用数字直接标示在电位器壳体上，如图 5-24 所示。

阻值变化特性是指电位器的阻值随动臂的旋转角度或滑动行程而变化的关系。常用的有直线式 (X)、指数式 (Z) 和对数式 (D)，如图 5-25 所示。直线式适用于大多数场合，指数式适用于音量控制电路，对数式适用于音调控制电路。

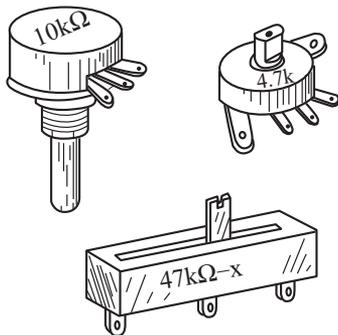


图 5-24 标称阻值的标示

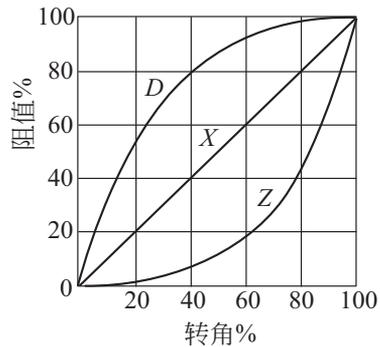


图 5-25 阻值变化特性

额定功率是指电位器在长期连续负荷下所允许承受的最大功率，使用中电位器的额定功率必须大于实际消耗功率。额定功率值通常直接标示在电位器上，如图 5-26 所示。

(2) 电位器的工作原理

电位器由一个电阻体和一个转动或滑动系统组成，其动臂的接触刷在电阻体上滑动，即可连续改变动臂与两端间的阻值。

电位器的结构原理如图 5-27 所示，电阻体的两端各有一个定臂引出端，中间是动臂引出端。动臂在电阻体上移动，即可使动臂与定臂引出端间的电阻值连续变化。

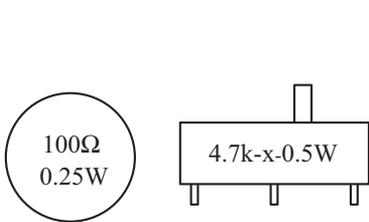


图 5-26 额定功率的标示

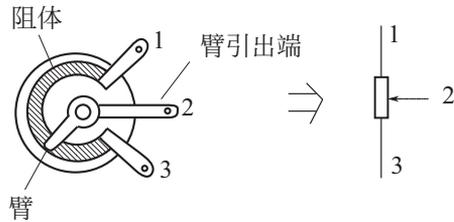


图 5-27 电位器结构

电位器 RP 可等效为电阻器 R_a 和 R_b 构成的分压器，如图 5-28 所示。当动臂 2 处于电阻体中间时， $R_a = R_b$ 。

当动臂 2 向上移动时， R_a 减小而 R_b 增大。当动臂 2 移至最上端时， $R_a = 0$ ，2 端与 1 端直通； $R_b = RP$ ，2、3 端间阻值达到最大，如图 5-29 所示。

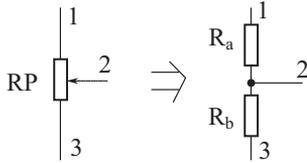


图 5-28 电位器等效电路（一）

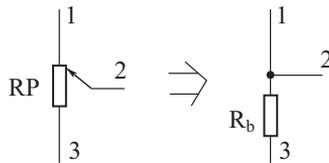


图 5-29 电位器等效电路（二）

当动臂 2 向下移动时， R_a 增大而 R_b 减小。当动臂 2 移至最下端时， $R_b = 0$ ，2 端与 3 端直通； $R_a = RP$ ，1、2 端间阻值达到最大，如图 5-30 所示。

(3) 电位器的作用

电位器在电路中的主要作用是可变分压，分压比随电位器动臂转角的增大而增大，如图 5-31 所示。

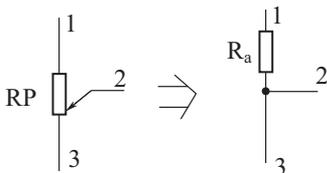


图 5-30 电位器等效电路（三）

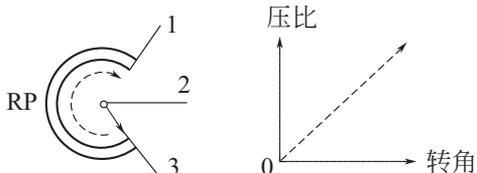


图 5-31 电位器可变分压

收音机中的音量调节电位器就是可变分压的一个例子，如图 5-32 所示，前级信号全部加在电位器 RP 两端，从动臂 2 获得一定分压比的信号送往功放级。转动动臂改变分压比，即改变了送往功放级的信号大小，达到音量调节的目的。

由于电位器具有两个定臂引脚，在使用中应根据电路需要确定接入方式。例如，在

图 5-32 收音机电路中，音量电位器的接入方式可按以下方法判断。如果是逆时针方向转动电位器的旋柄将开关关断，则定臂 3 引脚为接地端，定臂 1 引脚为信号端，如图 5-33 所示。

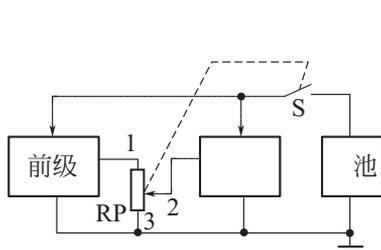


图 5-32 音量调节原理

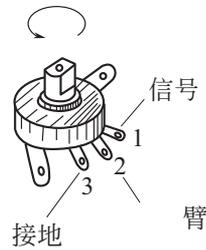


图 5-33 音量电位器的接法

✦ 5.2.2 检测电位器

电位器可用万用表的电阻挡进行检测。根据电位器标称阻值的大小，将万用表置于适当的“ Ω ”挡位，两表笔短接，然后转动调零旋钮校准电阻挡“ 0Ω ”位。

(1) 检测标称阻值

万用表两表笔（不分正、负）分别与电位器的两定臂相接，表针应指在相应的阻值刻度上。如表针不动、指示不稳定或指示值与电位器标称值相差很大，则说明该电位器已损坏。

(2) 检测动臂与电阻体的接触是否良好

万用表一表笔与电位器动臂相接，另一表笔与定臂 A 相接，来回旋转电位器旋柄，万用表表针应随之平稳地来回移动，如图 5-34 所示。如表针不动或移动不平稳，则该电位器动臂接触不良。然后再将接定臂 A 的表笔改接至定臂 B，重复以上检测步骤。

(3) 检测带开关电位器的开关好坏

万用表置于“ Ω ”挡位，两表笔分别接开关接点 A 和 B，旋转电位器旋柄使开关交替地“开”与“关”，观察表针指示，如图 5-35 所示。开关“开”时表针应指向最右边（电阻为“0”），开关“关”时表针应指向最左边（电阻无穷大）。可重复若干次以观察开关是否有接触不良情况。

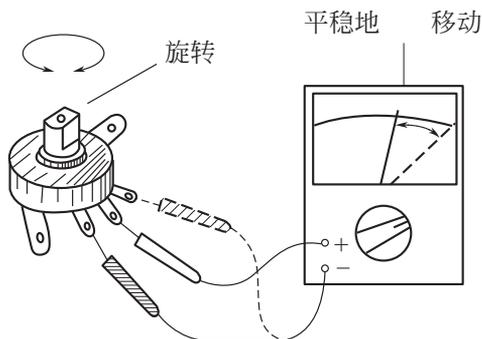


图 5-34 检测电位器

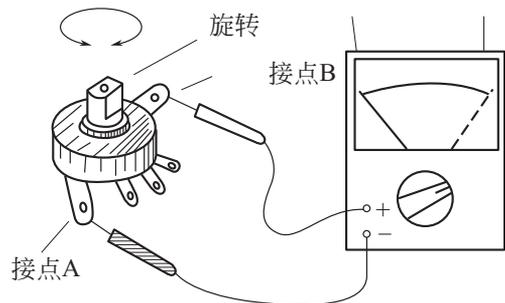


图 5-35 检测电位器开关

5.3

电容器

电容器通常简称为电容，是一种最基本最常用的电子元件。电容器按电容量是否可调分为固定电容器和可变电容器两大类。固定电容器按介质材料不同又有许多种类，常见电容器如图 5-36 所示。

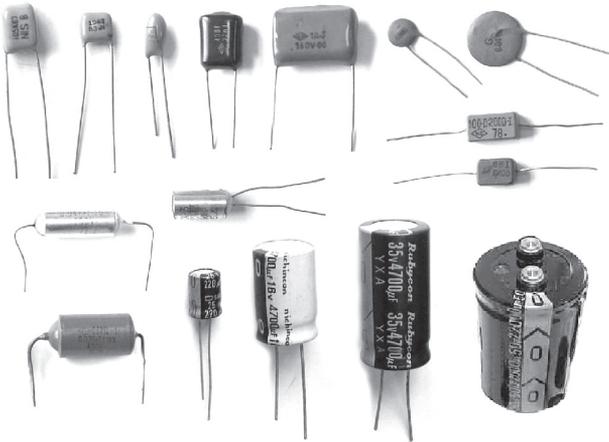


图 5-36 电容器

5.3.1 认识电容器

电容器的文字符号为“C”，图形符号如图 5-37 所示。

电容器的型号命名由四部分组成，如图 5-38 所示。第一部分用字母“C”表示电容器的主称，第二部分用字母表示电容器的介质材料，第三部分用数字或字母表示电容器的类别，第四部分用数字表示序号。

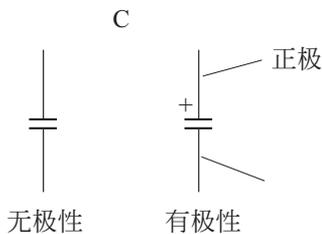


图 5-37 电容器符号

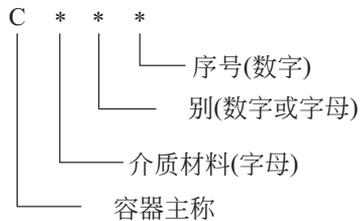


图 5-38 电容器型号

电容器型号中，第二部分介质材料字母代号的意义见表 5-4，第三部分类别代号的意义见表 5-5。

表 5-4 电容器型号中介质材料代号的意义

字母代号	介质材料
A	钽电解
B	聚苯乙烯

续表

字母代号	介质材料
C	高频陶瓷
D	铝电解
E	其他材料电解
G	合金电解
H	纸膜复合
I	玻璃釉
J	金属化纸介
L	聚酯
N	铌电解
O	玻璃膜
Q	漆膜
T	低频陶瓷
V	云母纸
Y	云母
Z	纸介

表 5-5 电容器型号中类别代号的含义

代 号	瓷介电容	云母电容	有机电容	电解电容
1	圆形	非密封	非密封	箔式
2	管形	非密封	非密封	箔式
3	叠片	密封	密封	非固体
4	独石	密封	密封	固体
5	穿心		穿心	
6	支柱等			
7				无极性
8	高压	高压	高压	
9			特殊	特殊
G	高功率型			
J	金属化型			
Y	高压型			
W	微调型			

(1) 电容器的参数

电容器的主要参数有电容量和耐压。

电容器贮存电荷的能力叫作电容量，简称容量，基本单位是法拉，简称法（F）。由于法拉作单位在实际运用中往往显得太大，所以常用微法（ μF ）、毫微法（nF）和微微法（pF）作为单位。它们之间的换算关系是： $1\text{F}=10^6\mu\text{F}$ ， $1\mu\text{F}=1000\text{nF}$ ， $1\text{nF}=1000\text{pF}$ 。

电容器上容量的标示方法常见的有两种。一种是直标法，如图 5-39 所示。例如，100pF 的电容器上印有“100”字样， $0.01\mu\text{F}$ 的电容器上印有“0.01”字样， $2.2\mu\text{F}$ 的电容器上印有“ 2.2μ ”或“ $2\mu 2$ ”字样， $47\mu\text{F}$ 的电容器上印有“ 47μ ”字样。有极性电容器上还印有极性标志。

另一种是数码表示法，一般用三位数字表示容量的大小，其单位为 pF。三位数字中，前两位是有效数字，第三位是倍乘数，即表示有效数字后有多少个“0”，如图 5-40 所示。

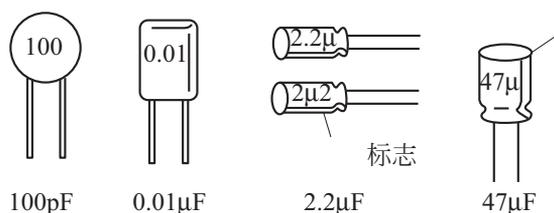


图 5-39 容量直接表示

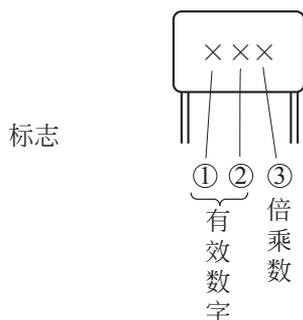


图 5-40 容量数码表示

倍乘数的标示数字所代表的含义见表 5-6，标示数为 0~8 时分别表示 $10^0 \sim 10^8$ ，而 9 则是表示 10^{-1} 。例如，103 表示 $10 \times 10^3 = 10000\text{pF} = 0.01\mu\text{F}$ ，229 表示 $22 \times 10^{-1} = 2.2\text{pF}$ 。

表 5-6 电容器上倍乘数的意义

标示数字	倍乘数
0	$\times 10^0$
1	$\times 10^1$
2	$\times 10^2$
3	$\times 10^3$
4	$\times 10^4$
5	$\times 10^5$
6	$\times 10^6$
7	$\times 10^7$
8	$\times 10^8$
9	$\times 10^{-1}$

耐压是电容器的另一主要参数，表示电容器在连续工作中所能承受的最高电压。耐压值一般直接印在电容器上，也有一些体积很小的小容量电容器不标示耐压值。电路图中对电容器耐压的要求一般直接用数字标出，如图 5-41 所示。电路图中不作标示的可根据电路的电源电压选用电容器。使用中应保证加在电容器两端的电压不超过其耐压值，否则将会损坏电容器。

使用有极性电容器时应注意其引线有正、负极之分，在电路中，其正极引线应接在电位高的一端，负极引线应接在电位低的一端。如果极性接反会使漏电流增大，并易损坏电容器。

(2) 电容器的工作原理

电容器的基本结构是两块金属电极之间夹着一绝缘介质层，如图 5-42 所示，因此，两电极之间是互相绝缘的，直流电无法通过电容器。

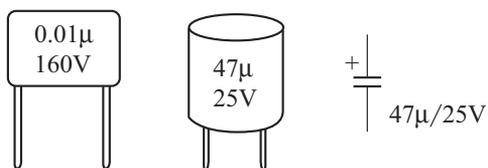


图 5-41 耐压的标示

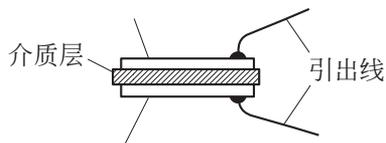


图 5-42 电容器基本结构

但是对于交流电来说情况就不同了，交流电可以通过在两电极之间充、放电而“通过”电容器。如图 5-43 所示，在交流电正半周时，电容器被充电，有一充电电流通过电容器。在交流电负半周时，电容器放电并反方向充电，放电和反方向充电电流通过电容器。归纳起来，我们可以用一句话来概括电容器的基本功能：隔直流通交流。

电容器对交流电也具有一定的阻力，称之为容抗，用符号“ X_C ”表示，单位为“ Ω ”。容抗等于电容器两端交流电压（有效值）与通过电容器的交流电流（有效值）的比值。容抗 X_C 分别与交流电的频率 f 和电容器的容量 C 成反比，即 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ，如图 5-44 所示。

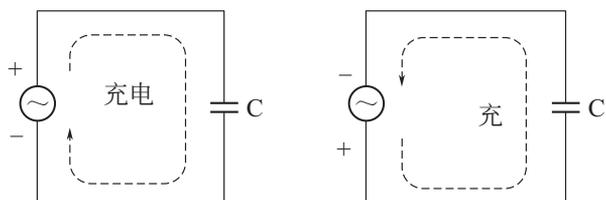


图 5-43 电容器工作原理

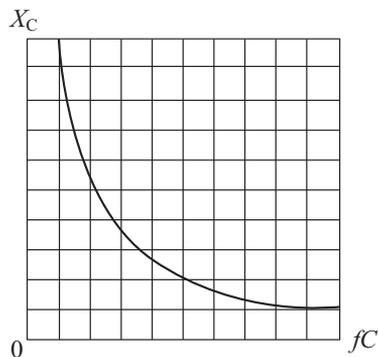


图 5-44 容抗曲线

(3) 电容器的作用

电容器的各项作用都是“隔直流通交流”这一基本功能的具体应用。

电容器具有旁路滤波作用。如图 5-45 所示为整流电源电路，二极管整流出来的电压 U_1 是脉动直流，其中既有直流成分也有交流成分，由于输出端接有滤波电容器 C ，交流成分被 C 旁路到地，输出电压 U 就是纯净的直流了。

电容器具有耦合作用。如图 5-46 所示为两级音频放大电路，晶体管 VT_1 集电极输出的交流信号通过电容 C 传到 VT_2 基极，而 VT_1 集电极的直流电位则不会影响到 VT_2 基极， VT_1 与 VT_2 可以有各自适当的直流工作点，这就是电容器的耦合作用。

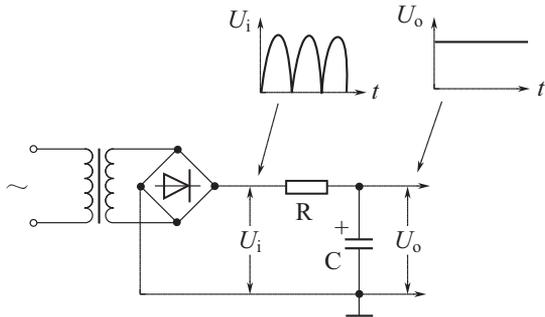


图 5-45 电容器滤波

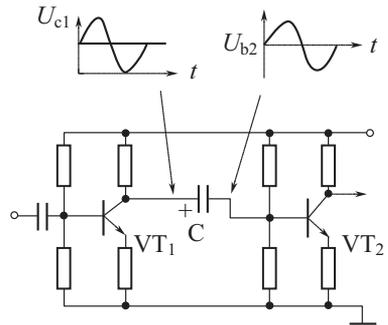


图 5-46 电容器耦合

电容器还具有移相作用。由于通过电容器的电流大小取决于交流电压的变化率，因此电容器上电流超前电压 90° ，如图 5-47 所示。

利用电容器上电流超前电压的特性，可以构成 RC 移相网络，如图 5-48 所示。RC 移相网络中，输出电压 U_o 取自电阻 R，由于电容器 C 上电流 i 超前输入电压 U_i ，因此 U_o 超前 U_i 一个相移角 φ ， φ 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，由组成移相网络的 R、C 的比值决定。

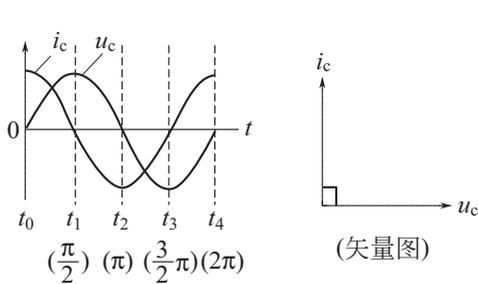


图 5-47 电容器电流超前电压

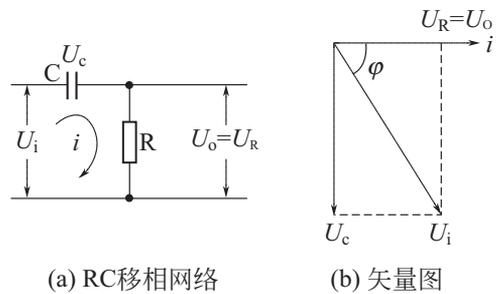


图 5-48 RC 移相网络

当需要的相移角超过 90° 时，可用多节移相网络来实现。如图 5-49 所示为三节 RC 移相网络，每节移相 60° ，三节共移相 180° 。该移相网络可用于晶体管 RC 振荡器，振荡频率

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

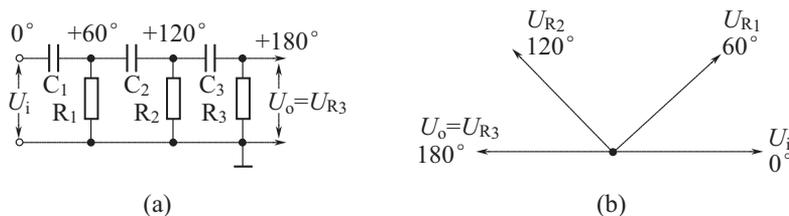


图 5-49 三节 RC 移相网络

5.3.2 检测电容器

电容器的好坏可用指针式万用表或数字万用表进行检测。

(1) 指针式万用表检测

电容器的好坏可用万用表的电阻挡进行检测。首先根据电容器容量的大小，将万用

表上的挡位旋扭转到适当的“Ω”挡位。例如，100 μ F 以上的电容器用“R \times 100”挡，1~100 μ F 的电容器用“R \times 1k”挡，1 μ F 以下的电容器用“R \times 10k”挡，如图 5-50 所示。

检测时，用万用表的两表笔（不分正、负）分别去与电容器的两引线相接，在刚接触的一瞬间，表针应向右偏转，然后缓慢向左回归，如图 5-51 所示。

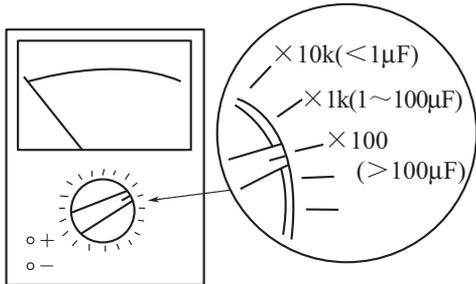


图 5-50 选择检测挡位

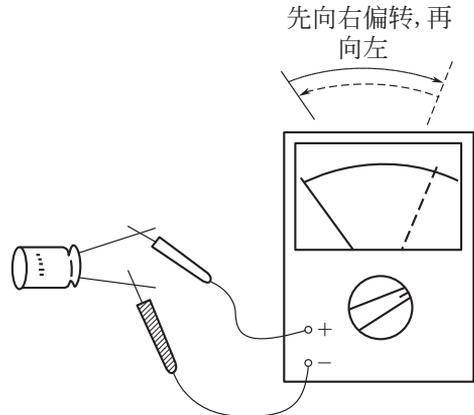


图 5-51 检测电容器

对调两表笔后再测，表针应重复以上过程。电容器容量越大，表针右偏越大，向左回归也越慢。对于容量小于 0.01 μ F 的电容器，由于充电电流极小，几乎看不出表针右偏，只能检测其是否短路。

如果万用表表针不动，说明该电容器已断路损坏，如图 5-52 所示。如果表针向右偏转后不向左回归，说明该电容器已短路损坏，如图 5-53 所示。如果表针向右偏转然后向左回归稳定后，阻值指示小于 500k Ω ，如图 5-54 所示，说明该电容器绝缘电阻太小，漏电流较大，也不宜使用。

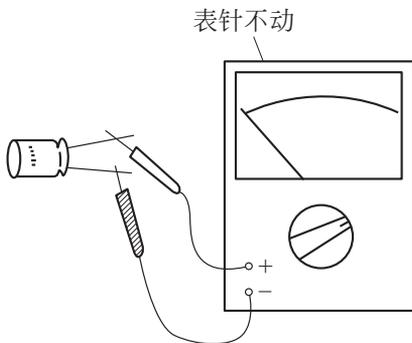


图 5-52 电容器断路

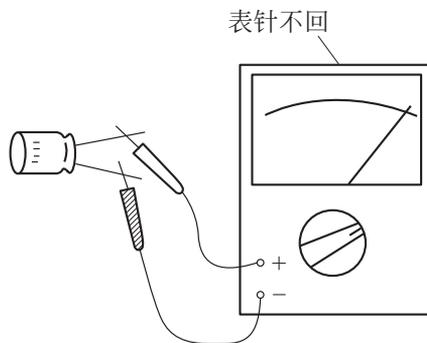


图 5-53 电容器短路

对于正负极标志模糊不清的电解电容器，可用测量其正、反向绝缘电阻的方法，判断出其引脚的正、负极。具体方法是用万用表“R \times 1k”挡测出电解电容器的绝缘电阻，将红、黑表笔对调后再测出第二个绝缘电阻。

两次测量中，绝缘电阻较大的那一次，黑表笔（与万用表中电池正极相连）所接为电解电容器的正极，红表笔（与万用表中电池负极相连）所接为电解电容器的负极，如图 5-55 所示。

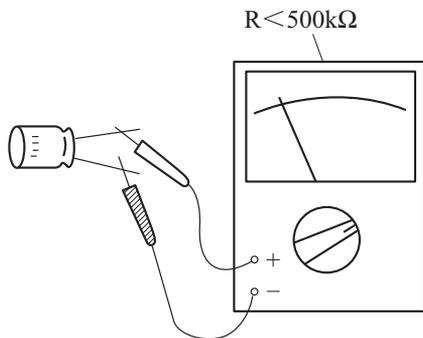


图 5-54 电容器漏电

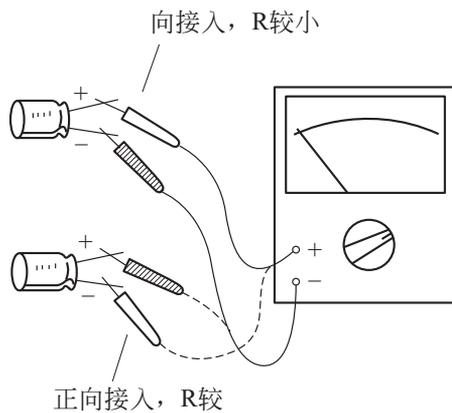


图 5-55 判断电容器正负极

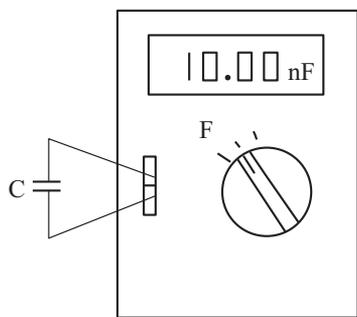


图 5-56 数字万用表检测电容器

(2) 数字万用表检测

对于容量很小的电容器，用指针式万用表检测时，由于充电电流极小，几乎看不出表针右偏，可用数字万用表的电容挡进行检测。

首先将数字万用表上挡位旋扭转到适当的“F”挡位，一般测量 2000pF 以下电容器可选“2nF”挡；2~19.99nF 电容器可选“20nF”挡；20~199.9nF 电容器可选“200nF”挡；0.2~1.999μF 电容器可选“2μF”挡；2~19.99μF 电容器可选“20μF”挡。

然后将被测电容器插入数字万用表上的“Cx”插孔，LCD 显示屏即显示出被测电容器 C 的容量，如图 5-56 所

示。如显示“000”（短路）、仅最高位显示“1”（断路）、或显示值与电容器上标示值相差很大，则说明该电容器已损坏。

5.4 可变电容器

可变电容器是电容量在一定范围内可以连续调节的电容器，是一种常用的可调电子元件。可变电容器的外形如图 5-57 所示。

5.4.1 认识可变电容器

可变电容器的文字符号为“C”，图形符号如图 5-58 所示。

可变电容器由两组金属片组成电极，其中一组固定不动，称为定片。另一组安装在旋轴上可以旋转，称为动片。定片与动片之间的介质有固体介质和空气介质两类，因此可变电容器又可分为固体介质可变电容器和空气介质可变电容器。固体介质可变电容器常用塑料薄膜或云母薄片作介质，体积很小，并可做成密封形式。

广义的可变电容器通常包括可变电容器和微调电容器（半可变电容器）两大类。可变电容器适用于电容量需要随时改变的电路中。微调电容器适用于需要将电容量调整得很准确，调好后不再改变的电路中。

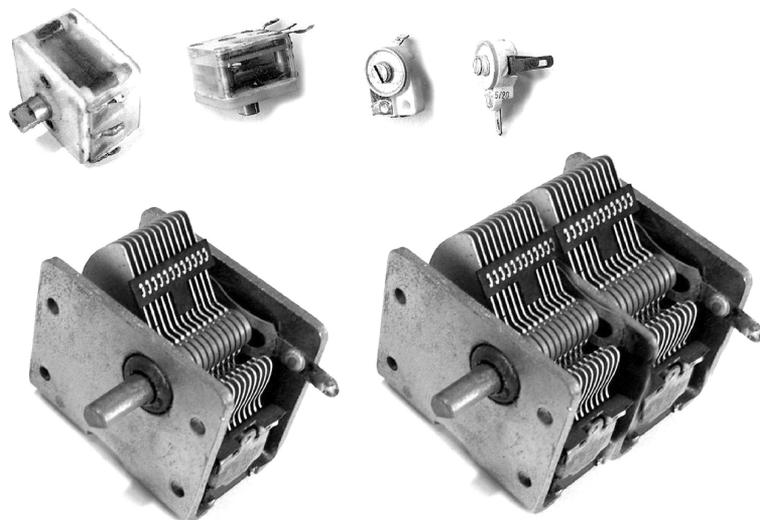
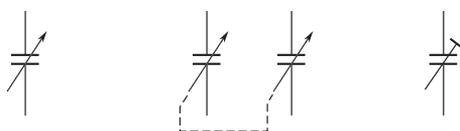


图 5-57 可变电容器



(a) 可变电容器 (b) 双连可变电容器 (c) 微调 容器

图 5-58 可变电容器符号

可变电容器按结构可分为单连可变电容器和双连可变电容器。双连可变电容器实质上是同轴的两个可变电容器，随着转轴的转动，两连的电容量同步变化。两连的最大电容量可以相等（等容式），也可以不相等（差容式）。

可变电容器动片的旋转角度通常为 180° ，动片全部旋入定片时容量最大，全部旋出时容量最小。按容量随动片旋转角度变化的特性，可变电容器可分为直线电容式、直线频率式、对数式等，如图 5-59 所示。

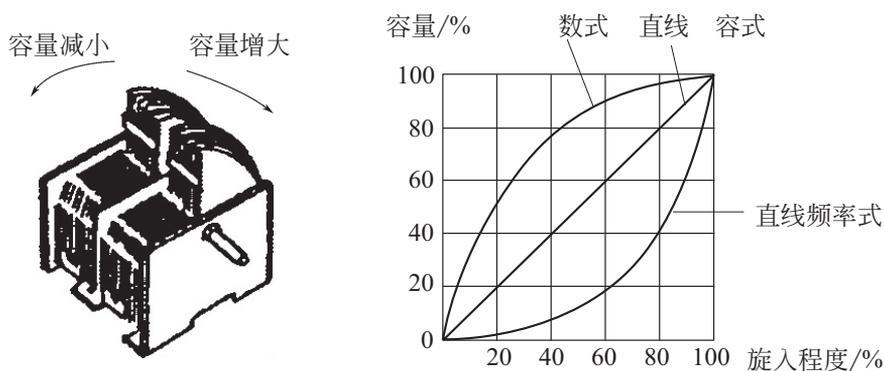


图 5-59 容量变化特性

(1) 可变电容器的参数

可变电容器的主要参数是最大电容量，一般直接标示在可变电容器上。在电路图中可以

只标注出最大容量，例如“360p”；也可以同时标注出最小容量和最大容量，例如“6/170p”、“1.5/10p”，如图 5-60 所示。

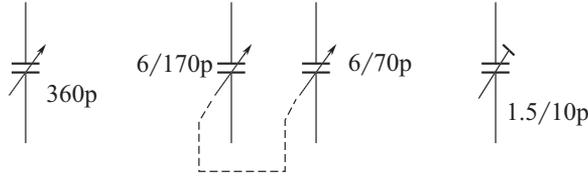


图 5-60 容量的标示

(2) 可变电容器的作用

可变电容器的主要作用是改变和调节回路的谐振频率。如图 5-61 所示 LC 谐振回路中，改变可变电容器 C 即可改变谐振频率 f ， $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ， f 与电容量 C 的平方根成反比。

可变电容器可以用于振荡器，使振荡器频率在一定范围内连续可调。如图 5-62 所示为高频信号发生器电路，调节单连可变电容器 C，其输出信号频率即可根据需要改变。可变电容器常用于收音机的调谐回路，起到选择电台的作用。

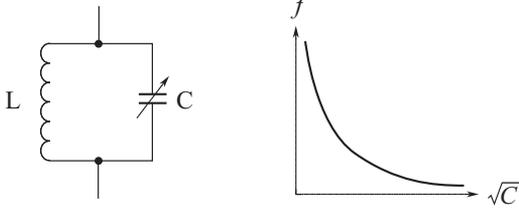


图 5-61 LC 谐振回路

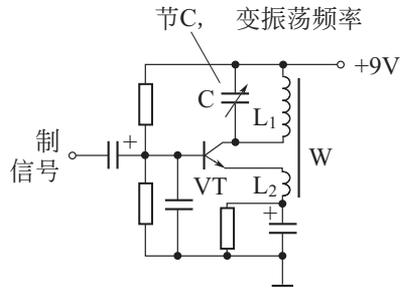


图 5-62 高频振荡电路

如图 5-63 所示为超外差收音机变频级电路图，双连可变电容器 C_1 中的一连 C_{1a} 接入天线输入回路，另一连 C_{1b} 接入本机振荡回路，调节 C_1 ，两连容量同步改变。 C_2 、 C_3 均为微调电容器，分别用于天线输入回路和本机振荡回路的频率校准，用小螺钉旋具旋转瓷介微调电容器上的动片，使电容量符合要求即可。

可变电容器（包括微调电容器）在使用中，应注意必须将其动片接地，如图 5-64 所示，这样可以避免调节时的人体感应，提高电路的抗干扰能力和工作稳定度。

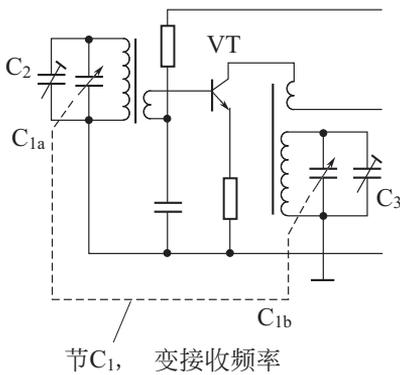


图 5-63 变频电路

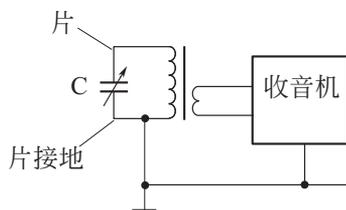


图 5-64 动片应接地

固体密封单、双连和空气单、双连可变电容器的定片、动片引出端如图 5-65 所示，使用中不可接错。双连可变电容器一般只有一个动片引出端，两连共用。

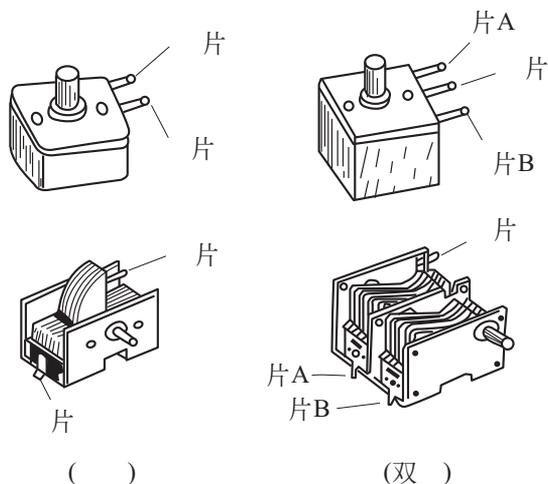


图 5-65 可变电容器引出端

5.4.2 检测可变电容器

可变电容器可用万用表的电阻挡进行检测，主要是检测其是否有短路现象。检测时，万用表置于电阻挡，一般可选“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡，如图 5-66 所示。

将万用表两表笔（不分正、负）分别与可变电容器的两端引线可靠相接，然后来回旋转可变电容器的旋柄，万用表指针均应不动，如图 5-67 所示。如旋转到处指针摆动，说明可变电容器有短路现象，不能使用。对于双连可变电容器，应对每一连分别进行检测。

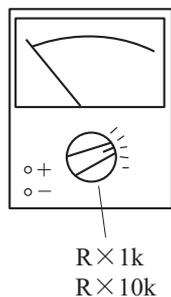


图 5-66 万用表置于电阻挡

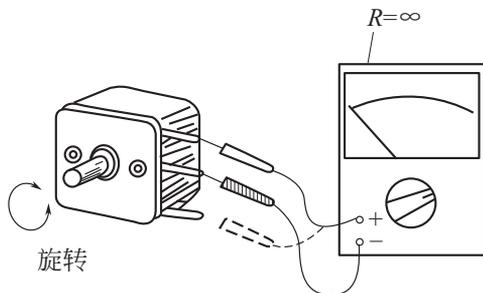


图 5-67 检测可变电容器

5.5 电感器

电感器习惯上简称为电感，是常用的基本电子元件之一。电感器种类繁多，形状各异，外形如图 5-68 所示，通常可分为固定电感器、可变电感器、微调电感器三大类。

按其采用材料不同，电感器还可分为空心电感器、磁芯电感器、铁芯电感器、铜芯电感器等。线圈装有磁芯或铁芯，可以增加电感量，一般磁芯用于高频场合，铁芯用于低频场合。线圈装有铜芯，则可以减小电感量。



图 5-68 电感器

5.5.1 认识电感器

电感器的文字符号为“L”，图形符号如图 5-69 所示。

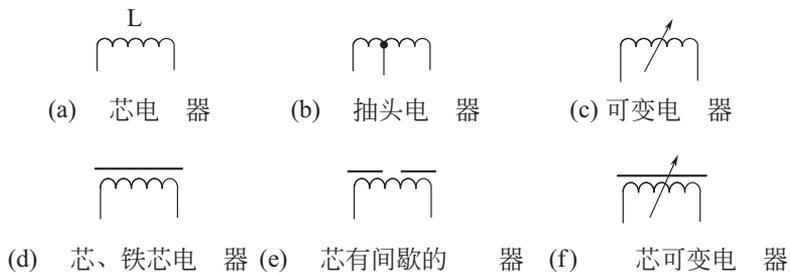


图 5-69 电感器符号

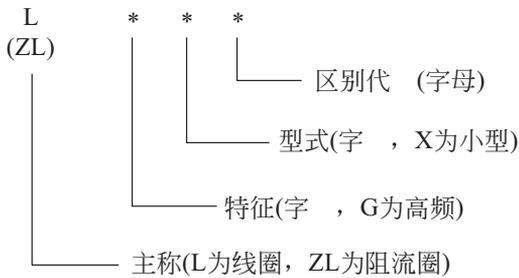


图 5-70 电感器型号

电感器的型号命名一般由四部分组成，如图 5-70 所示。第一部分用字母表示电感器的主称，“L”为电感线圈，“ZL”为阻流圈；第二部分用字母表示电感器的特征，例如“G”为高频；第三部分用字母表示电感器的形式，例如“X”为小型；第四部分用字母表示区别代号。

固定电感器是一种通用性强的系列化产品，其结构如图 5-71 所示，线圈（往往含有磁芯）被密封在外壳内，具有体积小、重量轻、结构牢固、电感量稳定和使用安装方便的特点。

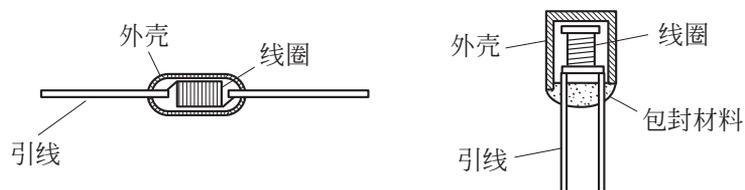


图 5-71 固定电感器

(1) 电感器的参数

电感器的主要参数是电感量和额定电流。

电感量的基本单位是亨利，简称亨，用字母“H”表示。在实际应用中，一般常用毫亨（mH）或微亨（ μH ）作单位。它们之间的相互关系是 $1\text{H}=1000\text{mH}$ ， $1\text{mH}=1000\mu\text{H}$ 。

电感器上电感量的标示方法有两种。一种是直标法，即将电感量直接用文字印在电感器上，如图 5-72 所示。

另一种是色标法，即用色环表示电感量，其单位为 μH 。色标法如图 5-73 所示，第 1、2 环表示两位有效数字，第 3 环表示倍乘数，第 4 环表示允许偏差。各色环颜色的含义与色环电阻器相同，见表 5-2。

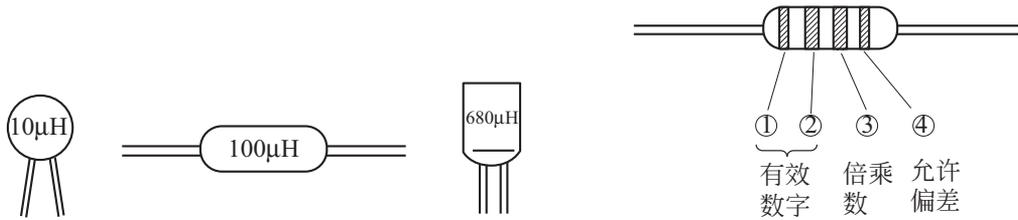


图 5-72 电感量的标示

图 5-73 色环表示电感量

额定电流是电感器的另一项主要参数。额定电流是指电感器在正常工作时，所允许通过的最大电流。额定电流一般以字母表示，并直接印在电感器上，字母的含义见表 5-7。使用中，电感器的实际工作电流必须小于额定电流，否则电感线圈将会严重发热甚至烧毁。

表 5-7 电感器上额定电流代号的意义

字母代号	额定电流
A	50mA
B	150mA
C	300mA
D	700mA
E	1.6A

电感器还有品质因素（Q 值）、分布电容等参数，在对这些参数有要求的电路中，选用电感器时必须予以考虑。

(2) 电感器的的工作原理

电感线圈在通过电流时会产生自感电动势，自感电动势总是反对原电流的变化。如图 5-74 所示，当通过电感线圈的原电流增加时，自感电动势与原电流反方向，阻碍原电流增加；当原电流减小时，自感电动势与原电流同方向，阻碍原电流减小。

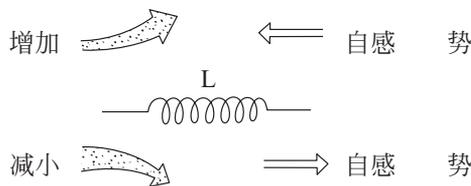


图 5-74 自感电动势

自感电动势的大小与通过电感线圈的电流的变化率成正比。由于直流电的电流变化率为“0”，所以其自感电动势也为“0”，直流电可以无阻力地通过电感线圈（忽略电感线圈极小的导线电阻）。对于交流电来说，情况就不同了。交流电的电流时刻在变化，它在通过电感线圈时必然受到自感电动势的阻碍。交流电的频率越高，电流变化率越大，产生的自感电动势也越大，交流电流通过电感线圈时受到的阻力也就越大。

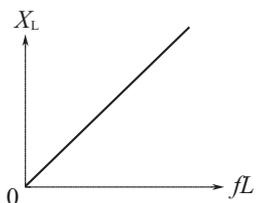


图 5-75 感抗曲线

电感器对交流电所呈现的阻力称之为感抗，用符号“ X_L ”表示，单位为“ Ω ”。感抗等于电感器两端交流电压（有效值）与通过电感器的交流电流（有效值）的比值。感抗 X_L 分别与交流电的频率 f 和电感器的电感量 L 成正比，即 $X_L = 2\pi fL$ ，如图 5-75 所示。

综上所述，电感器的最基本的功能是通直流阻交流。

(3) 电感器的作用

基于电感器通直流阻交流的特性，电感器可以用于整流电源滤波。如图 5-76 所示为整流滤波电路， L 与 C_1 、 C_2 组成 Π 型 LC 滤波器。由于 L 具有通直流阻交流的功能，因此，整流输出的脉动直流电 U_i 中的直流成分可以通过 L ，而交流成分绝大部分不能通过 L ，被 C_1 、 C_2 旁路到地，输出端 U_o 便是纯净的直流电了。

电感器可以用于区分高、低频信号。如图 5-77 所示为来复式收音机中高频阻流圈的应用示例，由于高频阻流圈 L 对高频电流感抗很大而对音频电流感抗很小，晶体管 VT 集电极输出的高频信号只能通过 C 进入检波电路。检波后的音频信号再经 VT 放大后则可以通过 L 到达耳机。

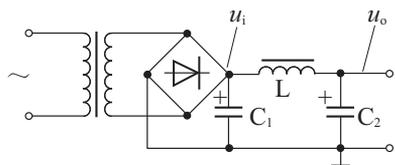


图 5-76 滤波电路

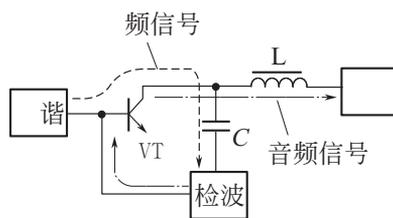


图 5-77 来复式收音机电路

电感器可以用于谐振选频回路。如图 5-78 所示为收音机高放级电路，可变电感器 L 与 C_1 组成调谐回路，调节 L 即可改变谐振频率，起到选台的作用。

电感线圈还可以用于磁偏转电路。图 5-79 为显像管偏转线圈工作示意图，偏转电流通过偏转线圈产生偏转磁场，使电子束随之偏转完成扫描运动。

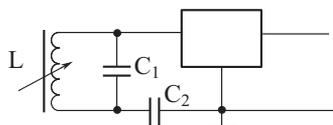


图 5-78 高放调谐回路

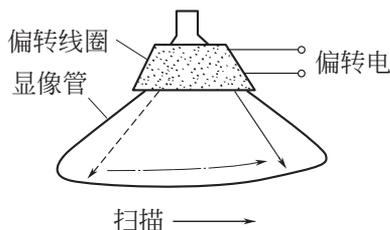


图 5-79 磁偏转原理

5.5.2 检测电感器

电感器的的好坏可以用万用表进行初步检测，即检测电感器是否有断路、短路、绝缘不良

等情况。

(1) 检测电感器线圈

检测时，首先将万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，两表笔（不分正、负）与电感器的两引脚相接，表针指示应接近为“ 0Ω ”，如图 5-80 所示。

如果表针不动，说明该电感器内部断路。如果表针指示不稳定，说明内部接触不良。对于电感量较大的电感器，由于其线圈圈数相对较多，直流电阻相对较大，万用表指示应有一定的阻值，如图 5-81 所示。如果表针指示为“ 0Ω ”，说明该电感器内部短路。

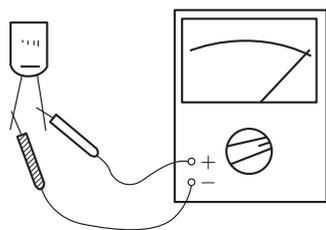


图 5-80 检测电感器

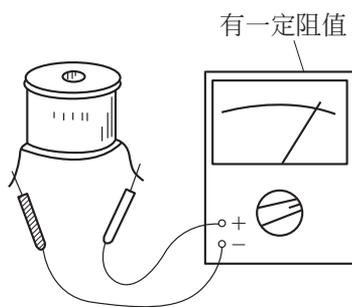


图 5-81 检测较大电感器

(2) 检测绝缘情况

将万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，检测电感器的绝缘情况，主要是针对具有铁芯或金属屏蔽罩的电感器。测量线圈引线与铁芯或金属屏蔽罩之间的电阻，均应为 $\infty\Omega$ （表针不动），如图 5-82 所示。否则说明该电感器绝缘不良。

(3) 检查电感器结构

仔细观察电感器结构，线圈绕线应不松散、不会变形，引出端应固定牢固，磁芯既可灵活转动，又不会松动等，如图 5-83 所示。

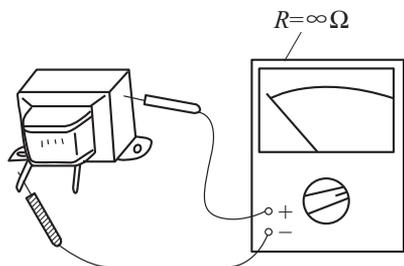


图 5-82 检测绝缘情况

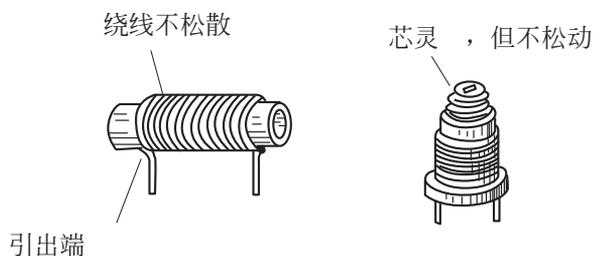


图 5-83 检查电感器结构

5.6 变压器

变压器是一种常用元器件，其种类繁多，大小形状千差万别，外形如图 5-84 所示。变压器可分为电源变压器、音频变压器、中频变压器、高频变压器四大类。根据结构与材料的不同，变压器又可分为铁芯变压器、固定磁芯变压器、可调磁芯变压器等。铁芯变压器适用于低频，磁芯变压器更适合工作于高频。



图 5-84 变压器

5.6.1 认识变压器

变压器的文字符号为“T”，图形符号如图 5-85 所示。

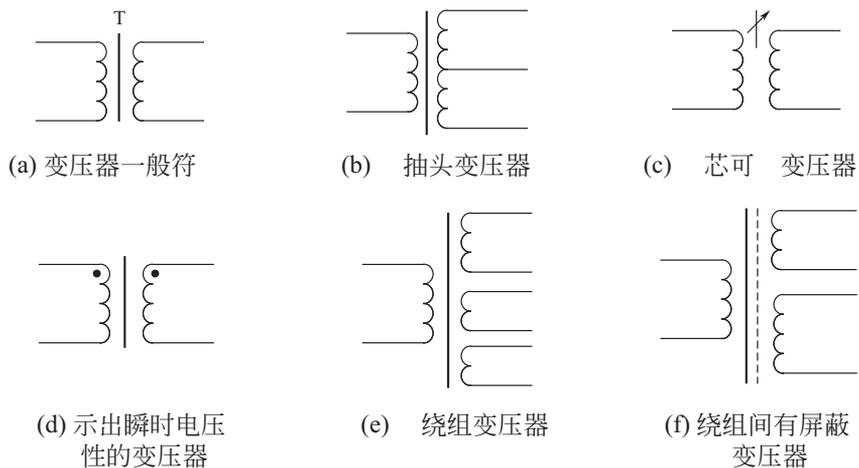


图 5-85 变压器符号

(1) 变压器的工作原理

变压器是利用互感应原理工作的。变压器由一次侧、二次侧两部分互不相通的线圈组成，它们之间由铁芯或磁芯作为耦合媒介，如图 5-86 所示。

当在一次侧线圈两端加上交流电压 U_1 时，交流电流 I_1 流过一次侧线圈使其产生交变磁场，在二次侧线圈两端即可获得交流电压 U_2 。直流电压不会产生交变磁场，二次侧无感应电压。所以变压器具有传输交流、隔离直流的作用。

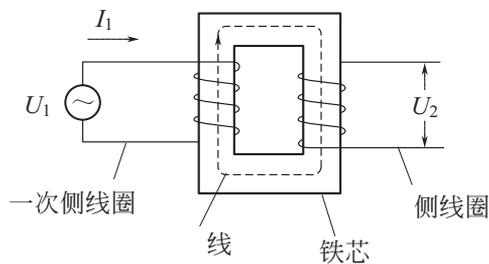


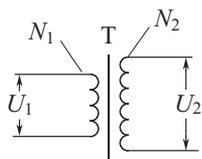
图 5-86 变压器工作原理

(2) 变压器的作用

变压器具有电压变换的作用。如图 5-87 所示，变压器二次侧电压的大小，取决于二次侧与一次侧的圈数比。空载时，二次侧电压 U_2 与一次侧电压 U_1 之比，等于二次侧圈数 N_2 与一次侧圈数 N_1 之比。

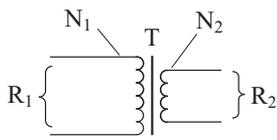
变压器具有阻抗变换的作用。如图 5-88 所示，变压器一次侧与二次侧的圈数比不同，耦合过来的阻抗也不同。在数值上，二次侧阻抗 R_2 与一次侧阻抗 R_1 之比，等于二次侧圈数 N_2 与一次侧圈数 N_1 之比的平方。

变压器还具有相位变换的作用。如图 5-89 所示变压器电路图，标出了各绕组线圈的瞬时电压极性。可见，通过改变变压器线圈的接法，可以很方便地将信号电压倒相。



$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

图 5-87 电压变换



$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

图 5-88 阻抗变换

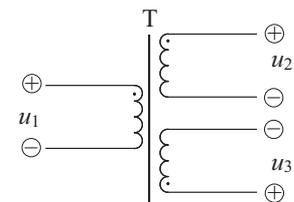
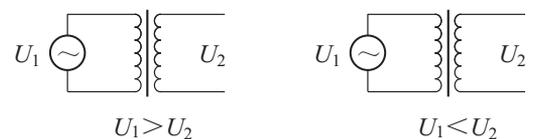


图 5-89 相位变换

(3) 电源变压器

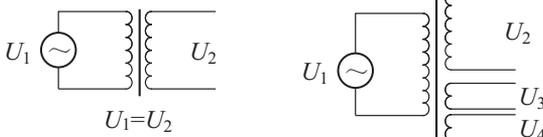
电源变压器是最常用的一类变压器。电源变压器一般可分为降压变压器 ($U_2 < U_1$)、升压变压器 ($U_2 > U_1$)、隔离变压器 ($U_2 = U_1$)、多绕组变压器等，如图 5-90 所示。多绕组电源变压器具有若干个互为独立的二次侧绕组，各二次侧电压也不尽相同，既可以低于一次电压，也可以等于或高于一次侧电压。

电源变压器的主要参数是功率、二次侧电压和电流。功率与铁芯截面的平方成正比，如图 5-91 所示，铁芯截面越大，变压器功率越大。功率一般用文字直接标注在变压器上。



(a) 降压变压器

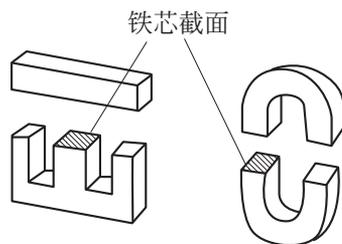
(b) 升压变压器



(c) 变压器

(d) 绕组变压器

图 5-90 电源变压器



E型铁芯

C型铁芯

图 5-91 铁芯截面积

次级电压是电源变压器的另一项主要参数。有多个次级绕组的电源变压器，可以有多种二次侧电压，如图 5-92 所示。制作时应根据需要选用具有符合要求的二次侧电压的变压器。

二次侧电流也是电源变压器的主要参数，它是指二次侧绕组所能提供的最大电流，选用时二次侧电流必须大于电路实际电流值。图 5-92 示出了某电源变压器的二次侧电压和电流

值。二次侧电压和电流一般均用文字直接标注在变压器上。

常用电源变压器的一次侧电压一般为交流 220V，也有交流 380V 的。电源变压器的参数还有空载电流、绝缘电阻等，选购成品变压器时可不必考虑。

电源变压器的用途是电源电压变换，并可同时提供多种电源电压，以适应电子电路的需要。

电源变压器的另一用途是电源隔离。如图 5-93 所示，由于变压器的隔离作用，即使人体接触到电压 U_2 ，也不会与交流 220V 市电构成回路，保证了人身安全。这就是维修热底板家电时必须要用电源隔离变压器的道理。

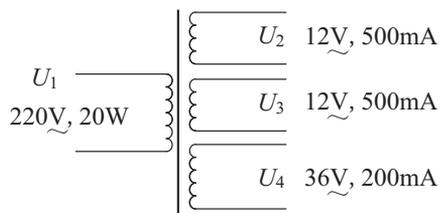


图 5-92 多种二次侧电压与电流

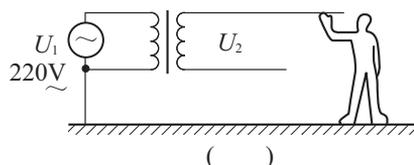


图 5-93 电源隔离

(4) 音频变压器

音频变压器是工作于音频范围的变压器。推挽功率放大器中的输入变压器和输出变压器都属于音频变压器，如图 5-94 所示。有线广播中的线路变压器也是音频变压器，如图 5-95 所示。

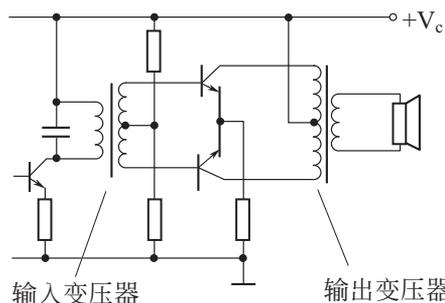


图 5-94 输入与输出变压器

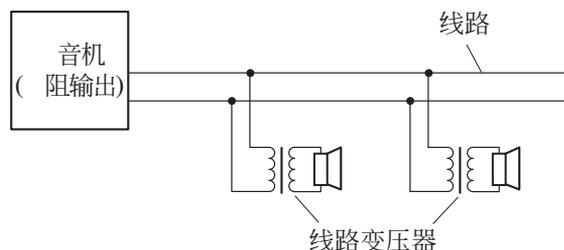


图 5-95 线路变压器

音频变压器的主要参数是阻抗比和功率。功率是指音频变压器正常工作时所能承受的最大功率，一般在晶体管收音机中可不必考虑。在电子管扩音机（胆机）中和有线广播系统中，则必须注意音频变压器的功率。在高保真音响中，还应考虑音频变压器的频响指标。

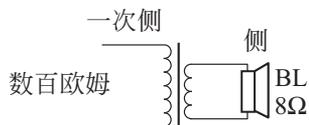


图 5-96 阻抗匹配

音频变压器的用途之一是阻抗匹配。如图 5-96 所示，输出变压器将扬声器的 8Ω 低阻变换为数百欧姆的高阻，与放大器的输出阻抗相匹配，使得放大器输出的音频功率最大而失真最小。

音频变压器的另一用途是信号传输与分配。如图 5-97 所示为推挽功率放大器电路，输入变压器将信号电压传输、分配给晶体管 VT_1 和 VT_2 （送给 VT_2 的信号还倒了相），使 VT_1 和 VT_2 轮流分别放大正、负半周信号，然后再由输出变压器将输出信号合成。

(5) 中频变压器

中频变压器习惯上简称为中周，应用于超外差收音机和电视机的中频放大电路中。中频变压器分为单调谐式和双调谐式两种，如图 5-98 所示。单调谐式一次侧、二次侧绕在一个磁芯上。双调谐式一次侧、二次侧分为两个独立的线圈，依靠电容或电感进行耦合。

