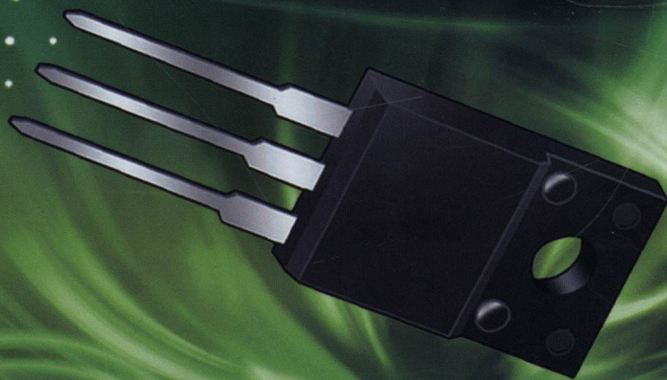


电子元器件 基础及电子 实验实训

王雅芳◎编著



DIANZI YUANQIJIAN
JICHU JI DIANZI SHIYAN SHIXUN



本书附赠学习课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电子元器件基础及电子实验实训

王雅芳 编著



机械工业出版社

电子元器件的识别与检测以及电子电路的故障查找技术是电子电器应用与维修的一项基本功。如何准确有效地检测元器件,判断元器件是否正常,以及电路故障的查找不是一件千篇一律的事,必须根据不同的元器件和不同的电路采用不同的方法。本书主要包括:电子元件基础知识及其检测,电子器件基础知识及其检测,选用及检测电声、集成器件,常用测量仪器,电子电路故障查找方法与技巧,电子电路检测,整机故障查找方法及技巧等。

本书可作为高职高专电子与信息技术应用、电子技术、电气技术及相关专业的通用教材,也可作为电子类相关工程技术人员的培训教材及高职电子类实训教师的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件基础及电子实验实训/王雅芳编著. —北京:
机械工业出版社, 2013. 7
ISBN 978-7-111-42645-5

I. ①电… II. ①王… III. ①电子元件—基本知识
②电子器件—基本知识③电子技术—实验 IV. ①TN60
②TN—33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第110663号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:翟天睿

版式设计:常天培 责任校对:张薇

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南阳庄国丰装订厂装订)

2013年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·463千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42645-5

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

任何一种电子装置都是由电子元器件合理、和谐、巧妙地组合而成的，电子元器件是组成电子产品的最小单元。检修电子产品归根结底就是找出损坏的电子元器件，设计电子产品则是根据需要选择各种电子元器件，然后像搭积木一样将这些电子元器件连接起来，组合成具有实用功能价值的电子产品。在电子产品的生产以及维修环节，都需要对电子元器件及电子电路进行检测，因此准确把握电子元器件及电子电路的检测方法和技巧，是电子行业从业人员必须要掌握的技能。

本书从电子行业从业人员和电子爱好者的实际需要出发，详细介绍了电子元器件的检测方法和技巧，在内容上力求简洁实用、通俗易懂、图文并茂、点面结合，以达到举一反三、融会贯通的目的，不仅能为初学者打下坚实的基础，还可帮助电子行业技术人员快速识别与检测电子元器件，具有极高的实用性、可操作性。

本书还根据电子行业国家职业标准，结合企业生产实际，详细介绍了常见电子电路的故障查找技术与技巧以及故障查找技术在整机电路中的应用等内容。

本书可作为高职高专电子与信息技术应用、电子技术、电气技术及相关专业的通用教材，也可作为电子类相关工程技术人员的培训教材及高职电子类实训教师的技术参考书。

本书由福建水利电力职业技术学院王雅芳编写。由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电子元件基础知识及其检测 1

- 1.1 电阻器的选用及检测 1
- 1.2 电位器的选用及检测 14
- 1.3 其他类型电阻器的选用及检测 21
 - 1.3.1 热敏电阻器 21
 - 1.3.2 压敏电阻器 23
 - 1.3.3 光敏电阻器 25
 - 1.3.4 湿敏电阻器 26
 - 1.3.5 熔断电阻器 28
 - 1.3.6 其他敏感电阻器 29
- 1.4 电容器的选用及检测 29
 - 1.4.1 电容器的基础知识 29
 - 1.4.2 固定电容器 39
 - 1.4.3 电解电容器 41
 - 1.4.4 可调电容器 42
 - 1.4.5 电力电容器 43
 - 1.4.6 电容器的选用及检测 43
- 1.5 电感器、变压器的选用及检测 52
 - 1.5.1 电感器、变压器的基础知识 52
 - 1.5.2 色码电感器 69
 - 1.5.3 中周变压器 71
 - 1.5.4 电源变压器 71
 - 1.5.5 电感器、变压器的检测 72
- 1.6 常用电子元件的认知与检测实训 76

第2章 电子器件基础知识及其检测 78

- 2.1 选用及检测二极管 80
 - 2.1.1 小功率二极管器件 80
 - 2.1.2 整流、稳压二极管器件 87
 - 2.1.3 开关二极管器件 90
 - 2.1.4 发光、红外二极管器件 93
 - 2.1.5 二极管的应用举例 99

- 2.2 选用及检测晶体管 102
 - 2.2.1 普通晶体管 106
 - 2.2.2 特殊晶体管 107
 - 2.2.3 晶体管引脚的判断及质量检测 110
 - 2.2.4 晶体管在电子技术中的应用 116
- 2.3 选用及检测场效应晶体管 117
- 2.4 选用及检测晶闸管 122
- 2.5 选用显示器件 127
- 2.6 选用继电器 136
- 2.7 选用检测传感器 142
- 2.8 常用电子器件的认知与检测实训 150

第3章 选用及检测电声、集成器件 ... 152

- 3.1 选用及检测电声器件 152
 - 3.1.1 选用及检测扬声器 152
 - 3.1.2 选用及检测耳机 159
 - 3.1.3 选用及检测驻极体传声器 160
- 3.2 选用及检测集成电路 167
 - 3.2.1 集成电路芯片 167
 - 3.2.2 集成运算放大器 181
 - 3.2.3 集成稳压器 185
 - 3.2.4 集成时基电路 190
 - 3.2.5 音乐集成电路的应用 192
- 3.3 贴片式器件的选用及检测 194
- 3.4 电子模块的识别技巧与检测 197
- 3.5 常用电声、集成器件的认知与检测实训 200

第4章 常用测量仪器 202

- 4.1 低频信号发生器的使用 202
- 4.2 万用表的使用 205
 - 4.2.1 模拟式万用表的使用 206
 - 4.2.2 数字式万用表的使用 208
- 4.3 示波器的使用 209

4.3.1 示波器的组成	209	6.2.1 集成逻辑门电路常见故障及查找 方法与技巧	256
4.3.2 示波器的测试应用	214	6.2.2 1 位数比较器电路故障查找 方法与技巧	258
4.3.3 ST-16 型单踪示波器的使用	219	6.2.3 触发电路故障查找方法与技巧 ...	259
4.3.4 SR-8 型双踪示波器的使用	223	6.2.4 时序电路故障查找方法与技巧 ...	262
第 5 章 电子电路故障查找		6.2.5 显示电路故障查找方法与技巧 ...	267
方法与技巧	228	第 7 章 整机故障查找方法及技巧	272
5.1 故障查找处理的基本步骤	228	7.1 整机电路故障查找处理的一般程序 ...	272
5.2 故障查找的方法	229	7.1.1 电子产品整机电路故障的产生 ...	272
第 6 章 电子电路检测	237	7.1.2 整机电路故障查找处理 的一般步骤	273
6.1 单元模拟电路故障查找方法与技巧 ...	237	7.1.3 整机电路故障查找常用方法	275
6.1.1 基本放大电路故障查找 方法与技巧	237	7.2 整机设备故障查找的注意事项	276
6.1.2 反馈放大电路的故障查找 方法与技巧	240	7.3 整机电路故障查找处理实例	277
6.1.3 选频放大电路的故障查找 方法与技巧	242	7.3.1 简易音频信号发生器故障 查找方法	277
6.1.4 集成电路功率放大器故障 查找方法与技巧	244	7.3.2 遮光式计数器故障查找方法	280
6.1.5 直流稳压电源故障查找 方法与技巧	246	7.3.3 电话机电路故障查找方法	283
6.1.6 现代模拟集成电路故障查找 方法与技巧	252	7.3.4 开关电源故障查找方法	287
6.2 单元数字电路故障查找方法与技巧 ...	255	7.4 整机电路故障查找实训	291
		参考文献	292

第 1 章 电子元件基础知识及其检测

电子元器件是组成电子产品的基础。所有的电子产品都是由各种各样的电子元件和器件组成的，正确选择、使用电子元器件是保证产品的质量和可靠性的关键。了解电子元器件的分类、用途，以及规格型号、性能参数，对所有从事电子行业的人员来说都是十分重要的。

电阻器和电容器、电感器等都是最常用、最基本的电子元件。

1.1 电阻器的选用及检测

电阻器是最常用最基本的电子元件，电阻器在电子产品中用得最多，约占元器件总数的 35% 以上，因此其工作性能和可靠性对产品的质量具有十分重要的影响。

电子在物体内部作定向运动时会受到阻力，这种阻力称为电阻。在电路中具有电阻性能的实体元件称为电阻器，用 R 表示，单位为 Ω （欧姆），习惯简称电阻。

在实验中，物体电阻的大小与其长度 L 成正比，与其横截面积 S 成反比，用公式表示为 $R = \rho L / S$ ，式中的比例系数 ρ 叫做物体的电阻系数或电阻率，它与物体材料的性质有关，在数值上等于单位长度、单位面积的物体在 20°C 时所具有的电阻值。相同材料做成的导体，直径越大则电阻越小，长度越长则电阻越大。

此外导体电阻大小还与温度有关，对金属材料，其电阻随着温度的升高而增大；对石墨和碳等非金属材料，其电阻随着温度的升高而减小。

电阻器利用电阻对电能的吸收作用，可使电路中各元件按需要分配电能，稳定和调节电路中的电流和电压。电阻器也是一个限流元件，将电阻器接在电路中后，它可限制通过它所在支路的电流大小。

电阻器在电路中，主要用来稳定和调节电流、电压，组成分流器和分压器，在电路中起到限流、降压、去耦、偏置、负载、匹配、取样、能量转换等作用。

1. 电阻器的主要技术参数

电阻器的电阻值是固定的。它的主要技术参数有：标称电阻、允许偏差、额定功率等。了解了电阻的质量参数，可以合理地选用电阻器。

(1) 标称阻值

标称阻值通常是指电阻器上标注的电阻值。电阻值的基本单位是欧姆（简称欧），用“ Ω ”表示。在实际应用中，还常用到千欧（ $\text{k}\Omega$ ）和兆欧（ $\text{M}\Omega$ ）。兆欧、千欧、欧姆之间的换算关系是： $1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$ ， $1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$ 。

目前，电阻器几乎都是根据 IEC 国际标准系列来制造的。我国也规定了一系列值作为电阻器的阻值标准，即标称阻值系列。

常用的标称阻值系列有 E6、E12、E24 等系列，其标称值如表 1-1 所示。

表 1-1 电阻器的标称值系列

系列	E24	E12	E6	E24	E12	E6
允许偏差	±5%	±10%	±20%	±5%	±10%	±20%
标称值	1.0	1.0	1.0	3.3	3.3	3.3
	1.1			3.6		
	1.2	1.2		3.9	3.9	
	1.3			4.3		
	1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7
	1.6			5.1		
	1.8	1.8		5.6	5.6	
	2.0			6.2		
	2.2	2.2	2.2	6.8	6.8	6.8
	2.4			7.5		
	2.7	2.7		8.2	8.2	
	3.0			9.1		

任何固定式电阻器的标称阻值都应符合表 1-1 中的列数值或列数值乘以 10^n ，其中 n 为正整数或负整数。例如，表中的“1.5”包括 0.15Ω 、 1.5Ω 、 15Ω 、 150Ω 、 $1.5k\Omega$ 、 $15k\Omega$ 、 $150k\Omega$ 、 $1.5M\Omega$ 等阻值。在应用中选用电阻器应尽量按标称值系列选取，不在标称系列内应选允许偏差范围内的相近值。不同偏差等级的电阻器有不同数目的标称值。

偏差越小，电阻器的标称值越大。其标称值计算公式分别是：

E6 系列标称值 = $\sqrt[6]{10^n}$ ($n = 1 \sim 6$)

E12 系列标称值 = $\sqrt[12]{10^n}$ ($n = 1 \sim 12$)

E24 系列标称值 = $\sqrt[24]{10^n}$ ($n = 1 \sim 24$)

(2) 允许偏差

电阻器的实际阻值不可能与标称阻值绝对相等，偏差允许范围称为电阻器的允许偏差。标称阻值和实际阻值的差值与标称阻值之比的百分数称作阻值偏差，它表示电阻器的精度。实际生产出来的电阻器的阻值无法做到与标称值完全一样，即阻值具有一定的离散性。

电阻值允许偏差 = $\frac{\text{电阻实际值} - \text{电阻标称值}}{\text{电阻标称值}} \times 100\%$

E24、E12、E6 标称阻值系列所对应的允许偏差（即电阻精度）分别为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ，如表 1-2 所示。精密电阻器允许偏差要求更高，如 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\cdots$ 、 $\pm 0.001\%$ 等。允许偏差越小的电阻器，其阻值精度就越高，稳定性越好，但生产成本相对较高。

表 1-2 常用电阻器的允许偏差等级

允许偏差	0.5%	1%	5%	10%	20%
等级	005	01	I	II	III
文字符号	D	F	J	K	M

(3) 额定功率

当电流通过电阻器的时候，电阻器便会发热。负荷的功率越大，发热越厉害。如果功率过大，电阻器就可能承受不了而烧坏。在正常大气压及在规定的环境温度和湿度下，假设周围空气不流通，电阻器在交、直流电路中长期连续工作而不损坏或基本不显著改变其性能时所允许消耗的最大功率为额定功率。对于同一类电阻器，额定功率的大小取决于它的几何尺寸和表面面积，额定功率越大，电阻器的体积越大，如表 1-3 所示。

表 1-3 碳膜电阻器和金属膜电阻器的长度、直径与额定功率关系表

参数	碳膜电阻器（RT）		金属膜电阻器（RJ）	
额定功率/W	长度/mm	直径/mm	长度/mm	直径/mm
1/8	11	3.9	6~7	2~2.5
1/4	18.5	5.5	7~8.3	2.5~2.9
1/2	28.5	5.5	10.8	4.2
1	30.5	7.2	13	6.6
2	48.5	9.5	18.5	8.6

不同类型的电阻器有不同系列的额定功率。共分为 19 个等级，如表 1-4 所示。常用的额定功率有 1/20W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W、10W 和 20W 等，通常为 0.05 ~ 500W。如图 1-1 所示为各额定功率值的电阻器在电路图上的符号。

表 1-4 电阻器额定功率系列

种 类	电阻器额定功率系列/W												
线绕电阻器	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	10	16	25	40
	50	75	100	150	250	500							
非线绕电阻器	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100		

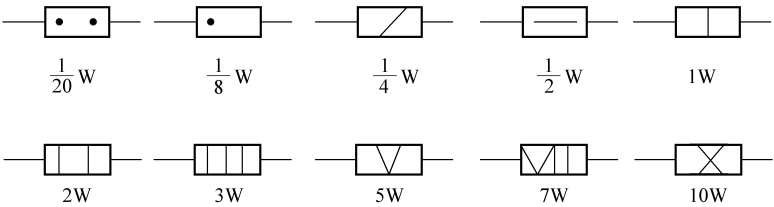


图 1-1 固定电阻器额定功率的符号表示

电阻器上的负荷功率可由公式 $P = I^2 R = U^2 / R$ 算出，式中， I 为电流， R 为电阻， U 为电压。

选择电阻器功率时，应使额定功率值高于电路中实际功率值的 1.5 ~ 2 倍以上。一般电子电路中多采用 1/8W、1/4W、1/2W 电阻器；少数大电流场合则采用 1W、2W、5W 甚至更大功率的电阻器。

如果实际使用过程中功率超过额定值，电阻器的阻值会发生改变，会造成电阻器过热而烧坏。

(4) 额定电压

电阻器两端电压高到一定程度时,会发生电击穿现象,电阻器的工作电压不应超过额定工作电压,否则电阻器承受的功率将超过其额定功率而导致电阻器损坏。根据电阻器的额定功率可算出电阻器的额定电压。

(5) 噪声

电阻器的噪声包括热噪声和电流噪声。热噪声是由于电阻器中自由电子的不规则热运动而使电阻器内任意两点间产生随机电压。电流噪声是当电流通过电阻器时,导电颗粒之间以及非导电颗粒之间不断发生碰撞,使颗粒之间的接触电阻不断变化产生的,因而电阻器两端除直流电压之外还有一个不规则的交变电压分量。

降低电阻器的工作温度,可以减小热噪声;而电流噪声则与电阻器微观结构有关,合金型电阻器基本上无电流噪声。金属膜电阻器和碳膜电阻器的噪声较小,合成膜电阻器和实心电阻器的噪声最大。在选用电阻器时,应根据电路对噪声的要求,合理选用电阻器。

(6) 电阻器的温度系数

电阻器的电阻值随温度的变化略有改变。温度每变化一度所引起电阻值的相对变化的欧姆数与原来的欧姆数之比称为电阻器的温度系数。温度系数可正可负,如果温度升高,电阻值增大,则该电阻器具有正的温度系数,如果温度升高,电阻值减小,则该电阻器具有负的温度系数,温度系数越小,电阻器越稳定,碳膜电阻器比较稳定。在实际运用中,应根据不同要求来选用不同温度系数的电阻器。

(7) 电阻器的频率特性

实际上,电阻器中都还存在着分布电感和分布电容。在直流和低频交流电路中,它们的影响可以忽略不计,但在频率比较高的交流电路中,这些分布参数的影响即不能忽视,其交流等效电阻将随频率而变化。

2. 电阻器的型号命名和标志

(1) 电阻器的型号命名法

根据国标 GB2470-81 的规定,国产电阻器的型号由四个部分组成,如表 1-5 所示。

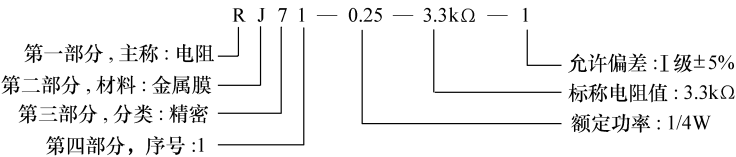
表 1-5 电阻器和电位器的型号命名方法

第一部分: 主称		第二部分: 电阻体材料		第三部分: 类别		第四部分: 序号
字母	含义	字母	含义	符号	产品类型	用数字表示
R	电阻器	T	碳膜	0		包括: 额定功率、阻值、 允许偏差、精度等级
W	电位器	H	合成碳膜	1	普通	
M	敏感电阻器	S	有机实心	2	普通	
		N	无机实心	3	超高频	
		J	金属膜	4	高阻	
		Y	氧化膜	5	高温	
		C	沉积膜	6	—	
		I	玻璃釉膜	7	精密	
		X	线绕	8	高压	
		R	热敏	9	特殊	
		G	光敏	G	高功率	
		M	压敏	W	微调	
				T	可调	
				D	多圈可调	
				X	小型	

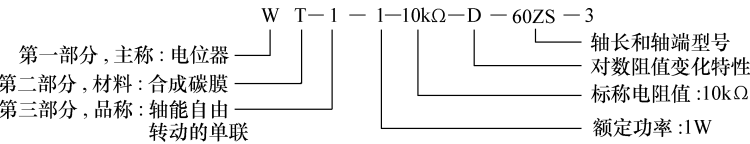
例如：RJ71 为精密金属膜固定电阻器；RT12 为普通碳膜固定电阻器；RXG1 为高功率线绕固定电阻器；WXT3 为线绕电位器。

型号命名实例说明：

如型号为 RJ71—0.25—3.3kΩ—I 的精密金属膜电阻器。



如 10 kΩ 单联合成碳膜电位器。



敏感电阻器的型号命名方法中包括了电阻器的材料等含义，如表 1-6 所示。

表 1-6 敏感电阻器型号命名方法中材料、分类的含义

材 料		分 类				
符号	意 义	符号	意 义			
F	负温度系数热敏材料		负温度系数	正温度系数	光敏电阻器	压敏电阻器
Z	正温度系数热敏材料	1	普通	普通		碳化硅
G	光敏材料	2	稳压	稳压		氧化锌
Y	压敏材料	3	微波			氧化锌
S	湿敏材料	4	旁热		可见光	
C	磁敏材料	5	测温	测温	可见光	
L	力敏材料	6	微波		可见光	
Q	气敏材料	7	测量			

(2) 电阻器的标识法

通常在电阻器上标注有电阻器的主要参数，如标称阻值、允许偏差等，以便在使用中能识别。电阻器的标识方法主要有直标法、数码表示法、文字符号法和色标法。

1) 直标法。就是将电阻器的类别、标称阻值、允许偏差及额定功率等直接标注在电阻器的外表面上。直标法一般用数字和单位符号直接地标称电阻值并标志在电阻器上，还有的用数字和单位符号组合在一起表示，文字符号前面的数字表示整数阻值，文字符号后面的数字表示小数点后面的小数阻值，其允许偏差直接用百分数表示，如图 1-2 所示。例如，电阻器上标志符号“R33”表示 0.33Ω，“6k8”表示 6.8kΩ。文字符号组合标志电阻器标称阻值实例如表 1-7、表 1-8 所示。

图 1-2a 表示标称阻值为 1kΩ、允许偏差为 ±10%、额定功率为 1W 的碳膜电阻器；图

1-2b 表示标称阻值为 510Ω 、额定功率为 $10W$ 的线绕电阻器；图 1-2c 表示标称阻值为 $3.6k\Omega$ 、允许偏差为 $\pm 5\%$ 、额定功率为 $2W$ 的金属膜电阻器；图 1-2d 表示标称阻值为 10Ω 、额定功率为 $5W$ 的水泥电阻器。

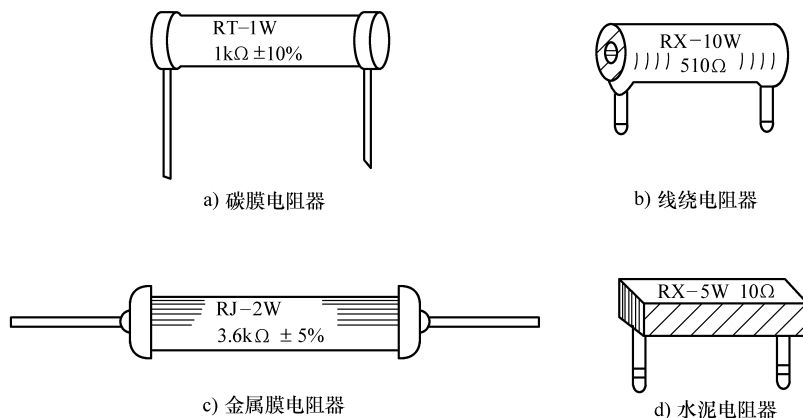


图 1-2 直标法

表 1-7 标志电阻值单位的文字符号

文字符号	单位及进位数	文字符号	单位及进位数
R	Ω ($10^0\Omega$)	G	$G\Omega$ ($10^9\Omega$)
K	$k\Omega$ ($10^3\Omega$)	T	$T\Omega$ ($10^{12}\Omega$)
M	$M\Omega$ ($10^6\Omega$)	—	—

表 1-8 表示允许偏差的文字符号

文字符号	B	C	D	F	G	J	K	M	N
允许偏差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$

2) 数码表示法。用三位数码表示电阻阻值、用相应字母表示电阻允许偏差的方法。数码按从左到右的顺序，第一、第二位为电阻的有效值，第三位为乘数（即零的个数），电阻的单位是 Ω 。

例如：数码表示法的电阻器 103J，其标称阻值为 $10 \times 10^3 = 10k\Omega$ ，J 表示该电阻器的允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

注： 0.47Ω 文字符号表示为 R47； 4.7Ω 文字符号表示为 4R7。

3) 文字符号法。表示电阻器的主要参数时，用文字符号表示电阻的单位，电阻值的整数部分写在阻值单位的前面，小数部分写在阻值单位的后面。文字符号法是将需要标出的主要参数与技术性能指标用文字、数字符号两者有规律地组合起来标志在电阻器上，其允许偏差用文字符号表示。其优点是识读方便、直观，多数用在大功率电阻器上。如 0.1Ω 标注为 $\Omega 1$ ， 3.3Ω 标为 $3\Omega 3$ ， $4.7k\Omega$ 标为 4k7， $10M\Omega$ 标注为 10M 等，如图 1-3 所示。RJ-0.5-5K1J 即阻值 $5.1k\Omega$ ，

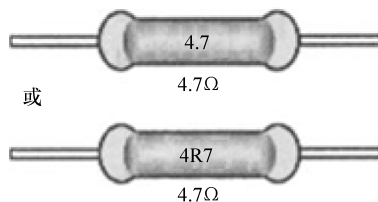


图 1-3 文字符号法

偏差为 $\pm 5\%$ ，额定功率为 0.5W 的金属膜电阻器。欧姆用 Ω 表示；千欧（ $10^3\Omega$ ）用 k 表示；兆欧（ $10^6\Omega$ ）用 M 表示；吉欧（ $10^9\Omega$ ）用 G 表示；太欧（ $10^{12}\Omega$ ）用 T 表示。

4) 色标法。对于 $1/8\sim 1/2\text{W}$ 的小功率电阻器，一般都采用国际通用的色标表示法。材料及功率通常由外形、尺寸及颜色判断，电阻材料根据国际惯例一般可以从颜色上来区分品种：金属膜电阻器为淡蓝底色，碳膜电阻器为淡黄底色，合成膜电阻器为淡绿底色。对于 2W 以上电阻器的阻值、精度、功率及材料，则通常以数字、字母和符号标出。

色标法是用色环、色点或色带在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差，电阻器色环标志的基本颜色定义如表 1-9 所示。它具有标志清晰，各个角度都能看到的特点，标称电阻的色环表示一般有四色环、五色环等几种表示法。

表 1-9 电阻器的色环标志的基本颜色定义

颜色	有效数字	倍率	允许偏差（%）	颜色	有效数字	倍率	允许偏差（%）
棕色	1	10^1	$\pm 1\%$	灰色	8	10^8	—
红色	2	10^2	$\pm 2\%$	白色	9	10^9	$\pm 50\% \sim \pm 20\%$
橙色	3	10^3	—	黑色	0	10^0	—
黄色	4	10^4	—	金色	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
绿色	5	10^5	$\pm 0.5\%$	银色	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
蓝色	6	10^6	$\pm 0.2\%$	无色	—	—	$\pm 20\%$
紫色	7	10^7	$\pm 0.1\%$				

四色环色标法：普通电阻器大多采用四色环色标法来标注。四色环中的第 1、2 条色环分别表示阻值第一、第二两位数字，第 3 条色环表示阻值倍率（即乘以 10 的方次），第 4 条色环表示阻值的允许偏差范围。四色环电阻器如图 1-4 所示。

五色环色标法；精密电阻器大多用五色环色标法来标注。五色环中的前 3 条色环分别表示阻值第一、第二、第三位数字，第 4 条色环表示阻值倍率，第 5 条色环表示允许偏差范围。如图 1-5 所示。

例：红紫橙金 $27 \times 10^3 (1 \pm 5\%) \Omega = 27 (1 \pm 5\%) \text{k}\Omega$

棕紫绿金银 $175 \times 10^{-1} (1 \pm 10\%) \Omega = 17.5 (1 \pm 10\%) \Omega$

注：金银在最后一环即偏差，黑色环为端头则为倒数第二环，其后为偏差无色，紫灰白一般不会是倍率色环，既不会是倒数第二环。第三环颜色从数量级来看，大体上可把它们划分为三个大的等级，即：金、黑、棕色是欧姆级的；红、橙、黄色是千欧级的；绿、蓝色则是兆欧级的。

(3) 片状固定电阻器的标志

当片状电阻器阻值精度为 $\pm 5\%$ 时，采用 3 个数字表示。

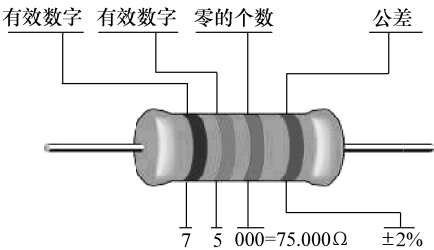


图 1-4 四色环电阻器



图 1-5 五色环电阻器

跨接线记为 000 (专门作跨接线用的电阻器也叫片状跨接线电阻器或零阻值电阻)。阻值小于 10Ω 的, 在两个数字之间补加“R”; 阻值在 10Ω 以上的, 则最后一数值表示增加的零的个数。

注: 100Ω 记为 101; $10k\Omega$ 记为 103。

当片状电阻器阻值精度为 $\pm 1\%$ 时, 则采用 4 个数字表示。

前面 3 个数字为有效数, 第四位表示增加的零的个数; 阻值小于 10Ω 的, 仍在第二位补加“R”; 阻值为 100Ω , 则在第四位补 0。

注: 4.7Ω 记为 4R70; 100Ω 记为 1000; $1M\Omega$ 记为 1004; 10Ω 记为 10R0。

3. 常用的固定电阻器及特点

(1) 薄膜电阻器

薄膜电阻器是在圆柱形陶瓷或硬玻璃基体上, 用沉积、真空溅射或蒸发的方法涂覆一层薄导电层, 便形成了薄膜电阻器。薄膜电阻器导电层的厚度一般为 $0.001 \sim 20\mu\text{m}$ 。在电阻膜上刻螺旋槽以调整电阻值, 然后在两端装上帽盖, 焊上引线, 并在表面加涂保护漆, 最后在漆膜表面印上标志。

1) 碳膜电阻器 (型号 RT) 气态碳氢化合物在高温和真空中分解, 碳沉积在瓷棒或者瓷管上, 形成一层结晶碳膜。改变碳膜厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度, 可以得到不同的阻值, 如图 1-6 所示。

碳膜电阻器稳定性好, 电压的改变对阻值影响小, 高频特性好, 噪声电动势较小, 脉冲负荷稳定, 阻值范围宽 (几十欧姆 ~ 几十兆欧), 负温度系数, 体积比金属膜电阻器大, 制作成本低, 价格便宜。

碳膜电阻器可分为普通碳膜电阻器、测量型碳膜电阻器、高频碳膜电阻器、精密碳膜电阻器和硅碳膜电阻器等。它是目前使用最多的一种电阻器, 在精度要求不高的电路中得到广泛应用。

2) 金属膜电阻器 (型号 RJ) 在真空中加热合金, 合金蒸发, 使瓷棒表面形成一层导电金属膜。它是用高真空加热蒸发 (或者高温分解、化学沉积、烧渗等) 技术, 将合金材料 (有高阻、中阻、低阻三种) 蒸镀在陶瓷骨架上的, 刻槽和改变金属膜厚度可以控制阻值, 如图 1-7 所示。

金属膜电阻器和碳膜电阻器外形相似, 它除了具有碳膜电阻器的特征外, 比碳膜电阻器的精度更高, 稳定性更好, 使用温度范围广, 另外还有温度系数小、噪声低、体积小、阻值范围宽等特点, 最明显的是耐热性能超过碳膜电阻器。金属膜电阻器主要用于对稳定性要求较高的电路中。

金属膜电阻器其外形结构与普通碳膜电阻器相同。

3) 金属氧化膜电阻器 (型号 RY) 是用铈和锡等金属盐溶液喷雾到炽热 (约 550°C) 的绝缘瓷棒表面上沉积后制成的, 如图 1-8 所示。金属氧化膜



图 1-6 碳膜电阻器



图 1-7 金属膜电阻器



图 1-8 金属氧化膜电阻器

电阻器的外形与性能均与金属膜电阻器相同,金属氧化膜电阻器具有极好的脉冲、高频和过负荷性,机械性能好、坚硬、耐磨,且制造工艺简单,成本较低。它比金属膜电阻器抗氧化能力强,抗酸、抗盐的能力强,耐热性能好。但阻值范围窄,温度系数比金属膜电阻器大。在精度要求不太高时可以替代金属膜电阻器使用。

(2) 线绕电阻器 (RX)

线绕电阻器是用电阻系数较大的锰钢或镍铬合金电阻丝绕制在陶瓷管等绝缘基棒的骨架上制成的,它的外层涂有耐热的绝缘层,两端有引线或装有金属引脚,如图1-9所示。



图1-9 线绕电阻器

线绕电阻器的特点是精度高、稳定性好、噪声低、功率大,一般可承受3~100W的额定功率,而且耐高温,可以在150℃高温下正常工作。但由于它体积大,阻值不高(10MΩ以下),因此适用于大功率电路中。此外,精密的线绕电阻器可用于标准电阻箱、测量仪器等场合。由于线绕电阻器的固有电感较大,因而不适宜在高频电路中使用。

有一种陶瓷绝缘功率型线绕电阻器俗称水泥电阻器,它是将线绕电阻体装在陶瓷绝缘壳中,其型号标志也为RX,水泥电阻器的额定功率在2W以上,最大功率可达200W。阻值范围0.15Ω~几百千欧,精度等级±5%~±20%。由于水泥电阻器采用工业高频电子陶瓷外壳,因此具有优良的阻燃、防爆和绝缘性能(绝缘电阻达100MΩ),同时它具有散热性好、功率大,引脚很长,可避免发热时对印制电路板的影响等特点。水泥电阻器的电阻丝同焊脚引线之间采用压接方式,在负载短路的情况下,可迅速在压接处熔断,以保护电路。

水泥电阻器具有多种外形和安装方式,可直接安装在印制电路板上,也可利用金属支架独立安装焊接。

(3) 合成型电阻器

合成型电阻器是将导电材料(例如石墨或炭墨)与非导电材料按不同比例合成不同电阻率的材料,将其涂覆在绝缘骨架上再加热聚合成电阻器。尽管它的电性能较差,但可靠性很高,仍在一些特殊领域内使用。

1) 实心电阻器(型号RS)把石墨或炭墨、树脂、黏土等混合物压制后经过热处理制成,实心电阻器不使用绝缘瓷棒和引线帽,而是实心的,引线从内部引出。

实心电阻器具有成本低、价格便宜、过负载能力强、有很高的可靠性等特点。但其固有噪声高,分布电容及分布电感影响大,电压和温度稳定性差,相同功率下体积与金属膜电阻器相当。只可作为普通电阻器使用,不能用在要求较高的电路中。

2) 高阻合成膜电阻器(型号RH)阻值范围在10~10⁶MΩ之间。整个电阻体密封,以提高阻值的稳定性。

3) 金属玻璃釉电阻器(型号RI)由金属氧化物和玻璃釉黏合剂混合后涂覆在陶瓷骨架上,再经高温烧制而成。这类电阻器具有较高的耐热性和耐潮性,常制成小型化片状。

(4) 敏感电阻器

根据不同材料和制作工艺,通常有热敏、压敏、光敏、温敏、磁敏、气敏、力敏等不同类型的电阻器,广泛用作测试技术和自动化技术等各个领域中的传感器中。

4. 固定电阻器的简单测试

(1) 从外表颜色和外壳识别电阻器的技巧

电阻器外表颜色是红色,是金属膜电阻器;呈米黄色,是小功率碳膜电阻器;呈绿色或深灰色(柱形),是大功率的碳膜电阻器;呈黑色、白色或绿色,是热敏电阻器(长方形或扁圆形);呈浅灰色,是线绕式保险电阻器;电阻器外壳顶部有透明感光的玻璃层,则是光敏电阻器;电阻器从外表可看到氧化膜的,是氧化膜电阻器;外表是用白色水泥封装(矩形或扁长方形),则是大功率水泥电阻器;外壳是白色金属,是线绕滑线可变电阻器。

(2) 用万用表检测电阻器的方法

1) 调零:

① 机械调零。万用表的红、黑表笔未短接时,看表的指针是否对准表盘左边刻度线零点位置,如不在零点位置,则需用小起子调节表头中间的机械调零螺丝将表针调至零点位置。

② 欧姆调零。将万用表的红、黑表笔短接时,看表的指针是否对准表盘右边 Ω 刻度线零点位置,如不在零点位置,则需要调节调零旋钮,使表针调至 Ω 刻度线零点位置。每换一次挡位应重新欧姆调零,如图 1-10 所示。

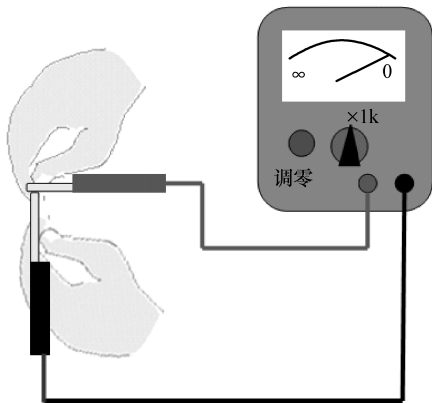


图 1-10 欧姆调零

2) 选择电阻挡的技巧。将两表笔不分正负分别与电阻器的两端引脚相接即可测出实际电阻值。为了提高测量精度,应根据被测电阻标称值的大小来选择量程。选择电阻挡的依据是被测电阻器的阻值与电阻挡倍率相吻合,由于电阻挡刻度的非线性关系,它的中间一段分度较为精细,因此应使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置,即全刻度起始

的 20% ~ 80% 弧度范围内,以使测量更准确。如果测量时万用表指针摆动幅度太小,则可继续加大量程,直到指针指示在表盘刻度的中间位置,此时读出阻值,测量结束,这样测出的电阻值精度高。根据电阻偏差等级不同,读数与标称阻值之间分别允许有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ 的偏差。如不相符,超出偏差范围,则说明该电阻值变值了。

在测量中,如果万用表指针停在无穷大处静止不动,则有可能是所选量程太小,此时应把万用表的量程开关拨到更大的量程上,并重新调零后再进行测量。

如果在测量过程中发现在最高量程时万用表指针仍停留在无穷大处不摆动,这就表明被测电阻器内部开路,不可再用。反之,在万用表的最低量程时,指针指在零处,则说明被测电阻器内部短路,也是不能使用的。

3) 测量方法与技巧。测量时不能用双手同时捏住电阻器的两个引线,这样,可避免人体电阻与被测电阻并联,影响测量准确性。具体做法是一只手拿电阻器,另一只手像拿筷子一样拿住红、黑表笔进行测量。此类方法称为单手测量法。

用万用表测量固定电阻器,即是对独立的电阻元件进行测量,方法如图 1-11 所示。

这种测量方法又叫开路测量法。测量前应先将万用表调零,即把万用表的红表笔与黑表笔相碰,调整调零旋钮,使万用表指针准确地指零,如图 1-11a 所示。

万用表的电阻量程分为几挡,其指针所指数值与量程数相乘即为被测电阻器的实测阻值。例如,把万用表的量程开关拨至“ $R \times 1k\Omega$ ”挡(也可记作 $\times 1k$ 挡)时,把红、黑表笔如图

1-11a 所示进行短接, 调整调零旋钮使指针指零, 然后如图 1-11b 所示将表笔并联在被测电阻器的两个引脚上, 此时若万用表指针指示在“7”上, 则该电阻器的阻值为 $7 \times 1\text{k}\Omega = 7\text{k}\Omega$ 。

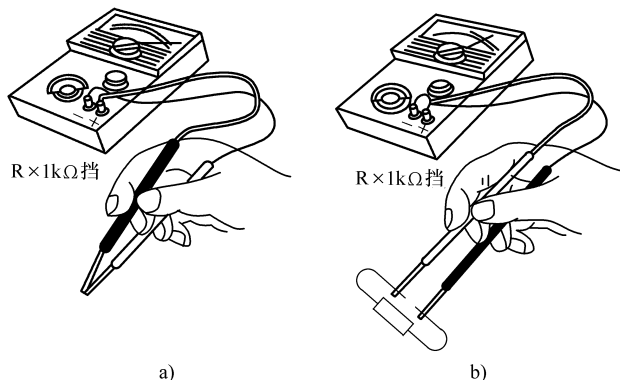


图 1-11 用万用表测量固定电阻器

注意: 测试时, 特别是在测几十千欧以上阻值的电阻器时, 手不要触及表笔和电阻器的导电部分; 被检测的电阻器从电路中焊下来, 至少要焊开一个头, 以免电路中的其他元件对测量产生影响, 造成测量偏差; 色环电阻器的阻值虽然能以色环标志来确定, 但在使用时最好还是用万用表测试一下其实际阻值。

用万用表测试电阻器的在线测量方法与技巧:

电子电路故障检查时, 总是要碰到在线测量的问题, 所谓在线测量就是在印制电路板上测量。在线测量电阻器性能时应注意两点: 第一, 测量时要切断电源; 第二, 测量时防止短路。在线测量电阻器性能好坏的技巧是: 用万用表电阻挡“ $R \times 1\Omega$ ”挡或“ $R \times 10\text{k}\Omega$ ”挡, 测量在线印制电路板上电阻器的电阻值, 看测得阻值是否接近标称值, 如测得电阻值偏离标称值时, 不能立即断定电阻器已损坏, 还要结合它周围的元器件, 综合考虑分析, 来断定这个电阻器性能是否损坏, 如图 1-12 所示。

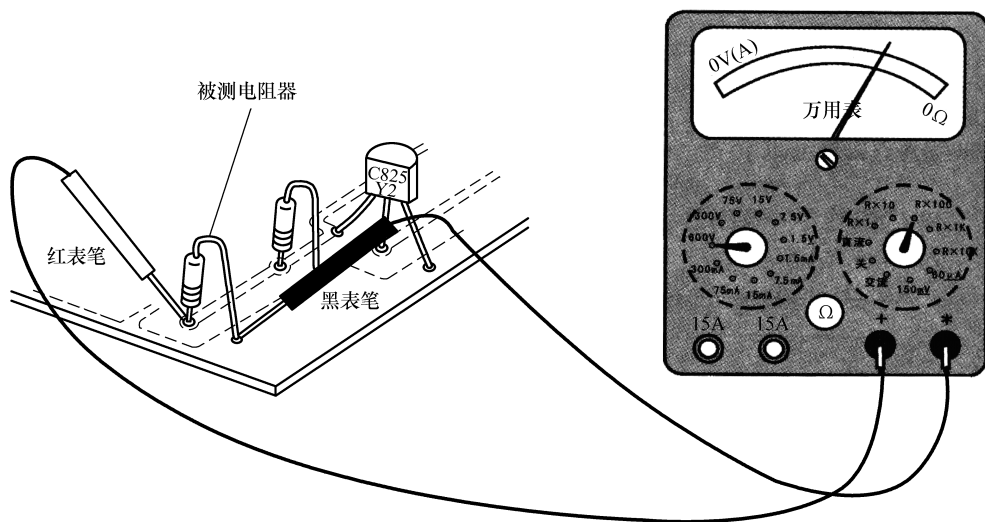


图 1-12 电阻器的在线测量

(3) 电阻器好坏的判别方法与技巧

1) 电阻器的测量、好坏的判别,通常用万用表的电阻挡进行测量。一般采用单手测量法,这样的测量方法准确率较高。

在具体测量中,如遇到测量结果与标称值不相等,可根据下列情况来判断被测电阻器的好坏:如果测量值与标称值相差很大,如测量值为无穷大,可以断定被测电阻器出现了开路或引线脱落、膜层脱离、烧断等故障;如果测量值远小于标称值或测得的值为零欧姆,表明被测电阻器已发生短路故障;如果测量值与标称值基本一致,偏差小于5%可认为是正常。

2) 如果电阻器的表面有烧焦、开裂,该电阻器已性能不良和损坏。

3) 用万用表测量光敏电阻器时,主要是测量有光照和无光照时其电阻值是否有明显变化,若阻值变化小或无变化,则说明光敏电阻器已性能不良或损坏。

4) 用万用表测量热敏电阻器时,先在常温下测量它的标称值,然后用电烙铁、电吹风烘烤,给它加温,测量加温后的电阻值,正温度系数的热敏电阻器阻值应明显上升,而负温度系数的热敏电阻器阻值应明显下降,如阻值不变,说明热敏电阻器已性能不良或损坏。

5. 电阻器的选用

选择哪一种材料和结构的电阻器,应根据应用电路的具体要求而定。高频电路应选用分布电感和分布电容小的非线绕电阻器,高增益小信号放大电路应选用低噪声电阻器。线绕电阻器的功率较大,电流噪声小,耐高温,但体积较大。普通线绕电阻器常用于低频电路中或做限流电阻器、分压电阻器、泄放电阻器或大功率管的偏压电阻器。所选电阻器的电阻值应接近应用电路中计算值的一个标称值,应优先选用标准系列的电阻器。一般电路使用的电阻器允许偏差为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$,精密仪器及特殊电路中使用的电阻器,应选用精密电阻器。

所选电阻器的额定功率要符合应用电路中对电阻器功率容量的要求,一般不应随意加大或减小电阻器的功率。若电路要求功率型电阻器,则其额定功率可高于实际应用电路要求功率的1~2倍。

电阻器的选用:

1) 在选用电阻器时必须首先了解电子产品整机工作环境条件,然后与电阻器技术性能中所列的工作环境条件相对照,从中选用条件相一致的电阻器。

2) 要了解电子产品整机工作状态。

3) 既要从技术性能考虑满足电路技术以保证整机的正常工作,又要从经济上考虑其价格、成本,还要考虑其货源和供应情况。

4) 根据不同的用途选用。

5) 阻值应选取最靠近计算值的一个标称值。

6) 电阻器的额定功率选取一个比计算的耗散功率大一些(1.5~2倍)的标称值。

7) 电阻器的耐压性能也应充分考虑,选取比额定值大一些的,否则会引起电阻器击穿、烧坏或表面飞弧。

电阻器的替换:

1) 应尽可能选用原规格的电阻器。

2) 在标称值相同时,只要安装空间允许,功率大的电阻器可代替功率小的。

3) 可采用串联或并联的方法来获得所需标称值的电阻器。在有功率要求的情况下,不仅要考虑串联和并联后的阻值,还要考虑串联和并联后的功率是否达到要求。

4) 没有同规格的电阻器时, 要根据此电阻器在电路中的具体作用和工作状态, 灵活掌握代用。

6. 电阻器使用注意事项

1) 在使用前首先检查其外观有无明显的损坏, 如引线断、开裂、烧焦等现象, 其次, 用万用表测量它的阻值是否与标称值一致。若阻值已经改变, 直接使用会使电路工作失常。

2) 使用时应注意电阻器的额定功率和工作电压是否满足设计要求, 如果实际使用功率超出电阻器的额定功率, 电阻器会发热损坏; 如果实际工作电压大于电阻器的耐压, 电阻器将击穿烧毁。额定功率大于 10W 的电阻器 (水泥电阻、线绕电阻), 使用时应安装在特制的支架上, 使其周围有一定的散热空间。

3) 电阻器在安装前应进行表面处理, 引脚用刮刀片或锯条片刮掉表面氧化层, 然后是镀锡, 以保证锡焊的可靠性, 不产生假焊 (虚焊) 现象。高频电路中电阻器的引脚不宜过长, 这样可减小分布参数。

4) 电阻器焊接时引线不要从根部打弯, 否则容易折断。

5) 电阻器在存放和使用过程中, 要保持漆膜的完整, 电阻器的漆膜脱落后, 防潮性变差, 无法保证正常工作。

6) 焊接电阻器时动作要快, 不要使电阻器长期受热, 以免阻值发生变化。

7) 电阻器在安装时, 电阻器色环的朝向要一致, 如果是直标法电阻器其阻值标志也要朝上, 这样便于检查和维修。

8) 对较大功率的电阻器应利用螺钉和支架将其固定, 以防其引线折断或造成短路。

9) 为了提高非线性电阻器的稳定性, 在使用前可对其进行老化处理。在电阻器两端加一直流电压 U , 使电阻器承受的功率为其额定功率的 1.5 倍, 则 $U^2/R = 1.5P$, 这样加电 5min 后, 再测量其阻值。

10) 可变电阻器使用时除满足上述几点, 还要注意它的体积、精度和结构等。

7. 电阻器在电子产品中的应用

(1) 电阻器在电子产品电路中的作用

在电子产品中电阻器主要用作分压、分流、限流和降压, 在如图 1-13 所示的分压电路中有:

$$U_2 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_1$$

在如图 1-14 所示的分流电路中, 电阻器 R_1 、 R_2 、 R_3 为分流电阻器。

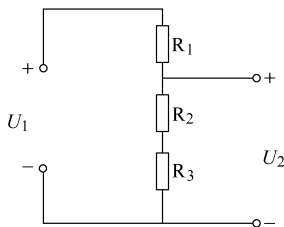


图 1-13 分压电路

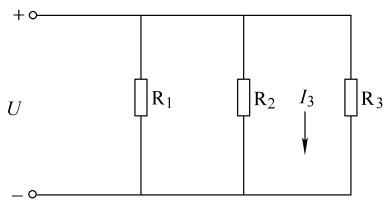


图 1-14 分流电路

注: 在采用串、并联方法时, 除了应计算总阻值是否符合要求外, 还必须检查每个电阻

器的额定功率是否有比其在电路中所承受的实际功率大一倍以上。

(2) 敏感电阻器的应用

敏感电阻器由于它们几乎都是用半导体材料做成的,因此这类电阻器也称为“半导体电阻器”。敏感电阻器主要是指电特性(例如电阻率)对于温度、光通、电压、机械力、磁通、湿度和气体浓度等物理量表现敏感的元件,如热敏、光敏、压敏、力敏、磁敏、湿敏和气敏电阻器。利用这类元件可以构成能检测相应物理量的探测器,如红外探测器、辐射热探测器等;还可制成无触点开关和非接触式电位器,如光电电位器和磁敏电位器等。

随着电器设备的发展,敏感电阻器的应用越来越广泛。如可见光光敏电阻器主要应用于各种光电控制系统、光电自动开关门户、声光控照明系统和报警器等;正温度系数热敏电阻器(PTC)一般用于电冰箱压缩机起动电路、彩色显像管消磁电路、电动机过电流过热保护电路、限流电路和恒温电加热电路等方面;负温度系数热敏电阻器(NTC)一般用于各种电子产品温度补偿、温度控制和稳压电路等方面。

(3) 电阻器在电力设备中的应用

电力电路是高电压、大功率、大电流的电路,对电阻器的要求较高。在选择时既要考虑电阻器的电参数也要注意电阻器的形状,以适应不同电力设备的需要。

1) 陶瓷管型起动式线绕电阻器。

陶瓷管型起动式线绕电阻器将固定圈数成形于陶瓷管上,选择适当电阻合金线材,顺着陶瓷管上螺旋状牙沟缠绕,其外形如图 1-15 所示。该起动电阻器功率大且坚固,耐高温、散热性优,温度系数小、呈直线变化,适合大电流做短时间过负荷时使用,适用于电动机起动、负载测试、产业机械、电力分配、仪器设备及自动控制装置等。

2) 电力铝壳电阻器。

电力铝壳电阻器是弹簧合金电阻体与成形铝壳的组合,将其经高温阳极处理后,再以特殊不燃性耐热水泥充填,待阴干后经过高温处理固定绝缘而成,其外形如图 1-16 所示。由于整个电阻器都被耐热水泥充填固定,所以不怕外来的机械力量与尘埃环境。这种电阻器不但功率大而且坚固,耐振,散热良好,温度系数小,呈直线变化,适用于产业机械、负载测试、电力分配、仪器设备及自动控制装置等。

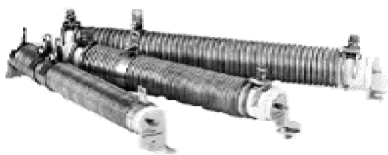


图 1-15 陶瓷管型起动式线绕电阻器



图 1-16 电力铝壳电阻器

1.2 电位器的选用及检测

1. 电位器定义

电位器又称为可变电阻器,它是在一定的范围内阻值连续可变的一种电阻器,主要用于阻值需要经常变动的电路中。由于它在电路中的作用是获得与输入电压(外加电压)成一定关系的输出电压,因此也称之为电位器。通常由电阻体与转动或滑动系统组成,其主要作

用是调节电压（包括直流电压和信号电压等）和电流。

电阻体有两个固定端，通过手动调节转轴或滑柄，改变动触点在电阻体上的位置，即改变动触点与任一固定端之间的阻值，从而改变电压与电流的大小。

2. 电路图形符号

电位器阻值的单位与电阻器相同，基本单位也是欧姆，用符号 Ω 表示。电位器在电路中用字母 R 或 RP（旧标准用 W）表示，图 1-17 是其电路图形符号。



图 1-17 电位器电路图形符号

3. 电位器的主要参数

电位器的主要参数有标称阻值、额定功率、分辨率、滑动噪声、阻值变化特性、耐磨性、零位电阻及温度系数等。

(1) 电位器的标称阻值和额定功率

- 1) 电位器上标注的阻值叫标称阻值，它等于电阻体两个固定端之间的电阻值。
- 2) 电位器的额定功率是指在直流或交流电路中，当大气压为 87 ~ 107kPa 时，在规定的额定温度下长期连续负荷所允许消耗的最大功率。线绕和非线绕电位器的额定功率系列如表 1-10 所示。

表 1-10 电位器额定功率标称系列（单位：功率）

电位器系列	0.025、0.05、0.25、0.5、1、1.6、2、3、5、10、16、25、40、63、100
线绕电位器	0.25、0.5、1、1.6、2、3、5、10、16、25、40、63、100
非线绕电位器	0.25、0.05、0.1、0.25、0.5、1、2、3

(2) 电位器的阻值变化规律

阻值变化特性是指电位器的阻值随活动触点移动长度或转轴转动角度的变化关系，即阻值输出函数特性。电位器在旋转时，阻值变化规律有三种不同形式，阻值变化特性曲线如图 1-18 所示。X 型为直线式，阻值随旋转角度均匀变化，适于分压、调节电流用。Z 型为指数式，阻值随旋转角度依据指数关系变化，普遍用在音量调节电路中。D 型为对数式，阻值随旋转角度依对数关系变化，用于电路的特殊调节。

- 1) 直线式 X 电位器的阻值变化与旋转角度成直线关系。当电阻体上的导电物质分布均匀时，单位长度的阻值大致相等。它适用于要求调节均匀的场合（如分压器）。
- 2) 指数式 Z 电位器电阻体上的导电物质分布不均匀，电位器开始转动时，阻值变化较慢，转动角度增大时，阻值变化较陡。指数式电位器单位面积允许承受的功率不等，阻值变化小的一端允许承受的功率较大。它普遍应用于音量调节电路里，因为人耳对声音响度的听觉特性是接近于指数关系的。在音量从零开始逐渐变大的一段过程中，人耳对音量变化的听觉最灵敏，当音量大到一定程度后，人耳的听觉逐渐变迟钝。所以音量调节一般采用指数式电位器，使声音的变化显得平稳、舒适。

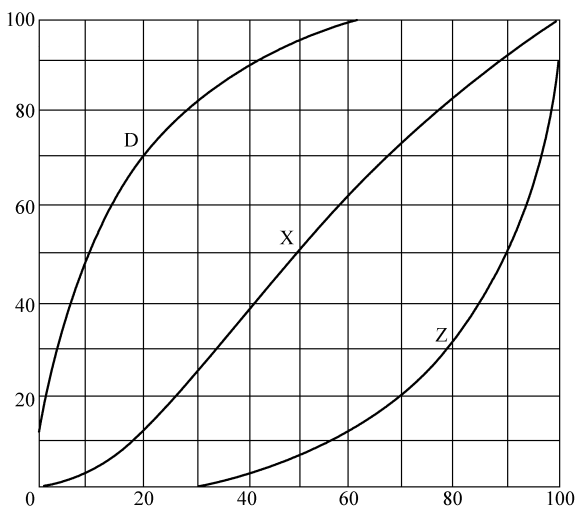


图 1-18 电位器阻值变化特性曲线

3) 对数式 D 电位器电阻体上导电物质的分布也不均匀, 在电位器开始转动时, 其阻值变化很快, 当转动角度增大时, 转动到接近阻值大的一端时, 阻值变化比较缓慢。对数式电位器适用于与指数式电位器要求相反的电子电路中, 如电视机的对比度控制电路、音调控制电路。

(3) 电位器的分辨率

电位器的分辨率也称为分辨力, 对线绕电位器来讲, 当动接点每移动一圈时, 输出电压不连续地发生变化, 这个变化量与输出电压的比值为分辨率。直线式线绕电位器的理论分辨率为绕线总匝数 N 的倒数, 并以百分数表示。电位器的总匝数越多, 分辨率越高。

(4) 电位器的最大工作电压

电位器的最大工作电压是指电位器在规定的条件下, 长期可靠地工作而不损坏, 所允许承受的最大工作电压, 也称为额定工作电压。

电位器的实际工作电压要小于额定工作电压。如果实际工作电压高于额定工作电压, 则电位器所承受的功率要超过额定功率, 会导致电位器过热损坏。

(5) 电位器的动噪声

当电位器在外加电压作用下, 其动接触点在电阻体上滑动时, 产生的电噪声称为电位器的动噪声。动噪声是滑动噪声的主要参数之一, 动噪声值的大小与转轴速度、接触点和电阻体之间的接触电阻、电阻体的电阻率不均匀变化、动接触点的数目以及外加电压的大小有关。

4. 常用电位器类型

(1) 线绕电位器

线绕电位器是利用电阻合金丝在绝缘骨架上绕制而成的, 常用作精密电位器和大功率电位器, 如图 1-19 所示, 精度可达 0.1%, 功率可达 100W 以上。线绕电位器结构可做成单圈、多圈、多连等。根据用途可制成普通型、精密型、微调型等。线绕电位器精度易于控制, 精度高, 接触电阻小,

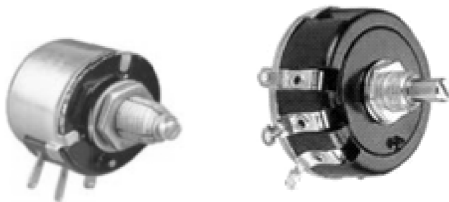


图 1-19 线绕电位器

温度系数小, 噪声低, 但由于有线圈结构, 电感大, 高频特性不好, 因此阻值偏低。

线绕电位器是将康铜丝或镍铬合金丝作为电阻体, 并把它绕在绝缘骨架上制成的。其主要用作分压器、变阻器、仪器中调零和调整工作点等。

(2) 合成碳膜电位器

合成碳膜电位器是在绝缘基体上涂覆一层合成碳膜, 再与其他零件组合而成, 如图1-20所示。这类电位器阻值分辨高, 阻值变化连续, 阻值范围宽 ($100\Omega \sim 5M\Omega$); 功率不太高, 功率一般有 $0.125W$ 、 $0.5W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 等; 精度较差, 一般为 $\pm 20\%$; 且耐温、耐潮性能差, 低阻值的电位器不容易制作。但由于合成碳膜电位器的使用寿命较长, 成本低, 型号多, 能制成各种类型的电位器, 因而广泛用于家用电器产品中。如图1-20所示。

合成碳膜电位器的电阻体是用炭黑、石墨、石英粉和有机粉合剂等配成一种悬浮液, 涂在玻璃钎纤维板或胶纸上制作而成, 制作工艺简单, 是目前应用最广泛的电位器。

(3) 有机实心电位器

有机实心电位器是一种新型电位器, 由导电体与有机填料和热固性树脂配制成电阻粉, 用加热塑压的方法, 在基座上通过将有机电阻粉压在绝缘体的凹槽内形成实心电阻体, 如图1-21所示。这类电阻结构简单、体积小、寿命长、可靠性高。

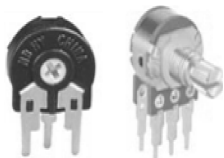


图 1-20 合成碳膜电位器

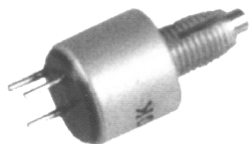


图 1-21 有机实心电位器

有机实心电位器与碳膜电位器相比具有耐热性好、功率大、耐磨性好的优点。阻值范围在 $47\Omega \sim 4.7M\Omega$ 之间, 功率多在 $0.25 \sim 2W$ 之间, 但耐潮性能差, 制造工艺复杂, 阻值精度较差, 精度误差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等几种。有机实心电位器的缺点是温度系数大, 动噪声大, 起动力矩大, 因此这种电位器多用于对可靠性要求较高的电子仪器, 小型化、高可靠、高耐磨性的电子设备中以及在交、直流电路中用作调节电压、电流使用。

(4) 多圈电位器

转轴每转一圈, 滑动臂触点在电阻体上仅改变很小一段距离, 其滑动臂从一个极端位置到另一个极端位置时, 转轴需要转动多圈。多圈电位器阻值调整精度高, 最多可达40圈, 在阻值需要大范围进行微量调整时, 可选用多圈电位器。多圈电位器有线绕型、瓷金膜型及有机实心型等, 如图1-22所示。

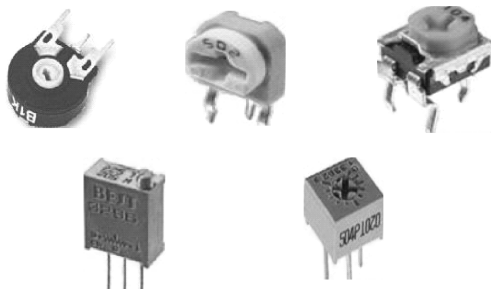


图 1-22 多圈电位器

(5) 导电塑料电位器

电阻体由炭墨、石墨、超细金属粉与邻苯二甲酸二丙烯酸酯塑料和黏结剂塑压而成, 如图1-23所示。这种电位器耐磨性好, 接触可靠, 分辨力高, 寿命可达线绕电位器的100倍, 但频率特性不如碳膜电位器, 而且韧性差。

普通的碳膜电位器用量最大, 在单圈式电位器中已基本取代了成本较高的线绕式电位器。

(6) 金属膜电位器

金属膜电位器是由金属合金膜、金属氧化膜、金属复合膜和氧化钽膜等几种材料通过真空技术,沉积在陶瓷基体上而制作的,如图 1-24 所示。这类电位器耐热性好、分辨力高、分布电感和分布电容小、噪声电动势很低,但是耐磨性差、阻值范围小 ($10 \sim 100\text{k}\Omega$)。



图 1-23 导电塑料电位器

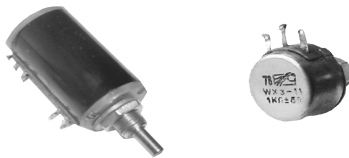


图 1-24 金属膜电位器

(7) 数字电位器

数字电位器取消了活动件,是一个半导体集成电路,如图 1-25 所示。其优点为调节精度高,没有噪声,有极长的工作寿命,无机械磨损,数据可读写,具有配置寄存器及数据寄存器,多电平量存储功能,特别适用于音频系统,易于软件控制,体积小,易于装配。它适用于家庭影院系统、音频环绕控制、音响功放和有线电视设备等。



图 1-25 数字电位器

5. 电位器的选择及使用

(1) 电位器的检测

检查电位器时,首先要转动旋柄,看看旋柄转动是否平滑,开关是否灵活,开关通、断时“喀哒”声是否清脆,并听一听电位器内部接触点和电阻体摩擦的声音,如有“沙沙”声,说明质量不好。

电位器测量:一般先测量它的总阻值与标称值是否接近,如果测量值与标称值相差很大,则电位器已损坏,如果测量值与标称值基本一致,还要进一步测量滑动臂旋转时的阻值变化。其阻值变化应均匀,测量时仔细观察万用表的指针偏转是否平稳,有无跳跃、跌落或抖动等现象,如果无上述现象,说明电位器是好的;如果有上述现象,说明电位器性能不良。

用万用表测试时,先根据被测电位器阻值的大小,选择好万用表的合适电阻挡位,然后可按下述方法进行检测。

用万用表的电阻挡测得电位器“1”、“3”固定端总阻值,读数应在标称值范围内。用万用表的电阻挡测“1”、“2”两端,电阻值应变化,其读数应在电位器的标称阻值范围内变化,如万用表的指针不动或阻值相差很多,则表明该电位器已损坏。

测“1”、“2”或“1”、“3”可调端之间电阻,反复慢慢旋转电位器轴,观察指针是否连续、均匀变化。如有不连续的跳跃或指针不稳定,则说明接触不良。

检测电位器的活动臂与电阻片的接触是否良好。用万用表的电阻挡测“1”、“2”(或“2”、“3”)两端,将电位器的转轴按逆时针方向旋至接近“关”的位置,这时电阻值应越小越好。再顺时针慢慢旋转轴柄,电阻值应逐渐增大,表头中的指针应平稳移动。当轴柄旋至极端位置“3”时,阻值应接近电位器的标称值。如万用表的指针在电位器的轴柄转动过程中有跳动现象,说明活动触点有接触不良的故障。

测试开关的好坏:带开关的电位器还要测量电位器的开关是否起作用,接触是否良好。

检查时可用万用表的“ $R \times 1\Omega$ ”挡测“4”、“5”两焊片间的通、断情况是否正常,具体操作方法如图1-26所示。旋转电位器的轴柄,使开关接通,万用表上指示的电阻值应由无穷大变为 0Ω ,再关断开关,万用表指针应从 0Ω 返回到无穷大处。

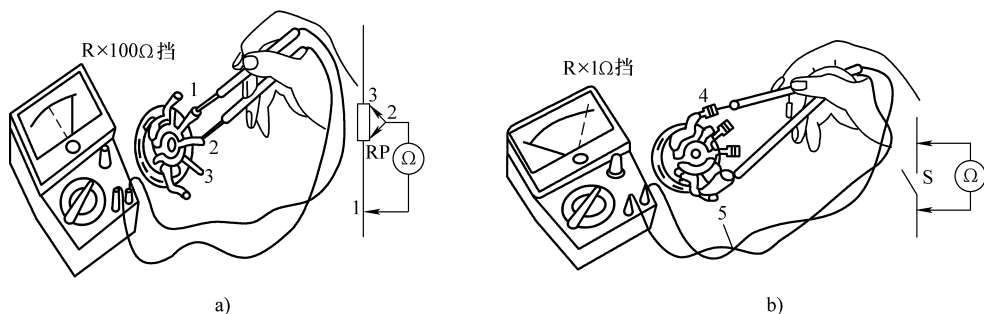


图1-26 用万用表的可变电阻器测量

测量电位器各端子与外壳及旋转轴之间是否相互绝缘。如测得电阻值无穷大,说明各端子与外壳及旋转轴之间绝缘良好。

(2) 电位器的清洗

清洗时将无水酒精滴到电阻体上,反复滑动滑片,使触点在电阻体上滑动,达到清洗电阻体和触点的目的。最后再滴入一滴润滑油,以减小摩擦,避免清洗后的电位器在使用不长的时间后会再度出现转动噪声大的故障。

(3) 电位器的选用

1) 在选用电位器时,首先了解电子产品整机工作环境条件,然后与电位器技术性能中所列的工作环境条件相对照,从中选用条件相一致的电位器。

2) 根据不同的用途选用不同阻值变化特性的电位器,如选用线性电位器(X型)还是对数电位器(D型)。

3) 根据不同设备的有效空间选用不同体积和形状的电位器。

4) 阻值应选取最靠近计算值的一个标称值。

5) 额定功率选取应比计算的耗散功率大一些(1.5~2倍)的标称值。

(4) 电位器的替换

电位器除转动噪声大的故障外,其他故障一般不能修复,需要换原型号的新电位器。

若替换需要遵循如下原则:

1) 阻值变化特性不同的,如X型、Z型、D型不能相互替代。

2) 标称值选择相同或相近的。

3) 额定功率相同或新换电位器的功率可略大些。

4) 同类型结构、尺寸相同的电位器才能替换。

6. 电位器结构和使用

电位器由外壳、滑动轴、电阻体和3个引出端组成,如图1-27所示。电位器的种类很多,按调节方式可分为旋转式(或转柄式)和直滑式电位器;按联数可分为单联式和多联式电位器;按有无开关分为无开关和有开关两种;按阻值输出函数特性可分为直线式电位器、指数式电位器和对数式电位器三种。如实心电位器、片状电位器、碳膜电位器、玻璃釉电位器、精密导电塑料电位器和其他电位器。

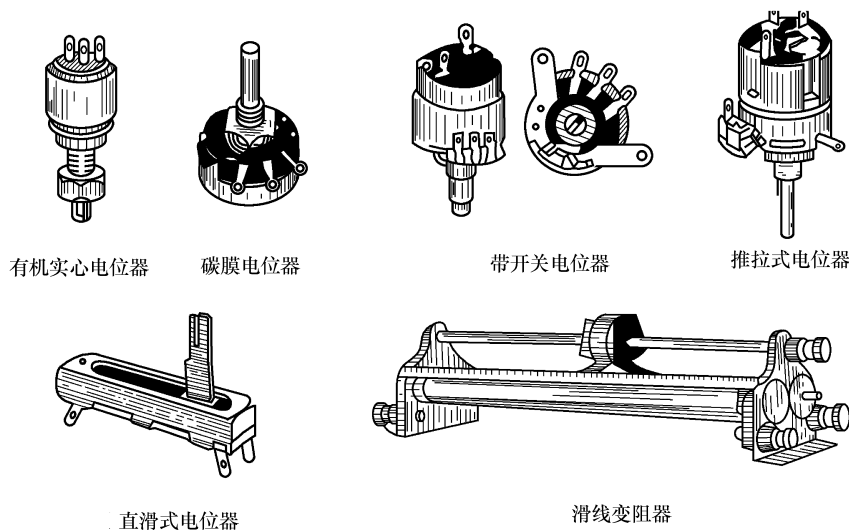


图 1-27 常见电位器结构

(1) 调光台灯电路

图 1-28 所示为一个简单实用的调光台灯电路。调节 RP 的阻值，可改变电容 C 充电达到 U_C 值的时间，即调整晶闸管的导通角，使晶闸管早一点或迟一点触发导通，从而调节晶闸管的输出电压，使灯两端电压能在 $0 \sim 220V$ 变化。电压高，灯发光亮；电压低，灯发光暗。

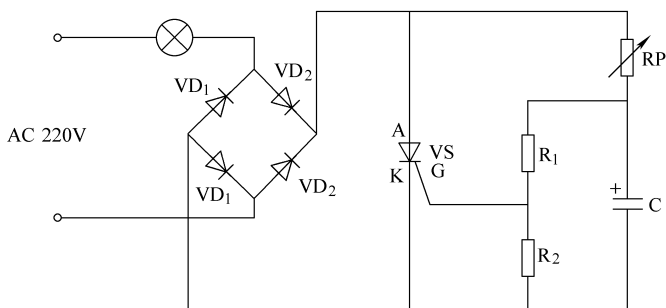


图 1-28 调光台灯电路

(2) 直流稳压电源电路

直流稳压电源电路如图 1-29 所示。一般 R_4 可选小功率的碳膜电位器、 RP 选大功率的线绕滑动式电位器。调节 R_4 的阻值可改变输出电压 U 的高低，调节 RP 可测试电源的带负载能力。

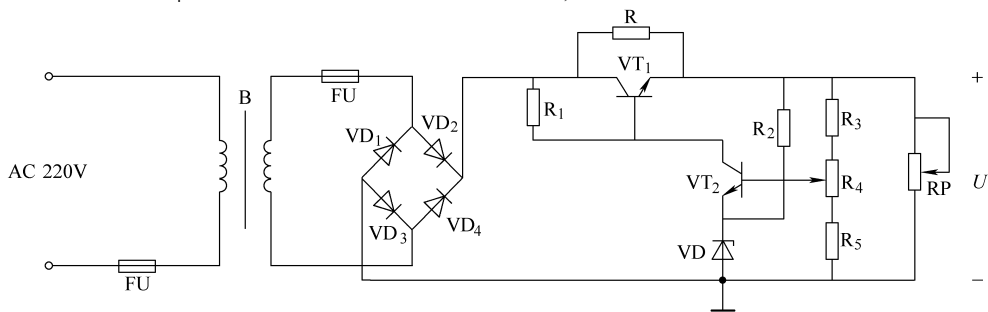


图 1-29 直流稳压电源电路

1.3 其他类型电阻器的选用及检测

敏感电阻器是指其阻值对某些物理量表现敏感电阻元件。常用的敏感电阻器有热敏、光敏、压敏、湿敏、磁敏、气敏和力敏电阻器等。它们是利用某种半导体材料对这些物理量的敏感性而制成的，也称为半导体电阻器。

敏感电阻器的符号是在普通电阻器的符号中加一斜线，并在旁边标注敏感电阻器的类型，如：t.v 等。

命名方法：

根据电子工业部的规定，敏感电阻器的命名由 4 部分组成，如图 1-30 所示。

第一部分：M 敏感元件；第二部分：类别；第三部分：用途和特征；第四部分：序号。

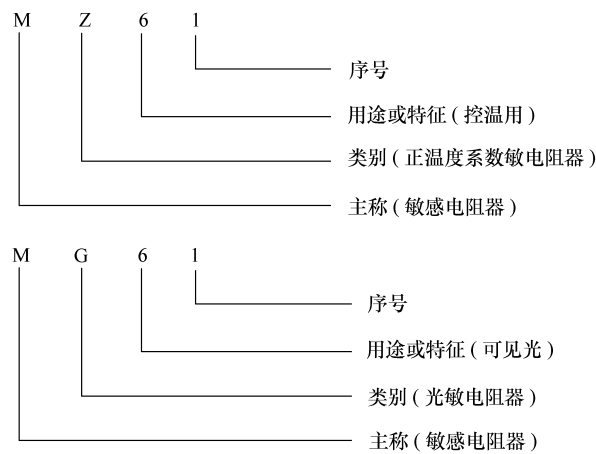


图 1-30 敏感电阻器的命名

1.3.1 热敏电阻器

将两种不同性质的金属导体 A、B 接成一个闭合回路，如果两接合点温度不相等 ($T_0 \neq T$)，则会在两导体间产生电动势，并且回路中有一定大小的电流存在，此现象称为热电效应。

热敏电阻器是一种对温度特别敏感电阻器，当温度变化时其电阻值会发生显著的变化。热敏电阻器大多数由金属氧化物按不同比例配方经高温烧结制成。其中阻值随温度升高而变小的叫负温度系数热敏电阻器 (NTC 型)；随温度升高而增大的为正温度系数热敏电阻器 (PTC 型)，常用来做彩电的消磁电阻、冰箱的起动电阻以及空调器的感温探头，如图 1-31 所示，在电路中用文字符号 RT 表示。

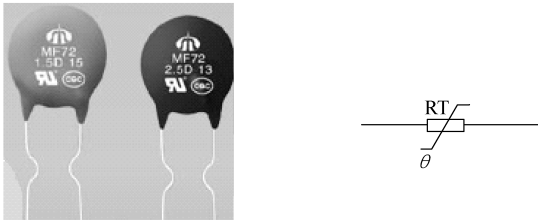


图 1-31 热敏电阻器

1. 热敏电阻器的种类

根据其结构、形状、灵敏度、受热方

式及温变特性的不同可以分为多种类型。

(1) 按结构及形状分 圆片形(片状)热敏电阻器、圆柱形(柱状)热敏电阻器、圆圈形(垫圈状)热敏电阻器等多种。

(2) 按对温度变化的灵敏度分 高灵敏度型热敏电阻器和低灵敏度型热敏电阻器。

(3) 按受热方式分 直热式热敏电阻器和旁热式热敏电阻器。

(4) 按温变特性分 正温度系数热敏电阻器和负温度系数热敏电阻器。

2. 热敏电阻器主要参数

(1) 标称阻值 指在环境温度为 25°C 时电阻器的阻值。

(2) 材料常数 描述电阻材料物理特性的一个参数, 又称热灵敏度。单位为开尔文(K)。热灵敏度值越大, 热敏电阻器的灵敏度和电阻率越高。

(3) 耗散常数 温度每增加 1°C 所耗散的功率, 是体现电阻器与外界环境热交换的量。

(4) 温度系数 电阻器在零功率条件下, 温度变化 1°C 时电阻值的相对变化量。

(5) 时间常数 热敏电阻器在无功耗状态下, 环境温度从一个温度向另一个温度突然转变时, 电阻体温度变化了这两个特定温度之差的 63.2% 所用时间。

(6) 功率灵敏度 阻值变化 1% 所消耗的外加功率, 取决于热敏电阻器的温度系数与环境之间的热交换条件。

(7) 工作电流 指稳压用热敏电阻器在正常工作状态下的规定电流值。

(8) 最大电压 指在规定环境温度下, 热敏电阻器正常工作所允许连续施加的最高电压值。

3. 热敏电阻器的检测选用

热敏电阻器选用时应使用同型号的, 特别是一些精度要求很高的场合, 否则电路将不能完成其应有的功能。

一般来说, 热敏电阻器对温度的敏感性高, 所以不宜用万用表来测量它的阻值。这是因为万用表的工作电流比较大, 流过热敏电阻器时会发热而使阻值改变。但对于确认热敏电阻器能否工作, 用万用表也可作简单判断。

1) 选择万用表适当的电阻挡量程, 测其常温下(约 25°C) 阻值, 应非常接近它的标称阻值, 当环境温度偏离 25°C 时, 测得的阻值有偏差是正常的。具体为: 将万用表拨到电阻挡(视标称电阻值定挡位), 用万用表的红、黑表笔分别夹住热敏电阻器的两脚, 记下此时的阻值, 如图 1-32 所示。

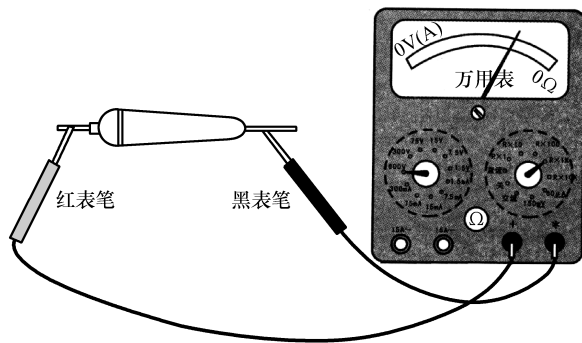


图 1-32 万用表测量热敏电阻器标称阻值

2) 用通电的电烙铁放在热敏电阻器附近, 改变它的温度, 此时测得的阻值应有相应的变化, 阻值增大为正温度系数热敏电阻器, 阻值减小为负温度系数热敏电阻器。

加温检测: 在常温测试正常的基础上, 可进行加温检测, 将一热源 (例如电烙铁) 靠近热敏电阻器对其加热, 同时用万用表监测其电阻值是否随温度的升高而增大或减小, 如图 1-33 所示。观察万用表, 会看到随着温度的慢慢升高指针会慢慢向右移或者左移, 表明电阻在逐渐减小或增加, 如是, 则说明热敏电阻器正常, 若阻值无变化, 则说明其性能变劣, 不能继续使用。注意不要将热源与热敏电阻器靠得过近或直接接触热敏电阻器, 以防止将其烫坏。

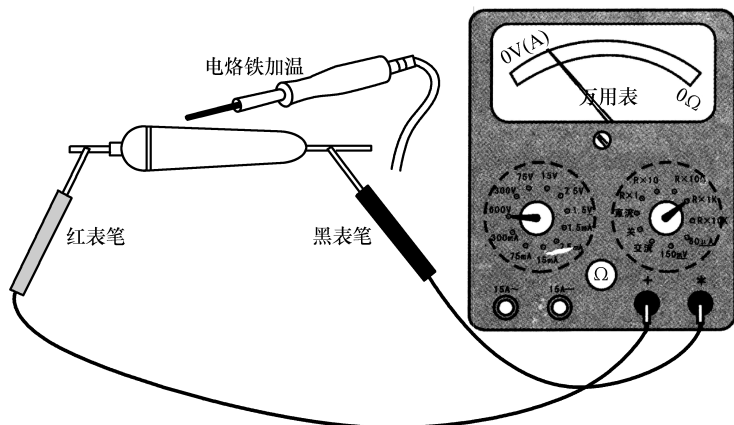


图 1-33 加温检测热敏电阻器

3) 若测得为开路或短路, 或阻值偏离标称阻值很多, 或加温后阻值无变化, 则均说明热敏电阻器已损坏。

1.3.2 压敏电阻器

压敏电阻器是一种对电压敏感的电阻元件。当加在该元件上的电压低于标称电压值时, 其阻值无穷大; 当加在该元件上的电压高于标称电压值时, 其阻值急剧减小。它是利用半导体材料具有非线性伏安特性原理制成的, 主要有碳化硅和氧化锌压敏电阻器, 氧化锌具有更多的优良特性。它们都具有电压范围宽、非线性特性好、电压温度系数小、耐浪涌能力强、体积小、寿命长的特点, 在电子电路中, 常用作过电压保护和稳压元件, 如图 1-34 所示, 它在电路中用文字符号 RV 表示。



图 1-34 压敏电阻器

压敏电阻器与其他非线性器件 (稳压管等) 相比, 具有温度系数小, 范围宽 (几伏 ~ 万伏), 耐冲击, 而且具有对称或非对称的伏安特性, 也可用于自动增益调节。

1. 压敏电阻器的特性

压敏电阻器的电阻值随端电压的变化而变化, 电压与电流呈特殊的非线性关系。当压敏

电阻器两端所加电压低于标称额定电压值时,压敏电阻器的电阻值接近无穷大,内部几乎无电流流过。当压敏电阻器两端电压略高于标称额定电压时,压敏电阻器将迅速击穿导通,并由高阻状态变为低阻状态,工作电流也急剧增大。当其两端电压低于标称额定电压时,压敏电阻器又能恢复为高阻状态。当压敏电阻器两端电压超过其最大限制电压时,压敏电阻器将完全击穿损坏,无法再自行修复。

2. 压敏电阻器主要参数

(1) 标称电压 一般指在通过 1mA 直流电流下压敏电阻器的端电压。

(2) 非线性系数 表示压敏电阻器在给定的外加电压作用下其偏离伏安特性的程度,静态电阻值与动态电阻值之比,该值越大越好。

(3) 通流容量 又称通流量,是在用规定的时间和次数进行标准波形冲击(一般 8/20 μ s, 2ms 方波),压敏电阻器标称电压变化率符合技术条件规定的允许通过压敏电阻器上的最大脉冲电流。

(4) 残压比 当流过压敏电阻器的脉冲电流为某一值时,两端所产生的电压为这一电流值的残压。残压比则是残压与标称电压之比。

(5) 电压比 10 倍标称电流(1mA)的电压与标称电流(0.1mA)的电压之比。

(6) 电压非线性系数 2~5,压敏电阻器在给定的外加电压作用下,其静态电阻值与动态电阻值之比。

(7) 电压温度系数 在规定的温度范围内(20~70 $^{\circ}$ C)内,压敏电阻器标称电压的变化率,即在通过压敏电阻器的电流保持恒定,温度改变 1 $^{\circ}$ C 时,压敏电阻器两端电压的相对变化。一般 $\leq 0.5\%$ $^{\circ}$ C。

(8) 电流温度系数 在压敏电阻器的两端电压保持恒定时,温度改变 1 $^{\circ}$ C 时,流过压敏电阻器电流的相对变化。

如环形压敏电阻器 MY10: 标称电压(1mA) 3~4.5V, 允许偏差 $\pm 25\%$ 。

3. 压敏电阻器的检测

用万用表的“R $\times 1k\Omega$ ”挡测量压敏电阻器两引脚之间的正、反向绝缘电阻,均为无穷大,否则,说明漏电流大。若所测电阻值很小,则说明压敏电阻器已损坏,不能使用,如图 1-35 所示。

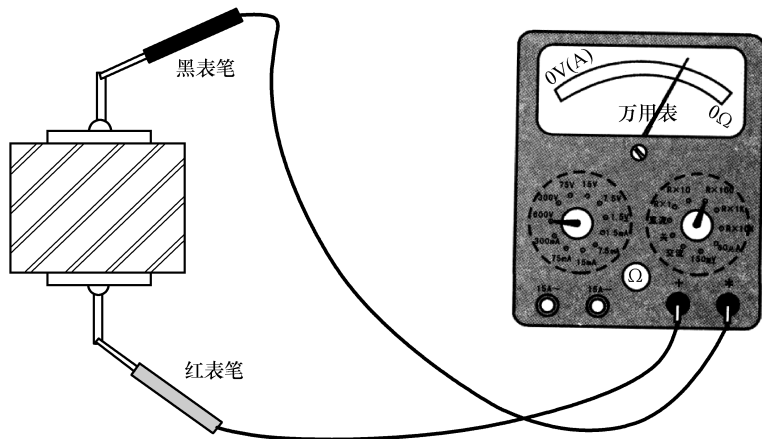


图 1-35 万用表测量压敏电阻器

1.3.3 光敏电阻器

光敏电阻器是一种利用光电效应的半导体材料制成、且对光通量敏感的电阻元件。光敏电阻器是电导率随着光量度的变化而变化的电子元件,当某种物质受到光照时,载流子的浓度增加从而增加了电导率,这就是光电导效应。光敏电阻器受到光线照射时,电子迁移,产生电子空穴对,使电阻率变小,光照越强,阻值越低。入射光线消失,电子空穴对恢复,电阻值逐渐恢复较高原值。

光敏电阻器由玻璃基片、光敏层、电极组成,光敏电阻器的外形结构多为片状,如图1-36所示,在电路中用字母RL或RG表示。



图1-36 光敏电阻器

1. 光敏电阻器的结构、特性

(1) 光敏电阻器的结构

光敏电阻器是用硫化镉(CdS)或硒化镉(CdSe)等半导体材料制成的特殊电阻器,这些半导体具有光电导效应,对光线十分敏感。按制作材料分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器,按光谱特性分为可见光光敏电阻器、紫外线光敏电阻器和红外光光敏电阻器。

(2) 光敏电阻器的特性

在无光照射时,呈高阻状态,暗阻值一般可达 $1.5\text{M}\Omega$ 以上;当有光照射时,材料中便激发出自由电子和空穴,其电阻值减小,随着照度的升高,电阻值迅速降低,亮阻值可小至 $1\text{k}\Omega$ 以下。使用光敏电阻器时给它施以直流或交流偏压。

2. 光敏电阻器主要参数

(1) 亮电阻 光敏电阻器受到光照射时的电阻值。一般规定在A光源,色温 $2854 \pm 50\text{K}$,照度 100lx 条件下测得。

(2) 暗电阻 光敏电阻器在无光照射(黑暗环境)时的电阻值。在照度 0lx 条件下测得,由于它会随时间延长而增加,所以规定时间为 30s 。

(3) 时间常数 当光敏电阻器从0上升到 100lx 时电阻器到达稳定状态的63%所需的时间。

(4) 光谱特性 表示光敏电阻器对不同波长的光照敏感程度,光谱响应最敏感的波长称为光谱响应峰值。

(5) 温度系数 在环境温度变化 1°C 时,亮电阻的相对变化,一般规定在 100lx 下测试。

(6) 照度指数 表征光照与亮电阻的关系曲线称为照度指数,一般在照度为1、10、100、 1000lx 条件下分段测试。

(7) 亮电流 光敏电阻器在规定的外加电压下受到光照时所通过的电流。

(8) 暗电流 光敏电阻器在无光照射时,光敏电阻器在规定的外加电压下通过的电流。

(9) 灵敏度 光敏电阻器在有光照射和无光照射时电阻值的相对变化。

如光敏电阻器MG41-2

外径尺寸: $\varnothing 9.2\text{mm}$

额定功率:20MW

亮电阻： $\leq 1 \sim 10\text{k}\Omega$

暗电阻： $\geq 0.1 \sim 10\text{M}\Omega$

使用环境温度： $-40 \sim 70^\circ\text{C}$

时间常数： $\leq 20\text{ms}$

最高工作电压： 100V

如光敏电阻器 MG41-4

外径尺寸： $\varnothing 9.2\text{mm}$

额定功率： 100mW

亮电阻： $\leq 100 \sim 200\Omega$

暗电阻： $\geq 50 \sim 1000\text{M}\Omega$

使用环境温度： $-40 \sim 70^\circ\text{C}$

时间常数： $\leq 20\text{ms}$

最高工作电压： 150V

3. 光敏电阻器的检测

1) 用一黑纸片将光敏电阻器的透光窗口遮住，此时万用表的指针基本保持不动，阻值接近无穷大，此值越大说明光敏电阻器性能越好。若此值很小或接近为零，则说明光敏电阻器已烧穿损坏，不能再继续使用。

2) 将一光源对准光敏电阻器的透光窗口，此时万用表的指针应有较大幅度的摆动，阻值明显减小，此值越小说明光敏电阻器性能越好。若此值很大甚至无穷大，则表明光敏电阻器内部开路损坏，也不能再继续使用。

3) 将光敏电阻器透光窗口对准入射光线，用小黑纸片在光敏电阻器的遮光窗上部晃动，使其间断受光，此时万用表指针应随黑纸片的晃动而左右摆动。如果万用表指针始终停在某一位置不随纸片晃动而摆动，就说明光敏电阻器的光敏材料已经损坏。

1.3.4 湿敏电阻器

湿敏电阻器主要包括氯化锂湿敏电阻器、碳湿敏电阻器、氧化物湿敏电阻器。由感湿层、电极、绝缘体组成，如图 1-37 所示，在电路中用符号 RS 表示。

氯化锂湿敏电阻器阻值随湿度上升而减小，其缺点为测试范围小，特性重复性不好，受温度影响大；碳湿敏电阻器缺点为低温灵敏度低，阻值受温度影响大，有老化特性，因而较少使用；氧化物湿敏电阻器性能较优越，可长期使用，温度影响小，阻值与湿度变化呈线性关系。

1. 湿敏电阻器的结构特性

湿敏电阻器一般由基体、电极和感湿层等组成，基体采用聚碳酸酯板、氧化铝、电子陶瓷等不吸水、耐高温的材料制成。感湿层为微孔型结构，具有电解质特性，根据感湿层使用的材料和配方不同，它分为正电阻湿度特性（电阻值随湿度增大而增大）和负电阻湿度特性。

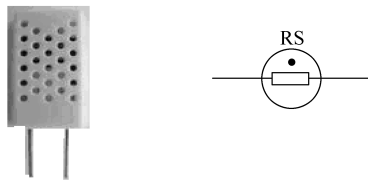


图 1-37 湿敏电阻器

2. 湿敏电阻器的主要参数

(1) 灵敏度 相对湿度变化1%时阻值变化的百分率。灵敏度是检测湿度时的分辨率,单位为 $\% / \% \text{RH}$ 。

(2) 相对湿度 在某一温度下,空气中所含水蒸气的实际密度与同一温度下饱和密度之比。

(3) 测湿范围 湿度测量范围。

(4) 时间常数 湿敏电阻器阻值增量从零变化到稳定增量的63%所需要的时间。

(5) 温度系数 在环境湿度恒定时,湿敏电阻器在温度变化 1°C 时阻值变化相当于多少湿度的变化量称为温度系数。

如 MSC1 湿敏电阻器

使用温度: $0 \sim 150^{\circ}\text{C}$

测湿范围: $1\% \sim 100\% \text{RH}$

精度偏差: $4\% \text{RH}$

阻值范围: $5\text{k}\Omega \sim 5\text{M}\Omega$

灵敏度: $200\% / \% \text{RH}$

使用电压: $\leq \text{AC } 3\text{V}$

响应时间: $\leq 10\text{s}$

温度系数: $0.02\% \text{RH} / ^{\circ}\text{C}$

3. 湿敏电阻器的检测

在正常湿度下,将万用表的红、黑表笔分别搭在湿敏电阻器的两端引脚上,读出此时湿敏电阻器的电阻值,如图1-38所示。

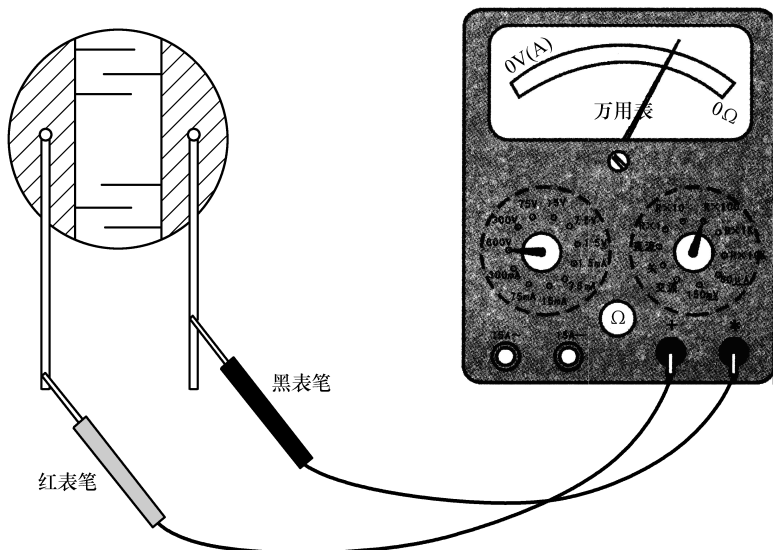


图1-38 正常湿度湿敏电阻器电阻值

然后对湿敏电阻器喷一点水雾,立即将万用表的红、黑表笔分别搭在湿敏电阻器两端引脚上,观察表盘,读出电阻值,如果电阻值比喷水雾前小很多,则说明湿敏电阻器起作用,

如果阻值变化很小或几乎没变化,则表明湿敏电阻器可能已经不起作用,如图 1-39 所示。

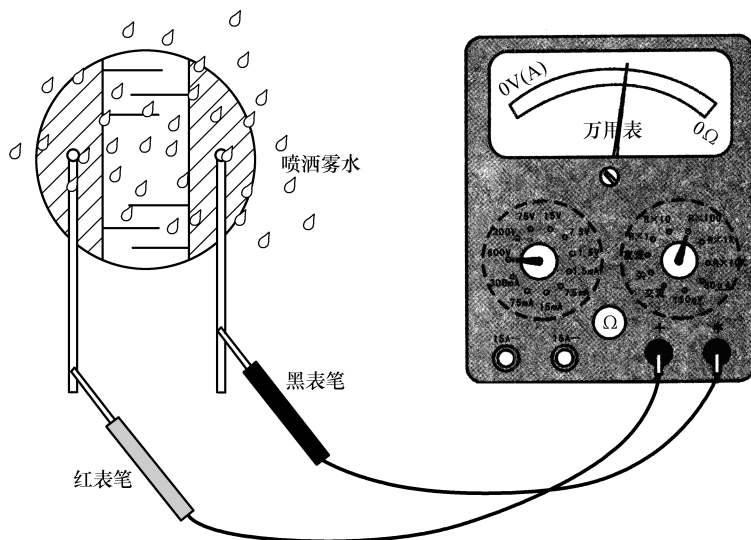


图 1-39 加湿度的湿敏电阻器电阻值

1.3.5 熔断电阻器

熔断电阻器又叫熔丝电阻器,是一种具有电阻器和熔断器双重作用的特殊元件,如图 1-40 所示,在电路中用字母 RF 表示。

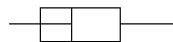


图 1-40 熔断电阻器的电路图形符号

熔断电阻器在电路正常工作时具有普通电阻器的功能;当电路出现故障超过其额定功率时,温度在很短的时间内就会升高到 500 ~ 600℃,这时电阻层便受热剥落而熔断,在规定时间内它会像熔丝一样熔断将连接电路断开,起到保险的作用,达到提高整机安全性的目的。熔断电阻器可以分绕线式、金属膜式、碳膜式、化学沉积膜式等,其阻值范围为 0.33Ω ~ 10Ω,如图 1-41 所示。电阻值过大或功率过大均不能起到保护作用。

熔断电阻器从工作方式上可分为可恢复式熔断电阻器和一次性熔断电阻器(几欧~几十欧)两种。

1. 可恢复式熔断电阻器

可恢复式熔断电阻器是将普通电阻器(或电阻丝)用低熔点焊料与弹簧式金属丝(或弹性金属片)串联焊接在一起后,再密封在一个圆柱形或方形的外壳中。在额定电流内,可恢复式熔断电阻器起固定电阻器作用,当电路出现过电流时,可恢复式熔断电阻器的焊点首先熔化,使弹簧状金属丝与电阻器断开,在排除电路故障后,按要求将电阻器与金属丝焊好,即可恢复正常使用。

常用的可恢复式熔断电阻器有 TH 系列和 R×90 系列等。

2. 一次性熔断电阻器

一次性熔断电阻器又称不可恢复式熔断电阻器,它在电路正常工作时起固定电阻器作用,当其工作电流超过额定电流时,熔断电阻器将会像熔断器一样熔断,对电路进行保护,

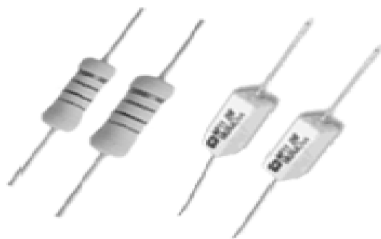


图 1-41 熔断电阻器

一次性熔断电阻器熔断后,无法进行恢复,只能更换新的熔断电阻器。

目前熔断电阻器有线绕式和膜式两种制作方式。

线绕式的电阻器常常在一部分绕线中采用细线或在部分绕线上不涂釉质保护层,这样在电阻器过负载时,细线部分或裸露部分就会因过热而熔断,对电路进行保护。

膜式熔断电阻器在制作时,通常是将膜层局部的螺纹间距缩短或在膜层表面涂覆低熔点的玻璃浆料(玻璃粉与金属氧化物等的混合物),当通过熔断电阻器的工作电流过大时,电阻器的导电膜层将迅速熔断。