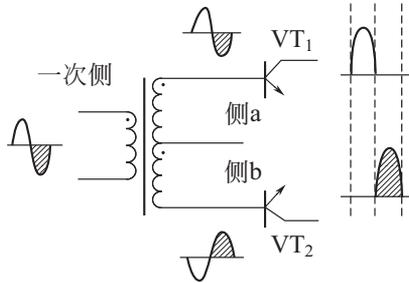


图 5-97 信号传输分配

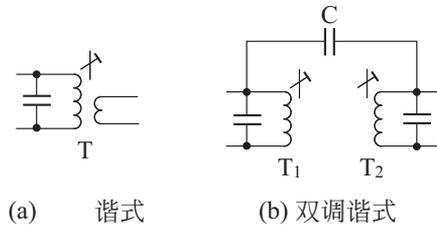


图 5-98 中频变压器

中频变压器的特点是磁芯可以调节，以便微调电感量。如图 5-99 所示为中频变压器结构，左边为调磁帽式，右边为调磁杆式。磁帽或磁杆上带有螺纹，可上下旋转移动。当磁帽或磁杆向下移动时电感量增大，向上移动时电感量减小。

中频变压器的主要参数是谐振频率（配以指定电容器）、通频带、 Q 值和电压传输系数。如图 5-100 所示为中频变压器幅频特性曲线， f_0 为谐振频率， Δf 为通频带。

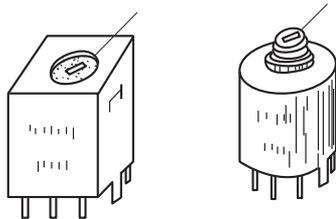


图 5-99 中频变压器结构

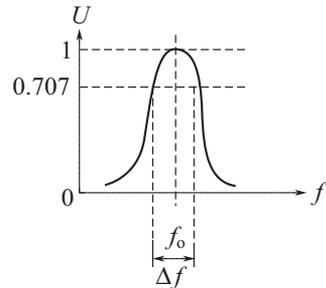


图 5-100 中频变压器特性曲线

中频变压器具有选频与耦合的作用。如图 5-101 所示为超外差收音机中放电路，中频变压器 T_1 、 T_2 的一次侧线圈分别与 C_1 、 C_2 谐振于 465kHz，作为 VT_1 、 VT_2 的负载，因此，只有 465kHz 中频信号得到放大，起到了选频的作用。中频变压器同时还具有耦合作用，一中放输出信号通过 T_1 耦合到二中放，二中放输出信号通过 T_2 耦合到检波级。

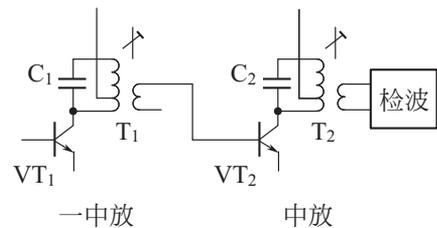


图 5-101 中放电路

(6) 高频变压器

高频变压器通常是指工作于射频范围的变压器。收音机的磁性天线就是一个高频变压器，如图 5-102 所示，一次侧线圈与可变电容器 C 组成选频回路，选出的电台信号通过一次侧、二次侧之间的耦合传输到高频或变频级。

电视机天线阻抗变换器也是一种高频变压器，如图 5-103 所示，折叠偶极子天线输出的 300Ω 平衡信号，通过高频变压器 T 变换为 75Ω 不平衡信号送入电视机。

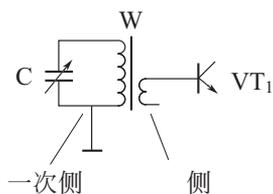


图 5-102 磁性天线

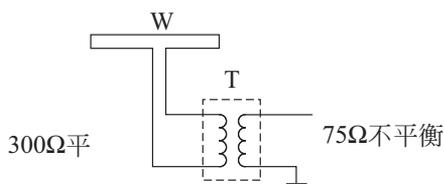


图 5-103 阻抗变换器

5.6.2 检测变压器

变压器可以用万用表进行基本的好坏检测。

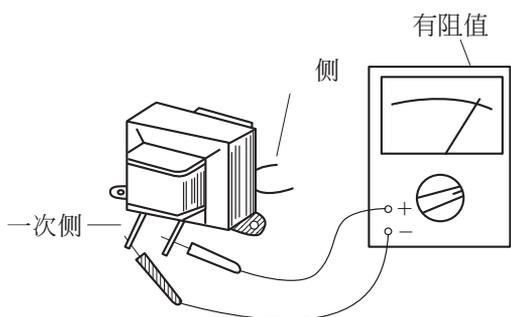


图 5-104 检测变压器

(1) 检测绕组线圈

检测时，用万用表“ $R \times 1$ ”挡测量各绕组线圈，应有一定的电阻值，如图 5-104 所示。如果表针不动，说明该绕组内部断路。如果阻值为“0”，说明该绕组内部短路。

(2) 检测绝缘电阻

用万用表“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡，测量每两个绕组线圈之间的绝缘电阻，均应为 $\infty \Omega$ ，如图 5-105 所示。测量每个绕组线圈与铁芯之间的绝缘电阻，也均应为 $\infty \Omega$ ，如图 5-106 所示。否

则说明该变压器绝缘性能太差，不能使用。

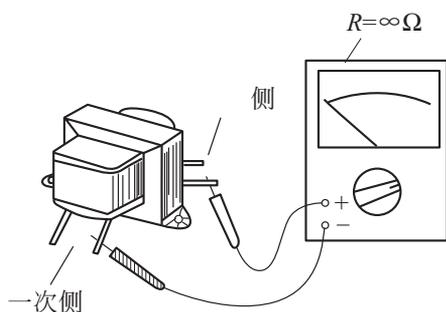


图 5-105 检测绕组间绝缘情况

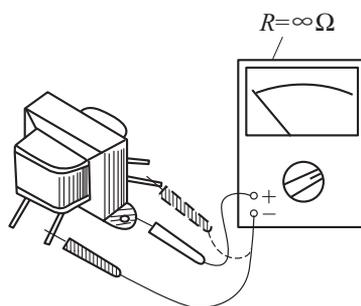


图 5-106 检测绕组与铁芯间绝缘情况

(3) 检测一次侧空载电流

检测电源变压器一次侧空载电流 I_0 的方法如图 5-107 所示，电源变压器所有二次侧引线悬空，初级串接一只 $50 \sim 100 \Omega$ 的电阻 R ，然后接入交流 220V 电源，用万用表“交流 10V”挡测量 R 上的压降 U_R ，根据 $I_0 = U_R / R$ 即可计算出一次侧空载电流。一次侧空载电流一般应在 20mA 以下，过大说明变压器质量差。

(4) 鉴别音频输入输出变压器

推挽功率放大器所用输入、输出变压器外形一样，均为 5 个引出端，如果标志不清，可用万用表鉴别。方法如图 5-108 所示，用万用表“ $R \times 1$ ”挡测量音频变压器有两个引出端的绕组，如阻值在 1Ω 左右则为输出变压器，如阻值在几十至几百欧姆则为输入变压器。

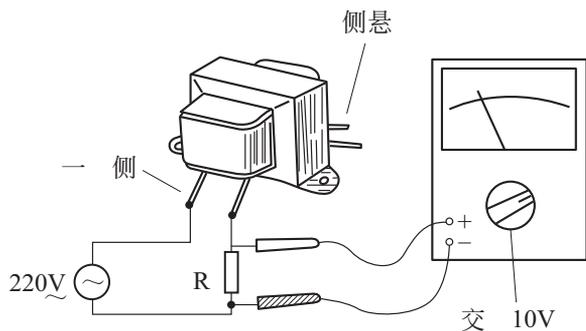


图 5-107 检测一次侧空载电流

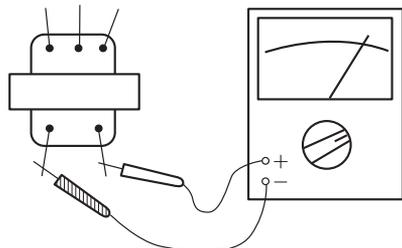


图 5-108 鉴别输入输出变压器

5.7 继电器

继电器是一种常用的控制器件，它可以用较小的电流来控制较大的电流，用低电压来控制高电压，用直流电来控制交流电等，并且可实现控制电路与被控电路之间的完全隔离，在自动控制、遥控、保护电路等方面得到广泛的应用。

继电器的种类很多，包括电磁式继电器、干簧式继电器、湿簧式继电器、压电式继电器、固态继电器、磁保持继电器、步进继电器、时间继电器、温度继电器等。常见继电器外形如图 5-109 所示。

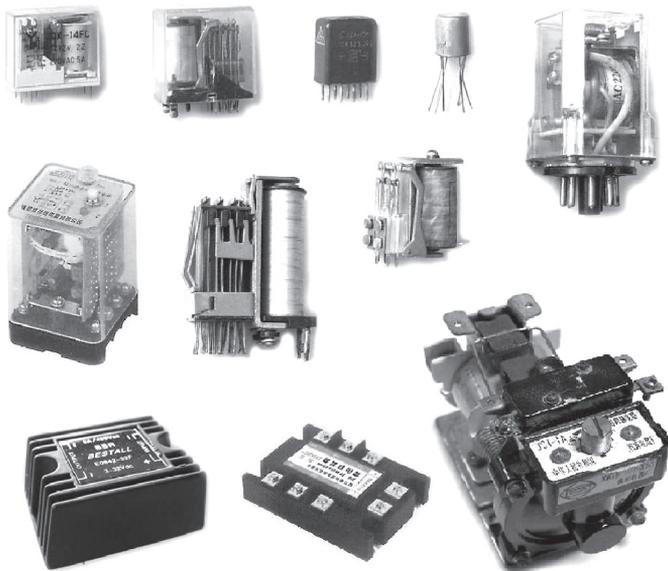


图 5-109 继电器

5.7.1 认识继电器

继电器的文字符号为“K”，图形符号如图 5-110 所示。在电路图中，继电器的接点可以画在该继电器线圈的旁边，也可以为了便于图面布局将接点画在远离该继电器线圈的地方，而用编号表示它们是一个继电器。

继电器的型号命名一般由五部分组成，如图 5-111 所示。第一部分用字母“J”表示继电器的主称，第二部分用字母表示继电器的功率或形式，第三部分用字母表示继电器的外形特征，第四部分用 1~2 位数字表示序号，第五部分用字母表示继电器的封装形式。

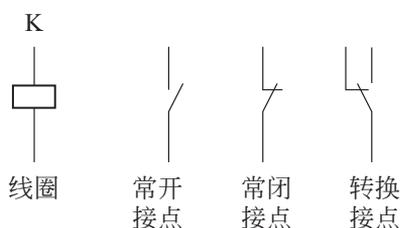


图 5-110 继电器符号

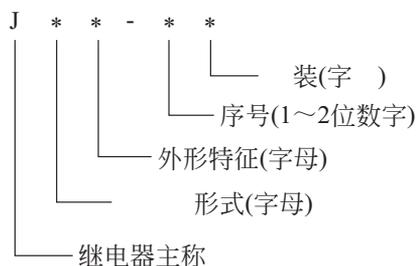


图 5-111 继电器型号

继电器型号中字母的意义见表 5-8。

表 5-8 继电器型号中字母的意义

功率或形式	外形	封装
W:微功率	W:微型	F:封闭式
R:弱功率	C:超小型	M:密封式
Z:中功率	X:小型	(无):敞开式
Q:大功率	G:干式	
A:舌簧	S:湿式	
M:磁保持		
H:极化		
P:高频		
L:交流		
S:时间		
U:温度		

按照工作电压类型的不同，继电器可分为直流型继电器、交流型继电器和脉冲型继电器。按照继电器接点的形式与数量，可分为单组接点继电器和多组接点继电器两类，其中单组接点继电器又分为常开接点（动合接点，简称 H 接点）、常闭接点（动断接点，简称 D 接点）、转换接点（简称 Z 接点）三种。多组接点继电器既可以包括多组相同形式的接点，又可以包括多种不同形式的接点。

(1) 继电器的参数

继电器的主要参数有额定工作电压、额定工作电流、线圈电阻、接点负荷等。

额定工作电压是指继电器正常工作时线圈需要的电压，对于直流继电器是指直流电压，对于交流继电器则是指交流电压。同一种型号的继电器往往有多种额定工作电压以供选择，并在型号后面加以规格号来区别。

额定工作电流是指继电器正常工作时线圈需要的电流值，对于直流继电器是指直流电流值，对于交流继电器则是指交流电流值。选用继电器时必须保证其额定工作电压和额定工作电流符合要求。

线圈电阻是指继电器线圈的直流电阻，有些继电器的说明书中只给出额定工作电压和额

定工作电流，可以根据欧姆定律进行计算。

接点负荷是指继电器接点的负载能力，也称为接点容量。例如，JZX-10M型继电器的接点负荷为直流 $28\text{V}\times 2\text{A}$ 或交流 $115\text{V}\times 1\text{A}$ 。使用中通过继电器接点的电压、电流均不应超过规定值，否则会烧坏接点，造成继电器损坏。一个继电器的多组接点的负荷一般都是一样的。

密封继电器通常将型号和引出端示意图标示在继电器上，如图 5-112 所示。继电器各参数可通过查看说明书或手册得知。

(2) 电磁式继电器

电磁式继电器是最常用的继电器之一，它是利用电磁吸引力推动接点动作的，由铁芯、线圈、衔铁、动接点、静接点等部分组成，如图 5-113 所示。

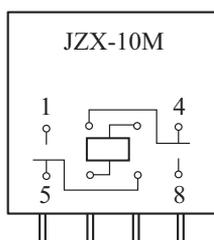


图 5-112 继电器的标示

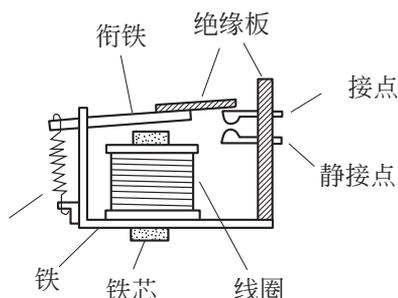


图 5-113 电磁继电器

平时，衔铁在弹簧的作用下向上翘起。当工作电流通过线圈时，铁芯被磁化，将衔铁吸合。衔铁向下运动时，推动动接点与静接点接通，实现了对被控电路的控制。根据线圈要求的工作电压的不同，电磁式继电器分为直流继电器、交流继电器、脉冲继电器等类型。

(3) 干簧继电器

干簧继电器也是最常用的继电器之一，它由干簧管和线圈组成，如图 5-114 所示。干簧管是将两根互不相通的铁磁性金属条密封在玻璃管内而成，干簧管置于线圈中。当工作电流通过线圈时，线圈产生的磁场使干簧管中的金属条被磁化，两金属条因极性相反而吸合，接通被控电路。

(4) 固态继电器

固态继电器（简称为 SSR）是一种新型的继电器，是采用电子电路实现继电器的功能，依靠光电耦合器实现控制电路与被控电路之间的隔离。固态继电器可分为直流式和交流式两大类。

直流固态继电器电路原理如图 5-115 所示，控制电压由 IN 端输入，通过光电耦合器将控制信号耦合至被控端，经放大后驱动开关管 VT 导通。固态继电器输出端 OUT 接入被控电路回路中，输出端 OUT 有正、负极之分。

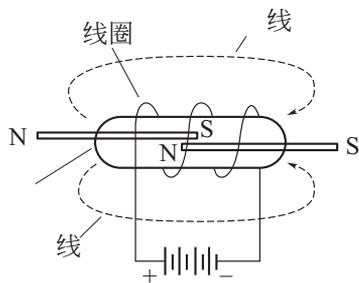


图 5-114 干簧继电器

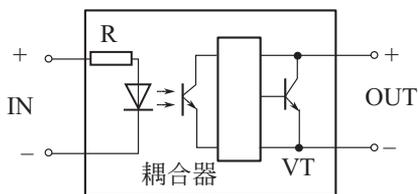


图 5-115 直流固态继电器

交流固态继电器电路原理如图 5-116 所示。与直流固态继电器不同的是交流固态继电器开关元件采用双向晶闸管 VS，因此交流固态继电器输出端 OUT 无正、负极之分，可以控制交流回路的通断。

(5) 继电器的作用

继电器的主要作用是间接控制和隔离控制。如图 5-117 所示为继电器用于声控电灯开关，这是弱电控制强电的典型例子。当话筒 BM 接收到声音信号时，经放大后使继电器 K 吸合，其接点 K_{-1} 接通照明灯 EL 的市电电源使其点亮。

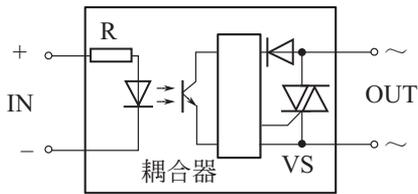


图 5-116 交流固态继电器

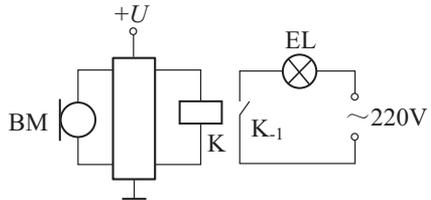


图 5-117 声控开关电路

如图 5-118 所示为继电器用于扬声器保护电路，这是隔离控制的典型例子。功放输出端（L 或 R 端）如果出现直流电压，被扬声器保护电路检测放大后，使继电器 K 吸合，其接点 K_{-1} 和 K_{-2} （均为常闭接点）断开，切断了功放输出端与扬声器的连接，保护了扬声器免于被烧毁。采用继电器控制扬声器的通断，使保护电路与音频电路完全隔离，确保了高保真的音质。

由于继电器线圈实质上是一个大电感，为避免驱动继电器的晶体管被损坏，实际使用中应在继电器线圈两端并接保护二极管，如图 5-119 所示。

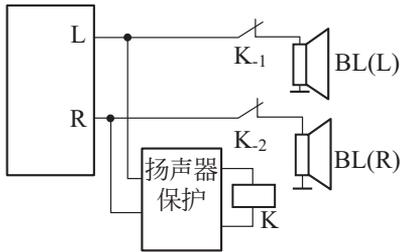


图 5-118 扬声器保护电路

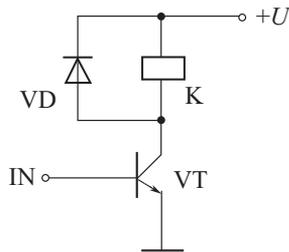


图 5-119 并接保护二极管

当开关管 VT 关断的瞬间，继电器线圈 K 产生的反向高压可以通过保护二极管 VD 泄放，保护了开关管 VT 不会被反向高压所击穿。

5.7.2 检测继电器

一般继电器可以用万用表电阻挡进行检测。

(1) 检测继电器线圈

将万用表置于“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”挡，两表笔（不分正、负）接继电器线圈的两引脚，万用表指示应与该继电器的线圈电阻基本相符，如图 5-120 所示。

如阻值明显偏小，说明线圈局部短路。如阻值为“0”，说明两线圈引脚间短路。如阻值为 $\infty\Omega$ ，说明线圈已断路。以上三种情况均说明

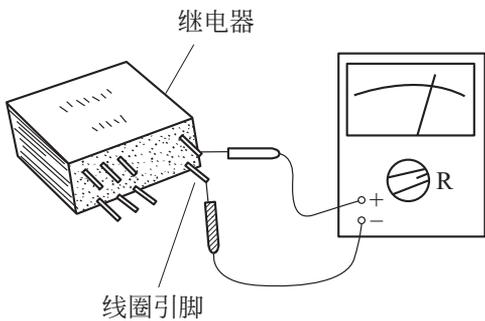


图 5-120 检测继电器线圈

该继电器已损坏。

(2) 检测继电器接点

检测时，给继电器线圈接上规定的工作电压，用万用表“R×1k”挡检测接点的通断情况，如图 5-121 所示。

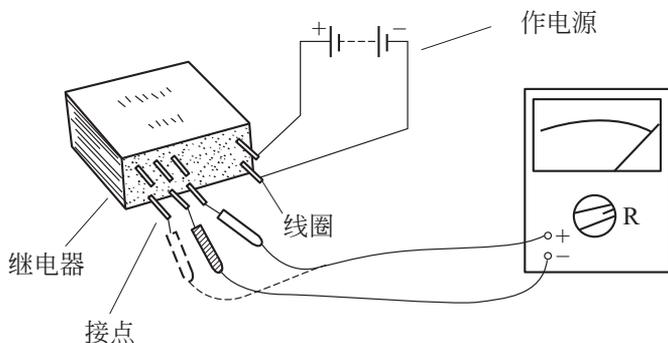


图 5-121 检测继电器接点

未加上工作电压时，常开接点应不通，常闭接点应导通。当加上工作电压时，应能听到继电器吸合声，这时常开接点应导通，常闭接点应不通，转换接点应随之转换。否则，说明该继电器损坏。对于多组接点继电器，如果部分接点损坏，其余接点动作正常则仍可使用。

5.8 扬声器与耳机

扬声器俗称喇叭，是一种常用的电声转换器件，基本作用是将电信号转换为声音，其外形多种多样，如图 5-122 所示。



图 5-122 扬声器

5.8.1 认识扬声器

扬声器的文字符号是“BL”，图形符号如图 5-123 所示。

扬声器的型号命名由四部分组成，如图 5-124 所示。第一部分用字母“Y”表示扬声器

的主称，第二部分用字母表示扬声器的形式，第三部分用数字表示扬声器的额定功率，第四部分用数字表示序号。



图 5-123 扬声器符号

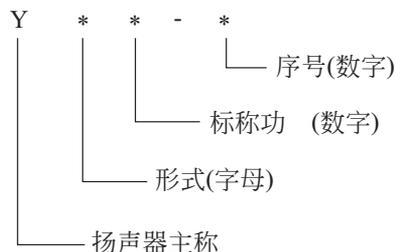


图 5-124 扬声器型号

扬声器型号中字母的意义见表 5-9。

表 5-9 扬声器型号中字母的意义

字母代号	意 义
D	电动式
C	舌簧式
Y	压电式
R	静电式
H	号筒式
T	椭圆式
G	高频

(1) 扬声器的参数

扬声器的主要参数有额定功率、标称阻抗、频率范围等。

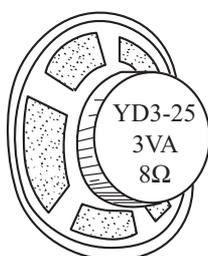


图 5-125 扬声器的标示

额定功率是指扬声器在长期正常工作时所能输入的最大电功率，常用扬声器的功率有 0.1W、0.25W、0.5W、1W、3W、5W、10W、50W、100W、200W 等。选用扬声器时，不宜使扬声器长期工作在超过其额定功率的状态，否则易损坏扬声器。

标称阻抗是指扬声器工作时输入的信号电压与流过的信号电流之比值，是指交流阻抗，在数值上约是扬声器音圈直流电阻值的 1.2~1.3 倍。常用扬声器的标称阻抗有 4Ω、8Ω、16Ω 等，应按照电路图的要求选用。额定功率和标称阻抗一般均直接标示在扬声器上，如图 5-125 所示。

频率范围是指在允许一定的输出声压变化幅度范围内（一般为 -3dB），扬声器的工作频率范围。在一般场合，应选用全频或中音扬声器。在分频音箱中，则应按照要求选用高、中、低音扬声器。

(2) 电动式扬声器

电动式扬声器通常指电动式纸盆扬声器，结构原理如图 5-126 所示，音圈位于环形磁钢与心柱之间的磁隙中，当音频电流通过音圈时，所产生的交变磁场与磁隙中的固定磁场相互作用，使音圈在磁隙中往复运动，并带动与其粘在一起的纸盆运动而发声。

电动式扬声器有许多种，按外形可分为圆形、椭圆形、超薄形等，并有大、中、小多种口径尺寸；按磁体结构可分为外磁式和内磁式扬声器；按音盆可分为纸盆扬声器，布边、橡皮边、泡沫边以及复合边扬声器等。电动式扬声器是最常用的扬声器，既有全频扬声器，又有专门的高音、中音、低音扬声器，广泛应用在收音机、录音机、电视机等各种场合。

(3) 球顶式扬声器

球顶式扬声器内部结构如图 5-127 所示，工作原理类似于电动式扬声器，但取消了纸盆，而是采用球顶式振膜。

球顶式扬声器可分为软质振膜和硬质振膜两类。软质振膜一般采用布、丝绸等天然纤维或复合纤维制成，音色甜美自然，属于暖音色；硬质振膜常用钛合金制成，高频瞬态响应更好，音色清脆，属于冷音色。常见的球顶式扬声器有高音扬声器和中音扬声器两种，主要应用在高档分频式组合音箱中，如图 5-128 所示。

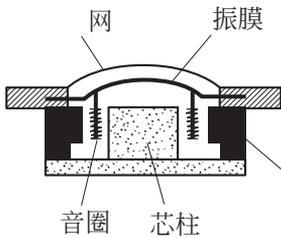


图 5-127 球顶式扬声器

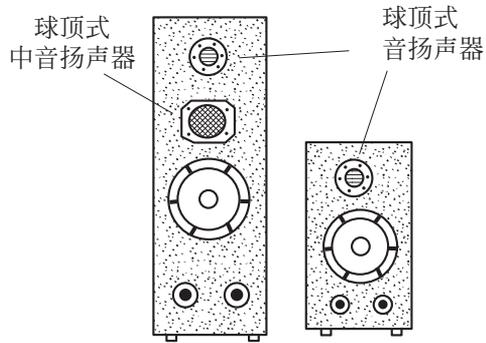


图 5-128 分频式音箱

(4) 号筒式扬声器

号筒式扬声器由发音头和号筒两部分组成，结构如图 5-129 所示。号筒起到聚集声音的作用，可以使声音更有效地传播。

号筒可分为直接式和反射式两类，反射式可以缩短号筒的长度。号筒式扬声器有多种，按号筒可分为圆柱形、锥形、指数形、反射式等；按发音头可分为电动式、压电式、静电式等。号筒式扬声器多是高音扬声器，主要应用在要求较高的音箱等还音系统中。室外广播用的高音喇叭也是一种号筒式扬声器，如图 5-130 所示。

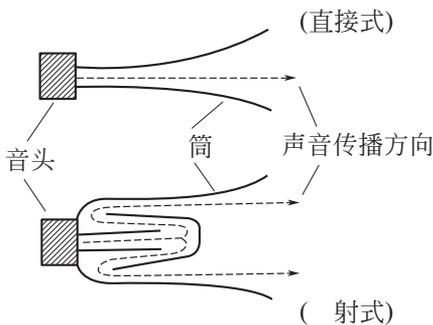


图 5-129 号筒式扬声器

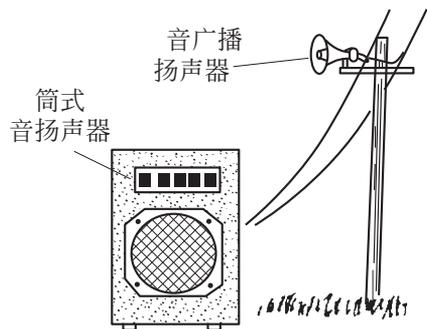


图 5-130 号筒式扬声器应用

5.8.2 认识耳机

耳机也是常用的电声转换器件，主要用于个人聆听，常见耳机如图 5-131 所示。



图 5-131 耳机

耳机的文字符号是“BE”，图形符号如图 5-132 所示。

耳机按其外形不同可分为头戴式耳机和耳塞机两大类；按传送声音的不同可分为单声道耳机和立体声耳机两种；按照换能方式的不同，可分为动圈式、压电式、平膜式、平板式等。耳机的主要参数与扬声器相同，应根据需要选用额定功率、标称阻抗和频响范围符合要求的耳机或耳塞机。

对于立体声耳机或耳塞机，一般均标有左、右声道标志“L”或“R”，使用时应注意，“L”应戴在左耳，“R”应戴在右耳，如图 5-133 所示，这样才能聆听到正常的立体声。



图 5-132 耳机符号

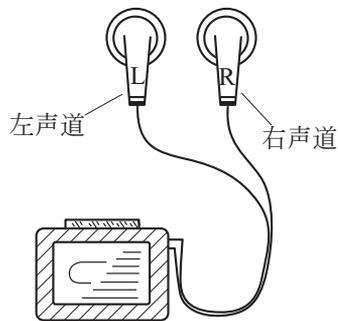


图 5-133 立体声耳机

5.8.3 检测扬声器与耳机

扬声器和耳机均可用万用表进行基本检测。检测时，万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡，并进行欧姆挡校零。

(1) 检测音圈

用万用表两表笔（不分正、负）断续触碰扬声器两引出端，如图 5-134 所示，扬声器中应发出“咔、咔……”声，否则说明该扬声器已损坏。“咔、咔……”声越大越清脆越好。如“咔、咔……”声小或不清晰，说明该扬声器质量较差。耳机的检测方法与此相同。

也可通过测量扬声器音圈直流电阻来检测扬声器。如图 5-135 所示，两表笔（不分正、负）接扬声器两引出端，万用表所指示的即为扬声器音圈的直流电阻，应为扬声器标称阻抗的 0.8 左右。如过小说明音圈有局部短路。如不通（表针不动）则说明音圈已断路。

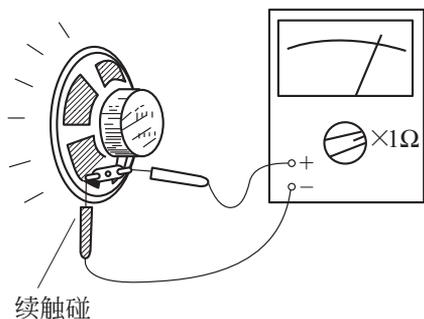


图 5-134 检测扬声器

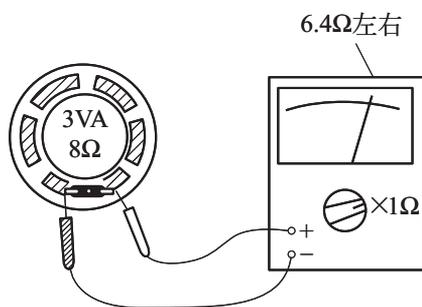


图 5-135 测量扬声器音圈电阻

用万用表检测立体声耳机时，应分别检测左、右声道，如图 5-136 所示。

(2) 判别扬声器相位

在多台扬声器组成的音箱中，为了保持各扬声器的相位一致，必须搞清楚扬声器两引出端的正与负。这时可将扬声器口朝上放置，万用表置于“直流 $50\mu\text{A}$ ”挡，两表笔分别接扬声器两引出端，如图 5-137 所示。

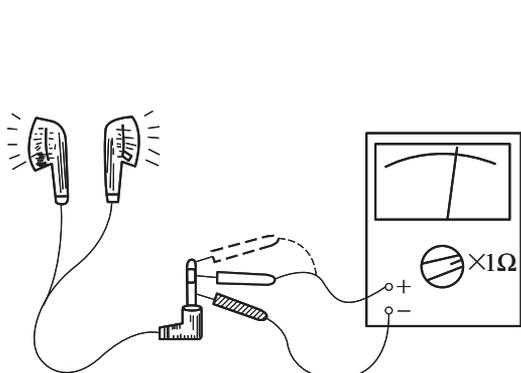


图 5-136 检测立体声耳机

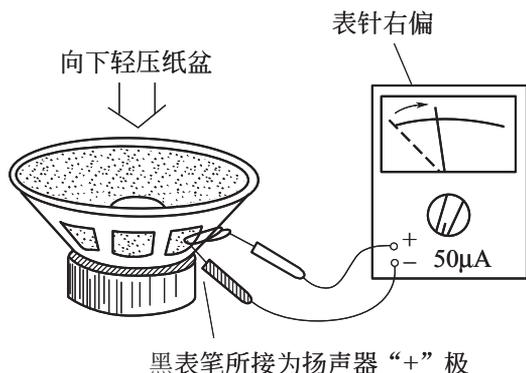


图 5-137 判别扬声器相位

用手轻轻向下压一下纸盆，在向下压的瞬间，如果表针向右偏转，则黑表笔所接为扬声器“+”端，红表笔所接为扬声器“-”端。在向下压纸盆的时候，可同时检查音圈位置有否偏斜。如感觉到音圈与磁钢或心柱有擦碰，则该扬声器不宜使用。

5.9 讯响器与蜂鸣器

讯响器和蜂鸣器是另一种类型的电声转换器件，应用在一些特定的场合。电磁讯响器外形如图 5-138 所示，压电蜂鸣器外形如图 5-139 所示。

5.9.1 认识讯响器与蜂鸣器

讯响器和蜂鸣器的文字符号是“HA”，图形符号如图 5-140 所示。



图 5-138 电磁讯响器



图 5-139 压电蜂鸣器

(1) 电磁讯响器

微型电磁讯响器是运用电磁式原理工作的，其内部结构如图 5-141 所示，包括线圈、磁铁、振动膜片等组成部分，当给线圈通以音频电流时产生交变磁场，振动膜片在交变磁场的吸引力作用下振动而发声。微型电磁讯响器的外壳形成一共鸣腔，使其发声更加响亮。

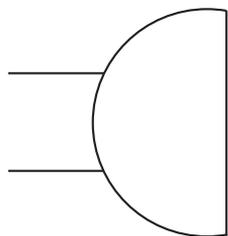


图 5-140 讯响器和蜂鸣器的符号

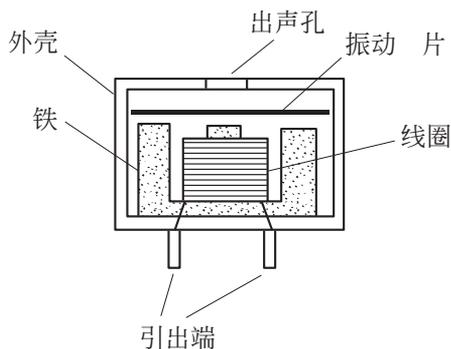


图 5-141 电磁讯响器

微型电磁讯响器可分为不带音源和自带音源两大类。不带音源讯响器相当于一个微型扬声器，工作时需要接入音频驱动信号才能发声。自带音源讯响器内部包含有音源集成电路，如图 5-142 所示，可以自行产生音频驱动信号，工作时不需要外加音频信号，接上规定的直流电压即可发声。按照所发声音的不同，自带音源讯响器又分为连续长音和断续声音两种。

微型电磁讯响器频响范围较窄、低频响应较差，一般不宜作还音系统的扬声器用。但微型电磁讯响器具有体积小、重量轻、灵敏度高的特点，广泛应用在家用电器、仪器仪表、报警器、电子钟和电子玩具等领域。

(2) 压电蜂鸣器

压电蜂鸣器结构如图 5-143 所示，由压电陶瓷片和助声腔盖组成。压电陶瓷片的结构是在金属基板上做有一压电陶瓷层，压电陶瓷层上镀有一镀银层。当通过金属基板和镀银层对压电陶瓷层施加音频电压时，由于压电效应的作用，压电陶瓷片随音频信号产生机械变形振

动而发出声音来。助声腔盖与压电陶瓷片之间形成一共鸣腔，使压电蜂鸣器发出的声音响亮。

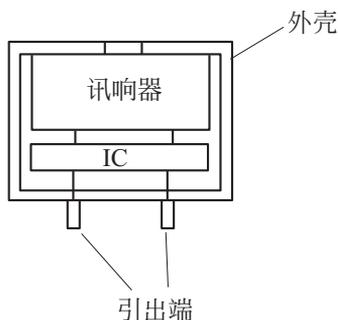


图 5-142 自带音源讯响器

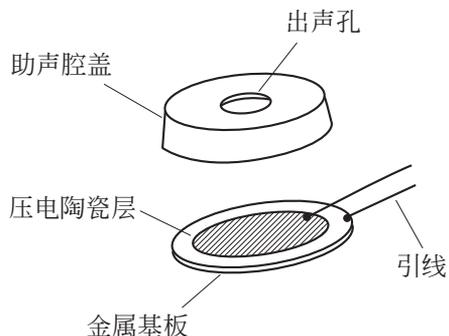


图 5-143 压电蜂鸣器

压电蜂鸣器与电磁讯响器一样，频响范围较窄、低频响应较差，但压电蜂鸣器具有厚度更薄、重量很轻、所需驱动功率极小的特点，特别适用于便携式超薄型的仪器仪表、计算器和电子玩具等电子产品。

(3) 讯响器与蜂鸣器的作用

讯响器与蜂鸣器的作用是发出保真度要求不高的声音。

如图 5-144 所示为电话机振铃电路，当有电话呼入时，信号源产生的铃音信号，经控制电路驱动不带音源讯响器 HA 发出振铃声。

如图 5-145 所示为提示音电路，HA 为自带音源讯响器，VT 为驱动开关管。当控制脉冲为“1”时 VT 导通，HA 发声。当控制脉冲为“0”时 VT 截止，HA 不发声。

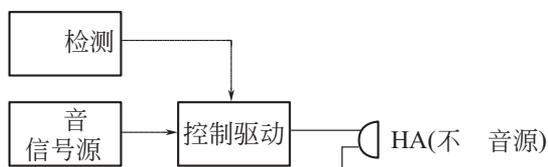


图 5-144 振铃电路

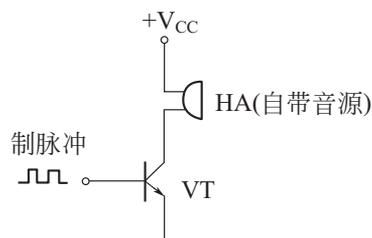


图 5-145 提示音电路

如图 5-146 所示为音乐贺卡电路，HA 为压电蜂鸣器。当打开贺卡时开关 S 接通，音乐集成电路产生的音乐信号驱动压电蜂鸣器 HA 发出乐曲声。

5.9.2 检测讯响器与蜂鸣器

讯响器与蜂鸣器可以用指针式万用表或数字万用表检测。

(1) 检测电磁讯响器

检测不带音源讯响器的方法与检测扬声器相同，万用表置于“R×1Ω”挡，两表笔（不分正、负）断续触碰电磁讯响器两引出端，如图 5-147 所示，讯响器中应发出“咔、咔……”声，否则说明该讯响器已损坏。

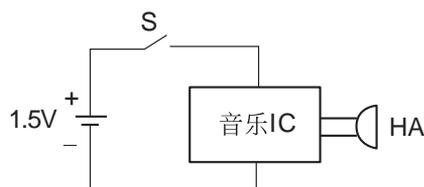


图 5-146 音乐贺卡电路

检测自带音源讯响器的最简便的方法，就是如图 5-148 所示给其加上规定的直流电压，听其发声是否正常、明亮。

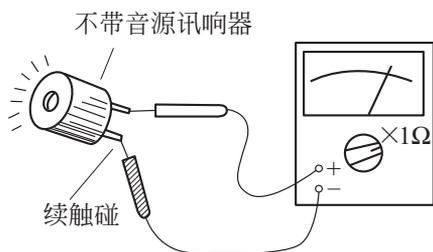


图 5-147 检测讯响器

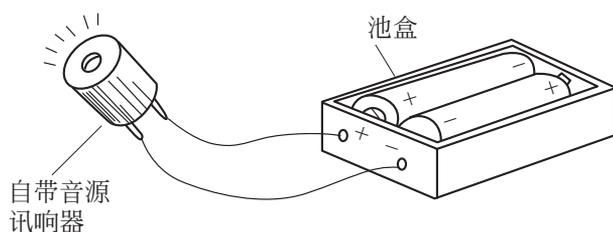


图 5-148 检测自带音源讯响器

(2) 检测压电蜂鸣器

检测压电蜂鸣器时，万用表置于“直流 0.25V”挡，黑表笔接触压电蜂鸣器的金属基板，用红表笔去接触压电蜂鸣器的镀银层，并轻轻地略向下压一下，这时万用表的表针应摆动一下，如图 5-149 所示。表针摆动幅度越大，说明压电蜂鸣器的灵敏度越高。如果表针不动，说明该压电蜂鸣器已损坏。

用数字万用表也可方便地检测压电蜂鸣器。数字万用表（以 DT890B 型为例）置于“电容 200nF”挡，将压电蜂鸣器两引脚接入被测电容插孔“C_X”，如图 5-150 所示，压电蜂鸣器应发出 400Hz 的音频声音，否则说明该压电蜂鸣器已损坏。

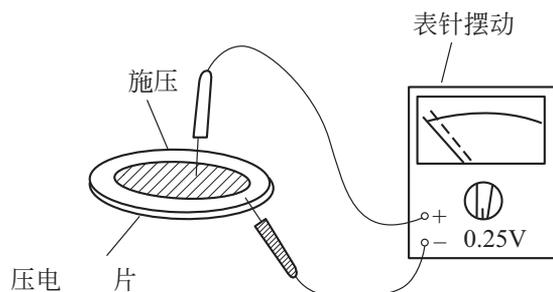


图 5-149 检测压电蜂鸣器

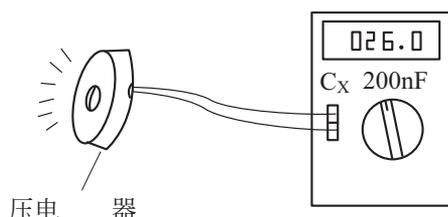


图 5-150 数字万用表检测讯响器

5.10 话筒

话筒又称为传声器，是一种将声音信号转换为电信号的声电器件。话筒有许多种类，性能外形各不相同，包括动圈式话筒、电容式话筒、驻极体话筒、晶体式话筒、铝带式话筒、炭粒式话筒等，如图 5-151 所示。



图 5-151 话筒

话筒按输出阻抗可分为低阻型和高阻型两类，一般将输出阻抗小于 2kΩ 的称作低阻话筒，将输出阻抗大于 2kΩ 的称作高阻话筒。各种话筒广泛应用于扩音、录音、通信、声控、监测等一切需要声电转换的领域，其中动圈式话筒和驻极体话筒应用最广泛。

5.10.1 认识话筒

话筒的文字符号是“BM”，图形符号如图 5-152 所示。

(1) 话筒的参数

话筒的主要参数有灵敏度、输出阻抗、频率响应和指向性等。

灵敏度是指话筒将声音转换为电压信号的能力，用每帕声压产生多少毫伏电压来表示，其单位为 mV/Pa 。灵敏度还常用分贝 (dB) 表示， $0\text{dB}=1000\text{mV}/\text{Pa}$ 。一般来说，选用灵敏度较高的话筒效果较好。

输出阻抗是指话筒输出端的交流阻抗。低阻型话筒的输出阻抗大多在 $200\sim 600\Omega$ ，高阻型话筒的输出阻抗大多在 $10\sim 20\text{k}\Omega$ 。大多数话筒将灵敏度和输出阻抗直接标示在话筒上，如图 5-153 所示。选用时应使话筒的输出阻抗与扩音设备大体匹配。



图 5-152 话筒符号

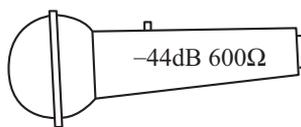


图 5-153 话筒的标示

频率响应是指话筒灵敏度与声音频率之间的关系。一般而言，频率响应范围宽的话筒其音质也好。普通话筒的频响范围多在 $0.1\sim 10\text{kHz}$ ，质量优良的话筒则可达 $0.02\sim 20\text{kHz}$ 。

指向性是指话筒灵敏度随声波入射方向而变化的特性。根据需要话筒可以设计成各种指向性，主要有全向指向性话筒、单向指向性话筒和双向指向性话筒三种。

全向指向性话筒对来自四面八方的声音都有基本相同的灵敏度，其有效拾音范围为一圆形，话筒位于圆心，如图 5-154 所示。

单向指向性话筒其正面的灵敏度明显高于背面和侧面，有效拾音范围在话筒的前方，如图 5-155 所示。根据指向特性曲线的形状，单向指向性话筒又可分为心形、超心形、超指向性等。

双向指向性话筒其正面和背面具有基本相同的灵敏度，两侧灵敏度较低，有效拾音范围在话筒的前方和后方，如图 5-156 所示。实际使用时应根据需要选择指向性合适的话筒。

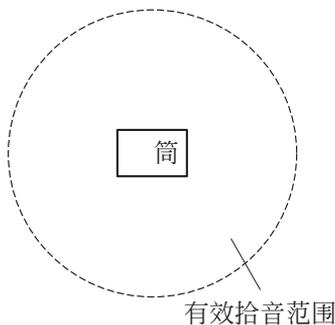


图 5-154 全向指向性

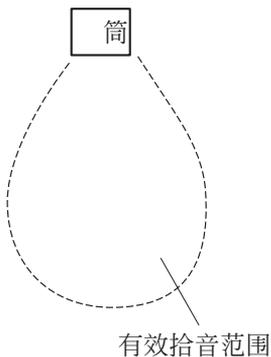


图 5-155 单向指向性

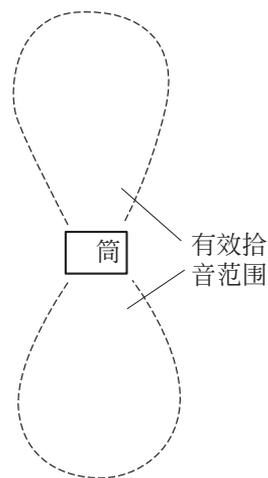


图 5-156 双向指向性

(2) 动圈式话筒

动圈式话筒是一种最常用的话筒，其结构如图 5-157 所示，由永久磁铁、音膜、音圈、输出变压器等部分组成。音圈位于永久磁铁的磁隙中，并与音膜粘接在一起。当声波使音膜振动时，带动音圈作切割磁力线运动而产生音频感应电压，这个音频感应电压代表了声波的信息，从而实现了声电转换。

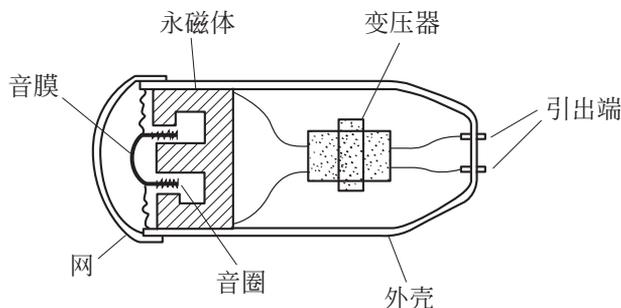


图 5-157 动圈式话筒

由于话筒音圈的圈数很少，其输出电压和输出阻抗都很低。为了提高输出电压和便于阻抗匹配，音圈产生的信号经过输出变压器输出。输出变压器的一次侧、二次侧圈数比不同，使得动圈式话筒的输出阻抗有高阻和低阻两种。有的话筒的输出变压器二次侧有两个抽头，既有高阻输出，又有低阻输出，可通过改变接头变换输出阻抗。动圈式话筒具有坚固耐用、价格较低、单向指向性的特点，广泛应用于广播、扩音、录音、文艺演出、卡拉 OK 等领域。

(3) 驻极体话筒

驻极体话筒也是一种最常用的话筒，具有体积小、重量轻、电声性能好、价格低廉的特点，在无线电与电子制作中得到了非常广泛的应用。驻极体话筒属于电容式话筒的一种，其结构如图 5-158 所示。话筒有防尘网的一面是受话面。声电转换元件采用驻极体振动膜，它与金属极板之间形成一个电容，当声波使振动膜振动时，引起电容两端的电场变化，从而产生随声波变化的音频电压。

驻极体话筒内部包含有一个结型场效应管作阻抗变换和放大用，因此拾音灵敏度较高，输出音频信号较大。由于内部有场效应管，因此驻极体话筒必须加上直流电压才能工作。根据内电路的接法不同，驻极体话筒分为三端式（源极输出）和二端式（漏极输出）两种。

三端式驻极体话筒如图 5-159 所示，三个引出端分别是源极 S、漏极 D 和接地端。该话筒底部有三个接点，其中与金属外壳相连的是接地端。

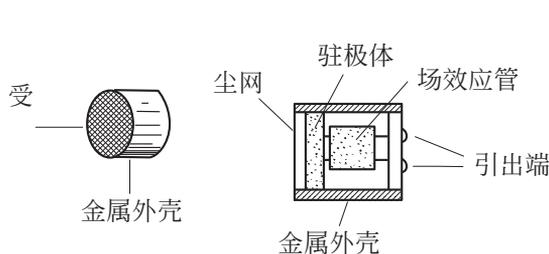


图 5-158 驻极体话筒

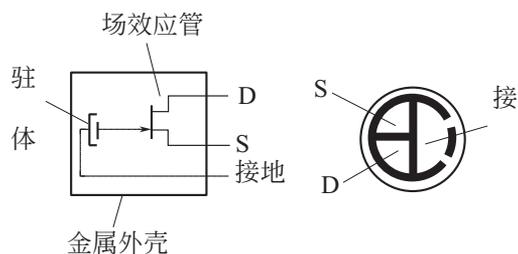


图 5-159 三端式驻极体话筒

三端式驻极体话筒的典型应用电路如图 5-160 所示，漏极 D 接电源正极，输出信号自源

极 S 取出并经电容 C 耦合至放大电路, R 是源极 S 的负载电阻。

二端式驻极体话筒如图 5-161 所示, 两个引出端分别是漏极 D 和接地端, 源极 S 已在话筒内部与接地端连接在一起。该话筒底部只有两个接点, 其中与金属外壳相连的是接地端。

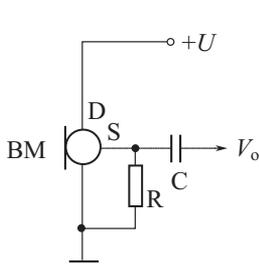


图 5-160 三端式驻极体话筒应用

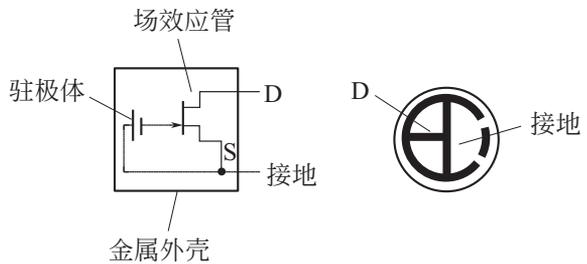


图 5-161 二端式驻极体话筒

二端式驻极体话筒的典型应用电路如图 5-162 所示, 漏极 D 经负载电阻 R 接电源正极, 输出信号自漏极 D 取出并经电容 C 耦合至放大电路。

(4) 近讲话筒

近讲话筒又称为手持话筒, 它是专为手持演唱而设计的特殊话筒, 结构如图 5-163 所示。近讲话筒设有防震系统, 有效防止了手持时抖动的影响。还设有防风罩, 降低了近讲或近唱时呼吸的气流声。由于近讲话筒的特殊设计, 使其近用时灵敏度高、频率响应好, 而对远处的环境噪声不敏感, 因此可以有效地提高演出的扩音质量。

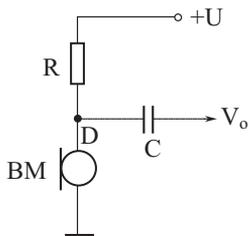


图 5-162 二端式驻极体话筒应用

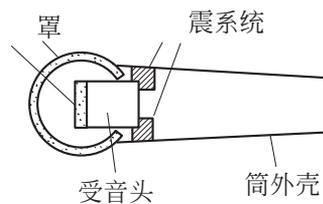


图 5-163 近讲话筒

(5) 无线话筒

无线话筒也是一种特殊话筒, 它实际上是普通话筒和无线发射装置的组合体。无线话筒由受音头、调制发射电路、天线和电池等组成, 如图 5-164 所示为其结构示意图。

受音头把声音转换为电信号, 通过调制发射电路调制载频后发射出去, 由相应的接收机接收、放大和解调后送入扩音设备。无线话筒一般采用调频制, 以保证较宽的通频带和较好的传输质量。由于无线话筒不需要传输线, 使用十分灵活方便, 得到了广泛的应用。

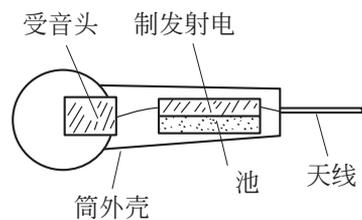


图 5-164 无线话筒

5.10.2 检测话筒

动圈式话筒和驻极体话筒都可用万用表电阻挡进行检测。

(1) 检测动圈式话筒

检测时, 万用表置于“R×1Ω”挡, 两表笔(不分正、负)断续触碰话筒的两引出端

(设有控制开关的话筒应先打开开关),如图 5-165 所示,话筒中应发出清脆的“咔、咔……”声。如果无声说明该话筒已损坏。如果声小或不清晰,说明该话筒质量较差。

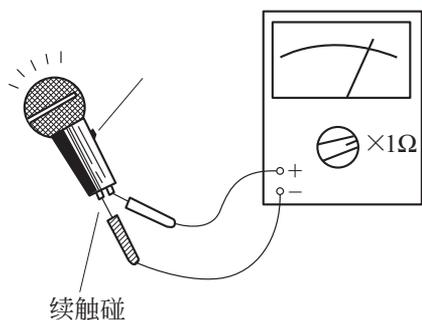


图 5-165 检测动圈式话筒

还可进一步测量动圈式话筒输出端的电阻值(实际上就是话筒内部输出变压器的二次侧电阻值)。将万用表置于“ $R \times 10\Omega$ ”挡,两表笔(不分正、负)与话筒的两引出端相接,低阻话筒应为 $50 \sim 200\Omega$,高阻话筒应为 $500 \sim 1500\Omega$ 。如果相差太大说明该话筒质量有问题。

(2) 检测驻极体话筒

检测时,将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡。对于二端式驻极体话筒,万用表负表笔接话筒的 D 端,正表笔接话筒的接地端,如图 5-166 所示,这时用嘴向话筒吹气,万用表表针应有摆动。摆动范围越大,说明该话筒灵敏度越高。如果表针无摆动,说明该话筒已损坏。

对于三端式驻极体话筒,万用表负表笔接话筒的 D 端,正表笔同时接话筒的 S 端和接地端,如图 5-167 所示,然后按相同方法吹气检测。

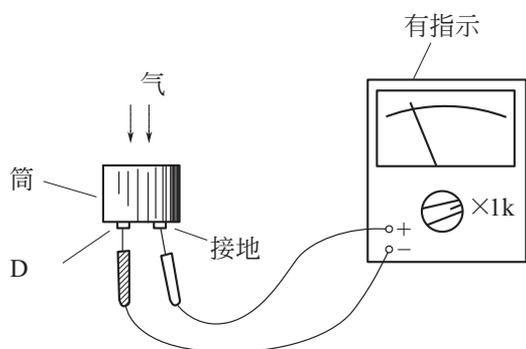


图 5-166 检测二端式驻极体话筒

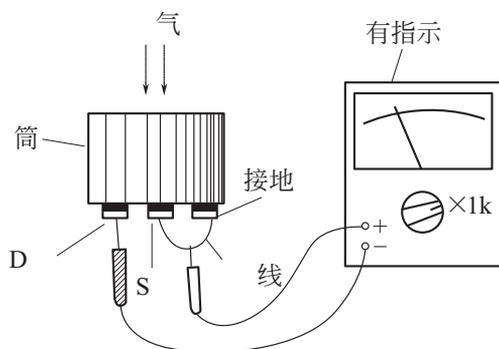


图 5-167 检测三端式驻极体话筒

5.11 晶体

石英晶体谐振器通常简称为晶体,是一种常用的选择频率和稳定频率的电子元件。晶体一般密封在金属、玻璃或塑料等外壳中,外形如图 5-168 所示,广泛应用于电子仪器仪表、通信设备、广播和电视设备、影音播放设备、计算机以及电子钟表等领域。

5.11.1 认识晶体

晶体的文字符号为“BC”,图形符号如图 5-169 所示。

(1) 晶体的参数

晶体的主要参数有标称频率、负载电容和激励电平等。

标称频率 f 是指晶体的振荡频率,通常直接标注在晶体的外壳上,一般用带有小数点的几位数字来表示,单位为 MHz 或 kHz,如图 5-170 所示。标注有效数字位数较多的晶体,其标称频率的精度较高。

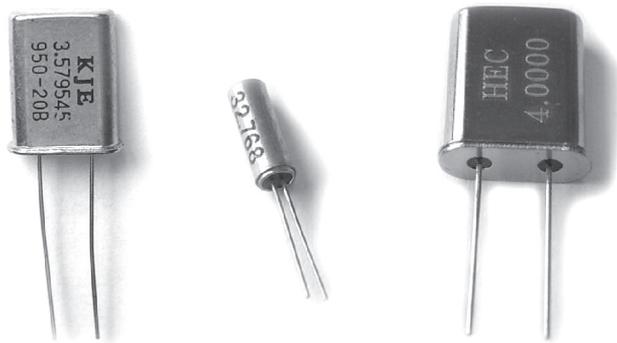


图 5-168 晶体



图 5-169 晶体符号

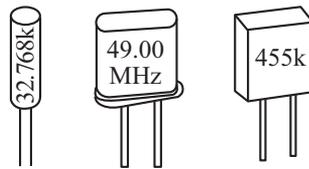


图 5-170 晶体的标示

负载电容 C_L 是指晶体组成振荡电路时所需配接的外部电容。负载电容 C_L 是参与决定振荡频率的因数之一，在规定的 C_L 下晶体的振荡频率即为标称频率 f_0 。使用晶体时必须按要求接入规定的 C_L ，才能保证振荡频率符合该晶体的标称频率。

激励电平是指晶体正常工作时所消耗的有效功率，常用的标称值有 0.1mW、0.5mW、1mW、2mW 等。激励电平的大小关系到电路工作的稳定和可靠。激励电平过大会使频率稳定度下降，甚至造成晶体损坏。激励电平过小会使振荡幅度变小和不稳定，甚至不能起振。一般应将激励电平控制在其标称值的 50%~100% 范围内。

(2) 晶体的工作原理

晶体具有压电效应。当有机压力作用于晶体时，在晶体两面即会产生电压。反之，当有电压作用于晶体两面时，晶体即会产生机械变形。如果在晶体两面加上交流电压，如图 5-171 所示，晶体将会随之产生周期性的机械振动，当交流电压的频率与晶体的固有谐振频率相等时，晶体的机械振动最强，电路中的电流最大，产生了谐振。



图 5-171 晶体的工作原理

晶体可等效为一个品质因数 Q 值极高的谐振回路，图 5-172 为晶体的电抗特性曲线， f_1 为其串联谐振频率， f_2 为其并联谐振频率。在 $f < f_1$ 和 $f > f_2$ 的频率范围内晶体呈电容性；在 $f_1 < f < f_2$ 的频率范围内晶体呈电感性；在 $f = f_1$ 时晶体呈纯电阻性。通常将晶体作为一个 Q 值极高的电感元件使用，即运用在 $f_1 \sim f_2$ 这段很窄的频率范围内。