膜式熔断电阻器的外壳有陶瓷、有机硅树脂、阻燃漆等材料,封装外形有长方形、圆柱形、腰鼓形等多种形式。

常用的国产金属膜熔断电阻器有RJ90-A、RJ90-B、RF10、RF11系列。

熔断电阻器被烧坏后,采用以下方法替换:

熔断电阻器的阻值在 1Ω 以下时,可以直接用熔断器替代。如果用固定电阻器串联熔断器替换,那么固定电阻器的阻值、功率和待换熔断电阻器要完全相同,所用熔断器的额定电流按公式 $I_{FU} = \sqrt{0.56P/R}$ 计算,式中的 P 和 R 分别是待换熔断电阻器的额定功率和额定阻值。

3. 熔断电阻器的检测

在电路中,当熔断电阻器熔断开路后,可根据经验做出判断:若发现熔断电阻器表面发黑或烧焦,可断定是其负荷过重,由于它的电流超过额定值很多倍所致;如果其表面无任何痕迹而开路,则表明流过的电流刚好等于或稍大于其额定熔断值。对于表面无任何痕迹的熔断电阻器好坏的判断,可借助万用表“ $R \times 1\Omega$ ”挡来测量,为保证测量准确,应将熔断电阻器一端从电路上焊下。若测得的阻值为无穷大,则说明此熔断电阻器已失效开路,若测得的阻值与标称值相差甚远,则表明电阻器变值,也不宜再使用。在维修实践中发现,也有少数熔断电阻器在电路中有被击穿短路的现象,检测时也应予以注意。

1.3.6 其他敏感电阻器

磁敏电阻器:又称磁控电阻器,是一种对磁场敏感的半导体元件。它可以将磁感应信号转变为电信号,在电路中用字母RM表示。它是利用锑化铟或砷化铟等半导体材料的磁电阻效应制成的,它的阻值能随着磁场强度的变化而变化。主要品种有锑化铟单晶磁敏电阻器、锑化铟-锑化镍磁敏电阻器等。半导体材料的电阻值随着磁场的增大而增大,这种现象即是磁电阻效应,磁敏电阻器可用于测量、探测、计算等方面。

力敏电阻器:力敏电阻器是一种能将力转变为电信号的特殊元件。它是利用半导体材料的压阻效应制成的,电阻值随外加力大小而改变。所谓压力电阻效应即半导体材料的电阻率随机械应力的变化而变化的效应。可制成各种力矩计、半导体话筒、压力传感器等。主要品种有硅力敏电阻器、砷镓合金力敏电阻器,相对而言,合金电阻器具有更高的灵敏度。

1.4 电容器的选用及检测

1.4.1 电容器的基础知识

1. 电容器和电容

电容器是由两个金属电极,中间夹一层电介质构成的。当两个电极之间加上电压时,电

极上就储存有电荷,所以电容器是一种储存电能的元件。因此在理论上,它对直流电流具有隔断的作用,而交流电流则可以通过,随着交流频率越高,它通过电流的能力也越强。

任何两个互相靠近而又彼此绝缘的导体都可构成电容器。组成电容器的两个导体叫做极板,极板中间的物质叫做电介质。常见电容器的电介质有空气、纸、油、云母、塑料、陶瓷等。

电容器具有隔直流、通交流的特性,因此常用于滤波旁路、交流耦合等电路中。电容器根据其用途不同可分为电子电容器和电力电容器。

电容器在电路中起着储存电荷的作用,电容器就是“储存电荷的容器”。对任何一个电容器而言,两极板的电压都随所带电荷量的增加而增加,并且电荷量与电压成正比,其比值 q/U 是一个恒量;但是对于不同的电容器,这一比值则不相同,可见 q/U 表现了电容器的固有特性。因此,把电容器所带电荷量与其端电压的比值叫做电容器的电容量,简称电容,用字母 C 表示。电容器电容量的基本单位是法,用字母 F 表示。因为实际中的电容器的容量往往比 1F 小得多,所以电路中常用的单位有微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF) 等,其关系是:

$$1 \text{ 法} = 10^6 \text{ 微法}$$

$$1 \text{ 微法} = 10^3 \text{ 纳法} = 10^6 \text{ 皮法}$$

$$1 \text{ F} = 10^3 \text{ mF} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{ nF} = 10^{12} \text{ pF}$$

电容器的电容与两极板的正对面积、两极板的间距以及两极板间的介质有关。两极板的正对面积越大,极板间的距离越小,电介质的介电常数越大,电容器的电容就越大。通常的可变电容器就是通过改变两极板的正对面积来实现电容量的变化的。

$$C = \frac{\epsilon s}{3.6\pi d}$$

2. 电容器图形符号和电容器的作用

(1) 电容器的图形符号

常见的电容器如图 1-42 所示,微调电容器如图 1-43 所示,电容器在电路中的图形符号如图 1-44 所示。

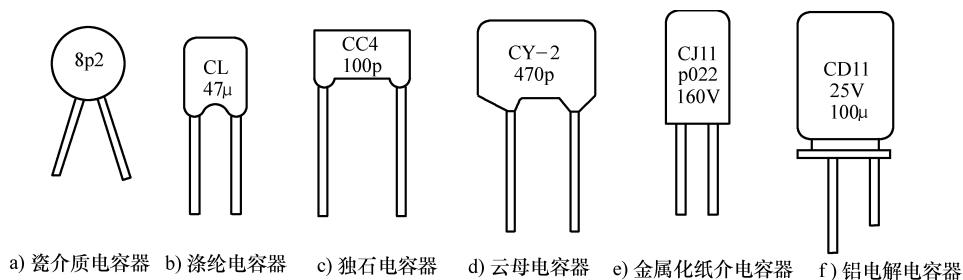


图 1-42 常用电容器

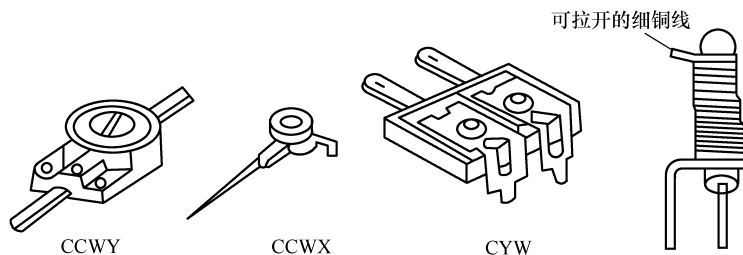


图 1-43 微调电容器

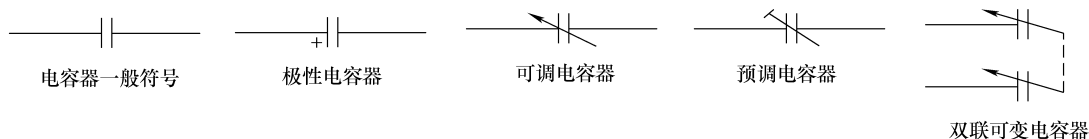


图 1-44 电容器的电路图中图形符号

(2) 电容器的作用

在电子电路中,电容器的主要功能是通交流、隔直流、通高频、阻低频、耦合、旁路、滤波、谐振等。在如图 1-45 所示电路中, C_1 、 C_6 、 C_8 为耦合电容, C_2 、 C_3 为滤波电容, C_4 、 C_5 、 C_7 为谐振电容。

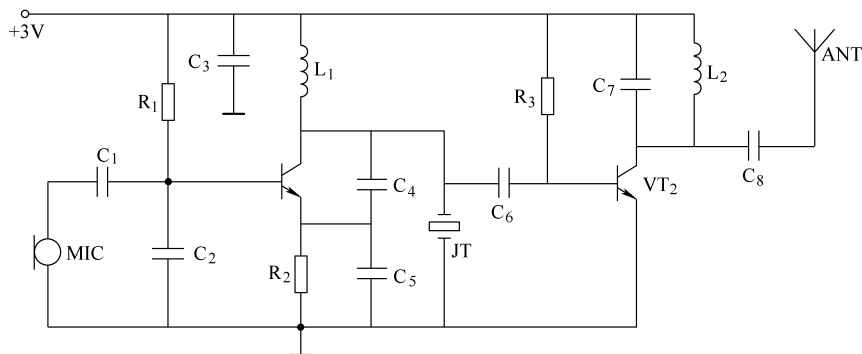


图 1-45 调频无线电话筒

3. 电容器的分类

电容器按其极性可分为无极性电容器和有极性电容器。

按电介质可分为有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器、液体介质电容器和气体介质电容器等。

按照结构的不同,我们将容量固定的电容器称为固定电容器,而可以调节的称为可调或半可调电容器(微调电容器)。

按不同用途分:高频电容器、低频电容器、回路电容器、耦合电容器、旁路电容器、隔直流电容器、滤波电容器、储能电容器、脉冲电容器。

按封装外形分:圆柱形电容器、圆片形电容器、管形电容器、叠片形电容器、长方形电容器、方块形电容器和异形电容器等多种。

按引线不同分:轴向引线式电容器、径向引线式电容器、同向引线式电容器和无引线式(贴片式)电容器等多种。

电容器还可分为低压的和高压的、无功功率小的和无功功率大的。

4. 电容器的主要参数

(1) 标称容量及允许偏差

电容器是一种储能元件,它在介质两边储存一定量的电荷,其储存电荷的能力称为电容量。电容器的品种比电阻器多,不同类型的电容器有不同系列的标称值。某些电容器的体积小,在标称数值时无法标上单位符号,这就需要根据电容器的材料、外形尺寸、耐压等数据加以判断。一般电容精度偏差较大,在 5% 以上,最大的可达 $-10\% \sim 100\%$ 。

在电容器上标注的电容量值，称为标称容量。国家规定只按一系列容量值生产，这一系列容量值叫做电容器的标称容量系列，其中常用的有 E6 和 E12 系列。

标准单位是法拉（F），常用的是微法（ μF ）、纳法（ nF ）、皮法（ pF ），它们之间的换算关系为： $1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^9\text{nF} = 10^{12}\text{pF}$ 。比如： 2pF 、 68pF 、 100pF 等电容量在 10000pF 以下的电容器通常用 pF 作单位。

标称容量与实际电容量之间有一定的差别，电容器的标称容量与其实际容量之差，称为容量偏差，允许的偏差范围称为允许偏差。容量偏差再除以标称值所得的百分比，就是允许偏差，如表 1-11 所示。允许偏差与电容器材料及容量大小有关，电解电容器的容量较大，偏差范围可能大于 $\pm 10\%$ ，而各种无极性电容器容量相对较小，偏差范围通常小于 $\pm 20\%$ 。

表 1-11 电容器的允许偏差等级

级别	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许偏差	1%	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$+20\% \sim -30\%$	$+50\% \sim -20\%$	$+100\% \sim -10\%$

偏差的标志方法一般有三种：

- 1) 将容量的允许偏差直接标志在电容器上。
- 2) 用罗马数字 I、II、III 分别表示 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。
- 3) 用英文字母 J、K、M、N 分别表示 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ ；D、F、G 分别表示 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ ；P、S、Z 分别表示 $+100 \sim 0\%$ 、 $+50 \sim -20\%$ 、 $+80 \sim -20\%$ ，如表 1-12 所示。

表 1-12 固定电容器容量的标称值系列

电容器类别	允许偏差	标称值系列
高频纸介质、云母介质、玻璃釉介质、高频（无极性）有机薄膜介质	$\pm 5\%$	1.0 1.1 1.1 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
纸介质、金属化纸介质、复合介质、低频（有极性）有机薄膜介质	$\pm 10\%$	1.0 1.5 2.0 2.2 3.3 4.0 4.7 5.0 6.0 6.8 8.2
电解电容器	$\pm 20\%$	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

(2) 额定电压

电容器的额定电压是指在规定温度范围内，电容器在电路中长期可靠地工作所允许加的最大直流电压，有时又分为额定直流工作电压和额定交流工作电压。如果电容器工作在交流电路中，则交流电压的峰值不得超过额定电压，否则电容器中介质会被击穿造成电容器的损坏。额定电压的数值通常都在电容器上标出。

电容器的工作寿命与其工作电压有关，若要延长电容器的使用期限，则应降低其实际使用时的工作电压。

额定工作电压的大小与电容器所用介质和环境温度有关，环境温度不同，电容器能承受的最高工作电压也不同。选用电容器时，要根据其工作电压的大小，选择额定工作电压大于实际工作电压的电容器，以保证电容器不被击穿。

固定式电容器的耐压系列值有：1.6、6.3、10、16、25、32*、40、50、63、100、125*、160、250、300*、400、450*、500、1000、1600、2500V 等（带*号者只限于电解电容使用）。耐压值一般直接标在电容器上，但有些电解电容器在正极根部用色点来表示耐压等级，如 6.3V 用棕色，10V 用红色，16V 用灰色，各颜色所表示的意义如表 1-13 所示。电容器在使用时不允许超过这个耐压值，若超过此值，电容器就可能损坏或被击穿，甚至爆裂。

表 1-13 电容器耐压色环标志

颜色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰
耐压	4V	6.3V	10V	16V	25V	32V	40V	50V	63V

- 小云母电容：250V 左右。
- 小瓷介电容：60V 左右。
- 聚苯乙烯电容：63V、160V、400V、600V 等。
- 电解电容：12V、25V、50V、160V、400V 等。
- 没有标出的，耐压一般在 100V 以下。
- 可变电容耐压一般在 100V 以上。

对于某些在交流电路中使用的电容器，还规定了在一定频率下所能连续施加的最大交流电压，为额定交流电压，以区别于通常在电容器上所标志的额定电压。

(3) 电容器的温度系数

温度的变化会引起电容器容量的微小变化，通常用温度系数来表示电容器的这种特性。温度系数是指在一定温度范围内，温度每变化 1℃ 时电容器容量的相对变化值。

(4) 绝缘电阻

绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻，也称漏电阻。一般电容器绝缘电阻为 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$ ，电容量越大绝缘电阻越小，所以不能单凭所测绝缘电阻值的大小来衡量电容器的绝缘性能。绝缘性能的优劣通常用绝缘电阻与电容量的乘积来衡量，称之为电容器的时间常数。电解电容器的绝缘电阻较小，一般采用漏电流来表示其绝缘程度。

电容器的绝缘电阻与电容器的介质材料和面积、引线的材料和长短、制造工艺、温度和湿度等因素有关。对于同一种介质的电容器，电容量越大，绝缘电阻越小。

电容器绝缘电阻的大小和变化会影响电子设备的工作性能，对于一般的电子设备，选用绝缘电阻越大越好。

(5) 电容器的漏电流

电容器的介质并不是绝对绝缘的，总会有些漏电，产生漏电流。当对电容器施加直流电压时，电容器就被充电，充电电流随时间逐渐下降，经长时间充电以后，其电流实际上并不降到零而保留一定的最终值，称为电容器的漏电流，包括通过电容器内部介质的漏电流以及通过电容器表面的漏电流。

一般电解电容器的漏电流比较大，其他电容器的漏电流很小。当漏电流较大时，电容器会发热；发热严重时，电容器会因过热而损坏。

(6) 电容器的频率特性

频率特性是指电容器对各种不同频率所表现出的性能，即电容量等电参数随着电路工作频率的变化而变化的特性。不同介质材料的电容器，其最高工作频率也不同，例如，容量较

大的电容器（如电解电容器）只能在低频电路中正常工作，而高频电路中只能使用容量较小的高频瓷介电容器或云母电容器等。

（7）损耗角正切

电容器的损耗：任何实际电容在电场作用下均有能量损耗，消耗的能量转变成热能，其中一部分向周围环境散发，另一部分则使电容器发热，温度升高。

$$\text{电容器的损耗角正切：}\tan\delta = \frac{P}{Q_c}$$

式中， δ 是电容器电流、电压间相位差 φ 的夹角，称为电容器的损耗角。 $\tan\delta$ 为电容器损耗角的正切值，它真实地表征了电容器质量的优劣。

电容器介质的绝缘性能取决于材料及厚度，绝缘电阻越大漏电流越少。漏电流 I_R 的存在会消耗电能，这种损耗称为电容器的介质损耗，相当于在理想电容上并联一个等效电阻，此时电容上存储的无功功率为 $UI\cos\delta$ ，损耗的有功功率为 $UI\sin\delta$ 。为确切反映电容器的损耗特性，用损耗功率与存储功率之比来反映，即

$$\tan\delta = \frac{UI\sin\delta}{UI\cos\delta}$$

不同类型的电容器其 $\tan\delta$ 的数值不同，一般在 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ ，越小越接近理想电容。

（8）稳定性

电容器在外界因素影响下的稳定性是衡量电容器质量的一个极其重要的标准，重要用途的电容器必须具有高度的稳定性。

电容器的主要参数如容量、绝缘电阻、损耗角正切值等受温度、湿度、气压、振动等外界环境的影响而发生变化，变化的大小用稳定性来衡量。如云母瓷介电容温度系数可达 $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 数量级，铝电解电容的湿度系数最大，可达 $10^{-2}/^{\circ}\text{C}$ ，除瓷介电容外，其他产品温度系数多为正值。湿度对纸介电容影响较大，对瓷介电容影响很小。

（9）介质吸收系数

在使用电容器时，总希望它一经充电就很快达到电源电压，放电时能立即将存储电荷释放完毕。实际上有些电容器除去所加电压后，将其短路放电片刻，随即将电路断开，再经一段时间后，电容器两端仍会有一定数值的剩余电压存在，这种现象称为电容器的介质吸收。

电容器的介质吸收系数是剩余电压与充电电压的比值百分数。吸收系数较大的电容器在充电时需要经过相对较长的时间，放电时电荷的释放也需要较长的时间，这会对某些要求反应迅速的脉冲控制电路造成不利的影响。

（10）可靠性

电容器的可靠性也可用失效率、使用寿命等可靠性指标来表示，这些指标的定义与电阻器相同。

可靠性是指电容器的有效工作寿命，即它能够正常完成某一特定电气功能的时间。

电容器的工作寿命结束，叫做失效，失效是随时间的推移、工作环境的变化，电容器的规格参数从量变到质变而产生的。

度量电容器可靠性的基本参数是时间，即用有效工作寿命的长短来评价它的可靠性。电容器的可靠性用失效率来表示，即一百万电容器运用一千小时，每发生一次失效，就叫做 1 “菲特”。失效率越低，说明元器件的可靠性越高。如表 1-14 所示。

表 1-14 各种电容器的基本失效率

电容器种类	固定电容器						电解电容器				可变电容器		
	纸介	金属化纸介	塑膜	玻璃	云母	瓷介	铝箔	钽箔	液体钽	固体钽	空气	陶瓷	活塞
基本失效率	1	0.5	0.1	0.3	0.3	0.1	2	1	0.2	0.4	0.05	0.4	0.1

5. 常用电容器

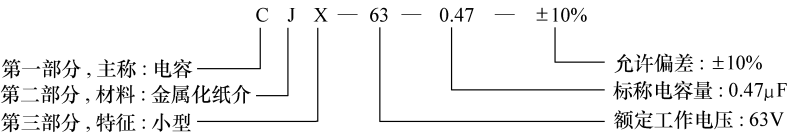
(1) 电容器的型号命名方法

国家规定电容器的型号命名方法由四部分组成：第一部分表示电容器的主称，用 C 表示；第二部分表示电容器的介质材料；第三部分表示电容器的类别；第四部分表示电容器的序号，如表 1-15 所示。

表 1-15 电容器型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主体		用字母表示材料		用字母表示特征		用数字或字母表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
C	电容器	C	瓷介	T	铁电	包括： 品种、尺寸代号、温度特性、直流工作电压、标称值、允许偏差、标准代号等
		I	玻璃釉	W	微调	
		O	玻璃膜	J	金属化	
		Y	云母	X	小型	
		V	云母纸	S	独石	
		Z	纸介	D	低压	
		J	金属化纸	M	密封	
		B	聚苯乙烯	Y	高压	
		F	聚四氟乙烯	C	穿心式	
		L	涤纶			
		S	聚碳酸酯			
		Q	漆膜			
		H	纸膜复合			
		D	铝电解			
		A	钽电解			
		G	金属电解			
		N	铌电解			
		T	钛电解			
		M	压敏			
		E	其他电解材料			

电容器的型号命名示例：



材料代号及意义：C 高频瓷，T 低频瓷，I 玻璃釉，O 玻璃膜，Y 云母，V 云母纸，Z 纸介，J 金属化纸，B 聚苯乙烯，F 聚四氟乙烯，Q 漆膜，H 复合介质，D 铝电解，A 钽电解，N 铌电解，G 合金电解质，L 聚酯薄膜，LS 聚碳酸酯，E 其他材料电解质。

由于国标制定的时间较早，后来出现的独石电容沿用瓷介的 CT 表示，为 CT4、CC4 系列，聚丙烯电容沿用 CB 表示，为 CBB 系列，最后一个 B 为“丙”字拼音字头。

根据国家标准，电容器型号由四部分内容组成，其中第三部分作为补充特征，如无说明则只需由三部分表示即可。

(2) 常用电容器

1) 有机介质电容器。

除传统的纸介、金属化纸介电容器及涤纶、聚苯乙烯等电容器外，由于现代高分子合成化合物技术不断发展，新的薄膜介质电容器不断出现，如聚丙烯等产品。

① 纸介电容器（型号 CZ）是生产历史最悠久的电容器之一，用较薄的电容器专用纸为介质，用铝箔或铅箔做电极，经卷绕成形、浸渍后封装而成。它的特点是电容量和工作电压范围很宽（36V ~ 30kV），工艺简单，成本低。但电容量精度不易控制，体积大，损耗较大，频率特性及其温度稳定性较差，只适用于直流或低频电路中。

② 金属化纸介电容器（型号 CJ）采用真空蒸发技术在涂有漆膜的纸上再蒸镀一层金属膜作为电极，金属化纸介电容器具有自愈能力，比同类纸介电容器容量大，即同等耐压容量条件下的金属化纸介电容器体积比纸介电容器小 3 ~ 5 倍，其余性能与纸介电容器相同。

③ 有机薄膜电容器的介质材料是有机薄膜，用铝箔或金属化薄膜作为电极按照一定工艺及方法卷绕制而成的。有机薄膜只是一个统称，具体有涤纶、聚丙烯等多种。这种电容器无论在体积上，还是在电参数上都要比纸介电容器优越得多，但一般不耐高温。有机薄膜电容器一般具有体积小，自愈性好等特点。所谓自愈性指的是由于某种原因介质被电压放电击穿，电容器短路发热会使薄膜重新融化，自动修复损伤。

涤纶电容器（型号 CL）也叫聚酯电容器，是用极性聚酯薄膜作为介质制成的一种正温度系数无极性电容器。其电容量和电压范围很宽，既有小型低压电容器，又有高压大容量电容器。其容量大，耐热性好（可长期在 120 ~ 130℃ 温度下工作）。但介质损耗较大，频率特性及其温度稳定性差。在极性有机介质电容器中，聚酯电容器应用最广。

聚丙烯电容器（型号 CBB）是用无极聚丙烯薄膜作为介质制成的一种负温度系数的无极性电容器。在所有低价高分子介质材料中，电气性能最好的要数聚丙烯，因此聚丙烯电容器在薄膜类电容器中一般是最好的。由于聚丙烯电容的优良特性，尤其是没有吸附效应，因此在一些 A - D 转换电路中，特别指定要用聚丙烯产品。采用特殊的卷绕工艺可以生产无感（无电感效应）的聚丙烯电容器，广泛用于要求精密的场合。使用聚丙烯电容器的场合有：彩电中的信号处理通道，运算放大器中做积分、微分、滤波器电容以及有时在采样保持电路中的采样保持电容等。

聚四氟乙烯电容器（型号 CF）是用无极聚四氟乙烯薄膜作为介质制成的一种负温度系数的无极性电容器。其性能最为优异，但由于聚四氟乙烯成膜工艺复杂，成本高，因此只适合在高温的场合下使用。

聚碳酸酯电容器（型号 CS）多用于对电容器的充放电特性有要求的“采样—保持”电路中。

2) 无机介质电容器。

① 瓷介电容器（型号 CC）以陶瓷作为介质，在陶瓷表面涂覆一层金属薄膜，再经高温烧结后作为电极。其结构简单，价格低廉，体积小，容量范围大（几皮法至几微法），广泛应用于各种电子设备中。陶瓷电容器按特性主要可分高频、低频及半导体瓷介电容器。高频陶瓷电容器介质损耗小，绝缘电阻高，主要用于谐振回路；低频陶瓷电容器损耗较大，电容量随温度呈非线性变化，主要用于对损耗和电容量稳定性要求不高的电路中；半导体瓷介电容器很少见。

② 云母电容器（型号 CY）是以云母作为介质，在云母表面上喷一层金属膜或用金属箔作为电极，按需要的容量叠片后经浸渍压塑在陶瓷外壳等材料内构成。其绝缘强度高，损耗小，温度、频率特性稳定，容量精度高，一般容量范围为 $4.7 \sim 4700\text{pF}$ ，最高精度可达 $\pm 0.01\% \sim \pm 0.03\%$ 。常用于高频电路，并可作为标准电容器。由于天然云母稀少，有些云母电容器用合成云母和云母纸作为介质，近年来云母电容器已逐渐被陶瓷和有机薄膜电容器所代替。

③ 玻璃膜电容器（型号 CO）以玻璃作为介质构成电容器，电极为金属膜。它具有良好的防潮性和抗振性，能在 200°C 高温下长期稳定工作，其稳定性介于云母与瓷介电容器之间，体积只有云母电容器的几十分之一，且成本低。

3) 电解电容器。

电解电容器以金属氧化膜为介质，以金属和电解质作为电容器的两极。金属为正极，电解质为负极。电解电容器体积小、容量大，但耐压较低、频率特性差、介质损耗较大、温度特性也较差。常见的电解电容器主要有铝电解电容器和钽电解电容器两种。

① 铝电解电容器（型号 CD）是以铝为正极的电解电容器。容量一般为 $0.33 \sim 10000\mu\text{F}$ ，所以应用普遍。通常铝电解电容器是有极性的，不能用于交流回路。但在结构和工艺上采取特殊措施之后可以做成无极性铝电解电容器以适应交流电路的需要。近年来电解电容器的新产品层出不穷，如开关电源滤波用的高额电解电容；音响系统的无极性电解电容；闪光灯的耐快速充、快放电的储能电解电容等。

② 钽电解电容器（型号 CA）是以钽金属作正极的电解电容器。由于钽和氧化钽化学稳定性很高，所以漏电流很小、贮存性好、可靠性高，它的温度特性、频率特性、介质损耗都优于普通铝电解电容器，体积也远小于铝电解电容器。这种电容器主要用于一些电性能要求较高的电路中，如积分电路、计时电路、延时开关电路等。钽电容也分有极性和无极性两种，除液体钽电容外，近年来又发展出了超小型固体钽电容。

6. 电容器标识方法

电容器的标识方法与电阻器的标识方法类似，电容器的容量和偏差的标识方法有如下四种。

(1) 直标法

直标法是将电容器的标称容量及允许偏差直接标在电容器上，如图 1-46 所示。此方法所标识的容量单位有 pF 和 μF 。

例如在电容器上标志： $470\mu\text{F}/25\text{V}$ 。

(2) 文字符号法

文字符号法通常用数字表示有效值，常为 $2 \sim 4$ 位有效数字；用字母表示数值的量级，

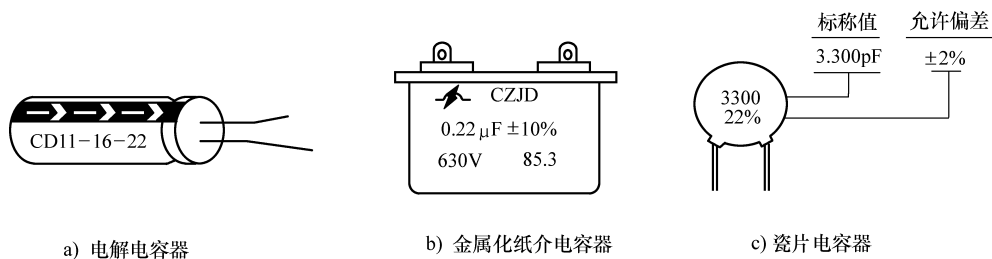


图 1-46 电容直标法

有 p、n、M、 μ 、G、m 几种。标称容量的整数部分通常写在容量单位标识符号的前面，小数部分写在容量单位标识符号的后面。

如：3.3pF 标识为 3p3，1000pF 标识为 1n，6800 标识为 6n8，2.2 μ F 标识为 2 μ 2。

(3) 数字表示法

数字表示法一般用三位数表示容量的大小，前面两位数为电容器标称容量的有效数字，第三位数字表示有效数字后面零的个数，它们的单位是皮法 (pF)，如图 1-47 所示。

电容器使用数字表示法，当第三位数为 9 时表示 10^{-1} ，单位为皮法。

如：“243”表示容量为 24000pF，而“339”表示容量为 33×10^{-1} pF (3.3pF)。

(4) 色标法

电容器容量的色标法原则上与电阻器类似，其单位为皮法 (pF)，如图 1-48 所示。电容器有立式和轴式两种，在电容器上标有 3~5 个色环作参数表示。色环顺序从上到下，沿引线方向排列，轴式电容器的色环都偏向一头，其顺序从最靠近引线的一端开始为第一环。

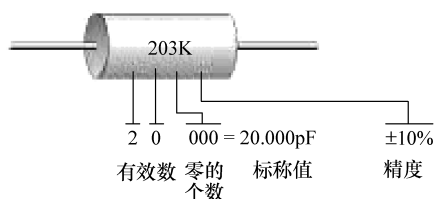
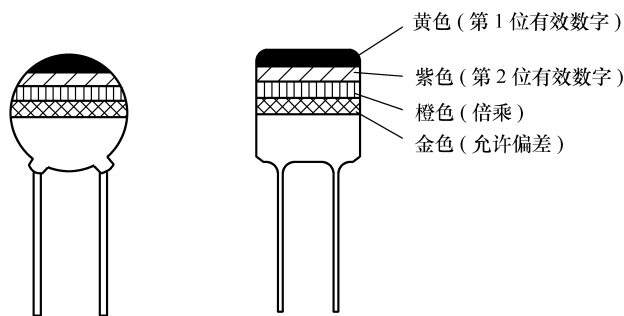


图 1-47 数字表示法



色标法标识的电容容量为 47×10^3 pF (允许偏差 $\pm 5\%$)

图 1-48 电容色标法

注：若某个色环的宽度等于标准宽度的 2 和 3 倍，则表示相同颜色的 2 个或 3 个色环。

(5) 片状电容器，其标识方法有两种：

- 1) 片状陶瓷电容元件标识法，如图 1-49 所示。
- 2) 片状电解电容元件标识法，如图 1-50 所示。

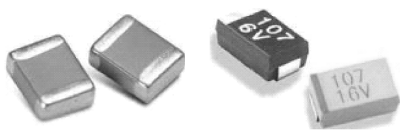


图 1-49 片状陶瓷电容器标识法

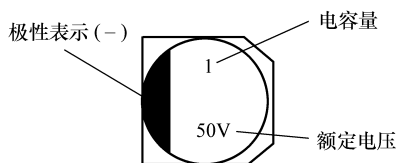


图 1-50 片状电解电容器标识法



(6) 偏差标注方法

1) 将容量的允许偏差直接标在电容器上, 如 $10 \pm 0.5\text{p}$ 表示容量为 10pF , 偏差为 $\pm 0.5\text{pF}$ 。

2) 用罗马数字 “I”、“II”、“III” 分别标注在电容器上表示允许偏差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

3) 用英文字母 D、F、G、J、K、M、N、P、S、Z 分别表示允许偏差等级为 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ 、 $+100\% \sim 0\%$ 、 $+50\% \sim -20\%$ 、 $+80\% \sim -20\%$ 。

1.4.2 固定电容器

1. 聚丙烯电容器

聚丙烯电容器是用无极性聚丙烯薄膜作为介质制成的一种负温度系数无极性电容。有非密封式(常用有色树脂漆封装)和密封式(用金属或塑料外壳封装)两种类型。聚丙烯电容器具有体积小、损耗小、性能稳定、绝缘性能好、容量大(可达几十 μF)、耐高压($63\text{V} \sim 2\text{kV}$)等特点, 如图 1-51 所示。

它广泛用于要求较高的中、低频电子电路或做为电动机的起动电容器, 代替大部分聚苯乙烯、云母电容器。

2. 涤纶电容器

涤纶电容器是用有极性聚酯薄膜作为介质制成的具有正温度系数(即温度升高时, 电容量变大)的无极性电容器, 如图 1-52 所示。涤纶电容器的容量大, 体积小, 耐热性、耐湿性好, 耐压强度大。但由于材料的成本不高, 所以制作成本低, 价格便宜, 稳定性较差, 适合于稳定性要求不高的地方。

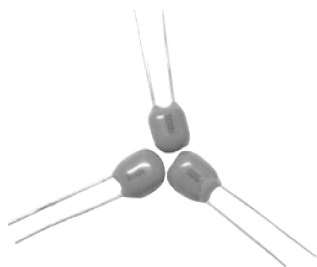


图 1-51 聚丙烯电容器

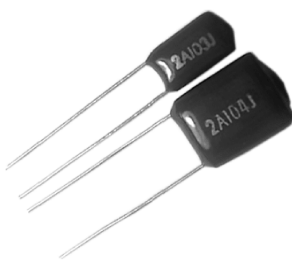


图 1-52 涤纶电容器

涤纶电容器一般用于各种电视机、仪器仪表的中、低频电路中做旁路、耦合、去耦和隔直流电容器。

3. 云母电容器

云母电容器的稳定性高, 精密度高, 可靠性高, 介质损耗小, 固有电感小, 温度特性好, 频率特性好, 不易老化, 绝缘电阻高, 是优良的高频电容器之一, 如图 1-53 所示。

4. 瓷介电容器

瓷介电容器的外层常涂有各种颜色保护漆, 以表示温度系数, 如图 1-54 所示。如白色和红色表示负温度系数; 灰色、蓝色表示正温度系数。瓷介电容器的容量一般为 $1 \sim 1000\text{pF}$ 。瓷介电容器的耐热性好, 稳定性好, 耐腐蚀性好, 绝缘性能好, 介质损耗小, 温度系数范围宽, 原材料丰富, 结构简单, 便于开发新产品, 且容量较小, 机械强度小。高介电常数的铁电陶瓷、独石电容器容量较大, 可达几微法, 但其温度系数大, 容量偏差大, 损耗大, 只能在要求不高的场合作旁路滤波电容用。

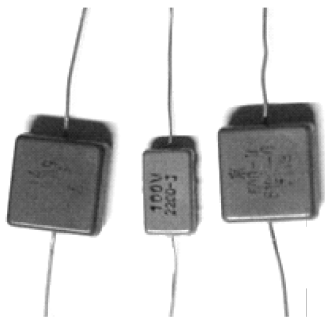


图 1-53 云母电容器

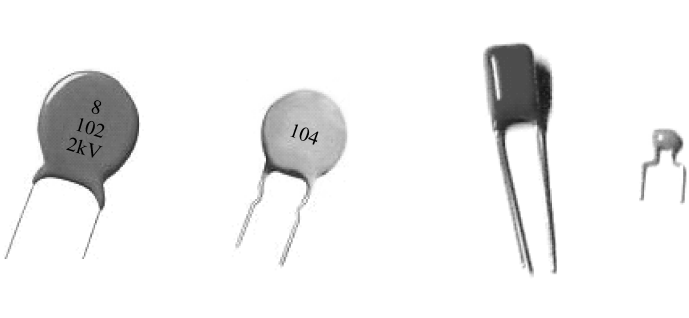


图 1-54 瓷介电容器

瓷介电容器由于所用陶瓷材料的介电性能不同, 有高频瓷介 (CC)、低频瓷介 (CT) 电容器之分。高频瓷介电容器常用于要求低损耗和容量稳定的高频、脉冲、温度补偿电路中; 低频瓷介电容器的价格低廉、容量大, 在普通电子产品中广泛用做旁路、耦合元件。

5. 薄膜电容器

薄膜电容器的频率特性好, 介电损耗小, 但耐热能力差因此不能做成大的容量, 如图 1-55 所示。

6. 纸介电容器

纸介电容器一般是用两条铝箔作为电极, 中间以厚度为 $0.008 \sim 0.012\text{mm}$ 的电容器纸隔开重叠卷绕而成, 如图 1-56 所示。它的优点是在一定体积内可得到较大的电容量, 构造简单, 造价低; 缺点是稳定性不高, 介质损耗大, 固有电感也较大。它主要用作低频电路的旁路和隔直电容器。



图 1-55 薄膜电容器



图 1-56 纸介电容器

7. 玻璃釉电容器

玻璃釉电容器的稳定性较好, 损耗小, 且耐高温 (200°C), 如图 1-57 所示。

8. 聚苯乙烯电容器

聚苯乙烯电容器有箔式和金属化式两种类型,箔式绝缘电阻大(可达 $10000\text{M}\Omega$ 以上),介质损耗小,容量稳定,精度高(可达千分之五),耐压高(几百伏~几千伏)、高频损耗小、容量大(可达几十 μF),电容量稳定,是目前应用广泛的一种,但它体积大、温度系数较大、耐热性差(最高 75°C),因此电烙铁焊接时间不能太长,如图1-58所示。



图 1-57 玻璃釉电容器

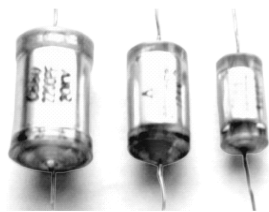


图 1-58 聚苯乙烯电容器

聚苯乙烯电容器一般应用于中、高频电路,滤波器及对容量要求精确的电路中。

1.4.3 电解电容器

电解电容器的介质是一层极薄的附着在金属极板上的氧化膜。金属极板为阳极,阴极则为液体、半液体或胶状的电解液。根据阳极材料的不同,电解电容器又分为铝电解电容器、钽电解电容器及铌电解电容器等。

电解电容器是有极性的,在其外壳上标明“+”或“-”两个极性,正极接直流高电位,负极接直流低电位,千万不能接错,否则,电解作用反向进行,氧化膜会很快变薄而被破坏,漏电流增大,造成电容器发热损坏甚至爆炸。不过,由新工艺生产的无极性电容不存在此问题。

铝电解电容器的优点是容量大,体积小;缺点是损耗大,偏差大,容量随工作频率而变化,温度稳定性和时间稳定性较差,绝缘电阻低,工作电压不高,频率特性差,漏电流大(可达 mA 级),长期存放可能干涸、老化等,一般只用作低频滤波和去耦旁路电容器。而钽、铌或钛电解电容器的漏电小、体积小、工作温度高,但价格也高。

1. 铝电解电容器

铝电解电容器有正负极之分,容量大,能耐受大的脉冲电流,容量偏差大,泄漏电流大;普通的不适于在高频和低温下应用,不宜使用在 25kHz 以上频率低频旁路、信号耦合、电源滤波。铝电解电容器适用于电源滤波和音频耦合、音频旁路。铝电解电容器的绝缘电阻小,漏电损耗大,容量范围是 $0.33 \sim 10000\mu\text{F}$,额定工作电压一般在 $6.3 \sim 450\text{V}$ 之间。

铝电解电容器的容量、耐压、极性都标在外壳上,“+”表示正极,或用电极长引线表示。“-”表示负极,或用电极短引线表示,如图1-59所示。

2. 钽电解电容器(CA)和铌电解电容器(CN)

用烧结的钽块作正极,电解质使用固体二氧化锰温度特性、频率特性和可靠性均优于普

通电解电容器，特别是漏电流极小，贮存性良好，寿命长，容量偏差小，而且体积小，单位体积下能得到最大的电容电压乘积对脉冲电流的耐受能力差，若损坏易呈短路状态超小型高可靠机件中，如图 1-60 所示。

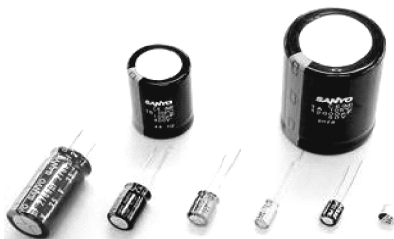


图 1-59 铝电解电容器



图 1-60 钽电解电容器 (CA) 和铌电解电容器 (CN)

1.4.4 可调电容器

1. 可变电容器

可变电容器的容量可在一定范围内连续变化，它由若干片形状相同的金属片并接成一组（或几组）定片和一组（或几组）动片。

可变电容器主要用于输入调谐回路和本机振荡电路中，是一种可大可小，在一定范围内连续可调的电容器。可变电容器是一种容量可连续变化的电容器，主要用调谐回路中。

可变电容器是由两组形状相同的金属片间隔一定距离，并夹以绝缘介质制成的。其中一组固定不动的金属片称为定片；另一组和转动轴相连，能在一定角度内转动的金属片称为动片。动片可以通过转轴转动，以改变动片插入定片的面积，从而改变电容量。当动片全部旋入时，动片与定片交叠的面积最大，电容量最大；动片全部旋出时，电容量最小。

可变电容器的主要技术参数有：

1) 最大电容量与最小电容量，当动片全部旋进定片时的电容量为最大电容量，当动片全部旋出定片时的电容量为最小电容量。

2) 容量变化特性，指可变电容器的容量随动片旋转角度的变化规律，常用的有直线电容式、直线频率式、直线波长式、电容对数式。

3) 容量变化平滑性，指动片转动时容量变化的连续性和稳定性。

可变电容器的种类很多，按照介质划分有空气可变电容器和薄膜可变电容器。可变电容器分为单联、双联、三联和四联等。

单联可变电容器如图 1-61 所示。

双联可变电容器如图 1-62 所示。

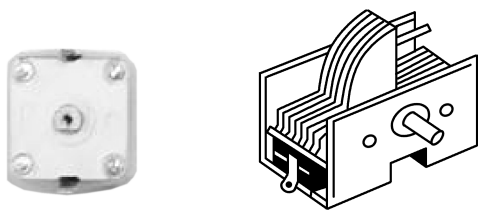


图 1-61 单联可变电容器

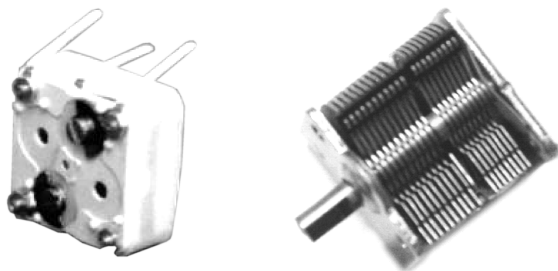


图 1-62 双联可变电容器

2. 微调电容器

微调电容器如图 1-63 所示。

微调电容器又称半可变电容器或补偿电容器。它的容量变化范围比可变电容器小很多, 电容量可在某一小范围内调整, 通常在几皮法到几十皮法, 并可在调整后固定于某个电容值。



图 1-63 微调电容器

1.4.5 电力电容器

电力电容器按其安装方式可分为户内式和户外式; 按相数可分为单相和三相; 按其运行的额定工作电压可分为高压和低压; 按其外壳材料可分为金属外壳、陶瓷绝缘外壳和胶木筒外壳等多种; 按其内部浸渍液体可分为矿物油、蓖麻油、硅油及氯化联苯等; 按其工作条件可分为移相(并联)电容器、串联电容器、耦合电容器、电热电容器、脉冲电容器、均压电容器、滤波电容器和标准电容器。

电力电容器的主要功能是改善电力系统运行条件, 提高功率因数等。

高电压并联电容器并联于电力网络中, 主要用于改善电网质量、改善功率因数的电容器。高电压并联电容器用于工频(50Hz 或 60Hz) 1kV 及以上交流电力系统, 高电压并联电容器主要由心子和箱壳组成, 其间充满优质的浸渍剂, 如图 1-64 所示。

金属化聚丙烯薄膜低压并联电力电容器具有抗电能力强、损耗小、体积小、质量小及有自愈能力和保护装置等特点, 广泛地应用于低电压电力网络(频率为 50Hz 或 60Hz), 以提高功率因数, 减少无功损耗, 改善电压质量。低压并联电力电容器主要应用于集中补偿电容柜中, 如图 1-65 所示。

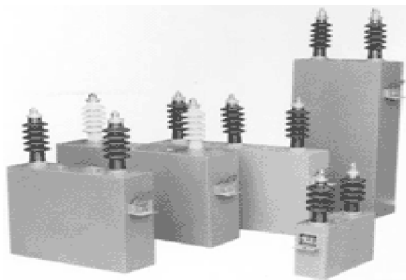


图 1-64 高电压并联电容器



图 1-65 低压并联电力电容器

自愈式交流电容器是向电动机的辅助绕组提供超前电流, 当电动机起动之后即从电路中切除的电容器。如采用先进的金属化膜作为材料进行生产的 CBB60、CBB65 型自愈式交流电容器广泛应用于电风扇、洗衣机、电冰箱、空调脱排油烟机以及吸尘器等家用电器中, 如图 1-66 所示。



1.4.6 电容器的选用及检测

电容器常见的不良现象有: 开路失效、短路击穿、漏

图 1-66 自愈式交流电容器

电、容量变小等。

1. 电解电容器好坏的判别技巧

(1) 万用表选挡技巧

电解电容器的容量一般较大,用万用表测量时,须针对不同容量选用合适的量程。对于 $0.01\mu\text{F}$ 以上的电容器,必须根据容量的大小,分别选择万用表的合适量程,才能正确判断。一般情况下,测 $0.01 \sim 0.47\mu\text{F}$ 的电容器可用“ $R \times 10\text{k}\Omega$ ”挡, $1 \sim 47\mu\text{F}$ 的电容,用“ $R \times 1\text{k}\Omega$ ”挡测量,大于 $47\mu\text{F}$ 的电容可用“ $R \times 100\Omega$ ”挡测量,测 $0.47 \sim 10\mu\text{F}$ 的电容器可用“ $R \times 1\text{k}\Omega$ ”挡;测 $300\mu\text{F}$ 以上的电容器可选择“ $R \times 10\text{k}\Omega$ ”挡或“ $R \times 1\text{k}\Omega$ ”挡;对于 0.01mF 以下的电容器不能用万用表的电阻挡判断其是否断路,只能用其他仪表(如 Q 表)进行鉴别。

(2) 测量技巧

测量时先将电解电容器两个电极短路一下,以放掉电容器储存的电荷,然后将万用表红表笔接电解电容器的负极,黑表笔接电解电容器的正极。电解电容器的正向漏电阻值略大于反向漏电阻。

1) 电解电容器的质量判别技巧。

用普通的指针式万用表就能判断电容器的质量、电解电容器的极性,并能定性比较电容器容量的大小。将万用表拨至电阻“ $R \times 1\text{k}\Omega$ ”挡,然后进行欧姆调零。测量时,先把被测电容器短路一下,方法是用万用表的表笔短接电容器的两个引脚。测量时将表笔分别接在被测电容器的两极上,对于电解电容器应注意万用表的正、负极应与电容器的正、负极一一对应,接通瞬间,表头指针应向顺时针方向偏转,然后逐渐逆时针回转,表针回转的速度由时间常数 τ 决定($\tau = RC$),最后表针停在某一个位置上,此时对应的阻值为该电容器的漏电阻,正常电容器的漏电阻一般应大于几百千欧。如果不能复原,则稳定后的读数就是电容器的漏电阻,阻值越大表示电容器的绝缘性能越好。

若在上述检测过程中,表头指针无摆动,说明电容器开路;若表头指针向右摆动的角度大且不回转,说明电容器已击穿或严重漏电;若表头指针保持在 0Ω 附近,说明该电容器内部短路。

对于电容量小于 $1\mu\text{F}$ 的电容器,由于电容充放电现象不明显,检测时表头指针偏转幅度很小或根本无法看清,但并不说明电容器质量有问题。

2) 固定电容器故障的判断。

若出现万用表指针不摆动(5100pF 以上容量的电容器),说明电容器已开路;若万用表指针向右摆动后,指针不再复原,说明电容器被击穿;若万用表指针向右摆动后,指针只有少量向左回摆的现象,说明电容器有漏电现象,指针稳定后的读数即为电容器的漏电阻阻值。电容器正常时,其电容器的绝缘电阻应为 $10^5 \sim 10^{10}\Omega$ 。