(3) 晶体的作用

晶体的作用是构成频率稳定度很高的振荡器。

并联晶体振荡器电路如图 5-173 所示，这是一个电容三点式晶体振荡器，晶体 BC 等效为一个电感，与电容 C_2 、 C_3 组成并联谐振回路，振荡频率 f_0 处于 $f_1 \sim f_2$ 之间，由这个谐振回路决定。由于晶体的电抗曲线在 $f_1 \sim f_2$ 之间非常陡峭，因此该振荡器的频率稳定度很高。

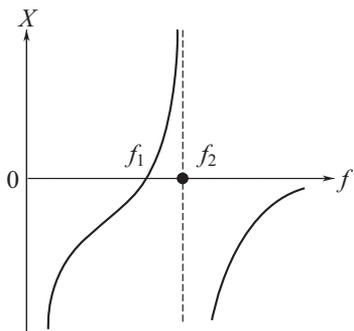


图 5-172 晶体特性曲线

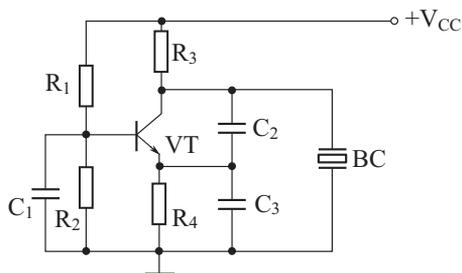


图 5-173 并联晶体振荡器

串联晶体振荡器电路如图 5-174 所示，晶体管 VT_1 、 VT_2 组成两级阻容耦合放大器，晶体 BC 与负载电容 C_2 构成正反馈电路。晶体 BC 在这里起着带通滤波器的作用，只有当电路振荡频率 f_o 等于晶体的串联谐振频率 f_1 时，晶体才呈纯电阻性，满足振荡必须的相位和振幅条件。串联晶体振荡器的振荡频率 $f_o = f_1$ 。

5.11.2 检测晶体

晶体可以用以下方法进行检测。

(1) 用万用表检测

万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，用两表笔测量晶体的正、反向电阻，均应为无穷大（表针不动），如图 5-175 所示。如果表针有一定阻值指示，表示该晶体已漏电。如果测量电阻为“0”，表示该晶体已击穿或短路。以上情况都说明该晶体已损坏。

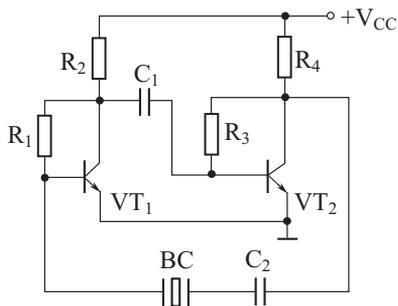


图 5-174 串联晶体振荡器

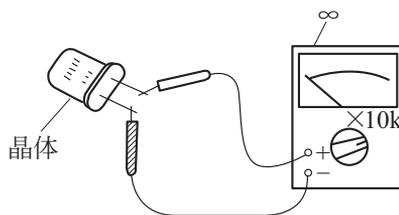


图 5-175 万用表检测晶体

(2) 用验电笔检测

将验电笔的笔尖插入交流 220V 市电插座的相线孔内，用手指捏住晶体的一个引脚，将晶体的另一个引脚与验电笔的金属笔帽相接触，如图 5-176 所示，如验电笔中的氖泡发亮，说明该晶体是好的。如验电笔中的氖泡不亮，说明该晶体已损坏。

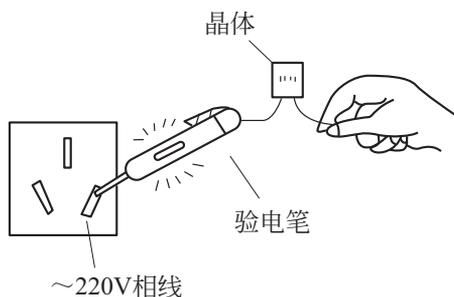


图 5-176 验电笔检测晶体

(3) 用测试电路检测

测试电路如图 5-177 所示，场效应管 VT_1 与被测晶体 BC 等构成一个振荡电路，振荡信号经 C_1 、 VD_1 、 VD_2 等倍压检波， VT_2 、 VT_3 直流放大后，

驱动发光二极管 VD_3 发光。检测时，将被测晶体接入电路，如发光二极管亮，说明该晶体是好的。如发光二极管不亮，说明该晶体已损坏。该电路可检测各种频率的晶体。

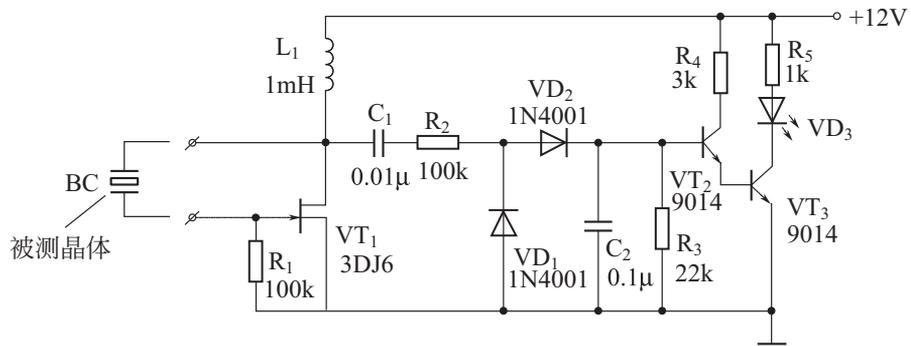


图 5-177 晶体测试电路

第 6 章

怎样识别和选用集成电路

6.1 集成运算放大器

集成运算放大器简称集成运放，是一种集成化的高增益的多级直接耦合放大器。集成运算放大器有金属圆壳封装、金属菱形封装、陶瓷扁平封装、双列直插封装等形式。较常用的双列直插封装集成运算放大器如图 6-1 所示。

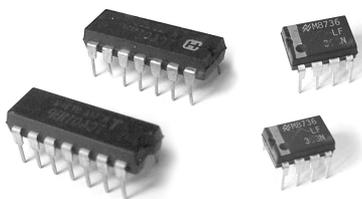


图 6-1 集成运算放大器

集成运算放大器品种繁多，可分为通用型运放、低功耗运放、高阻运放、高精度运放、高速运放、宽带运放、低噪声运放、高压运放以及程控型、电流型、跨导型运放等。根据一个集成电路封装内包含运放单元的数量，集成运放又可分为单运放、双运放和四运放。集成

运算放大器作为一种通用电子器件，在放大、振荡、电压比较、模拟运算、有源滤波等各种电子电路中得到了越来越广泛的应用。

6.1.1 认识集成运算放大器

集成运算放大器的文字符号为“IC”，图形符号如图 6-2 所示。集成运放具有两个输入端（同相输入端 U_+ 、反相输入端 U_- ）和一个输出端 U_o 。

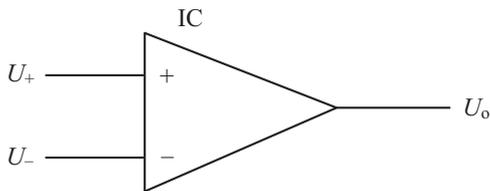


图 6-2 集成运算放大器符号

(1) 集成运放的参数

集成运放的参数很多，主要的有电源电压范围、最大允许功耗、单位增益带宽、转换速率、输入阻抗等。

电源电压范围是指集成运放正常工作所需要的电源电压的范围。通常集成运放需要对称的正、负双电源供电，也有部分集成运放可以在单电源情况下工作。

最大允许功耗 P_M 是指集成运放正常工作情况下所能承受的最大耗散功率。使用中不应使集成运放的功耗超过 P_M 。

单位增益带宽 f_c 是指集成运放开环电压放大倍数 $A=1$ (0dB) 时所对应的频率，如图 6-3 所示。一般通用型运放 f_c 约 1MHz，宽带和高速运放 f_c 可达 10MHz 以上，应根据需

要选用。

转换速率 SR 是指在额定负载条件下，当输入边沿陡峭的大阶跃信号时，集成运放输出电压的单位时间最大变化率（单位为 $V/\mu s$ ），即输出电压边沿的斜率，如图 6-4 所示。在高频逼真音响设备中，选用单位增益带宽 f_c 和转换速率 SR 指标高的集成运放效果较好。

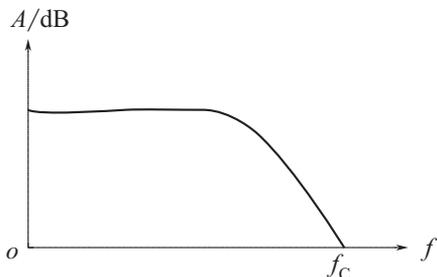


图 6-3 单位增益带宽的意义

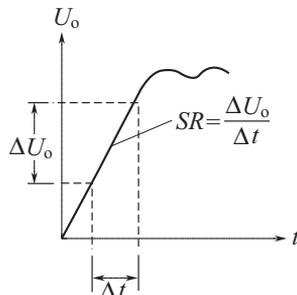


图 6-4 转换速率的意义

输入阻抗 Z_i 是指集成运放工作于线性区时，输入电压变化量与输入电流变化量的比值。采用双极型晶体管作输入级的运放，其输入阻抗 Z_i 通常为数兆欧。采用场效应管作输入级的运放，其输入阻抗 Z_i 可高达 $10^{12} \Omega$ 。

(2) 集成运放的电路结构

集成运算放大器内部电路结构如图 6-5 所示，由高阻抗输入级、中间放大级、低阻抗输出级和偏置电路等组成。

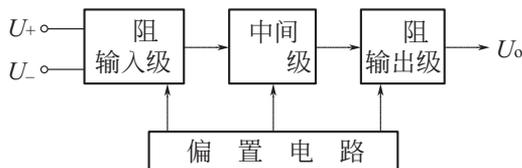


图 6-5 集成运放电路结构

输入信号由同相输入端 U_+ 或反相输入端 U_- 输入，经中间放大级放大后，通过低阻输出级输出。中间放大级由若干级直接耦合放大器组成，提供极大的开环电压增益（100dB 以上）。偏置电路为各级提供合适的工作点。集成运放的各种运用均基于三种基本放大电路：反相放大器、同相放大器和差动放大器。

集成运放的各种运用均基于三种基本放大电路：反相放大器、同相放大器和差动放大器。

(3) 反相放大器

反相放大器电路如图 6-6 所示， R_f 为反馈电阻， R_1 为输入电阻。由于集成运放开环电压放大倍数极大，因此其闭环放大倍数 $A = \frac{R_f}{R_1}$ 。输入电压 U_i 由反相输入端输入，其输出电压 U_o 与输入电压 U_i 相位相反。

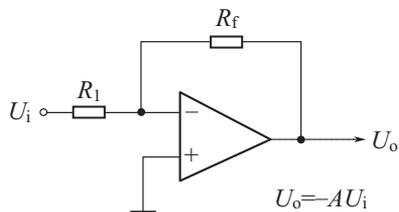


图 6-6 反相放大器

如图 6-7 所示为加法器电路，集成运放构成反相放大器， U_1 、 U_2 为相加电压， U_o 为和电压。当取 $R_1 = R_2 = R_f$ 时， $A = 1$ ，输出电压 $U_o = -(U_1 + U_2)$ ，实现了加法运算。 R_P 为平衡电阻，用于平衡输入偏置电流造成的失调。

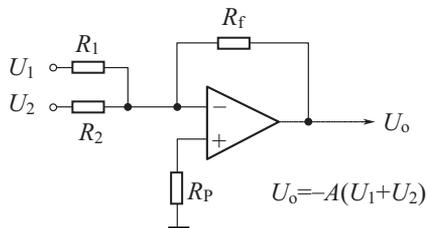


图 6-7 加法器

(4) 同相放大器

同相放大器电路如图 6-8 所示, R_f 为反馈电阻, R_1 为输入电阻, 其闭环放大倍数 $A = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ 。输入电压 U_i 由同相输入端输入, 其输出电压 U_o 与输入电压 U_i 相位相同。

当 $R_f = 0$, $R_1 = \infty$ 时, 便构成了电压跟随器, 如图 6-9 所示。这是同相放大器的一个特例, 其电压放大倍数 $A = 1$, 输出电压 U_o 与输入电压 U_i 大小相等、相位相同。集成运放电压跟随器具有极高的输入阻抗和很小的输出阻抗, 常用作阻抗变换器。

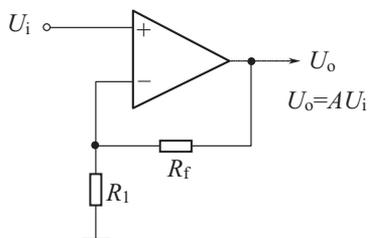


图 6-8 同相放大器

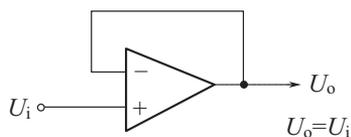


图 6-9 电压跟随器

(5) 差动放大器

差动放大器电路如图 6-10 所示, 用来放大两个输入电压 U_1 与 U_2 的差值, 其闭环放大倍数 $A = \frac{R_f}{R_1}$ 。这实际上是一个减法器电路, U_1 为减数电压, U_2 为被减数电压, U_o 为差电压。当取 $R_1 = R_2 = R_f$ 时, $A = 1$, 输出电压 $U_o = U_2 - U_1$, 实现了减法运算。 R_p 为平衡电阻。

集成运算放大器的引脚有 8 脚、14 脚等多种。如图 6-11 所示为使用最普遍的双列直插式集成电路引脚排列示意图, 将集成电路商标文字面朝上, 缺口或圆点等定位标记在左侧, 则左下角为第 1 脚。从第 1 脚向右沿逆时针方向依次为第 2、3、4、... 脚。扁平封装的集成电路引脚识别方法与此相同。

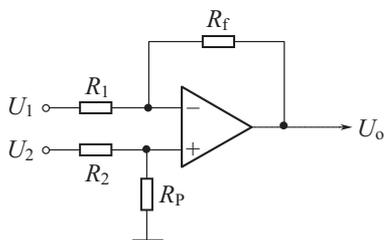


图 6-10 差动放大器

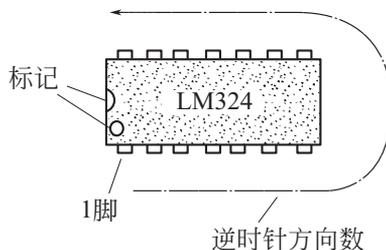


图 6-11 集成运放的引脚识别

6.1.2 常用集成运算放大器

常用集成运算放大器包括单运放、双运放和四运放。

(1) 单运放集成电路

单运放是指一个集成电路封装内只包含一个运算放大器, 单运放引脚排列如图 6-12 所示, 3 脚为同相输入端, 2 脚为反相输入端, 6 脚为输出端, 1 脚和 5 脚为外接调零端, 7 脚与 4 脚分别为正、负电源端。较常用的单运放有 TL081、LF351、LM318 等。

TL081 是高阻型单运放, 其输入级采用了结型场效应管, 输入阻抗高达 $10^{12} \Omega$, 电源电

压为 $\pm 3 \sim \pm 15\text{V}$ ，最大允许功耗 680mW ，单位增益带宽 3MHz ，转换速率 $13\text{V}/\mu\text{s}$ 。

LF351 是宽带单运放，其输入级也采用了结型场效应管，输入阻抗 $10^{12}\Omega$ ，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 15\text{V}$ ，最大允许功耗 500mW ，单位增益带宽 4MHz ，转换速率 $13\text{V}/\mu\text{s}$ 。

LM318 是高速单运放，输入阻抗 $3\text{M}\Omega$ ，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 18\text{V}$ ，最大允许功耗 500mW ，单位增益带宽 15MHz ，转换速率 $70\text{V}/\mu\text{s}$ 。

(2) 双运放集成电路

双运放是指一个集成电路封装内包含两个运算放大器，双运放引脚排列如图 6-13 所示，内含两个参数一致、互相独立的运放单元，它们共用正、负电源端。较常用的双运放有 LM158、TL082、LF353、NE5532 等。

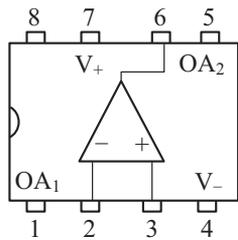


图 6-12 单运放集成电路

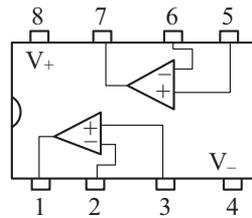


图 6-13 双运放集成电路

LM158 是通用型双运放，内含两个独立的高增益的内部频率补偿的运算放大器。LM158 既可使用双电源（ $\pm 1.5\text{V} \sim \pm 15\text{V}$ ），也可使用单电源（ $3\text{V} \sim 30\text{V}$ ）。最大允许功耗 570mW ，单位增益带宽 1MHz 。

TL082 是结型场效应管输入级高阻型双运放，输入阻抗 $10^{12}\Omega$ ，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 15\text{V}$ ，最大允许功耗 680mW ，单位增益带宽 3MHz ，转换速率 $13\text{V}/\mu\text{s}$ 。

LF353 是结型场效应管输入级宽带双运放，输入阻抗 $10^{12}\Omega$ ，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 15\text{V}$ ，最大允许功耗 500mW ，单位增益带宽 4MHz ，转换速率 $13\text{V}/\mu\text{s}$ 。

NE5532 是低噪声双运放，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 18\text{V}$ ，最大允许功耗 600mW ，单位增益带宽 10MHz ，转换速率 $7\text{V}/\mu\text{s}$ 。

(3) 四运放集成电路

四运放是指一个集成电路封装内包含四个运算放大器，四运放引脚排列如图 6-14 所示，内含四个参数一致、互相独立的运放单元。较常用的四运放有 LM324、TL084、LF347、OPA4131 等。

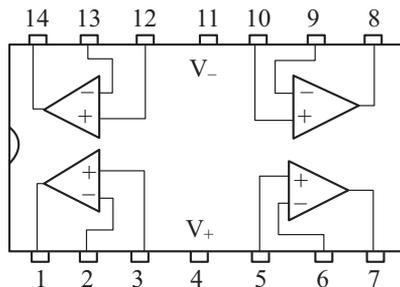


图 6-14 四运放集成电路

LM324 是通用型四运放，内含四个独立的高增益的内部频率补偿的运算放大器。LM324 与 LM158 一样，既可使用 $\pm 1.5\text{V} \sim \pm 15\text{V}$ 的双电源，如图 6-15 所示；也可使用 $3\text{V} \sim 30\text{V}$ 的单电源，如图 6-16 所示。LM324 最大允许功耗 570mW ，单位增益带宽 1MHz 。

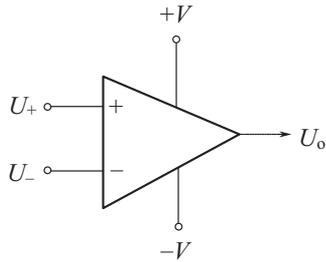


图 6-15 双电源供电

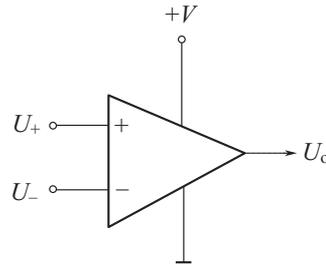


图 6-16 单电源供电

TL084 是结型场效应管输入级高阻型四运放，输入阻抗 $10^{12} \Omega$ ，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 15V$ ，最大允许功耗 680mW，单位增益带宽 3MHz，转换速率 $13V/\mu s$ 。

LF347 是结型场效应管输入级宽带四运放，输入阻抗 $10^{12} \Omega$ ，电源电压为 $\pm 3 \sim \pm 15V$ ，最大允许功耗 500mW，单位增益带宽 4MHz，转换速率 $13V/\mu s$ 。

OPA4131 是低噪声四运放，具有很低的失调及良好的动态响应。OPA4131 电源电压为 $\pm 4.5 \sim \pm 18V$ ，单位增益带宽 4MHz，转换速率 $10V/\mu s$ 。

表 6-1 所列为常用集成运算放大器的主要参数一览表，供爱好者选用集成运放时参考。

表 6-1 常用集成运算放大器主要参数

型 号	类 型	电源电压	单位增益带宽	转换速率	输入阻抗	允许功耗
LM158	通用型 双运放	单电源： 3~30V	1MHz			570mW
LM324	通用型 四运放	双电源： $\pm 1.5 \sim \pm 15V$				
TL081	高阻型 单运放	$\pm 3 \sim \pm 15V$	3MHz	$13V/\mu s$	$10^{12} \Omega$	680mW
TL082	高阻型 双运放					
TL084	高阻型 四运放					
LF351	宽带 单运放	$\pm 3 \sim \pm 15V$	4MHz	$13V/\mu s$	$10^{12} \Omega$	500mW
LF353	宽带 双运放					
LF347	宽带 四运放					
LM318	高速型 单运放	$\pm 3 \sim \pm 18V$	15MHz	$70V/\mu s$	$3M\Omega$	500mW
NE5532	低噪声 双运放	$\pm 3 \sim \pm 18V$	10MHz	$7V/\mu s$		600mW
OPA4131	低噪声 四运放	$\pm 4.5 \sim \pm 18V$	4MHz	$10V/\mu s$		

6.2 集成稳压器

集成稳压器是指将不稳定的直流电压变为稳定的直流电压的集成电路。由于集成稳压器具有稳压精度高、工作稳定可靠、外围电路简单、体积小、重量轻等显著优点，在各种电源电路中得到了越来越普遍的应用。

常见的集成稳压器有金属圆形封装、金属菱形封装、塑料封装、带散热板塑封、扁平式封装、双列直插式封装等，如图 6-17 所示。

6.2.1 认识集成稳压器

集成稳压器的文字符号采用集成电路的通用符号“IC”，图形符号如图 6-18 所示。

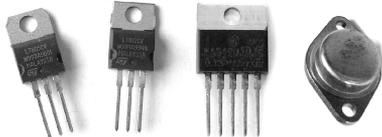


图 6-17 集成稳压器

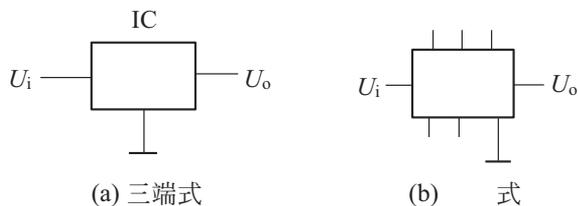


图 6-18 集成稳压器符号

集成稳压器种类较多，按输出电压的正负可分为正输出稳压器、负输出稳压器和正负对称输出稳压器，按输出电压是否可调可分为固定输出稳压器和可调输出稳压器，按引脚数可分为三端稳压器和多端稳压器。在电子制作中应用较多的是三端固定输出稳压器。

(1) 集成稳压器工作原理

集成稳压器分为串联调整式、并联调整式和开关式稳压器三大类。如图 6-19 所示为应用最广泛的串联式集成稳压器内部电路结构方框图，其工作原理是取样电路将输出电压 U_o 按比例取出，送入比较放大器与基准电压进行比较，差值被放大后去控制调整管，以使输出电压 U_o 保持稳定。（[m费书享分多更索搜@雅书](#)）

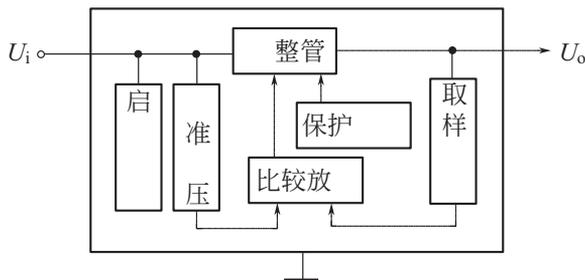


图 6-19 集成稳压器电路结构

(2) 集成稳压器的参数

集成稳压器的参数包括极限参数和工作参数两方面，一般应用时，关注其输出电压、最大输出电流、最小输入输出压差、最大输入电压和最大耗散功率等主要参数即可。

输出电压 U_o 是指集成稳压器的额定输出电压。对于固定输出的稳压器， U_o 是一固定

值。对于可调输出的稳压器， U_o 是一电压范围。

最大输出电流 I_{OM} 是指集成稳压器在安全工作的条件下所能提供的最大输出电流。应选用 I_{OM} 大于或等于电路工作电流的稳压器，并按要求安装足够的散热板。

最小输入输出压差是指集成稳压器正常工作所必需的输入端与输出端之间的最小电压差值。这是因为调整管必须承受一定的管压降，才能保证输出电压 U_o 的稳定。否则稳压器不能正常工作。

最大输入电压 U_{iM} 是指在安全工作的前提下，集成稳压器所能承受的最大输入电压值。输入电压超过 U_{iM} 将会损坏集成稳压器。对于可调输出集成稳压器，往往用最大输入、输出压差来表示此项极限参数。

最大耗散功率 P_M 是指集成稳压器内部电路所能承受的最大功耗， $P_M = (U_i - U_o) \times I_o$ ，使用中不得超过 P_M ，以免损坏集成稳压器。

❖ 6.2.2 常用集成稳压器

常用集成稳压器主要有 7800 系列集成稳压器、7900 系列集成稳压器、CW 系列集成稳压器等。

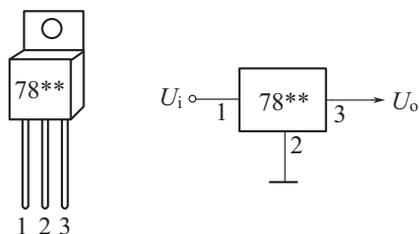


图 6-20 7800 系列集成稳压器

(1) 7800 系列集成稳压器

7800 系列集成稳压器是常用的固定正输出电压的集成稳压器，其常见外形及电路符号如图 6-20 所示。7800 系列集成稳压器为三端器件，1 脚为输入端，2 脚为接地端，3 脚为输出端，使用十分方便。

7800 系列集成稳压器具有 1.5A 的输出能力，内部含有限流保护、过热保护和过压保护电路，采用了噪声低、温度漂移小的基准电压源，工作稳定可靠。

其主要参数见表 6-2。

表 6-2 7800 系列集成稳压器主要参数

输出电压/V	5,6,9,12,15,18,24
输出电流/A	1.5
最小输入输出压差/V	2.5
最大输入电压/V	35($V_o=5\sim 18V$) 40($V_o=24V$)
最大功耗/W	15(加散热板)

7800 系列集成稳压器的应用电路很简单。如图 6-21 所示为输出 +9V 直流电压的稳压电源电路。IC 采用集成稳压器 7809， C_1 、 C_2 分别为输入端和输出端滤波电容， R_L 为负载电阻。当输出电流较大时，7809 应配上散热板。

(2) 7900 系列集成稳压器

7900 系列集成稳压器是常用的固定负输出电压的三端集成稳压器，其常见外形及电路符号如图 6-22 所示。7900 系列集成稳压器有三个引脚，1 脚为接地端，2 脚为输入端，3 脚为输出端。

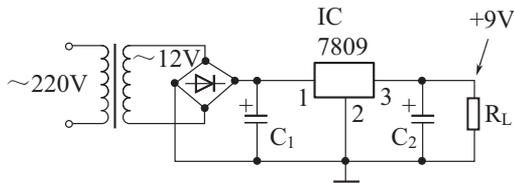


图 6-21 7800 系列集成稳压器应用

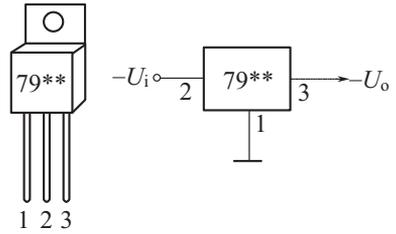


图 6-22 7900 系列集成稳压器

7900 系列集成稳压器与 7800 系列完全对应，所不同的是 7900 系列输出为负电压，最大输出电流也是 1.5A，其主要参数见表 6-3。

表 6-3 7900 系列集成稳压器主要参数

输出电压/V	-5, -6, -9, -12, -15, -18, -24
输出电流/A	1.5
最小输入输出压差/V	1.1
最大输入电压/V	-35 ($V_o = -5 \sim -18V$) -40 ($V_o = -24V$)
最大功耗/W	15(加散热板)

7900 系列集成稳压器的应用电路也很简单。如图 6-23 所示为输出 -9V 直流电压的稳压电源电路，IC 采用集成稳压器 7909，输出电流较大时应配上散热板。

(3) CW117 集成稳压器

CW117 为三端可调正输出集成稳压器，输出电压可调范围为 1.2~37V，输出电流可达 1.5A。如图 6-24 所示为 CW117 外形及电路符号，其 1 脚为调整端，2 脚为输出端，3 脚为输入端。

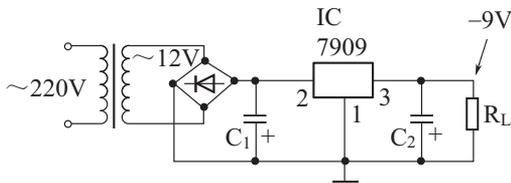


图 6-23 7900 系列集成稳压器应用

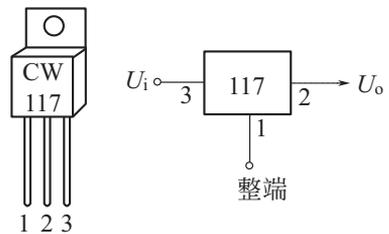


图 6-24 CW117 集成稳压器

CW117 集成稳压器主要参数见表 6-4。

表 6-4 CW117 集成稳压器主要参数

输出电压/V	1.2~37
输出电流/A	1.5
输入输出压差/V	≤40
最大功耗/W	20(加散热板)

如图 6-25 所示为 CW117 典型应用电路， R_1 与 RP 组成调压电阻网络，调节电位器 (RP) 即可改变输出电压。RP 动臂向上移动时输出电压增大，向下移动时输出电压减小。

(4) CW137 集成稳压器

CW137 为三端可调负输出集成稳压器，输出电压可调范围为 $-1.2 \sim -37\text{V}$ ，输出电流可达 1.5A。如图 6-26 所示为 CW137 外形及电路符号，其 1 脚为调整端，2 脚为输入端，3 脚为输出端。

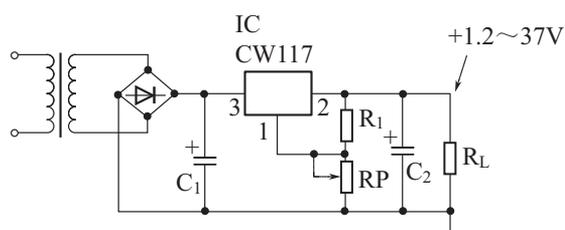


图 6-25 CW117 集成稳压器应用

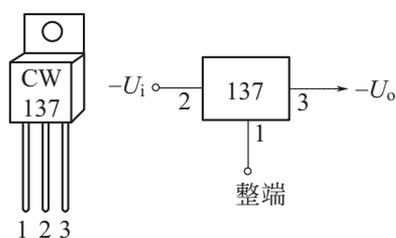


图 6-26 CW137 集成稳压器

CW137 集成稳压器主要参数见表 6-5。

表 6-5 CW137 集成稳压器主要参数

输出电压/V	$-1.2 \sim -37$
输出电流/A	1.5
输入输出压差/V	≤ 40
最大功耗/W	20(加散热板)

如图 6-27 所示为 CW137 典型应用电路。调节电位器 (RP) 可改变输出电压的大小，RP 动臂向上移动时输出负电压的绝对值增大，向下移动时输出负电压的绝对值减小。

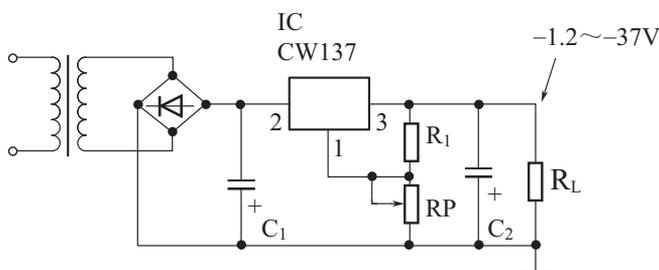


图 6-27 CW137 集成稳压器应用

6.3 时基集成电路

时基集成电路是一种能产生时间基准和能完成各种定时或延迟功能的非线性模拟集成电路。广泛应用在信号发生、波形处理、定时延时、仪器仪表、控制系统、电子玩具等领域。如图 6-28 所示为双列直插式封装时基集成电路外形。

6.3.1 认识时基集成电路

时基集成电路的电路符号如图 6-29 所示。

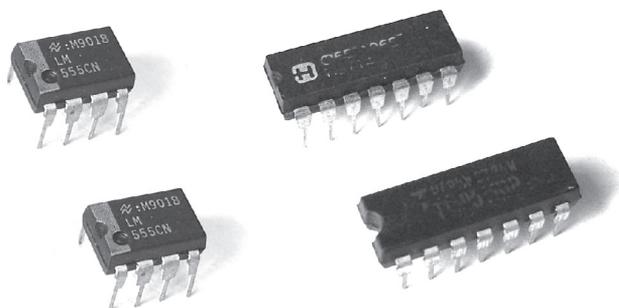


图 6-28 时基集成电路

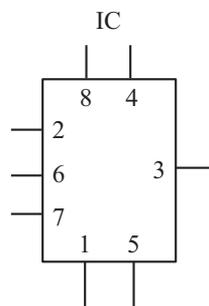


图 6-29 时基集成电路符号

时基集成电路有单、双之分。一个封装中只含有一个时基单元的，称为单时基电路，如 CB555、CB7555。一个封装中含有两个时基单元的，称为双时基电路，如 CB556、CB7556。根据制造工艺和材料的不同，单、双时基电路又都可分为双极型时基电路和 CMOS 型时基电路两类，例如，CB555、CB556 是双极型时基电路，CB7555、CB7556 是 CMOS 型时基电路。双极型时基电路输出电流大、驱动能力强，可直接驱动 200mA 以内的负载。CMOS 型时基电路功耗低、输入阻抗高，更适合作长延时电路。

(1) 时基集成电路的参数

时基集成电路的参数很多，表 6-6 列出了电源电压、输出电流、放电电流、功耗、频率范围等主要参数。一般使用时只需要考虑其主要参数即可。

表 6-6 时基集成电路的主要参数

参 数	双极型	CMOS 型
电源电压/V	4.5~18	3~18
输出电流/mA	200	10
放电电流/mA	50	
功耗/mW	500	50
频率范围	10~500000Hz	10~1000000Hz

(2) 时基集成电路的工作原理

时基集成电路将模拟电路与数字电路巧妙地结合在一起，从而可实现多种用途。如图 6-30 所示为其内部电路方框图。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成分压网络，为 A_1 、 A_2 两个电压比较器提供 $2/3V_{CC}$ 和 $1/3V_{CC}$ 的基准电压。两个比较器的输出分别作为 RS 触发器的置“0”信号和置“1”信号。输出驱动级和放电管 VT 受 RS 触发器控制。由于分压网络的三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 均为 $5k\Omega$ ，所以该集成电路又称为 555 时基电路。

时基集成电路工作原理是当置“0”输入端 $R \geq 2/3V_{CC}$ 时 ($\bar{S} > 1/3V_{CC}$)，上限比较器 A_1 输出为“1”使电路输出端 V_o 为“0”，放电管 VT 导通，DISC 端为“0”。当置“1”输

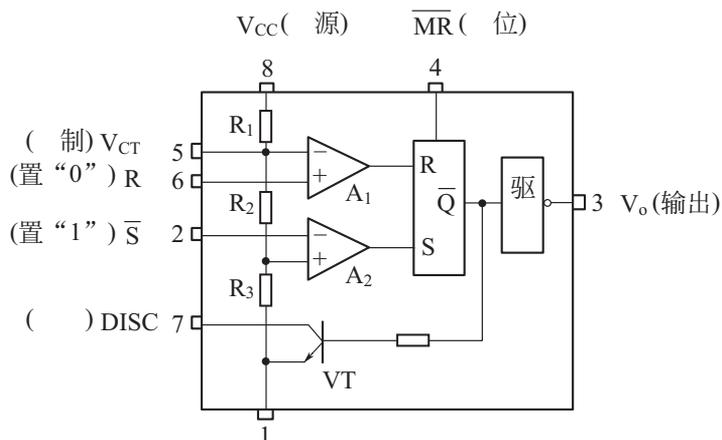


图 6-30 时基集成电路方框图

入端 $\bar{S} \leq 1/3V_{CC}$ 时 ($R < 2/3V_{CC}$)，下限比较器 A_2 输出为“1”使电路输出端 V_o 为“1”，放电管 VT 截止，DISC 端为“1”。 \overline{MR} 为复位端， $\overline{MR} = 0$ 时， $V_o = 0$ ， $DISC = 0$ 。表 6-7 为时基集成电路逻辑真值表。

表 6-7 时基集成电路逻辑真值

输入端信号			输出状态	
置“1”端 \bar{S}	置“0”端 R	复位端 \overline{MR}	输出端 V_o	放电端 $DISC$
*	*	0	0	0
$\leq 1/3V_{cc}$	$\leq 2/3V_{cc}$	1	1	1
$\geq 1/3V_{cc}$	$\geq 2/3V_{cc}$	1	0	0
$\leq 1/3V_{cc}$	$\geq 2/3V_{cc}$	1	不允许	

如图 6-31 所示为 CB555 引脚功能图。CB555 是双极型单时基集成电路，输出电流可达 200mA，可直接驱动直流电动机、继电器等负载。

如图 6-32 所示为 CB556 引脚功能图。CB556 是双极型双时基电路，内含两个完全一样的互相独立的双极型 555 时基单元。

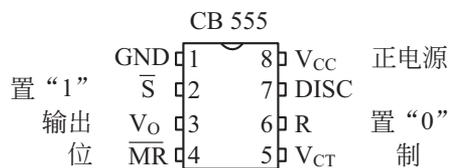


图 6-31 CB555 引脚功能

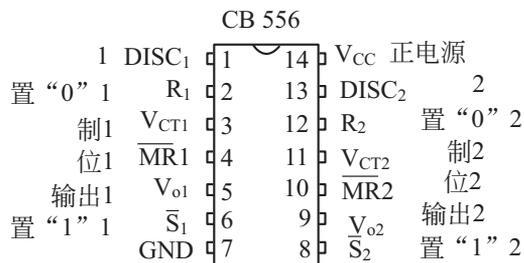


图 6-32 CB556 引脚功能

如图 6-33 所示为 CB7555 引脚功能图。CB7555 是 CMOS 型单时基集成电路，由于其输入阻抗很高，可以用较大的电阻和较小的电容获得长延时。

如图 6-34 所示为 CB7556 引脚功能图。CB7556 是 CMOS 型双时基电路，内含两个完全一样的互相独立的 CMOS 型 555 时基单元。

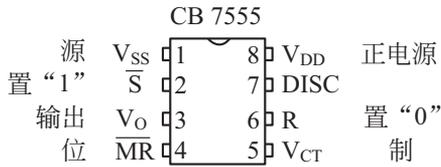


图 6-33 CB7555 引脚功能

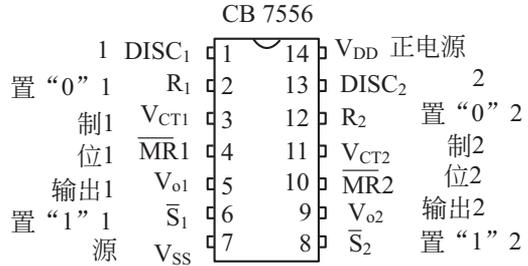


图 6-34 CB7556 引脚功能

6.3.2 时基集成电路的典型应用

时基集成电路的典型应用可归纳为单稳态模式、无稳态模式、双稳态模式和施密特模式。

(1) 单稳态触发器

555 时基电路组成的单稳态触发器如图 6-35 所示，电阻 R 和电容 C 组成定时电路。平时，电路处于稳态，输出端（3 脚） $U_o=0$ ，放电端（7 脚）导通到地， C 上无电压。

当在其输入端（2 脚）输入一负触发信号 U_i ($\leq 1/3V_{CC}$) 时，电路翻转为暂稳态， $U_o=1$ ，放电端（7 脚）截止，电源经 R 向 C 充电。当 C 上电压达到 $2/3V_{CC}$ 时，电路再次翻转回到稳态，暂稳态结束， $U_o=0$ ，放电端（7 脚）导通将 C 上电压放掉，直至下一次触发。电路输出脉宽 $T_w \approx 1.1RC$ ，各点工作波形如图 6-36 所示。

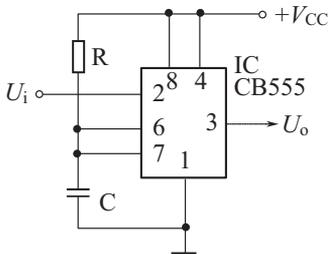


图 6-35 单稳态触发器

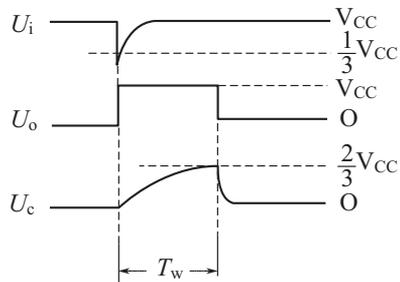


图 6-36 单稳态触发器波形

(2) 多谐振荡器

555 时基电路组成的多谐振荡器（无稳态电路）如图 6-37 所示。555 时基电路的置“1”输入端 \bar{S} （2 脚）和置“0”输入端 R （6 脚）并接在一起， R_1 、 R_2 和 C 组成充放电回路。

刚接通电源时， C 上无电压，输出端（3 脚） $U_o=1$ ，放电端（7 脚）截止，电源开始经 R_1 、 R_2 向 C 充电。当 C 上电压达到 $2/3V_{CC}$ 时，电路翻转， U_o 变为“0”，7 脚导通到地， C 开始经 R_2 放电。当 C 上电压放电至 $1/3V_{CC}$ 时，电路再次翻转， U_o 又变为 1，7 脚截止， C 开始新一轮充电。如此周而复始形成自激振荡，输出为方波，其振荡周期 $T \approx 0.7(R_1 + 2 \times R_2)C$ ，工作波形如图 6-38 所示。

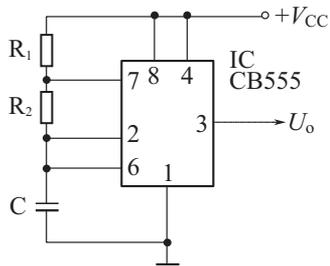


图 6-37 多谐振荡器

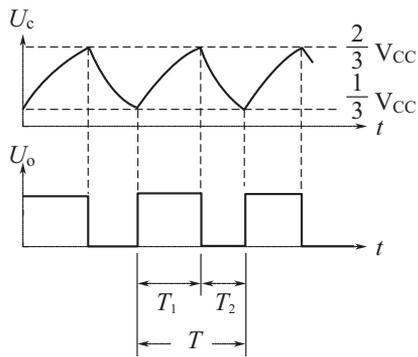


图 6-38 多谐振荡器波形

(3) 双稳态触发器

555 时基电路组成的双稳态触发器如图 6-39 所示。在 555 时基电路的置“1”输入端 \bar{S} (2 脚) 和置“0”输入端 R (6 脚), 分别接有 C_1 和 R_1 、 C_2 和 R_2 构成的触发微分电路。

当有负触发脉冲 U_2 加至置“1”输入端 \bar{S} (2 脚) 时, 输出端 (3 脚) $U_o=1$ 。当有正触发脉冲 U_6 加至置“0”输入端 R (6 脚) 时, $U_o=0$ 。电路工作波形如图 6-40 所示。

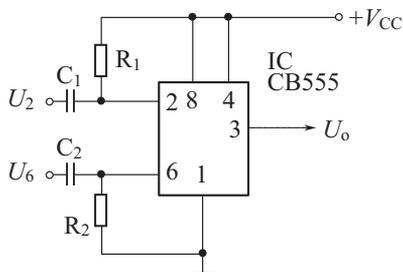


图 6-39 双稳态触发器

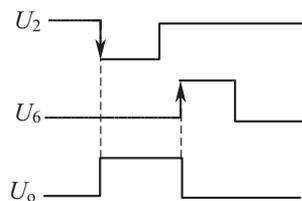


图 6-40 双稳态触发器波形

(4) 施密特触发器

555 时基电路组成的施密特触发器如图 6-41 所示。555 时基电路的置“1”输入端 \bar{S} (2 脚) 和置“0”输入端 R (6 脚) 并接在一起作为触发器输入端。

当输入信号 $U_i \geq 2/3 V_{CC}$ 时, 输出信号 $U_o=0$ 。当输入信号 $U_i \leq 1/3 V_{CC}$ 时, 输出信号 $U_o=1$ 。施密特触发器可以将缓慢变化的模拟信号整形为边沿陡峭的数字信号, 其工作波形如图 6-42 所示。

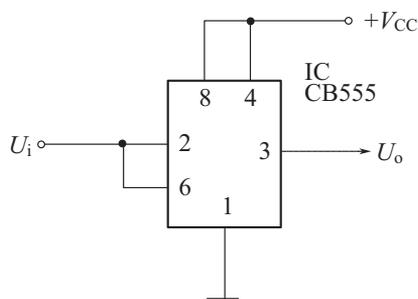


图 6-41 施密特触发器

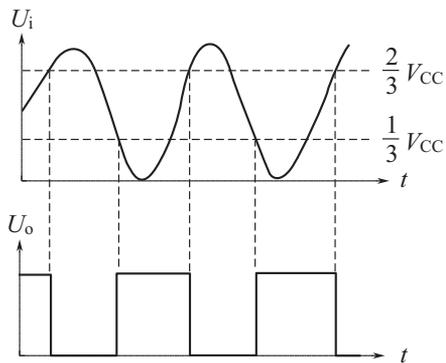


图 6-42 施密特触发器波形

6.4 数字集成电路

数字集成电路是指传输和处理数字信号的集成电路。数字信号在时间上和数值上都是不连续的，是断续变化的离散信号。数字信号往往采用二进制数表示。常见双列直插式数字集成电路外形如图 6-43 所示。

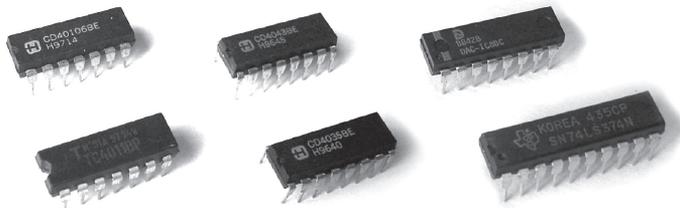


图 6-43 数字集成电路

数字集成电路种类很多，主要有 TTL 电路（三极管-三极管逻辑电路）、HTL 电路（高阈值逻辑门电路）、ECL 电路（发射极耦合逻辑电路）、CMOS 电路（互补对称 MOS 型数字集成电路）、PMOS 电路（P 沟道 MOS 型数字集成电路）、NMOS 电路（N 沟道 MOS 型数字集成电路）等。TTL、HTL、ECL 属于双极型数字集成电路，CMOS、PMOS、NMOS 属于单极型 MOS 数字集成电路。

按照功能不同，数字集成电路可分为门电路、触发器、计数器、译码器、寄存器、移位寄存器、模拟开关、数据选择器、运算电路等。

6.4.1 认识数字集成电路

数字集成电路的文字符号为“D”，图形符号如图 6-44 所示。

CMOS 电路是最常用的数字电路。与 TTL 电路相比，CMOS 电路具有电源电压范围宽、功耗很小、输入阻抗很高、逻辑摆幅大、扇出能力强、抗干扰和抗辐射能力强、温度稳定性好的特点，得到了广泛的应用。其不足是工作速度较低、输出电流较小。CMOS 电路与 TTL 电路主要参数对比见表 6-8。

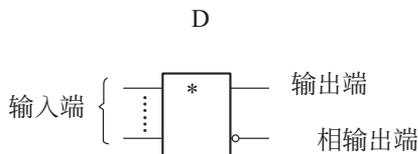


图 6-44 数字集成电路符号
* 表示电路意义的符号

表 6-8 CMOS 电路与 TTL 电路主要参数对比

参 数	TTL	CMOS
电源电压范围	窄	宽
功耗	较大	很小
工作速度	高	较低
输出电流	大	小
抗干扰能力	弱	强
输入阻抗	低	很高

CMOS 数字电路的参数很多，包括极限参数、静态参数和动态参数。一般使用时关注的主要参数有电源电压 U_{DD} 、最大输入电压 $U_{i(max)}$ 、最小输入电压 $U_{i(min)}$ 、最大输入电流 I_{iM} 、最大允许功耗 P_M 等，见表 6-9。

表 6-9 CMOS 电路主要参数

电源电压 U_{DD}	3~18V
最大输入电压 $U_{i(max)}$	$U_{DD} + 0.5V$
最小输入电压 $U_{i(min)}$	-0.5V
最大输入电流 I_{iM}	$\pm 10mA$
最大允许功耗 P_M	500mW

(1) 电源电压

电源电压 U_{DD} 是指 CMOS 电路的直流供电电压。CMOS 电路具有很宽的电源电压范围， U_{DD} 在 3~18V 范围内均能正常可靠地工作。

(2) 最大输入电压和最小输入电压

最大输入电压 $U_{i(max)}$ 和最小输入电压 $U_{i(min)}$ 是指 CMOS 电路正常工作情况下，其输入端所能承受的输入电压的上下极限。使用中输入电压不能大于 $U_{i(max)}$ 或小于 $U_{i(min)}$ ，否则将造成 CMOS 电路失效甚至损坏。

(3) 最大输入电流

最大输入电流 I_{iM} 是指 CMOS 电路正常工作情况下，其输入端所能承受的输入电流的极限值。使用中可在 CMOS 电路输入端串入限流电阻。

(4) 最大允许功耗

最大允许功耗 P_M 是指 CMOS 电路正常工作情况下所能承受的最大耗散功率。

(5) 最高时钟频率

最高时钟频率 f_M 是指在规定的电源电压和负载条件下，时序逻辑电路能保持正常逻辑功能的时钟频率上限。

(6) 输出电流

输出电流 I_o 是指 CMOS 电路输出端的输出驱动电流，包括输出供给电流和输出吸收电流两方面。CMOS 电路的输出电流一般较小，需要驱动继电器、电动机、灯泡等较大电流负载时，应加接晶体管等驱动电路。

6.4.2 门电路

能够实现各种基本逻辑关系的电路通称为门电路。门电路是构成组合逻辑网络的基本部件，也是构成时序逻辑电路的组成部件之一。门电路包括与门、或门、非门（反相器）、与非门、或非门等。

(1) 与门

与门的电路符号如图 6-45 所示，A、B 为输入端，Y 为输出端。与门的逻辑关系为 $Y = AB$ ，即只有当所有输入端 A 和 B 均为“1”时，输出端 Y 才为“1”；否则 Y 为“0”。与门可以有更多的输入端。

(2) 或门

或门的电路符号如图 6-46 所示，A、B 为输入端，Y 为输出端。或门的逻辑关系为 $Y = A + B$ ，即只要输入端 A 和 B 中有一个为“1”时，Y 即为“1”；所有输入端 A 和 B 均为“0”时，Y 才为“0”。或门可以有更多的输入端。

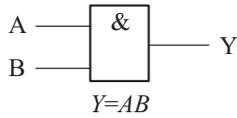


图 6-45 与门

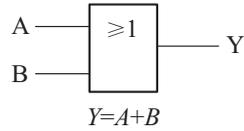


图 6-46 或门

(3) 非门

非门的电路符号如图 6-47 所示。非门又叫反相器，A 为输入端，Y 为输出端，其逻辑关系为 $Y = \overline{A}$ ，即输出端 Y 总是与输入端 A 相反。

(4) 与非门

与非门的电路符号如图 6-48 所示，A、B 为输入端，Y 为输出端。与非门的逻辑关系为 $Y = \overline{AB}$ ，即只有当所有输入端 A 和 B 均为“1”时，输出端 Y 才为“0”；否则 Y 为“1”。与非门可以有更多的输入端。

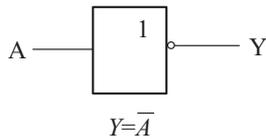


图 6-47 非门

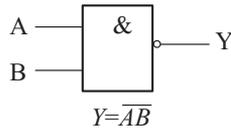


图 6-48 与非门

(5) 或非门

或非门的电路符号如图 6-49 所示，A、B 为输入端，Y 为输出端。或非门的逻辑关系为 $Y = \overline{A + B}$ ，即只要输入端 A 和 B 中有一个为“1”时，Y 即为“0”；所有输入端 A 和 B 均为“0”时，Y 才为“1”。或非门可以有更多的输入端。

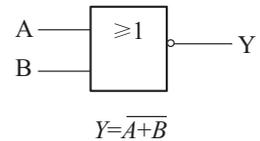


图 6-49 或非门

6.4.3 触发器

触发器是时序电路的基本单元，在数字信号的产生、变换、存储、控制等方面应用广泛。按结构和工作方式不同，触发器可分为 RS 触发器、D 型触发器、JK 触发器、单稳态触发器、施密特触发器等。

(1) RS 触发器

RS 触发器即复位-置位触发器，是最简单的基本触发器，也是构成其他复杂结构触发器的组成部分之一。RS 触发器的电路符号如图 6-50 所示，它有两个输入端：置“1”输入端 S、置“0”输入端 R；具有两个输出端：输出端 Q 和反相输出端 \overline{Q} 。

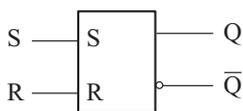


图 6-50 RS 触发器

RS 触发器真值表见表 6-10。

表 6-10 RS 触发器真值

R	S	Q	\bar{Q}
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	不变	
1	1	不确定	

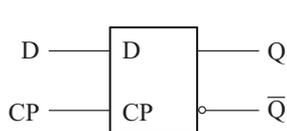


图 6-51 D 型触发器

(2) D 型触发器

D 型触发器又称为延迟触发器，电路符号如图 6-51 所示。

RS 触发器具有数据输入端 D、时钟输入端 CP、输出端 Q 和 \bar{Q} 。D 型触发器输出状态的改变依赖于时钟脉冲的触发，即在时钟脉冲的触发下，数据由输入端 D 传输到输出端 Q。

D 型触发器常用于数据锁存、控制电路中，其真值见表 6-11。

表 6-11 D 型触发器真值

输 入		输 出	
CP	D	Q	\bar{Q}
1	0	0	1
1	1	1	0
0	任 意	不 变	

(3) 单稳态触发器

单稳态触发器电路符号如图 6-52 所示，TR 为触发端，R 为清零端，Q 和 \bar{Q} 为输出端。在单稳态触发器 TR 端输入一个触发脉冲，其输出端即输出一个恒定宽度的矩形脉冲。Q 和 \bar{Q} 端的输出信号互为反相。

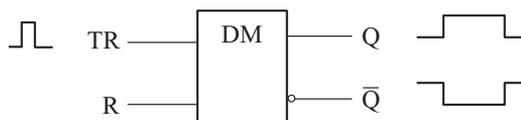


图 6-52 单稳态触发器

单稳态触发器主要应用在脉冲信号展宽、整形、延迟，以及定时器、振荡器、数字滤波器、频率-电压变换器等。

(4) 施密特触发器

施密特触发器电路符号如图 6-53 所示，A 为输入端，Q 为输出端。施密特触发器的特点是将缓慢变化的信号转变为边沿陡峭的矩形脉冲。施密特触发器常用于脉冲整形、电压幅度鉴别、模-数转换、接口电路等。

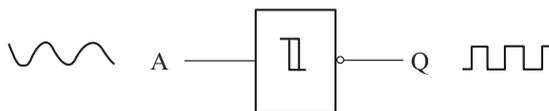


图 6-53 施密特触发器

6.4.4 计数器

计数器是数字系统中应用最多的时序电路。计数器是一个记忆装置，它能对输入的脉冲按一定的规则进行计数，并由输出端的不同状态予以表示。计数器还可用于分频、定时、数字运算等。

计数器种类繁多，通常分为同步计数器和异步计数器两大类。按操作码制可分为二进制计数器、BCD 码（二十进制）计数器、八进制和十进制约翰逊码计数器等。按功能可分为加计数器、减计数器、加/减计数器、可预置计数器、可编程计数器、计数/分配器等。按时钟结构可分为单时钟计数器和双时钟计数器。

计数器的一般电路符号如图 6-54 所示，CP 为串行数据输入端， $Q_1 \sim Q_n$ 为输出端。具有并行数据输入端的计数器一般电路符号如图 6-55 所示，其中 $P_1 \sim P_n$ 为并行数据输入端。

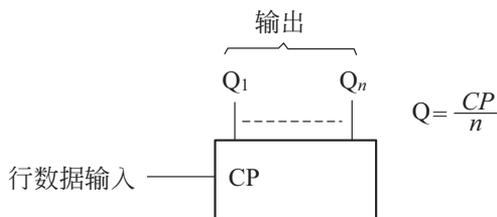


图 6-54 计数器

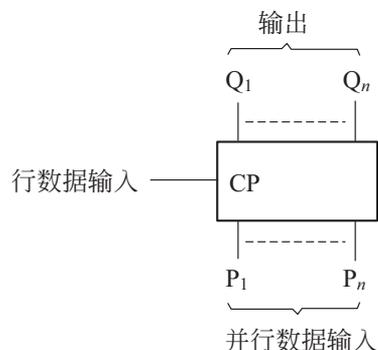


图 6-55 具有并行输入端的计数器

6.4.5 译码器

译码器是一种组合电路，其功能是将一种数码转换成另一种数码。译码器的输出状态是其输入信号各种组合的结果，用以控制后续电路，或者驱动显示器实现数码的显示。

译码器可分为显示译码器和数码译码器两大类。

显示译码器有许多类型，按工作码制可分为 BCD 码-8 段显示译码器、BCD 码-7 段显示译码器、六进制计数-7 段显示译码器、十进制计数-7 段显示译码器、十进制加/减计数-7 段显示译码器等。

按所驱动显示器的不同可分为驱动荧光数码管、驱动 LED（发光二极管）数码管、驱动 LCD（液晶）数码管以及可驱动多种数码管的显示译码器。

数码译码器也有多种，有 BCD 码-十进制码译码器、十进制码-BCD 码译码器、4 线-16 线译码器、4 选 1 译码/分离器等。

(1) BCD 码-7 段显示译码器

BCD 码-7 段显示译码器电路符号如图 6-56 所示，A、B、C、D 为 4 个 BCD 码输入端； $a \sim g$ 为 7 个输出端，分别控制 7 段数码管的 7 个笔画。当输入 4 位 BCD 码时，相应的输出端便会驱动 7 段数码管显示出该 4 位 BCD 码所代表的十进制数字。

(2) 十进制计数-7 段显示译码器

十进制计数-7 段显示译码器电路符号如图 6-57 所示，CP 为脉冲信号输入端，R 为清零端；a~g 为 7 个输出端。当 CP 端有脉冲信号输入时，电路便对其计数，并将计数结果通过 7 个输出端驱动 7 段数码管显示出来。

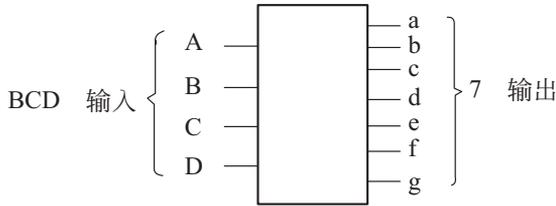


图 6-56 BCD 码-7 段显示译码器

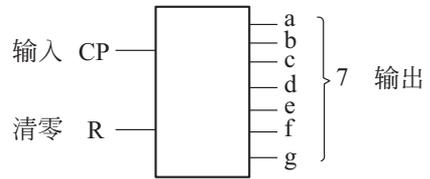


图 6-57 十进制计数-7 段显示译码器

6.4.6 移位寄存器

移位寄存器是一种时序电路，它不仅具有寄存数据的功能，而且还具有移位的功能。移位寄存器是数字系统和电子计算机中的一个重要部件，在数据寄存、传送、延迟、串/并转换或并/串转换等方面应用广泛。

移位寄存器种类很多，按输入方式可分为串行输入、并行输入、串/并行输入等。按输出方式可分为串行输出、并行输出、串/并行输出等。按移位方向可分为左移、右移、双向移位等。

(1) 右移移位寄存器

如图 6-58 所示为 4 位右移移位寄存器原理示意图。串行数据从 D 端输入，在时钟脉冲 CP 的作用下向右移位，经过 4 个 CP 周期后从 Q_4 端串行输出。 $Q_1 \sim Q_4$ 为并行输出端。 $P_1 \sim P_4$ 为并行数据输入端。

(2) 左移移位寄存器

如图 6-59 所示为 4 位左移移位寄存器原理示意图。串行数据从 D 端输入，在时钟脉冲 CP 的作用下向左移位，经过 4 个 CP 周期后从 Q_1 端串行输出。 $Q_1 \sim Q_4$ 为并行输出端。 $P_1 \sim P_4$ 为并行数据输入端。

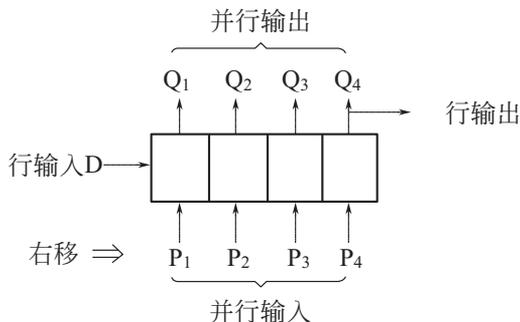


图 6-58 右移移位寄存器

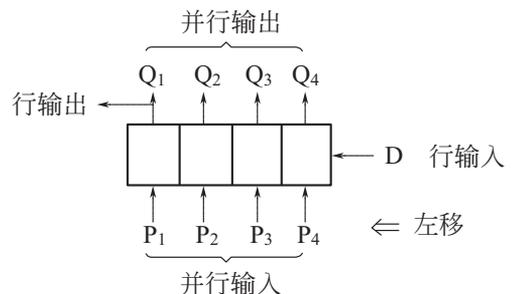


图 6-59 左移移位寄存器

6.4.7 模拟开关

模拟开关是用 CMOS 电子电路模拟开关的通断，起到接通信号或断开信号的作用。模拟开关品种较多，较常用的有双向模拟开关、多路模拟开关、数据选择器等。由于模拟开关

具有功耗低、速度快、体积小、无机械触点、使用寿命长等特点，在模拟或数字信号控制、选择、模/数或数/模转换以及数控电路等领域得到越来越多的应用。

模拟开关有常开型和常闭型两类，它们的电路符号如图 6-60 所示。A 和 B 为信号端，既可作输入端也可作输出端。使用时一个作为输入端，另一个作为输出端即可。e 为控制端。

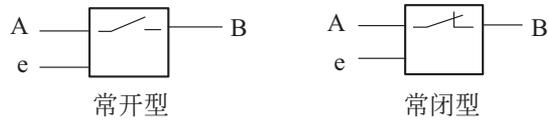


图 6-60 模拟开关

6.4.8 运算电路

数字运算电路是指能够完成逻辑运算或算术运算功能的集成电路，在数字系统中主要用来对数据进行控制、加工和处理。

数字运算电路可分为逻辑运算电路和算术运算电路两大类。逻辑运算电路包括异或门、数值比较器等。算术运算电路包括加法器、减法器、乘法器等。

(1) 异或门

如图 6-61 所示为异或门电路符号，A、B 为输入端，S 为输出端。异或门的逻辑关系为 $S = A\bar{B} + \bar{A}B$ ，即只有当两个输入端 A 与 B 的信号不同时（一个为“1”而另一个为“0”），输出端 S 才为“1”；当 $A = B$ 时，输出端 S 为“0”。

(2) 全加器

如图 6-62 所示为全加器电路符号，A、B 为被加数、加数输入端， C_i 为上一位向本位的进位数输入端；S 为和数输出端， C_o 为本位向下一位的进位数输出端。

(3) 减法器

如图 6-63 所示为减法器电路符号，A、B 为被减数、减数输入端， B_i 为下一位向本位的借位数输入端；D 为差数输出端， B_o 为本位向上一位的借位数输出端。

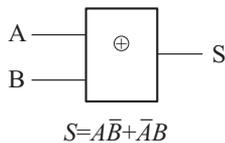


图 6-61 异或门

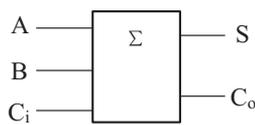


图 6-62 全加器

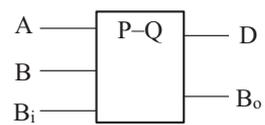


图 6-63 减法器

6.4.9 常用 CMOS 数字集成电路

前面讲了许多数字集成电路知识，下面介绍一些常用的 CMOS 数字集成电路。

(1) 门电路

如图 6-64 所示为四 2 输入端与非门电路 CC4011 引脚功能图。CC4011 内含四个独立的具有 2 个输入端的与非门， V_{DD} 端接 +3~18V 电源电压， V_{SS} 端接地。

如图 6-65 所示为双 4 输入端与非门电路 CC4012 引脚功能图。CC4012 内含两个独立的具有 4 个输入端的与非门。

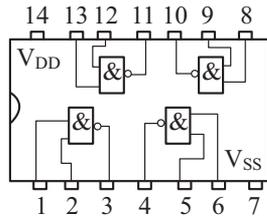


图 6-64 CC4011 引脚功能

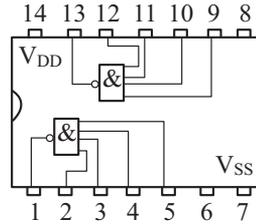


图 6-65 CC4012 引脚功能

如图 6-66 所示为四 2 输入端或非门电路 CC4001 引脚功能图。CC4001 内含四个独立的具有 2 个输入端的或非门。

如图 6-67 所示为双 4 输入端或非门电路 CC4002 引脚功能图。CC4002 内含两个独立的具有 4 个输入端的或非门。

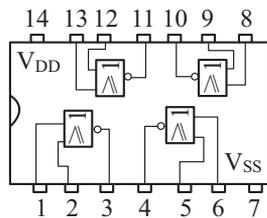


图 6-66 CC4001 引脚功能

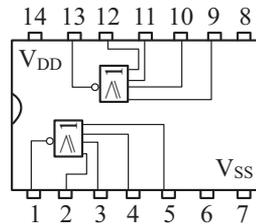


图 6-67 CC4002 引脚功能

如图 6-68 所示为六非门电路 CC4069 引脚功能图。CC4069 内含六个独立的非门（反相器）。

(2) 触发器

如图 6-69 所示为四三态 RS 锁存触发器 CC4043 引脚功能图。CC4043 内含四个独立的三态 RS 锁存触发器，“1”电平触发有效。四个 RS 触发器共用一个允许控制端 EN，当 EN=1 时，RS 触发器如常工作；当 EN=0 时，RS 触发器所有输出端处于高阻状态（即输出端悬空）。

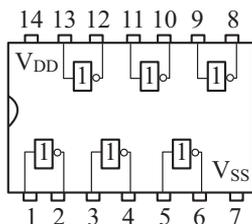


图 6-68 CC4069 引脚功能

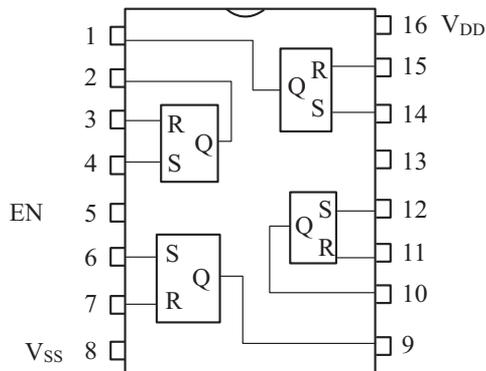


图 6-69 CC4043 引脚功能

如图 6-70 所示为双主从 D 型触发器 CC4013 引脚功能图。CC4013 内含两个独立的主从 D 型触发器。每个 D 触发器具有四个输入端：数据输入端 D，时钟输入端 CP，置“0”端 R，置“1”端 S。具有两个输出端：原码输出端 Q 和反码输出端 \bar{Q} 。CC4013 的 D 触发器由

CP 脉冲的上升沿触发，R 与 S 端为“1”电平有效。

如图 6-71 所示为四锁存 D 型触发器 CC4042 引脚功能图。CC4042 内含四个独立的锁存 D 型触发器，四个 D 触发器共用时钟脉冲端 CP 和极性选择端 POL。只有当 CP 与 POL 逻辑状态相同时，D 端数据才被传输至 Q 端，否则数据被锁存。

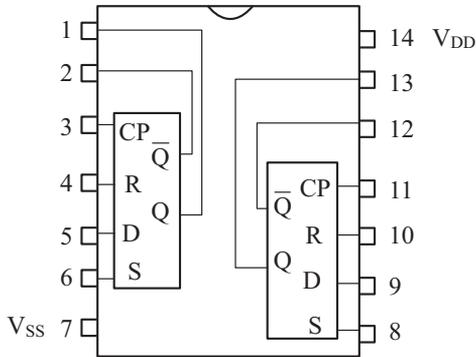


图 6-70 CC4013 引脚功能

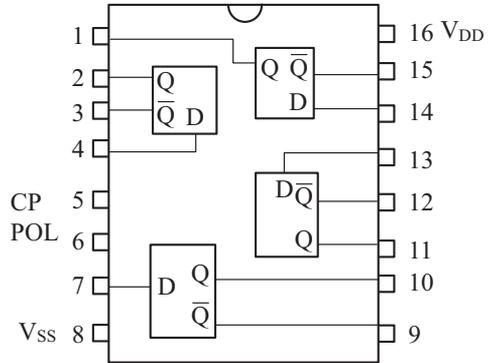


图 6-71 CC4042 引脚功能

如图 6-72 所示为双单稳态触发器 CC4098 引脚功能图。CC4098 内含两个独立的单稳态触发器。每个单稳态触发器具有正向触发输入端 TR_+ ，负向触发输入端 TR_- ，清零端 R，外接电阻端 R_e ，外接电容端 C_e ，原码输出端 Q 和反码输出端 \bar{Q} 。 R_e 与 C_e 端外接的电阻 R、电容 C 的值，决定了输出脉冲的宽度。

如图 6-73 所示为四 2 输入端施密特触发器 CC4093 引脚功能图。CC4093 内含四个独立的具有 2 个输入端的与非门形式的施密特触发器。

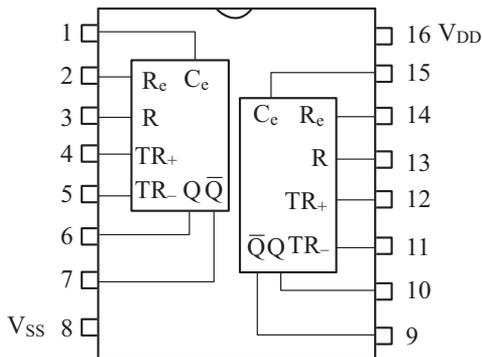


图 6-72 CC4098 引脚功能

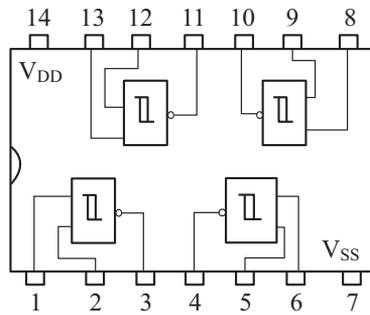


图 6-73 CC4093 引脚功能

如图 6-74 所示为六施密特触发器 CC40106 引脚功能图。CC40106 内含六个独立的反相器形式的施密特触发器。

(3) 计数器

如图 6-75 所示为可预置数的二-十进制加/减计数器 CC4510 引脚功能图。CC4510 具有四个计数单元，采用 8421 编码， $D_1 \sim D_4$ 为预置数据输入端， $Q_1 \sim Q_4$ 为输出端。CP 为时钟脉冲输入端，使用单时钟。具有一个进位输入端 C_i 和一个进位输出端 C_o ，方便级联使用。 PE 为预置数控制端，当 $PE = 1$ 时， $D_1 \sim D_4$ 上的预置数被送到输出端 $Q_1 \sim Q_4$ 。 U/D 为加/减计数控制端， U/D 为“1”时计数器执行加计数； U/D 为“0”时计数器执行减计数。

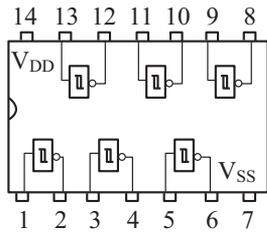


图 6-74 CC40106 引脚功能

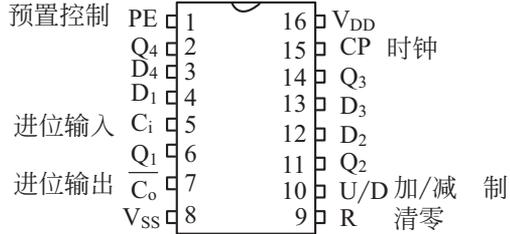


图 6-75 CC4510 引脚功能

如图 6-76 所示为十进制计数/分配器 CC4017 引脚功能图。CC4017 具有三个输入端：清零端 R，时钟端 CP，允许端 \overline{EN} 。如果要用上升沿来计数，则信号由 CP 端输入。如果要用下降沿来计数，则信号由 \overline{EN} 端输入。CC4017 具有十个输出端 $Y_0 \sim Y_9$ ，每个输出端的状态与输入计数器的脉冲个数相对应。另外，为了级联方便，还设有进位输出端 C_o ，每输入 10 个脉冲就输出一个进位脉冲。

(4) 译码器

如图 6-77 所示为 BCD 锁存/7 段译码驱动器 CC14544 引脚功能图。CC14544 的功能是将输入的四位 BCD 码译码后驱动数码管显示，其 7 个输出端 a~g 对应数码管的 7 个笔画。CC14544 具有多位显示自动消隐无效零的功能，RBI 和 RBO 分别为串行消隐无效零的输入端和输出端。LE 为锁存控制端，LE=0 时输出被锁存。DFI 为显示控制端，当采用液晶数码管时 DFI 接交流驱动电压；当采用共阳 LED 数码管时 DFI 接“1”；当采用共阴 LED 数码管时 DFI 接“0”。

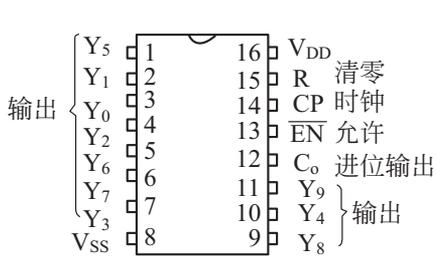


图 6-76 CC4017 引脚功能

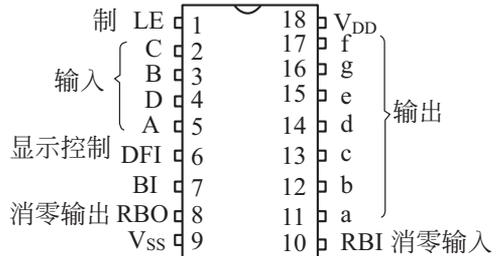


图 6-77 CC14544 引脚功能

如图 6-78 所示为十进制计数/7 段译码器 CC4033 引脚功能图。CC4033 的功能是能对输入脉冲进行十进制计数，并将计数结果译码后驱动数码管显示，其 7 个输出端 a~g 对应数码管的 7 个笔画，输出以“1”为有效电平。CC4033 也具有串行消隐无效零的输入端和输出端 RBI 和 RBO，还有一个进位输出端 C_o 。INH 为禁止端，当 INH=1 时计数器停止计数，显示的数字同时被保留。

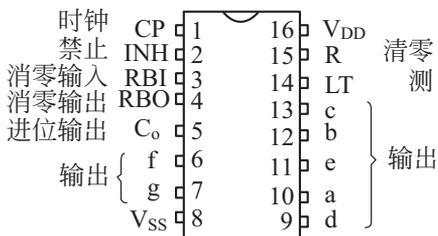


图 6-78 CC4033 引脚功能

如图 6-79 所示为 BCD 码-十进制码译码器 CC4028 引脚功能图。CC4028 的功能是将 BCD 码 (8421 码) 译成十进制码。A~D 为四位 BCD 码输入端。 $Y_0 \sim Y_9$ 为输出端，译中为“1”。

(5) 移位寄存器

如图 6-80 所示为四位双向通用移位寄存器 CC40194 引脚功能图。CC40194 功能齐全，既可

以右移，也可以左移；既可以串行输入，也可以并行输入；既可以串行输出，也可以并行输出。 D_R 为右移串行数据输入端， D_L 为左移串行数据输入端， $P_1 \sim P_4$ 为并行数据输入端， $Q_1 \sim Q_4$ 为输出端。 S_1 和 S_2 为状态控制端，当 $S_1 S_2$ 为“10”（为二进制数，下同）时数据右移；当 $S_1 S_2$ 为“01”时数据左移；当 $S_1 S_2$ 为“11”时并行置数；当 $S_1 S_2$ 为“00”时数据保持。

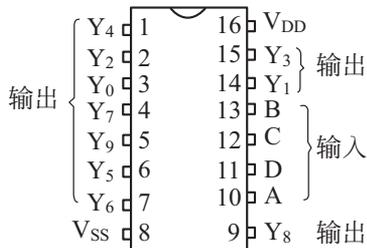


图 6-79 CC4028 引脚功能

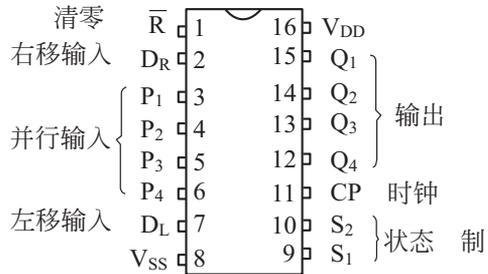


图 6-80 CC40194 引脚功能

(6) 模拟开关

如图 6-81 所示为四双向模拟开关 CC4066 引脚功能图。CC4066 内含四个独立的能控制数字信号或模拟信号传送的模拟开关，可传输的信号上限频率为 40MHz。当控制端为“1”时，输入端与输出端之间导通，允许信号双向传输。

(7) 运算电路

如图 6-82 所示为四异或门电路 CC4070 引脚功能图。CC4070 内含四个独立的 2 输入端异或门，每个异或门具有两个输入端和一个输出端。当两个输入端上的信号不同时，输出端为“1”；当两个输入端上的信号相同时，输出端为“0”。

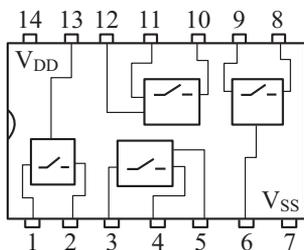


图 6-81 CC4066 引脚功能

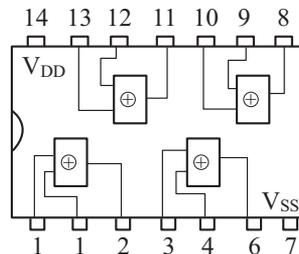


图 6-82 CC4070 引脚功能

6.5 音响集成电路

音响集成电路是指专门应用于音响领域的集成电路，种类和规格繁多，包括前置放大器、功率放大器、高中频电路、单片收音机或录音机电路、特殊音响效果处理电路、音响控制和指示电路等，以及其他和音响有关的集成电路。音响集成电路广泛应用在无线电广播与接收、家庭影院、影视系统、车载音响、多媒体设备和通信系统等方面。

音响集成电路的封装形式多种多样、大小形状各异，许多音响集成电路自带散热板。如图 6-83 所示为常见音响集成电路外形。

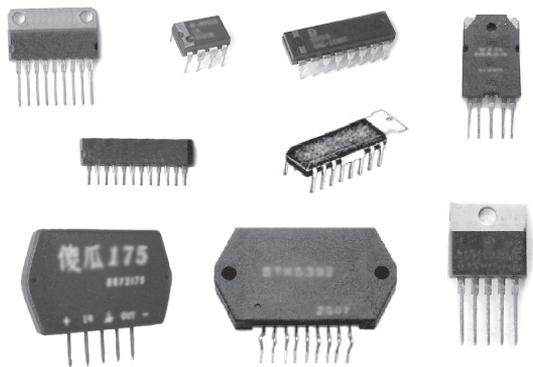


图 6-83 音响集成电路

❖ 6.5.1 音响集成电路的基本知识

音响集成电路的特点是主要工作于音频范围，或最终工作目标是音频信号。音响集成电路大多数属于专用集成电路，但前置放大器和功率放大器在音响电路以外的场合也能够应用，具有一定的通用性。

音响集成电路的文字符号为“IC”，图形符号如图 6-84 所示。

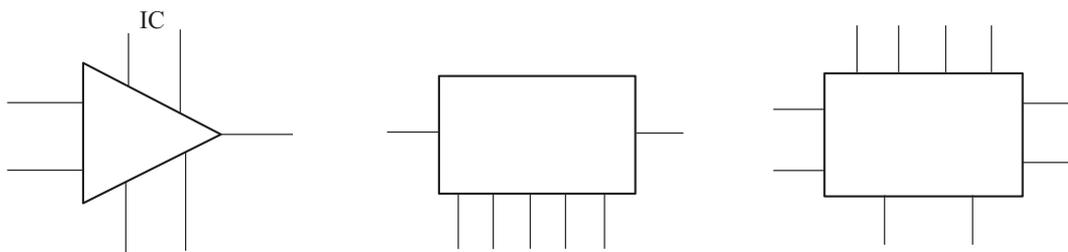


图 6-84 音响集成电路符号

(1) 音响集成电路的型号

音响集成电路生产厂家很多，产品型号往往由各公司自行命名。

音响集成电路的主要作用是在音响系统中完成放大、变频、检波、鉴频、解码、频率均衡、音频处理、控制、降噪和显示等信号处理任务。

(2) 音响集成电路的种类

音响集成电路品种繁多。按照电路功能，音响集成电路可分为音频前置放大器、功率放大器、高中频电路、立体声解码器、音频处理和控制电路、指示电路等。

音频前置放大器包括通用前置放大器、双声道前置放大器、带 ALC 的前置放大器、录音机前置放大器、录像机前置放大器、单片立体声放音电路和单片录放电路等。

功率放大器包括单声道功率放大器和双声道功率放大器，有 OTL、OCL 和 BTL 等电路形式，输出功率从数十微瓦到上百瓦具有多种规格。

中高频电路主要包括调幅或调频中放电路、检波电路、鉴频电路、高频放大电路、调谐电路、变频电路、单片收音机电路和锁相环数字频率合成电路等。

立体声解码器主要是指调频立体声解码器，绝大多数立体声解码集成电路都是锁相环调频立体声解码器。

音频处理和控制电路主要包括频率均衡电路、音量音调平衡控制电路、环绕声处理电

路、自动选曲电路、静噪和降噪电路等。

指示驱动电路包括发光二极管电平指示电路和电平表驱动电路等。

❖ 6.5.2 功率放大集成电路

功率放大集成电路的功能是对音频信号进行功率放大，其最大特点是具有较大的输出功率，能够推动扬声器等负载。

功率放大集成电路品种规格众多。按声道数可分为单声道音频功放和双声道音频功放，按电路形式可分为 OTL 功率放大器、OCL 功率放大器和 BTL 功率放大器等，其输出功率从数十微瓦到数百瓦具有很多规格，并具有多种封装形式。

许多功率放大集成电路自带散热板，但由于自带的散热板一般较小，因此功率较大的功率放大集成电路在应用时仍应按要求安装散热器。

功率放大集成电路自带的散热板有的与内部电路绝缘，有的与内部电路的接地点连通，有的与内部输出功放管集电极连通，安装散热器时应区别对待。对于自带散热板与内部电路不绝缘的功率放大集成电路，应在集成电路与散热器之间放置耐热绝缘垫片，如图 6-85 所示。

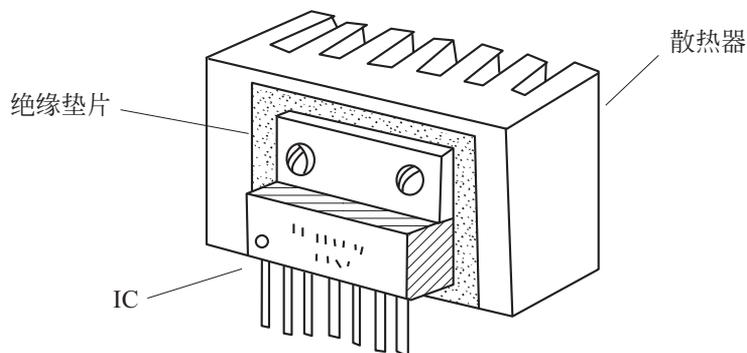


图 6-85 正确安装散热器

(1) 功率放大集成电路的参数

功率放大集成电路的主要参数有电源电压 V_{CC} 、静态电流 I_0 、输出功率 P_0 、电压增益、频响范围和谐波失真 THD 等。

电源电压 V_{CC} 包括最高电源电压和额定电源电压，对于 OTL 功率放大器一般为单电源 ($+V_{CC}$)，对于 OCL 功率放大器一般为双电源 ($\pm V_{CC}$)。最高电源电压是极限参数，使用中不得超过，推荐使用额定电源电压。

静态电流 I_0 一般为 $10\sim 100\text{mA}$ ，与输出功率有关，输出功率大的集成电路通常静态电流也大一些。

输出功率 P_0 是选用功率放大集成电路首先要关注的参数。考虑到音频信号特别是交响乐等信号具有很大的动态范围，选用功率放大集成电路时应留有足够的功率余量。

电压增益一般为数十分贝。选用电压增益较高的功率放大集成电路，可以降低对输入信号电压的要求，简化前置放大电路。

频响范围是指功率放大集成电路的有效工作频率范围，一般为 $50\sim 20000\text{Hz}$ ，指标高的可达 $20\sim 50000\text{Hz}$ 。

谐波失真 THD 是反映功率放大集成电路保真度的参数，谐波失真越小越好。

(2) 功率放大集成电路的工作原理

功率放大集成电路内部通常包含差分输入级、推动级和功放级，如图 6-86 所示。音频

电压信号 U_i 经差分输入级和推动级电压放大器后，再由功放级作功率放大并输出。OTL、OCL 和 BTL 的区别主要是功放级电路形式不同。

OTL 功率放大集成电路功放级如图 6-87 所示，采用 $+V_{CC}$ 单电源供电，静态时 IC 输出端 U_o 具有 $1/2V_{CC}$ 的直流电压，因此必须使用输出电容 C_2 来隔离。OTL 电路的优点是可以使用单电源，缺点是由于输出电容 C_2 的存在，低频响应仍不够好。

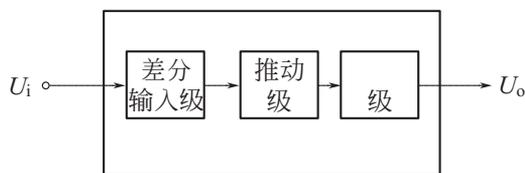


图 6-86 功放集成电路方框图

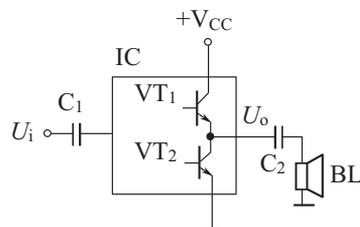


图 6-87 OTL 功放级

OCL 功率放大集成电路功放级如图 6-88 所示，采用 $\pm V_{CC}$ 双电源供电，静态时 IC 输出端 U_o 为“0”电位，因此可以取消输出电容器，直接与扬声器连接。OCL 电路的优点是低频响应好，缺点是必须使用双电源。

BTL 功率放大集成电路功放级如图 6-89 所示，采用了两对功放管组成桥式推挽电路，扬声器跨接在两对功放管之间。BTL 功率放大集成电路虽然为 $+V_{CC}$ 单电源供电，但静态时两对功放管的输出端 U_{o1} 与 U_{o2} 电位相等，因此无需输出电容器，可以直接与扬声器连接。BTL 电路的优点是在较低的电源电压下获得较大的输出功率，缺点是电路较复杂。

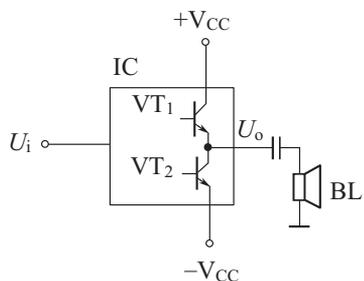


图 6-88 OCL 功放级

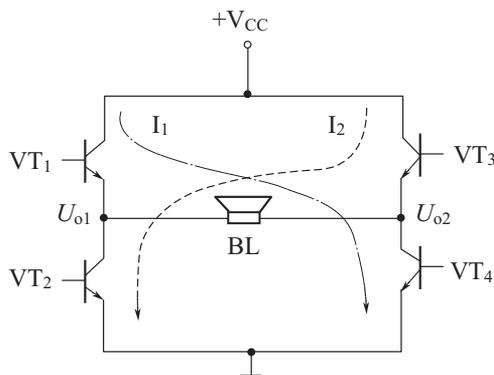


图 6-89 BTL 功放级

(3) 单声道 OTL 功率放大器

如图 6-90 所示为 0.5W 单声道 OTL 功率放大器电路，IC 采用了 OTL 音频功放集成电路 AN7112。AN7112 为单列 9 脚式封装，2 脚为音频信号输入端，6 脚为功率信号输出端，闭环电压增益为 50dB，满功率输出时输入信号 $U_i = 6\text{mV}$ ，采用 $+6\text{V}$ 单电源供电。 C_1 为输入耦合电容， C_9 为输出耦合电容。

如图 6-91 所示为 3.5W 单声道 OTL 功率放大器电路。IC 采用音频功放集成电路 LA4265，其 10 脚为信号输入端，2 脚为功率放大后的信号输出端。输入音频电压信号经 IC 功率放大后，驱动扬声器 BL 发声。 C_5 为输出耦合电容， C_6 、 R_2 组成消振网络。电路电压增益为 50dB，满功率输出时输入信号 $U_i = 17\text{mV}$ ，采用 $+16\text{V}$ 单电源供电。

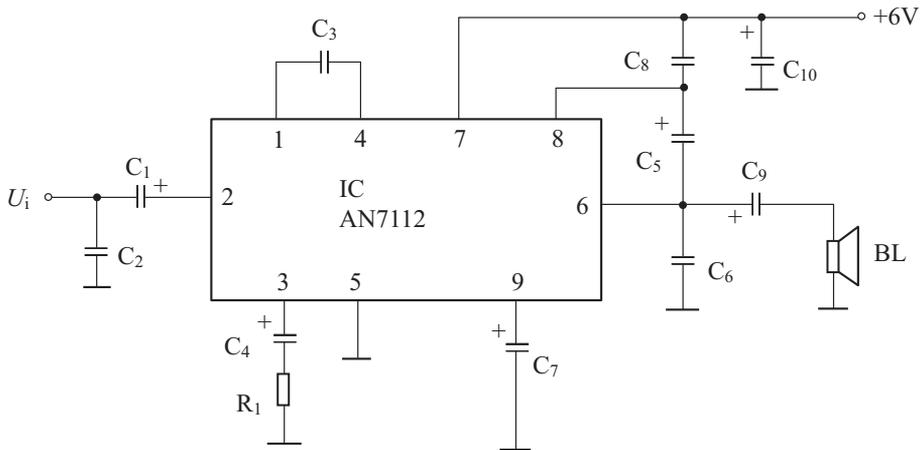


图 6-90 单声道 0.5W 功放电路

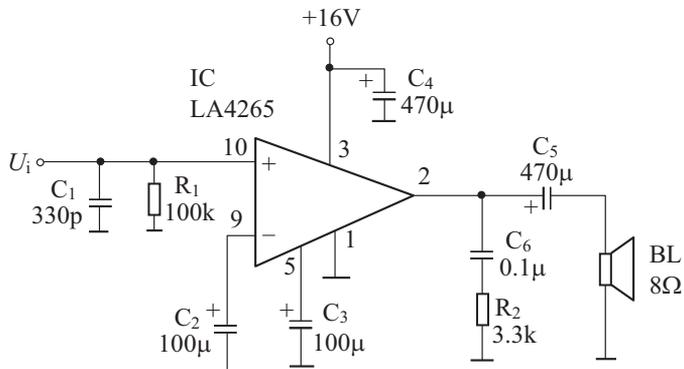


图 6-91 单声道 3.5W 功放电路

如图 6-92 所示为 10W 单声道 OTL 功率放大器电路，由高保真音频功放集成电路 TDA2612 组成。IC 的 16 脚为信号输入端，12 脚为功放输出端。 C_1 为输入耦合电容， C_5 为输出耦合电容， C_4 、 R_4 构成消振网络。电路由 +26V 单电源供电。

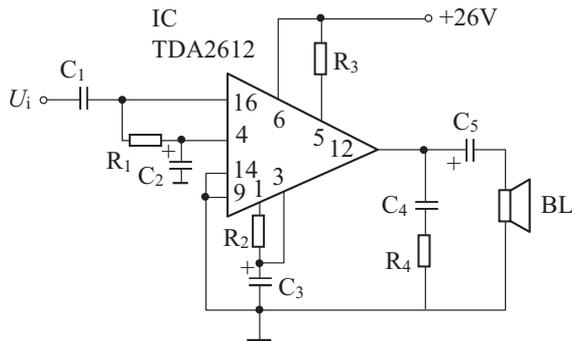


图 6-92 单声道 10W 功放电路

(4) 单声道 OCL 功率放大器

如图 6-93 所示为 7W 单声道 OCL 功率放大器电路。IC 为 OCL 音频功放集成电路

μ PC578C，采用 $\pm 12\text{V}$ 双电源供电，电压增益为45dB。 μ PC578C的12脚为信号输入端，7脚为功放输出端，5脚为正电源端，8脚为负电源端。

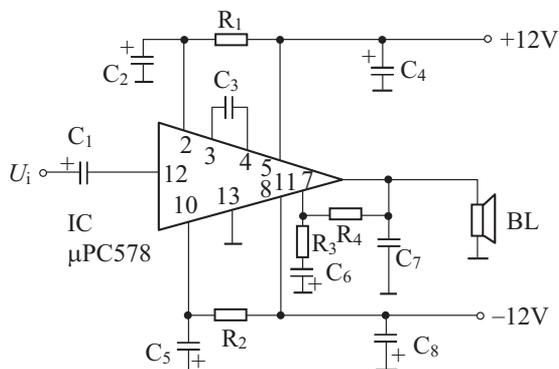


图 6-93 单声道 7W 功放电路

如图 6-94 所示为 12W 单声道 OCL 功率放大器电路。IC 采用音频功放集成电路 TDA2006，闭环电压增益为 30dB，具有短路保护和过热保护功能， $\pm 12\text{V}$ 双电源供电。音频信号从 TDA2006 的 1 脚输入，功率放大后从 4 脚输出。5 脚为正电源端，3 脚为负电源端。

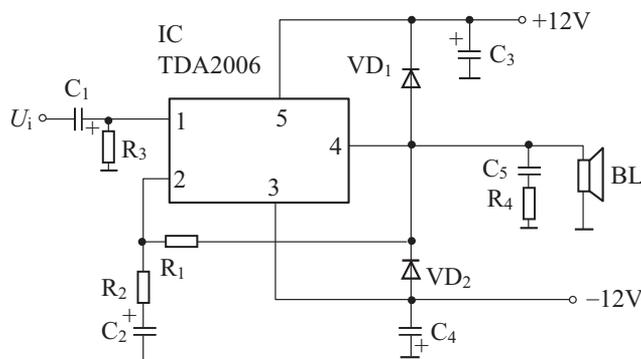


图 6-94 单声道 12W 功放电路

(5) 双声道 OTL 功率放大器

如图 6-95 所示为 $2 \times 1\text{W}$ 双声道 OTL 功率放大器电路。IC 为双音频功放集成电路 LA4180，8 脚和 5 脚分别为左、右声道信号输入端，11 脚和 2 脚分别为左、右声道功放输出端，闭环电压增益为 45dB。 C_7 、 C_8 分别为左、右声道输出耦合电容。工作电源为 $+9\text{V}$ 单电源。

如图 6-96 所示为 $2 \times 8\text{W}$ 双声道 OTL 功率放大器电路。IC 采用双音频功放集成电路 HA1394，3 脚和 4 脚分别为左、右声道信号输入端，12 脚和 7 脚分别为左、右声道功放输出端。 C_1 、 C_3 分别为左、右声道输入耦合电容， C_{10} 、 C_{11} 分别为左、右声道输出耦合电容。电路电压增益为 40dB，采用 $+25\text{V}$ 单电源供电。

(6) 双声道 OCL 功率放大器

如图 6-97 所示为 $2 \times 6\text{W}$ 双声道 OCL 功率放大器电路。IC 采用高保真音频功放集成电路 TDA1521A，采用 $\pm 16\text{V}$ 双电源供电，电压增益为 30dB，通道分离度为 70dB，内部具有静噪、短路和过热保护功能。左、右声道音频信号分别从 TDA1521A 的 1 脚、9 脚输入，功率放大后分别从 4 脚、6 脚输出。7 脚为正电源端，5 脚为负电源端。

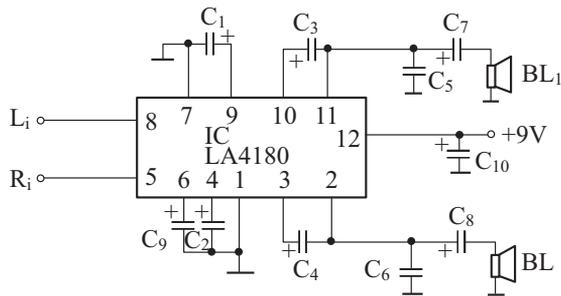


图 6-95 双声道 2×1W 功放电路

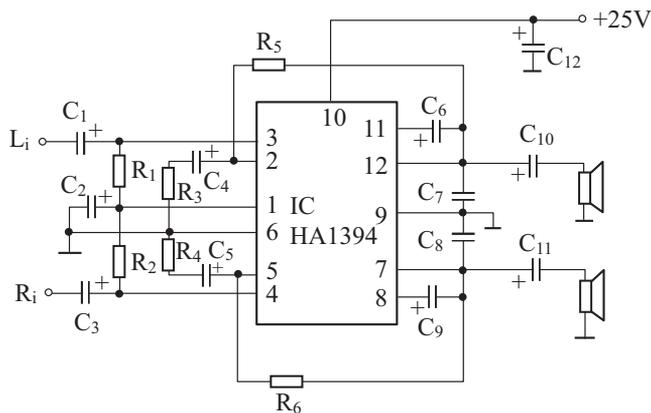


图 6-96 双声道 2×8W 功放电路

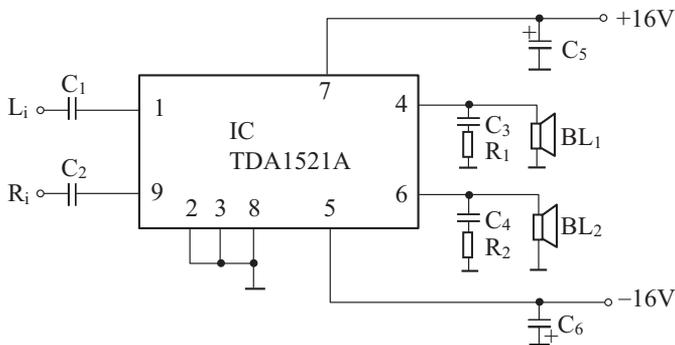


图 6-97 双声道 2×6W 功放电路

如图 6-98 所示为采用双声道高保真音频功放集成电路 LM1876 构成的 2×20W 立体声 OCL 功率放大器电路。LM1876 内含两个完全一样的功率放大器，分别用于左、右声道，最大不失真输出功率为 2×20W，电压增益为 26dB，通道分离度为 80dB，满功率输出时输入信号 $U_i=630\text{mV}$ ，采用对称的正、负双电源供电。左声道信号从 IC 的 8 脚输入，功率放大后从 3 脚输出。右声道信号从 IC 的第 13 脚输入，功率放大后从 1 脚输出。

(7) BTL 功率放大器

如图 6-99 所示为双功放集成电路 TA7232P 构成的 BTL 功率放大器电路。TA7232P 内含的两个功率放大器采用桥式推挽方式驱动扬声器，因此可在较低的电源电压下获得较大的

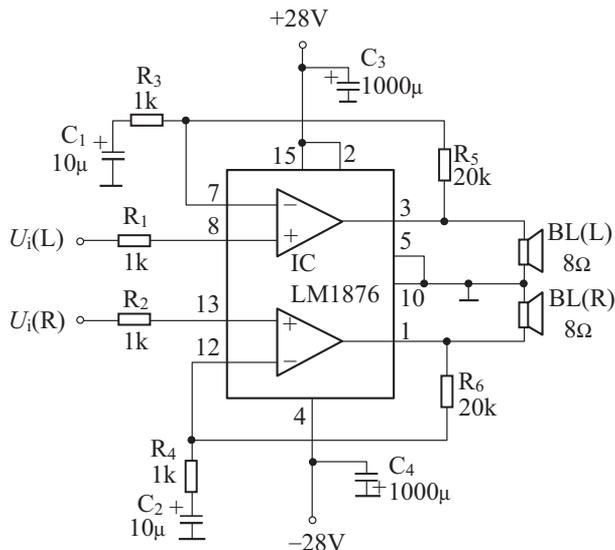


图 6-98 双声道 2×20W 功放电路

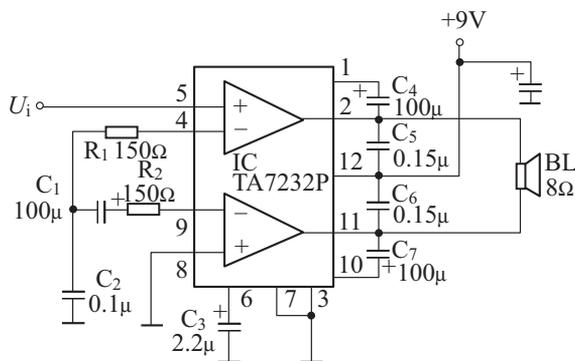


图 6-99 5.5W BTL 功放电路

输出功率。信号电压从 IC 的 5 脚输入，2 脚和 11 脚输出互为反相的功率信号加在扬声器两端。该电路额定输出功率为 5.5W，电压增益为 45dB，满功率输出时输入信号 $U_i = 26\text{mV}$ ，采用 +9V 单电源供电。

如图 6-100 所示为 BTL 音频功率放大器电路，输出功率为 20W，IC 采用 BTL 功放集成电路 HA1384，内含浪涌抑制和过热切断保护电路，扬声器接在两个输出端 12 脚和 7 脚之间。音频信号从 IC 的 3 脚输入，两个输出端 12 脚和 7 脚输出互为反相的功率信号加在扬声器两端。该电路电压增益为 40dB，采用 +12V 单电源供电。

6.5.3 前置放大集成电路

前置放大集成电路的主要功能是将收音调谐器、磁头、话筒、激光头等信号源提供的微弱的音频信号进行电压放大，并输出一定电平的音频信号至功率放大器后续电路，起着承前启后的作用，如图 6-101 所示。由于前置放大集成电路位于整个音频通道的最前端，因此其性能好差对整机性能有着决定性的影响。

前置放大集成电路品种很多，除了通用型外，还有许多专用型前置放大集成电路。选用前置放大集成电路时，应根据整机电路需要，选择输入阻抗、电压增益、噪声系数、谐波失

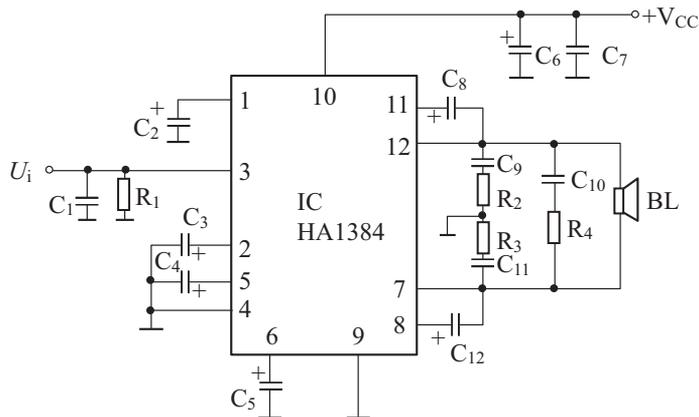


图 6-100 20WBTL 功放电路

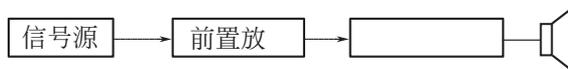


图 6-101 前置放大集成电路的功能

真、频率响应和动态范围等性能指标符合要求的产品。

前置放大集成电路的主要作用是电压放大。通用型前置放大集成电路可以用在各种低电平小信号放大电路中，具有工作电压范围宽、噪声低、频响宽、动态范围大和适用范围广的特点，应用很普遍。

专用型前置放大集成电路是专为某些特定电路设计的。例如，带 ALC 的前置放大集成电路适用于录音放大器，带 KIAA 频率均衡的前置放大集成电路适用于唱头放大器，带 NAB 频率均衡的前置放大集成电路适用于磁头放大器。

(1) 前置放大集成电路的参数

前置放大集成电路的主要参数有电源电压 V_{CC} 、工作电流 I_{CC} 、电压增益、频响范围、输入阻抗 Z_i 、输出电压 U_o 、等效输入噪声 N_i 和谐波失真 THD 等。

电源电压 V_{CC} 是指前置放大集成电路正常工作所需的直流工作电压。工作电流 I_{CC} 是指前置放大集成电路正常工作时的直流工作电流。

电压增益是衡量前置放大集成电路放大能力的参数。前置放大集成电路的开环电压增益一般在 60dB 左右，有的可达 100dB 以上。

频响范围是衡量前置放大集成电路有效工作频率范围的参数。一般前置放大集成电路 -3dB 时的频响范围为 50~20000Hz。

前置放大集成电路的输入阻抗 Z_i 一般为 50~100k Ω ，输出电压 U_o 一般在 1~10V。

等效输入噪声 N_i 是反映前置放大集成电路噪声系数的参数。前置放大集成电路的等效输入噪声一般在 1 μ V 左右，越小越好。

谐波失真 THD 是衡量前置放大集成电路保真度的参数。前置放大集成电路的谐波失真一般在 0.1% 以下，好的可达 0.05% 以下。

(2) 单声道电压放大器

如图 6-102 所示为采用集成电路 HA1406 构成的低噪声音频前置放大器电路，输入信号通过耦合电容 C_1 从 3 脚输入集成电路 IC，进行电压放大后从 7 脚输出。 R_2 、 R_3 、 C_4 组成反馈网络。该电路电压增益为 53.5dB，最大输出电压为 0.7V。

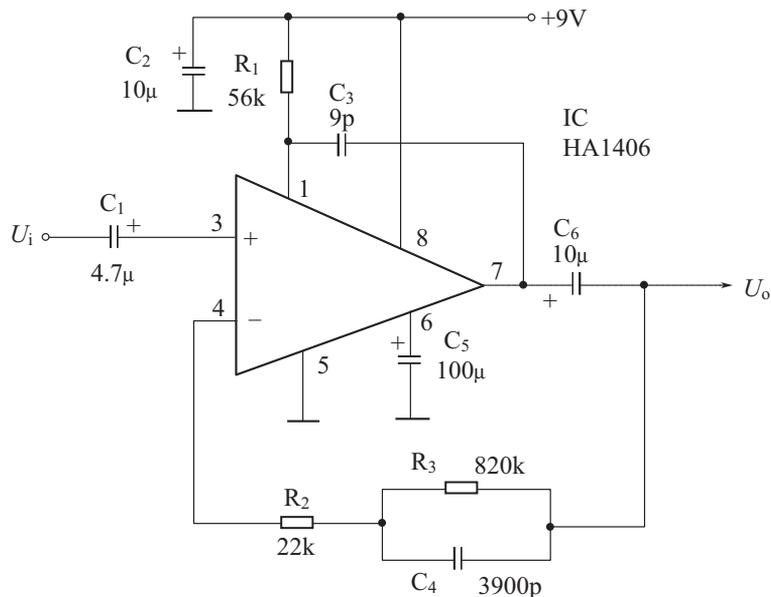


图 6-102 低噪声前置放大器电路

如图 6-103 所示为单声道磁头放大器电路，IC 为音频前置放大集成电路 BA308，内部包含 3 级直接耦合放大和射极输出器，负载能力强。磁头信号经 C_1 耦合至 IC 输入端 2 脚，放大后由 6 脚输出。 R_4 、 R_5 和 C_5 组成磁头频率均衡网络。该电路电压增益为 35dB，最大输出电压为 0.9V。

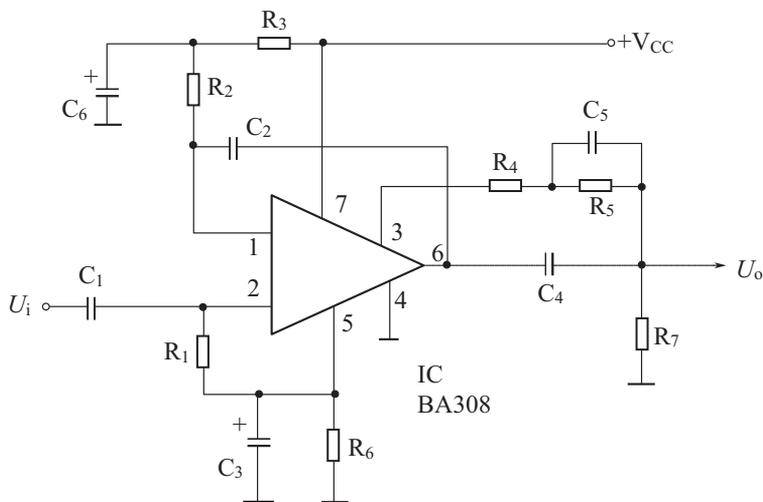


图 6-103 单声道磁头放大器电路

(3) 双声道电压放大器

如图 6-104 所示为双声道（立体声）音频前置放大器电路，集成电路 IC 为 LA3161，其内含两个完全一样的、互相独立的音频放大器，分别用于左、右声道电压放大。1 脚、8 脚分别为左、右声道的输入端，3、6 脚分别为左、右声道的输出端。 R_2 、 R_3 、 C_6 和 R_6 、 R_7 、 C_{10} 分别组成左、右声道的反馈网络。每声道电压增益为 35dB，最大输出电压为 1.3V，通道分离度 65dB。

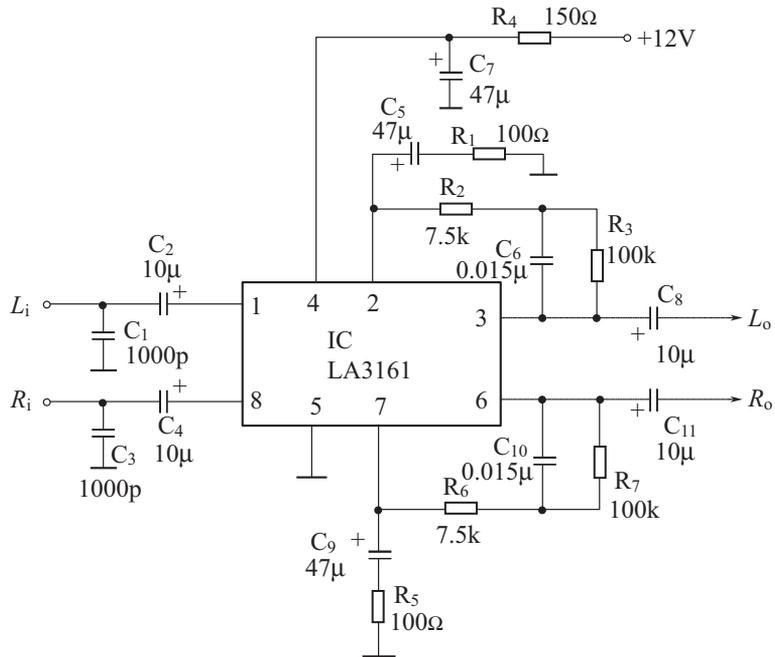


图 6-104 双声道前置放大器电路

如图 6-105 所示为立体声磁头放大器电路，IC 为双声道音频前置放大集成电路 TA7709，具有开环电压增益高、可低电压工作的特点。1 脚和 8 脚分别为左、右声道磁头输入端，15 脚和 10 脚分别为左、右声道信号输出端。R₃、R₅、C₅ 和 R₄、R₆、C₆ 分别组成左、右声道磁头频率均衡网络。

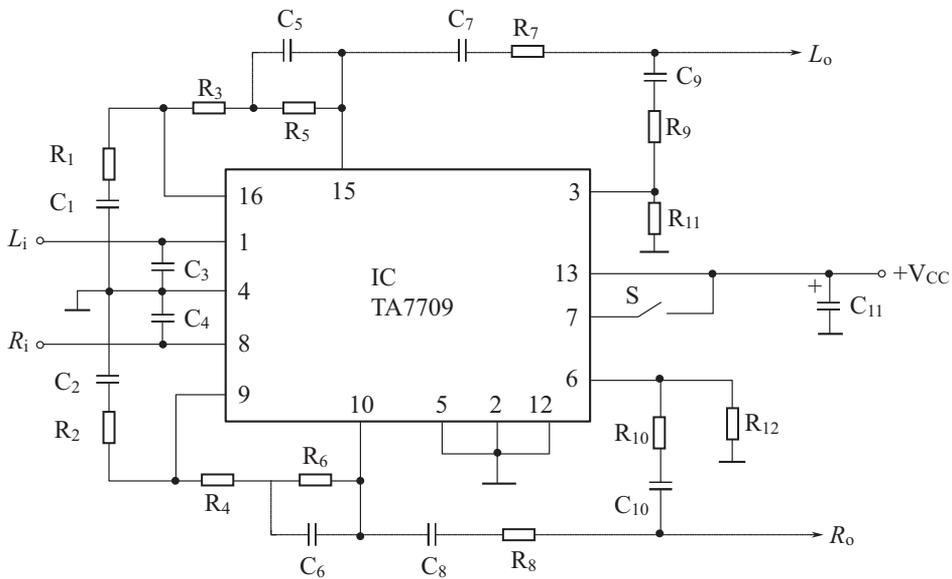


图 6-105 双声道磁头放大器电路

(4) 带 ALC 的前置放大器

如图 6-106 所示为带 ALC 的单声道前置放大器电路，IC 为低噪声音频前置放大集成电

路 LA3210，内部具有自动电平控制电路（ALC），控制范围较大。2脚为输入端，8脚为输出端。闭环电压增益为 35dB，最大输出电压为 1V。

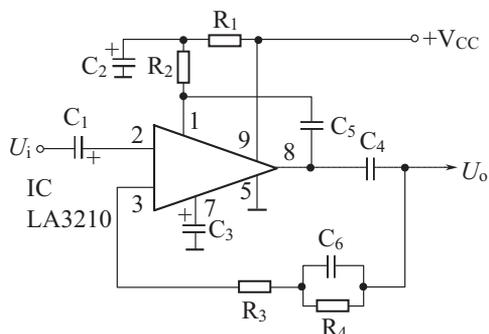


图 6-106 带 ALC 的前置放大器电路

(5) 录音放大器

如图 6-107 所示为立体声录音放大器电路，IC 为双声道录音前置放大集成电路 M5130，内部包括两个独立的录音放大电路、自动电平控制电路（ALC）和电平表驱动电路，ALC 电路失真小，电压增益为 50dB，最大输出电压为 2V。14 脚和 3 脚分别为左、右声道输入端，11 脚和 6 脚分别为左、右声道录音信号输出端。

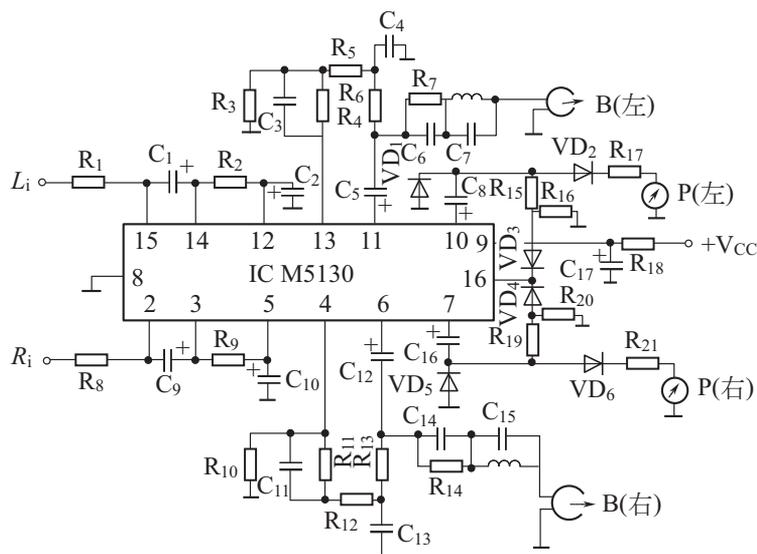


图 6-107 录音放大器电路

如图 6-108 所示为采用 AN262 构成的单声道录放前置放大器电路，包含了录放音放大和 ALC 控制电路，加上功率放大器即可组成完整的录音机电路。电路电压增益为 53dB，最大输出电压为 3.2V。16 脚为话筒或磁头信号输入端，9 脚为录音信号输出端，10 脚为线路信号输出端。

如图 6-109 所示为耳机磁带立体声放音机电路，IC 采用单片双声道磁带放音集成电路 HA12052，内部包括两路前置放大器和耳机放大器，还具有静噪电路和自动停带控制电路，功能齐全，外围元件少，电路性能好。9 脚和 10 脚分别为左、右声道磁头信号输入端，1 脚和 17 脚分别为左、右声道耳机放大器输出端。