注意: 对电解电容器进行测量时,应将黑表笔接电解电容器的“正”极性端,将红表笔接电解电容器的“负”极性端;若表笔接反,测出的漏电阻阻值会较小,由此也能判断出电解电容器的“正、负”极性。一般来说,电解电容器的绝缘电阻相对较小,在 $200 \sim 500\text{k}\Omega$,若小于 $200\text{k}\Omega$,说明漏电较严重。

测量电容时,不能用手接触到被测电容器的引脚或万用表表笔的金属部分,以免人体电阻并在电容器的两端,引起测量误差。

3) 可变电容器碰片检测。

检测微调电容器和可变电容器时,先把万用表调到最高电阻挡,将两表笔接在可变电容器的定片和动片上。性能良好的微调电容器和可变电容器定片和动片之间的电阻应在 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$ 或以上;若测量电阻值较小,则说明定片和动片之间有短路故障;缓慢旋转电容的动片,若出现指针跳动的现象,则说明该可变电容器在指针跳动的位置有碰片故障,否则说明是正常的。使用时,动片应接地,防止调整时人体静电通过转轴引入噪声。

4) 其他电容器质量的判别。

瓷介质电容器、聚酯薄膜介质电容器、涤纶电容器均称为无极性电容器,它们的容量比电解电容器小,一般在 $2\mu\text{F}$ 以下,测量时应选用“ $R \times 10\text{k}\Omega$ ”挡,应该注意的是对于 5100pF 以下的电容器,测量时表针偏转的很小,容量再小的电容器万用表就测不出来了,此时,可以用电容测量仪进行测量。若测得的阻值为无穷大或零,说明电容器内部已开路或短路。

(3) 用万用表测量电容器性能

对于小容量电容器而言,其性能可从 5 个方面来考察,如图 1-67 所示。

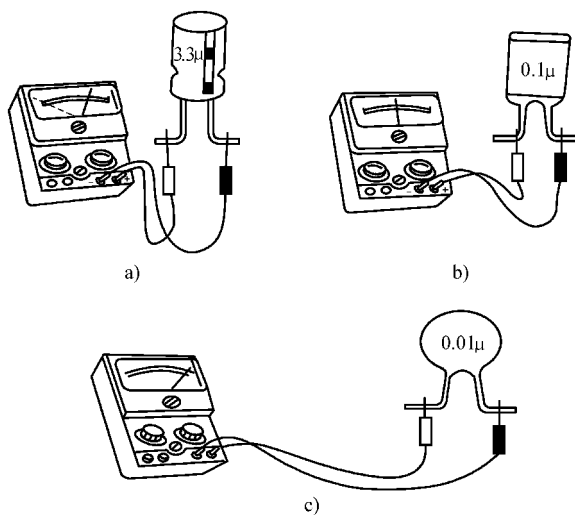


图 1-67 小容量电容器测量

1) 测试时万用表指针摆动一下后,很快回“ ∞ ”处,说明这只电容器性能正常,如图 1-67a 所示。

2) 万用表指针摆动一下后不回到“ ∞ ”处,而是指在某一阻值上,则说明这只电容器漏电,这个阻值就是该电容器的漏电阻的阻值,万用表对小容量电容器性能的测试会使电容器容量下降。正常的小容量电容器漏电阻的阻值很大,约为几十至几百兆欧。当漏电阻的阻值小于几兆欧时,该电容器就不能再使用了。

3) 接好万用表的表笔,但指针不摆动,仍停留在“ ∞ ”处,则说明此电容器内部开路。但容量小于 5100pF 的小容量电容器则是由于充放电不明显所致,不能视为内部开路。

4) 万用表指针摆动到“0”处不返回,如图 1-67c 所示,则说明该电容器已击穿短路,不能再用。

5) 万用表指针摆动到刻度中间某一位置停止,交换表笔再测时指针仍指在这一位置,如果是在测试同一只电阻器,则说明该电容器已经失效,不可再用,如图 1-67b 所示。

2. 电容器容量的判定 (测量 μF 级的电容器)

对于容量是 μF 级的电容器,包括容量为 $0.022 \sim 3300\mu\text{F}$ 的电容器,用万用表对其测试方法如图 1-68 所示。

在测试前,应根据被测电容器容量的大小,参考将万用表的量程开关拨至合适的挡位。由于此时万用表既是电容器的充电电源(表内电池),又是电容器充放电的监视器,所以操作起来极为方便。为了便于操作,这里将黑表笔换成黑色鳄鱼夹,夹住电容器的一脚,红表笔与另一脚接触时,万用表指针先向右边偏转一定角度(表内电池对电容器充电),然后很快向左边返回到“ ∞ ”处,表示对电容器充电完毕。

对于小容量电容器而言,由于其容量小,所以充电电流也很小,甚至还未观察到万用表指针的摆动便回转到“ ∞ ”处。这时,可将鳄鱼夹与表笔交换一下,再接触电容器引脚时,指针仍向右摆动一下后复原,但这一次向右摆动的幅度应比前一次大。这是因为电容器上已经充电,交换表笔后便改变了充电电源的极性,电容器要先放电后再进行充电,所以万用表指针偏转角度较前次大。如果测试的是大容量电解电容器,在交换表笔进行再次测量之前,须把电解电容器的两个引脚短接一下,放掉前一次测试中被充上的电荷,以避免因放电电流太大而致使万用表指针打弯。

使用 MF500 型万用表测量电解电容器数据如表 1-16 所示。

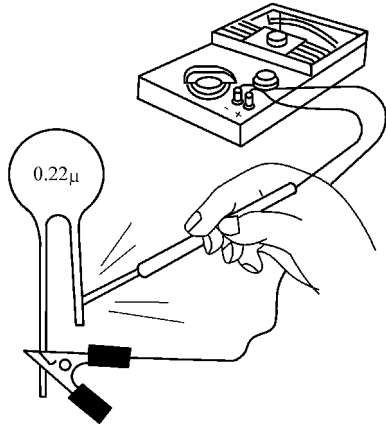


图 1-68 万用表测量 μF 级的电容器

表 1-16 电解电容器实测数据 (参考 MF500 型万用表)

实测电容量/ μF	万用表指针向右摆动位置的 对应电阻值/ $\text{k}\Omega$	万用表电阻挡位
1	210	$\text{R} \times 1\text{k}$
2.2	110	$\text{R} \times 1\text{k}$
3.3	55	$\text{R} \times 1\text{k}$
4.7	50	$\text{R} \times 1\text{k}$
6.8	34	$\text{R} \times 1\text{k}$
10	21	$\text{R} \times 1\text{k}$
22	8.5	$\text{R} \times 1\text{k}$
33	5	$\text{R} \times 1\text{k}$
47	3.2	$\text{R} \times 1\text{k}$
100	2.2	$\text{R} \times 100$

(续)

实测电容量/ μF	万用表指针向右摆动位置的 对应电阻值/ $\text{k}\Omega$	万用表电阻挡位
220	0.75	$\text{R} \times 100$
330	0.5	$\text{R} \times 100$
470	0.12	$\text{R} \times 100$
1000	0.23	$\text{R} \times 10$
2200	0.09	$\text{R} \times 10$
3300	0.075	$\text{R} \times 10$
4700	0.026	$\text{R} \times 10$

3. 电解电容器的极性判定

电解电容器的内部结构如图 1-69 所示，它的介质是一层极薄的附着在金属极板上的氧化膜。氧化膜如同半导体二极管一样，具有单向导电性，因此在将电解电容器接入电路使用时，应将其的**正极引线接高电位，负极引线接低电位**。这相当于在电容器上施加一个反向电压，使其漏电流小，而漏电阻大。反之，如果将电解电容器的正极引线接低电位，负极引线接高电位，则会使它的漏电流大，漏电阻小，这样会导致电解电容器在使用中过热，从而击穿漏液，甚至发生爆炸。

为了防止在使用中接错极性，通常在电解电容器的引脚旁标明正极（+）或负极（-）。但有时“+”、“-”极性标志模糊不清时，可根据电解电容器正向漏电阻大于反向漏电阻的特点，用万用表的电阻挡进行判断，方法如图 1-69b 和图 1-69c 所示。

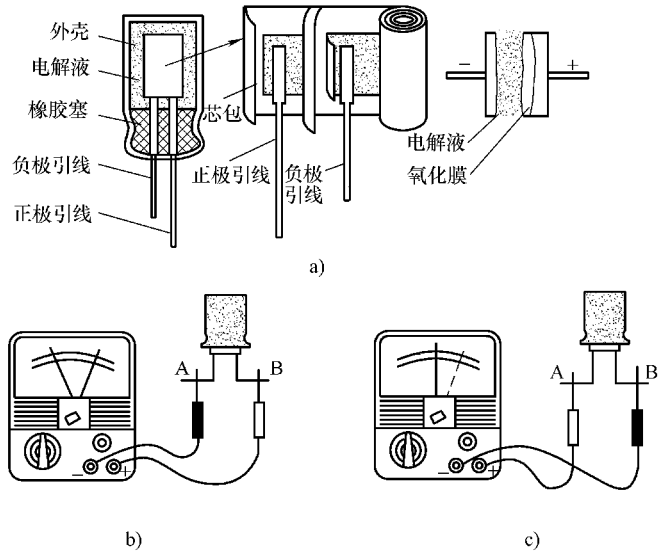


图 1-69 用万用表判断电解电容器的极性

根据电解电容器正接时漏电流小、漏电阻大，反接时漏电流大、漏电阻小的特点可判断其极性。将万用表打在电阻挡的“ $\text{R} \times 1\text{k}\Omega$ ”挡，先测一下电解电容器的漏电阻阻值，而后

将两表笔对调一下，再测一次漏电阻阻值。两次测试中，漏电阻阻值小的一次，黑表笔接的是电解电容器的负极，红表笔接的是电解电容器的正极。图 1-70 所示为几种电解电容器的极性标志。

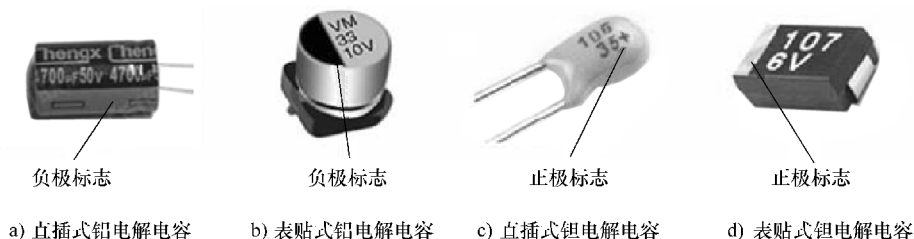


图 1-70 几种电解电容器的极性标志

对于正、负极标志不明的电解电容器，可利用上述测量漏电阻的方法加以判别。即先任意测一下漏电阻，记住其大小，然后交换表笔再测出一个阻值。两次测量中阻值大的那一次便是正向接法，即与黑表笔相接的是电容器正极，红表笔接的是电容器负极。

如果通过两次测量比较不出漏电阻阻值的大小，可通过多次测量来判断被测电容器的极性。但是，如果万用表的电阻挡量程挡位选得太低，两个阻值较大且互相接近时，须更换到量程较大的挡位进行测量。

4. 测试电容器漏电情况

电容器漏电是绝对的，不漏电是相对的。当漏电太大，发生击穿短路时，电容器就不能再用，所以电容器漏电越小越好，也就是漏电阻（也叫绝缘电阻）的阻值越大越好。用万用表测试电容器漏电情况如图 1-71 所示。

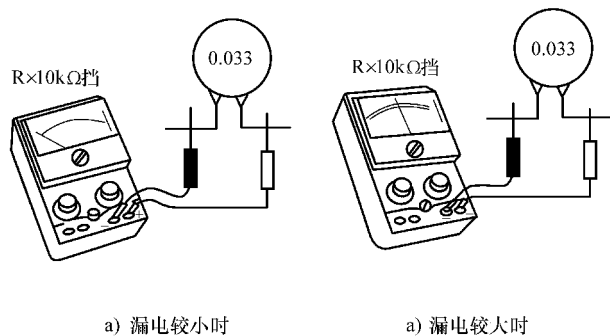


图 1-71 万用表测量电容器漏电阻

这种测试要选用万用表的“ $R \times 1k\Omega$ ”挡或“ $R \times 10k\Omega$ ”挡，测前必须调零。若其指针是先向右摆动，尔后逐步返回到“ ∞ ”处，则说明这只电容器漏电阻的阻值很小，如图 1-71a 所示；若指针回不到“ ∞ ”处，而是指示在表盘中的某一电阻值处，说明电容器漏电较大，这个阻值则为这只电容器漏电阻的阻值，如图 1-71b 所示。

一般来说，电容器漏电阻的阻值如果小于几兆欧时，则可认为该电容器漏电严重，不能使用。

如果被测电容器的容量在 5100pF 以上，万用表置于“ $R \times 10k\Omega$ ”挡测试时，指针不摆

动,则说明这只电容器内部已开路。若被测电容器是电解电容器,则说明其内部的电解液(又叫电解质)已干涸,也是不能使用的。

5. 瓷片电容器的测试判断

对于容量较小(几十皮法到上千皮法)的瓷片电容器、云母电容器,一般要专用仪器进行测量。在没有专用仪器的情况下,可采用如图1-72所示方法来判断它们的好坏。

首先判断瓷片电容器是否短路,方法是用万用表的“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测出其直流电阻值。若电容器两个引脚之间的阻值为无穷大(即 ∞),或在几百千欧以上,则说明该电容器内部未短路。倘若阻值很小(几欧至几千欧),则说明该电容器的内部已短路,不能使用了。

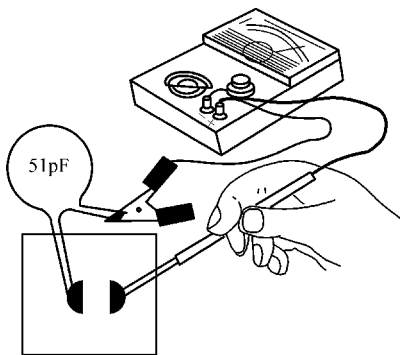


图 1-72 万用表测量瓷片电容器

对于内部未短路的瓷片、云母等小容量电容器,可采用如图1-72所示方法,将它与万用表串联(将量程开关拨到交流电压250V挡或交流电压500V挡),然后插入市电插座。正常时,万用表指针有指示;容量大,电压值高;容量小,电压值低。

判断小容量电容器的好坏还有一种方法,即找一支性能正常的试电笔,插入220V交流电源插座的相线插孔内。手拿瓷片电容器的一个引脚,将它的另一引脚去接触试电笔的尾部(即正常测试时握手部位),如果试电笔中的氖管发亮,则说明该电容器内部没有断路,而且性能良好;倘若氖管不亮,则被测小容量电容器内部已断路。用此法进行测试时,拿电容器引脚的手不要戴手套,否则氖管是不会发亮的。

6. 差容式双连可变电容器的判断

差容式双连,俗称差容双连,它是一种适用于超外差收音机的双连可变电容器。它在任何旋转角度,两连的电容量始终有一定的差额。

双连分为3种。第1种是空气差容双连,型号为CB-32X-250,其外形如图1-73a所示;第2种是固体介质差容双连,型号有CBM-2X-60,外形如图1-73b所示;第3种仍是固体介质差容双连,型号有CBC-2C-60,外形如图1-73c所示。在收音机电路中,通常将差容双连中最大容量的那一连接入输入回路,而将最小容量的那一连接入本振回路。

差容双连的电容量较小(几pF~270pF或365pF),因此很难用万用表来测试电容量。本例介绍的方法主要是判断双连的动片与定片之间有无短路以及引出片是否接触良好,如图1-73a所示。

将万用表的量程开关拨至“ $R \times 10k\Omega$ ”挡,两表笔分别与电容器的定片和动片相连(空气双连的外壳为动片,振荡连片、输入连片为静片;固体介质双连的接地片为动片,振荡连片、输入连片为静片),看万用表指针是否摆动。如无摆动,再来回旋转转轴,看指针是否仍停在“ ∞ ”处不动。如果指针静止不动则表明双连是好的;如果指针偏向“0”或偏向中间某一阻值上,则说明被测电容连已有碰片短路或已受潮(产生阻值),应及时进行修复或替换。

此外,还需测出动片、定片与各自的引出焊片之间的阻值。此时将万用表的量程开关拨至“ $R \times 1\Omega$ ”挡,看是否松动导致接触不良。正常时接触电阻应近似为零,如果万用表指

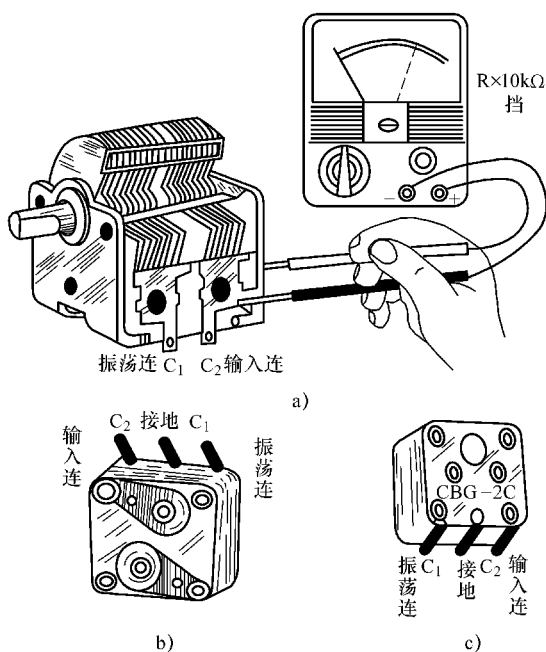


图 1-73 差容式双连可变电容器万用表测试

针有跳动抖动现象，应及时修理。

7. 电解电容的数字万用表的测试

(1) 电容量的测量

用数字万用表的电容测试挡位选取适当的量程，即可以直接测量出电容器的电容量。

(2) 测电容器漏电流

对于电解电容器的测试一般直接使用数字万用表的电容测试挡位对其电容量进行测量。将数字万用表的电阻挡置于较大挡位，将其两个表笔接到电容器的两端，这时看到显示数字，然后逐渐变到显示“1”的状态，则说明电容的漏电流基本正常。如果再将两表笔反过来接到电容器的两端，若看到显示的数字首先为负，然后变正，最后也显示“1”的状态，则说明电容器储存电荷功能正常。

(3) 5100pF 电解电容器测量

5100pF 以下容量的电容器用万用表测量时，由于其容量小，已无法看出电容的充、放电过程。这时，应选用具有测量电容功能的数字万用表进行测量。

对于容量小于 5100pF 的电容器，由于充电时间很快，充电电流很小，即使用万用表的高阻值挡也看不出表针摆动。所以，可以借助一个 NPN 型的晶体管的放大作用来测量。选用“R×10kΩ”挡，将万用表红表笔接晶体管发射极，黑表笔接集电极，电容器接到集电极和基极两端，由于晶体管的放大作用就可以看到表针摆动。也可利用交流信号进行测量，即用万用表或试电笔通过串接电容器测量交流信号。

8. 电容器的选用

电容器的种类很多，性能指标各异，合理选用电容器对于产品设计十分重要，一般应从

以下几方面进行考虑。

(1) 额定电压

所选电容器的额定电压一般是在线电容器工作电压的1.5~2倍。不论选用何种电容器,都不得使其额定电压低于电路的实际工作电压,否则电容器将会被击穿;也不要使其额定电压太高,否则不仅增加成本,而且电容器的体积必然增大。选用电解电容器(特别是液体电介质电容器)应特别注意,一是由于电解电容器自身结构的特点,应使电路的实际电压相当于所选额定电压的50%~70%,以便充分发挥电解电容器的作用。如果实际工作电压相当于所选额定电压的一半,反而容易使电解电容器的损耗增大;二是在选用电解电容器时,还应注意电容器的存放时间(存放时间一般不超过一年),长期存放的电容器可能会因电解液干涸而老化。

(2) 标称容量和精度

大多数情况下,对电容器的容量要求并不严格,容量相差一些是无关紧要的。但在振荡回路、滤波、延时电路及音调电路中,电容量的要求则非常精确,电容器的容量及其偏差应满足电路要求。

(3) 使用场合

根据电路要求合理选用电容器,云母电容器或瓷介电容器一般用在高频或高压电路中。在特殊场合,还要考虑电容器的工作温度范围、温度系数等参数。

(4) 体积

设计时一般希望使用体积小的电容器,以便减小电子产品的体积和重量,更换时也要考虑电容器的体积大小能否正常安装。

9. 可变电容器常见故障及修理

密封薄膜介质电容器比较容易发生故障,损坏后一般要更换,有些情况下可应急修理使用。

(1) 不能起调谐作用,转不动或虽可旋转但不能调出台

旋转不动的主要原因是内部介质薄膜损坏后将动片塞(绊)住,一般需要更换新电容。能旋转但不能调台多是因为电容器轴空转,实际动片未转动造成,这时拆下防尘塑料罩,将固定动片的螺母旋紧即可排除故障。

(2) 杂音

一种是旋至某一点时突有杂音,多由该处绝缘薄膜损坏,局部碰片造成,一般需要更换新电容。二是旋转时整个过程有无规则的杂音,多是由动片与绝缘薄膜片摩擦产生静电效应,内部有灰尘异物,动片组与引出接线片的弹簧触点之间氧化或有杂质所造成的。可以先从螺丝孔滴入几滴酒精溶液反复旋转电容器动片,使其内部可能存在的灰尘、异物被酒精洗出,然后甩去酒精,晾干(需数小时),即可重新装上。

(3) 旋转角度与相应容量值不对

正常旋转角度为180°,若旋转角度小于180°(高频端或低频端旋不到头),这种故障多是由内部有损坏的介质薄膜,阻碍了动片转动角度造成的,可拆开修理;若旋转角度为360°,多半是动片限位卡损坏,如果是金属限位卡,可以撬起使其复位;若是塑料限位卡,则可以用502胶水再粘上一小块塑料进行修复。

(4) 附属的微调电容损坏

若微调电容已开路,则可以旋至不短路处,再外加十几皮法的小微调电容进行补偿。若微调电容开路不起作用,则多因为与主电容器连接的螺钉松动,一经旋紧即可修复。

空气介质可变电容器的故障一般较小,结构也简单。容易发生的故障是定、动片相碰,旋动不灵活或停留不住,噪声较大。主要故障部位是动片、定片、旋转轴顶端螺丝和轴接触处的钢珠等。

1.5 电感器、变压器的选用及检测

1.5.1 电感器、变压器的基础知识

1. 电感器的基础知识

电感元件是电工和电子设备中最常用的元件之一,是一种储能元件,它把电能转变为磁场能,并在磁场中储存能量,是一种利用自感作用进行能量传输的元件。人们利用电感元件具有耦合、滤波、阻流、补偿、调谐等作用的特性,制造出了电感器、振荡线圈、阻流圈、变压器、继电器、接触器以及滤波器等元器件。

电感器是一种能产生电感作用的元件,电感器在有直流电通过时,其周围会产生磁场;当有交流电通过时,不仅会产生磁场,线圈还具有感抗(X_L)性质,如同电阻器一样对交变电流有阻碍作用。电感器可分为两大类:一类是利用自感作用的电感线圈;另一类是利用互感作用的变压器和互感器。

电感器用途极为广泛,例如 LC 滤波器、调谐放大器或振荡器中的谐振回路、均衡电路、去耦电路等。电感线圈用符号 L 表示,电感量的基本单位为亨利(H),简称亨。其标称值一般用数字直接在电感器上标明,也有用色环表示的,识别方法与电阻器类似,只需将 Ω 改作 mH 即可。常用的单位还有毫亨(mH)、微亨(μH), $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$ 。

常见电感器的外形和图形符号如图 1-74 所示。

(1) 电感器的型号

国产电感线圈的型号由以下四个部分组成:

第一部分:主称,用字母表示(L为线圈、2L为阻流圈);

第二部分:特征,用字母表示(G为高频);

第三部分:形式,用字母表示(X为小型);

第四部分:区别代号,用字母 A、B、C……表示。

(2) 电感器的分类

电感器的种类很多,根据电感器的电感量是否可调可分为固定电感器、可变电感器和微调电感器。

固定电感器即色码电感器,以铁氧体磁心为基体,在其外表进行色点涂覆。色码电感的适用频率一般在 10kHz ~ 200MHz,它的工作电流可分为 50mA、150mA、300mA、700mA、1.6A 共 5 个挡位,其结构有卧式和立式两种。小型固定电感的特性参数如表 1-17 所示,色码电感器的型号及性能如表 1-18 所示。

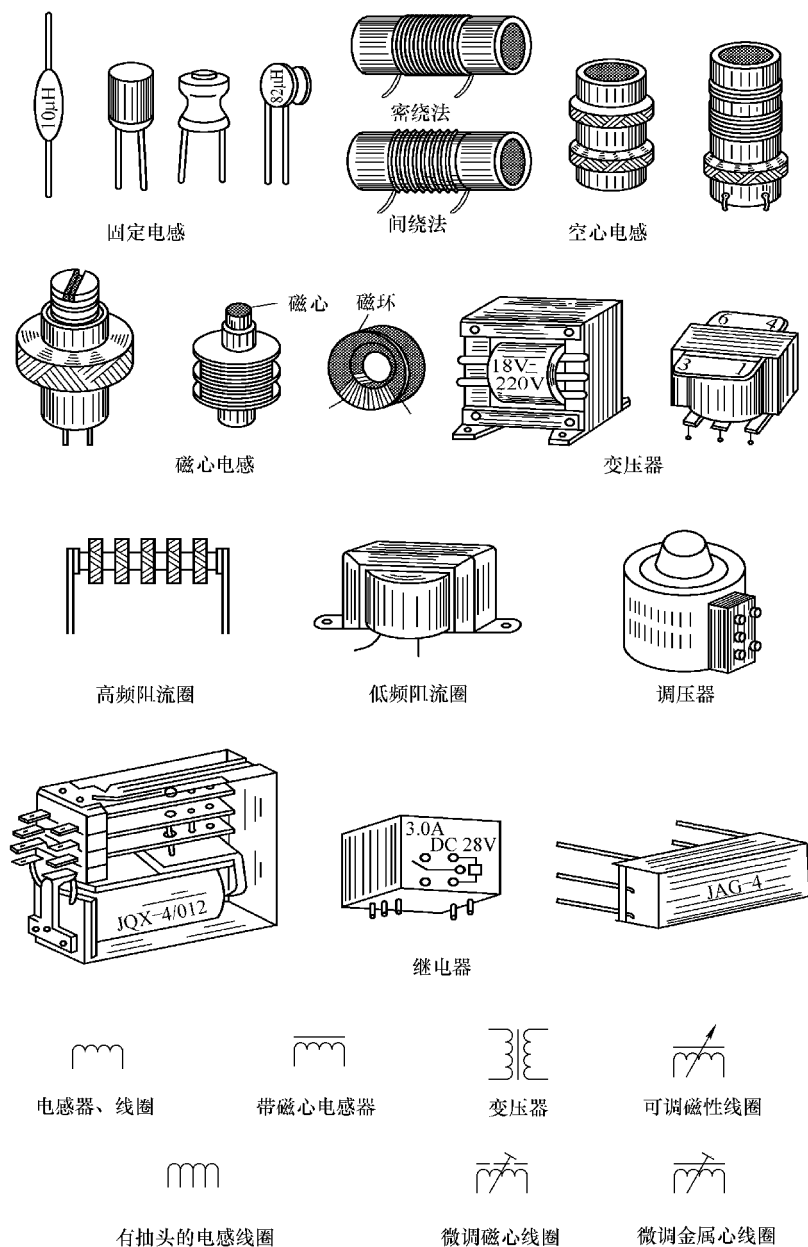


图 1-74 常见电感器的外形和图形符号

表 1-17 小型固定电感的特性参数

电感系列标称值	等级误差			允许通过最大电流/mA				
E2 系列	I	II	III	A	B	C	D	E
1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, 乘 $10^{-1}, 10^0, 10^1, 10^2 \dots$ 所得的值	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	50	150	300	700	1600

表 1-18 色码电感器的型号及性能

型 号	外形尺寸系列	电流组别	电感容量范围
LG1、LGX 型（卧式）	φ5，φ6，φ8，φ10，φ15	A 组	10μH ~ 10mH
		B 组	100μH ~ 10mH
		C 组	1μH ~ 10mH
		E 组	0.1μH ~ 560μH
LG400 型（立式）	φ13	A 组	10μH ~ 820μH
LG402 型（立式）	φ9	A 组	10μH ~ 820μH
LG404 型（立式）	φ5，φ8，φ18	A 组	10μH ~ 10mH
		D 组	10μH ~ 820μH

除了电感器外，还有许多种电感元件，被广泛应用在电子电路和电力系统中。电力系统中用的变压器、互感器、接触器、继电器都是电感元件；电子电路中的中频变压器、天线变压器也是电感元件。

(3) 电感线圈的基本参数

1) 电感量：当通过一个线圈的磁通发生变化时，线圈中便会产生电动势，这就是电磁感应现象。电动势大小正比于磁通量变化的速率和线圈匝数。自感电动势的方向总是阻止电流变化的，犹如线圈具有惯性，这种电磁惯性的 大小就用电感量 L 来表示。

在没有非线性导磁物质存在的条件下，一个载流线圈的磁通量 Φ 与线圈中的电流 I 成正比。其比例常数称为自感系数，用 L 表示， $L = \Phi / I$ 简称电感。标称电感量是反映电感线圈自感应能力的物理量。

电感量的大小，跟电感线圈的匝数、截面积以及内部有没有铁心或磁心有很大关系。如果在其他条件相同的情况下，匝数越多，电感量越大；匝数相同，其他条件不变，线的截面积越大，电感量越大；同一个线圈，插入铁心或磁心后，电感量比空心时明显增大，而且插入的铁心或磁心质量越好，线圈的电感量增加得越多。在高频电路中，线圈的电感量一般为 $0.1\mu\text{H} \sim 100\text{H}$ 。

2) 品质因数：表示线圈质量的一个参数（ Q 值），品质因数 Q 用来表示线圈损耗的大小，它是指线圈在某一频率的交流电压下工作时，线圈所呈现的感抗和线圈的直流电阻的比值。也是指线圈在一个周期中的储存能量与消耗能量的比值，具体表现为线圈的感抗（ ωL ）与线圈的损耗电阻（ R ）的比值。它是表示线圈品质的重要参数，高频线圈的品质因数一般为 $50 \sim 300$ 。

$$Q = \frac{\omega L}{R} = 2\pi f \frac{L}{R}$$

ω ——工作角频； f ——工作频率； L ——线圈的电感量； R ——线圈的总损耗电阻，它是由直流电阻、高频电阻（由趋肤效应和邻近效应引起）介质损耗等组成。

由此可见，线圈的感抗越大、损耗电阻越小，其 Q 值就越高。频率增加会使 Q 值下降，严重时 会破坏电路的正常工作。损耗电阻在频率较低时，可视为线圈的直流电阻；当频率较高时，因线圈骨架及浸渍物的介质损耗、铁心及屏蔽罩损耗、导线高频趋肤效应损耗等影响较明显，损耗电阻就应为包括各种损耗在内的等效损耗电阻，不能仅计算直流电阻。直流电

阻是电感线圈的自身电阻,可用万用表电阻挡直接测得。

调谐回路线圈对 Q 值的要求较高,用高 Q 值的线圈与电容组成的谐振电路具有更好的谐振特性;用低 Q 值线圈与电容组成的谐振电路,其谐振特性不明显。对耦合线圈要求可低一些,对高频扼流圈和低频扼流圈则无要求。 Q 值的大小影响回路的选择性、效率、滤波特性以及频率的稳定性。一般希望 Q 值越大越好,但提高线圈的 Q 值并不是一件容易的事,因此应根据实际使用场合对线圈 Q 值提出适当的要求。

为了提高线圈的品质因数,可以采用镀银铜线,以减小高频电阻;用多股的绝缘线代替具有同样总截面的单股线,以减少趋肤效应;采用介质损耗小的高频瓷为骨架,以减小介质损耗;采用磁心虽增加了磁心损耗,但可以大大减小线圈匝数,从而减小导线直流电阻,对提高线圈 Q 值有利。

3) 电感线圈的直流电阻即为电感线圈的直流损耗电阻,可以用万用表的电阻挡直接测量出来。

4) 电感线圈的分布电容是指线圈的匝数之间、线圈与地之间、线圈与屏蔽盒之间以及线圈的层与层之间形成的电容效应。线圈匝与匝之间、分布电容的存在会使线圈的等效总损耗电阻增大和品质因数降低。分布电容的存在影响了线圈的性能,因此总希望线圈的分布电容尽可能地小。

这些电感线圈分布电容的作用可以看作一个与线圈并联的等效电容。低频时,分布电容对电感器的作用没有影响;高频时会改变电感器的性能。为减少分布电容,高频线圈常采用多股漆包或丝包线,绕制线圈时常采用蜂房绕法或分段绕法等。

5) 固有电容:线圈绕组的匝与匝之间存在着分布电容,多层绕组层与层之间也都存在着分布电容。这些分布电容可以等效成一个与线圈并联的电容 C_0 。这个电容的存在使线圈的工作频率受到限制, Q 值也下降。等效电路实际为一个由 L 、 R 和 C_0 组成的并联谐振电路,其谐振频率称为线圈的固有频率, $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC_0}$,如图

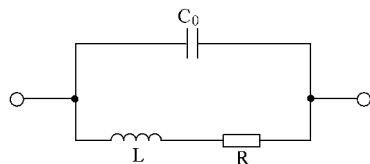


图 1-75 电感线圈的等效电路

1-75 所示。为了保证线圈有效电感量的稳定,使用电感线圈时,都应使其工作频率远低于线圈的固有频率。为了减小线圈的固有电容,可以减少线圈骨架的直径,用细导线绕制线圈,或采用间绕法、蜂房式绕法。

6) 额定电流是指允许长时间通过线圈的最大工作电流。这主要相对高频扼流圈和大功率的谐振线圈而言,对电源滤波电路中的低频扼流圈而言也是一种重要参数。若工作电流超过额定电流,则电感器就会因发热而使性能参数发生改变,甚至还会因过流而烧毁。

7) 稳定性:在温度、湿度等因素改变时,线圈的电感量以及品质因数便随之改变,稳定性表示线圈参数随外界条件变化而改变的程度。

电感量相对于温度的稳定性,用电感的温度系数 α_L 表示

$$\alpha_L = \frac{(L_2 - L_1)}{L_1(t_2 - t_1)} \quad (1/^\circ\text{C})$$

式中, L_2 和 L_1 分别是温度为 t_2 和 t_1 时的电感量。

对于经过温度循环变化后,电感量不再能恢复到原来值的这种不可逆变化,用电感的不

稳定系数表示

$$B_L = \frac{(L - L_1)}{L}$$

式中, L 和 L_1 分别为原来的和温度循环变化后的电感量。

温度对电感量的影响, 主要是因为导线受热膨胀, 使线圈产生几何变形而引起的, 为了减小这一影响, 可采用热法: 绕制时将导线加热, 冷却后导线收缩, 以保证导线紧紧贴合在骨架上。温度升高时, 线圈的固有电容和漏电损耗增加, 也会降低线圈的稳定性。改进的方法是: 将线圈用防潮物质浸渍或用环氧树脂密封, 浸渍后由于浸渍材料的介电常数比空气大, 其线匝间的分布电容增大。同时, 还可引入介质损耗, 影响 Q 值。

(4) 电感器的特性

1) 绕组的自感特性: 当通过一个绕组的电流发生变化时, 电流激发的磁场将随之发生变化, 从而使通过绕组本身的磁通量发生变化, 这样, 在绕组中就产生了感应电动势。这种因电流变化而在绕组自身中产生感应电动势的现象称作自感现象, 所产生的感应电动势称为自感电动势。

自感电动势总是阻碍绕组中原来电流的变化。当电流增大时, 自感电动势的方向与原来电流方向相反; 当电流减小时, 自感电动势的方向与原来电流方向相同。“阻碍”不是“阻止”, “阻碍”其实是“延缓”, 使回路中原来的电流变化得缓慢一些。

自感电动势的大小由导体本身及通过导体电流改变的快慢程度共同决定。在恒定电流电路中, 只有在通、断电的瞬间才会发生自感现象。

自感系数 L 简称自感或电感, 它是由线圈本身特性决定的。绕组越长, 单位长度上的匝数越多, 线圈截面积越大, 它的自感系数就越大。另外, 有铁心的绕组自感系数比没有铁心时要大得多。对于一个已经制造好的绕组来说, 自感系数是一定的。

2) 互感特性: 当绕组 1 的电流变化时, 产生磁链 Ψ_{11} , 不仅会在自身中产生自感电动势, 还会同时产生磁链 Ψ_{12} , 经过线圈 2 中产生感应电动势。同理, 绕组 2 的电流变化时, 也会在绕组 1 中产生感应电动势。这样两个线圈的电流可以互相提供磁通。当电流变化时互相在对方回路中产生感应电动势的现象称作电磁互感原理, 所产生的感应电动势成称互感电动势, 如图 1-76 所示。

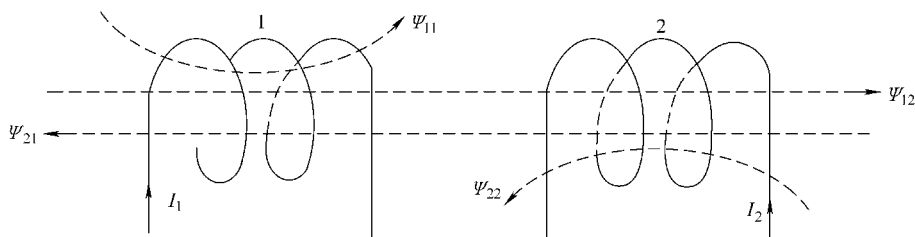


图 1-76 互感特性

3) 频率特性: 电感对正弦交流电的阻碍作用称作感抗。通常用符号 X_L 表示, 即 $X_L = 2\pi fL$ 。式中, 频率 f 的单位为赫兹, 电感 L 的单位为亨利, 感抗 X_L 的单位为欧姆。

从公式中可以看出, 电感量越大, 感抗也就越大。如果交流电频率大则电流的变化率也大, 感抗随着频率的增大而增大。交流电中的感抗和交流电的频率与电感量成正比。这说

明,同一电感元件(L 一定),对于不同频率的交流电所呈现的感抗是不同的,这是电感元件和电阻元件不同的地方。频率高,电感的阻碍作用就大;电感量大,交流电就难以通过绕组。

在实际应用中,绕组的电感起着“通直流,阻交流”或“通低频,阻高频”的作用,因而在交流电路中常用感抗的特性来旁通低频及直流电,阻止高频及交流电。

(5) 电感线圈的标志方法

电感线圈是将铜线绕在磁心上,再用环氧树脂或塑料封装而成。它的电感量用直标法和色标法表示,标志方式相似于电阻器的标志方法,如图1-77所示,又称色码电感器。它具有体积小、重量轻、结构牢固和安装使用方便等优点,在电路中用于滤波、陷波、扼流、振荡、延迟等。固定电感器有立式和卧式两种,其电感量一般为 $0.1 \sim 3000\mu\text{H}$,允许偏差分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三挡,即 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$,工作频率在 $10\text{kHz} \sim 200\text{MHz}$ 之间。

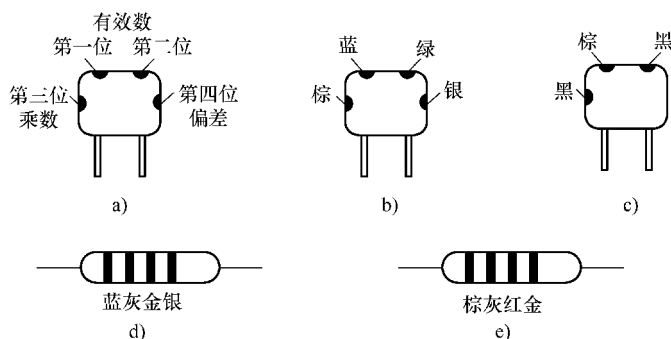


图 1-77 电感线圈的色标法

(6) 电感线圈的分类

电感线圈的种类很多,如图1-78所示,常用线圈的电路符号如图1-79所示。

按其结构特点可分为单层线圈、多层线圈、蜂房线圈、带磁心线圈及可变电感线圈等。

按导磁性质可分为空心线圈、磁心线圈和铜心线圈等。

按用途可分为高频扼流线圈、低频扼流线圈、调谐线圈、去耦线圈、提升线圈和稳频线圈等。

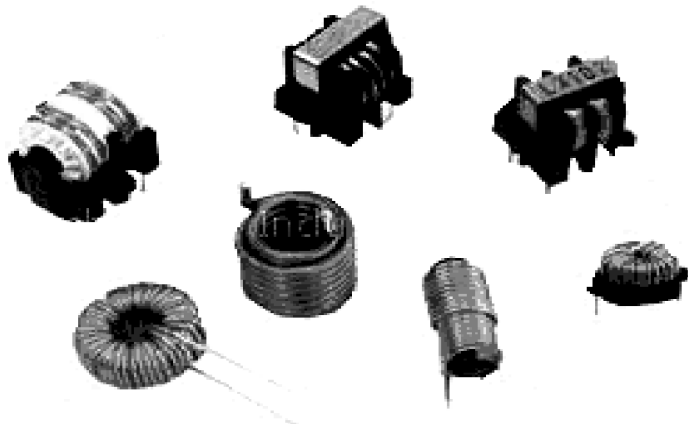


图 1-78 电感线圈

1) 单层线圈：将线匝单层分布于线圈骨架的圆柱表面。单层线圈的电感量较小，约在几个微亨至几十微亨之间。单层线圈通常使用在高频电路中，为了提高线圈的 Q 值，单层线圈的骨架常使用介质损耗较小的陶瓷和聚苯乙烯材料制作。图 1-80 所示为常见的单层线圈外形结构。

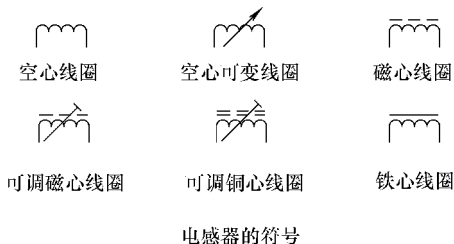


图 1-79 常用线圈的电路符号



图 1-80 单层线圈

线圈绕制可采用密绕和间绕，间绕线圈每圈间距都相距一定的距离，所以分布电容较小。当采用粗导线时，可获得高 Q 值和高稳定性。但间绕线圈电感量不能做得很大，因而它可以使用在要求分布电容小，稳定性高，而电感量较小的场合。对于电感量大于 $15\mu\text{H}$ 的线圈，可采用密绕。密绕线圈的体积较小，但它圈间电容较大，使 Q 值和稳定性都有所降低。

另外，对于有些要求稳定性较高的地方，还应用镀银的方法将银直接镀覆在膨胀系数很小的瓷质骨架表面，制成电感系数很小的高稳定型线圈。在高频大电流的条件下，为了减少趋肤效应，线圈通常使用铜管绕制。

2) 多层线圈：单层线圈的电感量小，如要获得较大值电感量时单层线圈已无法满足。因此，当电感量大于 $300\mu\text{H}$ 时，就应采用多层线圈，如图 1-81 所示。



图 1-81 多层线圈

多层线圈除了圈与圈之间具有电容之外，层与层之间也具有电容，因此多层线圈的分布电容大大增加，同时线圈层与层间的电压相差较多。当层间的绝缘较差时，易发生跳火、绝缘击穿等问题。为此，多层线圈常采用分段绕制，各段之间距离较小，减少了线圈分布。

3) 空心线圈：用导线绕制在纸筒、胶木筒、塑料筒上组成的线圈或绕制后脱胎而成的线圈，由于此线圈中间不另加介质材料，因此称为空心线圈。它用图 1-82a 所示符号表示，英文字母 L 表示电感线圈。空心线圈的绕制方法有多种，如密绕法、间绕法、脱胎法以及蜂房式等，如图 1-82b 所示。

蜂房线圈：多层线圈的缺点之一就是分布电容较大，采用蜂房绕制方法，可以减少线圈的固有电容，如图 1-83 所示。

所谓蜂房式，就是将被绕制的导线以一定的偏转角（约 $19^\circ \sim 26^\circ$ ）在骨架上缠绕。通常缠绕是由自动或半自动的蜂房式绕线机进行的。对于电感量较大的线圈，可以采用两个、三个以至多个蜂房线包将它们分段绕制。

4) 带磁心的线圈：用导线在磁心、磁环上绕制成线圈或者在空心线圈中插入磁心组成的线圈均称为磁心线圈，它的符号和实物外形如图 1-84 所示。

线圈加装磁心后，电感量、品质因数等都将增加。加装磁心后还可以减小线圈的体积，

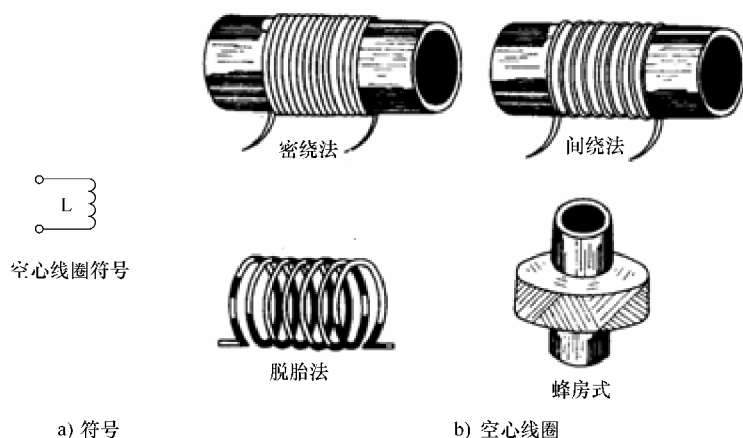


图 1-82 空心线圈

减少损耗和分布电容。另外，调节磁心在线圈中的位置，还可以改变电感量。因此许多线圈都装有磁心，形状也各式各样。

图 1-85 所示的晶体管收音机中波天线常采用这种线圈。为了提高线圈的 Q 值，绕制这种天线线圈，要采用多股丝包线。

图 1-86 所示的晶体管收音机短波天线常采用间绕单层线圈。就是将导线一圈一圈地隔一定的距离绕在磁棒骨架上，常采用镀银导线绕制。

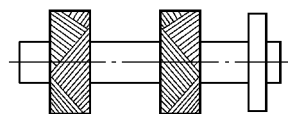


图 1-83 蜂房线圈

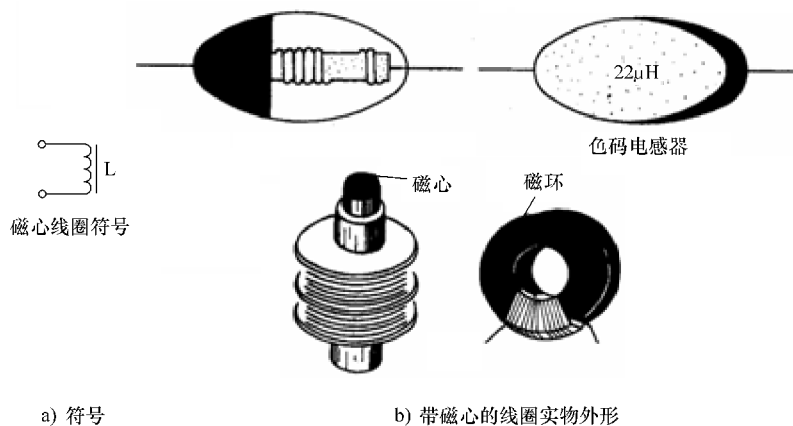


图 1-84 磁心线圈

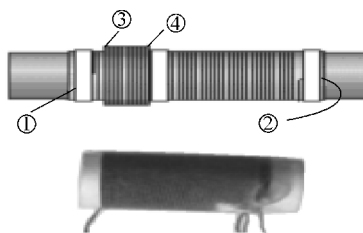


图 1-85 收音机的中波天线线圈

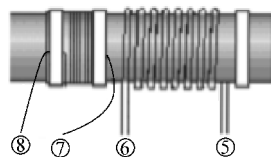


图 1-86 收音机短波天线线圈

5) 可调电感线圈：在有些场合需用可调电感线圈对电感量进行调节，用以改变谐振频率或电路耦合的松紧，通常采用四种方法制成。

① 在空心线圈中插入可调的磁心和铜心。

② 在空心线圈中安装一个滑动接点。

③ 将两个线圈串联，均匀地改变两个线圈之间的相对位置，以使互感量变化。

④ 将线圈引出数个抽头，加波段开关连接。这种方法有严重的缺点，即电感不能平滑地进行调节。

电视机的中频调谐电路就采用可调磁心线圈。当旋动磁心时可微调线圈的电感量，用以调整电视机中频的频率范围。

6) 铁心线圈：在空心线圈中插入硅钢片组成铁心线圈，符号和实物外形如图 1-87 所示。它的作用是用来阻止残余交流电通过，而让直流电通过。一般有 CD 形铁心、ED 形铁心、阶梯形铁心、XCD 形铁心、XED 形铁心、SD 形铁心、OD 形铁心、BKC 形铁心等。