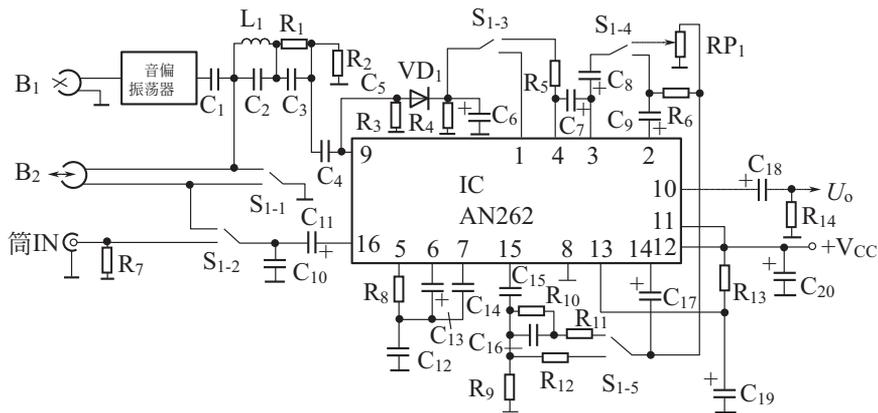


图 6-108 录放前置电路

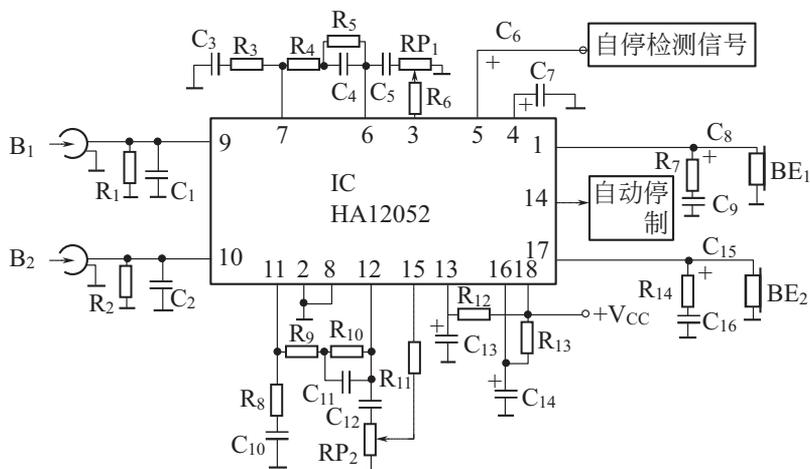


图 6-109 收音机电路

如图 6-110 所示为采用单片磁带录放音集成电路 μPC1350 构成的录放音机电路。 μPC1350 是完整的录放音机电路，内部包括前置放大、自动电平控制 (ALC)、功率放大、直流消音和录音偏置电压输出电路等，只需少量外围元器件即可组成录放音机整机电路。前置放大电路电压增益为 31dB，功率放大电路电压增益为 46dB，输出功率为 450mW。

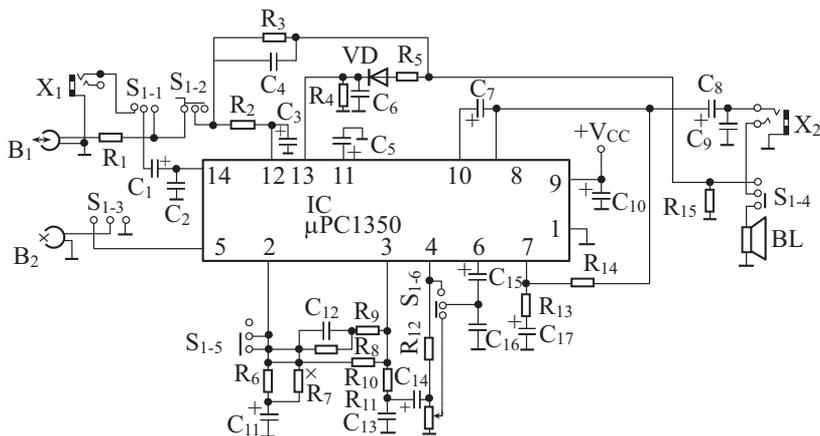


图 6-110 录放音机电路

μ PC1350 为 14 脚双列直插式封装，自带散热板，各引脚功能见表 6-12。

表 6-12 μ PC1350 的引脚功能

引脚号	功能
1	地
2	前置级反馈
3	前置级输出
4	ALC 输出
5	消音头偏置
6	功放级输入
7	功放级反馈
8	功放级输出
9	正电源
10	自举
11	滤波输出
12	录放头偏置
13	ALC 输入
14	前置级输入

6.5.4 高中频集成电路

高中频集成电路主要是指工作于高频和中频范围的集成电路，种类很多，主要分为调幅集成电路和调频集成电路两大类。

调幅集成电路主要有调幅调谐电路，调幅变频电路，调幅中放电路，调幅变频、中放和检波电路，单片调幅收音机电路等。

调频集成电路主要有调频调谐电路，调频高频电路，调频中放电路，调频中放和鉴频电路，单片调频收音机电路等。

还有一些集成电路内部同时包含调幅和调频电路功能，例如，调幅调频中放电路，调幅变频和调幅调频中放电路，调幅调谐和调频中放电路，调幅调频调谐器电路，单片调幅调频收音机电路等。

(1) 高中频集成电路的功能

高频集成电路的作用是接受和处理高频信号。高频集成电路一般包括高放、本振、混频或变频等电路，集成电路外围电路中具有调谐回路和调谐元件，用以完成高频调谐功能，如图 6-111 所示。

有些集成电路将高频电路和中频电路集成到一起，可以完成从天线输入到解调输出之间的全部功能。甚至将整个收音机电路集成到一起，构成单片收音机集成电路。

中频放大集成电路的功能是对中频信号进行放大。中频放大电路属于选频放大器，集成电路外围电路中有谐振回路或晶体滤波器等选频元件，它们谐振于中频频率，如图 6-112 所

示。调频电路和调幅电路具有不同的中频频率。

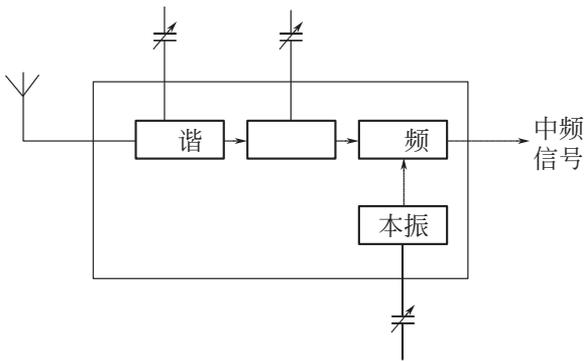


图 6-111 高频集成电路

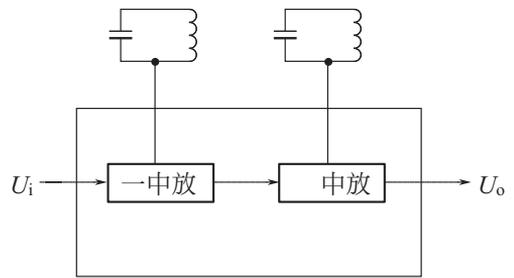


图 6-112 中频集成电路

(2) 调频高频电路

如图 6-113 所示为采用 TA7371F 构成的调频高放混频电路。TA7371F 内部包含高频放大、本机振荡、混频等单元电路，适用于调频收音机的高频头。调频电台信号由天线接收，通过带通滤波器从 IC 的 1 脚输入，经放大、混频得到中频信号，从 6 脚经过中频变压器 T_1 输出。可变电容器 C_{1a} 与 L_1 、 C_{1b} 与 L_2 分别构成高放电路和本振电路的调谐回路，调节可变电容器 C_1 即可进行选台。 T_1 为中频变压器。

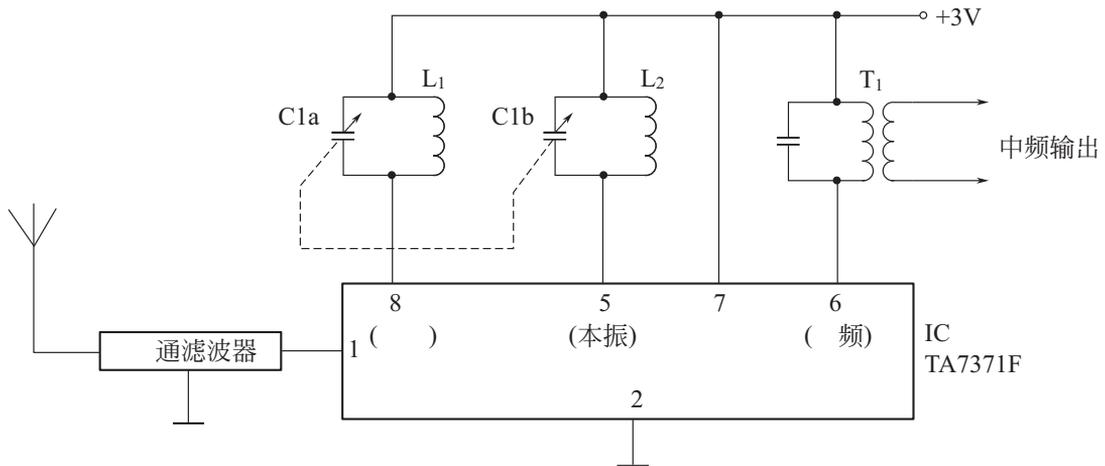


图 6-113 调频高放混频电路

如图 6-114 所示为采用 LA1185 构成的调频高频头电路。LA1185 内含高频放大、双平衡混频、本机振荡和缓冲放大等单元电路，具有大信号输入特性好的特点。LA1185 的 1 脚为高频信号输入端，3 脚外接高放调谐回路，8 脚外接本机振荡回路，混频得到的中频信号由 6 脚通过中频变压器 T_1 输出。高频信号输入端的带通滤波器，用于滤除调频波段以外的杂散信号。

(3) 调频调谐电路

如图 6-115 所示为调频收音机调谐电路，IC 采用 AN7254，内部包括调频混频、缓冲放大、本机振荡、中频放大和自动音量控制 (AGC) 等电路，具有噪声低、外围元件少的特点。AN7254 为单列 9 脚封装，2 脚为高频信号输入端，9 脚为中放信号输出端，1 脚外接混

频谐振回路，6脚外接本振谐振回路。

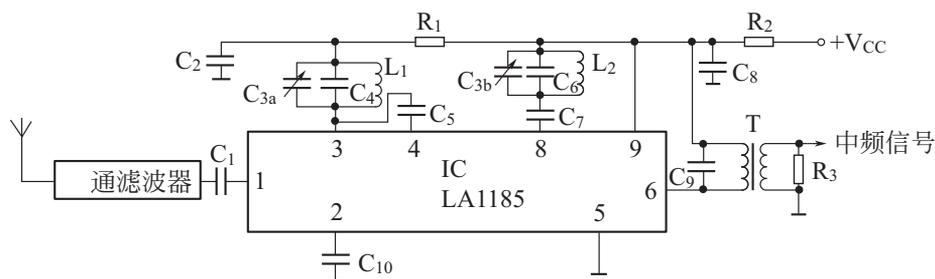


图 6-114 调频高频头电路

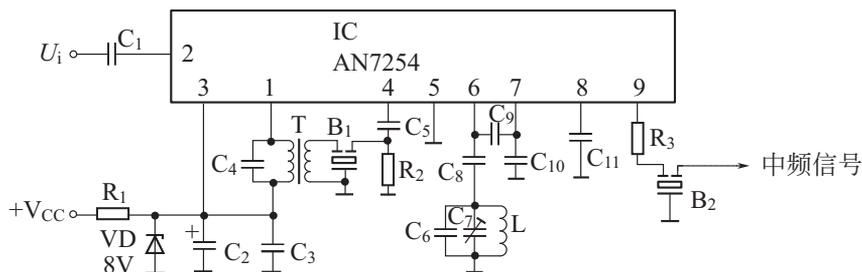


图 6-115 调频调谐电路

(4) 调频中放电路

如图 6-116 所示为调频中频放大电路，TA7130P 是调频中放集成电路，内部包含三级中频放大器和峰值检波器，适用于调频收音机和电视机。中频信号通过晶体滤波器 B_1 进入 IC 的输入端 1 脚，经放大、检波后，音频信号从 7 脚输出。 B_1 为输入端滤波器， L_1 、 C_2 组成谐振回路，它们均谐振于 10.7MHz 中频频率。

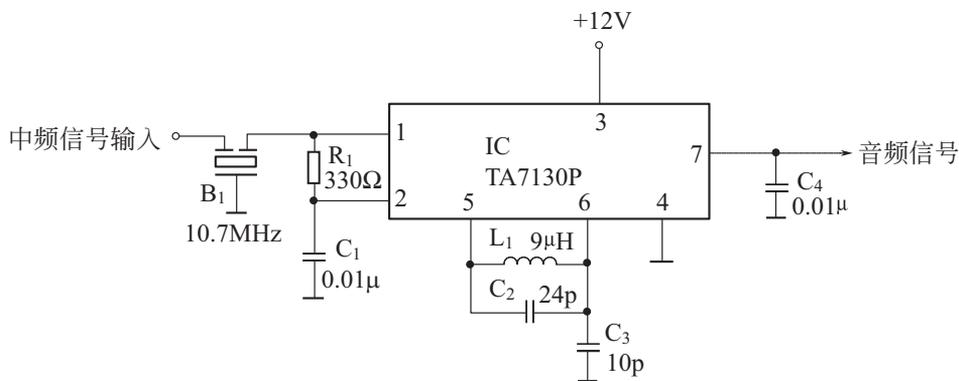


图 6-116 调频中放电路

如图 6-117 所示为电调谐收音机调频中放电路。IC 为电调谐调频中放集成电路 LM1865，内部包含偏差和信号电平电路，采用陶瓷滤波器构成中频谐振回路。调谐器输出的中频信号经陶瓷滤波器从 1 脚输入 LM1865，音频信号自 15 脚输出，8 脚可连接电平表。

(5) 调幅调谐电路

如图 6-118 所示为采用 HA1151 构成的调幅调谐电路。HA1151 内部包含高放、本振、

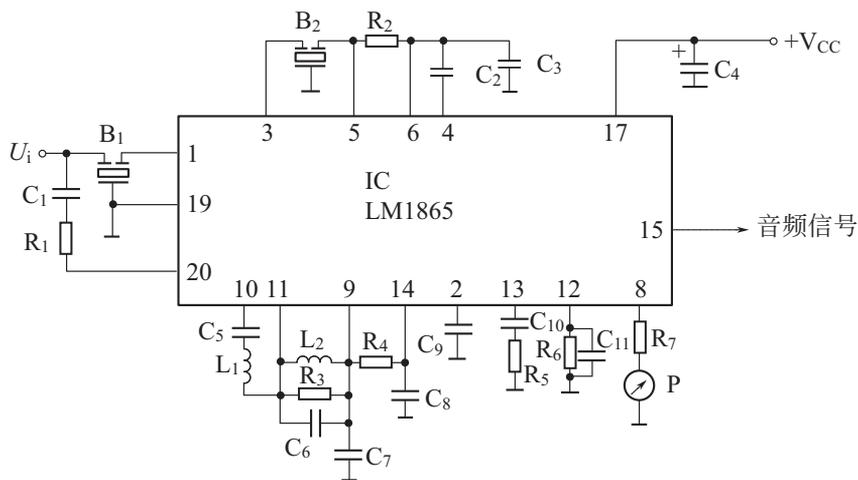


图 6-117 电调谐收音机中放电路

混频以及中放、检波和 AGC 等单元电路，适用于调幅收音机。调幅电台信号由磁性天线 L_1 接收，耦合至 L_2 通过 C_2 从 IC 的 1 脚输入，经放大、混频、中放、检波后，音频信号从 11 脚输出。可变电容器 C_{1a} 与 L_1 、 C_{1b} 与 L_3 分别构成高放电路和本振电路的调谐回路，调节可变电容器 C_1 即可进行选台。 T_1 、 T_2 、 T_3 为中频变压器。

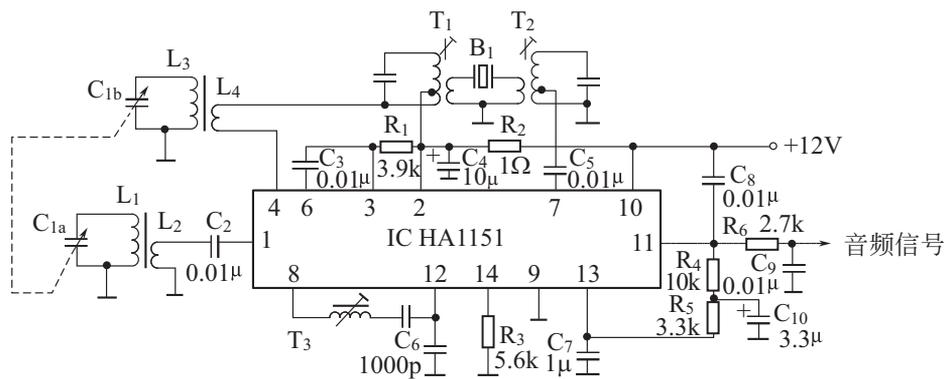


图 6-118 调幅调谐电路

如图 6-119 所示为调幅收音机调谐电路，IC 采用专用集成电路 TA7616，内部包括从高频、混频到中放、检波的全部电路，信噪比为 53dB，音频输出电压为 85mV。15 脚为天线信号输入端，3 脚为音频信号输出端。该电路采用调感式调谐回路，通过调节可变电感器 L_2 进行选台。

(6) 调幅/调频中放电路

如图 6-120 所示为采用 BA4220 构成的调幅/调频中频放大电路，BA4220 是调幅/调频中放集成电路，内部包括调幅和调频的两套中频放大器和检波器，适用于 FM/AM 收音机等音响设备。调幅中频信号从 IC₁ 的 16 脚输入，经放大、检波后，音频信号从 12 脚输出。 T_2 为调幅中频谐振回路，谐振于 465kHz。调频中频信号从 IC₁ 的 1 脚输入，经放大、检波后，音频信号从 9 脚输出。 B_1 、 T_1 为调频中频谐振回路，谐振于 10.7MHz。 S_1 、 S_2 为调幅/调频选择开关。

如图 6-121 所示为采用 AN7222 的调幅/调频中频放大电路。AN7222 是高性能多功能

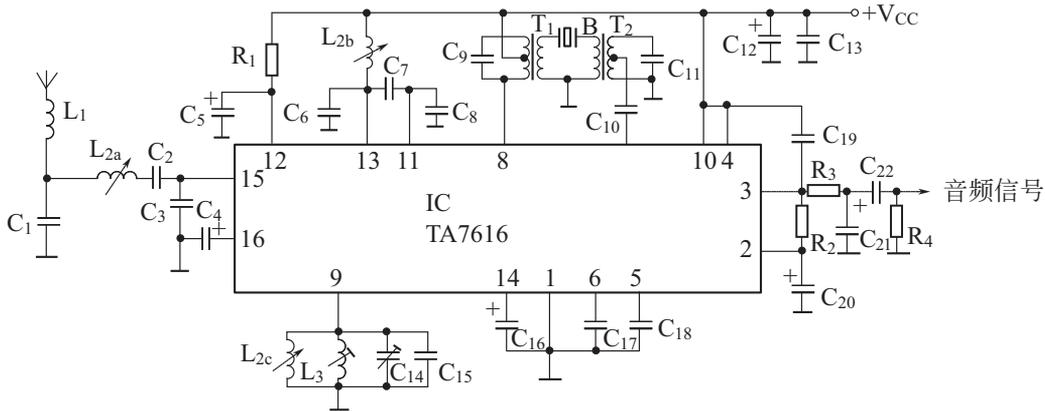


图 6-119 调幅收音机调谐电路

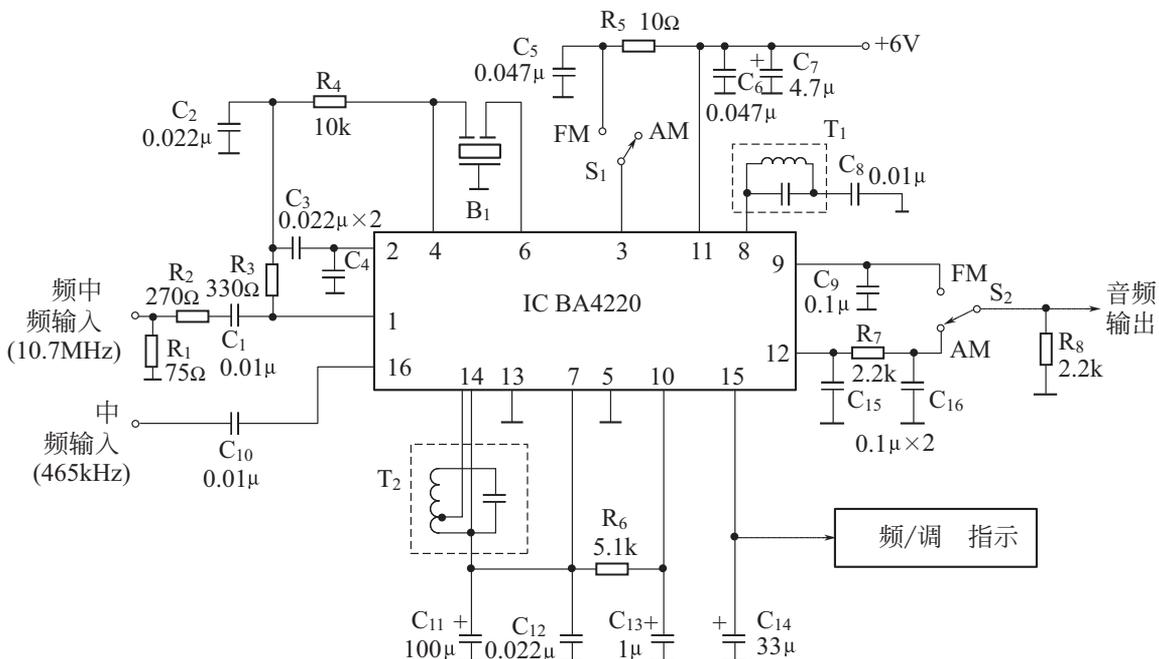


图 6-120 调幅/调频中放电路（一）

调幅/调频中放集成电路，内部带有调幅高频放大器，所以灵敏度较高。还具有自动频率控制（AFC）和电平表驱动电路。调频信号从 IC 的 7 脚输入，调幅信号从 IC 的 2 脚输入，音频信号从 13 脚输出。S₁ 为调幅/调频选择开关。

如图 6-122 所示为 LA1205 构成的调幅/调频中放电路。LA1205 具有调幅混频、振荡、中放、自动音量控制（AGC），以及调频中放、自动电平控制（ALC）和调谐指示等功能，具有工作电压范围宽（2.5~9V）、动态范围大（调谐指示电压为 0~14V）、信噪比高的特点。LA1205 为 16 脚双列直插式封装，16 脚为调幅天线信号输入端，1 脚外接调幅本机振荡回路，2 脚为调频中频信号输入端，7 脚为调幅/调频中频信号输出端，14 脚为调谐指示输出端。S₁ 为调幅/调频选择开关。

（7）单片收音机电路

如图 6-123 所示为采用 TA7641 构成的单片调幅收音机电路。TA7641 内部包括了从变

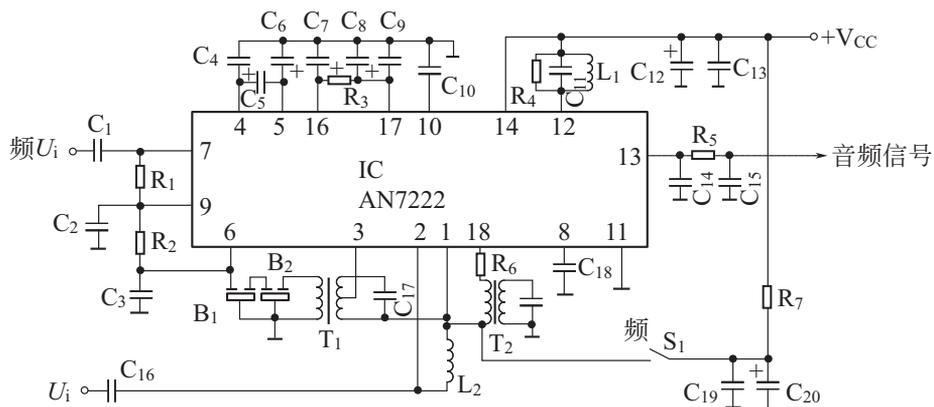


图 6-121 调幅/调频中放电路 (二)

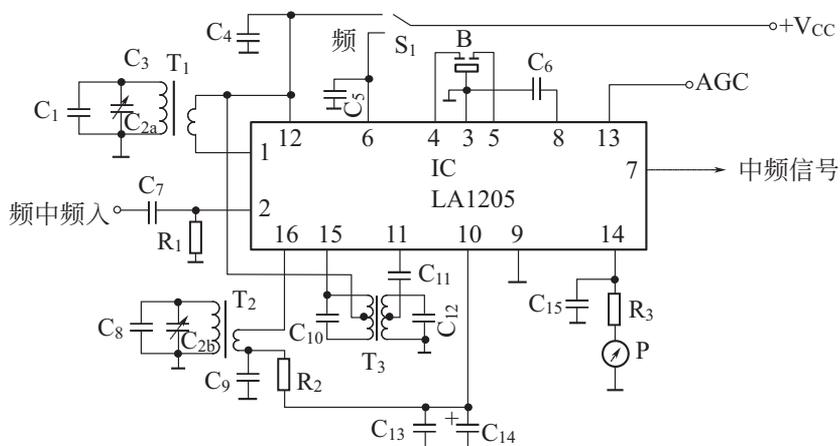


图 6-122 调幅/调频中放电路 (三)

频一直到功放的全部功能电路, 用其构成收音机具有电路简单、可靠性好、功耗小和效率高的特点。TA7641 为 16 脚双列直插式封装, 电源电压为 3V, 输出功率为 100mW。

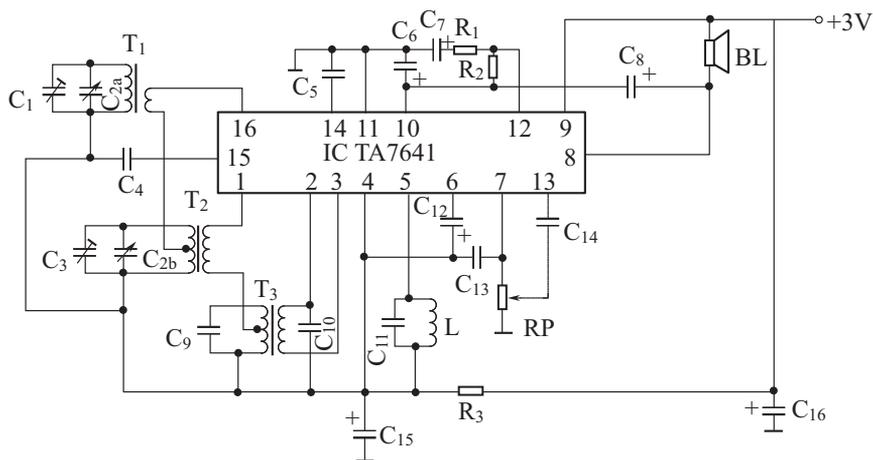


图 6-123 单片调幅收音机电路

如图 6-124 所示为 TEA5591 构成的单片调幅/调频收音机电路。TEA5591 内部电路中，调幅部分包括平衡式混频器、单端振荡器、中频放大器、检波器和自动音量控制（AGC）电路等，调频部分包括高频放大器、平衡式混频器、单端振荡器、两级中频放大器、鉴频器和自动频率控制（AFC）电路等，还具有内稳压电路和保护电路。TEA5591 为 20 脚双列直插式封装，1 脚为调频信号输入端，13 脚为调幅信号输入端，10 脚为音频信号输出端。S₁ 为调幅/调频选择开关。

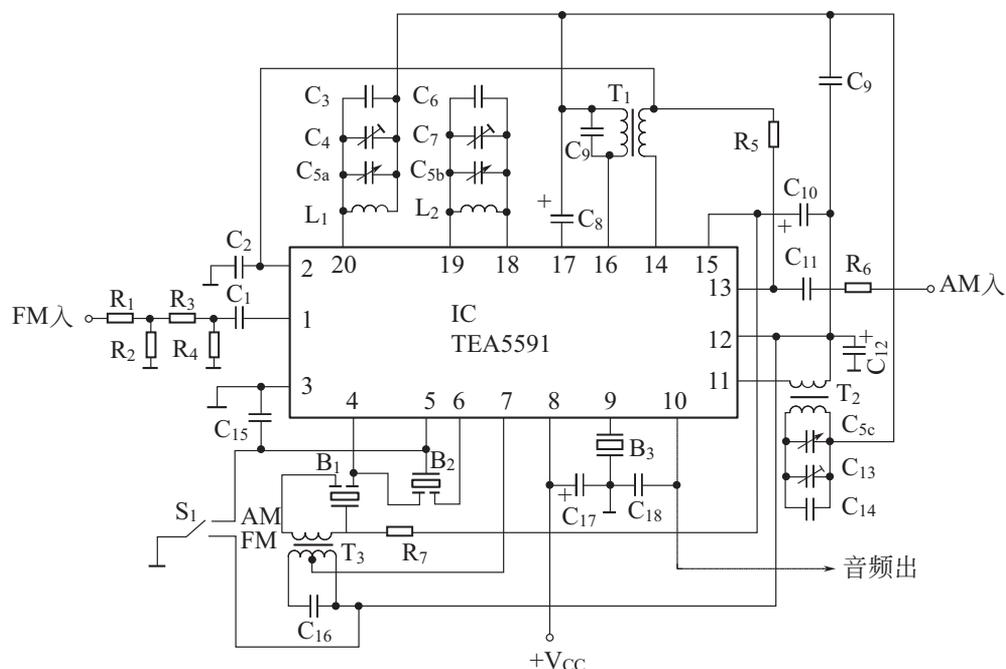


图 6-124 单片调幅/调频收音机电路

6.5.5 解码与控制集成电路

音响电路中的解码与控制集成电路主要有立体声解码电路，频率均衡电路，音量、音调、平衡电路，环绕声处理电路、噪声抑制电路和电平指示电路等。

(1) 立体声解码电路

立体声解码集成电路的作用是解码还原出立体声信号。由于立体声广播基本上都是调频广播，因此立体声解码电路主要是指调频立体声解码电路。

如图 6-125 所示为 LA3361 构成的调频立体声解码电路，LA3361 是锁相环调频立体声解码集成电路，内部包括压控振荡器、分频器、相位比较器、解码器以及静噪电路和指示灯驱动电路等。

立体声复合信号通过 C₁ 从 2 脚输入，经 IC 内部电路解码后，从 4 脚和 5 脚分别输出左、右声道的音频信号。VD₁ 为立体声指示发光二极管，当接收到立体声广播信号时 VD₁ 亮。

(2) 频率均衡电路

频率均衡集成电路的作用是对音频信号进行均衡控制。其外围电路往往具有多个电位器，分别用于多个频率点的控制调节。

如图 6-126 所示为采用 M5227P 构成的五段图示式频率均衡电路，如使用两块 M5227P 可组成立体声均衡器。

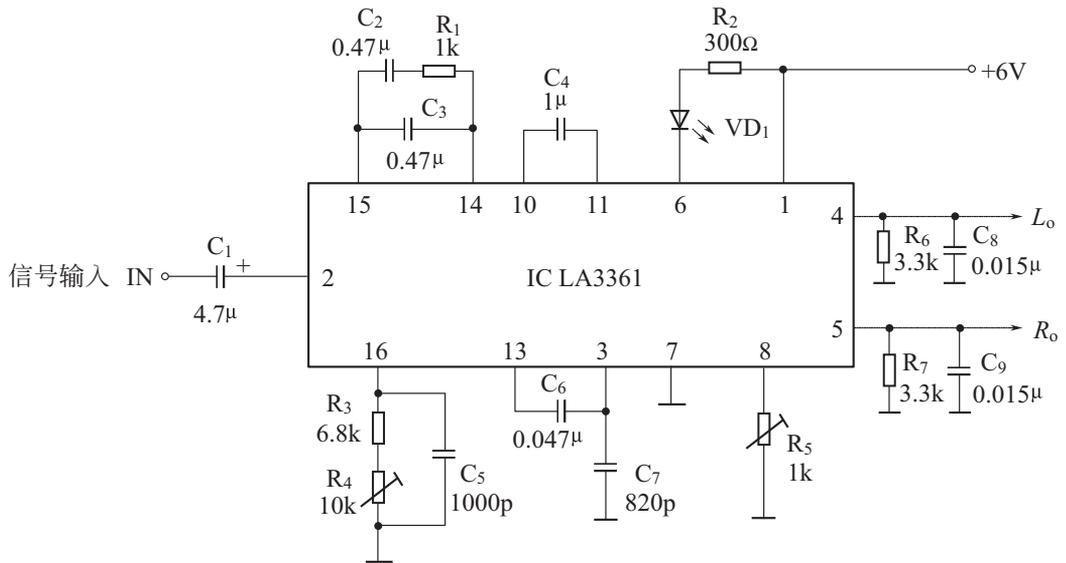


图 6-125 调频立体声解码电路

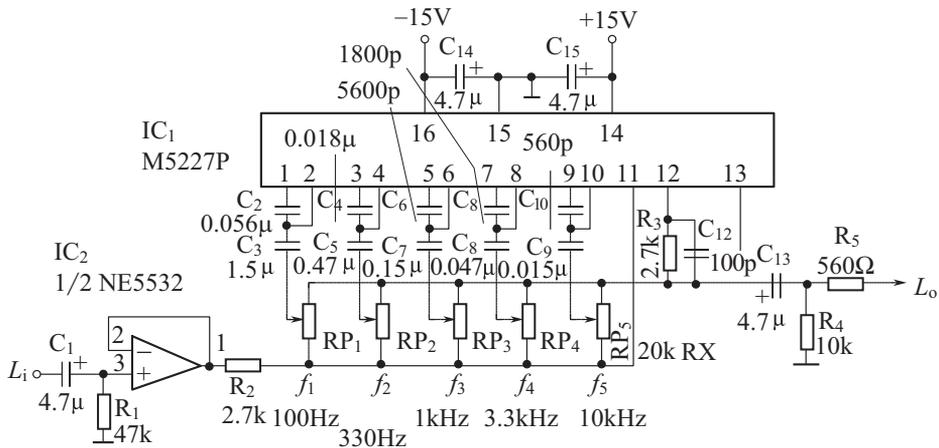


图 6-126 图示式频率均衡电路

M5227P (IC₁) 内部包括 5 个通道的均衡放大器，可以分别通过外接阻容元件设定其谐振频率并改变放大量。电容 C₂~C₁₁ 决定各频率点频率，改变其容量，可改变均衡频率。电位器 RP₁~RP₅ 可调节各频率点的增益。本电路设计均衡频率为 $f_1 = 100\text{Hz}$ ， $f_2 = 330\text{Hz}$ ， $f_3 = 1\text{kHz}$ ， $f_4 = 3.3\text{kHz}$ ， $f_5 = 10\text{kHz}$ ，各频率点控制范围为 $\pm 12\text{dB}$ ，最大输出电压为 9.5V。IC₂ 为电压跟随器，起隔离缓冲作用。

(3) 音量、音调与平衡控制电路

音量、音调与平衡集成电路的作用是对音频信号进行音量、音调和左、右声道的平衡控制。通过该集成电路可以实现用直流电压进行音量、音调与平衡的控制，使得整机结构布局简单方便。

如图 6-127 所示为采用 LM1035 组成的直流控制音量、音调、平衡电路，通过改变 LM1035 四个控制输入端 4 脚、14 脚、9 脚和 12 脚的直流电压来控制高音、低音、平衡、音量功能，只需使用单连电位器就可实现两个声道的同步控制。由于电位器仅控制直流电

位，即使引线较长，不用屏蔽线也不致引入噪声。

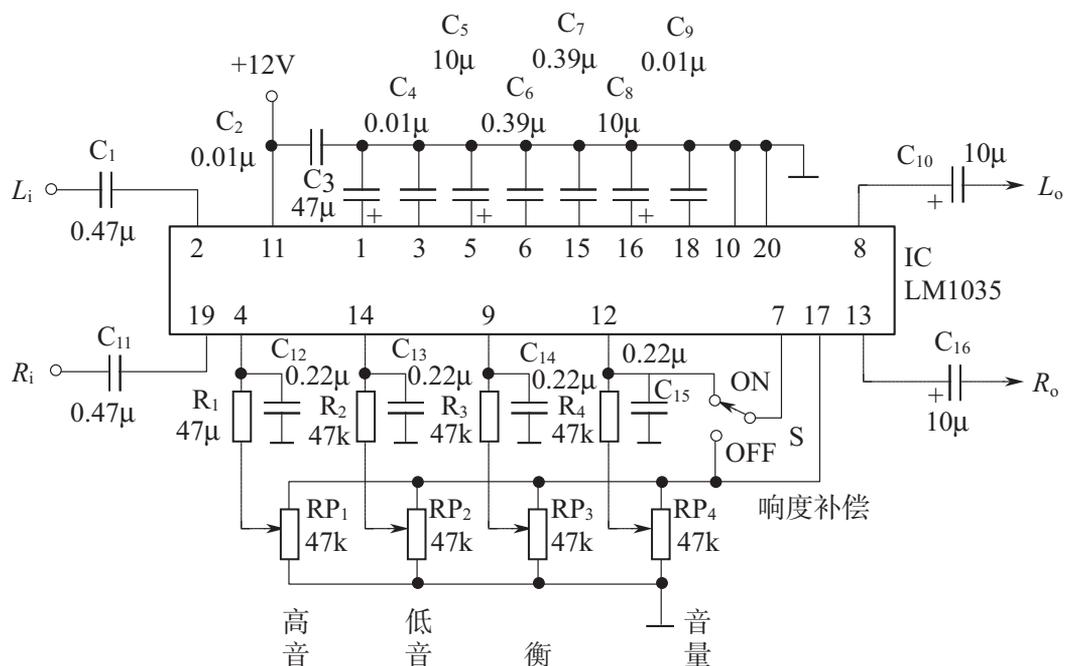


图 6-127 音量、音调与平衡控制电路

C_4 、 C_6 、 C_7 、 C_9 为音调电容，决定音调频率特性。 S 为响度补偿开关，当 S 指向“ON”时，电路具有等响度补偿功能。该电路高音控制范围（16kHz）为 ± 15 dB，低音控制范围（40Hz）为 ± 15 dB，平衡控制范围为 $-26 \sim 1$ dB，音量控制范围为80dB，通道分离度为75dB。IC的2脚和19脚分别为左、右声道输入端，8脚和13脚分别为左、右声道输出端。

(4) 环绕声处理电路

环绕声处理集成电路的作用是对音频信号进行声音效果处理，可产生模拟环绕声效果。

如图 6-128 所示为采用专用声效处理集成电路 C1891A 构成的环绕声处理电路，它可将普通的立体声信号处理成新的左声道、右声道和环绕音三路输出信号，对于单声道信号，可产生模拟立体声效果。

S 为效果选择开关，该电路可以选择4种音色效果，即模拟立体声、电影院效果、音乐厅效果、原音。 RP_1 为效果调节电位器，调节 RP_1 ，可以改变模拟效果。C1891A具有2个输入端：8脚为左声道输入端，9脚为右声道输入端。具有3个输出端：3脚为左声道输出端，2脚为右声道输出端，20脚为环绕音输出端。

(5) 噪声抑制电路

噪声抑制集成电路的作用是降低或抑制音响电路中的某些噪声，包括噪声抑制电路、动态降噪电路和杜比降噪电路等。

如图 6-129 所示为采用 LA2100 构成的调频噪声抑制电路。LA2100 为调频噪声抑制专用集成电路，内部电路由高通和低通滤波器、高通和低通放大器、振荡器、噪声检波器、导频同步电路、19kHz 滤波器、存储器和输出电路等组成，1脚为信号输入端，6脚为信号输出端。该电路能够有效抑制输入噪声，并能根据噪声大小自动调节选通时间，噪声抑制效果良好。

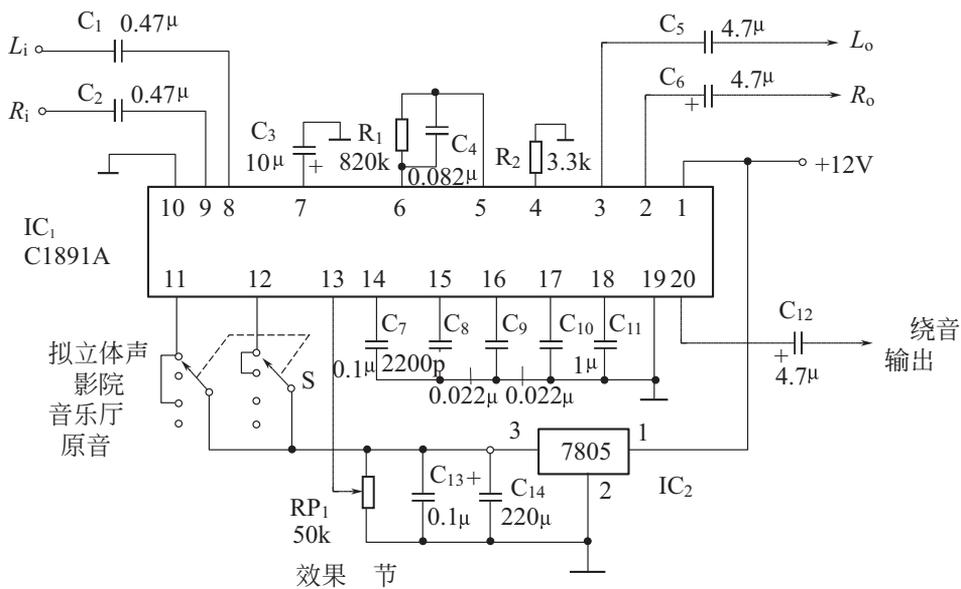


图 6-128 环绕声处理电路

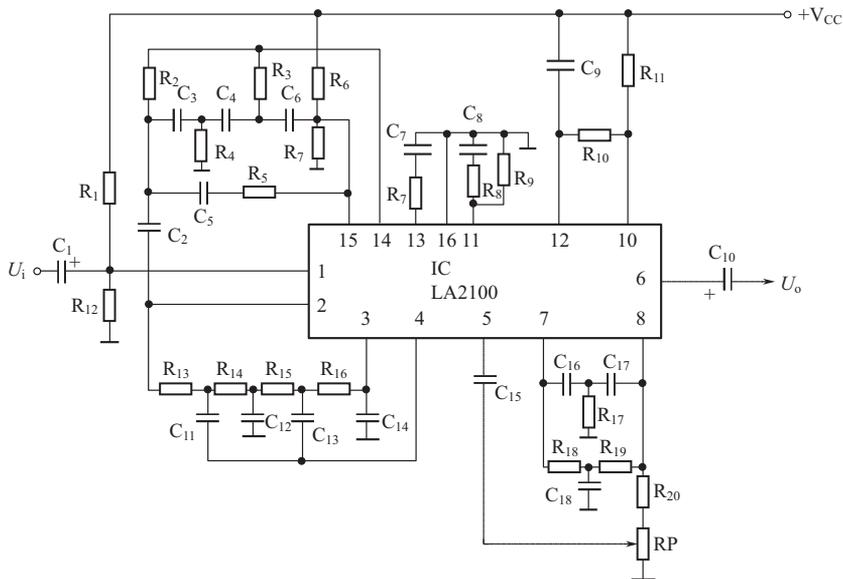


图 6-129 调频噪声抑制电路

如图 6-130 所示为采用 LM1894 构成的音频动态降噪电路。LM1894 为非互补型立体声动态降噪集成电路，无需事先对音频信号进行预处理，它采用音质掩蔽和自适应带宽技术，可以得到 10dB 的降噪效果，广泛应用在各种高保真磁带放音机和收录机中。LM1894 为 14 脚双列直插式封装，13 脚和 2 脚分别为左、右声道信号输入端，11 脚和 4 脚分别为左、右声道信号输出端。

(6) LED 电平表指示电路

如图 6-131 所示为采用 LB1409 构成的发光二极管 (LED) 电平指示电路。LB1409 内部含有电压放大器、基准电压源、9 个电平比较器和 9 个驱动晶体管，可以驱动 9 个发光二极管作电平指示，每个发光二极管所指示的电平间隔为 3dB。

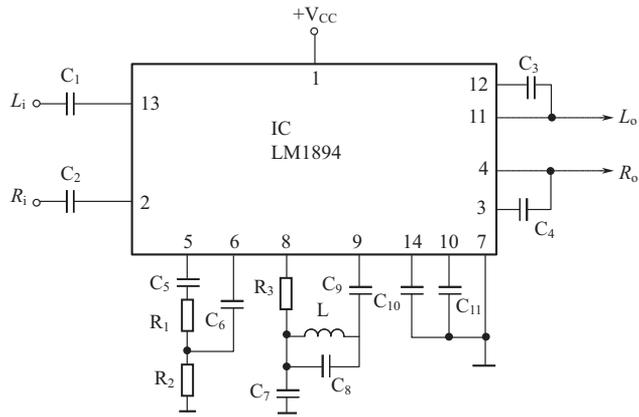


图 6-130 音频动态降噪电路

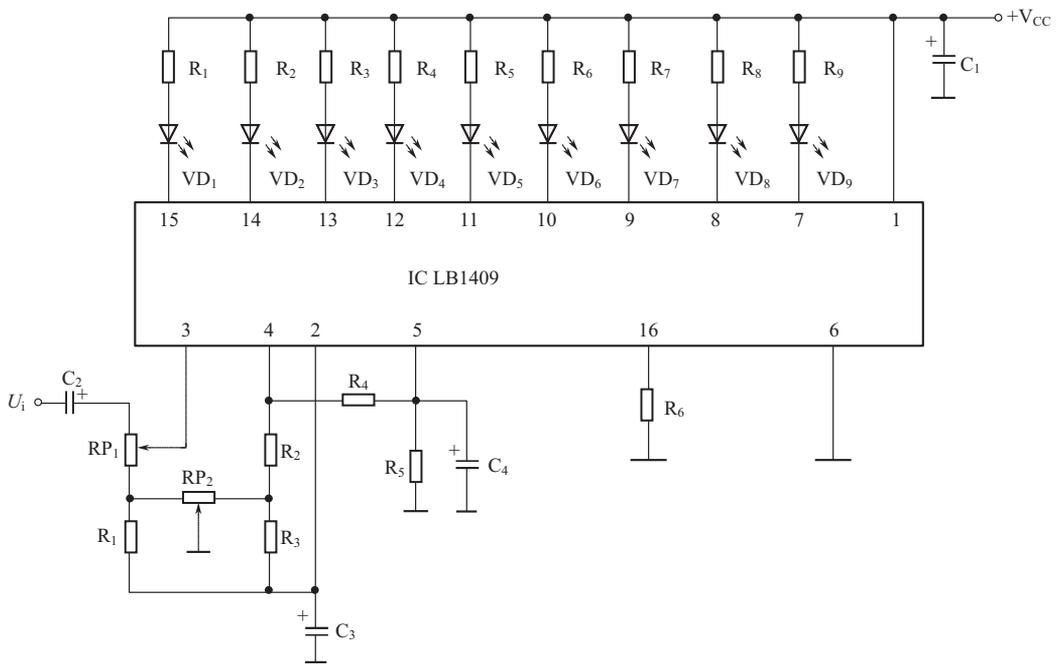


图 6-131 LED 电平指示电路

如将 9 个发光二极管垂直排列，则可构成条状 LED 电平指示表。RP₁ 为输入电平调节电位器，RP₂ 为电路增益调节电位器。

第7章

自我装备——自制电子仪表

我们知道，学习和实践电子技术离不开电子仪表。万用表、信号发生器等是最基本的电子仪表，可以说是电子技术爱好者们的必备。那就让我们来一次自我装备吧！自制部分常用电子仪表，既可以通过实践锻炼提高自己的识图分析能力和电子制作技能，又能够装备自己的电子制作室，还为我们节省了相当一笔开支，真可谓一举三得。

7.1 自制万用表

万用表是最常用的无线电测量仪器。这里介绍一种适合业余爱好者自制的万用表，其电路设计具有表头选择范围宽、测量挡位多、各挡位电路无需调试、表面刻度无需校准的特点，易于制作，成本低廉。如图 7-1 所示为自制万用表外形。

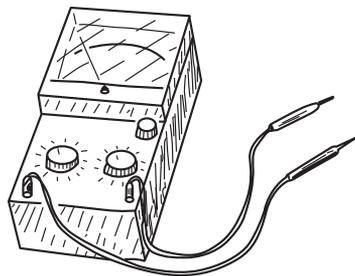


图 7-1 自制万用表

7.1.1 电路分析

自制万用表电路如图 7-2 所示，由表头电路、分流器、整流器、直流降压器、交流降压器、电阻测量电路、量程转换开关等部分组成，根据不同的测量对象，通过转换开关可以方便地组成直流电流表、直流电压表、交流电压表或欧姆表。如图 7-3 所示为万用表电路原理方框图。

(1) 技术参数

该万用表灵敏度较高，直流灵敏度为 $5\text{k}\Omega/\text{V}$ ，交流灵敏度为 $2.25\text{k}\Omega/\text{V}$ 。共有 20 挡量程：直流电流 1mA 、 5mA 、 10mA 、 50mA 、 100mA 、 500mA 共 6 挡；直流电压 2.5V 、 10V 、 50V 、 250V 、 500V 、 1000V 共 6 挡；交流电压 10V 、 50V 、 250V 、 1000V 共 4 挡；电阻 $R\times 1$ 、 $R\times 10$ 、 $R\times 100$ 、 $R\times 1\text{k}\Omega$ 共 4 挡。

(2) 电路结构

表头 PA 选用磁电式直流微安表，要求其满度电流（灵敏度） $I_0 \leq 160\mu\text{A}$ 、内阻 $R_0 \leq 3\text{k}\Omega$ 。量程转换开关选用旋转式波段开关，其中 S_1 为单极（单层）12 位， S_2 为双极（双层）12 位。

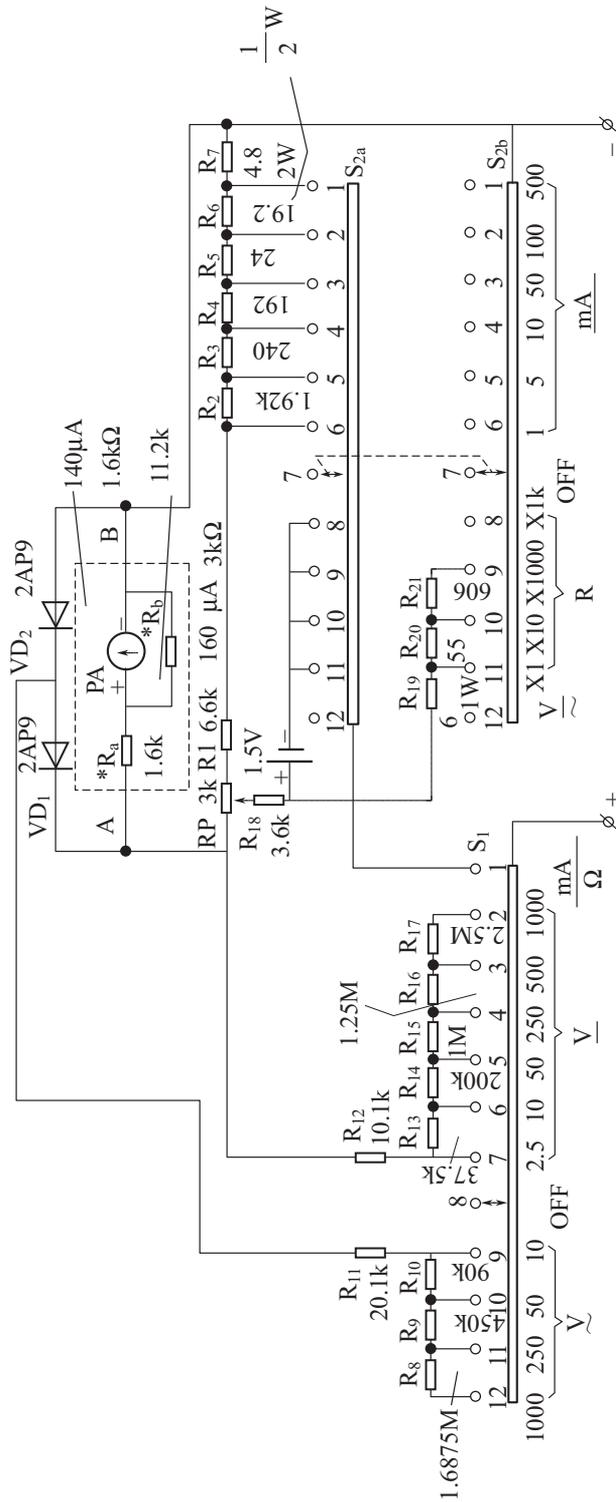


图 7-2 自制万用表电路图

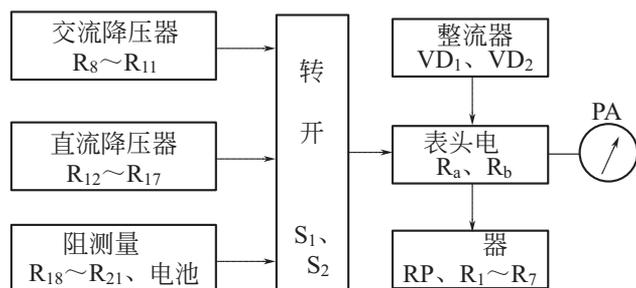


图 7-3 万用表方框图

电位器 RP 最好用线绕电位器，也可用其他电位器，但阻值一定要准确。电阻大多为非标称阻值，可用电阻丝绕制，或用几个电阻串并联解决。

为了方便业余爱好者自制，本万用表的表头电路作了特殊设计。如图 7-4 所示，设定 A、B 两端等效满度电流 $I_o' = 160\mu\text{A}$ 、等效内阻 $R_o' = 3\text{k}\Omega$ ，则任何满度电流 $I_o \leq 160\mu\text{A}$ 、内阻 $R_o \leq 3\text{k}\Omega$ 的表头均可使用，只需通过调节 R_a 、 R_b ，使 A、B 两端间等效 I_o' 、 R_o' 符合设定要求即可，而不必根据不同表头的具体参数逐一计算调整各挡元件值。

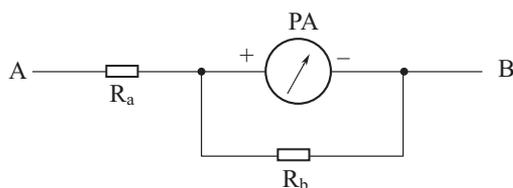


图 7-4 表头电路

7.1.2 制作方法

自制万用表可按下述步骤顺序进行，首要的是将自己选用的表头进行整定。

(1) 表头的测量

首先测出待用表头的满度电流 I_o 和内阻 R_o 。测量方法如图 7-5 所示，用一只 $160 \sim 300\mu\text{A}$ 的标准微安表与被测待用表头串接，调节电位器 RP，使被测表头满度（表头指针指到刻度最右边），这时，标准微安表的读数即是被测表头的满度电流 I_o 。

保持电位器 RP 不变，再按图 7-6 所示，另用一只 $4.7\text{k}\Omega$ 的电位器 RP_x 取代被测表头，调节 RP_x 使标准微安表仍维持原来读数，此时 RP_x 的阻值便是被测表头的内阻 R_o 。

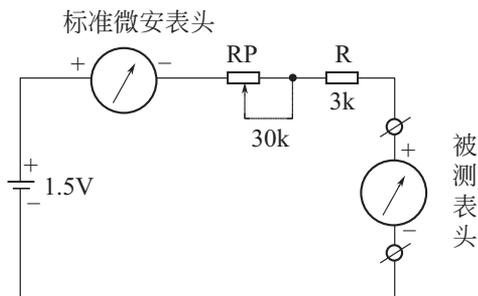


图 7-5 测量表头满度电流

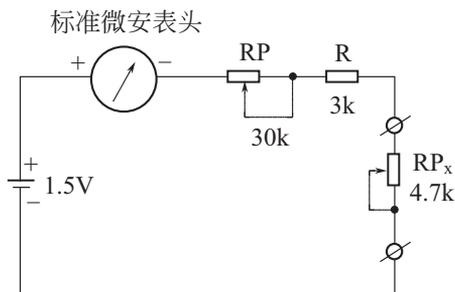


图 7-6 测量表头内阻

注意：

注意：切不可用欧姆表直接测量表头内阻，这样极易损坏表头。 I_o 和 R_o 的测量务必准确，否则制成的万用表测量精度难以保证。

(2) 表头的整定

表头参数测出后,即可通过接入适当的 R_a 、 R_b ,对表头电路进行整定。如图 7-7 所示, R_b 为满度电流整定电阻,当表头 $I_o = 160\mu A$ 时,不用并联 R_b ;当 $I_o < 160\mu A$ 时, $R_b = I_o R_o / (160 - I_o)$,式中 I_o 单位为 μA , R_o 单位为 $k\Omega$ 。

如图 7-8 所示, R_a 为内阻整定电阻,当表头内阻 R_o 与 R_b 的并联值 $(R_o // R_b) = 3k\Omega$ 时,不用串联 R_a ;当 $(R_o // R_b) < 3k\Omega$ 时,则需串联 R_a , $R_a = 3 - (R_o // R_b)$,式中单位均为 $k\Omega$ 。通过以上整定,使表头电路的等效 $I_o' = 160\mu A$ 、等效内阻 $R_o' = 3k\Omega$ 。

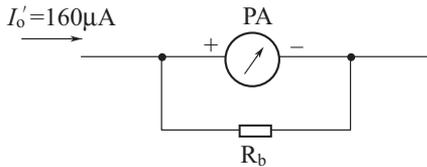


图 7-7 整定满度电流

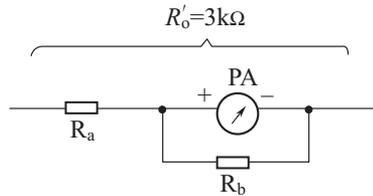


图 7-8 整定内阻

(3) 制作步骤

本万用表的结构特点是不用电路板,所有元器件均直接焊接在表头、电位器和两个波段开关的引脚上,既简单又可靠。制作与调试可按以下步骤进行。

第一步,根据表头尺寸选用或自制一适当大小的塑料盒作为万用表表壳,将表头 PA、电阻挡调零电位器 RP、量程转换开关 S_1 和 S_2 以及两个表笔插孔座固定在盒面上,如图 7-9 所示。