图 1-87 铁心线圈

7) 固定电感器：固定电感器通常称为色码电感器，其结构是按不同电感量的要求将不同下径的铜线绕在磁心上，再用塑料壳封装或用环氧树脂包封。它在电子电路中主要作振荡、滤波、阻流、陷波等之用，如图 1-88 所示。

固定电感器的特点是体积小、重量小、结构牢固可靠。按它的引出线方向的不同可分为双向引出和单向引出。

8) 低频扼流圈：低频扼流圈用于电源和音频滤波。它通常有很大的电感，可达几个亨到几十亨，因而对于交变电流具有很大的阻抗。扼流圈只有一个绕组，在绕组中对插硅钢片组成铁心，硅钢片中留有气隙，以减少磁饱和。图 1-89 所示为低频扼流圈的外形结构。

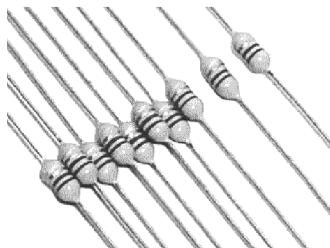
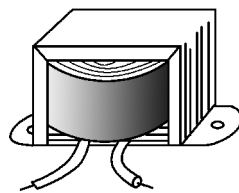


图 1-88 固定电感器



低频扼流圈

图 1-89 低频扼流圈

9) 偏转线圈：偏转线圈是电视机扫描电路输出级的负载，偏转线圈的偏转灵敏度高、磁场均匀、Q 值高、体积小、价格低，如图 1-90 所示。

(7) 电感器的组成规则

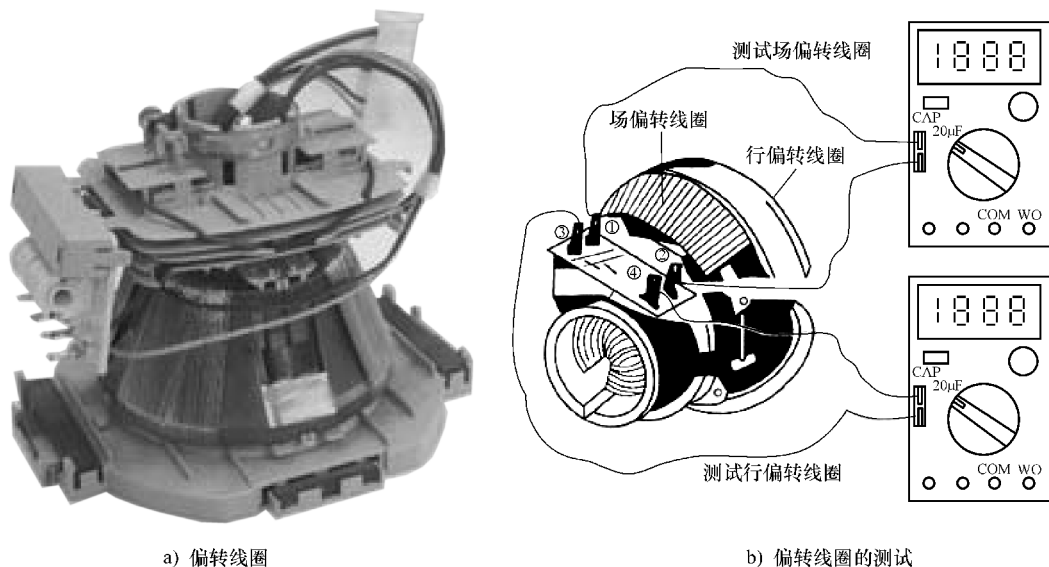


图 1-90 偏转线圈及其测试

电感元件通常是由绕组（又称线圈）、骨架、磁心和屏蔽罩等组成的，由于使用的场合要求不同，有的线圈没有磁心或屏蔽罩，或这两者都没有，有的还没有骨架，如应用于短波及超高频段的线圈就只有绕组。

1) 电感元件绕组的制作：绕组大多是用各种规格导线（漆包线）按照模子形状一圈紧靠一圈地在绝缘骨架上绕制而成的。

2) 制作电感元件骨架的材料：绕组的骨架常用电工纸板、胶木、硬塑料、聚苯乙烯、聚四氟乙烯、云母和陶瓷等介质材料制成。

3) 磁心的作用和材料：电感元件装有磁心或铁心，可以增大电感量。与电感元件无磁心或无铁心的线圈相比，装有磁心可以减少线圈的匝数，从而减小线圈的体积和分布电容，同时提高线圈的 Q 值，还可以通过调整磁心位置调整电感量。常用的磁心材料有金属硅钢片和坡莫合金等；有时也用非金属的锰锌铁氧体，镍锌铁氧体等制作磁心。

4) 屏蔽罩的制作和作用：屏蔽罩大多数是由 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 厚的镀锌铁皮冲制而成，也有手工制作的。其作用主要是减小线圈产生的磁场对其他电路和元器件的影响。制作时常采用屏蔽措施，如收音机的本振线圈等就是采用了接地的金属屏蔽罩。

5) 绕组匝数和线径确定的基本原则：绕组匝数的多少主要取决于使用要求，一般电感量越大，绕组的匝数就越多。导线直径的选择应根据通过线圈的电流值及线圈的 Q 值来确定。通过的电流大，要求的 Q 值高，导线就应选择较粗的多股线。例如，广播发射机中用的高频回路线圈，由于通过的电流大，达到几十安至几百安，要求 Q 值也不能太低，因此，线圈由粗铜管制成。而用在晶体管收音机中的中频变压器线圈，通过的电流很小，为几毫安，因此所用的导线只有头发丝那么粗。

(8) 电感器的选用

1) 按工作频率的要求选择不同结构的线圈。用于音频段的一般要用带铁心（硅钢片或坡莫合金）或低频铁氧体心的，在几百千赫到几兆赫间的线圈最好用铁氧体心，并以多股

绝缘线绕制的,这样可以减少趋肤效应,提高 Q 值;要用几兆赫到几十兆赫的线圈时,宜选用单股镀银粗铜线绕制,磁心要采用短波高频铁氧体,也常用空心线圈。由于多股线间分布电容的作用及介质损耗的增加,所以不适宜用在频率高的地方,在一百兆赫以上时一般不能选用铁氧体心,只能用空心线圈。

2) 因为线圈骨架的材料与线圈的损耗有关,因此用在高频电路里的线圈,通常应选用高频损耗小的高频瓷做骨架。对于要求不高的场合,可选用塑料、胶木和纸做骨架的电感器,虽然损耗大一些,但它们价格低廉、制作方便、重量小。

3) 屏蔽罩具有隔离电磁场的功能,线圈采取屏蔽措施后,其等效电阻、分布电容等参数将会发生变化。为了减小屏蔽对线圈电感的影响,屏蔽罩的直径一般应比线圈直径大1倍。低频工作时,可以用磁性材料制成屏蔽罩,将线圈罩在盒内。在高频工作时,是以铜、铝等电阻率小的良导体作电磁场屏蔽材料,利用高频磁场在屏蔽罩上感应产生的涡流来达到屏蔽的目的。

4) 在使用线圈时应注意不要随便改变线的形状、大小和线圈间距离,否则会影响线圈原来的电感量,尤其对空心高频线圈更应注意。有些线圈在绕好后可用高频蜡或胶固封,如无恰当固封胶或高频蜡也可不封,但不可用普通胶或蜡进行固封,因为这些材料损耗较大,会导致线圈的 Q 值下降,使整机特性变差。

5) 电感线圈在印制电路板上立式与卧式两种安装方式,使用时注意其磁场的辐射对邻近元器件工作的影响。

6) 在选用线圈时必须考虑机械结构是否牢固,不应使线圈松脱、引线接点活动等。

(9) 绕制线圈的注意事项

线圈在实际使用过程中,有相当数量品种的电感线圈是非标准件,都是根据需要有针对性进行绕制的。自行绕制时,要注意以下几点:

1) 根据电路需要,选定绕制方法。在绕制空心电感线圈时,要依据电路的要求,电感量的大小以及线圈骨架直径的大小,确定绕制方法。间绕式线圈适合在高频和超高频电路中使用,在匝数少于3匝到5匝时,可不用骨架,就能具有较好的特性, Q 值较高,可达150~400,稳定性也很高。单层密绕式线圈适用于短波、中波回路中,其 Q 值可达到150~250,并具有较高的稳定性。

2) 确保线圈载流量和机械强度,选用适当的导线线圈,不宜用过细的导线绕制,以免增加线圈电阻,使 Q 值降低。同时,导线过细,其载流量和机械强度都较小,容易烧断或碰断线。所以,在确保线圈的载流量和机械强度的前提下,要选用适当的导线绕制。

3) 带有抽头的线圈应有明显的标志,这样对于安装与维修都很方便。

4) 不同频率特点的线圈,采用不同材料的磁心,工作频率不同的线圈有不同的特点。

音频段工作的电感线圈,通常采用硅钢片或坡莫合金为磁心材料。低频用铁氧体作为磁心材料,其电感量较大,可高达几亨到几十亨。在几十万赫到几兆赫之间,如中波广播段的线圈,一般采用铁氧体心,并用多股绝缘线绕制。频率高于几兆赫时,线圈采用高频铁氧体作为磁心,也常用空心线圈。此情况不宜用多股绝缘线,而宜采用单股粗镀银线绕制。在100MHz以上时,一般已不能用铁氧体心,只能用空心线圈;如要作微调,可用钢心。适用于高频电路的阻流圈,除了电感量和额定电流应满足电路的要求外,还必须注意其分布电容不宜过大。

(10) 线圈使用、安装要注意的问题

- 1) 线圈的安装位置应符合设计要求。
- 2) 线圈在安装前, 要进行外观检查。
- 3) 线圈在使用过程中需要微调的, 应考虑微调方法。
- 4) 使用线圈应注意保持原线圈的电感量。
- 5) 可调线圈的安装应便于调整。

(11) 提高线圈的 Q 值所采取的措施

品质因数 Q 是反映线圈质量的重要参数, 提高线圈的 Q 值, 可以说是绕制线圈要注意的重点之一。

- 1) 根据工作频率, 选用线圈的导线。
- 2) 选用优质的线圈骨架, 减少介质损耗。
- 3) 选择合理的线圈尺寸, 可以减少损耗。
- 4) 选定合理屏蔽罩的直径。
- 5) 采用磁心可使线圈圈数显著减少。
- 6) 线圈直径适当选大些, 利于减小损耗。
- 7) 减小绕制线圈的分布电容。

(12) 电感元件在电工和电子方面的应用

电感线圈的自感现象和互感现象已被广泛地应用于无线电技术、电磁测量技术及传感器中, 在电工和电子电路中也有许多应用, 如日光灯的镇流器, 电力变压器、电动机的线圈, 发电机的线圈, 电视机、收录机中的扼流圈与中频变压器以及自动化仪器的延时器等。

1) 电工方面的应用:

① 工农业生产中广泛应用的变压器。

变压器是根据互感原理制成的。在电力电路中, 变压器主要将高压交流电压转换成低压交流电压, 也可以说通过变压器将电路电压升高, 实现电能传输。如果变压器接入直流电路, 则铁心中不会产生交变的磁通量, 没有互感现象出现, 所以变压器仅工作于交流电路中。

② 感应圈。

感应圈是工业生产和实验室中用直流电源获得高压的一种装置。汽油发动机的点火器就是一个感应圈, 它所产生的高压放电火花, 能把汽缸内的混合气体点燃。

感应圈的工作原理如图 1-91 所示。闭合电键 S , 使电流通过一次绕组, 铁心因被磁化而吸引小铁锤 M , 使 M 与螺钉 D 分离, 电路重被切断。电路一旦被切断, 铁心的磁性消失, M 在弹簧片的弹力作用下又重新和 D 相接触, 于是电路重新被接通。这样, 由于断续器的作用, 一次绕组电路的接通和断开将自动地反复进行, 导致一次绕组中的电流不断变化, 这样, 通过互感在二次绕组中产生感应电动势。由于二次绕组的匝数远远多于一次绕组的匝数, 因此在二次绕组中能获得高达 1 万到几万伏的电压。这样高的电压, 足以使 ab 间产生火花放电现象。

2) 电子方面的应用: 电感滤波电路就是利用电感的频率特性制成的。由于电感线圈的电感量要足够大, 因此一般需要采用有铁心的线圈。因为有铁心, 自感线圈的交流阻抗很大, 直流电阻很小, 所以把铁心线圈串联在电路中, 可起到滤波作用。输入电压的交流成分

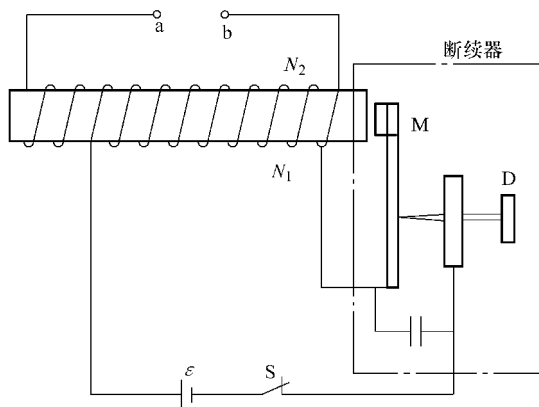
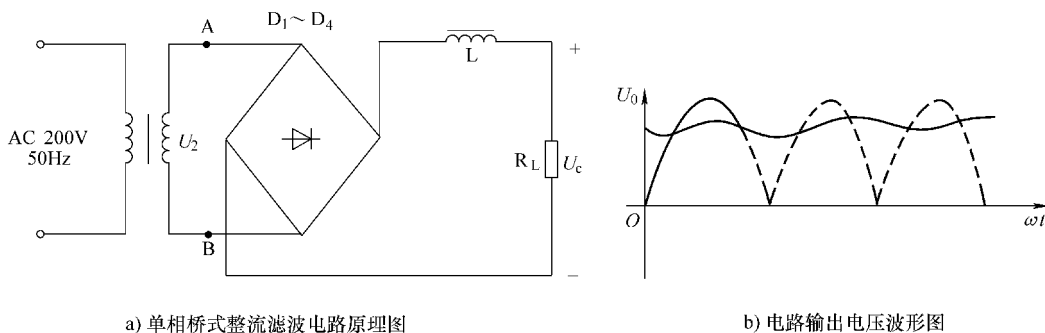


图 1-91 感应圈的工作原理图

大部分降在铁心线圈上，而直流部分则通过铁心线圈加在负载上。这种滤波电路的优点是输出特性好，输出电压变动小，不会对整流二极管产生电流冲击，适用在一些功率较大、负载变动大的场合。电感滤波电路及波形如图 1-92 所示。



a) 单相桥式整流滤波电路原理图

b) 电路输出电压波形图

图 1-92 电感滤波电路及波形

在大电流的情况下，由于负载电阻 R_L 很小。若采用电容滤波电路，则电容容量势必很大，而且整流二极管的冲击电流也非常大，在此情况下应采用电感滤波电路。

3) 中波天线线圈和短波天线线圈：

① 单层密绕中波天线线圈，也称作磁棒天线线圈。它是利用电磁感应原理，制作成中波天线线圈，用来接收无线电电磁波的。中波天线由一个铁氧体磁棒和线圈组成，磁棒对无线电电磁波的吸收能力很强。磁力线通过它就好像很多棉纱线被一个铁箍束得很紧一样，因此，线圈则是一次侧匝数多，二次侧匝数少，在线圈内能够感应出比较高的高频电压，所以磁性天线兼有放大高频信号的作用。此外，磁性天线还有较强的方向性，能够提高收音机的抗干扰能力。

为了求得较高的 Q 值，降低在高频情况下由于趋肤效应和因其他因素影响而产生的损耗，实验证明用多股线比用单股线绕制的线圈，在灵敏度和选择性上都有比较明显的提高。通常多采用多股纱包漆包线，如用直径为 0.05mm 的 13 根线绞成一根后绕制（常用 $7 \times 0.07\text{mm}$ 或 $15 \times 0.05\text{mm}$ 的漆包线）。股数再增多，性能提高并不明显；再减少， Q 值就有所下降了。

② 单层间绕的短波线圈是用直径为 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 、匝间距离为 $2 \sim 2.5\text{mm}$ 的漆包线绕制而成的。如收音机设计为中波、短波都能接收时，需将两波段线圈的绕组分别套在磁棒的两端，如图 1-93b 所示。磁性天线接收信号的能力与磁棒的长度 L 及截面积的大小有关。

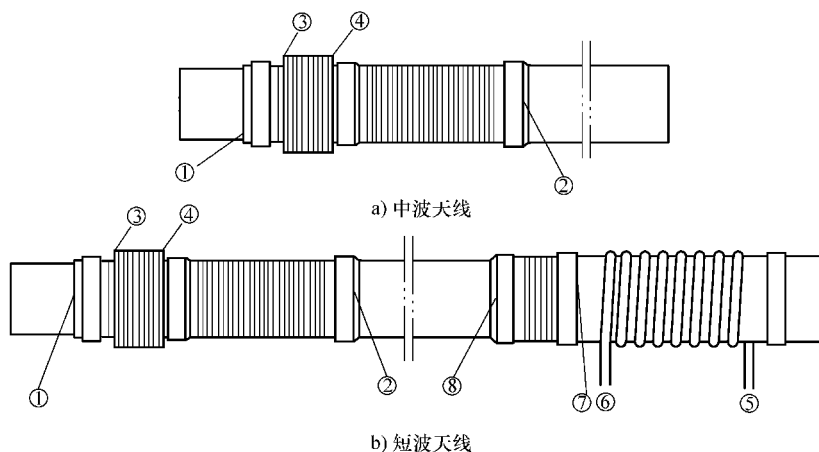


图 1-93 中波线圈和短波线圈

③ 中、短波线圈在磁棒上的位置。一般是将线圈的中心对正离磁棒一端约为磁棒全长 (L) 的 $1/4$ 处，如图 1-93 所示，然后在调整收音机时再稍微向左右移动，使收音机音量最大。调整时不应直接用手去调，最好用绝缘良好的无感塑料小棒去调，人体的感应很大，会影响调整。

④ 中、短波线圈在磁棒上的绕向和引出头的位置对收音机的接收效果有一定的影响。中、短波天线电路如图 1-94 所示。

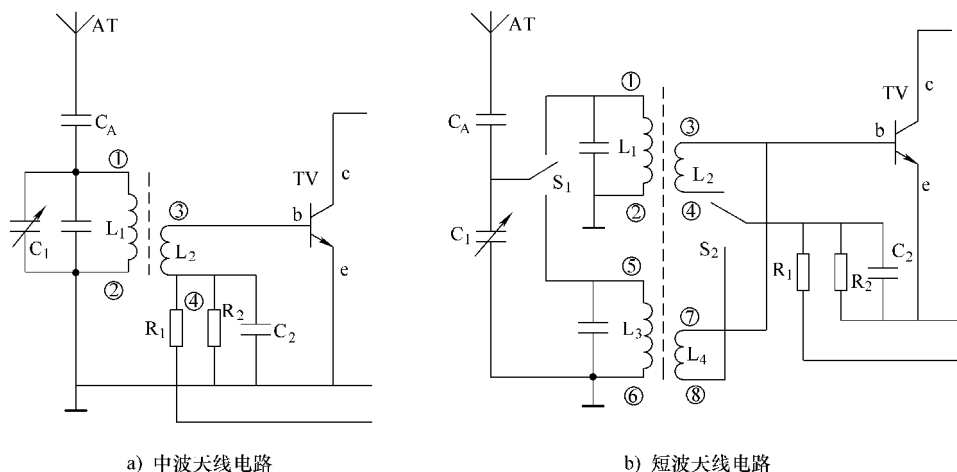


图 1-94 中波天线电路和短波天线电路

如图 1-94a 所示， L_1 为一次绕组， L_2 为二次绕组。绕组 L_1 的①端和 L_2 的③端均为热端（不接地），②端及④端为冷端（接地），④端显然是通过电容 C_2 接地，但 C_2 对高频电流阻抗很小，所以几乎是直接接地。这两组绕组在磁棒上绕制时，绕组 L_2 的③端要和 L_1 的①端对应，即都从磁棒的同一端开始绕（如图 1-94 所示），或者说，热端和热端在一边，

冷端和冷端在一边，并且两绕组绕的方向要一致。引出头位置如果接反或绕反时，收音机的灵敏度将会有所下降。接收短波时，图 1-94b 中一次绕组 L_3 的⑤、⑥端和二次绕组 L_4 的⑦、⑧端也要互相对应。

2. 变压器的基础知识

(1) 变压器

变压器主要用于交流电压变换、电流变换、传递功率、阻抗变换和缓冲隔离等，是电子整机中不可缺少的重要器件之一。变压器由两组或两组以上线圈（一次和二次线圈）绕在同一骨架上，并在绕好的线圈中插入铁心或磁心等导磁材料构成，它在电路中起变换电压、电流和阻抗的作用。

1) 变压器的结构：变压器一般由导电材料、磁性材料和绝缘材料三部分组成。

导电材料：主要是各种强度较高的漆包线，只有在调谐用高频变压器中使用纱包线。

磁性材料：以硅钢片为主，中频变压器、脉冲变压器、振荡变压器等使用的磁性材料以铁氧体磁材为主。

绝缘材料：除骨架外，还有层间绝缘材料及浸渍材料（绝缘漆）等。

2) 变压器的作用：利用一次、二次绕组之间匝数比的不同来改变电压比或电流比，实现电能或信号的传输与分配。

(2) 变压器型号的命名方法

变压器型号的命名方法由三部分组成。第一部分：主称，用字母表示，DB 表示电源变压器、CB 表示音频输出变压器、RB 音频输入变压器、GB 表示高压变压器、HB 表示灯丝变压器、SB 表示音频输送变压器、ZB 表示音频定阻式输送变压器、EB 表示音频定压式或自耦式输送变压器；第二部分：功率，用数字表示，计量单位用伏安（VA）或瓦（W）表示，但 RB 型变压器除外；第三部分：序号，用数字表示。如 DB-50-2 表示 50VA 的电源变压器。

对于中频变压器的命名和上述的不同，它的三部分分别是第一部分：主称，用字母表示，T 表示中频变压器、L 表示线圈或振荡线圈、T 表示磁性瓷心式、F 表示调幅式收音机、S 表示短波段；第二部分：尺寸，用数字表示；第三部分：级数，用数字表示。

(3) 变压器的种类

1) 按使用的工作频率：按变压器工作频率的高低可分为低频变压器（低频变压器又分为音频变压器和电源变压器两种）、中频变压器、高频变压器和脉冲变压器等。

2) 按其磁心：可以分为铁心（硅钢片或坡莫合金）变压器、磁心（铁氧体心）变压器和空气心变压器等几种。

3) 按变压器常用的铁心：变压器的铁心通常由硅钢片、坡莫合金或铁氧体材料制成，其形状有“EI”、“口”、“F”、“C”形等种类，如图 1-95 所示。

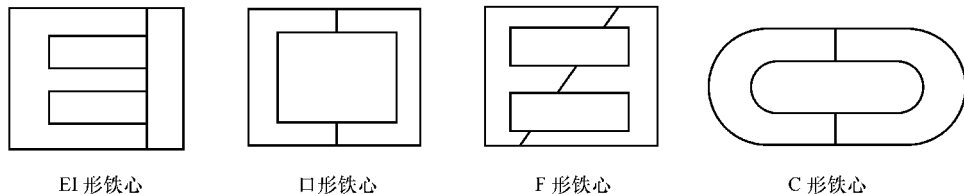


图 1-95 变压器常用铁心

- 4) 按冷却方式：干式（自冷）变压器、油浸（自冷）变压器、氟化物（蒸发冷却）变压器。
- 5) 按防潮方式：开放式变压器、灌封式变压器、密封式变压器。
- 6) 按铁心或线圈结构：心式变压器（插片铁心、C型铁心、铁氧体铁心）、壳式变压器（插片铁心、C形铁心、铁氧体铁心）、环型变压器、金属箔变压器。
- 7) 按电源相数：单相变压器、三相变压器、多相变压器。
- 8) 按用途：电源变压器、调压变压器、音频变压器、中频变压器、高频变压器、脉冲变压器。不同类型的变压器如图 1-96 所示。

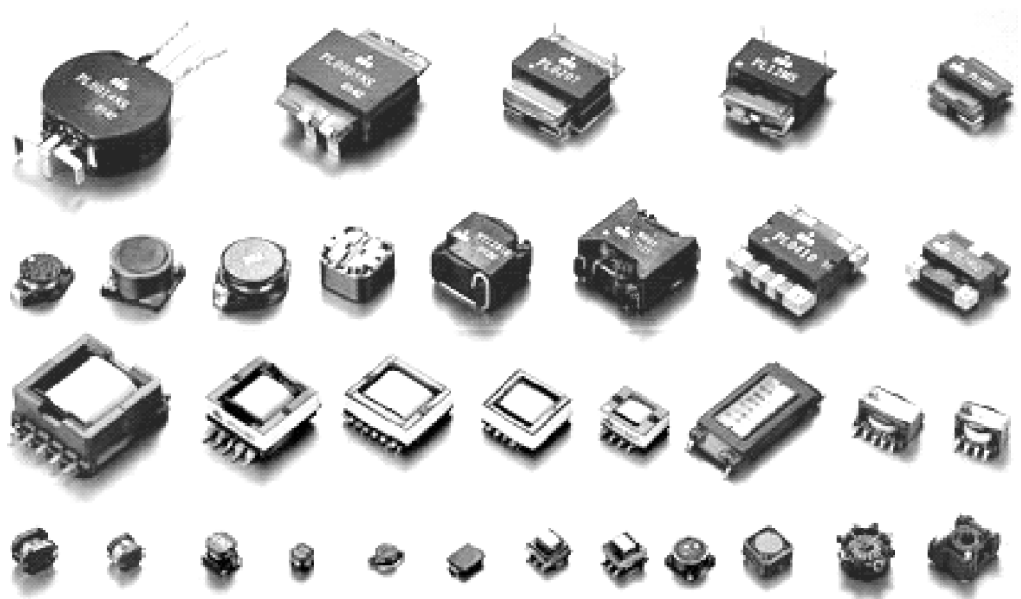


图 1-96 变压器

(4) 变压器的外形及电路符号

常见的变压器的外形及电路符号如图 1-97 所示。

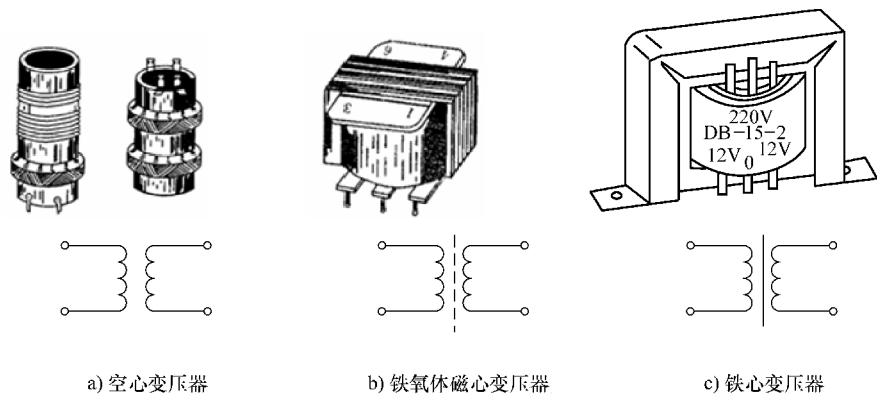


图 1-97 常见的变压器的外形及电路符号

(5) 变压器的主要参数

1) 额定功率: 额定功率是指在规定的频率和电压下, 变压器能长期工作而不超过规定温升的输出功率。变压器输出功率的单位用瓦 (W) 或伏安 (VA) 表示。一般用于电源变压器, 与铁心截面积、漆包线直径等有关。变压器的铁心截面积越大、漆包线直径越粗, 其输出功率越大。

2) 变压比: 是指变压器的一次电压 U_1 与二次电压 U_2 的比值或一次线圈匝数 N_1 与二次线圈匝数 N_2 的比值。

① 变压器的变压比: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$ ——式中, n 称为变压比。

② 变压器电流与电压的关系:

不考虑变压器的损耗, 则有

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \text{ 或 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

③ 变压器的阻抗变换关系: 设变压器一次输入阻抗为 Z_1 , 二次负载阻抗为 Z_2 , 则

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2$$

因此, 变压器可以做阻抗变换器。

3) 效率 η : 是变压器的输出功率 P_o 与输入功率 P_i 的比值。一般来说, 电源变压器、音频变压器要注意效率, 而中频、高频变压器一般不考虑效率。变压器的容量越大, 效率越高; 容量越小, 效率越低。例如: 变压器的额定功率为 100W 以上时, 其效率可达 90% 以上; 变压器的额定功率为 10W 以下时, 其效率只有 60% ~ 70%。

4) 频率特性: 指变压器有一定的工作频率范围, 不同工作频率范围的变压器, 一般不能互换使用。因为变压器在其频率范围以外工作时, 会出现工作时温度升高或不能正常工作等现象。

5) 温升: 温升是当变压器通电工作后, 其温度上升到稳定值时比周围环境温度升高的数值。

6) 绝缘电阻: 指变压器各绕组之间以及各绕组对铁心 (或机壳) 之间的电阻。如果绝缘电阻过低, 会使仪器和设备机壳带电, 造成工作不稳定, 甚至给设备和人身带来危险。绝缘电阻也是指在变压器上施加的试验电压与产生的漏电流之比。

7) 漏电感: 由漏磁通产生的电感称为漏电感, 简称漏感。变压器的漏感越小越好。

(6) 常用变压器

1) 低频变压器可分为音频变压器与电源变压器两种, 在电路中又可以分为输入变压器、输出变压器、级间耦合变压器、推动变压器及线间变压器等。

① 音频变压器可分为输入和输出变压器两种。音频变压器在放大电路中的主要作用是耦合、倒相、阻抗匹配等。要求音频变压器频率特性好、漏感小、分布电容小。主要用在收音机末级功放上起阻抗变换作用。

② 电源变压器大都是交流 220V 降压变压器, 用于各种电子产品低压供电。根据电源变压器的铁心形状不同有 E 形、口形、F 形、C 形及环形变压器, 如图 1-98 所示。

2) 中频变压器适用于频率范围从几千赫兹到几十兆赫兹。它是超外差式接收机中的重要元件, 又叫中周。中频变压器适用于收音机、收录机中的振荡线圈和中频谐振回路。起选频、耦合、阻抗变换等作用, 如图 1-99 所示。

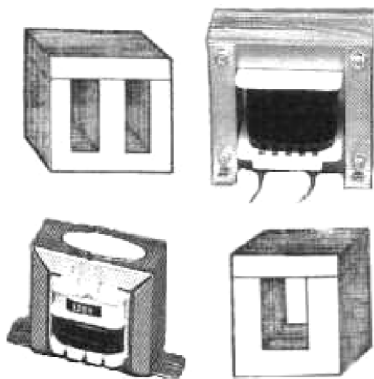


图 1-98 电源变压器



图 1-99 中频变压器

3) 高频变压器一般又分为耦合线圈和调谐线圈。调谐线圈与电容可组成串、并联谐振回路, 用来选频等。天线线圈、振荡线圈都是高频线圈, 如图 1-100 所示。

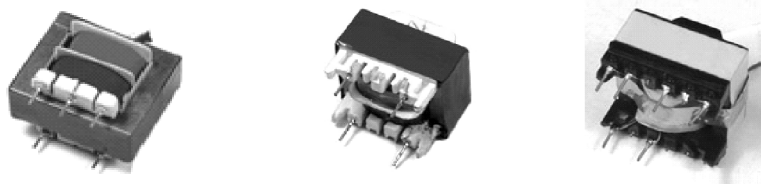


图 1-100 高频变压器

1.5.2 色码电感器

色码电感器是一种小型的固定电感器, 如图 1-101 所示。它是一种磁心线圈, 是将线圈绕制在软磁铁氧体的基体(磁心)上, 再用环氧树脂或塑料封装, 并在其外壳上标以色环或直接用数字标明电感量的数值。若标以色环, 其电感量的识别与色环电阻一样, 数字和颜色的对应关系是一样的, 这种电感线圈的工作频率为 10kHz ~ 200MHz, 电感量一般为 0.1 ~ 3000 μ H。高频采用镍锌铁氧体材料, 低频多用锰锌铁氧体材料。

1. LG 型色码电感器

LG 型色码电感器的电感量一般比较小, 其电感量用数字和单位直接标在外壳上, 具体方法是: 电感器上的数字是标称电感量, 其单位是 μ H 和 mH; A、B、C、D、E 分别表示最大直流工作电流分组代号, 表示各组电流分别为 50mA、150mA、300mA、700mA、1600mA; I、II、III 分别表示标称电感的偏差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$, 如图 1-102 所示。

表 1-19 列出了 LG 型色码电感器的品种及参数。如 LGX, 即小型高频电感线圈, L 表示线

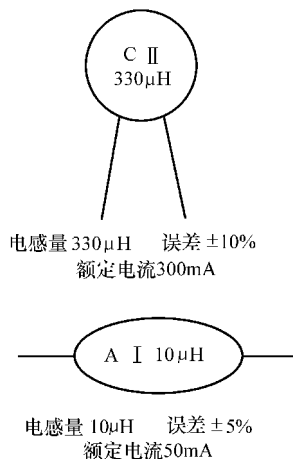


图 1-101 色码电感器

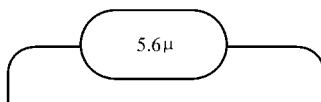


图 1-102 LG 型色码电感器

圈，G 表示高频，X 表示小型。

表 1-19 LG 型色码电感器的品种及参数

型号	电流分组	电感量范围/ μH	使用频率/MHz
LC	A	0.1 ~ 82	≤ 60
	B	0.1 ~ 82	
	C	0.1 ~ 82	
	E	0.1 ~ 27	
LG1、LCX	A	100 ~ 3000	≥ 20
	B	100 ~ 820	
	C	100 ~ 1000	
	E	33 ~ 82	
LG402	A	10 ~ 820	≥ 40
	B	10 ~ 820	
LG400、LG404	D	10 ~ 820	≥ 2
	A	2.7 ~ 100	

2. L 型色码电感器

用色点做标记，与电阻器的色环标记法相似，但顺序相反。电性能参数：额定电流为 35mA；电感量偏差 $\pm 10\%$ ；温度特性是在环境温度 $-10 \sim 70^\circ\text{C}$ 范围内，电感温度系数在 $1000 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 以下，如图 1-103 所示。表 1-20 列出了 L 型色码电感器的品种及参数。

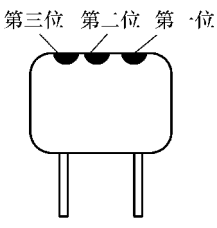


图 1-103 L 型色码电感器

表 1-20 L 型色码电感器的品种及参数

标称电感量/ μH	Q	允许偏差	电感量/ μH	自身谐振频率/MHz
22, 5.6, 12, 15, 27, 47, 68, 91, 100, 110, 120, 130, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 430, 470, 510, 560, 620, 680, 750, 820, 1000	> 30	$\pm 10\%$	2.2 ~ 100	> 7
			110 ~ 330	> 5
			360 ~ 560	> 4.5
			> 590	> 3.5

3. PL 型色码电感器

用色点做标记，与电阻器的色环标记法相似，电性能参数：额定电流为 100mA；电感量偏差为 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ ；温度特性是在环境温度 $-10 \sim 80^\circ\text{C}$ 范围内，如图 1-104 所示。

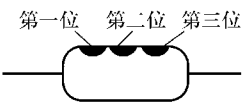


图 1-104 PL 型色码电感器

4. SP 型色码电感器

电感量的标记方法用三位数表示，与电阻器的标记法相似。第一、第二位为有效数字，第三位表示在第一位、第二位数后加 0 的个数，小数点用 R 表示，最后一位字母表示偏差范围。电性能参数：偏差范围 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ；额定电流最大值在 50mA，平均电流在 30mA 下；温度特性是在环境温度 $-10 \sim 80^\circ\text{C}$ 范围内，如图 1-105 所示。

1.5.3 中周变压器

目前使用的中周变压器实际上是由绕在磁心上的两个彼此不相连的线圈组成的。这种中周变压器可以通过旋动磁心来调节线圈的电感量，故又叫调感式中周变压器。

收音机中频变压器俗称中周，它们的实物和内部结构如图 1-106 所示。中周变压器外部是金属屏蔽罩，下面有引脚，上面有调节孔。磁帽和磁心都是用铁氧化体制成的。线圈绕在磁心上，磁帽做成螺纹，可以在尼龙支架上旋上旋下。调节磁帽和磁心之间的间隙大小，就可以改变线圈的电感量。收音机中频变压器对接收机的灵敏度、选择性和音质的好坏有很大的影响，同时，它也用于振荡、耦合及阻抗变换。

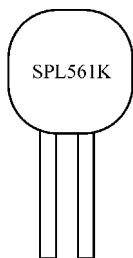


图 1-105 SP 型色码电感器

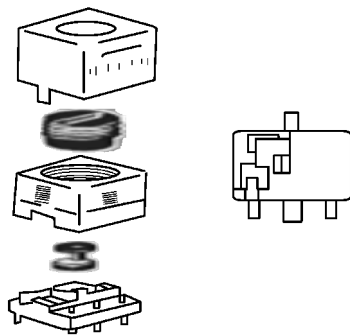


图 1-106 收音机中频变压器

变频级输出的中频电压，通过中频变压器耦合到中放级加以放大，放大后再由中频变压器耦合到检波级去检波。因为中频是一个预先选好了的固定频率，所以中频变压器的一次和二次线圈都可以预先调准在固定的中频上。调幅广播为了要得到良好的音质，一般是在中心频率 10kHz 的频率范围内播送的。因此，一般要求中频变压器的通频带最好能包括这个频率范围，而在通频带以外的信号要迅速衰减，这样收音机才能有良好的声音保真度和选择性。此外，中频变压器要有较大的增益，以保证收音机的灵敏度。

半导体收音机用的中频变压器一般为三个，内部线圈的匝数和绕法各不相同，使用时不要弄错，更不要与振荡线圈混淆，因为振荡线圈与中频变压器外形是相同的，所以最好的方法是以颜色来区分：黑色磁心→振荡线圈、红色磁心→第一中放、白色磁心→第二中放、绿色磁心→第一中放。

1.5.4 电源变压器

电源变压器作用是把市电 220V 交流电转换成适合需要的高低不同的交流电压，供有关仪器设备使用。

电源变压器的种类很多，在电路中用文字符号 T 表示，其图形符号如图 1-107 所示。

电源变压器主要由铁心、线圈（绕组）、线圈骨架、静电屏蔽层以及固定支架等构成。

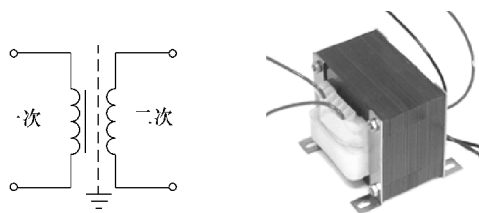


图 1-107 电源变压器图形符号

电源变压器的线圈又称为绕组,通常由一个一次绕组和几个二次绕组组成。工作时,一次绕组与电源相接,二次绕组与负载相接。绕组一般绕在绝缘骨架上,在一、二次绕组间加有静电屏蔽层。

电源变压器主要参数:

1) 额定功率:指变压器所能提供的所有二次最大输出功率之和,单位为 W (通常用 VA 表示)。电源变压器的铁心面积 S 越大,其额定功率越大。应选用额定功率大于电路要求的变压器,并留有 20% 以上的余量。

2) 二次电压:指变压器二次侧所提供的一个或者几个交流电压数值。

3) 二次电流:指变压器各个二次侧分别所能提供的最大电流。如果电源变压器有几个二次侧,其各个二次侧所能提供的最大电流不一定相同。在额定功率范围内,二次电流主要与二次绕组所用漆包线线径有关,线径越粗,二次电流越大。使用中应使变压器二次电流大于电路要求。

1.5.5 电感器、变压器的检测

1. 普通电感器的检测

在电感器安装和维修时,需对电感器的的好坏及电感量进行检测,以减少因使用不良的电感器而使电子产品出现故障的机会。

(1) 电感线圈的测量、质量判别的方法与技巧

电感线圈常见不良的现象有:引脚断开、线圈内部短路、变形引起电感量的变化等。

1) 目测法。目测法是从外观上检查,一看电感线圈引脚有无断线、开路、生锈,二看线圈有无松动、发霉、烧焦等现象,带有磁心的电感线圈还要看它的磁心有无松动和破损。如有上述现象,它的电感量和质量就存在问题,需用万用表进一步检测。

2) 用万用表检测电感线圈好坏的方法是:万用表选用“ $R \times 1\Omega$ ”挡,两支表笔接线圈的两个引出脚,测得电阻值由电感线圈的匝数和线径决定。匝数多、线径细的线圈电阻值就大一些,反之相反。对于有抽头的线圈,各引出脚之间都有一定的阻值。若测得的阻值为无穷大,则说明线圈已经开路;若测得的阻值等于零,则说明线圈已经短路。另外,测量时要注意线圈局部短路、断路的问题,线圈局部短路时阻值比正常值小一些;线圈局部断路比正常值大一些。

用万用表电阻挡可大致判断电感线圈的好坏,由于一般线圈电阻很小,用万用表往往不易发现线圈的短路,尤其是局部短路,较好的检查方法是用电感表等仪器进行测试,测量其电感值和 Q 值是否与标称值一致。发现线圈短路后,可以重绕或将短路处填以绝缘材料。线圈发生线匝松动时,可根据松动的情况,决定是否重绕。如果线匝松动较轻,可用绝缘胶水加固。如果线匝松动较严重,并有乱线,则应部分重绕或全部重绕。测量时,线圈应与外电路断开,以免外电路对线圈的并联作用造成错误的判断。高频线圈的故障以短路居多,局部短路较少。

对于多个绕组的线圈,还要注意用万用表测量绕组的线圈,看其是否短路。

发现线圈断线或多股线断股时,首先应检查线圈出头的焊点或受经常拗扭的地方。在修理时,可部分或全部重绕。线圈断线也时常发生在接头端,如果因脱焊或受力断线,修理时一般不必重绕,将接头焊上即可。但小型固定电感器一旦断线,则必须更换新的线。

要测量电感器的电感量等参数,可以使用电感测试仪、交流电桥、Q表。使用万用表只能判断线圈的直流电阻是否正常或者线圈是否开路与短路等情况。一般情况下对电感器的测试不需要去测量其电感量等参数,只要简单地判断一下是否还能工作。

3) 中心抽头的判定:先假定一根为中心抽头,如果测得它与另外两根引线的直流电阻值差别不大,那么假定是对的,否则重新假定和测量。

(2) 电感器的测量、质量判别的方法与技巧

1) 电感器开路或短路的判断:用万用表的“ $R \times 1\Omega$ ”挡测量电感器两端的正、反向电阻。正常时应有一定的电阻值。电阻值与电感器绕组的匝数成正比。绕组的匝数越多,电阻值越大;匝数越少,电阻值越小。若手中有同型号的正常电感器,与正常电感器对比测量,就能判断出其阻值是否正常,是否有局部短路。

2) 电感器的好坏判断:使用万用表的电阻挡测量电感器的通断及电阻值大小,通常便可以对好坏作出鉴别判断。

将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡,红、黑表笔各接电感器的任一引出端,此时指针应向右摆动。根据测出的电阻值大小,可具体分下述三种情况进行鉴别。

① 被测电感器电阻值为零,说明电感器内部线圈有短路性故障。注意测试操作时,一定要先认真将万用表调零,并仔细观察指针向右摆动的位置是否确实到达零位,以免造成误判。当怀疑色码电感器内部有短路性故障时,最好用“ $R \times 1\Omega$ ”挡反复多测几次,这样,才能作出正确的鉴别。

② 被测电感器有电阻值。色码电感器直流电阻值的大小与绕制电感器线圈所用的漆包线线径、绕制圈数有直接关系,线径越细,圈数越多,电阻值越大。一般情况下用万用表“ $R \times 1\Omega$ ”挡测量,只要能测出电阻值,就可认为被测电感器是正常的。

③ 被测电感器电阻值为无穷大,这种现象比较容易区分,说明电感器内部的线圈或引出端与线圈接点处发生了断路故障。

3) 电感器好坏的简易测试:在家用电器的维修中,如果怀疑某个电感器有问题,通常是用简单的测试方法,来判断它的好坏,如图1-108所示。

图1-108a所示为通断测试,可通过数字万用表来进行。首先将数字万用表的量程开关拨至“通断蜂鸣”符号处用红、黑表笔接触电感器两端,如果阻值较小,表内蜂鸣器则会鸣叫,表明该电感器可以正常使用。

图1-108b所示为用普通万用表来测试电感器的方法。可先利用万用表电阻挡测量线圈的直流电阻,再与原先确定的阻值或标称阻值相比较,如果所测阻值比原先确定的阻值或标称阻值增大许多,甚至指针不动(阻值趋向无穷大),可判断线圈断线;若所测阻值极小,则判定是严重短路,可以判定此线圈是坏的,不能用。如果检测电阻与原先确定的或标称阻值相差不大,可判定此线圈是好的。

当怀疑电感器在印制电路板上开路或短路时,可采用万用表的“ $R \times 1\Omega$ ”挡,在停电的状态下,测试电感器 L_x 两端的阻值。一般高频电感器的直流内阻在零点几到几欧姆之间;低频电感器的内阻在几百欧姆至几千欧姆之间;中频电感器的内阻在几欧姆到几十欧姆之间。测试时要注意,有的电感器圈数少或线径粗,直流电阻很小,即使用“ $R \times 1\Omega$ ”挡进行测试,阻值也可能为零,这属于正常现象(可用数字万用表测量),如果阻值很大或为无穷大时,表明该电感器已经开路。

4) 带调节心电感线圈的检查: 带调节心的电感线圈, 在成品出厂时, 其电感量均已调好并在调节心上封蜡或点油漆加以固定, 一般情况不允许随意调整。

5) 电感器的电感量的检测方法: 电感器的电感量通常是用电感电容表或具有电感测量功能的专用万用表来测量, 普通万用表无法测出电感器的电感量。

2. 色码电感器的检测

色码电感器的电感量一般比较小, 使用万用表的电阻挡测量色码电感器的通断及电阻值大小, 可以对其好坏做出判断。万用表先调零, 将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡, 红、黑表笔各接色码电感器的引出端, 此时指针应向右摆动, 根据测出的电阻值的大小, 可以对色码电感器的的好坏作出判断。

(1) 被测色码电感器电阻值为零

使用万用表测量电感器, 如果测得的结果为电阻值 0Ω , 说明电感器内部线圈有短路性故障。

(2) 被测色码电感器电阻值为一定值 (且不为 0)

色码电感器直流电阻值的大小与绕制电感器线圈所用的漆包线直径、绕制圈数有直接关系, 漆包线的直径越小, 圈数越多, 电阻值越大。一般使用万用表“ $R \times 1\Omega$ ”挡测量, 只要被测出的电阻值为一定值 (且不为 0), 则可认为被测色码电感器是正常的。

(3) 被测色码电感器电阻值为无穷大

说明电感器内部的线圈或引脚与线圈接点处发生了断路故障。

色码电感器损坏后, 一般无法进行修复, 只能更换新的。如果找不到一样的色码电感器, 可以采用串联或并联色码电感器的方法解决。

3. 中周变压器的检测

(1) 将万用表拨至“ $R \times 1\Omega$ ”挡, 按照中周变压器的各绕组引脚排列规律, 逐一检查各绕组的通断情况, 进而判断其是否正常。

(2) 检测绝缘性能

将万用表置于“ $R \times 10k\Omega$ ”挡, 做如下几种状态测试:

- 1) 一次绕组与二次绕组之间的电阻值。
- 2) 一次绕组与外壳之间的电阻值。
- 3) 二次绕组与外壳之间的电阻值。

上述测试结果会出现三种情况:

阻值为无穷大: 正常。

阻值为零: 有短路性故障。

阻值小于无穷大, 但大于零: 有漏电性故障。

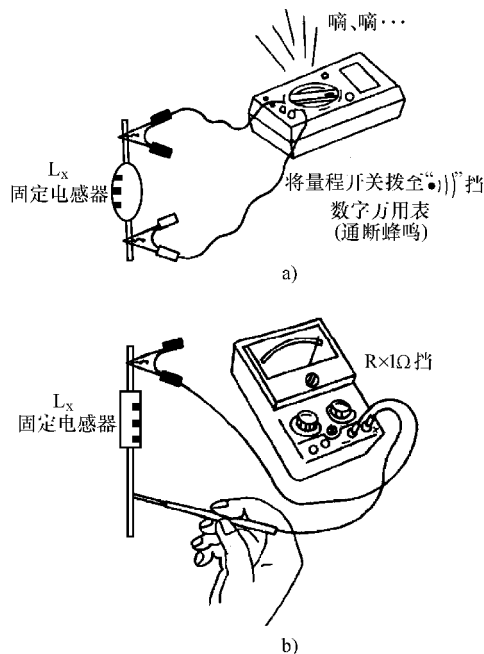


图 1-108 万用表测试电感器

4. 电源变压器的检测

(1) 外观检查

通过观察变压器的外貌来检查其是否有明显异常现象。如线圈引线是否断裂、脱焊,绝缘材料是否有烧焦痕迹,铁心紧固螺杆是否有松动,硅钢片有无锈蚀,绕组线圈是否外露等。

(2) 绝缘性能测试

用万用表“ $R \times 10k\Omega$ ”挡分别测量铁心与一次、一次与各二次、铁心与各二次、静电屏蔽层与一次、二次各绕组间的电阻值,万用表指针均应指在无穷大位置不动。否则,说明变压器绝缘性能不良。

绝缘性能不良的电源变压器,会影响到电路的正常工作,严重的会导致电源变压器烧毁或使电路中元件损坏。通常各绕组间、各绕组与铁心间的绝缘电阻只要有一处低于 $10M\Omega$,就说明电源变压器性能不良。当测得的绝缘电阻小于几百到几千欧时,往往表明已经出现绕组间短路或铁心与绕组间短路故障,极易造成电源变压器自身或相关电路元件损坏。

(3) 线圈通断的检测

将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡,测试中,若某个绕组的电阻值为无穷大,则说明此绕组有断路故障。一般一次绕组的电阻值应为几十至几百欧,电源变压器功率越小,其电阻值越大;二次绕组电阻值一般为几欧至几十欧,电压较高的二次绕组电阻值较大。测试中,若某个绕组的电阻值为无穷大,则说明此绕组有短路故障。

(4) 判别一、二次绕组

电源变压器一次引脚和二次引脚一般都是分别从两侧引出的,并且一次绕组多标有 220V 字样,二次绕组则标出额定电压值,如 15V、24V、35V 等。再根据这些标志进行识别。

通常电源变压器的一次绕组所用漆包线的线径是比较细的,且匝数较多,而二次绕组所用线径都比较粗,且匝数较少。所以,一次绕组的直流铜阻要比二次绕组的直流铜阻大得多。

注:有些电源变压器带有升压绕组,升压绕组所用的线径比一次绕组所用线径更细,铜阻值更大,要注意正确区分。

(5) 空载电流的检测

1) 直接测量法。将二次所有绕组全部开路,把万用表置于交流电流挡 500mA,串入一次绕组。当一次绕组的插头插入 220V 交流市电时,万用表所指示的便是空载电流值。此值不应大于变压器满载电流的 10% ~ 20%。一般常见电子设备电源变压器的正常空载电流应在 100mA 左右。如果超出太多,则说明变压器有短路故障。

2) 间接测量法。在变压器的一次绕组中串联一个 $10\Omega/5W$ 的电阻器,二次仍全部空载。把万用表拨至交流电压挡。加电后,用两表笔测出电阻 R 两端的电压降 U ,然后用欧姆定律算出空载电流 $I_{\text{空}}$,即 $I_{\text{空}} = U/R$ 。

(6) 空载电压的检测

将电源变压器的一次侧接至 220V 市电,用万用表交流电压依次测出各绕组的空载电压值 (U_{21} 、 U_{22} 、 U_{23} 、 U_{24}),应符合要求值,允许偏差范围一般为:高压绕组 $\leq \pm 10\%$,低压绕组 $\leq \pm 5\%$,带中心抽头的两组对称绕组的电压差应 $\leq \pm 2\%$ 。

(7) 检测温升

一般小功率电源变压器允许温升为 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，如果所用绝缘材料质量较好，允许温升还可提高。

(8) 检测判别各绕组的同名端

在使用电源变压器时，有时为了得到所需的二次电压，可将两个或多个二次绕组串联起来使用。采用串联法使用电源变压器时，参与串联的各绕组的同名端必须正确连接，不能搞错。否则，变压器不能正常工作。

(9) 电源变压器短路性故障的综合检测判别

电源变压器发生短路性故障后的主要症状是发热严重和二次绕组输出电压失常。通常，线圈内部匝间短路点越多，短路电流越大，变压器发热就越严重。检测判断电源变压器是否有短路故障的简单方法是测量空载电流（测试方法前面已经介绍）。存在短路故障的变压器，其空载电流值将远大于满载电流的 10%。当短路严重时，变压器在空载加电后几十秒之内便会迅速发热，用手触摸铁心会有烫手的感觉，此时不用测量空载电流便可断定变压器有短路点存在。

1.6 常用电子元件的认知与检测实训

1. 实训要求

- 1) 了解常用电子元件：电阻器，电容器，电感器。
- 2) 学会用万用表检测上述元件性能指标的一般方法。
- 3) 学会从元件上的标识符号文字读取该元件的性能、参数等信息的方法。
- 4) 学会选择元件的方法。

2. 实训内容

课题一 电阻器的认知与检测

(1) 实训任务

- 1) 根据给定电阻元件的集合板，认识电阻器的分类、四类特殊电阻元件、电阻器的标称系列、阻值的标注法。
- 2) 各种电阻器电路符号的识别练习。
- 3) 色环电阻器若干识别练习。
- 4) 用万用表测试电阻器阻值技能训练练习。
- 5) 电位器外形及工作原理介绍，用万用表检测电位器技能训练。
- 6) 敏感电阻器检测训练。

(2) 实训步骤

- 1) 取不同色环、不同标志的电阻器 30 只，注明该电阻器的阻值并相互交换，反复练习识别速度。
- 2) 选用无色环、无数值标志、不同阻值的电阻器若干，用万用表测量其阻值，要求达到测量快速准确，区分正确。将识别、测量结果填入表格中。

课题二 电容器的认知与检测

(1) 实训任务

1) 根据给定电容元件的集合板,认识电容器的分类、常用电容器的性能、容量标称法、规格与标注方法。

2) 各种电容器电路符号的识别练习。

3) 电容器标志识别练习。

4) 电容器容量简易识别训练。

5) 电容器的检测技能训练。

(2) 实训步骤

1) 选用不同标值的各类电容器若干个,反复辨别该电容器的容量并注明全称。

2) 电容是电子电路中最常用的元件,其主要指标有容量、准确度、工作电压和漏电阻(又称绝缘电阻)等。前面几项一般电容器上都有标注,所以只需要使用(模拟)万用表测量大电容器的漏电阻。选用不同容量的电容器各若干个,测量其漏电阻,并将测量结果填入表格中。

以大电容器漏电电阻的测量($100 \sim 1000\mu\text{F}$)为例:用万用表电阻挡的“ $\text{R} \times 1\text{k}\Omega$ ”挡,将两只表笔分别接触电容器的两极,当表针已偏转到最大值时,迅速从“ $\text{R} \times 1\text{k}\Omega$ ”挡拨到“ $\text{R} \times 1\Omega$ ”挡,片刻后再拨回“ $\text{R} \times 1\text{k}\Omega$ ”挡,表针最后停留在某一刻度上,该读数即为漏电电阻阻值。

课题三 电感器的认知与检测

(1) 实训任务

1) 根据给定电感元件的集合板,认识电感器的分类、电感器的标称系列、电感参数值的标注法。

2) 各种电感器电路符号的识别练习。

3) 色环电感器若干识别练习。

4) 电感器电感值的简易识别训练。

5) 用万用表测试电感器的技能训练练习。

(2) 实训步骤

1) 取不同色环、不同标志的各类电感器若干个,注明该电感器的电感参数并相互交换,反复练习识别速度。

2) 选用无色环、无数值标志、不同类型的电感器若干个,用万用表测量电感器,要求达到测量快速准确,区分正确。设计一个表格并将识别、测量结果填入表格中。

第2章 电子器件基础知识及其检测

半导体器件是现代电子技术的重要组成部分，在各种电子设备（electronic equipment）中，其主要组成部分是电子电路（circuits），而电子电路中最重要核心组成部分是半导体器件（semiconductor device）。半导体器件是以半导体材料为基体构成的，半导体器件的种类很多，按电极数目及器件特点可分为半导体二极管（diode，简称二极管）、半导体晶体管（transistor，简称晶体管）、场效应晶体管（FET）和集成电路（IC）。半导体晶体管在电子电路中的主要应用有：整流、稳压、放大、隔离、开关等。由于它具有结构简单、体积小、重量轻、使用寿命长、使用方便、输入功率小和功率转换效率高等优点，因而得到广泛的应用，如图2-1所示。

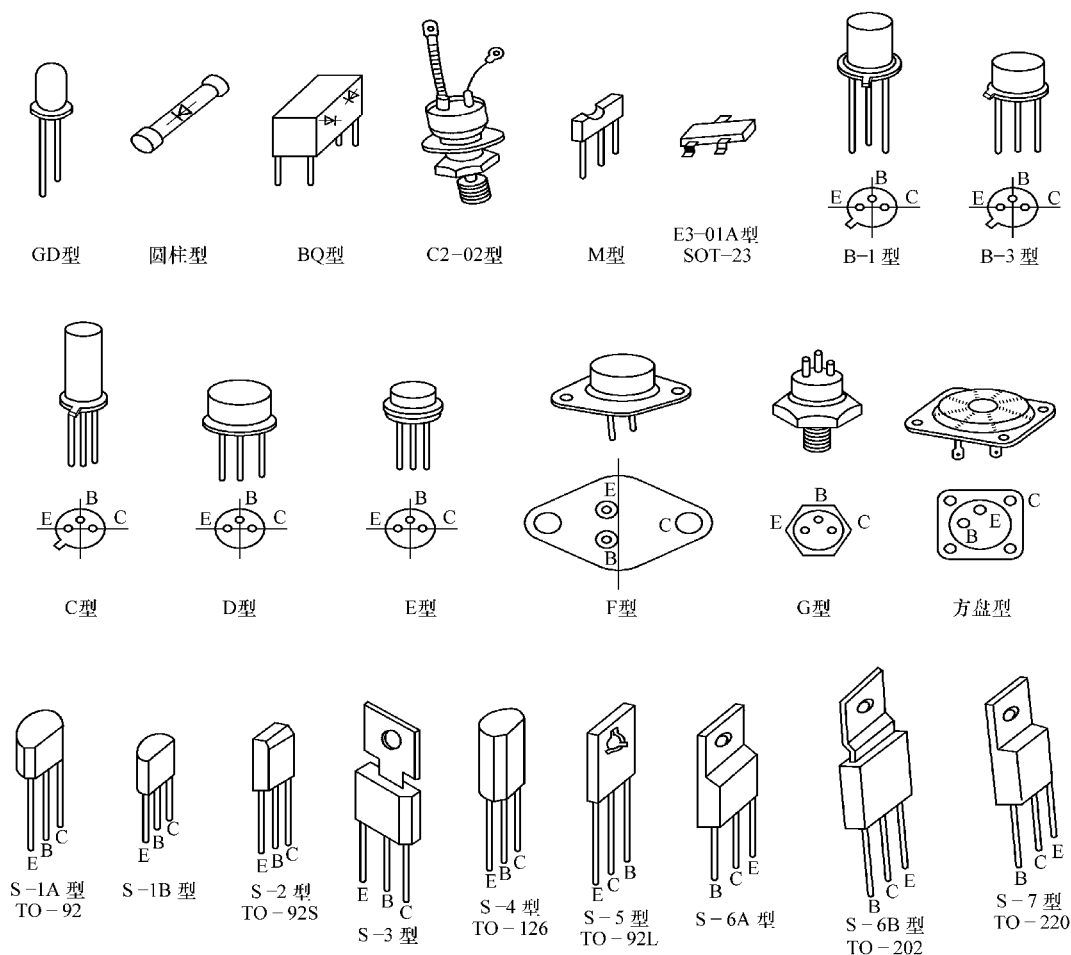


图2-1 半导体器件

1. 国产半导体器件的型号命名方法

半导体器件型号由 5 部分组成，第一部分用数字表示器件的电极数目，第二部分用字母表示器件的材料和类型，第三部分用字母表示器件的用途，第四部分用数字表示器件的序号，第五部分用汉语拼音字母表示规格号，如表 2-1 所示。

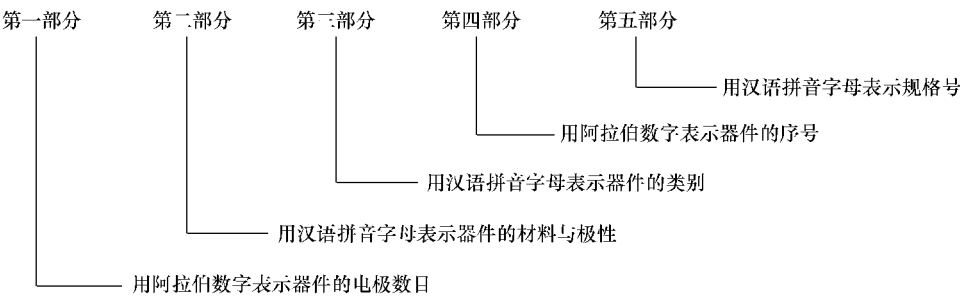


表 2-1 半导体器件型号的符号及意义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用字母表示器件的材料和特性		用字母表示器件的用途		用数字表示序号	用字母表示规格
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义	意义
2	二极管	A	N 型，锗材料	P	小信号管	反映极限参数、直流参数和交流参数的差别	反映承受反向击穿电压的程度。如规格号为 A、B、C、D…其中 A 承受的反向击穿电压最低，B 次之…
3	晶体管	B	P 型，锗材料	V	混频检波器		
		C	N 型，硅材料	W	稳压管		
		D	P 型，硅材料	C	变容器		
		A	PNP 型，锗	Z	整流管		
		B	NPN 型，锗	S	隧道管		
		C	PNP 型，硅	GS	光电子显示器		
		D	NPN 型，硅	K	开关管		
		E	化合物材料	X	低频小功率管		
				G	高频小功率管		
				D	低频大功率管		
				A	高频大功率管		
				T	半导体闸流管		
				Y	体效应器件		
				B	雪崩管		
				J	阶跃恢复管		
				CS	场效应器件		
				BT	半导体特殊器件		
				FH	复合管		
				PIN	PIN 管		
				GJ	激光管		

例如：2CW15 是一个稳压二极管；3DD15D 是一个低频大功率晶体管。

2. 1N 系列型号命名方法

表 2-2 1N 系列型号命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
用符号表示用途的类型		用数字表示 PN 结的数目		美国电子工业协会 (EIA) 注册标志		美国电子工业协会 (EIA) 登记顺序号		用字母表示器件分档	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
JAN 或 J	军用品	1	二极管	N	该器件已在美国电子工业协会登记注册	多位数字	该器件已在美国电子工业协会登记顺序号	A	同一型号的不同档别
		2	晶体管					B	
无	非军用品	3	三个 PN 结器件					C	
		<i>n</i>	<i>n</i> 个 PN 结器件					D	

2.1 选用及检测二极管

二极管作为一种非线性器件，具有单向导电能力，因此常用于各种电子电路的场合。二极管基本应用电路有：开关与整流电路、稳压电路、光电转换与电光转换电路、电调谐电路等。其中，开关与整流电路所用的二极管为普通二极管，即开关管和整流管；而其他电路所使用的二极管则为相应的特殊二极管。

2.1.1 小功率二极管器件

小功率二极管器件是普通常用二极管器件，通常可以称为半导体二极管。由于是用半导体材料制成的，故叫半导体二极管，因其化学结构为晶体状，所以又叫晶体二极管，其核心是一个 PN 结，基本特性是单向导电性。常用二极管的外形和封装形式如图 2-2 所示。

半导体二极管被广泛应用于各种电工电子设备中。半导体二极管内部有一个 PN 结，由相应的正负电极引线，用玻璃、塑料或金属管壳封装制成。

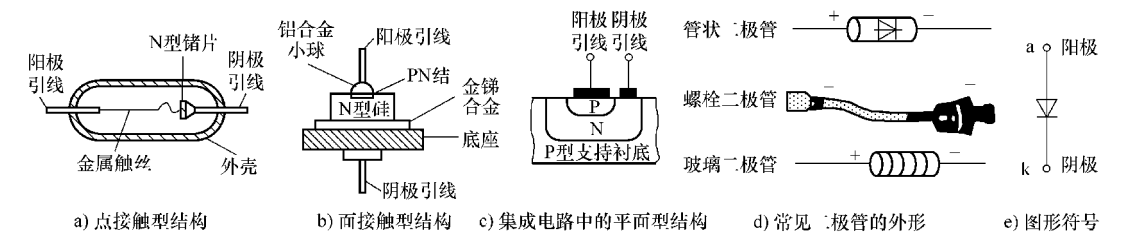


图 2-2 半导体二极管的结构、外形与符号

1. 半导体二极管的分类

半导体的种类繁多，根据二极管所用半导体材料、结构及制造工艺的不同，半导体二极

管有不同的用途。

按采用材料的不同可分为锗二极管、硅二极管和砷化镓二极管等；按结构的不同又可分为点接触和面接触二极管；按工作原理分有隧道二极管、变容二极管、雪崩二极管、双基极二极管等；按用途分有检波二极管、整流二极管和开关二极管等；片状二极管主要有整流二极管、快速恢复二极管、肖特基二极管、开关二极管、稳压二极管、瞬态抑制二极管、发光二极管、变容二极管、天线开关二极管等。它们在电子产品及通信设备中得到广泛应用。

2. 半导体二极管器件的型号命名方法

(1) 国家标准规定

国产二极管的型号命名分为5个部分，各部分的含义如表2-3所示。第一部分用数字“2”表示主称为二极管；第二部分用字母表示二极管的材料与极性；第三部分用字母表示二极管的类别；第四部分用数字表示序号；第五部分用字母表示二极管的规格号。

例：二极管2CZ11A的型号意义如下所示。

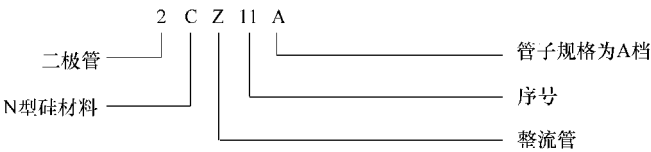


表 2-3 国产半导体二极管型号命名参数

第一部分 主称		第二部分 极性 & 材料		第三部分类别		第四部分序号	第五部分规格号
数字	含义	字母	含义	字母	含义	用数字表示 同一类别产品 序号	用字母表示产 品规格、档次
2	二极管	A	N 型锗材料	P	小信号管（普通管）		
				W	电压调整管和电压基准管（稳压管）		
				L	整流堆		
		B	P 型锗材料	N	阻尼管		
				Z	整流管		
				U	光电管		
		C	N 型硅材料	K	开关管		
				B 或 C	变容管		
				V	混频检波管		
		D	P 型硅材料	JD	激光管		
				S	隧道管		
				CM	磁敏管		
		E	化合物材料	H	恒流管		
				Y	体效应管		
				EF	发光二极管		

(2) 国际电子联合会二极管的型号命名方法

型号命名组成部分及代表的意义如表2-4所示，第一个字母表示材料，第二个字母表示

器件的类别和主要特点，第三部分表示登记号，第四部分用字母表示对同型号者分档。

表 2-4 国际电子联合会半导体二极管器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
用英文字母表示器件的材料		用英文字母表示器件的类型及主要特征		用数字或字母加数字表示器件的登记号		用字母表示对同型号器件分档	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
A	锗材料	A	检波、开关和混频二极管	三位数字	通用半导体器件的登记序号	A B C D E ...	同一型号器件按某一参数进行分档的标志
		B	变容二极管				
B	硅材料	E	隧道二极管				
		H	磁敏二极管				
C	砷化镓	X	倍增二极管				
		Y	整流二极管				
D	铋化铜	Z	稳压二极管（齐纳）				
		P	光敏器件				
		G	复合器件及其他器件				
		M	封闭磁路中的霍尔元件				
R	复合材料	K	开放磁路中的霍尔元件				
		Q	发光元件				
		S	小功率开关管				
		U	小功率开关管				

3. 二极管的伏安特性和近似模型

(1) 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性也就是 PN 结的伏安特性。所谓伏安特性曲线就是二极管两端所加电压与流过电流的关系曲线，如图 2-3 所示。因为硅管和锗管的伏安特性曲线并不相同，所以它们的特性参数也不相同。

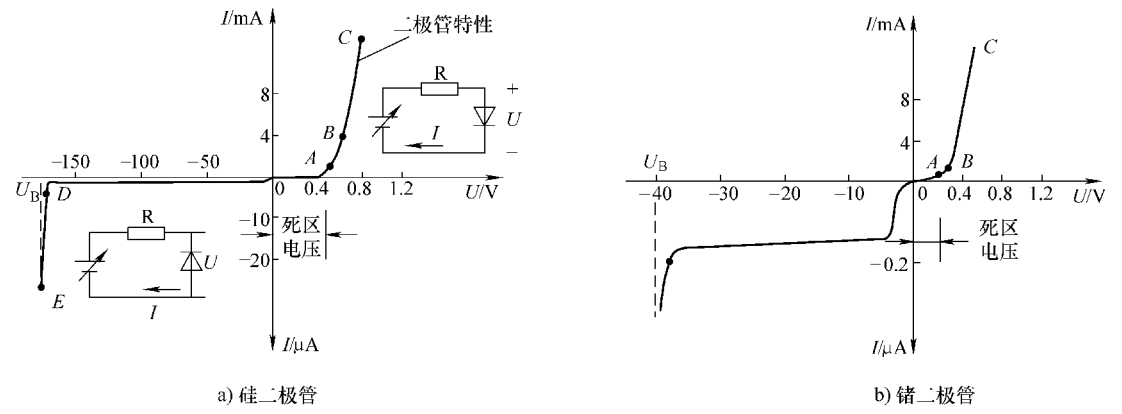


图 2-3 二极管的伏安特性

1) 正向特性：当二极管的正向电压很小时，几乎没有电流流过二极管。正向电压超过某数值后，才有正向电流流过二极管，这一电压称为死区电压（硅管约为 0.5V，锗管约为 0.1V）。

二极管的正向电压大于死区电压后,有较大电流流过二极管,称为二极管导通。正向电流随着电压的增加而迅速增大。温度升高,导通电压下降。硅管导通压降约为 $0.6 \sim 0.8\text{V}$,锗管导通压降约为 $0.2 \sim 0.3\text{V}$ 。可以近似认为理想二极管导通压降为零。

2) 反向特性:当二极管加上反向电压,并且反向电压不大时,PN结内流过的电流为少数载流子的漂移电流,只有极小的反向电流流过二极管。在同样温度下,硅二极管的反向电流比锗二极管小很多,锗二极管是微安级,而硅二极管是纳安级,反向电流随温度上升增长较快。可以认为理想二极管反向电阻为无穷大。

3) 击穿特性:所有的半导体二极管都有这样的特性:施加一个大于开起电压的正向电压的时候,其电阻很小;施加一定范围的反向电压时,其电阻很大,但当反向电压大于一定值的时候,反向电流迅速增加,二极管失去单向导电性,称为电击穿。这个反向电压叫做反向击穿电压,一般二极管正常工作时要求反向电压小于其反向击穿电压,但有些特殊的二极管,如稳压二极管就是工作在反向击穿电压区的。温度升高,击穿电压下降。

(2) 二极管伏安特性的温度影响

二极管对温度敏感,具有热敏特性。温度对二极管伏安特性的影响如图2-4所示。温度升高时,二极管的导通压降 U_F 降低,反向击穿电压 U_B 减小,反向饱和电流 I_S 增大。

(3) 二极管的近似模型

二极管是一种非线性器件,二极管电路的严格分析一般要采用非线性电路的分析方法。这里主要介绍等效电路分析法。有的等效电路模型较简单,便于近似估算。

1) 理想模型:所谓理想模型就是将二极管的单向导电特性理想化,可以将二极管视为理想模型,即忽略二极管导通电压,认为二极管的导通电压和和反向电流等于零,此时的伏安特性如图2-5a所示。在这种情况下,二极管可以等效为开关。

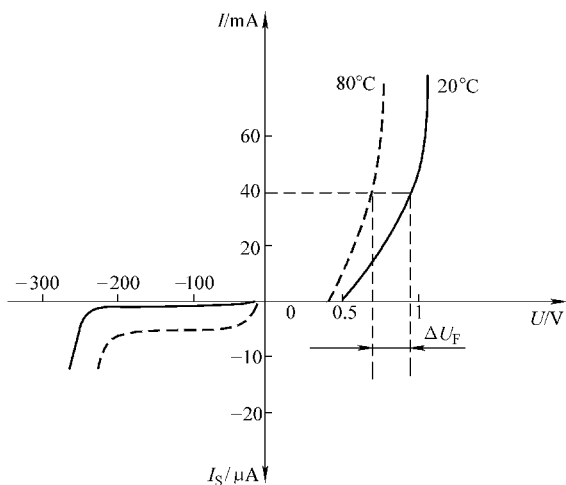


图2-4 温度对二极管伏安特性的影响

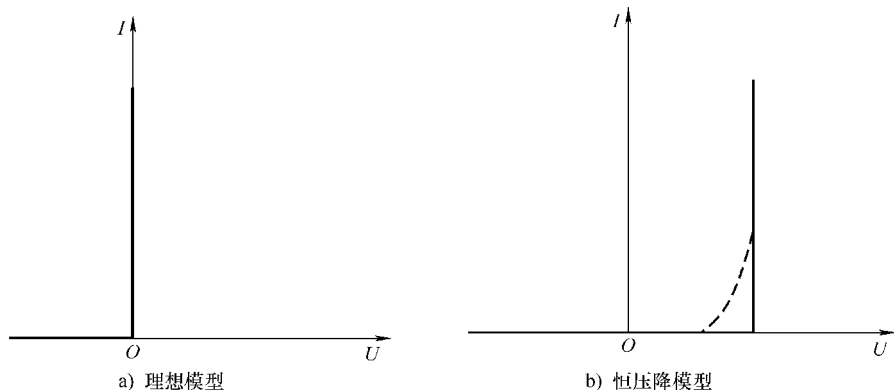


图2-5 二极管的近似模型

2) 恒压降模型: 在二极管的导通电压不能忽略时, 还可以将二极管视为恒压降模型, 如图 2-5b 所示, 即认为二极管正偏导通后的管压降是个恒定值 (对于硅管和锗管来说, 分别取 0.7V 和 0.2V), 二极管反偏时反向饱和电流和理想二极管一样视为零。二极管的电流 i_D 近似等于或大于 1mA 时才是正常的, 该模型提供了合理的近似, 因此应用也较广。

3) 交流等效模型: 二极管是一个非线性器件, 当外加电压的极性不同时, 它表现的电阻不同; 当电压的极性不变, 电压的大小不同时, 电阻也不一样。但当二极管上同时加有直流电压和一个很小的交流电压时, 二极管对这个小的交流电压所表现的电阻可认为是一个常数, 称为二极管的小信号电阻或交流电阻。交流电阻等于特性曲线上某点切线斜率的倒数, 这点由所加的直流电压或直流电流来决定, 称为二极管的工作点。

在正常情况下, 二极管的交流电阻为 $r_D = \frac{dU}{dI} = \frac{0.026}{I}$, 条件是在室温下, 正向电压远大于 26mV。

4. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管在一定温度下 (锗管约为 80℃, 硅管约为 150℃), 长期连续工作时允许通过的最大正向平均电流, I_F 的数值是由二极管允许的温升所限定的。使用时, 通过二极管的电流要小于这个电流, 不得超过此值, 否则可能使二极管过热而损坏。另外, 对于大功率二极管, 必须加装散热装置。

(2) 最大允许电流

最大允许电流电是为避免过大电流冲击, 导致二极管 PN 结烧坏而规定的额定电流值。

(3) 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压是指工作时允许加在二极管两端的反向电压的最大值, 在确保二极管安全使用时, 加在二极管两端的反向电压不得超过此值, 否则二极管可能被击穿。一般手册上给的最大反向工作电压约为反向击穿电压 U_{BR} 的一半。

(4) 正向压降 U_F

正向压降是在规定的正向电流下, 二极管的正向电压降。图 2-6 所示为测量 U_F 所用电路。

(5) 反向击穿电压 U_{BR}

反向击穿电压是指二极管反向击穿时的电压值, 如图 2-7 所示。当温度升高时, 二极管反向击穿电压值会有所下降。

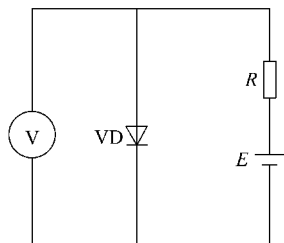


图 2-6 测量 U_F 的电路

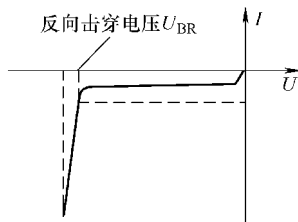


图 2-7 二极管反向特性曲线

(6) 反向电流 I_R

反向电流（又称为反向饱和电流 I_S ）是指在室温条件和规定的反向工作电压下（管子未击穿时），在二极管两端加上规定的反向电压时，流过管子的反向电流。通常希望 I_R 值越小越好，反向电流越小，说明二极管的单向导电性越好。此外，由于反向电流是由少数载流子形成的，所以 I_R 受温度的影响很大。

(7) 结电容 C

结电容是指当 PN 结加反向电压时，P 区积累负电荷，N 区积累正电荷，即构成一个已储存电荷的电容器，结电容是指该电容器的等效电容。

(8) 最高工作频率 f_M

主要取决于 PN 结结电容的大小。结电容越大，二极管允许的最高工作频率越低。

5. 普通二极管的检测

普通二极管外壳上均印有型号和标记，如图 2-8 所示。标记方法有箭头、色点（白色或红色）、色环三种，箭头所指方向或靠近色环的一端为二极管的阴极，有色点的一端为阳极，故判断二极管的阳极、阴极也可以用观察法。

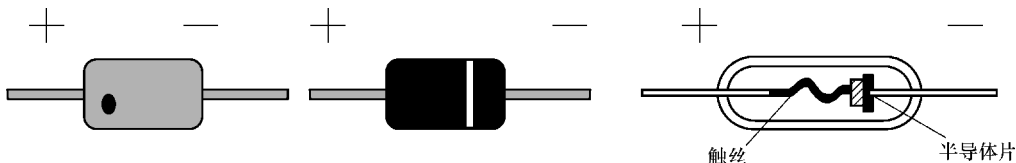


图 2-8 普通二极管的标记

若型号和标志脱落时，可用万用表的电阻挡进行判别。主要原理是根据二极管的单向导电性，其反向电阻远远大于正向电阻的特点。具体过程如下：

(1) 普通二极管的极性判别

根据二极管正向电阻小，反向电阻大的特点可判别二极管的极性，如图 2-9 所示。将万用表拨到“ $R \times 100\Omega$ ”挡或“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，一般不要用“ $R \times 1\Omega$ ”挡或“ $R \times 10k\Omega$ ”挡，因为“ $R \times 1\Omega$ ”挡使用的电流太大，容易损坏管子，而“ $R \times 10k\Omega$ ”挡使用的电压太高，可能击穿管子。表笔分别与二极管的两极相连，测出两种接法的两个阻值，所测得阻值较小的一次（硅管为几百~几千欧，锗管为 $100\Omega \sim 1k\Omega$ ），可以说明是正向导通，与黑表笔相连的一端即为二极管的正极，红表笔接的则是负极。同理所测得阻值较大的一次（几十千欧~几百千欧），为反向截止，与黑表笔相连的一端即为二极管的负极，红表笔接的是二极管的正极。

(2) 检查好坏

可通过测量正、反向电阻来判断二极管的好坏。一般小功率硅二极管正向电阻为几百千欧~几千千欧，锗管约为 $100\Omega \sim 1k\Omega$ 。二极管的正向电阻越小越好，反向电阻越大越好。如果测得的反向电阻很小，说明二极管内部已经击穿短路；若正向电阻很大，则说明管子内部断路。这两种管子都不可以使用。

(3) 判别硅、锗管

如果不知被测的二极管是硅管还是锗管，可根据硅、锗管的导通压降不同的原理来判别。将二极管接在电路中，当其导通时，用万用表测其正向压降，硅管一般为 $0.6 \sim 0.7V$ ，

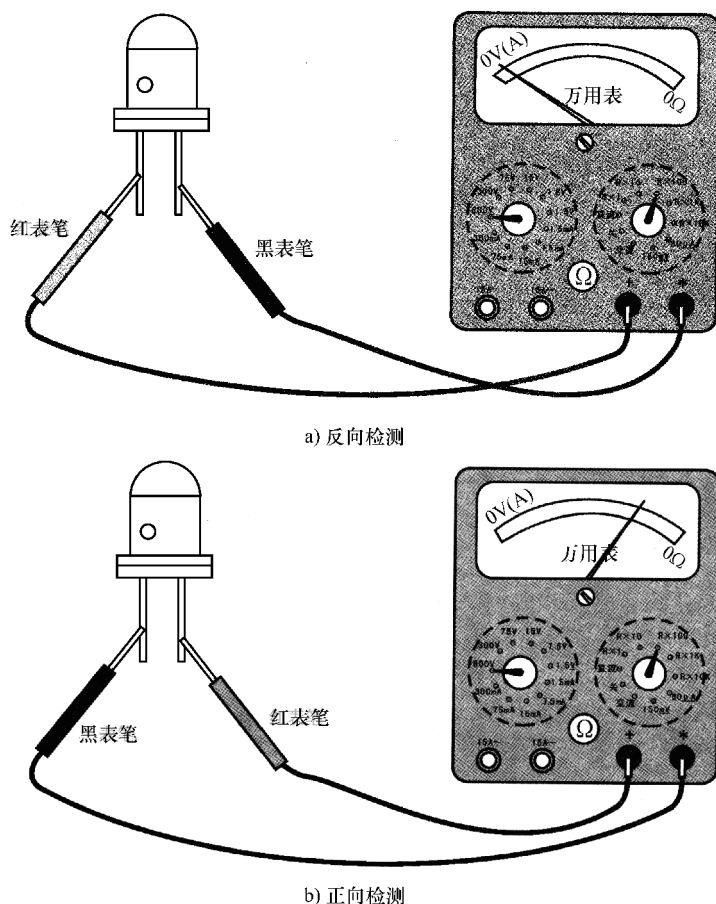


图 2-9 普通二极管的极性判别

锗管为 $0.1 \sim 0.3\text{V}$ 。

(4) 检测 f_M 和 U_{RM} 参数

可以从二极管内部的触丝来加以区分不同的频率范围，如点接触型属于高频管，面接触型多为低频管。也可以用万用表“ $R \times 1\text{k}\Omega$ ”挡进行测试，一般正向电阻小于 $1\text{k}\Omega$ 的多为高频管。高频二极管的工作频率一般都在几十兆赫甚至更高。

检测二极管反向击穿电压，可以用万用表“ $R \times 10\text{k}\Omega$ ”挡测量一下二极管的反向电阻，若万用表指针有微小摆动或不动，则被测管的反向电压能达到 150V 以上。反向电阻越小，二极管的耐压越低。

(5) 二极管的数字万用表简单测试

用数字万用表来测试普通二极管是十分方便的。它可以判断普通二极管的阳、阴极性，二极管的好坏，是硅管还是锗硅等。只要使用数字万用表的通断挡分别测试二极管的正向电阻和反向电阻就可以进行以上判断。

1) 好坏的判别：如果数字万用表的两次读数均显示“1”，则被测器件已经损坏或它根本就不是二极管。当两次读数有一次显示 $.2XX \sim .7XX$ (X 表示任意数字)，另一次显示“1”时，说明二极管是好的。

- 2) 材料的判别：如果两次读数中有一次显示为 .2XX ~ .4XX 表示是锗管，如果显示的是 .5XX ~ .7XX 表示是硅管。
- 3) 正负极性的判别：在两次测量中，有数字显示的那次测量，数字万用表红表笔所接的一端为二极管的阳极，黑表笔所接的一端为阴极。

2.1.2 整流、稳压二极管器件

常见半导体二极管的实物如图 2-10 所示。普通半导体二极管常用于检波、整流等，如 2AP9、2AP10、2CP10、2CP21 等。外表印的半导体二极管符号标志表示出了半导体二极管的正负电极。

1. 整流二极管

利用二极管的单向导电性，将交流电源整流成为直流电源的二极管叫做整流二极管，它是面结合型的功率器件，由于 PN 结的面积较大，能承受较大的正向电流和反向电压，性能比较稳定，但是其结电容较大，因此工作频率范围较窄（3kHz 以内），故工作频率低，不能用于检波。整流二极管主要用于工频大电流的整流电路，多由硅材料制成，常用的有 2CZ 型、2DZ 型等，如表 2-5 所示。还有用于高压和高频整流电路的高压整流堆，如 2CGL 型、DH26 型、2CL51 型等。整流二极管的实物外形如图 2-11 所示，有金属封装和塑料封装两种。



图 2-10 半导体二极管实物

图 2-11 整流二极管

对于柱形二极管，外表一端用色环或色点表示负极；对于螺栓形的，螺栓的一端是正极。有的已将四个二极管封装在一起，称为整流桥或全桥。

表 2-5 常用整流二极管的规格及参数

参 数	型 号		
	2CP10 ~ 2CP20	2CP31 ~ 2CP33	2CZ11 ~ 2CZ14
最大整流电流/mA	5 ~ 100	250 ~ 500	1000 ~ 10000
最高反向工作电压/V	25 ~ 600	25 ~ 500	50 ~ 1000
反向漏电流/μA	≤5	≤300	≤600 ~ 6000
最大电流下正向压降/V	≤1.5	≤1	≤0.81 ~ 1
最高工作频率/MHz	0.05	0.003	0.003
工艺材料	面结型硅管	面结型硅管	面结型硅管
主要用途	小功率整流	一般整流	大功率整流

整流二极管的检测：将万用表选择“R×1kΩ”挡，黑表笔接整流二极管的正极、红表笔接负极，正向电阻值应为几到十几千欧，交换表笔测量被测管的反向电阻，正常时应为无穷大。

2. 检波二极管
- 检波二极管是用于把叠加在高频载波上的低频信号检测出来的器件，它具有较高的检波效率和良好的频率特性，为点接触型，一般为锗管。检波二极管一般结电容小、反向电流

小、高频特性好，主要用于高频检波电路。检波二极管主要型号有 2AP 型和 1N4148（国外型号）等。检波二极管的实物外形如图 2-12 所示，常用于收音机电路中。



图 2-12 检波二极管

检波二极管除了一般的二极管参数外，还有一个特殊参数为检波效率，指的是在检波二极管输出电路的电阻负载上产生的直流输出电压与加在输入端的正弦交流信号电压峰值之比的百分数，检波效率会随工作频率的增高而下降。

检波二极管的封装多采用玻璃或陶瓷外壳，以保证其良好的高频特性，也可以用于小电流整流。

检波二极管的检测方法与整流二极管的相同，但区别是检波二极管的工作电流比整流二极管的小很多。正向测得的电阻值较小，反向电阻值无穷大。

3. 稳压二极管

稳压二极管也叫稳压管，是一种齐纳二极管。它是利用二极管反向击穿时其两端电压基本保持不变的特性制成的。稳压二极管是用特殊工艺制造的面结型硅半导体二极管，其特点是工作于反向击穿区，它利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点来达到稳压的目的，当其被反向击穿后，外加电压减小或消失，PN 结能自动恢复而不至于损坏。利用 PN 结击穿又不损坏时，其反向电流在很大范围内变化，两端电压却能保持稳定不变的特性，来实现稳压电路的稳压。稳压二极管主要用于电路的稳压环节和直流电源电路中，常用的有 2CW 型和 2DW 型，实物外形如图 2-13 所示。

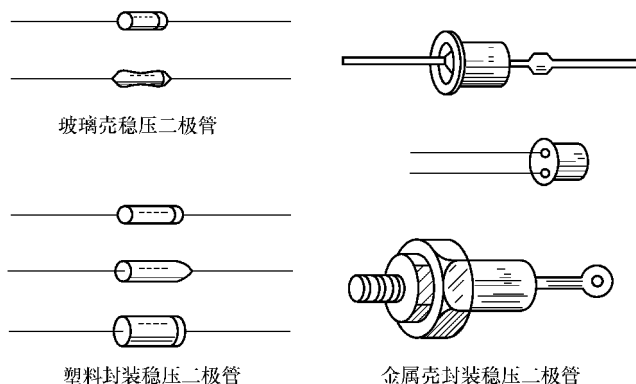


图 2-13 稳压二极管

图 2-14 所示为简单稳压二极管（又称单向击穿二极管）的稳压电路。

稳压二极管的主要参数有稳定电压、稳定电流、最大允许耗散功率、动态电阻等。

(1) 稳定电压 U_Z

稳压二极管伏安特性曲线及电路符号如图 2-15 所示。它的正向特性曲线与普通二极管

相似。稳定电压 U_Z 如图 2-15a 所示, 它是指当稳压二极管中电流为规定值时, 在电路中其两端产生的稳定电压值。在正常情况下稳压二极管工作在反向击穿区, 由于曲线很陡, 反向电流在很大范围内变化时, 端电压变化很小, 因而具有稳压作用。图 2-15 中的 U_Z 表示反向击穿电压, 当电流的增量 ΔI_Z 很大时, 只引起很小的电压变化 ΔU_Z 。只要反向电流不超过其最大额定电流, 就不会形成破坏性的热击穿。在电路中应给稳压二极管串联一个具有适当阻值的限流电阻, 不能让二极管击穿后电流无限增大, 否则将立即被烧毁。

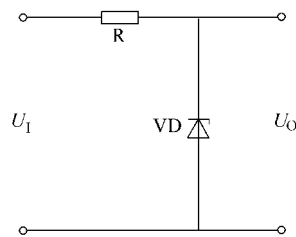


图 2-14 稳压电路

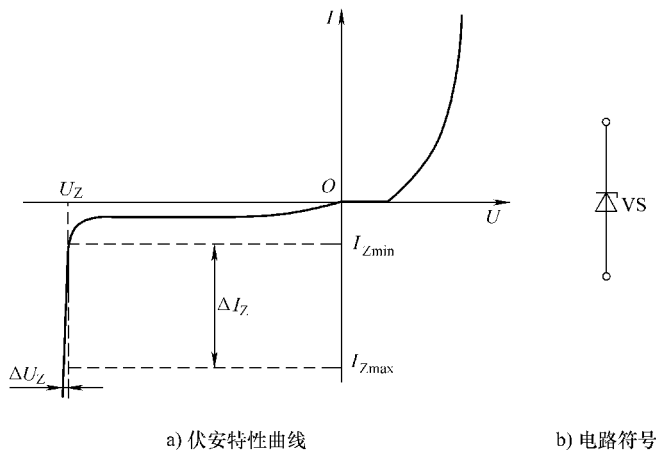


图 2-15 稳压二极管伏安特性曲线及电路符号

例：2CW72 型稳压二极管的稳定电压是 7 ~ 8.8V，稳压值会随温度变化而有微小的变化。稳压二极管的特性曲线及测试电路如图 2-16 所示。

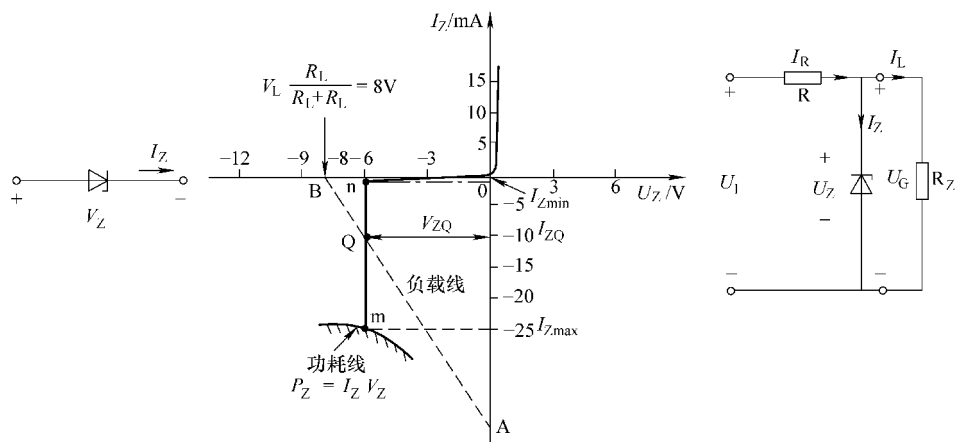


图 2-16 稳压二极管电路测试的特性曲线

(2) 最大稳定电流 I_{Zmax}

最大稳定电流指稳压二极管允许长期流过的最大工作电流。受稳压二极管最大耗散功率限

制。通常稳压二极管实际工作电流应小于最大值,否则稳压二极管会因电流过大而过热损坏。

(3) 最大允许耗散功率 P_{ZM}

最大允许耗散功率指电流增大到最大工作电流时,管中散发出的热量使管子损坏的功率,最大允许耗散功率为稳定电压值与最大稳定电流的乘积,一般一种型号的稳压二极管的 P_{ZM} 是固定的。

$$P_{ZM} = U_Z I_{Zmax}$$

(4) 最小稳定电流 I_{Zmin}

最小稳定电流 I_{Zmin} 是指稳压二极管正常工作时的最小电流值。

(5) 稳定电流 I_Z

稳定电流 I_Z 指稳压二极管工作在稳定状态时,稳压二极管中流过的电流。

(6) 动态电阻 r_Z

动态电阻 r_Z 指在反向击穿状态下,稳压二极管两端的电压变化量和相应的通过稳压二极管的电流变化量之比, $r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$, r_Z 是稳压二极管的动态电阻。动态电阻是表征稳压二极管性能好坏的重要参数之一,越小稳压特性越好,一般为几欧至几百欧。

(7) 稳压二极管的测量、判别方法与技巧

1) 极性的判别。从外形上看,金属封装稳压二极管管体的正极一端为平面形,负极一端为半圆面形。塑封稳压二极管管体上印有彩色标记的一端为负极,另一端为正极。对标志不清楚的稳压二极管,也可以用万用表判别其极性,测量方法与普通二极管相同,即用万用表将两表笔分别接稳压二极管的两个电极,测出结果后,再对调两表笔进行测量。在两次测量结果中,阻值较小那一次,黑表笔接的是稳压二极管的正极,红表笔接的是稳压二极管的负极。

2) 检查好坏。万用表置于“ $R \times 10k\Omega$ ”挡,黑表笔接稳压二极管的“-”极,红笔接“+”极,若此时的反向电阻很小(与使用“ $R \times 1k\Omega$ ”挡时的测试值相比较),因为万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡内部使用的电池电压为 1.5V,一般不会将被测稳压二极管反向击穿,使测得的电阻值比较大,说明该稳压二极管正常。因为万用表表内是 15V 或 9V 的叠层电池,“ $R \times 10k\Omega$ ”挡的内部电压都在 9V 以上,可达到被测稳压二极管的击穿电压,使其阻值大大减小。

3) 测量稳压值。要测量稳压二极管的稳压值,必须使用高阻挡,这样稳压二极管才能进入反向击穿状态,一般用“ $R \times 10k\Omega$ ”挡来测量,当万用表置于高阻挡后,测其反向电阻,若测得的电阻为 R_x ,可求得稳压值 V_z 为

$$V_z = \frac{E_0 \times R_x}{(R_x + nR_0)}$$

式中, n 是所用挡的倍率,如所用万用表最高电阻挡是“ $R \times 10k\Omega$ ”,即 $n = 10000$; R_0 是万用表的中心阻值; E_0 是所用万用表最高挡的电池电压值。

例如:用 MF50 型万用表测定一只 2CW14 型稳压二极管的稳压值, $R_0 = 10\Omega$,最高挡 $R \times 10k\Omega$ 、 $E_0 = 15V$ 、 $R_x = 75k\Omega$,通过计算得 $U_z = 6.4V$ 。

2.1.3 开关二极管器件

1. 开关二极管

由于半导体二极管具有单向导电的特性,在正偏压下,即在导通状态时其电阻值很小,

约几十至几百欧；在反偏压下二极管截止状态，其电阻值很大，硅管在 $10\text{M}\Omega$ 以上，锗管也有几十至几百千欧。利用二极管这一特性，在电路中对电流进行控制，可起到“接通”或“断开”的开关作用。

开关二极管一般开关的速度很快，反向恢复时间远大于导通时间，只有几纳秒，锗开关二极管反向恢复时间要长一些，也只有几百纳秒。开关二极管具有开关速度快、体积小、寿命长、可靠性高等优点，广泛用于自动控制电路中，多以玻璃及陶瓷外壳封装，以减少管壳电容。

在脉冲数字电路中，开关二极管常用于接通和关断电路，它的特点是反向恢复时间短，能满足高频和超高频应用的需要。开关二极管实物外形如图 2-17 所示。

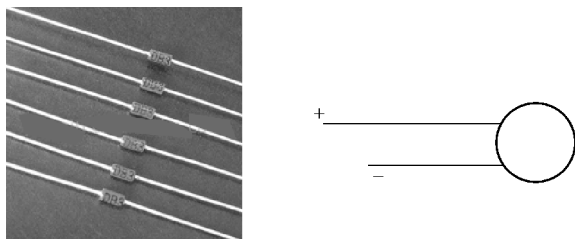


图 2-17 开关二极管

开关二极管的应用：

当开关 S 合向 A 时，二极管导通，相当于开关的接通状态；当开关 S 合向 B 时，二极管截止，相当于开关的断开状态，这就是二极管的开关特性。高速开关二极管的反向恢复时间极短，开关速度极快。利用开关特性可构成二极管开关电路。如限幅、钳位及二极管门电路等。硅高速开关二极管的典型产品有 1N4148、1N4448 等。开关二极管的应用电路如图 2-18 所示。

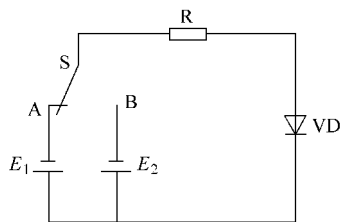


图 2-18 开关二极管的应用电路

开关二极管的检测与普通二极管方法相同，用万用表的“ $R \times 1\text{k}\Omega$ ”挡测量正反向电阻值，一般正向电阻值为 $5 \sim 10\text{k}\Omega$ ，反向电阻值为无穷大。

2. 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结加反向电压时，PN 结此时相当于一个结电容的原理制成的。二极管结电容的大小除了与本身的结构和工艺有关外，还与外加电压有关。反偏电压越大，PN 结的绝缘层越宽，其结电容越小。结电容随反向电压的增加而减小，变容二极管利用 PN 结的电容随外加偏压而变化这一特性制成的非线性电容器件被广泛地用于参量放大器、电子调谐及倍频器等微波电路中。其图形符号如图 2-19a 所示，图 2-19b 所示为某种变容二极管的特性曲线。

变容二极管一般工作于反偏状态，其势垒电容会随着外加电压的变化而变化。电压变大电容就变小。如 2CB14 型变容二极管，当反向电压在 $3 \sim 25\text{V}$ 区间变化时，其结电容在 $20 \sim 30\text{pF}$ 之间变化。它主要用在高频电路中作自动调谐、调频、调相等，如在彩色电视机的高频头中作电视频道的选择。

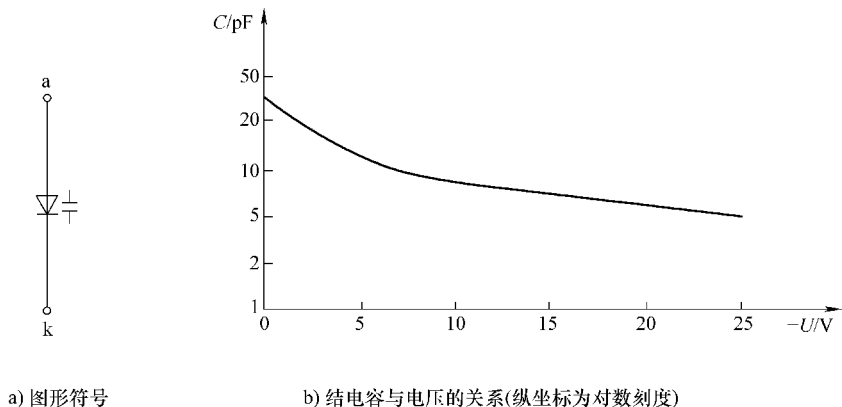


图 2-19 变容二极管的符号和特性曲线

利用 PN 结加不同反向电压时, 其结电容改变的特性, 可用于收音机、电视机电子调谐回路中作可变电容, 常见型号有 2AC、2CC、2DC 系列等。图 2-20 所示为彩色电视机的电子调谐器部分电路。

3. 阶跃恢复二极管

阶跃恢复二极管具有高度非线性的电抗, 应用于倍频器, 利用其反向恢复电流的快速突变中所包含的丰富谐波, 可获得高效率的高次倍频, 它是微波领域中优良的倍频器件。阶跃恢复二极管的实物外形和图形符号如图 2-21 所示。

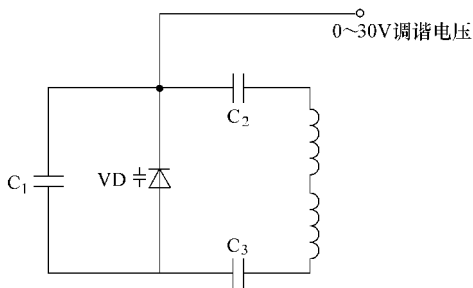


图 2-20 变容二极管调谐电路

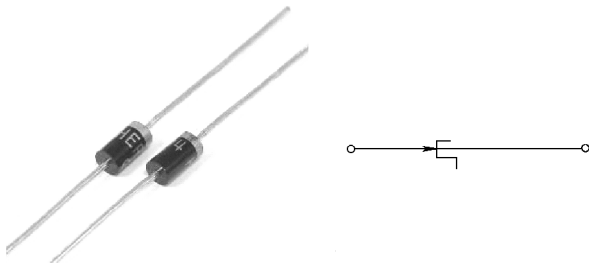


图 2-21 阶跃恢复二极管

4. 双向触发二极管

双向触发二极管是具有对称性的两端半导体器件, 常用来触发双向晶闸管, 在电路中起过电压保护使用, 如图 2-22 所示。图 2-23a 所示为双向触发二极管的构造示意图, 图 2-23b 所示为其触发双向晶闸管电路。

双向触发二极管不论是正向还是反向, 当输入电压小于转折电压时, 管子不通, 电流很小, 一旦输入电压等于转折电压, 管子导通, 电流迅速上升, 呈现负阻特性。

双向触发二极管的检测:

万用表选择 “ $R \times 1k\Omega$ ” 挡, 测量双向触发二极管的正、反向电阻值, 双向触发二极管正常时, 其正、反向电阻值都应无穷大。若交换表笔进行测量, 万用表的指针向右摆动, 说明被测管有漏电故障, 如图 2-24 所示。

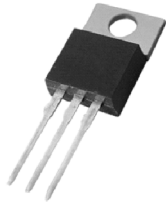


图 2-22 触发二极管

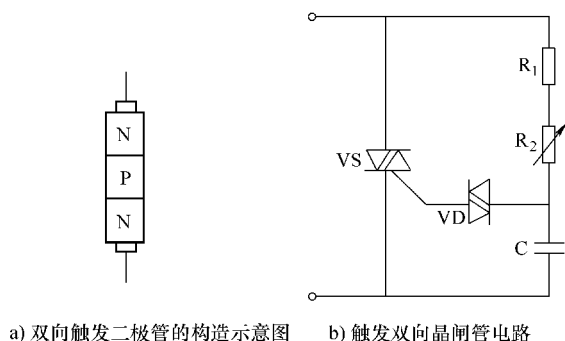


图 2-23 双向触发二极管符号和电路使用

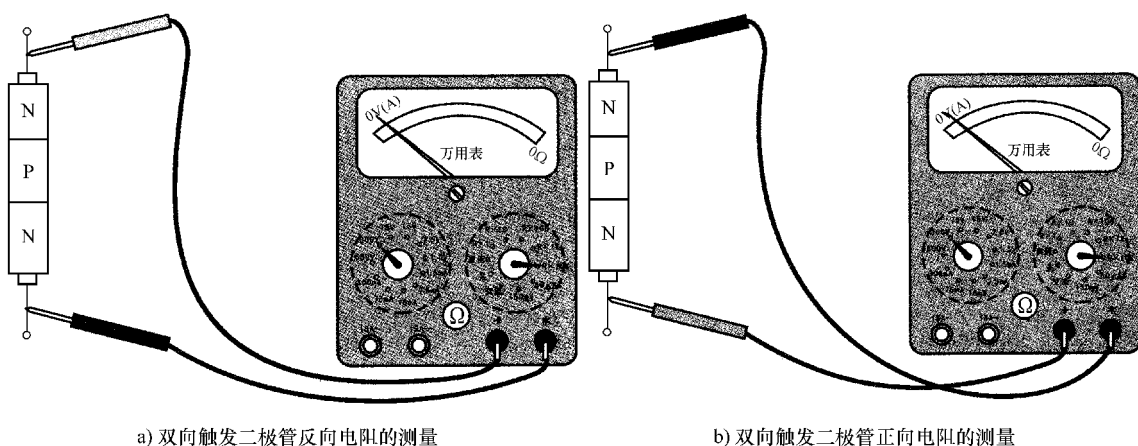


图 2-24 双向触发二极管电阻的测量

2.1.4 发光、红外二极管器件

1. 发光二极管

发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 是一种能把电能转换为光能的特殊器件。这种二极管不仅具有普通二极管的正、反向特性, 而且当给发光二极管施加正向偏压时, 发光二极管还会发出可见光和不可见光 (即电致发光)。目前应用的有红、黄、绿、蓝、紫等颜色的发光二极管。此外, 还有变色发光二极管, 即根据所加电压高低发出不同颜色, 当通过二极管的电流改变时, 发光颜色也随之改变。可用做指示灯和微光照明。发光二极管具有工作电压低、电流小、发光稳定、体积小等优点。发光二极管还包括数码管、符号管、米字管及点阵式显示屏 (简称矩阵管) 等。外形可以做成圆形、方形、圆柱形、矩阵形等多种, 可用做测试装置、遥测遥控设备等。发光二极管常用器件实物外形如图 2-25 所示。

普通发光二极管的封装外形如图 2-26 所示。

发光二极管加 2~3V 正向电压时, 只要有正向电流通过, 一般就能发出红、绿、黄和蓝色的可见光。主要应用于指示、显示器件, 数码管和符号管、米字管及点阵式显示屏中的每个发光单元也是一个发光二极管。发光二极管又有单色和三色两种, 三色发光二极管一般有三个引脚, 一个为公共端, 在另外两个上分别加电压可发出红或绿光, 如果同时加电压可



图 2-25 发光二极管常用器件实物外形

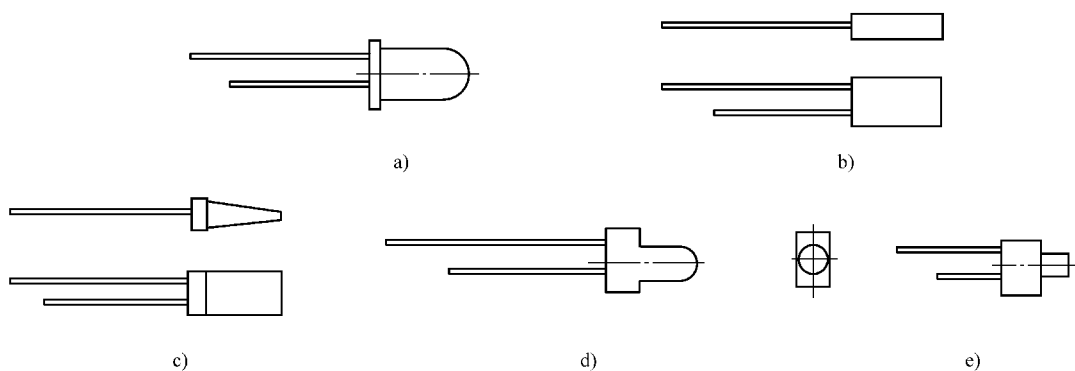


图 2-26 发光二极管的封装外形

发出黄色光，三色点阵式显示屏中的每个发光单元是一个三色发光二极管。照明也成为发光二极管的一个应用方向，LED 手电筒一般是由多只高亮发光二极管构成的。

发光二极管与普通二极管一样，由一个 PN 结构成，其伏安特性曲线及电路符号如图 2-27 所示。

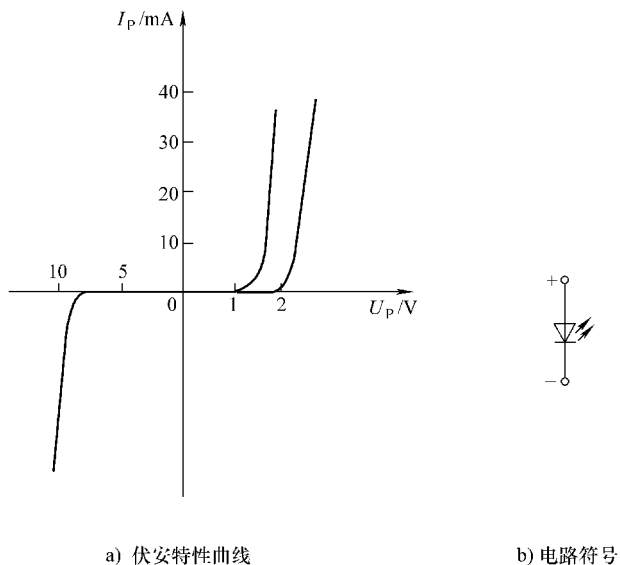


图 2-27 发光二极管的伏安特性曲线及电路符号

(1) 小电流发光二极管的主要参数

1) 电学参数。主要有工作电流、最大工作电流、正向压降和反向耐压。工作电流不宜过大,最大工作电流值为50mA。正向起辉电流约为1mA,测试电流为10~30mA。发光二极管工作电流大,发光亮度高,但长期连续使用会造成亮度衰退,使用寿命降低。选用的材料不同,工艺不同,发光二极管的正向压降值也不同,一般压降在1.5~3V范围内。发光二极管的反向耐压一般小于6V,最高不会超过十几伏,不同于一般二极管,为了防止接错电源极性或其他原因进来的反向电压造成发光二极管击穿,可以在输入端加入一个反向二极管用于保护PN结。

2) 光学参数。包括发光波长、发光亮度等。可见光发光二极管的波长在5000~7000Å之间。光通量是一个重要指标,一般用mlm表示即可,该数值越大,亮度越强。

(2) 发光二极管的测量、判别方法与技巧

发光二极管是一种能将电能转换为光能的半导体器件,是一种冷光源,它的正向管压降为2V左右,工作电流为5~15mA,反向耐压60V左右。

1) 发光二极管极性的目测判断:单色发光二极管的管体一般都用透明塑料制成,所以可以用眼睛观察来区分它的正、负电极,从二极管侧面观察两条引线形状,较小的一端为正极,较大的一端为负极。或将发光二极管放在光线较明亮的地方,看发光二极管的内部,接触二极管内部金属片较大的引脚为负极,接触二极管内部金属片较小的引脚为正极。

2) 发光二极管性能的检测,可用下面的三种方法进行:

方法一:用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测量发光二极管的正、反向电阻值,正、反向电阻值均应趋于无穷大,再改用万用表“ $R \times 10k\Omega$ ”挡测量发光二极管的正、反向电阻值,若此时正向电阻值(即万用表黑表笔接发光二极管的正极,红表笔接发光二极管的负极)约为10~20k Ω ,且如果灵敏度较高的发光二极管会同时发出微光,反向电阻值(即万用表黑表笔接发光二极管的负极,红表笔接发光二极管的正极)约为250k Ω 以上,则说明该发光二极管完好无损,否则说明该发光二极管已损坏。

测量发光二极管要用万用表的“ $R \times 10k\Omega$ ”挡,此时表内是15V或9V的叠层电池,满足管压降的要求。测量发光二极管的正、反向电阻,其值与普通二极管一样,好坏判别也一样。但是,测量时需要观察它是否发光,有的发光二极管测得正、反向电阻正常,就是不发光,是因为它的工作电流太大,万用表不能提供。此时,可用稳压电源提供6V直流电压,在稳压电源的输出端串联一个可变电阻器后,接在发光二极管的两个电极上,再观察它是否发光,如果能发光说明是好的,反之是坏的。

方法二:找一只220 μ F/25V的电解电容器,选用万用表“ $R \times 10k\Omega$ ”挡,黑表笔接电容器的正极,红表笔接电容器的负极,对电容器充电。然后再将该电容器正极接发光二极管的正极,负极接发光二极管的负极(相当于用该电容器做电源向发光二极管放电)。此时如果发光二极管发出很强的闪光,说明该发光二极管完好无损,否则说明该发光二极管已损坏。

方法三:选万用表“ $R \times 10\Omega$ ”或“ $R \times 100\Omega$ ”挡,找一节1.5V的干电池,将万用表黑表笔接电池的负极,红表笔接发光二极管的负极。再将1.5V干电池的正极与发光二极管的正极相连,即将它们三个串联起来,如图2-28所示。如果发光二极管正常发光,则说明该发光二极管完好无损,否则说明该发光二极管已损坏。

不能使用“ $R \times 1\Omega$ ”挡测量发光二极管,使用“ $R \times 1\Omega$ ”挡串联 1.5V 干电池后会使测试电流较大,很容易损坏单色发光二极管。

(3) 发光二极管的检测技巧

方法一: 发光二极管反向电阻的测量如图 2-29 所示。

发光二极管正向电阻的测量如图 2-30 所示。

方法二: 发光二极管的发光测量如图 2-31 所示。



图 2-28 发光二极管的极性检测

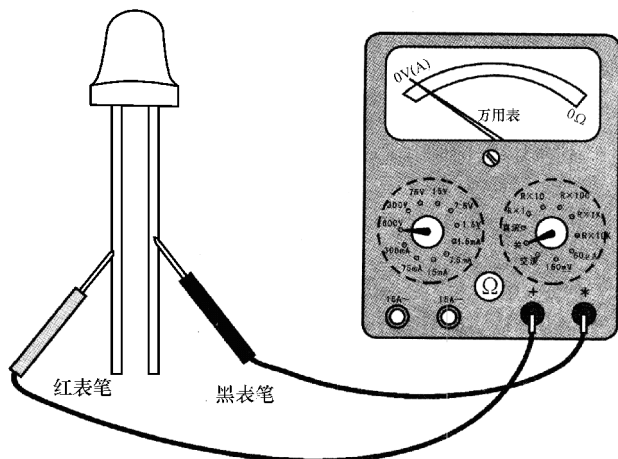


图 2-29 发光二极管的反向电阻的测量

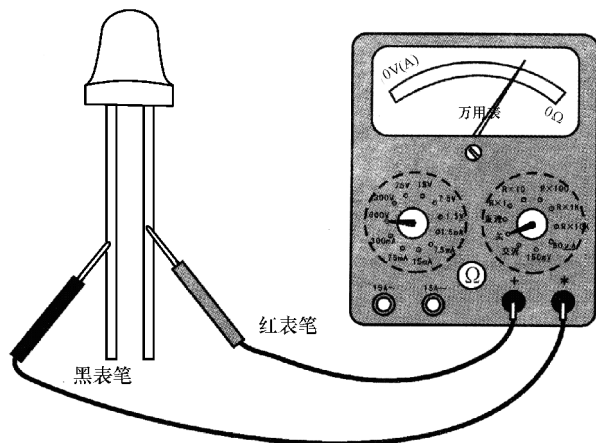


图 2-30 发光二极管正向电阻的测量

2. 光电二极管

光电二极管的结构与普通二极管的结构基本相同,在它的 PN 结处,通过管壳上的一个玻璃窗口接收外部的光照。PN 结在反向偏置状态下运行,其反向电流随光照强度的增加而上升,如图 2-32 所示。光电二极管的主要特点是其反向电流大小与光照强度成正比。

光电二极管和发光二极管一样是由一个 PN 结构成,但它的结面积较大,可接收入

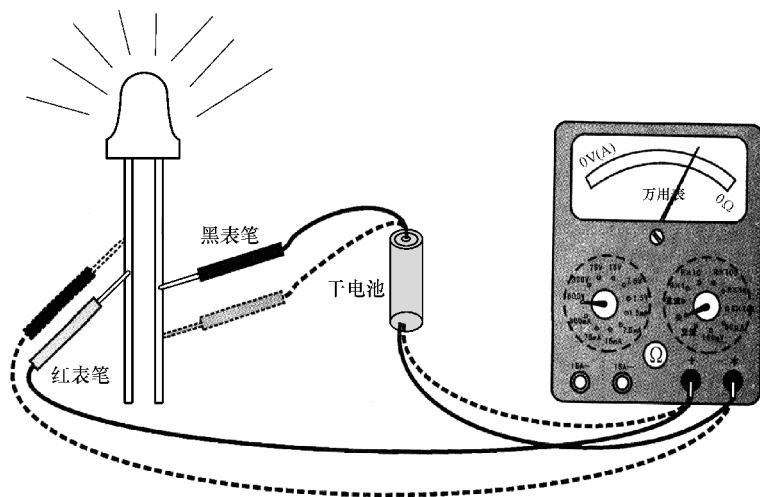


图 2-31 发光二极管的发光测量

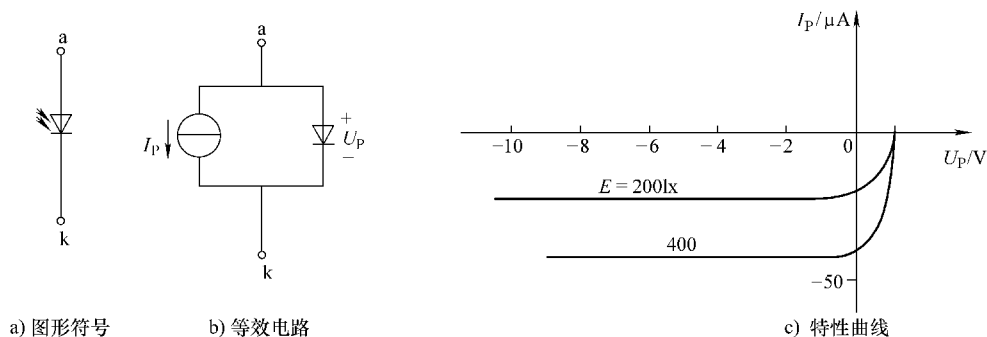


图 2-32 光电二极管的符号和特性曲线

射光。

光电二极管的主要参数有：暗电流、光电流、最高工作电压等。

其光学参数有：

- 1) 灵敏度：给定波长的入射光产生的光电流与光照强度的比值。
- 2) 频谱范围：光电二极管所能接受的光的频谱范围。
- 3) 峰值波长：光电二极管达到最大灵敏度时入射光的波长。
- 4) 响应时间：光电二极管将光信号转化为电信号所需要的时间。

光电二极管的反向电阻随光的强弱而变化，光越强其阻值越小。在实际应用中，主要是通过接收光源（可见光或红外线）实现光控。图 2-33 所示为由光电二极管构成的简单光电控制电路。

3. 红外发光二极管

红外发光二极管是一种能把电能直接转换成红外光能的发光器件，因其在电路中的作用是将红外光辐射到空间中去，所以也称为红外

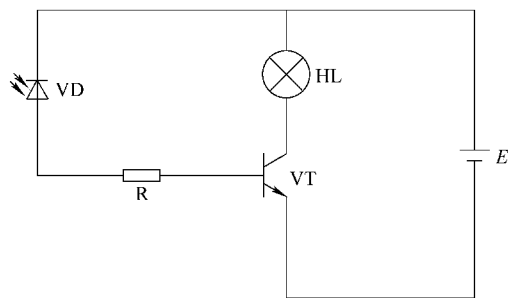


图 2-33 光电二极管的应用电路

发射二极管。红外发光二极管用砷化镓材料制成,也具有半导体 PN 结,通常使用折射率较大的环氧树脂封装,目的是为了提高发光效率。红外发光二极管发出的光波是不可见的,它所发出的峰值波长为 940nm 左右红外波段,与一般半导体硅光敏器件的峰值波长(900nm)相近,从波长角度看,选用红外发光管来触发硅光敏器件是最理想的。红外发光二极管适合短距离、小容量和模拟调制系统中使用,被广泛应用于红外线遥控系统中的发射电路。红外发光二极管的电路符号和外形与 LED 相同。

红外发光二极管在正向电压下工作,它的正向特性与普通二极管相同。一般由其伏安特性曲线可知 I_F 和 U_F 的关系, I_F 为 10mA 时, U_F 都应小于 1.3V。当光束被硅光敏器件接收到时,可使硅光敏管有电流输出,也可使光控晶闸管导通。由于红外发光二极管是在正向电流下工作的,因此发光强度随着正向电流的增加而增加。使用时,应在规定的极限正向电流内,选择一最佳正向电流,使输出光功率(即发光强度)尽可能的大。

红外发光二极管一般是用半导体材料制成的,而半导体材料的性能都会受环境温度的影响,温度升高,会使红外发光二极管的输出光功率降低。50℃ 时的输出光功率仅是 25℃ 时的 75%,当温度升至 90℃ 时,输出光功率只有 25℃ 时的 50%;反之,在低温下,可提高输出光功率。但是,由于红外发光二极管总是与光敏器件一起使用,而在温度升高时,光敏器件输出的光电流也会升高,这就会使环境温度上升。红外发光二极管的输出光功率下降。光敏器件的输出光电流上升,会使相对传输比随环境温度的变化不那么明显。

红外发光二极管可以把它和光敏器件做在一起,成为光耦合器。光耦合器件的发光和受光器件密封在一个腔体内,通过电—光—电的信号转换来传输,这在控制回路和主回路间实现了电隔离,避免了干扰,从而提高了电路的抗干扰能力。

红外发光二极管的检测方法:

(1) 外观观察

二极管使用透明树脂封装,红外发光二极管的管心下部有一个浅盘。用直观法将红外发光二极管放在光线较明亮的地方,看红外发光二极管的管心下部,引脚接触管内部电极较宽较大的为负极,接触二极管内电极较窄较小的为正极。全塑封装的 $\Phi 3$ 或 $\Phi 5$ 型红外发光二极管的侧向呈一小平面,靠近小平面的引脚为负极。或者通过引脚的长短来判别,一般引脚长的是正极,引脚短的是负极。有时通过红外发光二极管的形状也能判别出来,一般靠近管身小平面一侧的引脚是负极,而另一引脚即为正极。

(2) 极性测量

若用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测量正、反向电阻值,测量时,用手捏住红外发光二极管,不让其受光(也可用黑纸包住),用红、黑表笔分别接触管子的引脚,将正向电阻和反向电阻测出,一般正向电阻值为 15 ~ 40k Ω ,反向电阻大于 500k Ω 时,红外发光二极管是正常的。测得电阻值小的那组接法,其黑表笔所接引脚为正极,红表笔所接引脚为负极。

(3) 好坏检测

若用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测量正、反向电阻值,一般测得正向电阻值(即万用表黑表笔接二极管的正极)为 30k Ω 左右,反向电阻大于 500k Ω 的红外发光二极管才可以正常使用。若反向电阻只有几万欧,则此时红外发光二极管不能使用;若正、反向电阻值都是无穷大或都是 0,则说明被测红外发光二极管的内部已经断路或已经击穿损坏。如果反向电阻值比 500k Ω 小许多,则说明该管已漏电损坏。

4. 激光二极管

半导体激光二极管是激光头中的核心器件。它是一种近红外激光管,波长在 780nm 左右,额定功率为 3~5mW。这种激光二极管具有体积小、质量轻、功耗低、驱动电路简单、调制方便、耐机械冲击、抗振动等特点。但对过电压、过电流、静电干扰极为敏感,在使用中不加注意,容易使谐振腔局部受损,造成永久性损坏。

目前小功率激光二极管的额定工作电流均在 100mA 以下,只有在谐振腔发生损坏性故障时,才会出现电流剧增且不可控制的现象。激光二极管在工作时,从侧面观看出光窗口时呈暗红色,从侧面看透镜时可略看到辉光。

2.1.5 二极管的应用举例

1. 二极管的选用规则

1) 在实际应用中,最大整流电流一般应大于电路电流 2 倍以上,以保证二极管在应用中不被烧毁,如图 2-34 所示。

2) 反向电流参数反映二极管的单向导电性能的好坏。一般反向电流 I_R 越小越好。硅二极管的反向电流一般小于锗二极管的反向电流。

3) 除稳压二极管外,为保证二极管正常工作,其两端的反向电压应小于 U_{BR} 的 1/2。为了使用安全,在实际工作时,最大反向工作电压 U_R 一般只按反向击穿电压 U_{BR} 的一半计算。

4) 小电流硅二极管的正向压降在中等电流水平下为 0.6~0.8V;锗二极管为 0.2~0.3V。

5) 如果信号频率超过 f_M ,则二极管的单向导电性将变差,甚至不能工作。选用二极管时,必须使其工作频率低于最高工作频率。

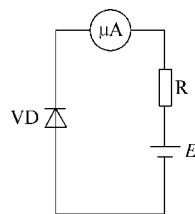


图 2-34 二极管应用

2. 二极管的替换

1) 要求导通电压低时选锗管;要求反向电流小时选硅管;要求击穿电压高时选硅管;要求工作频率高时选点接触型高频管;要求工作环境温度高时选硅管。

2) 在修理电子设备时,如果发现二极管损坏,则用同型号的管子来替换。如果找不到同型号的管子则可改用其他型号二极管来代替,替代管子的极限参数 I_F 、 U_R 和 f_M 应不低于原管,且替代管子的材料类型(硅管或锗管)一般应和原管相同。

3. 二极管基本应用电路

(1) 二极管整流电路

半导体二极管具有单向导电性。常用在整流、钳位、隔离、保护及开关等电路中。二极管整流主要分为半波整流和全波整流。

1) 半波整流电路。图 2-35 所示为一个单相半波整流电路,它由变压器、二极管 VD 及负载电阻 R_L 组成。半波整流电路的输入、输出波形如图 2-36 所示。

由图 2-36 可以看出,利用二极管的单向导电性可将极性变化的交流电变为单向脉冲的直流电。在这里,二极管 VD 起整流作用。

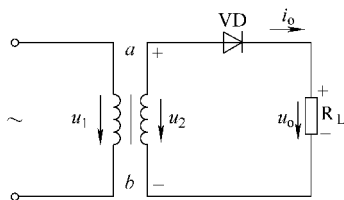


图 2-35 单相半波整流电路

2) 桥式全波整流电路。半波整流电路只有半个周期的正弦电压输出到负载,因此电路

效率较低。为了提高整流电路的效率,可将另一半周期的电压也引到负载上,即正负半周都有电流按同一个方向流过负载,这种方式称为全波整流。图 2-37 为一个桥式全波整流电路。

为了防止直流供电设备接错供电电极,可利用如图 2-38 所示电路,使设备供电变为无极性的连接方式,这样,无论电源的正负极性怎样调换,用电设备均能正常工作,达到了直流供电回路无极性连接的目的。由于这种电路串联有二极管,所以如采用硅二极管,电源电压下降 1.3V 左右;如采用锗二极管,电源电压下降 0.5V 左右。

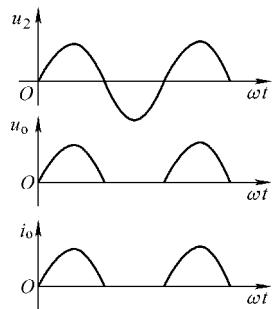


图 2-36 单相半波整流电路的波形图

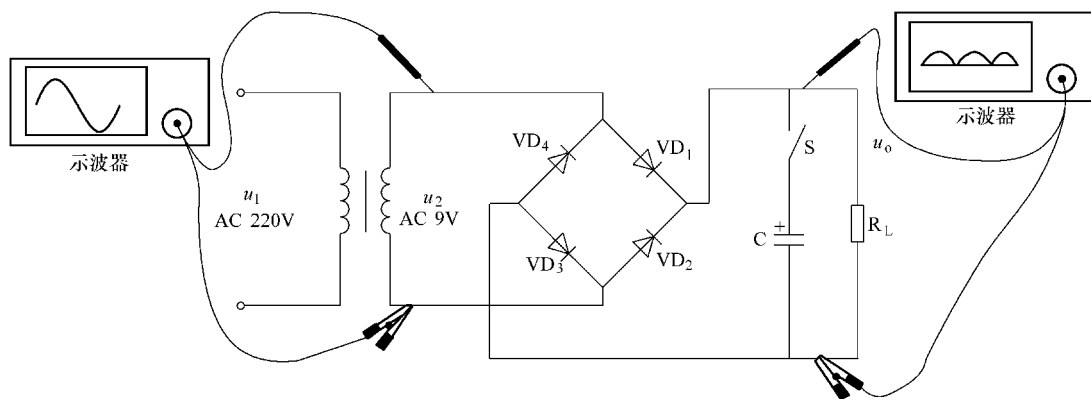


图 2-37 桥式全波整流电路

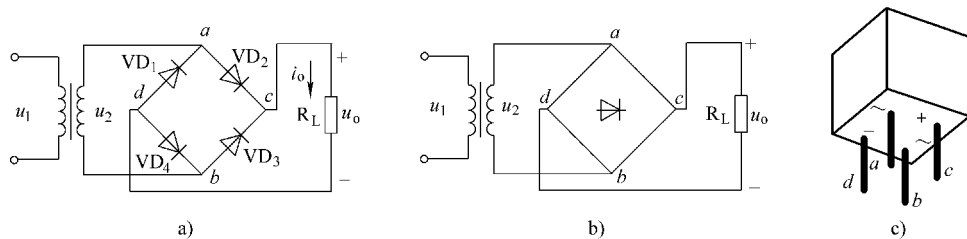


图 2-38 桥式整流电极连接

(2) 电容滤波电路

经过整流后的输出电压波形含有很大的脉冲分量,因此还要加入滤波电路。电容滤波电路是利用电容器两端电压不能突变的特点,将电容器和负载电阻并联,以达到使输出电压波形基本平滑的目的。

图 2-39a 是最简单的电容滤波电路。

(3) 二极管限幅电路

在电子电路中,为了防止一些干扰或冲击信号对电子元器件造成损坏,往往会在电路中加入一些保护电路。限幅电路是利用二极管的开关特性将输入波形中不需要的部分削去。串联型上限幅电路及波形如图 2-40 所示。把二极管当做理想二极管,在零电平以上的波形被削去。

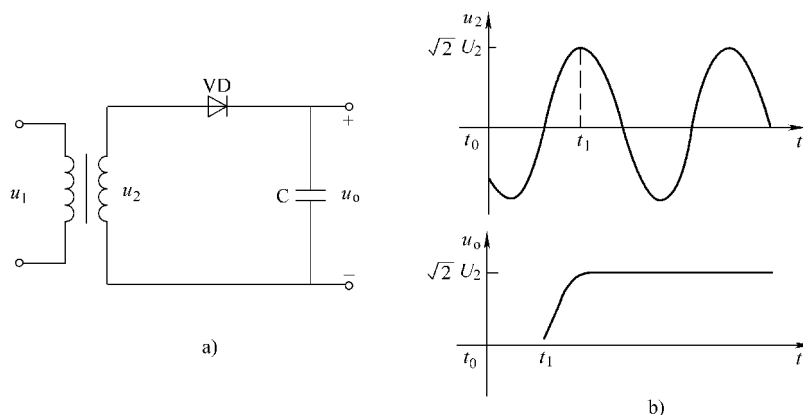


图 2-39 电容滤波电路

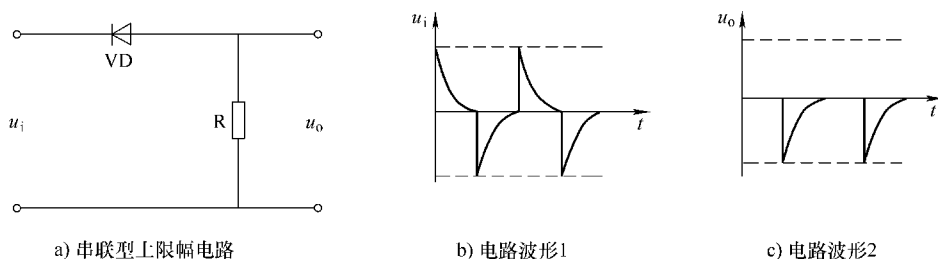


图 2-40 串联型上限幅电路

图 2-41 所示就是利用两个反向并联的二极管的限幅保护电路。

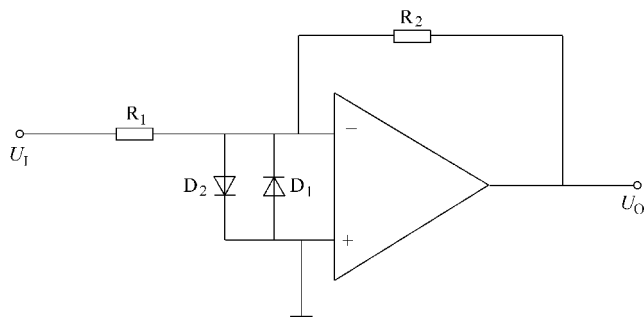


图 2-41 双向限幅应用电路

(4) 发光二极管的应用

发光二极管在正向导通时，可以发出不同颜色的可见光或者红外光。利用二极管的这种特性，可构成各种不同的指示器、矩阵显示器以及红外发射/接收器等电路，如图 2-42 所示。

(5) 稳压二极管稳压电路

当稳压二极管工作在反向击穿区时，流过稳压二极管的电流可以有较大变化，而二极管两端的电压基本上保持不变，利用稳压二极管的这种稳压特性可以构成稳压电路。一个简单的稳压二极管稳压电路如图 2-43 所示。

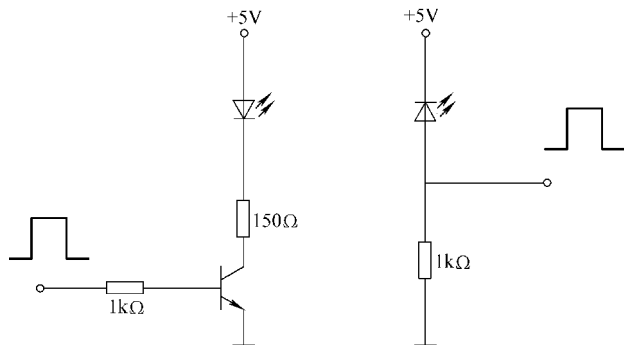


图 2-42 发光二极管的应用电路

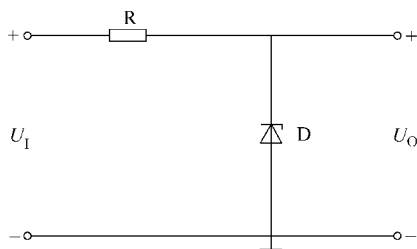


图 2-43 稳压二极管的稳压电路

2.2 选用及检测晶体管

晶体管又叫半导体晶体管、三极管或晶体三极管，具有放大、电子开关、控制等作用，在电子电路中应用极其广泛，具有结构牢固、体积小、寿命长、耗电省等优点。它是各种电子设备及电力电子设备中不可缺少的一种电子器件。

半导体晶体管由两个 PN 结组成，有 PNP 及 NPN 两种结构。这类半导体晶体管工作时，半导体中的电子和空穴两种载流子同时都起主要的作用，所以又叫双极型半导体晶体管。晶体管有三个电极，分别叫做发射极 e、基极 b 和集电极 c。晶体管的引脚排列比较复杂，在使用时一定要先检测引脚排列，以避免装错，造成人为故障。常见的晶体管有金属封装和塑料封装等形式；其实物外形如图 2-44 所示。

1. 晶体管的分类与外形

按所用的半导体材料分有硅管和锗管（硅管多为 NPN 型，锗管多为 PNP 型）；按结构分有 PNP 管和 NPN 管；按其用途又分为低频管、中频管、高频管、超高频管、小功率管（功率小于 1W）、中功率管、大功率管和开关管等；按封装形式分有玻璃壳封装管、金属壳封装管、塑料封装管等。半导体晶体管符号和外形等如图 2-45 ~ 图 2-47 所示。

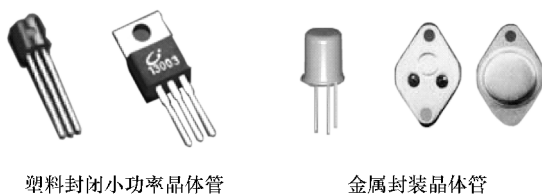


图 2-44 晶体管

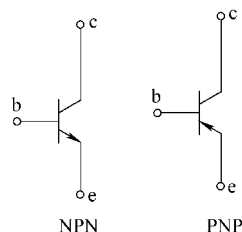


图 2-45 半导体晶体管符号

2. 晶体管的命名方法

(1) 国产普通晶体管的型号命名

由五部分组成，各部分的含义如表 2-6 所示。

第一部分用数字“3”表示主称和晶体管。

第二部分用字母表示晶体管的材料和极性。

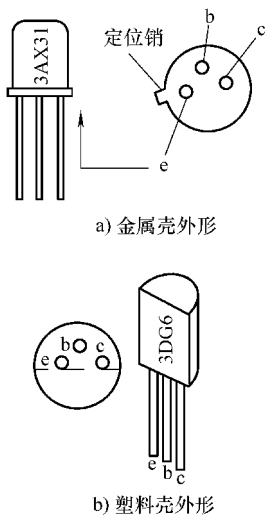


图 2-46 金属壳与塑料壳晶体管外形引脚

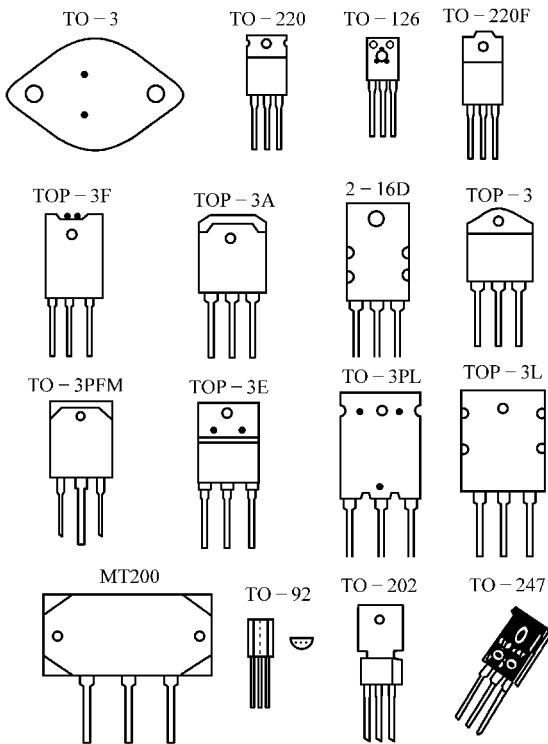


图 2-47 常用晶体管的封装外形

表 2-6 国产晶体管的型号命名方法

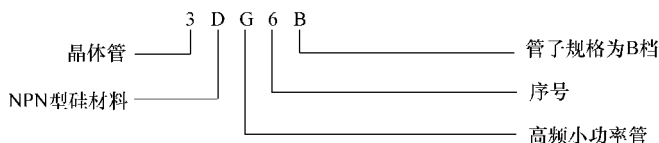
第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
主称		用字母表示晶体管的材料和特性		用字母表示晶体管的用途类别		用数字表示序号	用字母表示规格
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义	意义
3	晶体管	A	PNP 型，锗	X	低频小功率管	用数字表示同一类型产品的序号	如规格号为 A、B、C、D…表示同一型号的档次等
		B	NPN 型，锗	G	高频小功率管		
		C	PNP 型，硅	D	低频大功率管		
		D	NPN 型，硅	A	高频大功率管		
		E	化合物材料	T	半导体闸流管		
				V	微波管		
				B	雪崩管		
				J	阶跃恢复管		
				K	开关管		
				CS	场效应器件		
				BT	半导体特殊器件		
				FH	复合管		
				PIN	PIN 管		
				GJ	激光管		

第三部分用字母表示晶体管的类别。

第四部分用数字表示同一类型产品的序号。

第五部分用字母表示规格号。

例如：晶体管 3DG6B 的型号意义如下所示。



(2) 片状晶体管的型号识别

我国晶体管型号以 3A ~ 3E 开头，美国以 2N 开头，日本以 2S 开头，目前市场上以 2S 开头的晶体管占多数。

欧洲常采用国际电子联合会制定的标准，对晶体管的命名方法是：

第一部分用 A 或 B 开头（A 表示锗管，B 表示硅管）；

第二部分用 C 表示低频小功率管，F 表示高频小功率管，D 表示低频大功率管，L 表示高频大功率管，S 和 U 分别表示小功率开关管和大功率开关管；

第三部分用三位数表示登记序号。

例如：BC87 表示硅低频小功率晶体管。

3. 晶体管的特性曲线和主要参数

(1) 特性曲线

1) 输入特性曲线。由晶体管的输入特性曲线可看出：晶体管的输入特性曲线是非线性的，输入电压小于某一值时，晶体管不导通，基极 b 电流为零，该电压为开启电压，又称为阈值电压。对于硅管，其阈值电压约为 0.5V，锗管约为 0.1 ~ 0.2V。当晶体管正常工作时，发射极 e 压降变化不大，对于硅管约为 0.6 ~ 0.7V，对于锗管约为 0.2 ~ 0.3V。 $U_{ce} = 0$ 时，晶体管测试电路和等效电路如图 2-48 所示，输入特性曲线如图 2-49 所示。

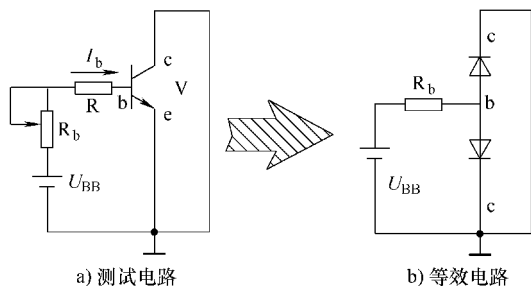


图 2-48 测试电路和等效电路

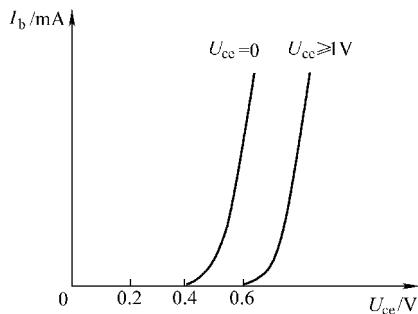


图 2-49 输入特性

2) 输出特性曲线。当 I_b 不变时，输出回路中的电流 I_c 与电压 U_{ce} 之间的关系曲线称为输出特性曲线。 I_b 值固定，可得到一条输出特性曲线，改变 I_b 值，可得到一簇输出特性曲线，如图 2-50 所示。

如图 2-50 所示，在输出特性曲线上可划分 3 个区：放大区、截止区、饱和区。

放大区：当 $U_{ce} > 1V$ 时， I_c 与 I_b 成正比而与 U_{ce} 关系不大，所以输出特性曲线几乎与横轴平行。当 I_b 一定时， I_c 的值基本不随 U_{ce} 变化，具有恒流特性； I_b 等量增加时，输出特性曲线等间隔地平行上移。这个区域的工作特点是发射极 e 正向偏置，集电极 c 反向偏置。由

于工作在这一区域的晶体管具有放大作用,因而把该区域称为放大区。

截止区:当 $U_{be} < 0$ 、 $I_b = 0$ 时, $I_c = I_{ce0}$, 由于穿透电流 I_{ce0} 很小, 输出特性曲线是一条几乎与横轴重合的直线。

饱和区:当 $U_{ce} < U_{be}$ 时, I_c 与 I_b 不成比例, 它随 U_{ce} 的增加而迅速上升, 这一区域称为饱和区, $U_{ce} = U_{be}$ 称为临界饱和。

综上所述, 对于 NPN 型晶体管, 工作于放大区时, $U_c > U_b > U_e$; 工作于截止区时, $U_c > U_e > U_b$; 工作于饱和区时, $U_b > U_c > U_e$ 。

晶体管参数是反映晶体管各种性能的指标数值, 是放大电路分析和设计时要参考的数据, 也是选用晶体管的依据, 因此, 必须了解晶体管参数。

(2) 电流参数

1) 共发射极电流放大系数 β 是指晶体管共射极连接且 U_{ce} 恒定时, 集电极 c 电流变化量 ΔI_c 与基极 b 电流变化量 ΔI_b 之比。

β 的大小体现了共射接法时晶体管的放大能力, 晶体管的 β 值太小时, 放大作用差; β 值太大时, 工作性能不稳定。因此, 一般选用 β 为 30 ~ 80 的晶体管。