第二步,将整定电阻 R_a 、 R_b ,整流器 VD_1 、 VD_2 直接焊在表头 PA 的两个引出脚上,如图 7-10 所示。

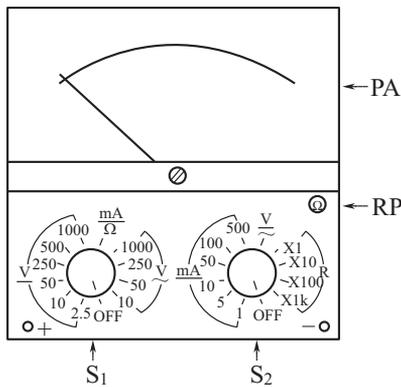


图 7-9 制作表壳

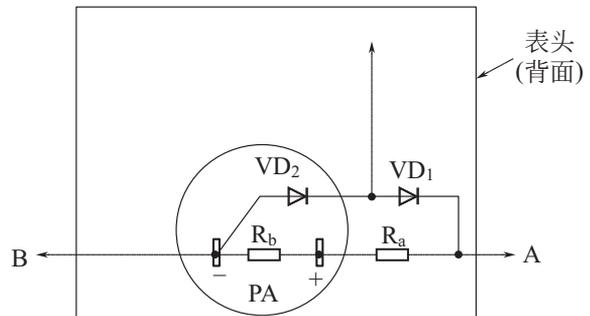


图 7-10 表头上的元器件

第三步,将电阻 R_1 、 R_{18} 直接焊在电位器 RP 的引出脚上。将其余所有电阻直接焊接在作为量程转换开关的两个波段开关的相应引脚上。焊接时注意各波段开关各层的相对引脚位置不能弄错,如图 7-11 所示。

第四步,按照电路图用绝缘导线将各部件连接起来,万用表电路便组装好了。对照波段开关装配图,在万用表面板上标示出各测量挡位。万用表表壳内各部件的位置如图 7-12 所示。电池为一节 5 号电池,可自制一个小电池盒。

第五步,绘制刻度线。本万用表共有两条刻度线,上面一条是欧姆刻度线,下面一条是电流、电压共用刻度线,如图 7-13 所示。

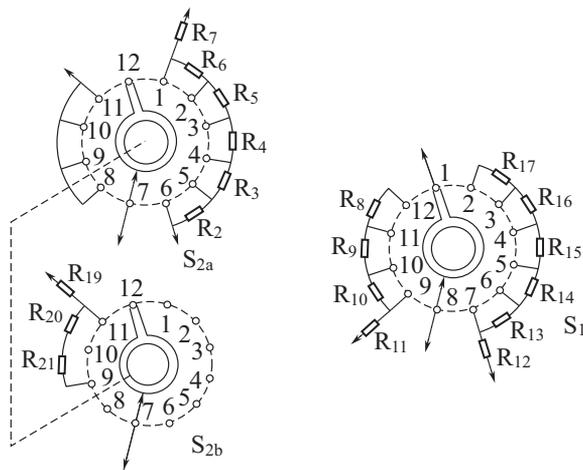


图 7-11 波段开关展开图

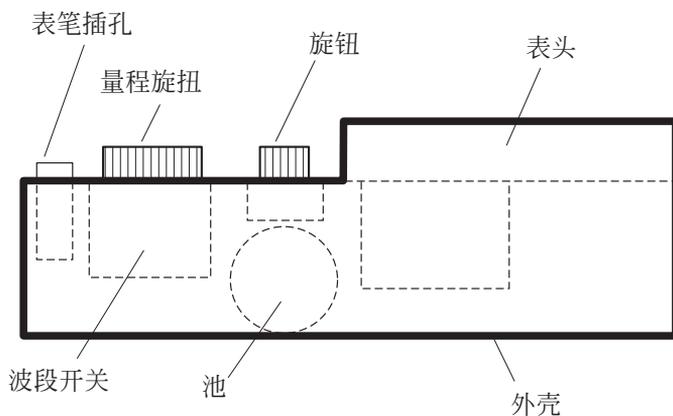


图 7-12 各部件的位置

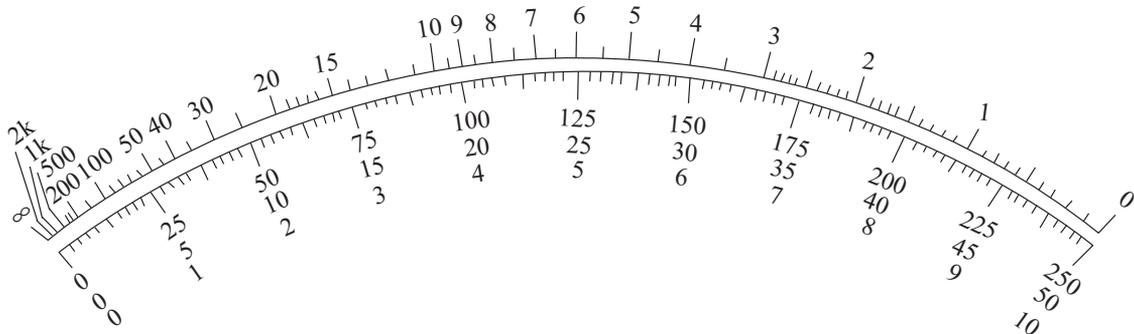


图 7-13 万用表刻度线

刻度线绘制方法如下：首先将刻度线等分 100 份，左端点为 0，右端点为 100。电流、电压刻度为线性刻度，将刻度线等分标示即可。

欧姆刻度为非线性刻度，各阻值在刻度线上的百分位置见表 7-1。刻度线绘制好后，剪下粘贴在表头原表面上即可。读者也可将图 7-13 所示的刻度线直接复印使用。

表 7-1 欧姆刻度线相应百分位置

欧姆刻度值	相应百分位置
∞	0
1k	0.6
500	1.2
200	2.9
100	5.7
50	10.7
40	13.0
30	16.7
25	19.4
20	23.1
15	28.6
12	33.3
10	37.5
9	40.0
8	42.9
7	46.2
6	50.0
5	54.5
4	60.0
3	66.7
2	75.0
1.5	80.0
1	85.7
0.5	92.3
0	100

7.1.3 电路调试

万用表制作完成后，应与标准万用表进行对比测量校验。在测量同一对象时，自制万用表的指示应与标准万用表的指示基本相同。如误差过大或不能正常测量，其原因可能是表头的 I_0 和 R_0 测量不准； R_a 与 R_b 计算有误；二极管、表头或电池的正、负极颠倒了；波段开关各引脚的对应关系弄错了；虚焊或接触不良等。逐一检查排除即可。

7.2 自制音频信号发生器

音频信号发生器是一种能够产生音频正弦波的常用电子仪器，在调试和检修音响、扩音机等音频设备时经常使用。我们要自制的这款音频信号发生器，是专为爱好者自制而设计

的，采用了集成运算放大器，简单易制，效果良好。如图 7-14所示为自制音频信号发生器外形。

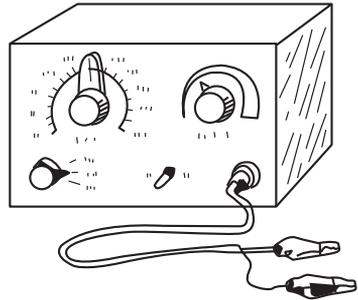


图 7-14 自制音频信号发生器

7.2.1 电路分析

该音频信号发生器可以产生 20~20000Hz 的正弦波信号，共分为三个波段：第一波段频率范围为 20~200Hz，连续可调；第二波段频率范围为 200~2000Hz，连续可调；第三波段频率范围为 2~20kHz，连续可调。

如图 7-15 所示为音频信号发生器电路图，电路包括 RC 桥式振荡器和电压跟随器两部分，如图 7-16 所示为整机方框图。电路中采用了两个集成运算放大器 IC₁（RC 桥式振荡器）和 IC₂（电压跟随器）（两者封装在一块集成电路中）。RC 桥式振荡器产生连续可调的正弦波信号，经电压跟随器缓冲后输出。波段开关 S₁ 为频率粗调，电位器 RP₁ 为频率细调，RP₂ 为输出电平调节。

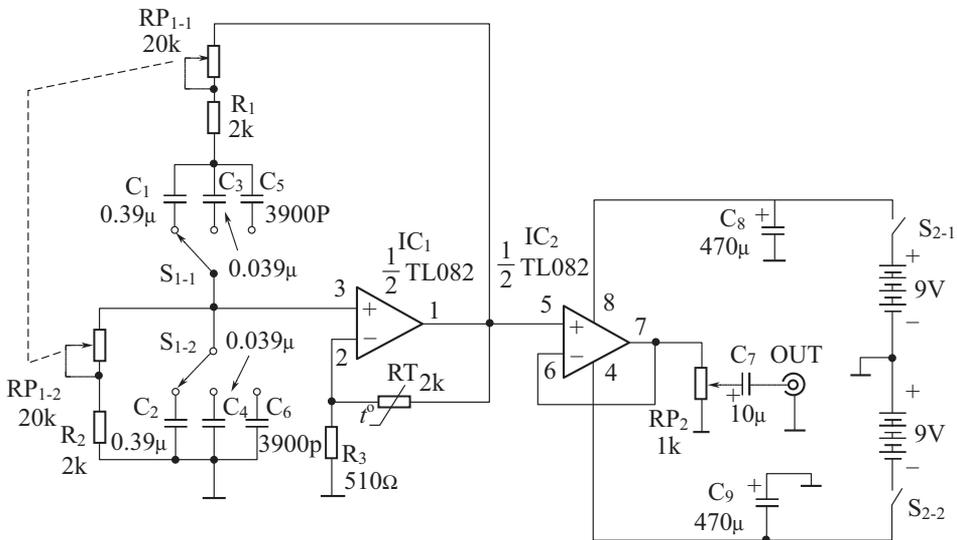


图 7-15 音频信号发生器电路图

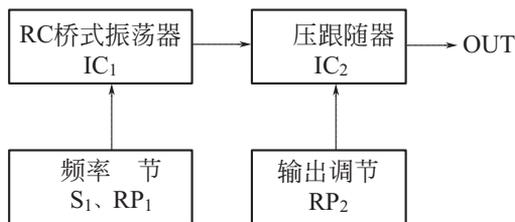


图 7-16 音频信号发生器方框图

(1) RC 桥式振荡器

RC 桥式振荡器如图 7-17 所示，RC 串联支路和 RC 并联支路构成正反馈回路，用于形成振荡。RT 和 R₃ 构成负反馈回路，用于稳定振幅。正反馈回路和负反馈回路组成电桥，放大器输出信号接于电桥 A、B 对角线，D、E 对角线接放大器输入端。

放大器的放大倍数取决于 RT 与 R₃ 的比值。RT 是负温度系数热电阻，当输出信号增大

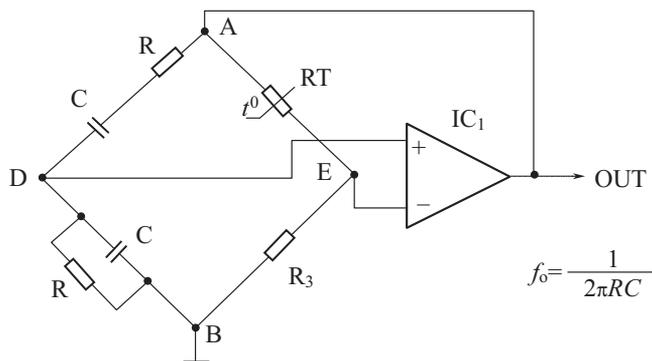


图 7-17 RC 桥式振荡器

时， R_T 减小，使得放大倍数下降；当输出信号减小时， R_T 增大，使得放大倍数上升，从而达到稳定振幅的目的。

含有电容 C 的正反馈回路具有选频作用，改变 R 、 C 即可改变振荡频率。用波段开关 S_1 改变 C 实现频率粗调，用电位器 RP_1 改变 R 实现频率细调，如图 7-18 所示。

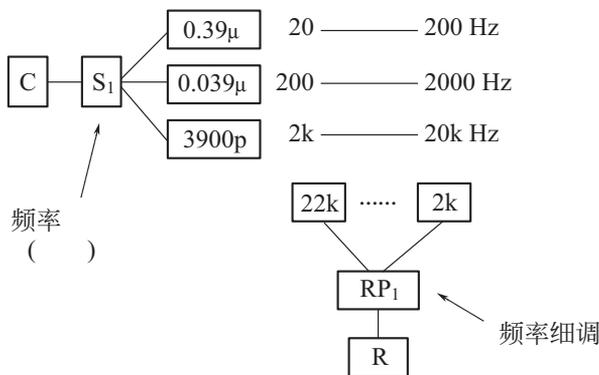


图 7-18 频率调节原理

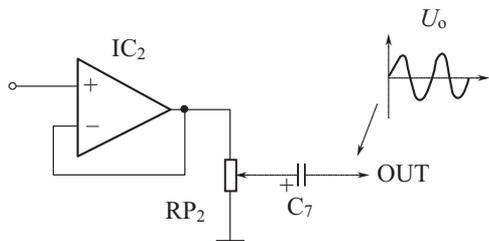


图 7-19 电压跟随器

(2) 电压跟随器

集成运放 IC_2 构成电压跟随器，如图 7-19 所示。 IC_1 产生的正弦波通过电压跟随器 IC_2 输出，提高了输出驱动能力，隔离了负载电路对振荡回路的影响。电位器 RP_2 用于调节输出电平。 C_7 为输出端耦合电容，可以阻隔负载电路可能出现的直流电压。

7.2.2 制作方法

制作方法包括元器件选择、制作电路板、制作机壳、整机组装等步骤。

(1) 元器件选择

IC_1 、 IC_2 选用场效应管输入级的集成双运放 TL082，其极高的输入阻抗有利于将对选频回路的影响减到最小。 RP_1 应选用双连同轴电位器， S_1 、 S_2 均为双刀联动开关。整机采用 $\pm 9V$ 电源，可用两块 $9V$ 层叠电池，如图 7-20 所示串联组成。

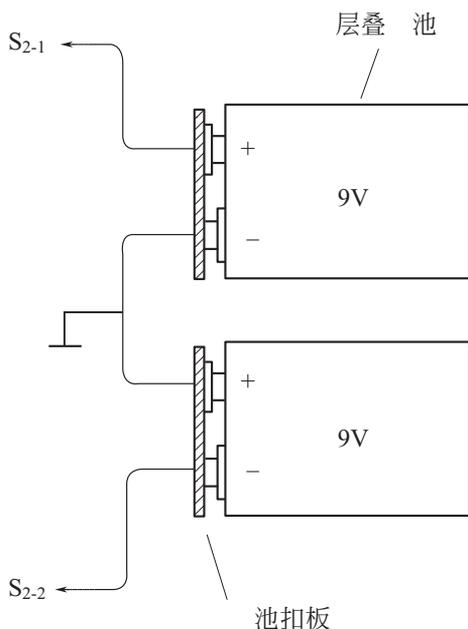


图 7-20 电池串联应用

(2) 制作电路板

整机电路板如图 7-21 所示，用 50mm×60mm 的单面敷铜板制作而成。由于电路较简单，也可采用刀刻法制作电路板。制作电路板的具体方法，我们在下一章将详细讲解。

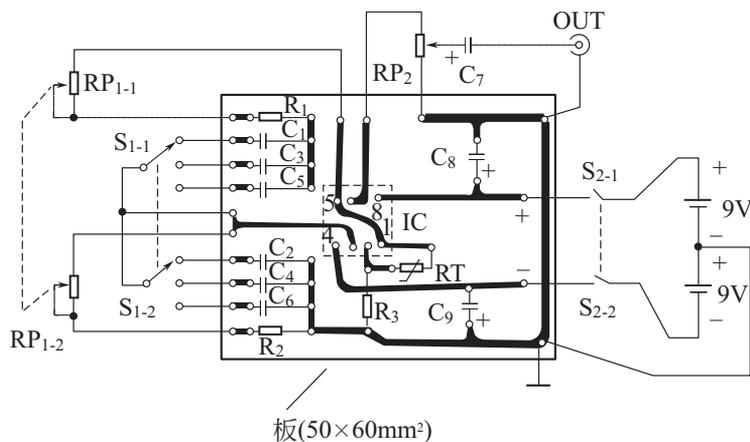


图 7-21 电路板图

图 7-21 中标出了各元器件在电路板上的接线关系，如图 7-22 所示为各元器件在电路板（元件面）上的安装位置，将各元器件按图示焊入电路板相应位置即可。

(3) 制作机壳与整机组装

用塑料或有机玻璃自制一个机壳，并如图 7-23 所示开出各个安装孔。

各部件在机壳内的位置如图 7-24 所示。电位器 RP₁、RP₂、波段开关 S₁、电源开关 S₂ 和输出端插座直接固定在面板上，电路板和电池固定在面板后面。

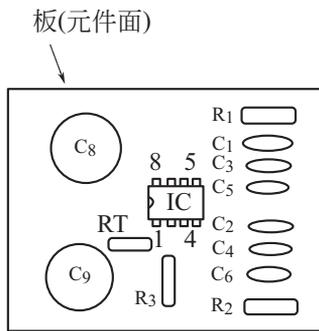


图 7-22 元器件在电路板上的位置

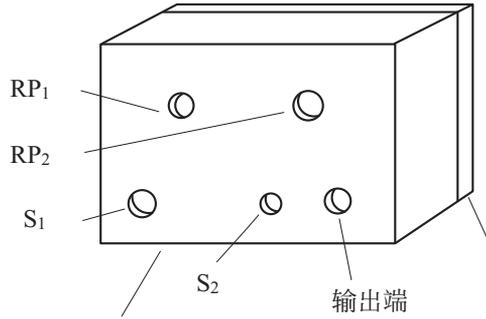


图 7-23 机壳

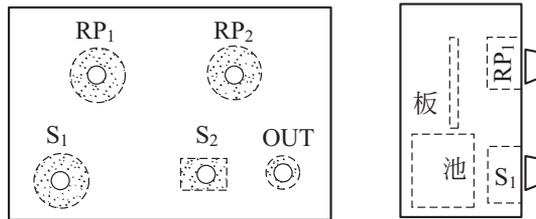


图 7-24 各部件安装位置

如图 7-25 所示，用透明有机玻璃薄板制成一个带刻度线的指针板，粘牢在电位器的旋钮上 RP₁，作为频率指示。（[m费书享分多更索搜@雅书](#)）

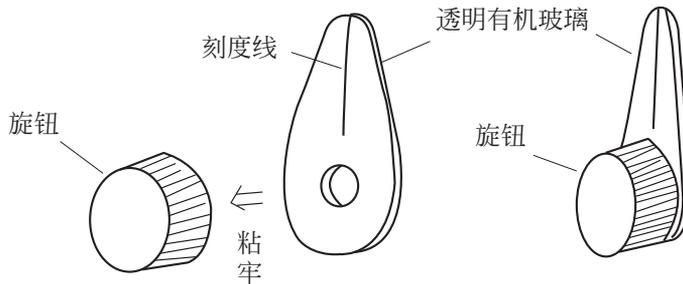


图 7-25 带指针的旋钮

正弦波输出信号应用屏蔽线输出。可如图 7-26 所示，用同轴插头、屏蔽线和“鳄鱼夹”自制一根输出信号线。使用时屏蔽层应接地。

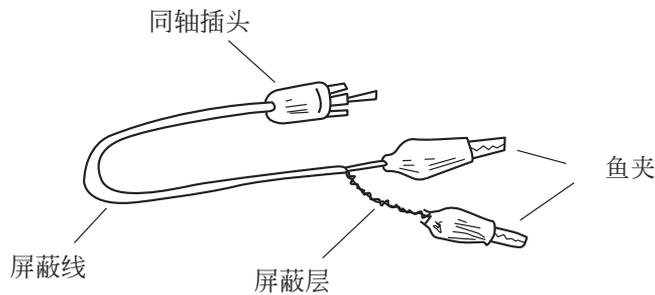


图 7-26 信号输出线

7.2.3 电路调试

整机组装完成后,即可对电路进行调试。调试时,首先如图 7-27 所示用小螺钉旋具缓慢调节 R_3 使电路起振。有条件时可用示波器观察输出端 U_o 的波形,调节 R_3 使其正弦波波形最好。

然后将自制音频信号发生器的输出端接入频率计的输入端,以监测输出频率,如图 7-28 所示。转动频率细调电位器 RP_1 的旋钮,根据频率计的读数画出刻度线,音频信号发生器便制作完成了。

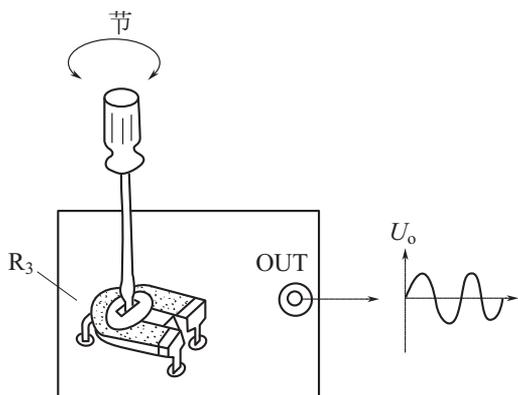


图 7-27 调节 R_3 使电路起振

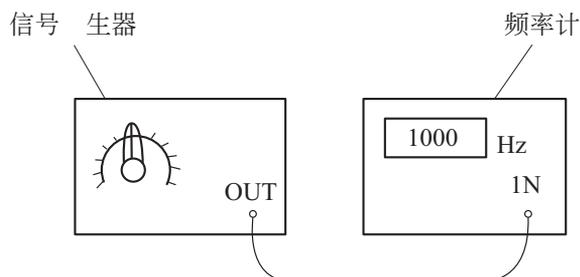


图 7-28 校准频率刻度线

7.3 自制高频信号发生器

拥有一台高频信号发生器,将会为调试、检修收音机等工作提供极大的方便。现在介绍的这台高频信号发生器,电路简单、调试容易、频率稳定、工作可靠、体积小、使用方便,特别适合广大业余爱好者自制。如图 7-29 所示为自制高频信号发生器外形。

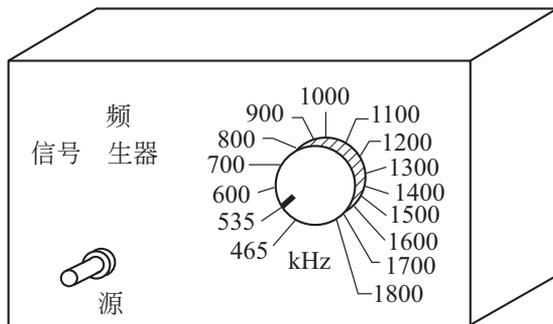


图 7-29 自制高频信号发生器

7.3.1 电路分析

我们介绍的这台高频信号发生器主要技术指标如下:频率范围为 $450 \sim 1800$ kHz,包括 465 kHz 中频信号和 $535 \sim 1605$ kHz 的中波信号。调制形式为调幅。调制频率为 800 Hz。输

出方式为无线辐射。

图 7-30 为高频信号发生器电路图，整机包括音频振荡器、高频振荡器、调制电路和电源电路等部分，如图 7-31 所示为高频信号发生器原理方框图。晶体管 VT_1 与音频变压器 T 、电容器 C_1 等组成音频振荡器，晶体管 VT_2 与磁性天线 W 、可变电容器 C_6 等组成高频振荡器， VT_2 同时也是调制元件。电源采用 9V 电池。

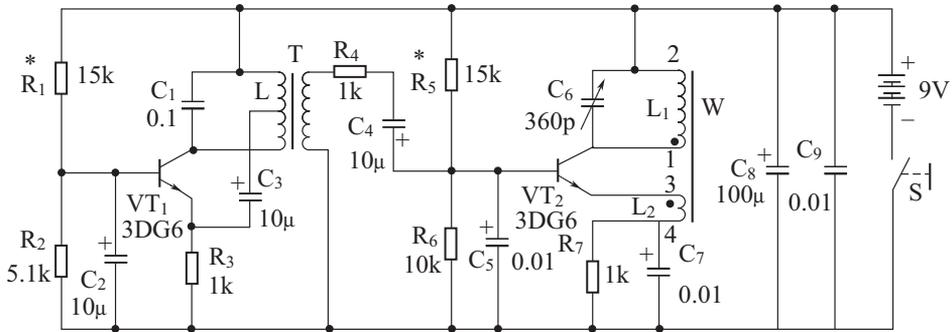


图 7-30 高频信号发生器电路图

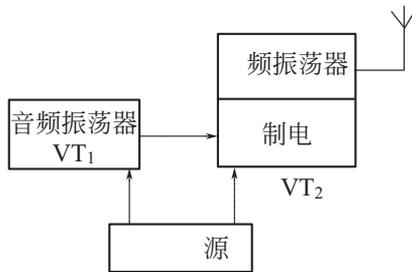


图 7-31 高频信号发生器方框图

(1) 工作过程

高频振荡器产生载频信号，载频频率可根据需要在 450~1800kHz 选择。音频振荡器产生约 800Hz 的音频信号，去调制高频振荡器，使载频信号的振幅随音频信号的变化而变化。调幅波由天线辐射出去。

(2) 音频振荡器

音频振荡器工作原理可用图 7-32 来说明。这是一个共基极电感三点式振荡器，它具有容易起振、振荡频率较稳定的特点。电路中音频变压器 T 的初级与电容器 C_1 构成谐振回路，起选频作用，并将输出电压 U_o 移相 180° 后反馈到输入端，使反馈电压 U_f 与输入电压 U_i 同相。

(3) 高频振荡器

高频振荡器是一个共基极变压器耦合振荡器，如图 7-33 所示。在晶体管 VT_2 集电极接有 L_1 与 C_6 构成的谐振回路，决定了振荡器的振荡频率。 L_1 与 L_2 同绕于一根磁棒上，形成变压器。 L_2 将输出电压 U_o 反相后输入 VT_2 的基极，反馈电压 U_f 与输入电压 U_i 同相，满足了振荡条件。 L_1 、 L_2 同时构成磁性天线，直接向外辐射输出。

7.3.2 制作方法

制作时可按以下步骤进行。

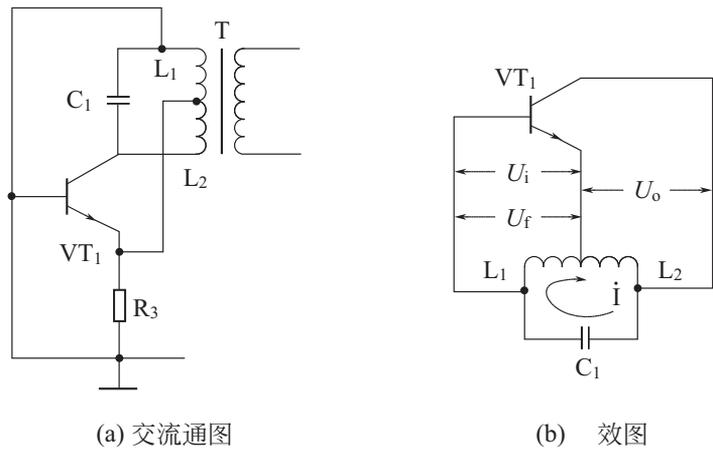


图 7-32 音频振荡器原理

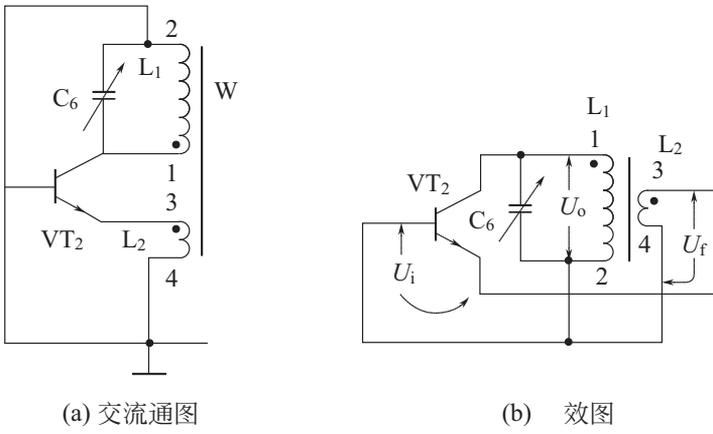


图 7-33 高频振荡器原理

(1) 制作电路板

整机电路板如图 7-34 所示，尺寸为 70mm×105mm。由于较简单，可用利刀刻制而成，并钻好各安装孔。各元器件在电路板上的位置如图 7-35 所示。元器件直接安装焊接在电路板的铜箔面，使制作更简便。偏置电阻 R₁ 与 R₅ 暂时不要焊入，以便调整。

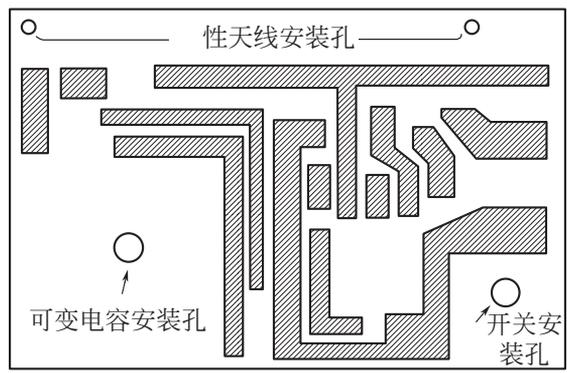


图 7-34 电路板图

(2) 元器件选择

可变电容器 C_6 选用 360pF 单连，也可将小型密封双连的两连定片并联后使用。音频变压器 T 选用晶体管收音机的推挽输入变压器，将原次级（3 条引线）作为初级，原初级（2 条引线）作为次级。为缩小体积，电源采用 9V 层叠电池，电池扣板可从废旧层叠电池中拆出，如图 7-36 所示。

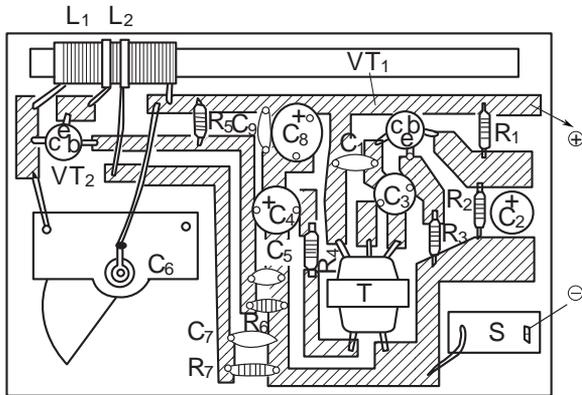


图 7-35 各元器件位置

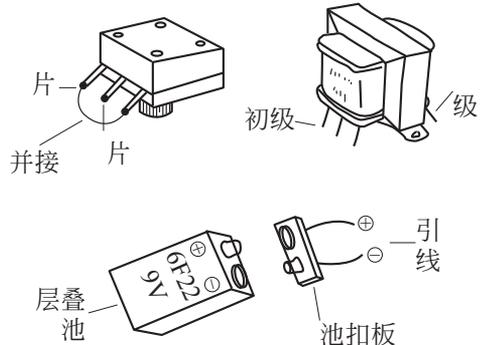


图 7-36 主要元器件

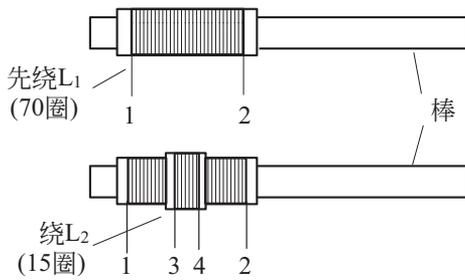


图 7-37 绕制磁性天线

(3) 绕制磁性天线

磁性天线需自行绕制。选用一根直径 10mm、长 100mm 左右的磁棒，用牛皮纸在磁棒上做一个可以来回滑动的骨架，用多股纱包线（如没有也可用漆包线）在骨架上密绕 70 圈作为 L_1 ，开头为“1”端，结尾为“2”端。在 L_1 上缠一层牛皮纸，用相同的纱包线或漆包线在其上按同方向密绕 15 圈作为 L_2 ，开头为“3”端，结尾为“4”端，如图 7-37 所示。

(4) 总装

高频信号发生器的机壳可用一塑料盒改制，其大小以能放下电路板和电池为准。在机壳面板上对应可变电容器和电源开关的地方各开一个圆孔，如图 7-38 所示，以便可变电容器旋轴和电源开关拨柄伸出。

机壳内各部件位置如图 7-39 所示。电路板在上部，电池在下部。可变电容器轴和开关柄从相应的孔中伸出，然后将调谐旋钮固定在可变电容器轴上。

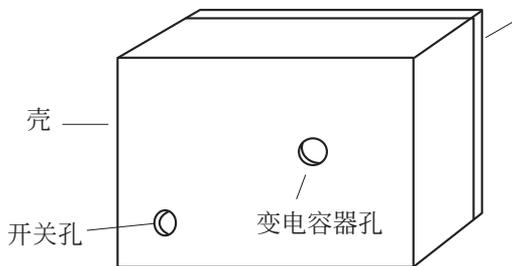


图 7-38 机壳

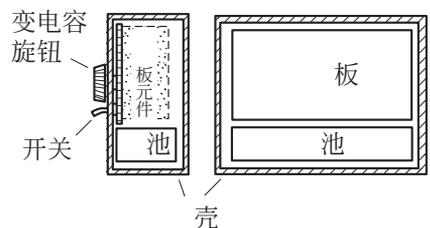


图 7-39 各部件位置

7.3.3 调试与使用

电路安装完毕校核无误后，按以下步骤调整。

(1) 调整 VT_2 的静态工作点

调整方法如图 7-40 所示，将 $100k\Omega$ 电位器与 $5.1k\Omega$ 电阻串联后，临时取代 R_5 焊入电路，并用一导线将 C_6 临时短路，然后调节 $100k\Omega$ 电位器，使 R_7 上电压为 $0.5V$ 。这时， $100k\Omega$ 电位器与 $5.1k\Omega$ 电阻串联的总阻值即是 R_5 的阻值，用相同阻值的电阻焊入 R_5 位置即可。

(2) 调整 VT_1 的静态工作点

调整时如图 7-41 所示，用 $100k\Omega$ 电位器与 $5.1k\Omega$ 电阻串联体临时取代 R_1 ，将 C_1 临时短路，调节 $100k\Omega$ 电位器，使 R_3 上电压为 $1V$ 。这时， $100k\Omega$ 电位器与 $5.1k\Omega$ 电阻串联的总阻值即是 R_1 的阻值，用相同阻值的电阻焊入 R_1 位置即可。

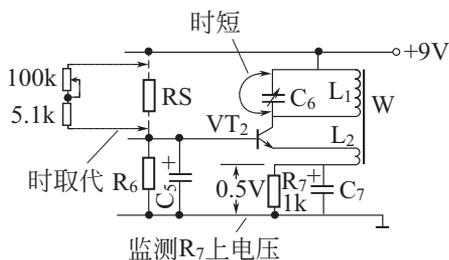


图 7-40 调整 VT_2 工作点

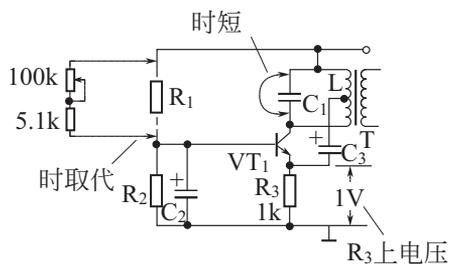


图 7-41 调整 VT_1 工作点

(3) 检测电路是否起振

先用高阻耳机接到音频变压器 T 的次级，应能听到“嘟……”的声音，说明音频振荡器已起振，如图 7-42(a) 所示。

再用万用表测量 R_7 上的电压，当短路可变电容器 C_6 时，表针应有所摆动，说明高频振荡器已起振，如图 7-42(b) 所示。如电路未起振，应重点检查音频变压器 T 或磁性天线 W 的引线顺序有否搞错。

(4) 校准频率覆盖范围

振荡频率可用标准频率计来校准，方法如图 7-43 所示，用一单股绝缘导线绕 3~5 圈后作为标准频率计的接收天线，放在自制信号发生器的磁性天线旁边。打开自制信号发生器的电源，频率计应能接收到信号并指示出频率。转动可变电容器 C_6 ，振荡频率应能覆盖 $450\sim 1800kHz$ 范围。如低端频率偏高，可将磁性天线线圈向磁棒中间移动。如高端频率偏低，则将天线线圈向磁棒顶端移动。

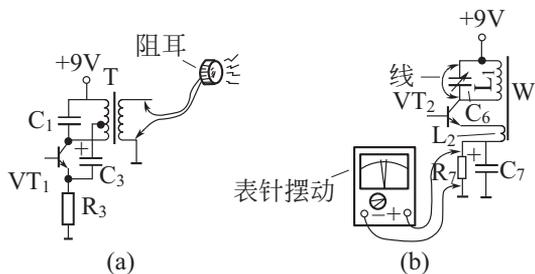


图 7-42 检测电路是否起振

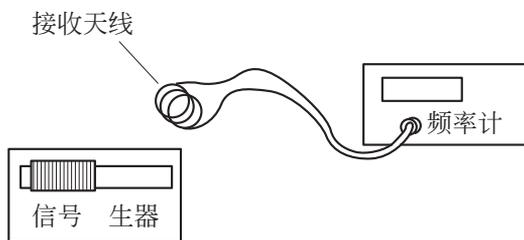


图 7-43 用频率计校准频率

如无频率计，可按下述方法校准。找一台频率刻度准确的超外差中波收音机，打开电源，调谐旋钮调到 1600kHz 附近，放在信号发生器旁边接收信号。将信号发生器的 C_6 旋出 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，来回移动天线线圈在磁棒上的位置，如图 7-44 所示，直至收音机中发出清晰的 800Hz 的“嘟……”声。

这时，转动收音机的调谐旋钮，收到的“嘟……”声应不变，说明 465kHz 中频已校准。收音机在 930kHz 处应能收到中频的二次谐波。如此调整后，信号发生器即已能覆盖 450~1800kHz 频率范围。

(5) 绘制频率刻度

频率范围校准后，一边转动可变电容器 C_6 ，一边根据标准频率计或标准收音机的指示，将各频率点标注出来，然后再绘制成正式的频率刻度，如图 7-45 所示。至此，高频信号发生器调试结束。

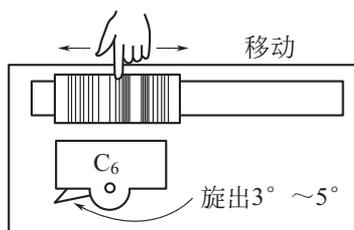


图 7-44 调节天线线圈

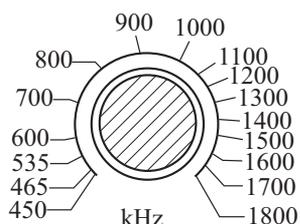


图 7-45 频率刻度

(6) 使用方法

该信号发生器是用无线辐射方式输出信号的，因此使用极为方便。使用时只要将信号发生器放在收音机附近即可。

使用中可以用改变信号发生器与收音机的相对位置和距离的方法来调节信号强弱。当信号发生器与收音机两者的磁性天线互相平行时，收音机接收到的信号最强，如图 7-46(a) 所示。

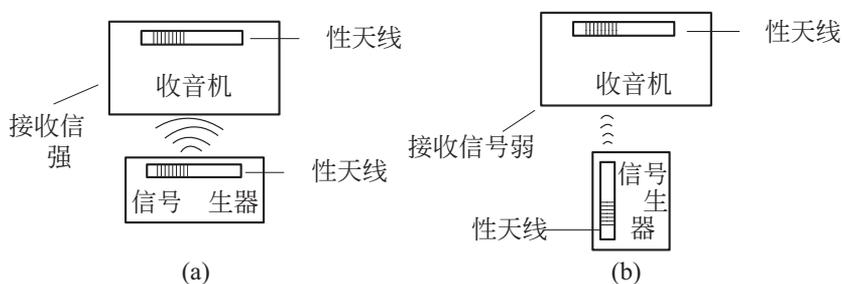


图 7-46 相对位置与信号强弱

在相同距离的情况下，当信号发生器与收音机的磁性天线互相垂直时，收音机接收到的信号最弱，如图 7-46(b) 所示。使用中可根据调试收音机的需要，灵活调节信号发生器与收音机之间的距离及相互位置的角度，以获得适当的信号强度。

7.4 自制无线电综合检测仪

在无线电工程或业余制作中，常常需要使用多种仪器仪表。现在介绍的这台无线电综合检测仪功能齐全，集交/直流电压表、交/直流电流表、欧姆表、晶体管 β 测试仪、数字频率

计、电容电感测量仪、函数信号发生器、正负直流稳压电源于一身，为使用者提供了很大的方便。电路采用集成电路设计，结构简洁合理，工作稳定可靠。

7.4.1 特点与功能

无线电综合检测仪具有以下特点。

一是检测范围宽。电压、电流、电阻的检测范围达 10^7 ，电容的检测范围达 10^{10} ，电感的检测范围达 10^4 ，频率的检测范围达 10^7 。

二是测量精度高。电压表内阻达 $3M\Omega$ ，电流表内阻仅 0.01Ω ($1A$)，电阻采用恒流测量法，电容、电感、频率的最小分辨率分别为 $1pF$ 、 $1mH$ 、 $1Hz$ 。

三是显示直观易读，电压、电流、电阻、晶体管放大倍数等各挡均为线性刻度，电容、电感、频率均为 4 位有效数字显示。

无线电综合检测仪可以测量：交、直流电压为 $0.0001\sim 1000V$ ，交、直流电流为 $0.1\times 10^{-6}\sim 1A$ ，电阻为 $0.1\sim 3\times 10^6\Omega$ ，晶体管 β 值为 $1\sim 300$ ，电容为 $1\times 10^{-6}\sim 9999\mu F$ ，电感为 $1\sim 9999mH$ ，频率为 $1\times 10^{-3}\sim 9999kHz$ 。测量误差小于或等于 5% 。

无线电综合检测仪可以提供 $10\sim 100000Hz$ 的方波、三角波或正弦波信号源，两路 $\pm(1.2\sim 30)V$ 、 $1.5A$ 的直流稳压电源。技术指标见表 7-2。

表 7-2 无线电综合检测仪技术指标

	测量对象	测量范围	内阻	灵敏度	分挡数	测量误差
测量部分	交流电压	$0.0001\sim 1000V$	$3M\Omega$		11	$\leq 5\%$
	直流电压					
	交流电流	$0.1\times 10^{-6}\sim 1A$	$0.01\Omega/A$		11	
	直流电流					
	电阻	$0.1\sim 3\times 10^6\Omega$			11	
	晶体管 β	$1\sim 300$			1	
	电容	$1\times 10^{-6}\sim 9999\mu F$			3	
	电感	$1\sim 9999mH$			1	
	频率	$1\times 10^{-3}\sim 9999kHz$		$<20mV$	2	
信号源	输出频率	输出波形		输出电压	分挡数	
	$10\sim 100000Hz$	方波、三角波、正弦波		连续可调	2	
稳压电源	输出电压	输出电流		调节方式		
	$\pm(1.2\sim 30)V$	1.5A		两路独立连续可调		

7.4.2 电路分析

整机电路由模拟测量、数字测量、函数发生器和电源电路四大部分组成，整机电路方框图如图 7-47 所示。

(1) 模拟测量部分

模拟测量部分包括交、直流电压测量，交、直流电流测量，电阻测量，晶体管 β 值测量等功能，其电路图如图 7-48 所示。

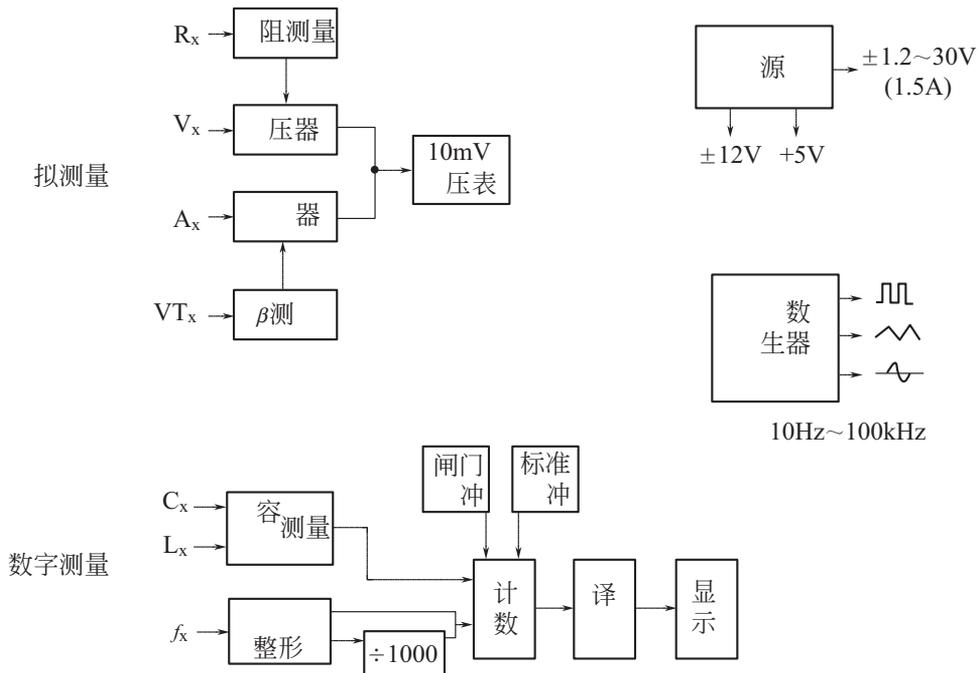


图 7-47 无线电综合检测仪方框图

S_1 为量程选择开关, S_2 为测量选择开关, S_3 为交、直流选择开关。 Ω 、V、A 各挡位的满度值见表 7-3。

表 7-3 Ω VA 各挡位的满度值

S_1 挡位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ω	30 Ω	100 Ω	300 Ω	1 k Ω	3 k Ω	10 k Ω	30 k Ω	100 k Ω	300 k Ω	1 M Ω	3 M Ω
V	10 mV	30 mV	100 mV	300 mV	1 V	3 V	10 V	30 V	100 V	300 V	1000 V
A	10 μ A	30 μ A	100 μ A	300 μ A	1 mA	3 mA	10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	1 A

该部分的核心是由集成运放 IC_1 构成的高输入阻抗 ($10M\Omega$)、高灵敏度 ($10mV$) 的交直流两用电压表。如图 7-48 所示, 微安表头 PA 接在 IC_1 反馈回路中, 其突出优点是表头内阻和整流二极管的温度特性对流过 PA 的电流无影响, 保证了较高的测量精度。

PA 中的电流 $I_{PA} = V_i / R_-$, 式中 V_i 为输入电压, R_- 为 IC_1 负输入端对地电阻, 即 R_{27} (交流) 或 R_{28} (直流) 的阻值。该电压表设计为 $10mV$ 满度 ($100\mu A$), 故测直流时 $R_{28} = 10mV / 0.1mA = 100\Omega$ 。测交流时, 因 PA 反映的是正弦交流电的平均值, 而常用量是有效值, 需换算, 故 $R_{27} = 0.9 (10mV / 0.1mA) = 90\Omega$ 。

测电压时, 输入电压 V_i 经 $R_3 \sim R_{13}$ 构成的总阻值 $3M\Omega$ 的分压电阻串接地, 通过改变 $10mV$ 电压表从电阻串中截获电压的位置, 即可实现不同挡位的电压测量。

测电流时, 输入电流 A_i 流经 $R_{14} \sim R_{24}$ 构成的取样电阻串中的一节或多节, 通过 $10mV$ 电压表测量取样电阻上的压降, 来间接测量电流。由于 $10mV$ 电压表的高灵敏度, 所以取样电阻阻值可选得极小 ($0.01\Omega/A$), 对被测电路的影响几乎可以忽略。

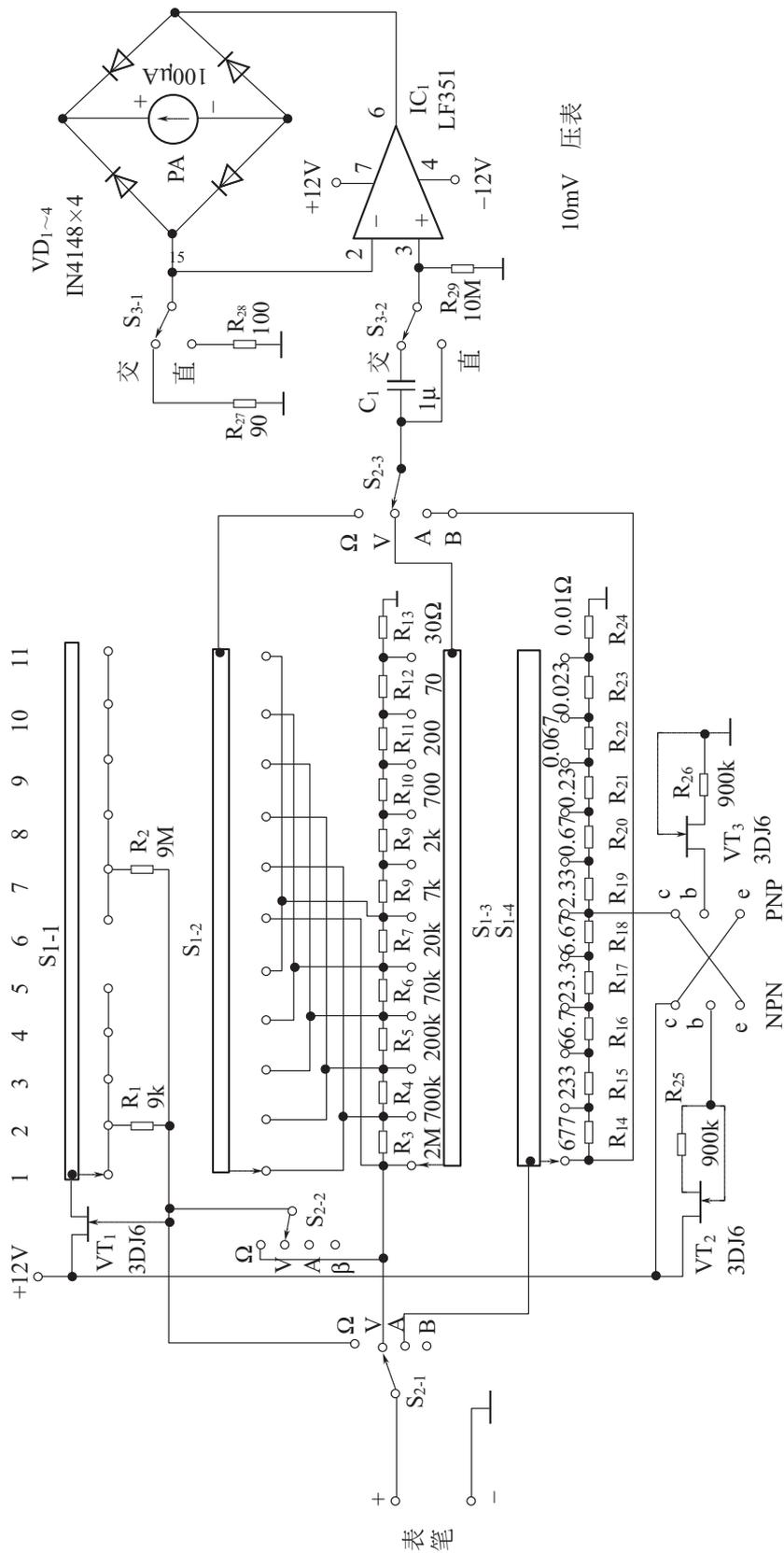


图 7-48 模拟测量电路图

电阻的测量采用了恒流测量法， VT_1 与 R_1 或 R_2 构成恒流源，提供 1mA 或 $1\mu\text{A}$ 的恒定电流，通过测量该恒定电流在被测电阻 R_x 上的压降，即可间接测知 R_x 的电阻值，如图7-49所示。

采用恒流法测量电阻的突出优点是表头指示的电阻值为线性刻度，直观易读，并可与电压、电流挡共用刻度线。与普通万用表电阻刻度不同的是阻值越大，表头指针向右偏转角度越大，即“ 0Ω ”在最左边（ 0V 、 0A 位置），本量程最大阻值在最右边（满度）。

测晶体管 β 值时，由 VT_2 恒流源（NPN管）或 VT_3 恒流源（PNP管）向被测晶体管提供 $10\mu\text{A}$ 基极电流，测量其集电极电流即可得知其 β 值，如图7-50所示。

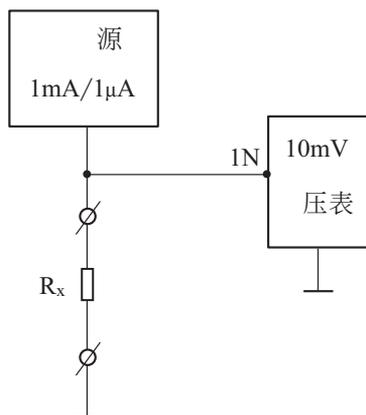


图 7-49 恒流法测量电阻

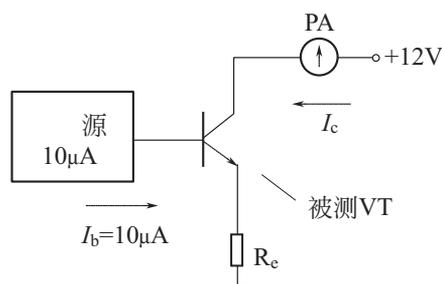


图 7-50 晶体管 β 值测量原理

(2) 数字测量部分

数字测量部分包括电容测量、电感测量、频率测量等功能，电路如图7-51所示。数字测量部分设计为4位有效数字显示，采用4块CMOS十进制计数/锁存/译码/驱动显示组合电路CL102构成，简化了接线，提高了可靠性。

S_4 为测量选择开关，其各挡位功能见表7-4。

表 7-4 S_4 开关各挡位功能

S_4 挡位	1	2	3	4	5	6
测量范围	pF	nF	μF	mH	Hz	kHz
	C			L	f	

IC_8 、 IC_9 等组成秒脉冲发生电路，输出 $T_1 = T_0 = 1\text{s}$ 的对称方波脉冲，经 IC_{3-1} 、 IC_{3-2} 以及 C_4 、 R_{35} 和 C_5 、 R_{36} 两套微分电路，形成包括EN（计数/保持）、LE（送数/锁存）、R（清零）等的闸门脉冲，去控制计数/显示电路，其波形如图7-52所示。

测频率时，被测信号 f_x 经 VT_6 、 IC_{10} 、 IC_{3-5} 、 IC_{3-6} 放大整形后，送入计数/显示电路。 IC_{11} 、 IC_{12} 组成“ $\div 1000$ ”（三级10分频）电路， f_x 经“ $\div 1000$ ”电路分频后，计数显示值的单位即为“kHz”，如图7-53所示。

测电容或电感时， IC_2 与被测电容 C_x 或被测电感 L_x 构成多谐振荡器，其输出脉宽与 C_x 或 L_x 的值成比例关系。用该多谐振荡器的输出信号取代秒脉冲信号，形成与 C_x 或 L_x 相关的EN、LE、R等新的闸门脉冲，去对 IC_{3-3} 、 IC_{3-4} 产生的100kHz标准脉冲计数，即可直接显示出 C_x 或 L_x 的值，如图7-54所示。

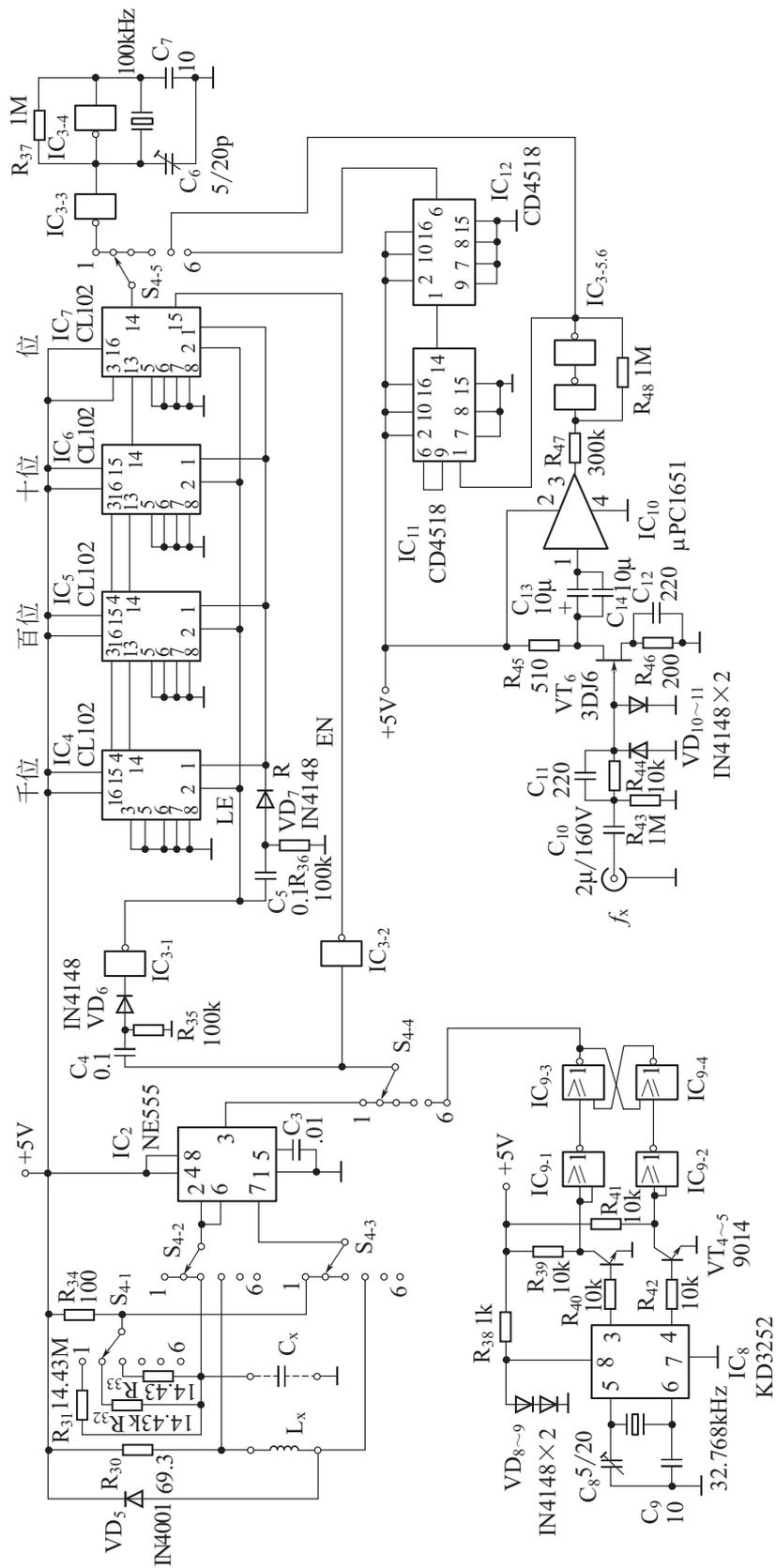


图 7-51 数字测量电路图

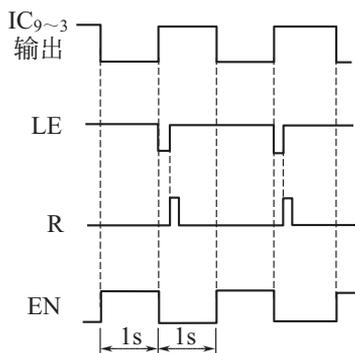


图 7-52 控制信号波形

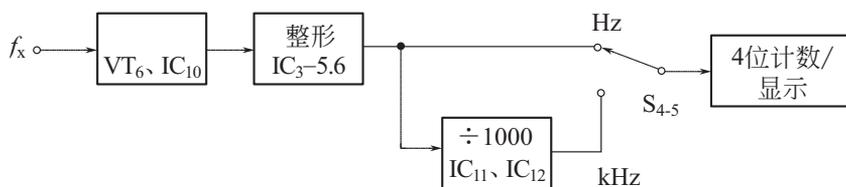


图 7-53 频率测量原理

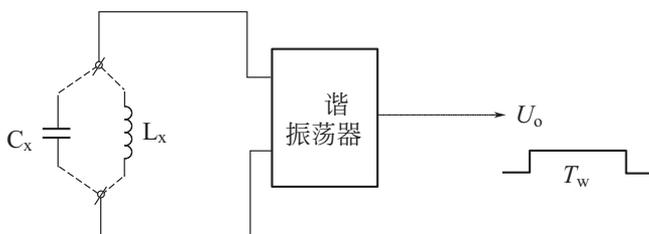


图 7-54 电容电感测量原理

(3) 函数信号发生器电路

函数信号发生器电路如图 7-55 所示，采用 ICL8038 专用集成电路，结构简洁，功能较全。产生的方波、三角波、正弦波信号经 IC₁₄ 放大后输出，提高了工作稳定性和输出电平。S₅ 为频率粗调开关，RP₁ 为频率细调，RP₂ 为输出电平调节，S₆ 为波形选择开关。

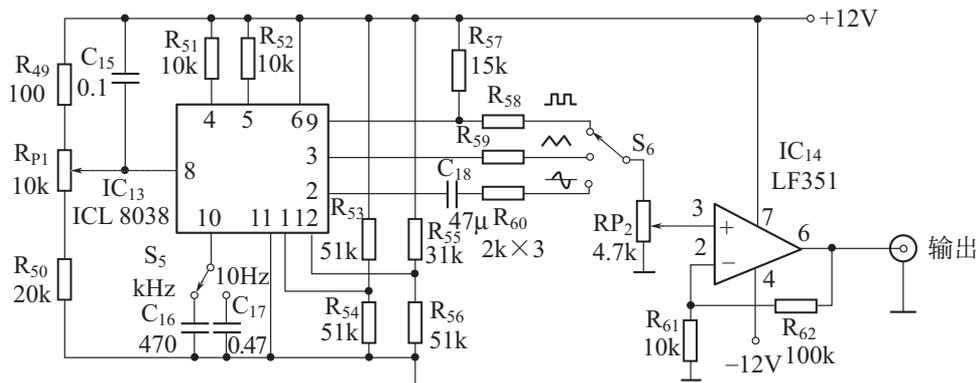


图 7-55 函数信号发生器电路

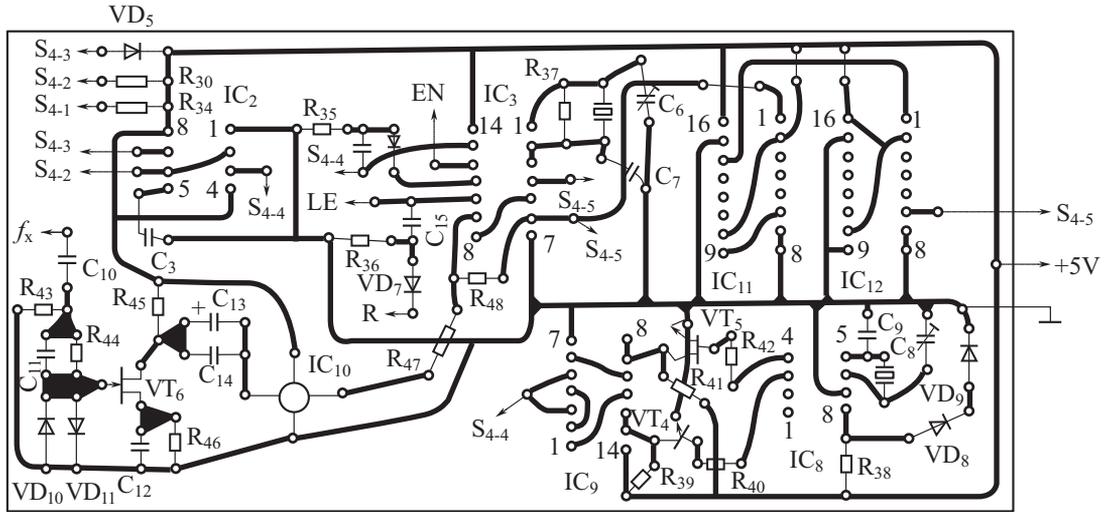


图 7-58 数字部分电路板图

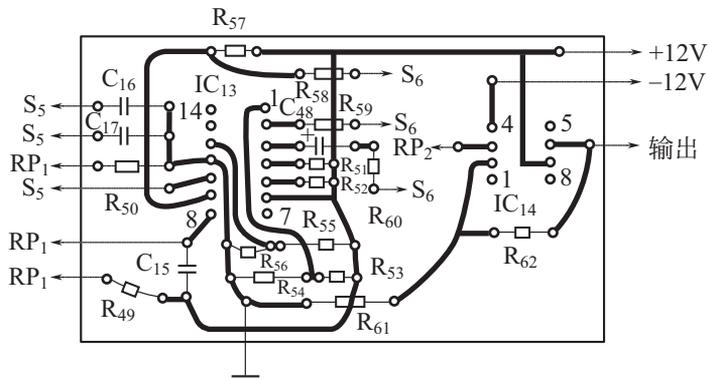


图 7-59 函数信号发生器电路板图

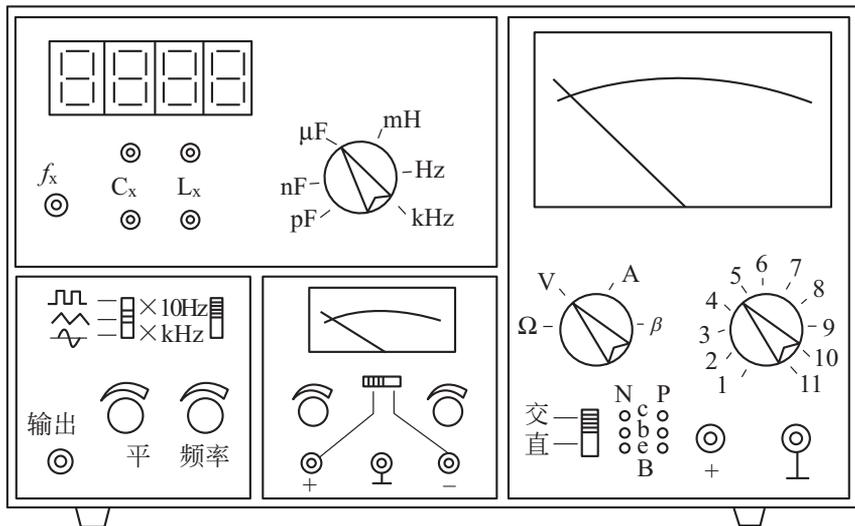


图 7-60 整机面板

(1) 调试模拟测量部分

调试模拟测量部分（图 7-48）的步骤如下。

第一步，将 S_1 置于“1”挡，调节 R_1 使 VT_1 源极对地电流为 1mA 。

第二步，将 S_1 置于“6”挡，调节 R_2 使 VT_1 源极对地电流为 $1\mu\text{A}$ 。

第三步，调节 R_{25} 使 VT_2 源极对地电流为 $10\mu\text{A}$ 。

第四步，调节 R_{26} 使 $+12\text{V}$ 对 VT_3 电流为 $10\mu\text{A}$ 。

第五步，将 S_2 置于“V”挡， S_1 置于“5”挡， S_3 置于“直流”挡，表笔处输入 1V 直流电压，调节 R_{28} 使表头 PA 满度。

第六步，将 S_3 改置于“交流”挡，表笔处输入 1V 交流电压，调节 R_{27} 使表头 PA 满度。

(2) 调试函数信号发生器部分

调试函数信号发生器部分（图 7-55）的步骤如下。

第一步，调节 R_{51} 使输出方波对称。

第二步，将 S_5 置于“kHz”挡， RP_1 旋至最高端（动臂靠近 R_{49} ），调节 R_{49} 使输出频率为 100kHz 。

第三步，将 RP_1 旋至最低端（动臂靠近 R_{50} ），调节 R_{50} 使输出频率为 1kHz 。

第四步，反复调节 R_{54} 、 R_{55} ，使输出正弦波失真最小。

数字测量部分和电源电路部分无需调试。至此，无线电综合检测仪整机制作即告完成，可以投入使用了。

第 8 章

实战制胜的法宝—— 技能与技巧

学习电子技术是为了实际应用。掌握一定的电子制作技巧，学会制作电路板、焊接、元器件处理与代换等基本技能，是保证电子制作和维修获得成功的重要环节。也可以说，技能与技巧是电子技术中实战制胜的法宝。

8.1 制作电路板

相信大家对电路板一定不陌生，打开计算机机箱，或者打开手机后盖，都能立即见到上面安装着各种元器件的电路板。电路板或大或小，但不可或缺，它是电子元器件的家，只有在电路板上，电子元器件才构成为电子电路。因此，电路板是电子制作的基础部件，其设计是否合理，制作是否精良，直接关系到电子制作的质量，甚至关系到电子制作的成败。

✦ 8.1.1 设计电路板的一般原则

电路板是依据电路图设计的，不同的电路对电路板有不同的要求，每个设计者也会有各自不同的考虑，但设计电路板的一般原则是普遍适用和应予遵循的。

(1) 关于输入端与输出端走向

设计电路板时，电路输入端与输出端的元器件应尽量远离，如图 8-1 所示。

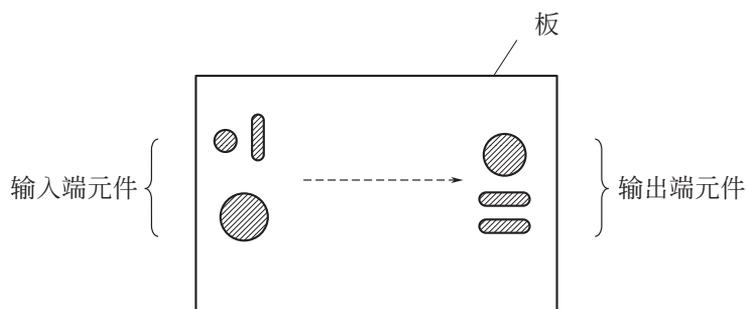


图 8-1 输入输出元器件远离

输入端与输出端的信号线不可靠近，更不可平行，如图 8-2 所示。否则将有可能引起电路工作不稳定甚至自激。

多级电路应按信号流程逐级顺序排列，如图 8-3 所示，不可互相交叉混合，以免引起有害耦合和互相干扰。

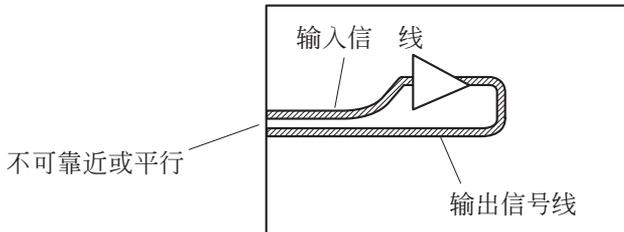


图 8-2 输入输出信号线不可靠近与平行

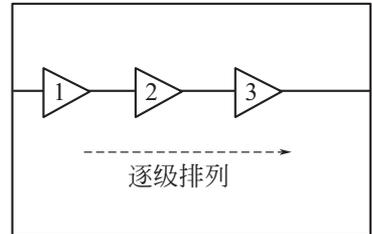


图 8-3 逐级顺序排列

(2) 关于电感元件

电感元件应注意其互相之间的互感作用。需要互感作用的两电感线圈应靠近并平行放置，如图 8-4 所示，它们将通过磁力线进行磁耦合。

不相耦合的电感线圈、变压器等应互相远离，并使其磁路互相垂直，如图 8-5 所示，以避免产生有害的磁耦合。（此书享分多更索搜@雅书B）

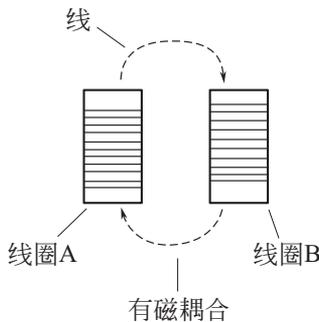


图 8-4 两线圈平行耦合

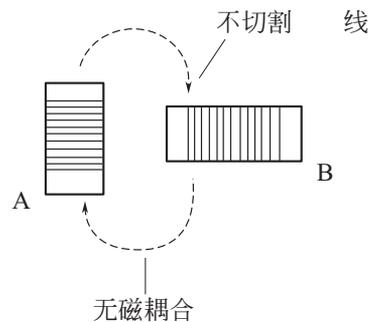


图 8-5 两线圈垂直无耦合

(3) 关于地线

地线不能形成闭合回路，以免因地线环流产生噪声干扰。如图 8-6 所示例子中，图 8-6(a) 地线形成了闭合回路，是错误的。图 8-6(b) 地线未形成闭合回路，是正确的。

(4) 关于高频电路

在高频电路中，可采用大面积包围式地线方式，即将各条信号线以外的铜箔面全部作为地线，如图 8-7 所示。这样能够有效地防止电路自激，提高高频工作的稳定性。高频电路中元器件之间的连线应尽量短，以减少分布参数对高频电路的影响。

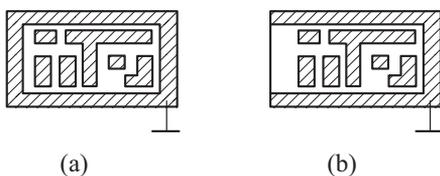


图 8-6 地线不能形成闭合回路

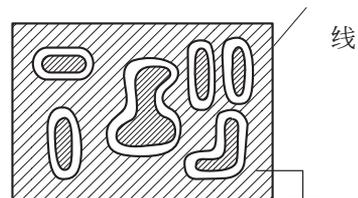


图 8-7 大面积包围式地线

(5) 关于线条宽度和线条间距

电路板上的线条宽度和线条间距应尽量大些,以保证电气要求和足够的机械强度。在一般的电子制作中,可使线条宽度和线条间距分别大于 1mm,如图 8-8 所示。

8.1.2 设计中的注意事项

设计电路板时,除了以上原则必须遵循外,为提高设计质量,还应注意以下几点。

(1) 元器件之间应有适当间距

外壳不绝缘的元器件之间应有适当距离,不可靠得太近,以免相碰造成短路,如图 8-9 所示。

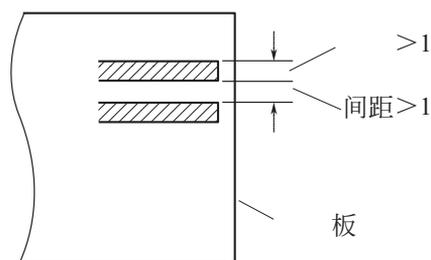


图 8-8 线条宽度和间距 (尺寸单位: mm)

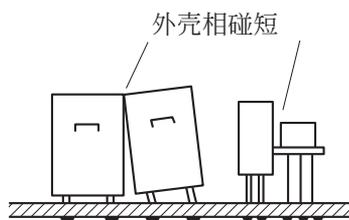


图 8-9 元器件外壳间短路

(2) 防止信号线之间互相干扰

在两条可能引起互相干扰而又无法远离的信号线之间,可以设置一条地线或电源线(对交流等效于地),如图 8-10 所示,利用地线的隔离作用提高电路工作的稳定性。

(3) 注意美观与方便装修

电路板上各元器件应均匀、整齐地排列,同时考虑到安装、焊接、更换的方便,可参考图 8-11 示意图。电位器、可变电容器、开关、插孔插座等与机外有联系的元器件的布局,应与机壳上的相应位置一致。

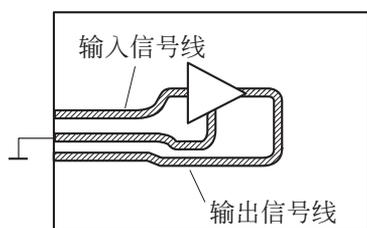


图 8-10 利用地线隔离

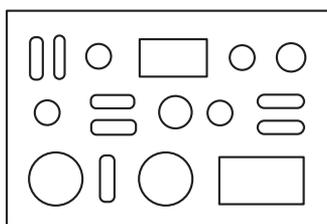


图 8-11 元器件布局整齐

(4) 注意调节方便

机内可调元器件的布局,应考虑调节的方便。从侧面调节的元器件,例如,微调电阻,竖直安装时应设计在电路板的边缘,以便于调节。平卧安装的元器件,例如,微调电容,可从上面进行调节,如图 8-12 所示。

(5) 电路板的安装固定

设计电路板时,应同时考虑电路板的安装固定问题。在考虑元器件布局时,应注意预留出安装固定电路板的螺钉孔,如图 8-13 所示。

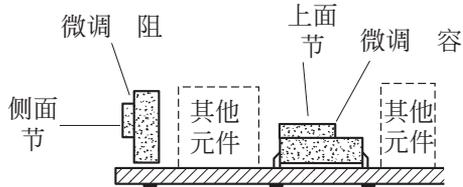


图 8-12 注意调节方便

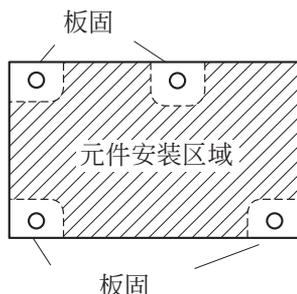


图 8-13 预留电路板固定孔

8.1.3 制作步骤与方法

设计电路板的原则和要点我们都清楚了，现在我们就以一款两管调频无线话筒为例，具体讲解电路板的设计步骤和制作方法。两管调频无线话筒电路如图 8-14 所示。

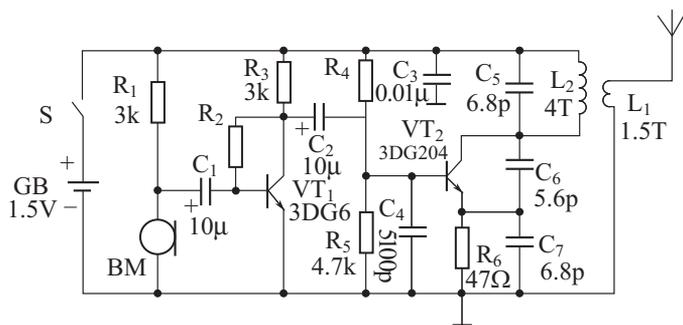


图 8-14 调频无线话筒电路

(1) 确定电路板的形状和尺寸

确定电路板的形状和尺寸，主要是根据机壳和主要元器件来确定。形状一般为长方形，也有正方形或多边形的，尺寸不宜过小。

(2) 初步确定各元器件的位置

调频无线话筒电路为两级，第一级（ VT_1 ）为音频放大级，第二级（ VT_2 ）为高频振荡兼调制级。取从左到右的信号流程方向（也可取其他方向），左半部分安排第一级，右半部分安排第二级。然后依次将各元器件在电路板上的位置初步画下来，如图 8-15 所示。可按照电路图中的相对位置来画，同时确定电路板安装固定孔。

(3) 画电路板草图

按照电路图，画出各元器件之间的连接线，如图 8-16 所示。由于电路板上所有线条都在同一个平面上，因此线与线之间互相不能交叉，如遇交叉必须设法绕行，并适当调整有关元器件的相对位置。这一步工作最关键，有些复杂电路往往要反复几次调整元器件位置才能完成。

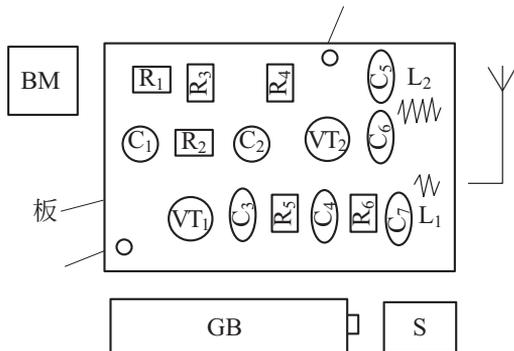


图 8-15 初步确定元器件位置

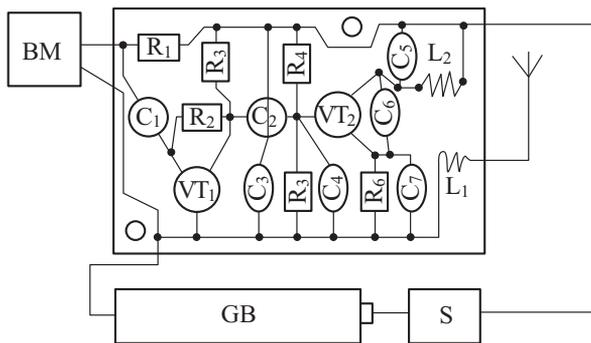


图 8-16 电路板草图

(4) 画正式电路板图

在草图的基础上，将接点处扩大为焊盘，一般焊盘直径应大于 2mm，以保证焊接质量和机械强度。然后将各元器件焊盘之间的连线加粗，并适当调整变形，使线条走向和布局整齐、匀称，如图 8-17 所示。

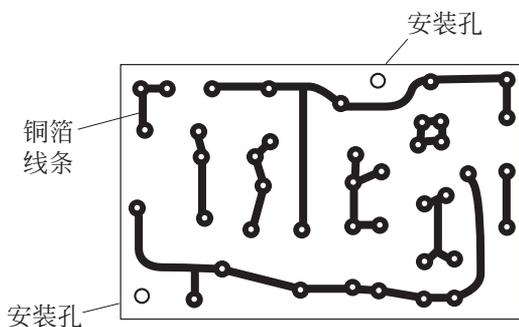


图 8-17 正式电路板图

电路板上线条布局时，如遇线条交叉，必须进行局部元器件位置调整。例如， C_3 上端接电源正极，下端接地（电源负极），从图 8-16 所示电路板草图中可以看到， C_3 与 C_2 互相交叉，由于 C_3 位于 C_2 下方，因此必须使电源线向下延伸，以便与 C_3 连接。

(5) 制作电路板

电路板设计好后，用油漆将正式的电路板图描绘到敷铜板上，将该敷铜板投入三氯化铁溶液中腐蚀去多余的铜箔部分，取出后用清水冲洗干净，并在焊盘处钻出元器件安装孔即可。

如果电路较简单，也可以采用刀刻法制作，即用刀将电路板上不需要的铜箔刻去，留下线条即可。采用刀刻法制作时焊盘与线条均为直线，便于刻制，如图 8-18 所示。

简单电路还可以采用铆钉法制作，如图 8-19 所示。用空心铜铆钉铆牢在胶木板上，作为元器件引脚的焊接处。按照电路图将相关的铜铆钉之间焊上连接导线即可。

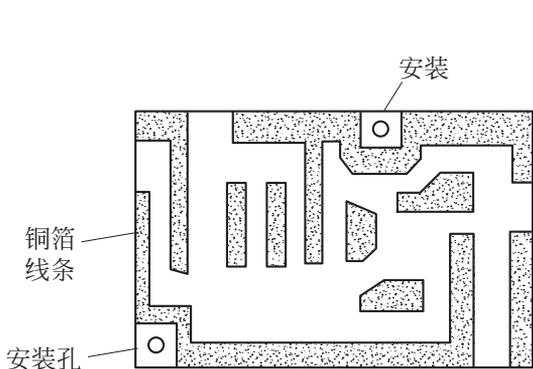


图 8-18 刀刻法制作电路板

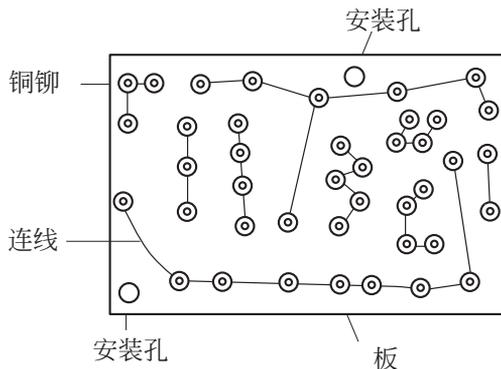


图 8-19 铆钉法制作电路板

(6) 校核

最后对电路板进行校核。将各元器件符号绘入电路板中的相应位置，如图 8-20 所示（图 8-21 所示为刀刻法电路板），对照电路图进行校核无误后，电路板设计制作即告完成。

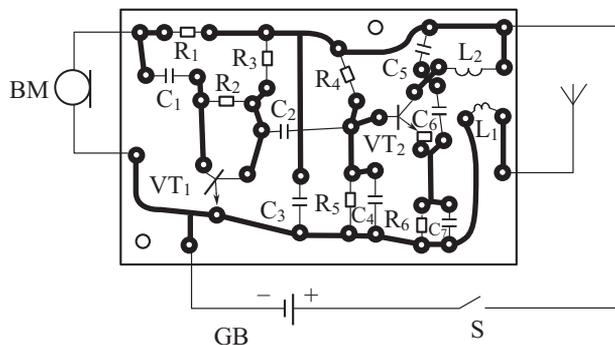


图 8-20 含元器件的电路板

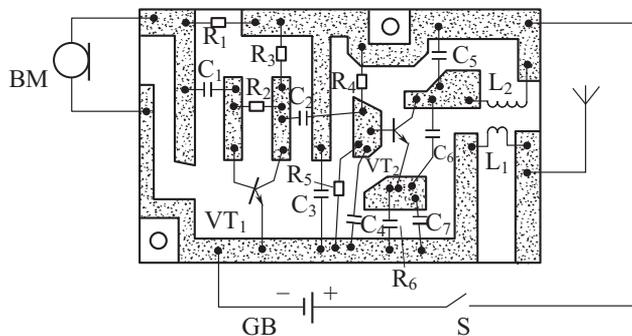


图 8-21 含元器件的刀刻电路板

8.2 焊接技能

电路板设计制作完成后，即可按照电路图进行元器件的焊接安装。虚焊等焊接质量问题，往往是电子制作失败的主要原因。合理选用焊接工具和材料，努力掌握焊接技术和技能，不断提高焊接质量，对于电子制作是十分重要的。

8.2.1 电烙铁与焊料的选用

电烙铁是焊接的必备工具，焊料是焊接的必备耗材，精心选用电烙铁与焊料，是焊接技能的重要方面，也是合格完成焊接任务的前提条件。

(1) 电烙铁的选用

电烙铁是焊接安装的重要工具。电烙铁有内热式、外热式、恒温式等多种形式，功率从几十瓦到数百瓦不等，具有多种规格可供选择。

内热式电烙铁如图 8-22 所示，发热元件插入在烙铁头内，因而热效率较高，体积小、重量轻。内热式电烙铁功率一般较小，适合焊接电子电路板。一般电子制作可选用 25~

40W 的内热式电烙铁。



图 8-22 内热式电烙铁

外热式电烙铁如图 8-23 所示，发热元件包裹在烙铁头外。外热式电烙铁功率可达数百瓦，适合焊接较大型的元器件和金属结构件。

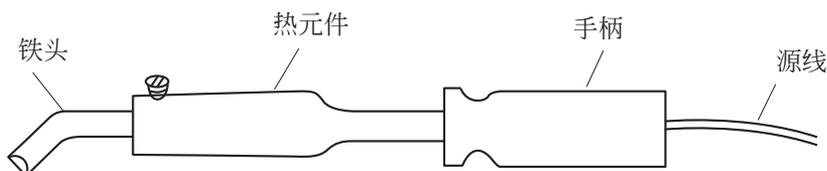


图 8-23 外热式电烙铁

恒温式电烙铁是一种新型电烙铁，如图 8-24 所示，电烙铁手柄内具有恒温控制电路，能够自动将烙铁头的温度控制在设定的温度值。在电烙铁手柄上有一个温控旋钮，用以调节设定电烙铁的温度。恒温式电烙铁适用于对焊接温度要求较高的元器件的焊接安装。



图 8-24 恒温式电烙铁

(2) 焊料与助焊剂的选用

焊料与助焊剂都是焊接中不可缺少的材料，合理选用焊料和助焊剂，是确保焊接质量的重要环节。

焊料的作用是将被焊接的元器件、导线与电路板牢固地连接在一起。对焊料的要求是要保证接点的长期牢固和导电良好。焊料可加工成条状、块状或丝状等。焊料应首选焊锡丝，特别是内心灌装有松香粉末（助焊剂）的松香心焊锡丝，由于熔点较低、使用方便，是电子制作焊接中的首选焊料。焊铁皮桶等的焊锡块因含杂质较多，不宜使用。

助焊剂的作用是改善焊接性能、增强焊接牢固度。常用助焊剂有松香、松香溶液、焊锡膏、焊油等。电子制作焊接应选用松香作助焊剂。焊锡膏、焊油等具有腐蚀性，不可用于焊接电子元器件和电路板。电路板上已涂有松香溶液的，元器件焊入时不必再用助焊剂。

❖ 8.2.2 电路板表面的处理

虚焊等焊接质量问题往往是制作失败的原因之一。努力提高焊接质量对于初学者是十分重要的。在电路板的处理过程中应着重注意以下环节。

(1) 清除铜箔面氧化层

电路板制好后，首先应彻底清除铜箔面氧化层，一般情况下可用擦字橡皮擦，这样不易损伤铜箔，如图 8-25 所示。

有些电路板，由于受潮或存放时间较久，铜箔面氧化严重，用橡皮不易擦净的，可先用

细砂纸轻轻打磨，如图 8-26 所示，而后再用橡皮擦，直至铜箔面光洁如新。

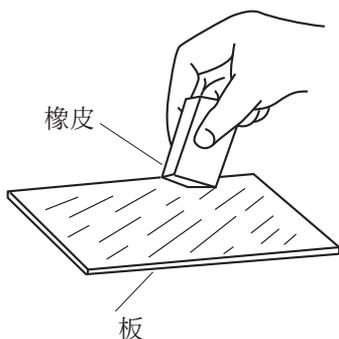


图 8-25 橡皮清除氧化层

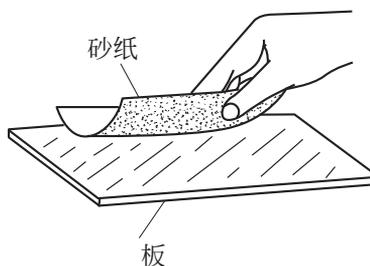


图 8-26 砂纸清除氧化层

(2) 涂覆助焊保护层

清洁好的电路板，最好涂上一层松香水作为助焊保护层。松香水的配制方法是将松香碾成粉末，溶解于 2~3 倍的酒精中即可。松香水浓一些效果较好。用干净毛笔或小刷子蘸上松香水，在电路板的铜箔面均匀地涂刷一层，然后晾干即可。松香水涂层很容易挥发硬化，覆盖在电路板上既是保护层（保护铜箔不再氧化），又是良好的助焊剂。

✦ 8.2.3 元器件引脚与导线线头的处理

所有元器件的引脚和连接导线的线头，在焊入电路板之前，都必须清洁后镀上锡。有的元器件出厂时引脚已镀锡，但因长期存放而氧化，所以也应重新清洁后镀锡。

(1) 元器件引脚的处理

清洁元器件引脚可用橡皮擦，如图 8-27 所示。对于氧化严重的元器件引脚，可用小刀等利器将其刮净，如图 8-28 所示。在用小刀刮的过程中应注意旋转元器件引脚，务求将引脚的四周一圈全部刮净。

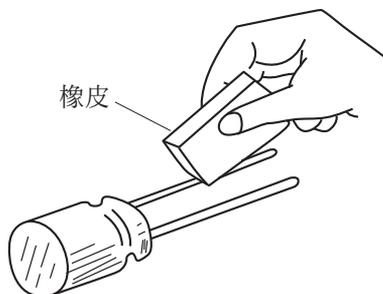


图 8-27 橡皮清洁引脚

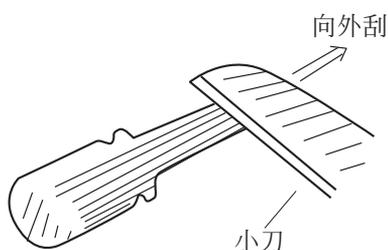


图 8-28 小刀清洁引脚

清洁后的元器件引脚应及时镀上锡，以防再度氧化。镀锡方法如图 8-29 所示，电烙铁头部蘸锡后，在松香的助焊作用下，沿元器件引脚拖动，即可在引脚上镀上薄薄的一层焊锡。

(2) 漆包线或纱包线线头的处理

有一些电感类元器件是用漆包线或纱包线绕制的，例如，输入、输出变压器是用漆包线绕制的，高频扼流

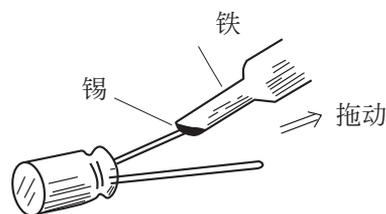


图 8-29 引脚镀锡

圈是用单股纱包线或漆包线绕制的，天线输入线圈一般是用多股纱包线绕制的，也有用漆包线绕制的。

漆包线是在铜丝外面涂了一层绝缘漆，纱包线则是在单股或多股漆包线外面再缠绕上一层绝缘纱。由于漆皮和纱层都是绝缘的，装机时如果不把这类引脚线上的漆皮和纱层去掉就焊接，表面看是焊起来了，实际上是假焊，电气上并未接通，其结果肯定是装机失败。因此，焊接前一定要把引脚线上的漆皮和纱层去除干净，方法如下。

去除漆皮和纱层一般常用刀刮法，即用小刀或断锯条将漆皮刮掉，边刮边旋转漆包线一周以上，将线头四周的漆皮刮除干净，如图 8-30 所示。单股纱包线也可用此法，将纱层与漆皮一起直接刮去。

对于多股纱包线，应先将纱层逆缠绕方向拆至所需长度后剪掉，如图 8-31 所示，然后再按图 8-30 所示方法刮去漆皮。

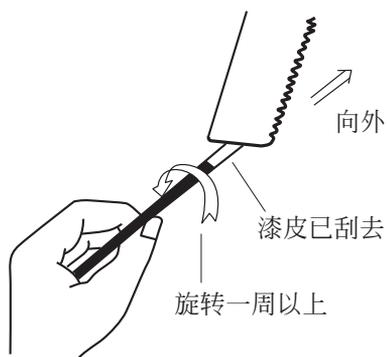


图 8-30 刮除漆皮和纱层

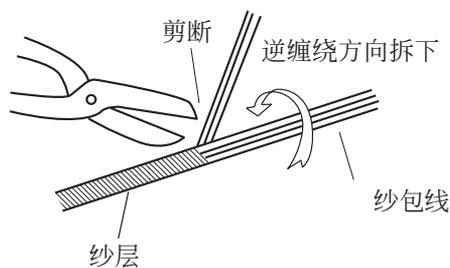


图 8-31 剪掉纱层

去除漆皮和纱层还可用火烧法，即用火柴或打火机将线头上的漆皮和纱层烧掉，如图 8-32 所示。然后如图 8-33 所示抹去线头上残留的灰末。对于较细的漆包线和纱包线，注意烧的时间不可太长，以免烧化铜丝。

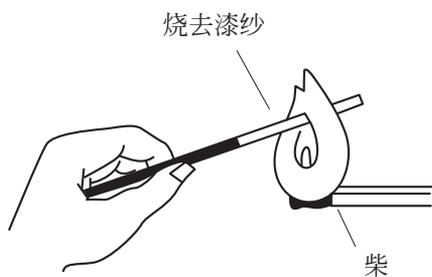


图 8-32 烧掉漆皮和纱层

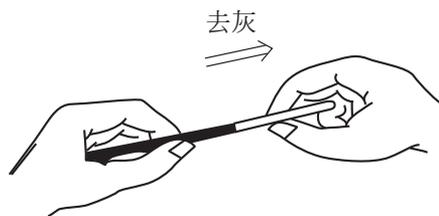


图 8-33 抹去灰沫

采用刀刮法或火烧法去除漆皮和纱层后，应即用蘸有焊锡和松香的电烙铁在线头上镀上锡备焊。镀锡方法与元件引脚镀锡方法相同。

很细的漆包线和纱包线，极易被刮断或烧断，可采用烫蹭法处理。将线头放在木板上，用蘸有焊锡和松香的烙铁头压在线头上，如图 8-34(a) 所示，然后将线头抽出，旋转一个角度后再重复以上动作，如图 8-34(b) 所示。重复旋转烫蹭漆包线或纱包线一周以上，线头上的漆皮和纱层即被蹭去，线头同时也已镀上了锡。

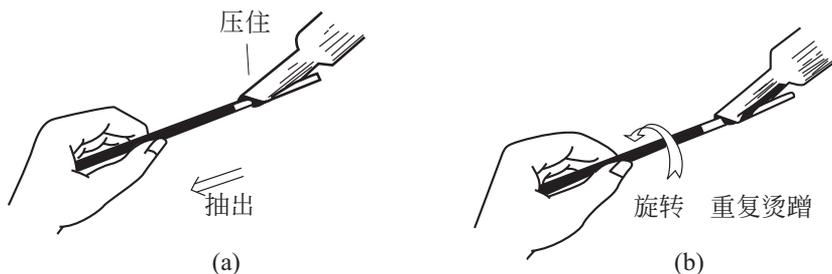


图 8-34 烫蹭法处理线头

8.2.4 焊点形状的控制

焊接时，电烙铁头部蘸锡量要适当，不可太少，也不可太多，如图 8-35 所示。每焊接一个焊点时，将蘸了锡的烙铁头沿元器件引脚环绕一圈，如图 8-36 所示，使焊锡与元器件引脚和铜箔线条充分接触。烙铁头在焊点处再稍停留一下后离开，即可焊出一个光滑牢固的焊点，如图 8-37 所示。

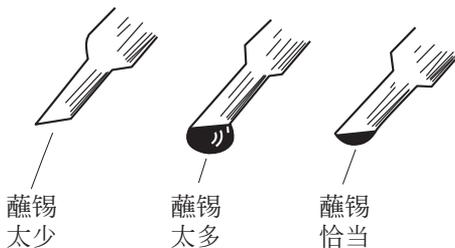


图 8-35 蘸锡量要适当

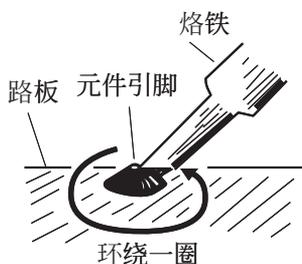


图 8-36 绕焊一圈

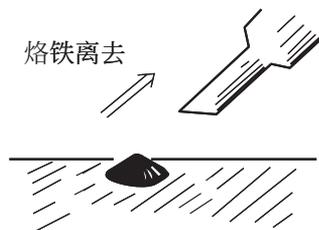


图 8-37 完成焊接

如果烙铁头在焊点停留的时间过短，焊不牢固，而且由于助焊剂未能充分挥发，会形成虚焊。如果烙铁头在焊点停留的时间过长，则可能使焊锡流散，还会烫坏元器件，或烫坏电路板，造成电路板上铜箔线条脱落。

标准的合格的焊点应圆而光滑、无毛刺，如图 8-38 所示。有毛刺的焊点易产生放电干扰，特别是在电压较高、焊点间距较小的情况下。像豆腐渣一样的蜂窝状焊点则是虚焊现象。焊接每个焊点时的用锡量也要掌握适当，如图 8-39 所示，过少过多都不能保证焊接质量。



图 8-38 焊点形状

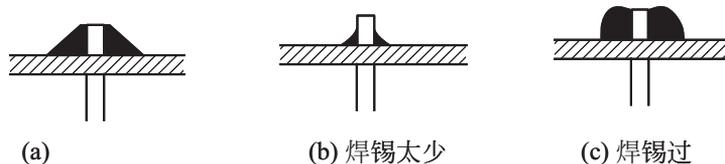


图 8-39 用锡量情况

8.3 元器件安装

元器件是实现电路功能的根本所在，电路板的作用是提供承载元器件的基础和连接线。因此，将元器件正确地安装到电路板上，达到元器件与电路板的亲密接触和完美结合，是电子制作成功的唯一路径。现在我们就来谈谈元器件的安装问题。

8.3.1 安装方式

元器件的规格多种多样，引脚长短不一，装机时应根据需求和允许的安装高度，将所有元器件的引脚适当剪短、剪齐，如图 8-40 所示。

元器件在电路板上的安装方式主要有立式和卧式两种。

(1) 立式安装

立式安装如图 8-41 所示，元器件直立于电路板上，应注意将元器件的标志朝向便于观察的方向，以便校核电路和日后维修。元器件立式安装占用电路板平面面积较小，有利于缩小整机电路板面积。

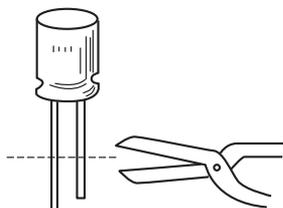


图 8-40 剪短元器件引脚

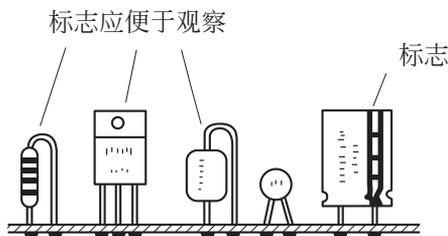


图 8-41 立式安装

(2) 卧式安装

卧式安装如图 8-42 所示，元器件横卧于电路板上，同样应注意将元器件的标志朝向便于观察的方向。元器件卧式安装时可降低电路板上的安装高度，在电路板上部空间距离较小时很适用。根据整机的具体空间情况，有时一块电路板上的元器件往往混合采用立式安装和卧式安装方式。

由于安装环境的限制，有些元器件的引脚在安装焊接到电路板上时需要折转方向或弯曲。但应注意，所有元器件的引脚都不能齐根部折弯，如图 8-43 所示，以防引脚齐根折断。塑封半导体器件如齐根折弯其引脚，还可能损坏管芯。元器件引脚需要改变方向或间距时，应采用如图 8-44 所示的正确的方法来折弯。

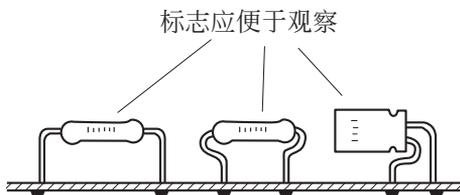


图 8-42 卧式安装

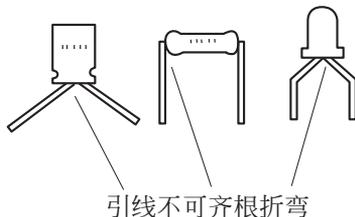


图 8-43 元器件引脚不可齐根折弯

(3) 直接搭焊

对于一些较简单的电路，也可以将元器件直接搭焊在电路板的铜箔面，如图 8-45 所示。采用元器件搭焊方式可以免除在电路板上钻孔，简化了制作工艺。

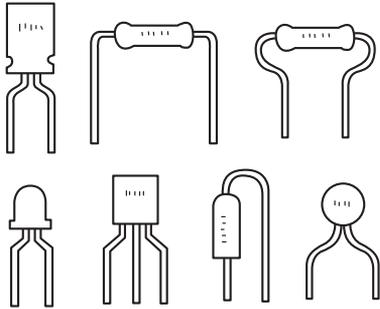


图 8-44 引脚折弯的正确方法

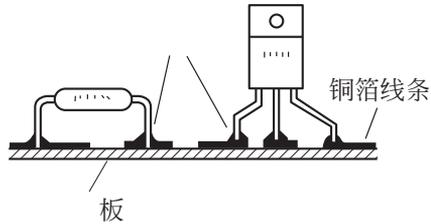


图 8-45 直接搭焊安装

(4) 螺钉固定较大元器件

对于金属大功率管、变压器等自身分量较重的元器件，仅仅直接依靠引脚的焊接已不足以支撑元器件自身重量，应用螺钉固定在电路板上，如图 8-46 所示，然后再将其引脚焊入电路板。

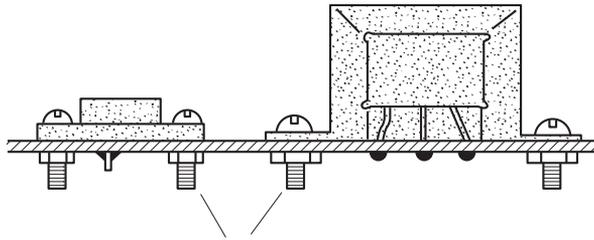


图 8-46 螺钉固定较大元器件

8.3.2 集成电路空闲引脚的处置

由于 CMOS 电路具有极高的输入阻抗，极易感应干扰电压而造成逻辑混乱，甚至损坏。因此，对于 CMOS 数字电路空闲的引脚不能简单地不管，应根据 CMOS 数字电路的种类、引脚的功能和电路的逻辑要求，分别不同情况进行处置。

(1) 多余输出端的处理

对于多余的输出端，一般将其悬空即可，如图 8-47 所示。

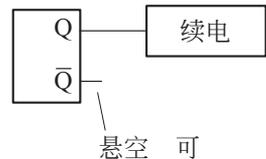


图 8-47 多余输出端悬空

(2) 多余门电路或触发器的处理

CMOS 数字电路往往在一个集成块中包含有若干个互相独立的门电路或触发器。对于一个集成块中多余不用的门电路或触发器，应将其所有输入端接到系统的正电源 V_{DD} ，如图 8-48 所示。

也可以将一个集成块中多余不用的门电路或触发器的所有输入端接地，如图 8-49 所示。

(3) 门电路多余输入端的处理

门电路往往具有多个输入端，而这些输入端不一定全都用上，应根据具体情况分别处理。

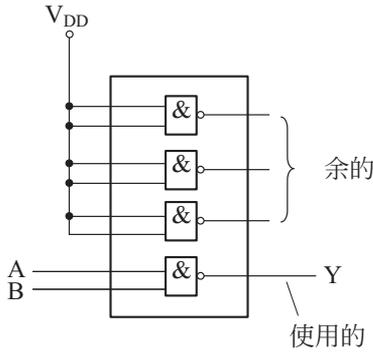


图 8-48 多余电路输入端接正电源

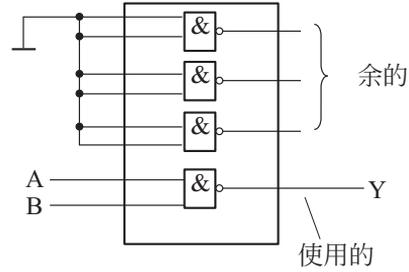


图 8-49 多余电路输入端接地

对于与门、与非门多余的输入端，应将其接正电源 V_{DD} ，如图 8-50 所示，以保证其逻辑功能正常。

对于或门、或非门多余的输入端，应将其接地，如图 8-51 所示，以保证其逻辑功能正常。

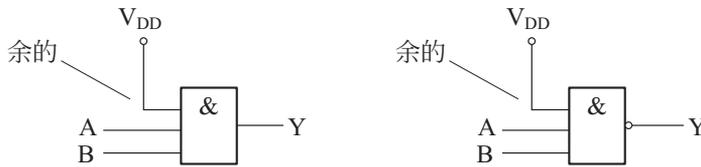


图 8-50 与门多余输入端接正电源



图 8-51 或门多余输入端接地

与门、与非门、或门、或非门多余的输入端，还可将其与使用中的输入端并联在一起，如图 8-52 所示，也能保证其正常的逻辑功能。

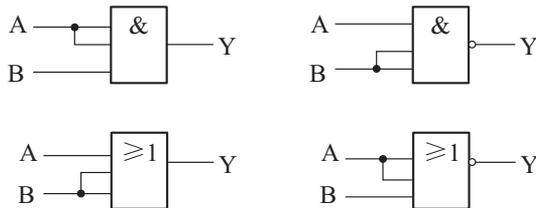


图 8-52 输入端并联使用

(4) 其他数字电路多余输入端的处理

对于触发器、计数器、译码器、寄存器等数字电路不用的输入端，应根据电路逻辑功能的要求，将其接系统的正电源 V_{DD} 或接地。

例如，对于不用的清零端 R （“1”电平清零）或置位端 S （“1”电平置位），应将其接地，如图 8-53(a) 所示。而对于不用的清零端 \bar{R} （“0”电平清零）或置位端 \bar{S} （“0”电平置位），则应将其接正电源 V_{DD} ，如图 8-53(b) 所示。

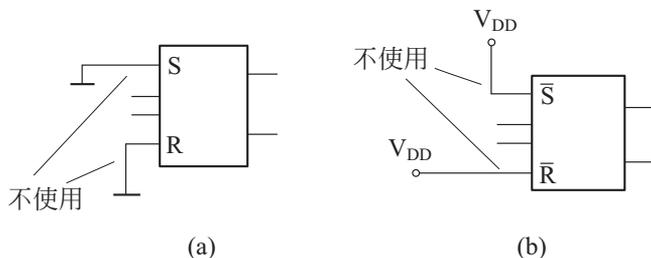


图 8-53 不用的清零端与置位端的处置

8.3.3 屏蔽线与屏蔽罩

对于微弱信号放大电路，特别是放大器输入端引线较长时，为了防止感应干扰信号，应采用屏蔽线和屏蔽罩。对于大信号的非线性电路，为了防止谐波干扰其他电路，也应采用屏蔽罩。

(1) 屏蔽线的屏蔽作用

如图 8-54 所示为放大器输入端引线未采用屏蔽线的情况，干扰电压 U_{in} 在输入端引线上产生干扰电流 I_{in} ，与信号电流 I_i 一起进入放大电路，使得放大器输出信号 U_o 中混进了干扰信号。

放大器输入端引线采用屏蔽线时的情况如图 8-55 所示。由于屏蔽线的外部屏蔽层接地，干扰电压 U_{in} 在屏蔽层产生的干扰电流 I_{in} 被旁路到地，不能进入放大电路，因此放大器输出信号 U_o 中没有干扰信号。

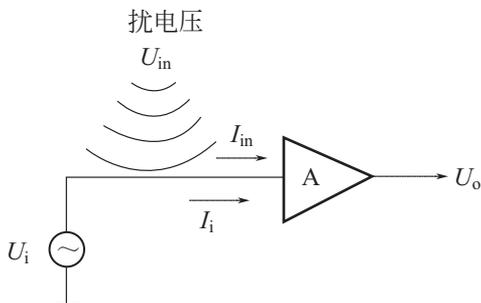


图 8-54 干扰信号的影响

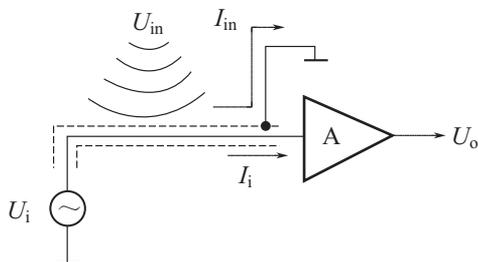


图 8-55 屏蔽线的作用

为保证屏蔽效果，屏蔽线的屏蔽层应一端接地，如图 8-56 所示。如果屏蔽线的屏蔽层两端都接地，干扰信号将会在屏蔽层和地线之间形成环流，严重破坏了屏蔽效果。

(2) 双绞线的屏蔽作用

电源线或大信号连接线常采用双绞线。双绞线也具有屏蔽功能，如图 8-57 所示，当交流电源经双绞线传输给负载时，由于其每一个双绞环节都改变磁通方向，使得交流电流在双绞线上产生的磁通互相抵消，大大减小了对其他电路的电磁干扰。

双绞线也能够抵制外界干扰。当外界干扰磁通作用于双绞线时，在每一个双绞环节产生如图 8-58 所示的干扰电流。由于在每一根导线上各段干扰电流方向相反、大小相等，互相抵消了，干扰电流便不会到达后续电路。

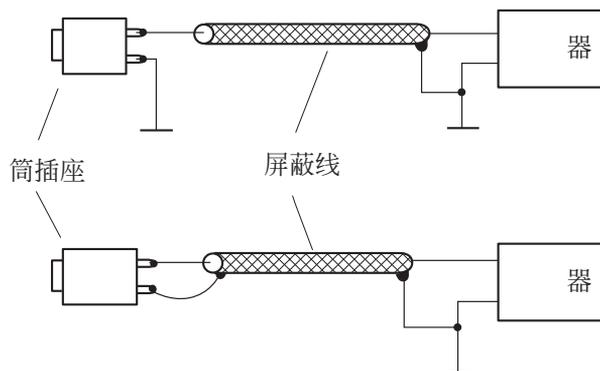


图 8-56 屏蔽层应一端接地

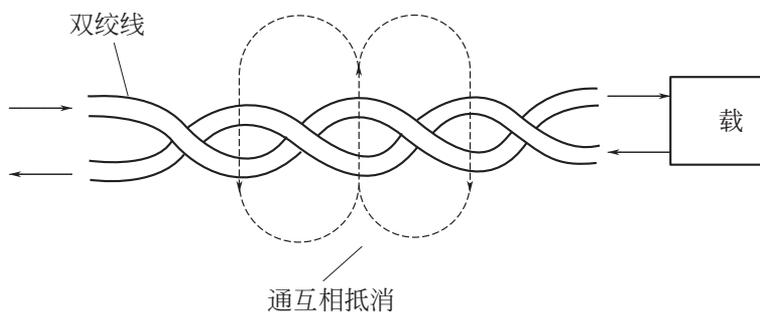


图 8-57 双绞线屏蔽原理

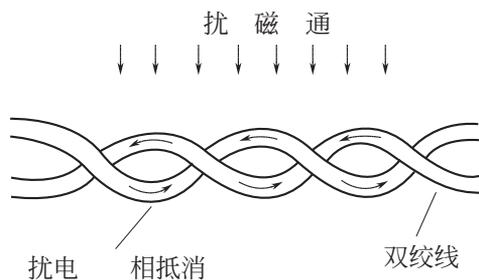


图 8-58 双绞线屏蔽外界干扰

(3) 屏蔽罩的屏蔽作用

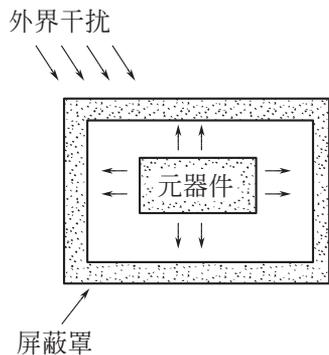


图 8-59 屏蔽罩原理

屏蔽罩的作用如图 8-59 所示，它既能阻止外界杂散信号对屏蔽罩内电路的干扰，又能防止屏蔽罩内电路对外面其他电路的干扰。

电子电路制作中，屏蔽罩一般可用薄铜皮等金属材料制成，将需要屏蔽的元器件等罩起来。屏蔽罩应可靠接地，如图 8-60 所示，否则将不起屏蔽作用。如果屏蔽罩内有可调元器件，可在屏蔽罩的相应位置开个孔，以便调节。

制作和安装屏蔽罩时应注意，罩内罩外的元器件均不得与屏蔽罩相触碰，如图 8-61 所示，以免造成短路。如果屏蔽罩内外空间较小，应在罩内罩外放置绝缘纸，以保证不发生短路。

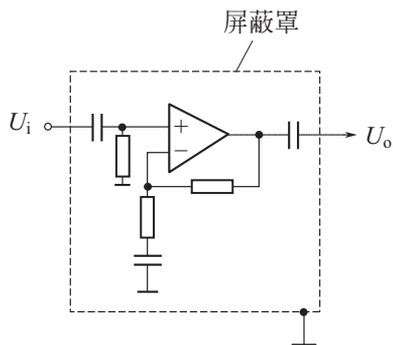


图 8-60 屏蔽罩应接地

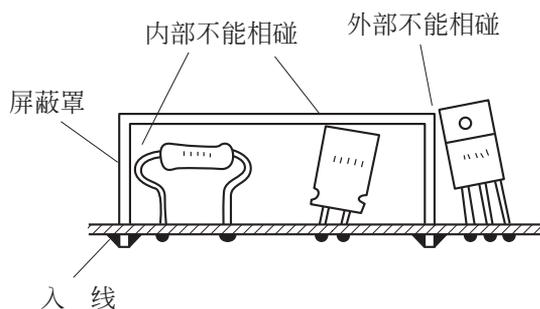


图 8-61 元器件与屏蔽罩不可触碰

8.4 元器件的代用

在电子制作中，难免会遇到某个元器件缺乏的问题，例如，某些电路需要非标准元器件，或者某规格元器件缺货一时难觅，这时我们就可以采用元器件代用的办法来解决难题。下面就来讲讲常用元器件代用的技能与技巧。

8.4.1 电阻器的代用

在电子制作中，当无法找到所需要的阻值的电阻器时，可以采用代用的办法予以解决。代用的办法有多种，最常用的是电阻的串并联。

(1) 增大阻值

电阻串联可以增大总阻值。当两个电阻 R_1 、 R_2 相串联时，等效为一个电阻 R ， R 的阻值等于 R_1 加 R_2 的和，如图 8-62 所示。

当若干个电阻 R_1 、 R_2 、 \dots 、 R_n 相串联时，也等效为一个电阻 R ， R 的阻值等于相串联的所有电阻的和，如图 8-63 所示。

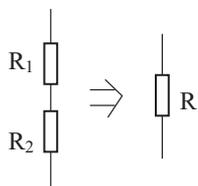


图 8-62 电阻串联

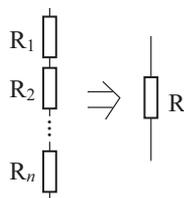


图 8-63 多电阻串联

(2) 减小阻值

电阻并联可以减小总阻值。当两个电阻 R_1 、 R_2 相并联时，等效为一个电阻 R ，其总阻值 $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$ ，如图 8-64 所示。

当若干个电阻 R_1 、 R_2 、 \dots 、 R_n 相并联时，也等效为一个电阻 R ，其总阻值 $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$ ，如图 8-65 所示。

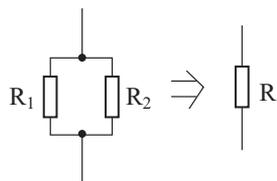


图 8-64 电阻并联

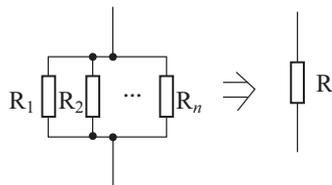


图 8-65 多电阻并联

当两个相同阻值的电阻 R_1 相并联时，其等效电阻的总阻值 $R = \frac{1}{2}R_1$ ，如图 8-66 所示。

当 n 个相同阻值的电阻 R_1 相并联时，其等效电阻的总阻值 $R = \frac{1}{n}R_1$ ，如图 8-67 所示。

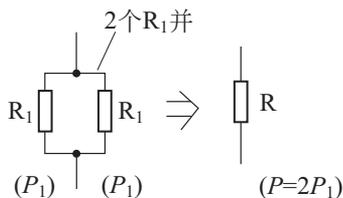


图 8-66 同阻值电阻并联

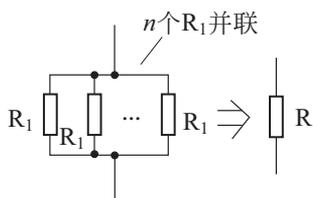


图 8-67 多个同阻值电阻并联

(3) 增大电阻功率

当现有电阻的功率不能满足需要时，可以采用并联的方法增大电阻的功率。如图 8-66 所示为两个相同阻值、相同功率的电阻 R_1 并联，其等效电阻的总阻值 $R = \frac{1}{2}R_1$ ，总功率 $P = 2P_1$ 。

如图 8-68 所示为两个不同阻值的电阻 R_1 、 R_2 相并联时的功率情况。由于两电阻 R_1 、 R_2 的阻值不同，使得流过两电阻的电流 I_1 、 I_2 各不相同，导致 R_1 、 R_2 实际所承受的功率 P_1 、 P_2 也不相同。 $P_1 = I_1^2 R_1$ ； $P_2 = I_2^2 R_2$ 。 R_1 、 R_2 并联后的等效电阻 R 的总功率 $P = P_1 + P_2$ 。

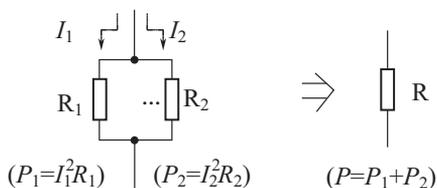


图 8-68 不同阻值电阻并联的功率情况

用 4 个相同阻值、相同功率的电阻串并联，可以实现阻值不变而功率增大到原来的 4 倍。如图 8-69 所示，4 个 R_1 串并联后，其等效电阻的总阻值 $R = R_1$ ，总功率 $P = 4P_1$ 。

8.4.2 电容器的代用

没有合适容量的电容器时，同样也可以采用串并联的方法进行代用。

(1) 增大容量

电容并联可以增大总容量。当两个电容 C_1 、 C_2 相并联时，等效为一个电容 C ， C 的容量等于 C_1 加 C_2 的和，如图 8-70 所示。

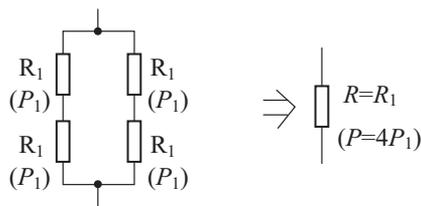


图 8-69 阻值不变增大功率

当若干个电容 C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_n 相并联时，也等效为一个电容 C ， C 的容量等于相并联的所有电容的和，如图 8-71 所示。

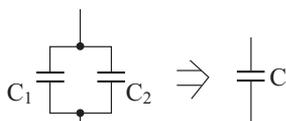


图 8-70 电容并联

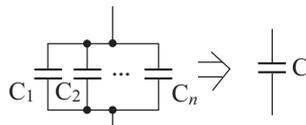


图 8-71 多电容并联

(2) 减小容量

电容串联可以减小总容量。当两个电容 C_1 、 C_2 相串联时，等效为一个电容 C ，其总容量 $C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$ ，如图 8-72 所示。

当若干个电容 C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_n 相串联时，也等效为一个电容 C ，其总容量 $C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$ ，如图 8-73 所示。

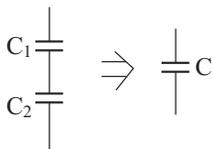


图 8-72 电容串联

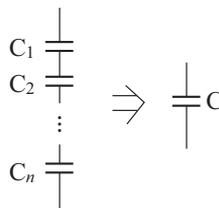


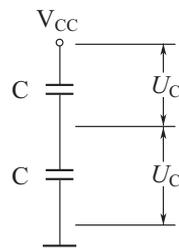
图 8-73 多电容串联

(3) 提高电容器耐压

当现有电容器的耐压不能满足需要时，可以用串联的方法提高电容器的耐压。如图 8-74 所示为两个相同容量的电容 C 相串联后接于电源 V_{CC} 上，每一个电容器上所承受的电压 U_C 只有 $\frac{1}{2}V_{CC}$ 。

(4) 代用无极性电容器

在一些电路中往往需要用到大容量的无极性电容器，可以用有极性的电解电容器反向串联后代用。如图 8-75 所示为两个相同容量的电解电容器 C_1 负极对负极反向串联后，等效为一个无极性的电解电容器 C ，但其容量减小为 C_1 的一半。



如要保持容量不变，可以用 4 个相同容量的有极性电解电容

图 8-74 电容串联提高耐压

器，如图 8-76 所示进行反向串并联，即可等效为一个无极性的电解电容器 C，其容量 $C=C_1$ 。

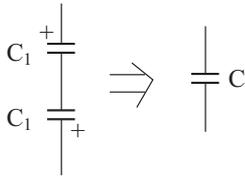


图 8-75 代用无极性电容器

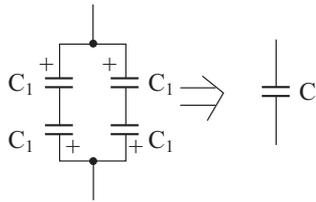


图 8-76 容量不变的无极性电容器

8.4.3 晶体二极管的代用

没有符合要求的晶体二极管时，可以用多种方法进行代用。晶体二极管的代用原则包括以下几点。

一是代用管必须与电路规定的二极管的材料与极性一致，即锗管代锗管，硅管代硅管。这主要是因为锗管与硅管的管压降不一样，如果直接代用，电路将不能正常工作。

二是代用管的相关参数指标不得低于电路规定的二极管。代用整流二极管的最大整流电流和最大反向电压两项极限参数不得低于原管，否则将有可能被烧毁或被击穿。代用检波二极管的最高工作频率不能低于原管，否则不能正常工作。稳压二极管应注意代用管的稳定电压必须与原管一样，最大工作电流不低于原管。

三是尽量使用用途相同或相近的二极管进行代用。例如，用一种型号的整流管代替另一种型号的整流管，用一种型号的检波管代替另一种型号的检波管等。也可在符合上述原则的前提下灵活变通。例如，用高频开关管代替检波管，用低频开关管代替小电流整流管等。

(1) 晶体三极管代二极管

晶体三极管可以作为二极管的代用管。如图 8-77(a) 所示为直接利用三极管的一个 PN 结（如基极与发射极间的 PN 结）作为二极管使用，基极为二极管正极，发射极为二极管负极。即使已烧毁了一个 PN 结的三极管也可得到利用。

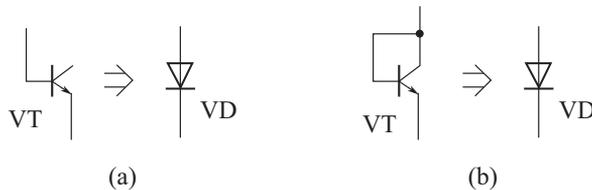


图 8-77 晶体三极管代二极管

如图 8-77(b) 所示为将三极管的基极与集电极并接在一起作为二极管的正极，发射极仍为二极管负极。一般来讲，高频小功率三极管可代替检波二极管，低频大功率三极管可代替整流二极管。

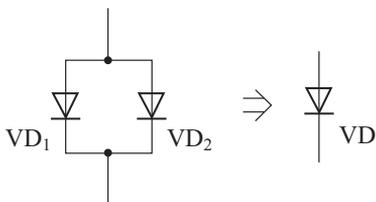


图 8-78 整流二极管并联使用

(2) 二极管并联扩大工作电流

两个二极管并联使用可以扩大工作电流，当没有大电流整流二极管时，可以将两个较小电流的整流二极管并联使用，如图 8-78 所示。

(3) 普通二极管代稳压二极管

二极管正向导通时，其管压降基本不变，因此，普

通二极管可以作低电压稳压二极管的代用管。如图 8-79 所示，硅二极管可作为稳压值为 0.7V 的稳压管使用。

当需要较高的稳压值时，可以将若干个普通硅二极管正向串联。如图 8-80 所示为两个硅二极管正向串联，等效为一个稳压值为 1.4V 的稳压管。

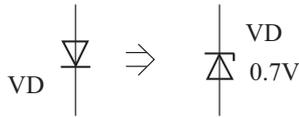


图 8-79 二极管代稳压管

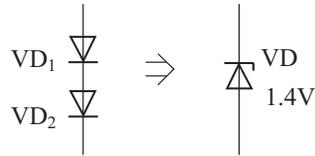


图 8-80 两二极管串联提高稳压值

8.4.4 晶体三极管的代用

没有规定型号的晶体三极管时，也可以用代用的办法解决问题。晶体三极管代用时必须遵循以下原则。

一是代用管必须与电路规定的晶体管导电类型一致。即 NPN 型的晶体管只能用 NPN 型的代用管，PNP 型的晶体管只能用 PNP 型的代用管，否则电路将不能工作。

二是代用管的各项极限参数指标不得低于电路规定的晶体管指标。晶体管主要的极限参数有三项：集电极-发射极间反向击穿电压 BV_{CEO} 或集电极-发射极间最高耐压 V_{CEO} ，集电极最大允许电流 I_{CM} ，集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 。代用管的这三项极限参数必须都等于或高于原管，否则代用管将有可能被击穿或烧毁。在低压小制作电路中，代用管的 BV_{CEO} （或 V_{CEO} ）只要高于电路的电源电压 2 倍以上即可，并非一定要达到原管的 BV_{CEO} （或 V_{CEO} ）指标。

三是代用管的主要交直流参数指标应基本上与原管相似，或者高于原管。主要的参数有电流放大系数 β 和特征频率 f_T 两项。代用管的这两项指标如果过低，电路效果将大受影响，甚至不能正常工作。

四是电路中对晶体管有具体要求或特殊要求的，代用管也必须能满足这些要求。例如，正向 AGC 管，只能用正向 AGC 管代用。

(1) 提高电流放大系数

达林顿复合管可以极大地提高晶体管的电流放大系数 β 。当需要 β 值很大的晶体管时，可以用两个晶体管组成达林顿管。这两个晶体管的导电性可以相同，也可以不同。如图 8-81 所示为两个 NPN 管组成的达林顿管，等效为一个高 β 的 NPN 管， $\beta = \beta_1 \beta_2$ 。

如图 8-82 所示为一个 PNP 管和一个 NPN 管组成的达林顿管，等效为一个高 β 的 PNP 管， $\beta = \beta_1 \beta_2$ 。利用这种达林顿复合形式，可以改变大功率管（ VT_2 ）的导电性，即将 NPN 大功率管转变为 PNP 大功率管。

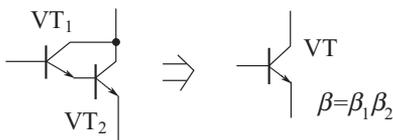


图 8-81 达林顿复合管（一）

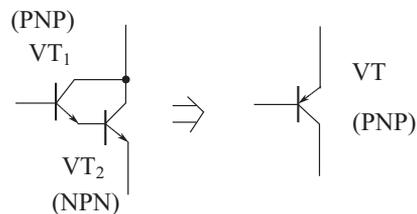


图 8-82 达林顿复合管（二）

(2) 提高输出功率

晶体管并联使用可以提高输出功率。当一个晶体管的功率不能满足电路需要时，可以将几个型号相同、性能参数尽可能一致的晶体管并联运用。如图 8-83 所示为两个相同晶体管 VT_1 并联，等效为一个大功率晶体管 VT ，其输出功率为单个晶体管的两倍，即 $P=2P_1$ 。

晶体管并联运用时，由于各管参数的不可能完全一致，势必导致其中一个管子流过的电流过大，有可能造成损坏。因此，应在各晶体管的发射极串入适当的均流电阻。如图 8-84 所示， R_1 、 R_2 分别为 VT_1 、 VT_2 的均流电阻，阻值通常为 $0.1\sim 0.5\Omega$ 。

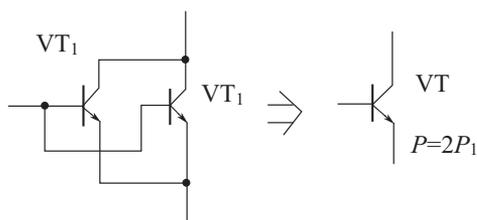


图 8-83 晶体管并联

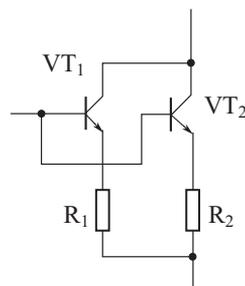


图 8-84 晶体管均流电阻

(3) 提高耐压

晶体管串联使用可以提高耐压。当一个晶体管的耐压不能满足电路需要时，可以将几个型号相同、性能参数尽可能一致的晶体管串联运用。如图 8-85 所示为两个相同晶体管相串联，每个晶体管只需要承受 $1/2$ 的电压。 R_1 、 R_2 分别为 VT_1 、 VT_2 的均压电阻。

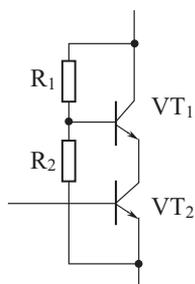


图 8-85 晶体管串联

8.4.5 光电三极管的代用

光电三极管灵敏度高、输出光电流大，在电子制作中应用广泛。当没有光电三极管时，可以用光电二极管、光敏电阻、光电池和晶体三极管组合代用。

(1) 用光电二极管代

如图 8-86 所示，光电二极管 VD 与 NPN 型晶体管 VT_1 组合后，等效为一个 NPN 型光电三极管 VT 。如图 8-87 所示，光电二极管 VD 与 PNP 型晶体管 VT_2 组合后，即等效为一个 PNP 型光电三极管 VT 。

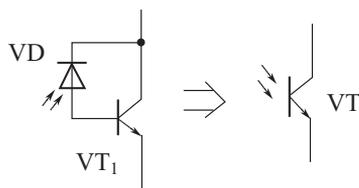


图 8-86 光电二极管代光电三极管（一）

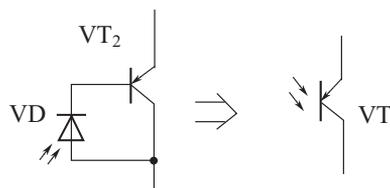


图 8-87 光电二极管代光电三极管（二）

(2) 用光敏电阻代

光敏电阻也可以构成光电三极管的代用管。如图 8-88 所示，光敏电阻 R 与 NPN 型晶

晶体管 VT_1 组合后，等效为一个 NPN 型光电三极管 VT 。同理，如果光敏电阻与 PNP 型晶体管组合后，即等效为一个 PNP 型光电三极管。

(3) 用光电池代

光电池也可以构成光电三极管的代用管。如图 8-89 所示，光电池 BP 与 NPN 型晶体管 VT_1 组合后，等效为一个 NPN 型光电三极管 VT 。同理，如果光电池与 PNP 型晶体管组合后，即等效为一个 PNP 型光电三极管。

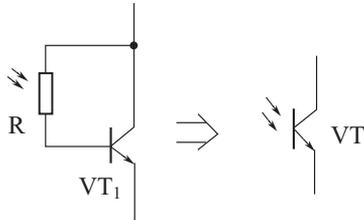


图 8-88 光敏电阻代光电三极管

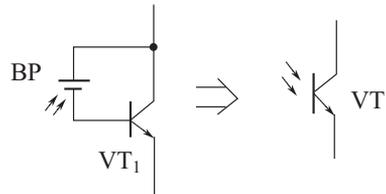


图 8-89 光电池代光电三极管

❖ 8.4.6 晶体闸流管的代用

晶体闸流管在自动控制方面应用较多。当没有合适的晶体闸流管时，可以用以下方法代用。

(1) 单向晶闸管的代用

单向晶闸管可以用晶体管电路模拟。PNP 型晶体管 VT_1 与 NPN 型晶体管 VT_2 如图 8-90 所示方式组合后，等效为一个单向晶闸管 VS 。 VT_1 的发射极等效为单向晶闸管 VS 的阳极 A， VT_2 的发射极等效为 VS 的阴极 K， VT_2 的基极等效为 VS 的控制极 G。

(2) 双向晶闸管的代用

双向晶闸管可以用两个单向晶闸管代。如图 8-91 所示，两个单向晶闸管 VS_1 、 VS_2 反向并联后，等效为一个双向晶闸管 VS 。两个单向晶闸管 VS_1 、 VS_2 的控制极并联后作为双向晶闸管 VS 的控制极， VS_1 、 VS_2 的阳极和阴极交叉并联后作为 VS 的两个主电极 T_1 、 T_2 。

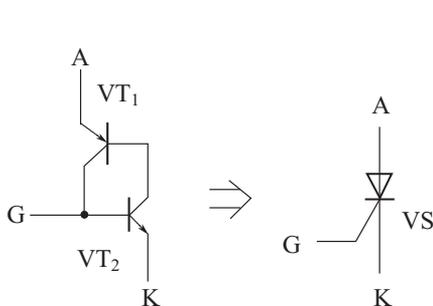


图 8-90 模拟单向晶闸管

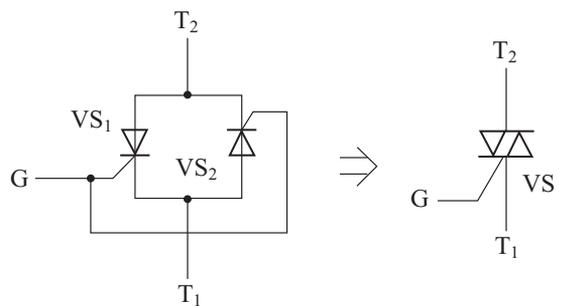


图 8-91 模拟双向晶闸管

❖ 8.4.7 电源变压器的代用

没有适用的 220V 单相电源变压器时，可以采取代用办法解决。电源变压器的代用办法主要是绕组的串并联，以解决包括电压、电流、功率、次级绕组不足等问题。

(1) 改变输出电压

当电源变压器的输出电压不符合要求时，可以通过将其次级绕组适当串联而得到新的输出电压。

次级绕组正向串联可以提高输出电压。所谓正向串联，是指变压器各绕组同名端相连接，即变压器各绕组绕向相同时（几乎所有变压器均如此），一绕组的始端与另一绕组的末端相连接；两绕组绕向相反时，两绕组的始端与始端（或末端与末端）相连接。如图 8-92 所示例子中，电源变压器 T 原有两个次级绕组 T_{b1} 、 T_{b2} 输出电压分别为 6V、12V，当将它们正向串联后，即可得到 18V 的新输出电压，其最大输出电流等于 T_{b1} 、 T_{b2} 中额定输出电流较小的绕组的输出电流。

次级绕组反向串联可以降低输出电压。所谓反向串联，是指变压器各绕组同名端相连接。如图 8-93 所示，电源变压器 T 原有两个次级绕组 T_{b1} 、 T_{b2} 输出电压分别为 3V、25V，当将它们反向串联后，即可得到 22V 的新输出电压。反向串联两绕组的额定电压应有较大差距。

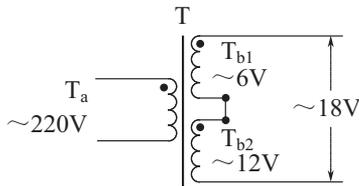


图 8-92 提高输出电压

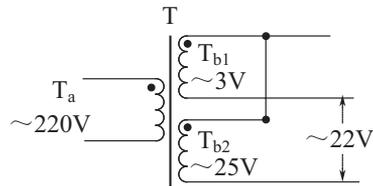


图 8-93 降低输出电压

两个电源变压器次级绕组正向串联也可以提高输出电压。如图 8-94 所示，电源变压器 T_1 、 T_2 输出电压均为 12V，将它们初级并联接入 220V 电源，它们的次级正向串联后即可获得 24V 的输出电压。连接中需注意识别各绕组的同名端，不能接错。

(2) 提高输出电流

将电源变压器的次级绕组并联使用，可以提高变压器的输出电流。并联的各绕组其额定输出电压必须一致。

同一变压器次级绕组的并联。如图 8-95 所示，电源变压器 T 具有两个输出电压 12V、额定电流 1A 的次级绕组 T_{b1} 、 T_{b2} ，将它们同名端相接（始端与始端、末端与末端相接）并联后，即可将输出额定电流提高到 2A。

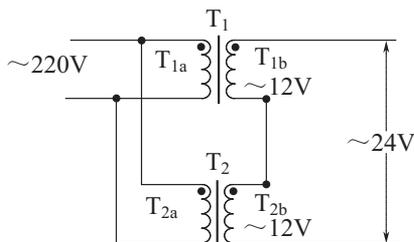


图 8-94 两变压器提高输出电压

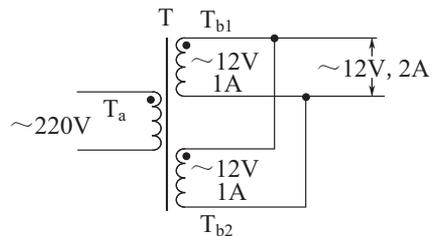


图 8-95 提高输出电流

不同变压器次级绕组的并联。如图 8-96 所示，电源变压器 T_1 和 T_2 分别具有输出电压 15V、额定电流 1.5A 的次级绕组 T_{1b} 、 T_{2b} ，将 T_1 与 T_2 的初、次级均同名端相接并联后，即可将输出额定电流提高到 3A。

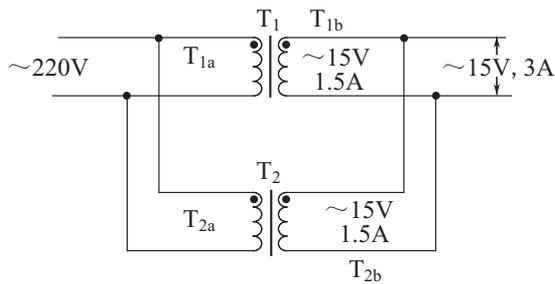


图 8-96 两变压器提高输出电流

(3) 增大功率

当一个电源变压器的额定功率不能满足要求时，可以用两个或两个以上相同的电源变压器并联使用，以获得较大输出功率。例如，缺少 100W 的电源变压器，可以用两个 60W、次级绕组均符合要求的变压器并联代用，如图 8-97 所示。

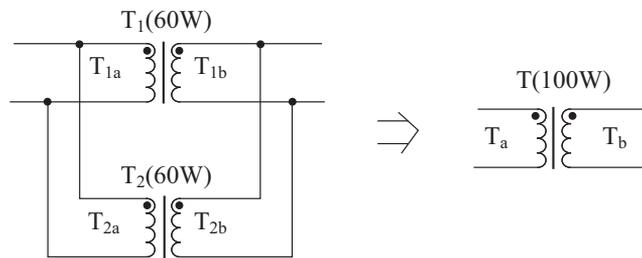


图 8-97 变压器并联增大功率

两个较小功率变压器的效率比一个较大功率变压器的效率要低一些，因此，并联的两个变压器的功率之和，应稍大于需要的功率值。

(4) 增加次级绕组

当电源变压器的次级绕组数量不足时，可以同时使用两个或更多电源变压器。如图 8-98 所示，两个电源变压器 T_1 、 T_2 同时使用，可以等效为一个次级多绕组变压器 T 。 T_1 、 T_2 所有的次级绕组都是等效变压器 T 的次级绕组。

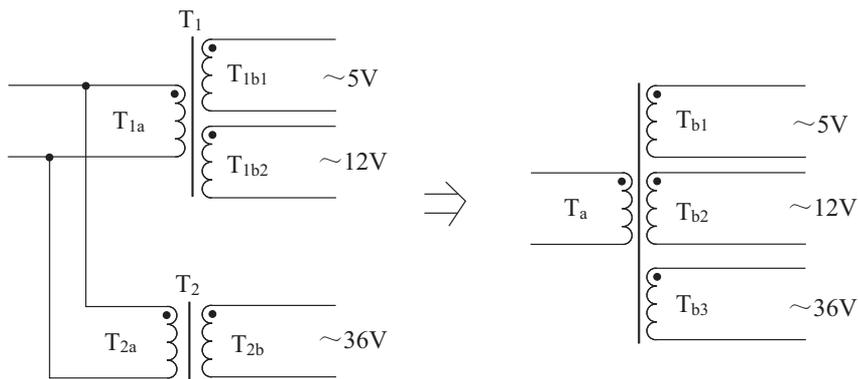


图 8-98 变压器并联增加次级绕组

(5) 变压器各绕组同名端的识别

电源变压器的串并联使用，首要的是搞清楚各绕组的同名端，可用以下方法识别判断。

一是交流电压判断法。首先用万用表交流电压挡测量出电源变压器各个次级绕组的空载电压，然后将两个次级绕组串联起来再测量其电压。如果测得的电压值为该两次级绕组空载电压之和，则其为正向串联，各绕组同名端如图 8-99(a) 所示。如果测得的电压值为该两次级绕组空载电压之差，则其为反向串联，各绕组同名端如图 8-99(b) 所示。

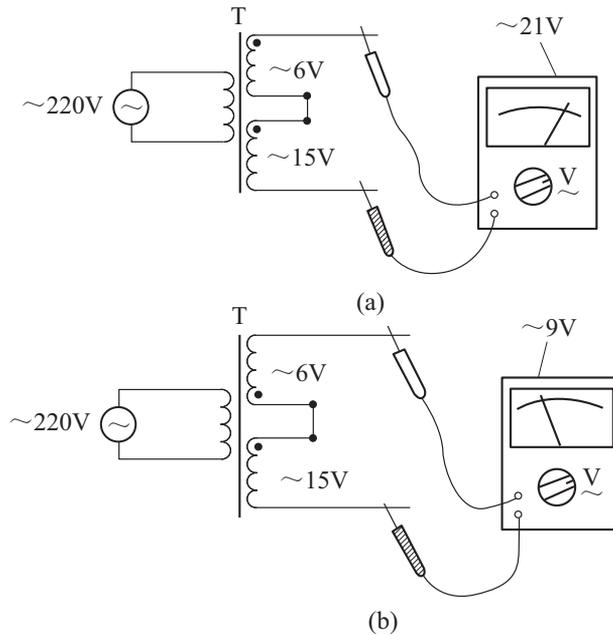


图 8-99 电压法判断绕组同名端

二是直流脉冲判断法。检测电路如图 8-100 所示，将万用表置于直流电压最小挡，两表笔接于某一次级绕组两端。当快速按一下按钮 SB 时（相当于给变压器初级输入一直流脉冲），万用表表针应有摆动。当检测各绕组表针摆动方向一致时，说明同一表笔（红表笔或黑表笔）所接为同名端。

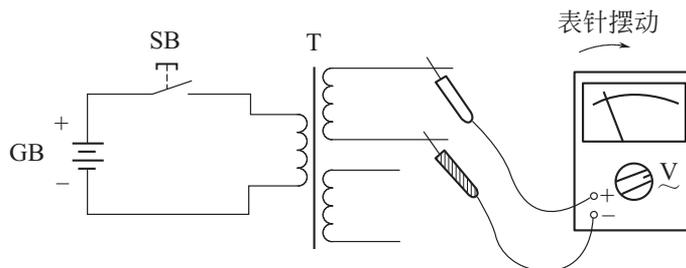


图 8-100 脉冲法判断绕组同名端

8.5 自制元器件

在电子制作中，有些元器件不易购买到。例如，在万用表电路中经常会用到一些非标称电阻，有的阻值非常小。这些非标称电阻一般买不到，但完全可以自己动手自制或改制。

8.5.1 自制电阻器

自制电阻器常用方法是用电阻丝绕制，一些很小阻值的电阻器也可以用细漆包线绕制，下面我们就来一一介绍具体制作方法。

(1) 用电阻丝绕制电阻器

电阻器可以自行用电阻丝绕制，可按下述方法和步骤制作。首先用一小块胶木板制成约长 10mm、宽 5mm 的骨架，在骨架两端各钻一小孔用于固定引线，如图 8-101 所示。

然后剪取两截直径 1mm 左右的裸铜丝，如图 8-102 所示分别穿入骨架两端的小孔并夹紧，作为电阻器的引线。

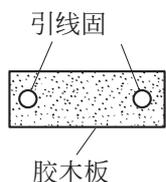


图 8-101 自制电阻器骨架

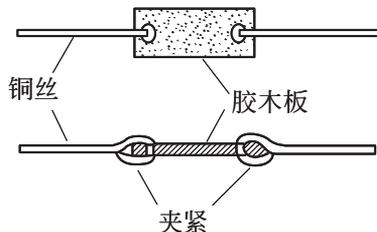


图 8-102 制作电阻器引线

根据所需要的电阻值截取一段电阻丝（其阻值应用万用表欧姆挡测量准确），将其对折后双股并绕在骨架上，如图 8-103 所示。将电阻丝对折后双股并绕，是为了消除电阻丝单股绕制所形成的电感。

电阻丝绕制结束后，将其两个线头分别缠绕固定在左右两端的引线上，并将其焊牢，如图 8-104 所示。

最后在自制电阻器上涂上一层清漆，以提高其绝缘性能和防潮能力，电阻器便制作完成了，其外形如图 8-105 所示。

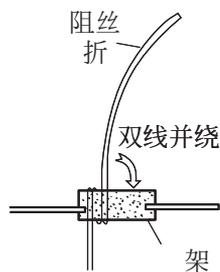


图 8-103 绕电阻丝

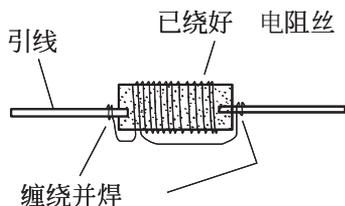


图 8-104 焊牢引线

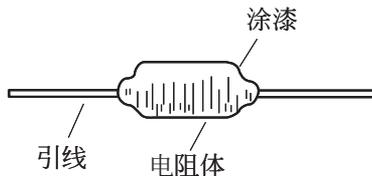


图 8-105 自制完成的电阻器

(2) 用细漆包线绕制

对于数欧以下的特小阻值电阻，也可采用细漆包线对折后绕制，方法相同。表 8-1 所列为几种细漆包线每米长度的电阻值，可供自制电阻器时参考。例如，直径 0.1mm 的漆包

线，长度 10cm 的线段电阻值约为 0.224Ω 。

表 8-1 漆包线的电阻值

线径/mm	每米长度的电阻/ Ω
1.0	0.022
0.5	0.085
0.25	0.357
0.1	2.24
0.08	3.51
0.05	6.90

8.5.2 自制电容器

电容器也可以自制，主要是小容量电容器容易制作，包括固定电容器、微调电容器、可变电容器等。

(1) 自制小容量电容器

小容量的电容器自制很方便，制作方法也很多。将两根互相绝缘的导线（如漆包线等）如图 8-106 所示绞合在一起，便构成了一个小容量电容器，其容量约为几个皮法。电容器的容量与双线绞合的长度有关，绞合越长容量越大。

还可以将一根细漆包线紧密缠绕到一根较粗的漆包线上，如图 8-107 所示，也可以制成电容器，其容量与缠绕的圈数（即包裹粗漆包线的长度）成正比。此方法可以自制几个皮法至几十皮法的电容器。

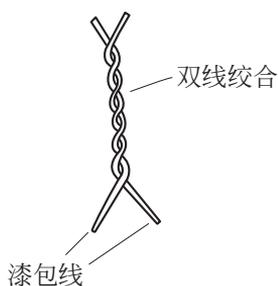


图 8-106 自制绞线电容器

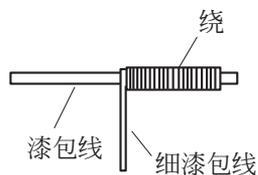


图 8-107 自制缠绕电容器

(2) 自制微调电容器

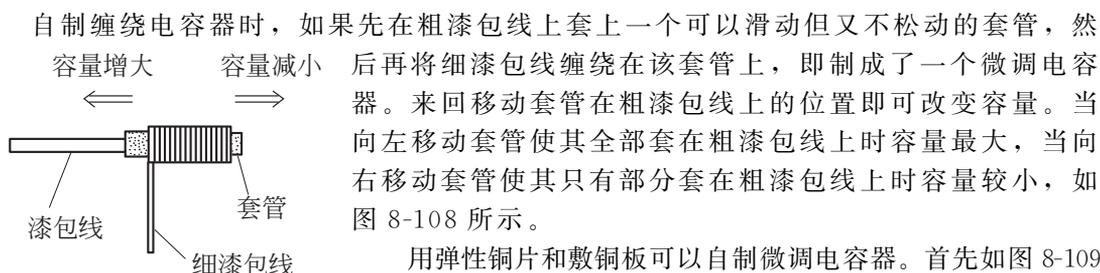


图 8-108 缠绕型微调电容器

自制缠绕电容器时，如果先在粗漆包线上套上一个可以滑动但又不松动的套管，然后再将细漆包线缠绕在该套管上，即制成了一个微调电容器。来回移动套管在粗漆包线上的位置即可改变容量。当向左移动套管使其全部套在粗漆包线上时容量最大，当向右移动套管使其只有部分套在粗漆包线上时容量较小，如图 8-108 所示。

用弹性铜片和敷铜板可以自制微调电容器。首先如图 8-109 所示，用一小块敷铜板刻制成包含定片和动片连接端的电路板，用弹性良好的薄铜片剪成图示形状的动片，用塑料绝缘薄膜剪成

绝缘片，绝缘片的长宽均应稍大于动片。

然后在电路板、动片、绝缘片上按图示位置钻出两个小孔。将绝缘片、动片依次放在电路板上，用空心铜铆钉穿过右侧的小孔将动片铆固在电路板上，并将动片左侧向上稍稍翘起，如图 8-110 所示。绝缘片垫在动、定片之间，应保证动、定片不会相碰。

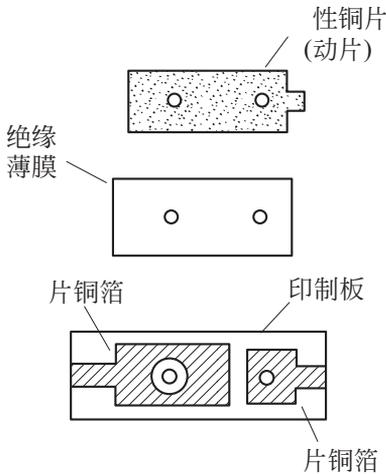


图 8-109 自制微调电容器零件

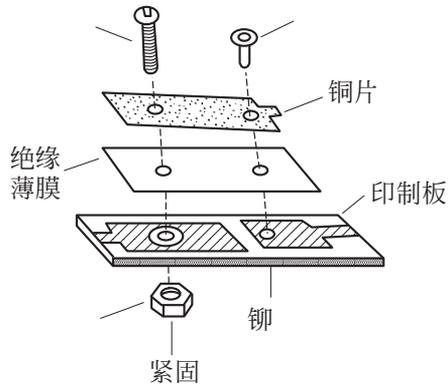


图 8-110 组装微调电容器

再用一枚螺钉穿过左侧的小孔后，拧紧螺母。将动片右侧焊牢在电路板右侧的动片连接端上，微调电容器便做好了，其外形如图 8-111 所示。旋动螺钉即可调节电容量，旋紧螺钉时容量最大，逐渐旋松螺钉时容量逐渐减小。

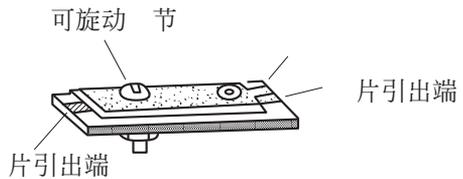


图 8-111 完成的微调电容器

(3) 自制拨动式可变电容器

首先用敷铜板如图 8-112 所示分别刻制成动片和定片的电路板。

将动片（电路板铜箔面朝下）以及弹性铜垫片、塑料绝缘薄膜片，从上往下依次放在定片电路板上，如图 8-113 所示，然后用一铜铆钉穿过中心孔将它们铆固。铆固时不可太紧也不可太松，以既不松动又可转动为好。绝缘片应保证动、定片之间不会短路。

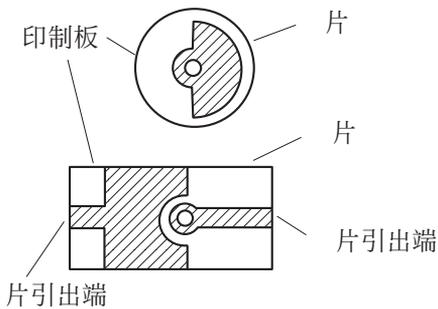


图 8-112 刻制动片和定片

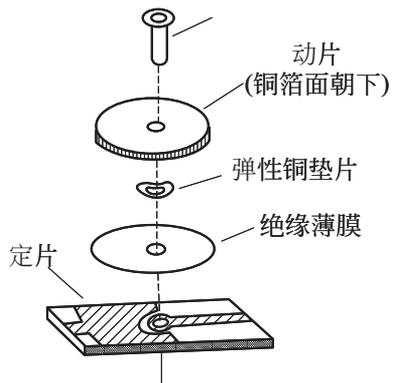


图 8-113 组装可变电容器

做好的可变电容器如图 8-114 所示。来回旋转拨动圆形的动片电路板即可改变电容量。当动片的铜箔面全部覆盖在定片铜箔面上时容量最大，当动片的铜箔面全部离开定片铜箔面上方时容量最小。

8.5.3 自制电感器

电感器实际上就是一个线圈，因此完全可以自行绕制。

(1) 漆包线绕制电感器

电感器可用漆包线绕制。自制电感器可用阻值 $100\text{k}\Omega$ 以上的电阻器作为骨架，用漆包线按要求圈数绕在该电阻器上，如图 8-115 所示。



图 8-114 完成的可变电容器

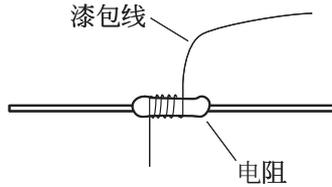


图 8-115 绕制电感器

线圈绕好后，将两线头分别焊牢在电阻器两端的引线上，利用电阻器的两端引线作为自制电感器的引线，如图 8-116 所示。最后在自制电感器上涂上一层绝缘漆。

(2) 自制空芯线圈

在高频回路、功率放大器等电路中，往往需要用到一些电感量很小的电感器，有的还要求通过较大的工作电流。这些电感器一般采用空芯线圈的形式，自制方法如下：用一适当粗细的圆棒作为绕制骨架，用较粗的漆包线在骨架上密绕至规定的圈数，如图 8-117 所示。

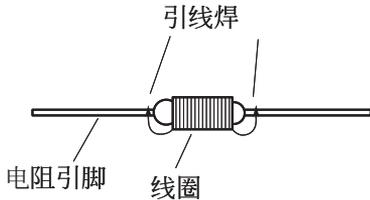


图 8-116 焊牢引线

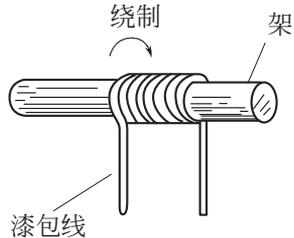


图 8-117 绕制线圈

然后抽去骨架，空芯线圈便脱胎而成，如图 8-118 所示。如果要求为间绕，则将绕好的空芯线圈适当拉长即可。

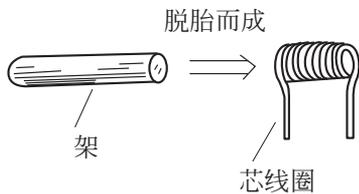


图 8-118 空芯线圈

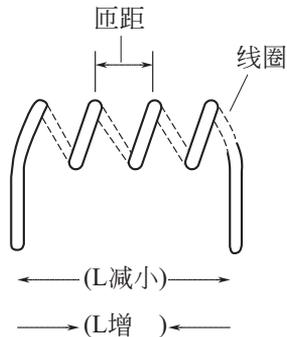


图 8-119 微调电感量

对于已绕制好的空芯线圈，可以通过改变其匝间距离的办法微调电感量。如图 8-119 所示，当拉长线圈长度时，其匝距增大，电感量减小。当压缩线圈长度时，其匝距减小，电感量增大。在高频谐振回路中，常用这种方法微调谐振频率。

8.5.4 自制光电耦合器

光电耦合器是利用光传递电信号的器件，它既传递了电信号，同时又隔离了前后电路，在自动控制方面应用较多。光电耦合器也完全可以自制。

(1) 自制光电耦合器

用一个发光二极管和一个光电管（光电二极管或光电三极管），可以制成简单的光电耦合器。制作方法如图 8-120 所示，取一截内径比发光二极管和光电管直径略粗的不透明塑料管，左侧放入发光二极管，右侧放入光电管，发光二极管的发光面应正对光电管的受光面，两者相距为数毫米。再用环氧树脂等将两个管子与塑料管胶牢封固即可。

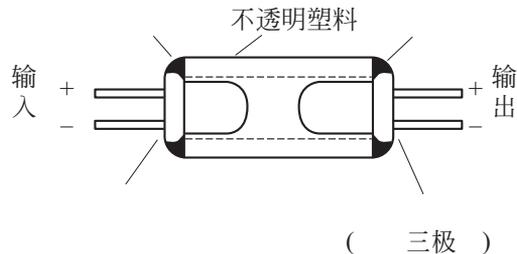


图 8-120 自制光电耦合器

由于发光二极管与光电管外形一样，应在制成的光电耦合器上标明输入端和输出端的正、负极。在选用发光二极管和光电管时应注意，它们的光谱波长应基本相同，否则，影响光电耦合器的效果。

(2) 自制达林顿型光电耦合器

达林顿型光电耦合器电路如图 8-121 所示，VD 为光电二极管，VT₁ 为光电三极管，VT₂ 为晶体三极管，VT₁ 与 VT₂ 之间采用达林顿连接形式。

制作时，如图 8-122 所示刻制一块小电路板，VD 与 VT₁ 组成简单光电耦合器并焊入电路板，再将 VT₂ 焊入电路板，最后罩上一个外壳即可。

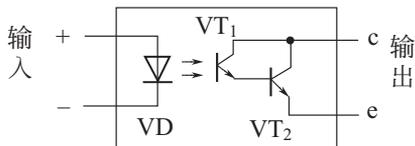


图 8-121 达林顿型光电耦合器电路

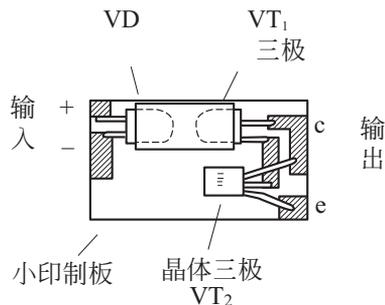


图 8-122 达林顿型光电耦合器结构

8.5.5 自制继电器

继电器也可以自制，我们这里主要讲讲干簧继电器和固体继电器的自制方法。

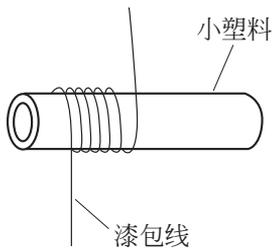


图 8-123 绕组继电器线包

(1) 自制干簧继电器

首先取一段小塑料管，其内部直径比干簧管略大，其长度与干簧管玻璃体长度相当。如图 8-123 所示，用直径 0.1mm 的漆包线在小塑料管上密绕 1500~2000 圈作为继电器线包。

线包绕好后，用两根较粗的导线分别焊牢在两个线头上作为线包引出线。再将干簧管插入小塑料管内，如图 8-124 所示。

最后用环氧树脂将整个线包和干簧管封固成为一个整体，如图 8-125 所示，干簧继电器就制作完成了。干簧管两端的引线就是继电器接点引线。

线就是继电器接点引线。

干簧管接点具有多种形式，常用的有常开接点（继电器线包通电时闭合）、常闭接点（继电器线包通电时断开）、转换接点（平时 c 与 a 通，继电器线包通电时转换为 c 与 b 通），如图 8-126 所示。在线包内插入不同的干簧管，即可构成不同接点形式的继电器。

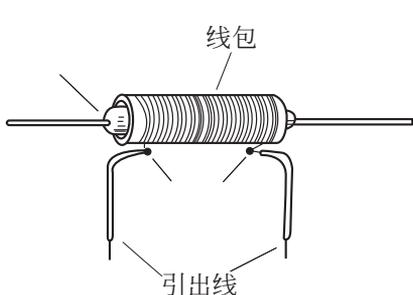


图 8-124 焊牢引出线

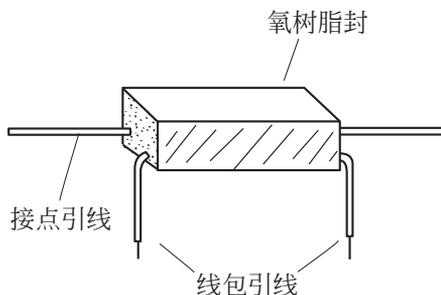


图 8-125 完成的干簧继电器

如将若干个干簧管包绕在线包内，如图 8-127 所示，即可构成多接点继电器。这若干个干簧管可以是相同的接点形式，也可以是不同的接点形式，可根据电路需要按需配制。

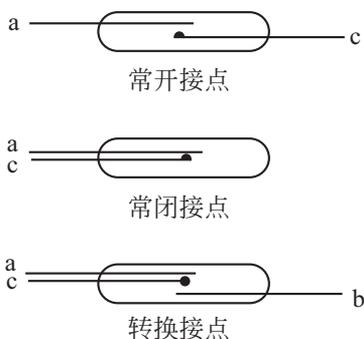


图 8-126 干簧管接点形式

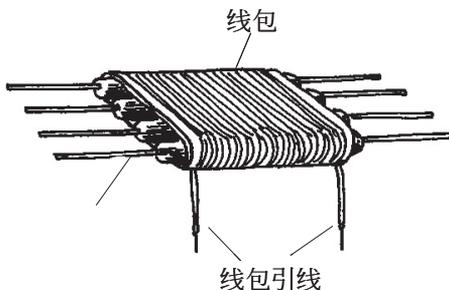


图 8-127 多接点干簧继电器

(2) 自制直流型固体继电器

固体继电器分为直流型和交流型两类。直流型固体继电器电路如图 8-128 所示，IC 为光电耦合器， R_1 为输入端限流电阻， VT_1 、 VT_2 组成复合管型输出控制元件， VD_1 、 VD_2 分别为输入端、输出端的保护二极管。当固体继电器输入端（IN）加上直流电压时，其输出端（OUT）的“+”端与“-”端之间即导通，允许负载电流从“+”端流到“-”端。

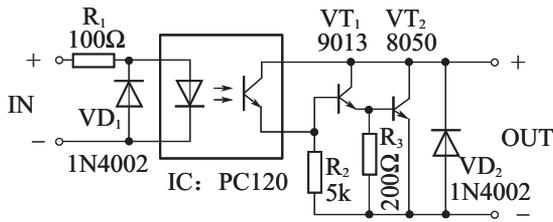


图 8-128 直流型固体继电器电路

制作时，如图 8-129 所示刻制一块电路板，将所有元器件全部焊入电路板。再用绝缘材料制作一个外壳，将电路板上的元器件罩起来。4 个固定安装孔和左右两侧的输入、输出接线端应留在外壳外面。外壳上应标明输入、输出各接线端的标志。制作完成的固体继电器外形如图 8-130 所示。

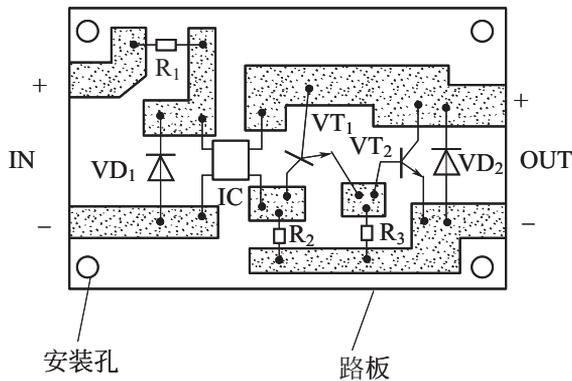


图 8-129 直流型固体继电器结构

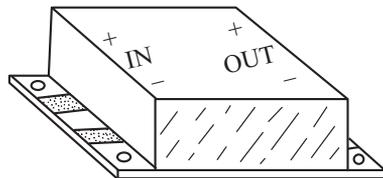


图 8-130 完成的直流型固体继电器

(3) 自制直流型固体继电器

交流型固体继电器电路如图 8-131 所示。与交流型不同的是交流型固体继电器输出控制元件采用双向晶闸管 VS_2 。桥式整流器 $VD_2 \sim VD_5$ 为放大管 VT_1 和光电耦合器 IC 提供直流工作电源。

当固体继电器输入端 (IN) 加上直流电压时，其输出端 (OUT) 的两个引脚之间即导通，允许交流负载电流通过。如图 8-132 所示为交流型固体继电器的电路板。制成后应像直流型固体继电器一样罩上绝缘外壳。

8.5.6 自制电源变压器

自制交流 220V 单相电源变压器，可分为设计计算和具体绕制两个阶段进行。

(1) 设计计算

首先确定电源变压器的功率。需要变压器次级绕组所提供的电压乘以电流就是该绕组的

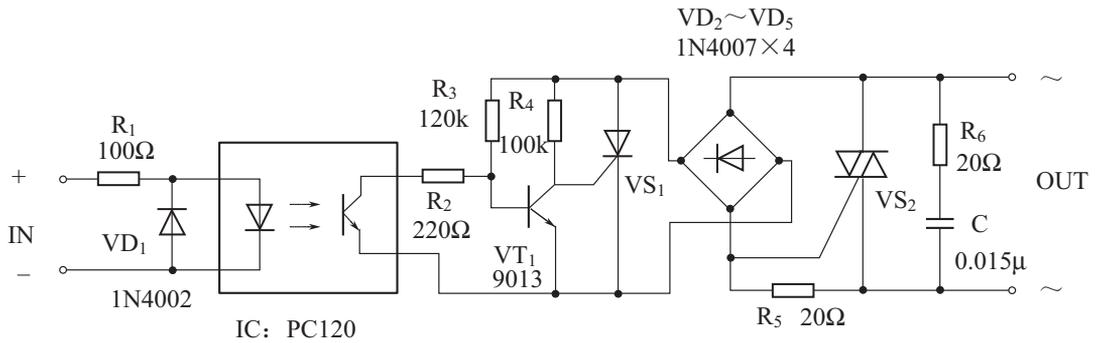


图 8-131 交流型固体继电器电路

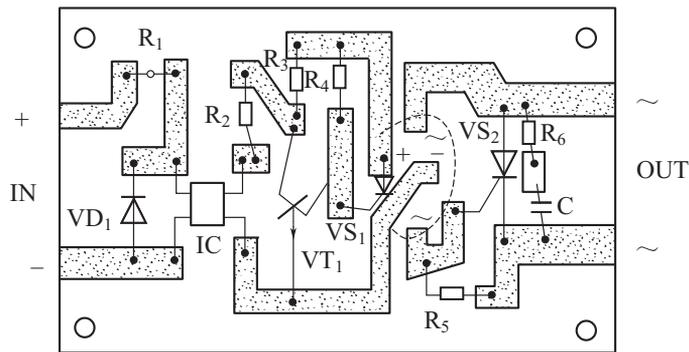


图 8-132 交流型固体继电器结构

功率，将所有次级绕组的功率加起来，再乘以 1.1（10% 作为变压器的损耗），即为整个变压器的功率。例如，需要变压器次级提供 6V、2A 和 12V、0.5A 两组电源，则变压器功率为 $P = (6 \times 2 + 12 \times 0.5) \times 1.1 \approx 20\text{W}$ 。

接着根据变压器的功率 P 来确定铁芯截面积 S 的大小，如图 8-133 所示。可按经验公式计算： $S = 1.25 \sqrt{P}$ (cm^2)。例如，20W 电源变压器需要铁芯截面积为 $S = 1.25 \sqrt{20} = 5.6\text{cm}^2$ 。

第三步是计算每伏电压的圈数 N_0 。经验公式为： $N_0 = \frac{45}{S}$ 。例如，上述 20W 变压器的每伏圈数 $N_0 = \frac{45}{5.6} = 8$ 圈。

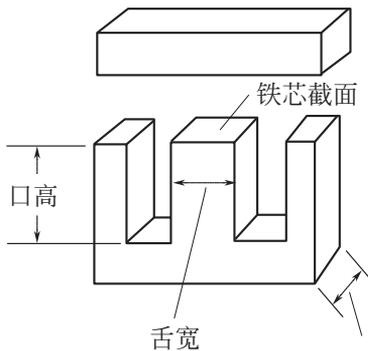


图 8-133 铁芯截面积的概念

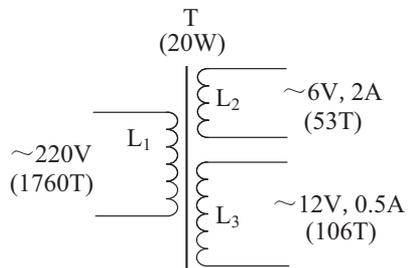


图 8-134 各绕组圈数

第四步是计算初、次级各绕组的圈数。初级绕组圈数用 N_0 乘以 220 即可。次级绕组圈数用 N_0 乘以电压再增加 10% 以弥补损耗。上例中初级绕组 L_1 为 $8 \times 220 = 1760$ 圈，次级绕组 L_2 为 $8 \times 6 \times 1.1 \approx 53$ 圈，次级绕组 L_3 为 $8 \times 12 \times 1.1 \approx 106$ 圈，如图 8-134 所示。

第五步根据各绕组电流选取漆包线。上例中初级绕组 L_1 的电流 $I_1 = \frac{20W}{220V} \approx 0.09A$ ，考虑到留有一定的富裕量，可选用直径 0.23mm (34 号) 漆包线。次级绕组 L_2 的电流 $I_2 = 2A$ ，可选用直径 1.04mm (19 号) 漆包线。次级绕组 L_3 的电流 $I_3 = 0.5A$ ，可选用直径 0.51mm (25 号) 漆包线。

(2) 具体绕制步骤

设计计算完成后，即可动手制作。首先如图 8-135 所示，用绝缘纸板制作一个线包框架，其下面侧板的两侧分别开有初、次级绕组的引线孔。

然后绕制初级绕组。将漆包线线头与引出线焊牢，焊点等裸露部分用绝缘纸包裹住，引出线从线包框架侧板的引线孔中穿出，如图 8-136 所示。绕制时漆包线应将线头引出线压住，并顺序整齐地层层平绕。初级绕组绕好后，其线尾也像线头一样连接好引出线。

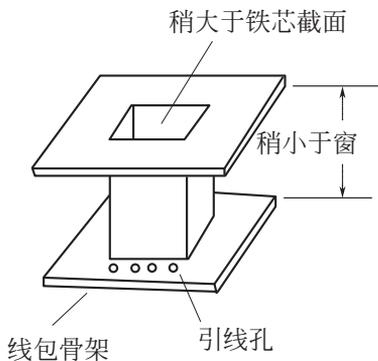


图 8-135 制作线包框架

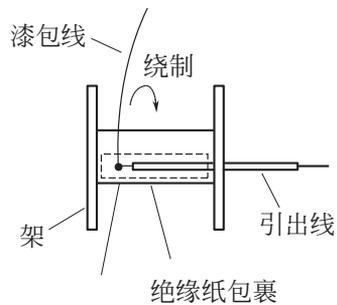


图 8-136 绕制初级绕组

在初级绕组外面包裹一层绝缘纸，如图 8-137 所示，然后在其上绕组次级绕组。由于次级绕组所用漆包线较粗，可以直接作为引出线。

所有绕组都绕制完成后，最外层应用绝缘纸包裹，并在两侧分别标明绕组的电压和电流，如图 8-138 所示。

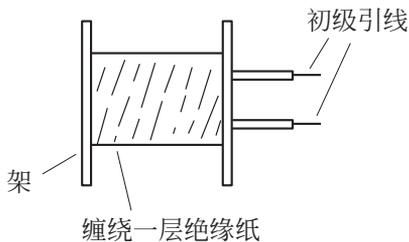


图 8-137 包裹绝缘纸

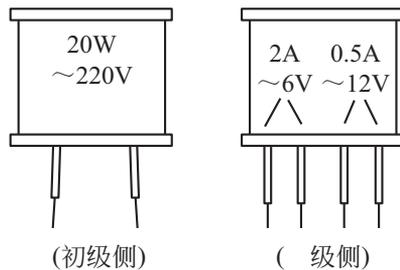


图 8-138 标注电压电流

接下来插入硅钢片铁芯。铁芯应采用交错插装法，即将“E”形硅钢片上下交错插入线包框架内，如图 8-139 所示。所有“E”形硅钢片插完后，再将“I”形硅钢片插入。

最后在铁芯外面装上铁皮制成的夹壳，电源变压器便基本制作好了，如图 8-140 所示为其外形。再经过浸漆、烘干等绝缘处理，这个电源变压器就可以使用了。

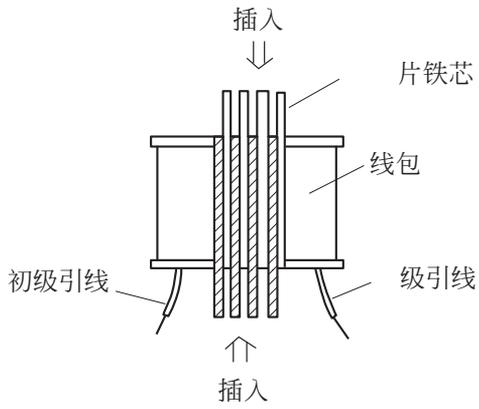


图 8-139 插入铁芯

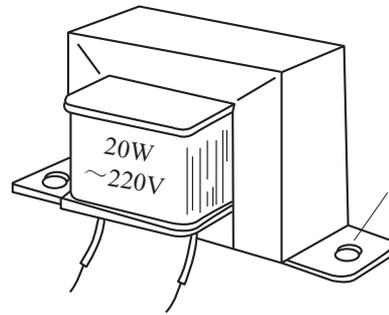


图 8-140 自制电源变压器

参 考 文 献

- [1] 门宏. 我是电子制作高手. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [2] 门宏. 晶闸管实用电路. 北京: 化学工业出版社, 2013.