2) 集电极最大允许电流 I_{CM} 是指晶体管参数变化不超过允许值时, 允许通过的最大电流, 是晶体管的一项安全参数。晶体管在应用中集电极电流绝对不能超过 I_{CM} 。晶体管工作时, 当集电极电流超过 I_{CM} 时, 管子性能将显著下降, 并有可能烧坏管子。

3) 集电极反向饱和电流 I_{cb0} 是指发射极 e 开路, 在集电极 c 与基极 b 之间加上一定的反向电压时, 流过集电极 c 的反向电流。图 2-51 所示为测量 I_{cb0} 所用电路。

在一定温度下, I_{cb0} 是一个常量, 该参数对温度较敏感, 该值越小, 说明晶体管的温度特性越好。随着温度的升高 I_{cb0} 将增大, 温度每升高 10℃, I_{cb0} 增大 1 倍, 它是晶体管工作不稳定的主要因素。在相同环境温度下, 硅管的 I_{cb0} 比锗管的 I_{cb0} 小得多。

4) 集电极—发射极间穿透电流 I_{ce0} 是指基极 b 开路, 集电极 c 与发射极 e 之间加一定反向电压时, 集电极—发射极间导通的电流。图 2-52 所示为测量 I_{ce0} 所用电路。

$I_{ce0} = I_{cb0} + \beta I_{cb0} = (1 + \beta) I_{cb0}$, I_{ce0} 也是衡量晶体管质量好坏的一个标准, 其值越小越好, 晶体管工作越稳定, 质量越好。 I_{ce0} 和 I_{cb0} 一样, 也是衡量晶体管热稳定性的重要参数。

5) 发射极反向饱和电流 I_{eb0} 是指集电极 c 开路, 发射极 e 加规定电压时, 流过发射极 e 的反向电流。图 2-53 所示为测量 I_{eb0} 所用电路。

发射极反向饱和电流 I_{eb0} 也是评价晶体管好坏的一项参数。

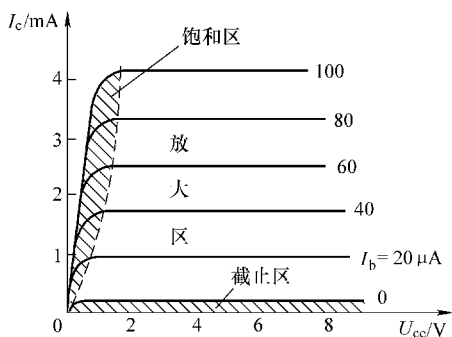


图 2-50 NPN 管共发射极输出特性曲线

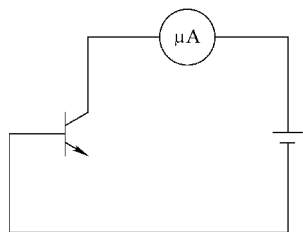


图 2-51 测量 I_{cb0} 电路

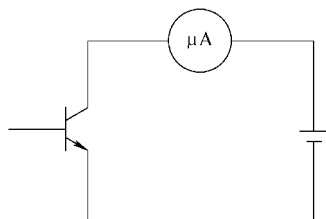


图 2-52 测量 I_{ce0} 电路

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{cM}

是指晶体管集电极 c 温度未超过允许值（硅管为 150°C ，锗管为 70°C ），参数变化不超过规定允许值时集电极 c 的最大耗散功率。晶体管工作时， U_{ce} 的大部分参数值降在集电极 c 上，集电极功率损耗 $P_c = U_{ce} I_c$ 。当管子集电极 c 两端电压与通过电流的乘积超过此值时，管子性能变差或烧毁。

耗散功率与晶体管的最高允许结温和集电极最大电流有密切关系。

通常耗散功率小于 1W 的晶体管称为小功率晶体管，大于或等于 1W 、小于 5W 的晶体管称为中功率晶体管，大于或等于 5W 的晶体管称为大功率晶体管。

(4) 集电极—发射极间反向击穿电压 $U_{(BR)ce0}$

管子基极 b 开路时，集电极 c 和发射极 e 之间的最大允许电压。当电压超过此值时，管子将发生电击穿，若电击穿则会导致热击穿进而损坏管子。

(5) 截止频率

晶体管在超过其工作频率范围的情况下，会出现放大能力减弱甚至失去放大作用的现象。

随着工作频率的升高，电流放大系数逐渐下降，当降低到低频的 70.7% 时，此时所对应的频率称为截止频率。

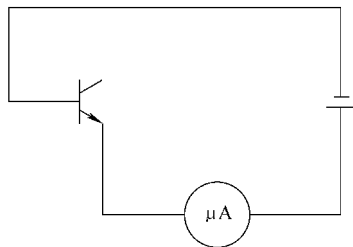


图 2-53 测量 I_{eb0} 电路

2.2.1 普通晶体管

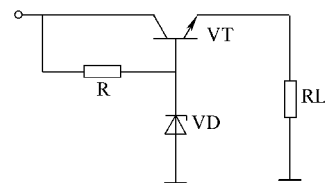
半导体晶体管分 NPN 型和 PNP 型两大类。它具有两种作用，即放大作用和开关作用。晶体管由截止状态转换为饱和状态或由饱和状态转换为截止状态所需的时间称为晶体管的开关时间，开关时间的长短会影响信号传输的速度。电子开关的速度一般能达到每秒动作几万到几千万次，有的可达到每秒几亿次。常用的晶体管应用电路如图 2-54 所示。

1. 塑料封装大功率晶体管

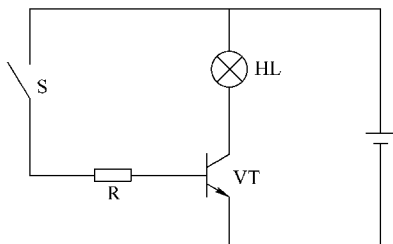
塑料封装大功率晶体管的体积越大，输出功率越大，用来对信号进行功率放大时，要放置散热片，如图 2-55 所示。

2. 金属封装大功率晶体管

功率开关晶体管具有耐高压、开关速度快、安全工作区宽、温度特性好等特点，主要应用于节能灯、电子镇流器、电子变压器和开关电源等。金属封装大功率晶体管的体积较大，金属外壳本身就是一个散热部件，这种封装的晶体管只有基极 b 和发射极 c 两根



a) 串联型稳压电路



b) 晶体管电子开关电路

图 2-54 晶体管应用电路

引脚，集电极 c 就是晶体管的金属外壳，如此可大大提高晶体管的实际应用功率，如图 2-56 所示。它主要用在高电压、大电流的场合，如彩电中开关电源的开关管、行输出级的行输出管等。

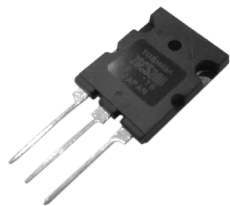


图 2-55 塑料封装大功率晶体管

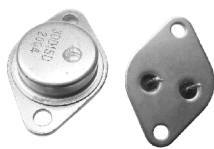


图 2-56 功率开关晶体管



3. 塑料封装小功率晶体管

三根引脚的分布规律有多种,小功率晶体管在电子电路中主要用来发挥除放大信号功率之外的作用,如图 2-57 所示。

4. 达林顿晶体管

达林顿晶体管亦称复合晶体管。它采用复合连接方式,这种复合管内部由两只或更多只输出功率不等的晶体管按一定接线规律复合而成,最后引出基极 b、集电极 c、发射极 e 三个电极,如图 2-58 所示。达林顿管的总放大系数约等于各管放大系数的乘积,因此,达林顿管具有很高的放大系数,可以达到几千倍甚至几十万倍。利用它不仅能构成高增益放大器,还能提高驱动能力,获得大电流输出,构成达林顿功率开关管。在光耦合器中,也有用达林顿管作为接收管的。

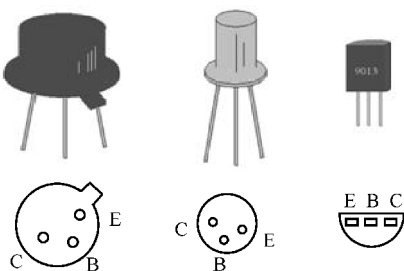


图 2-57 塑料封装小功率晶体管

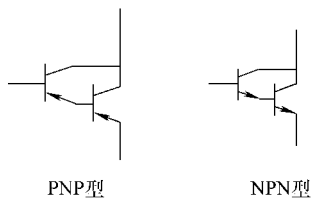


图 2-58 达林顿晶体管

达林顿管内部不带保护电路,耗散功率在 2W 以下,主要作为功率放大管和电源调整管,用于高增益放大电路或继电器驱动电路中。大功率的达林顿晶体管在普通的达林顿管基础上,增加了由泄放电阻和续流二极管组成的保护电路,稳定性较高,驱动电流更大。主要用于音频功率放大、电源稳压、开关控制等电路中。

5. 带阻尼晶体管

带阻尼晶体管主要用于电视机的行输出级路中作为行输出晶体管,这种晶体管在结构上与普通大功率晶体管不同,它在晶体管的基极 b、集电极 c 之间接有一只阻值较小的内置内阻,而在发射极 e、集电极 c 之间接有一只阻尼二极管。内置电阻与阻尼二极管连同大功率晶体管一起被封装在同一管壳内,如图 2-59 所示。这种晶体管具有耐压高、功率大、开关特性好的特点,且在使用时,不需要另外再单独设置阻尼二极管。带阻尼输出的晶体管为 NPN 型硅管,其外形与普通大功率晶体管基本相同,也有塑料和金属封装两种。

2.2.2 特殊晶体管

1. 光敏晶体管内部结构

光敏晶体管与光敏二极管不同的是有两个背对相接的 PN 结。与普通晶体管相似的是,

它也有电流增益。需要指出的是,因光敏晶体管无须电参量控制,所以一般没有基极 b 引出线,只有集电极 c 和发射极 e 两个引脚,而且外形和光敏二极管极为相似,很难区分,需认真看清管壳外缘标注的型号,以免混淆,如图 2-60 所示。

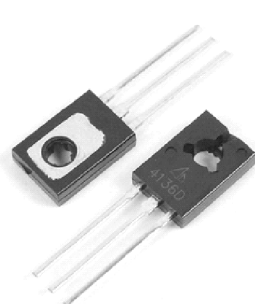


图 2-59 带阻尼晶体管

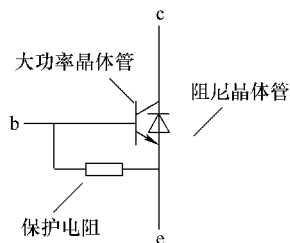


图 2-60 光敏晶体管

当具有光敏特性的 PN 结受到光辐射时,形成光电流,由此产生的光生电流由基极 b 进入发射极 e,从而在集电极回路中得到一个放大了相当于 β 倍的信号电流。不同材料制成的光敏晶体管具有不同的光谱特性,与光敏二极管相比,具有很大的光电流放大作用,即很高的灵敏度。

2. 光敏晶体管的特点

光敏晶体管用于测量光亮度,经常与发光二极管配合使用作为信号接收装置。光敏晶体管的另一个作用是传输信号光耦合器 (Optical Coupler, OC) 亦称光电隔离器,简称光耦。光耦合器以光为媒介传输电信号,对输入、输出电信号有良好的隔离作用,所以广泛应用于各种电路中,目前它已成为种类最多、用途最广的光电器件之一。光耦合器一般由三部分组成:光的发射、光的接收及信号放大。输入的电信号驱动发光二极管,使之发出一定波长的光,被光探测器接收而产生光电流,再经过进一步放大后输出。这就完成了电-光-电的转换,从而起到输入、输出、隔离的作用。由于光耦合器输入、输出间互相隔离,电信号传输具有单向性等特点,因此其具有良好的电绝缘能力和抗干扰能力。又由于光耦合器的输入端属于电流型工作的低阻器件,因而具有很强的共模抑制能力。所以,它在长线传输信息中作为终端隔离器件可以大大提高信噪比。在计算机数字通信及实时控制中作为信号隔离的接口器件,可以大大增加计算机工作的可靠性。

光耦合器的主要优点是:信号单向传输,输入端与输出端完全实现了电气隔离,输出信号对输入端无影响,抗干扰能力强,工作稳定,无触点,使用寿命长,传输效率高。光耦合器是 20 世纪 70 年代发展起来的新型器件,现已广泛用于电气绝缘、电平转换、级间耦合、驱动电路、开关电路、斩波器、多谐振荡器、信号隔离、级间隔离、脉冲放大电路、数字仪表、远距离信号传输、脉冲放大、固态继电器 (SSR)、仪器仪表、通信设备及微机接口中。在单片开关电源中,利用线性光耦合器可构成光耦反馈电路,通过调节控制端电流来改变占空比,达到精密稳压目的。

3. 光敏晶体管工作原理

光敏晶体管和普通晶体管相似,也有电流放大作用,只是它的集电极电流不只受基极电路和电流控制,同时也受光辐射的控制。通常基极 b 不引出,但一些光敏晶体管的基极 b 有引出,用于温度补偿和附加控制等作用。

用于传递模拟信号的光耦合器的发光器件为二极管、光接收器为光敏晶体管。当有电流通过发光二极管时,便形成一个光源,该光源照射到光敏晶体管表面上,使光敏晶体管产生集电极电流,该电流的大小与光照的强弱,亦即流过二极管的正向电流的大小成正比。由于光耦合器的输入端和输出端之间通过光信号来传输,因而两部分之间在电气上完全隔离,没有电信号的反馈和干扰,故性能稳定,抗干扰能力强。发光管和光敏管之间的耦合电容小(2pF左右)、耐压高(2.5kV左右),故共模抑制比很高。输入和输出间的电隔离度取决于两部分供电电源间的绝缘电阻。此外,由于其输入电阻小(约10Ω),对高内阻源的噪声相当于被短接,因此,由光耦合器构成的模拟信号隔离电路具有优良的电气性能。

4. 技术特性及参数

(1) 光谱特性

光敏晶体管由于使用的材料不同,分为锗光敏晶体管和硅光敏晶体管,使用较多的是硅光敏晶体管。光敏晶体管的光谱特性与光敏二极管是相同的。

(2) 伏安特性

光敏晶体管的伏安特性是指在给定的光照度下光敏晶体管上的电压与光电流的关系。

(3) 光电特性

光敏晶体管的光电特性反映了当外加电压恒定时,光电流 I_L 与光照度之间的关系。光敏晶体管的光电特性曲线的线性度不如光敏二极管好,且在弱光时光电流增加较慢。

(4) 温度特性

温度对光敏晶体管的暗电流及光电流都有影响。由于光电流比暗电流大得多,在一定温度范围内温度对光电流的影响比对暗电流的影响要小。

(5) 暗电流 I_D

在无光照的情况下,集电极c与发射极e间的电压为规定值时,流过集电极c的反向漏电流称为光敏晶体管的暗电流。

(6) 光电流 I_L

在规定光照下,当施加规定的工作电压时,流过光敏晶体管的电流称为光电流,光电流越大,说明光敏晶体管的灵敏度越高。

(7) 集电极—发射极击穿电压 U_{ce}

在无光照下,集电极电流 I_c 为规定值时,集电极c与发射极e之间的电压降称为集电极—发射极击穿电压。

(8) 最高工作电压 U_{RM}

在无光照下,集电极电流 I_c 为规定的允许值时,集电极c与发射极e之间的电压降称为最高工作电压。

(9) 最大功率 P_M

最大功率指光敏晶体管在规定条件下能承受的最大功率。

(10) 峰值波长 λ_p

当光敏晶体管的光谱响应为最大时对应的波长叫做峰值波长。

(11) 光电灵敏度

在给定波长的入射光输入时,光敏晶体管管心单位面积输出光电流的强度称为光电灵敏度。

(12) 响应时间

响应时间指光敏晶体管对入射光信号的反应速度，一般为 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ s}$ 。

(13) 开关时间

1) 脉冲上升时间 t_r ：光敏晶体管在规定工作条件下调节输入的脉冲光，使光敏晶体管输出相应的脉冲电流至规定值，以输出脉冲前沿幅度的 10% ~ 90% 所需的时间。

2) 脉冲下降时间 t_f ：以输出脉冲后沿幅度的 90% ~ 10% 所需的时间。

3) 脉冲延迟时间 t_d ：从输入光脉冲开始到输出电脉冲前沿的 10% 所需的时间。

4) 脉冲储存时间 t_s ：当输入光脉冲结束后，输出电脉冲下降到脉冲幅度的 90% 所需的时间。

2.2.3 晶体管引脚的判断及质量检测

晶体管有 NPN 型和 PNP 型两种，对于中小功率晶体管，可用万用表“ $R \times 100\Omega$ ”挡或“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测量，对于大功率管，可用“ $R \times 1\Omega$ ”或“ $R \times 10\Omega$ ”挡测量，从万用表测量可知其好坏。

1. NPN 型和 PNP 型晶体管的判别

用万用表判断引脚的根据是：NPN 型晶体管基极 b 到发射极 e 和基极 b 到集电极 c 均为 PN 结的正向，而 PNP 型晶体管基极 b 到发射极 e 和基极 b 到集电极 c 均为 PN 结的反向。

如果能够在某个晶体管上找到一个脚，将黑表笔接此脚，将红表笔依次接另外两脚，万用表指针均偏转，而反过来，却不偏转，说明此管是 NPN 管，且黑表笔所接的那脚为基极 b。

如果能够在某个晶体管上找到一个脚，将红表笔接此脚，将黑表笔依次接另外两脚，万用表指针均偏转，而反过来，却不偏转，说明此管是 PNP 管，且红表笔所接的那脚为基极 b。

若在两次测量中表针均偏转很大（说明管子的 PN 结已通，电阻较小），则黑笔接的电极为基极 b，同时该管为 NPN 型；反之，将表笔对调（红表笔任接一极），重复以上操作，则也可确定管子的基极 b，其管型为 PNP 型，如图 2-61 所示。

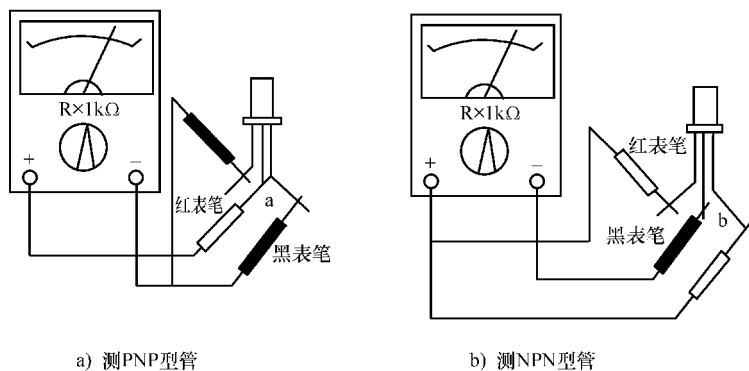


图 2-61 NPN 型和 PNP 型晶体管的判别

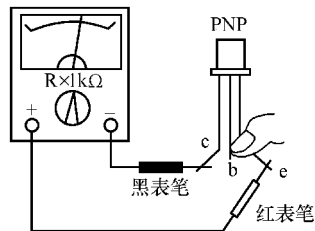
2. 用指针式万用表检测晶体管的方法

常用的小功率晶体管有金属外壳封装和塑料封装两种，可直接观测出 3 个电极 e、b、

c. 如果没有办法直接从封装观察其引脚排列, 则使用万用表进行测试, 也可以判断出引脚电极排列。

(1) 判断晶体管的基极 b 及管型的方法与技巧

判定基极 b。用万用表“ $R \times 100\Omega$ ”挡或“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测量管子 3 个电极中每两极之间的正、反向电阻值, 如图 2-62 所示。当用第一根表笔接某一电极, 而第二表笔先后接触另外两个电极均测得低阻值时, 则第一根表笔所接的那个电极即为基极 b。这时, 要注意万用表表笔的极性, 如果红表笔接的是基极 b, 黑表笔分别接在其他两极时, 测得的阻值都较小, 则可判定被测管子为 PNP 型晶体管; 如果黑表笔接的是基极 b, 红表笔分别接触其他两极时, 测得的阻值较小, 则被测晶体管为 NPN 型管, 如 9013, 图 2-62 晶体管的基极 b 的判断 9014, 9018。



(2) 判断晶体管的发射极 e 和集电极 c 方法与技巧

1) 测试正向电阻法判断晶体管的发射极 e 和集电极 c。

在确定了晶体管的基极 b 和管型之后, 通过用万用表测试晶体管的发射极 e、集电极 c 正向电阻值, 即可判定发射极 e 和集电极 c, 方法如图 2-63 所示。

我们知道, 无论是 PNP 型晶体管还是 NPN 型晶体管, 集电区与基区之间的 PN 结结面, 都比发射极 e 的 PN 结结面做得大。所以发射极 e、集电极 c 的正向电阻值略有差别, 即发射极 e 的正向电阻值略比集电极 c 的正向电阻值大。

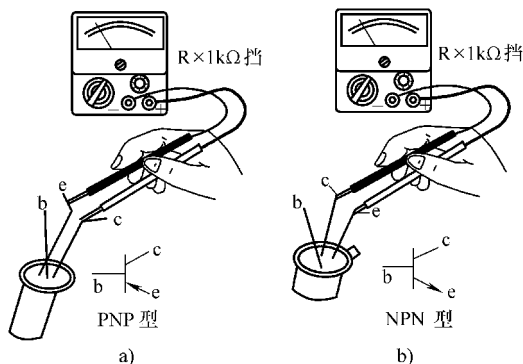


图 2-63 正向电阻法判断晶体管的发射极 e 和集电极 c

根据上述特征, 则可判别晶体管发射极 e 和集电极 c, 将万用表的量程开关拨至

“ $R \times 1k\Omega$ ”挡, 分别测试晶体管两个 PN 结的正向电阻值, 仔细观察万用表指针两次指示位置。以 PNP 型晶体管为例, 指示阻值大时, 黑表笔所接的电极就是发射极 e, 另一极则是集电极 c, 如图 2-63a 所示; 对 NPN 型晶体管而言, 万用表指针指示阻值大时, 红表笔所接的电极是发射极 e, 另一极为集电极 c, 如图 2-63b 所示。

2) 测试正、反向电阻法判断晶体管的发射极 e 和集电极 c。

在已知管型和基极 b 的基础上, 可用万用表通过测试正、反向电阻值来判别晶体管的发射极 e 和集电极 c, 方法如图 2-64 所示。

测试时, 将万用表的量程开关拨至“ $R \times 1k\Omega$ ”挡。

判断 PNP 型晶体管发射极 e 和集电极 c 的方法如图 2-64a 所示。用两支表笔分别去碰未确定的两个电极, 测出一个阻值, 交换表笔后再去测出另一个阻值, 比较两次测试结果, 以阻值小的那次为准, 黑表笔接触那只脚是发射极 e, 另一脚则为集电极 c。

NPN 型晶体管发射极 e 和集电极 c 的判别方法如图 2-64b 所示, 也是以阻值较小的那次为准, 此时红表笔接触那只脚是发射极 e, 另一脚则为集电极 c。

3) 加基极偏置电流用万用表判断晶体管的发射极 e 和集电极 c。

判别方法如图 2-65 所示, 此种判别结果较为准确。对 NPN 型晶体管而言, 用红、黑表笔分接触除基极 b 以外的两极, 湿手指接触基极 b 和黑表笔, 然后再将红、黑表笔对调重测一次。比较两次万用表指针偏转角度的大小, 以偏转角度大的一次为准, 黑表笔接的是集电极 c, 红表笔接的则是发射极 e。

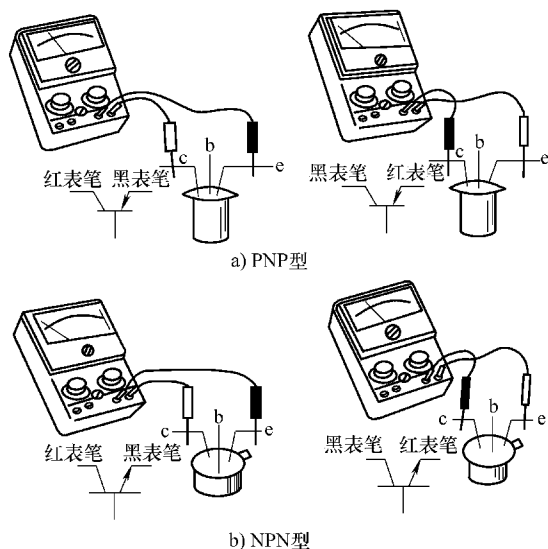


图 2-64 正、反向电阻法判断晶体管的发射极 e 和集电极 c

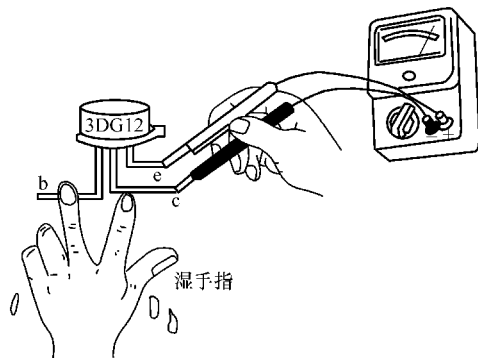


图 2-65 加基极偏置电流用万用表判断晶体管的发射极 e 和集电极 c

对于 PNP 型晶体管而言, 用湿手指接触基极 b 和红表笔, 万用表指针偏转角度大的一次, 红表笔接的是集电极 c, 黑表笔接的则是发射极 e。

提示: 万用表黑表笔输出表内电池的正电压, 红表笔输出负电压, 一个手指触及红表笔或黑表笔, 另一手指接触基极 b, 这就相当于在基极 b 与集电极 c 间加一个偏流电阻 (人体电阻)。

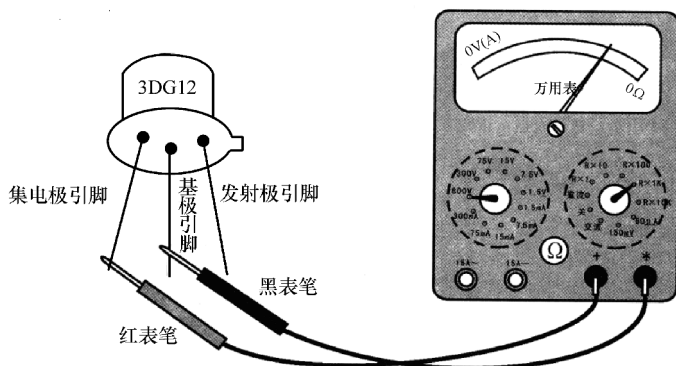
4) 按照极性接法测试来判断晶体管的发射极 e 和集电极 c。

使用极性接法判断是先进行假设集电极 c 和发射极 e 极性已知, 再按假设的极性给引脚接上万用表进行测试。

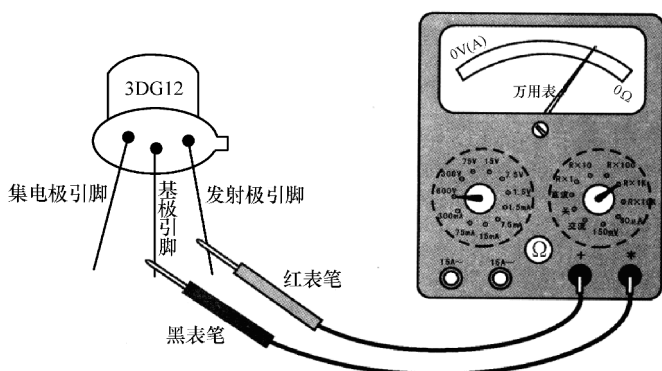
以 NPN 型晶体管为例, 将万用表置于“ $R \times 100\Omega$ ”挡或“ $R \times 1k\Omega$ ”挡, 当基极 b 确定后, 假设剩余的两只脚中的一只脚是集电极 c, 另一只脚是发射极 e, 将黑表笔接到假设集电极 c 引脚上, 红表笔接到假设的发射极 e 上, 用手指捏住假设集电极 c 和基极 b, 观察表针的指示, 并记住此时的电阻值的读数。然后, 交换红、黑表笔的位置, 作同样的测量记录, 比较两次读数的大小, 若第一次的阻值较小, 说明第一次假设是正确的, 黑表笔接的那只脚就是集电极 c, 另一只是发射极 e, 如图 2-66 所示。

以 PNP 型晶体管为例, 将万用表置于“ $R \times 100\Omega$ ”挡或“ $R \times 1k\Omega$ ”挡, 红表笔接基极 b, 用黑表笔分别接触另外两个引脚时, 所测得的两个电阻值会是一个大一些, 一个小一些。在阻值小的一次测量中, 黑表笔所接引脚为集电极 c; 在阻值较大的一次测量中, 黑表笔所接引脚为发射极 e。

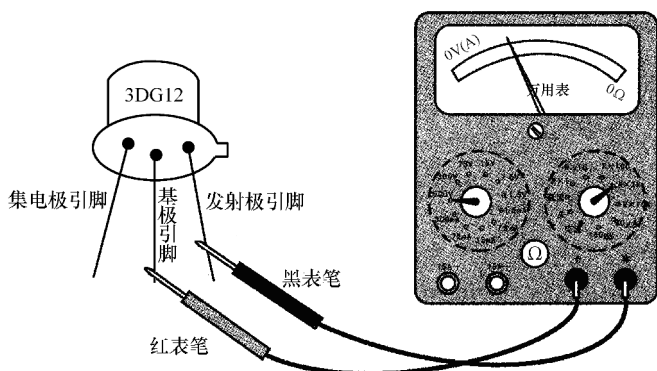
如果在测量过程中万用表指针偏转不向右摆动或摆动幅度不明显,则说明万用表给被测晶体管提供的测试电压极性接反了,应该把红、黑表笔对调重新按步骤进行测试,直到晶体管的集电极 c、发射极 e 区分开。只有按照正确的极性接法测试,万用表的指针摆幅才很明显。



a) 假定基极 b 引脚测试基极 b 与集电极 c 之间的电阻



b) 假定基极 b 引脚测试基极 b 与发射极 e 之间的电阻



c) 红表笔接基极 b 引脚测试基极 b 与发射极 c 之间的电阻

图 2-66 极性接法测试判断晶体管的发射极 e 和集电极 c

晶体管好坏的判断可在万用表“ $R \times 100 \Omega$ ”挡或“ $R \times 1 k\Omega$ ”挡上进行,如果按照上述方法无法判断出一个晶体管的管型及基极 b,则说明此管损坏。

(3) 测试晶体管电流放大系数 β 值

晶体管具有放大性能，这是由它的内部结构决定的。用晶体管组成的放大电路有多种，但用得最多的是共发射极放大电路，所以这里介绍此种电路电流放大系数 β 值（俗称放大倍数）的测试，方法如图 2-67 所示。

仍以测试 PNP 型晶体管为例，将万用表的量程开关拨至“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，红表笔接集电极 c，黑表笔接发射极 e，测出阻值，如图 2-67a 所示。再按图 2-67b 所示那样，在集电极 c 与基极 b 之间接入一只阻值为 $100k\Omega$ 电阻器，这时万用表指示的阻值变小，阻值约在 $10k\Omega$ 左右。我们希望此时阻值越小越好，阻值越小则表明被测晶体管的 β 值越大，即放大能力越强。

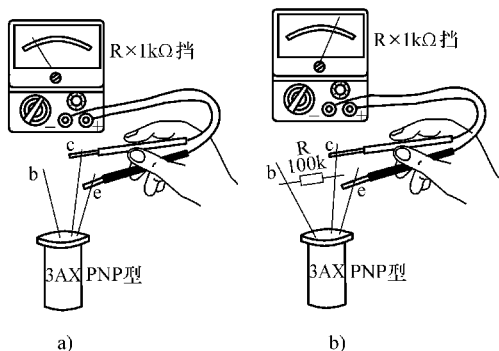


图 2-67 晶体管电流放大系数 β 值测试

对于 NPN 型晶体管 β 值的判断，只需将两表笔交换测试即可。

也可用万用表的 h_{FE} 挡来进行判别。当管型确定后，将晶体管插入“NPN”或“PNP”插孔，将万用表置于“ h_{EF} ”挡，若 h_{EF} (β) 值不正常（如为零或大于 300），则说明管子已坏。

(4) 判断锗管与硅管

测试电路如图 2-68 所示。RP 为 $50 \sim 100k\Omega$ 的电阻器，连接 1.5V 干电池，将万用表置于直流 2.5V 挡。电路接通以后万用表所指示的便是被测管的发射极正向压降。若是锗管，则该电压值为 $0.2 \sim 0.3V$ ；若是硅管，则该电压值为 $0.6 \sim 0.8V$ 。

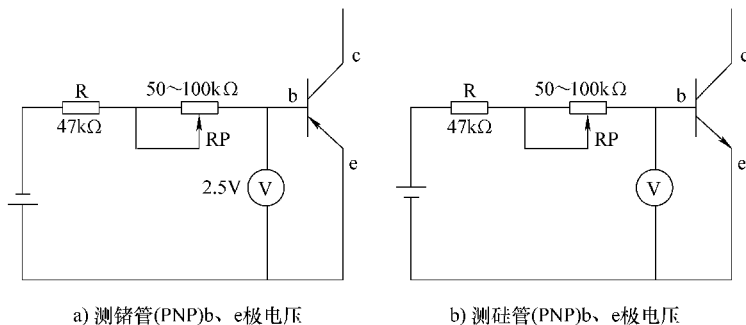


图 2-68 锗管与硅管判断电路

(5) 晶体管的质量判断方法与技巧

万用表“ $R \times 100\Omega$ ”挡或“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测量晶体管 be 结、bc 结、ce 结的正、反向电阻值做粗略的判断。正常情况下 be 结、bc 结正向电阻小，反向电阻大。锗管正向电阻为数十欧姆，硅管正向电阻为数百欧姆；锗管反向电阻为数几十千欧姆，硅管反向电阻为数百千欧姆。若测得正、反向电阻值为无穷大，则说明管子内部已断路；若测得正、反向电阻值为零，则说明管子内部已短路。

(6) 检测穿透电流 I_{ce0}

晶体管的穿透电流 I_{ce0} 近似等于交流放大系数 β 和集电极反向饱和电流 I_{cb0} 的乘积。可

以使用万用表通过集电极 c 与发射极 e 之间的反向电阻的检测判断一下穿透电流 I_{ce0} ，集电极 c 与发射极 e 间的反向电阻值越大， I_{ce0} 越小。对于 NPN 型，将万用表置于“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，黑表笔接其集电极 c，红表笔接其发射极 e，测得的电阻值越大说明此管的 I_{ce0} 越小，一般中小功率晶体管的电阻值在几十千欧及十几千欧以上。如测 PNP 型，只需要将两个表笔对调一下即可。

通常集电极 c 与发射极 e 之间电阻比较小的晶体管，热稳定性相对较差，可以从稳定性优劣判断 I_{ce0} 变化趋势。

(7) 带阻行管的测量

带阻行管的基极 b 与发射极 e 之间接有一个几十欧的电阻，集电极 c 与发射极 e 之间接有一个阻尼二极管，带阻行管好坏的判断方法与普通晶体管有所不同。

将万用表置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡或“ $R \times 10\Omega$ ”挡，将黑表笔接基极 b，红表笔接发射极 e，此时，指针偏转，并测得一个阻值；交换两表笔位置，再次测量，指针也偏转，又测得一个阻值。若前一次阻值小于后一次阻值，则说明正常；若两次阻值一样，则说明损坏。再将万用表调至“ $R \times 100\Omega$ ”挡，黑表笔接基极 b，红表笔接集电极 c，此时指针应偏转。交换两表笔位置后，指针应不偏转，若仍偏转，则说明损坏。若将黑表笔接集电极 c，红表笔接发射极 e，此时指针应不偏转，若偏转，则说明管子损坏；交换两表笔位置，此时指针应偏转，若不偏转，则说明管子损坏。

(8) 光敏晶体管的检测

1) 引脚识别。靠近管键的或者比较长的引脚为发射极 e，离管键较远或较短的引脚为集电极 c，另外对于达林顿型光敏晶体管，封装缺圆的一侧为集电极 c。

2) 检测暗阻。将光敏晶体管的受光窗口用黑纸片遮住，万用表置于“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，红、黑表笔分别接光敏晶体管的一个引脚，此时所测得的阻值应为无穷大，然后将红、黑表笔对调再测量一次，阻值也应为无穷大。测试时，如果万用表指针向右偏转指示出阻值，说明被测光敏晶体管漏电。

3) 检测亮阻。万用表仍然使用“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，将红表笔接发射极 e，黑表笔接集电极 c，然后将遮光黑纸片从光敏晶体管的受光窗口朝向某一光源，这时万用表指针应向右偏转。通常电阻值应在 $15 \sim 30k\Omega$ 。指针向右偏转角度越大，说明被测光敏晶体管的灵敏度越高。如果受光后，光敏晶体管的阻值较大，即万用表指针向右摆动幅度很小，则说明该管灵敏度低或已损坏。

3. 功率晶体管的散热问题

功率晶体管在工作时，除了向负载提供功率外，本身也要消耗一部分功率来产生热量。

因为功率晶体管在正常工作时，其集电极 c 是反偏的，因此，管子的耗散功率主要集中在集电极 c 上，这就使集电极 c 的结温迅速升高，从而引起整个管子的温度升高，严重时会使管子烧毁。

要保证管子的安全，必须将管子的热量散发出去。散热条件越好，对应于相同结温所允许的管耗就越大，输出功率也就越大。为了减小热阻，改善散热条件，一般大功率晶体管都必须加装散热片。

表 2-7 所示为两种大功率晶体管在达到额定功率所要求的散热片的尺寸，同时还给出了没有加散热片时的输出功率情况。

表 2-7 两种大功率晶体管所需要的散热片尺寸（铝材）

型号	额定功率	不加散热片时的输出功率	达到几种典型功率所要求的散热片尺寸/mm（长×宽×高）	
			5W	50×50×3
3AD6	10W	1W	10W	140×130×3
			15W	175×175×3
3AD30	20W	2W	20W	220×220×3

4. 晶体管的选用

晶体管的正常工作需要一定条件，超过允许条件范围则可能使晶体管无法正常工作，甚至会受到永久性损坏。因而，选用时应考虑以下各因素：

- 1) 选用的晶体管切勿使工作时的电压、电流、功率超过手册中规定的极限值，并根据设计原则选取一定的余量，以免烧坏管子。
- 2) 对于大功率管，特别是外延型高频功率管，在使用中的二次击穿往往使功率管损坏。为了防止二次击穿，就必须大大降低管子的使用功率和电压。
- 3) 选择晶体管的频率应符合设计电路中的工作频率范围。
- 4) 根据设计电路的特殊要求，如稳定性、可靠性、穿透电流、放大倍数等，均应进行合理选择。

晶体管是决定电路性能好坏的重要器件，晶体管损坏后，应选用同型号管子进行替换。当无同型号管子时，也可选用参数相近的管子进行替换。

有些晶体管的壳顶上标有色点，作为电流放大倍数值的色点标志，为选用晶体管带来了很大的方便。其分档标志如下：

0 ~ 15 ~ 25 ~ 40 ~ 55 ~ 80 ~ 120 ~ 180 ~ 270 ~ 400 ~ 600
棕 红 橙 黄 绿 蓝 紫 灰 白 黑

2.2.4 晶体管在电子技术中的应用

应用实例：开关电路

在电子钟、报警器等设备中，常用蜂鸣器作声音提示。图 2-69 所示为驱动蜂鸣器的晶体管开关电路，当输入端为低电平时，晶体管截止，蜂鸣器不发声；当输入端为高电平时，晶体管导通，电流流过蜂鸣器，使蜂鸣器发声，起到提示或报警作用。实际应用中也可将蜂鸣器改成继电器来控制其他家用电器。

观察晶体管的放大作用实例：

某电路如图 2-70 所示。已知晶体管 9014， $\beta = 200$ 、 $U_{be} = 0.7V$ 、 $V_{CC} = 12V$ ，用高频信号发生器按照给定的参数为放大器提供输入信号，用示波器观察输出波形。

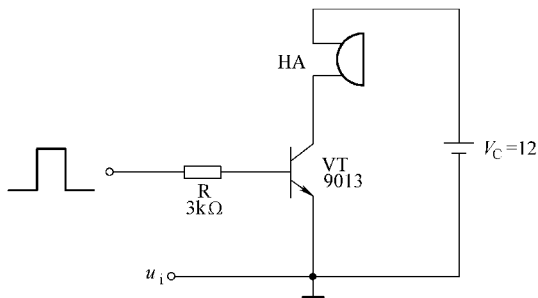


图 2-69 驱动蜂鸣器的晶体管开关电路

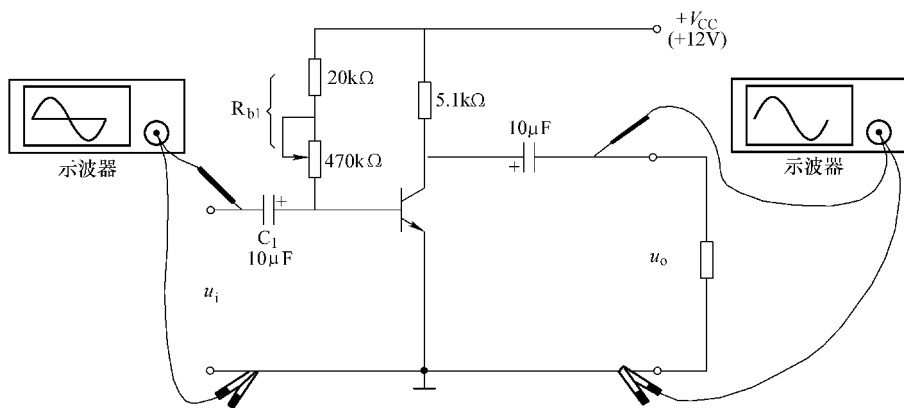


图 2-70 放大器电路

2.3 选用及检测场效应晶体管

场效应晶体管 (Field Effect Transistor, FET) 是利用输入电压产生的电场效应来控制输出电流的。所谓的场效应是指半导体材料的导电能力随电场改变而变化的现象。它工作时只有一种载流子 (多数载流子) 参与导电, 故也称为单极型半导体晶体管。场效应晶体管是电压控型器件, 由于它具有很高的输入电阻, 其输出电压取决于输入电压的大小, 基本上不需要信号源提供电流, 因此输入阻抗很高, 能满足高内阻信号源对放大电路的要求, 所以是较理想的前置输入级器件。它还具有开关速度快、高频特性好、热稳定性好、功率增益大、抗辐射能力强、输入阻抗高、热稳定性好、功耗低、噪声低、制造工艺简单、便于集成等优点, 因此被广泛应用于数字电路、通信设备及大规模集成电路等高频电路中。

1. 分类与符号

根据结构不同, 场效应晶体管可以分为结型场效应晶体管 (JFET) 和绝缘栅型场效应晶体管 (IGFET) 或称为 MOS 型场效应晶体管两大类。根据场效应晶体管制造工艺和材料的不同, 又可分为 N 沟道结型场效应晶体管和 P 沟道结型场效应晶体管。由金属 (Metal)、氧化物 (Oxide) 和半导体 (Semiconductor) 组成的, 称为 MOS 管。MOS 管可分为 N 沟道和 P 沟道两种, 按照工作方式不同又可以分为增强型和耗尽型两类。

常用的场效应晶体管其外形与晶体管相似, 3 个电极分别为源极 S、栅极 G 和漏极 D, 与晶体管的发射极 e、基极 b 和集电极 c 相对应。

结型场效应晶体管结构简图及电路符号如图 2-71 所示。N 沟道结型场效应晶体管是在 N 型硅片上采用扩散的工艺产生两个 P 区而形成的。它有 3 个电极, N 型硅片上端所引出的电极叫漏极, 用 D 表示; 下端所引出的电极叫源极, 用 S 表示; 两个 P 区所引出的电极连接在一起, 叫栅极 (又叫控制极), 用 G 表示。漏极与源极之间靠 N 沟道来导电。

N 沟道增强型 MOS 管以一块掺杂浓度较低的 P 型硅片做衬底, 在衬底上通过扩散工艺形成两个高掺杂的 N 型区, 并引出两个极作为源极 S 和漏极 D, 在 P 型硅表面制作一层很薄的二氧化硅 (SiO_2) 绝缘层, 在二氧化硅表面再喷上一层金属铝, 引出栅极 G。这种场效应晶体管栅极 G、源极 S、漏极 D 之间都是绝缘的, 所以称之为绝缘栅型场效应晶体管。

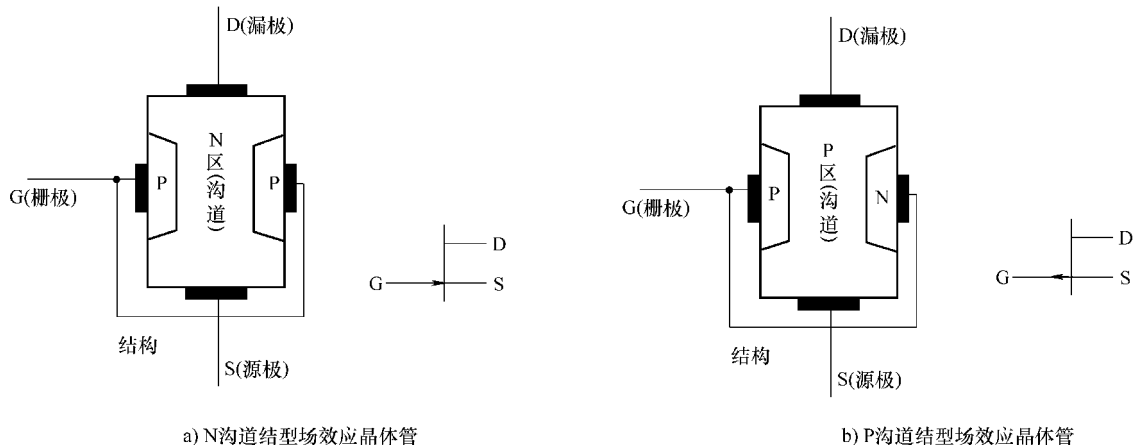


图 2-71 结型场效应晶体管结构简图及电路符号

绝缘栅型场效应晶体管是一种栅极 G 与漏极 D、源极 S 完全绝缘的场效应晶体管，其输入电阻在 $10^{12}\Omega$ 以上。它也分 N 沟道和 P 沟道两大类，每一类又分增强型和耗尽型两种，如图 2-72 所示。

绝缘栅场效应晶体管的图形符号如图 2-73b、c 所示，箭头方向表示沟道类型，箭头指向管内表示为 N 沟道 MOS 管（图 2-73b），否则为 P 沟道 MOS 管（图 2-73c）。

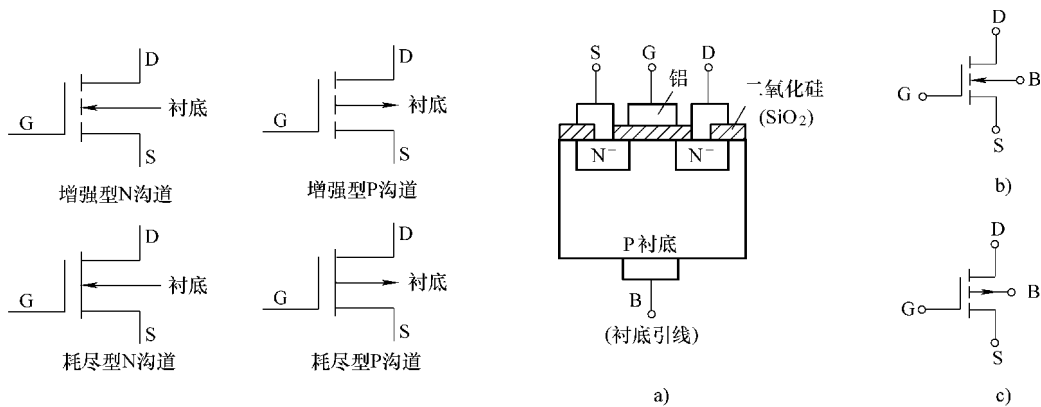


图 2-72 绝缘栅型场效应晶体管图形符号

图 2-73 MOS 管的结构及其图形符号

(1) 小功率场效应晶体管

小功率场效应晶体管具有输入阻抗极高、驱动电流小、噪声低等特点，适用于前置电压放大、阻抗变换电路、振荡电路及高速开关电路。

(2) 双栅场效应晶体管

双栅场效应晶体管有一个源极 S、一个漏极 D 和两个栅极 G，其中两个栅极 G 是相互独立的，使得它可以用来做高频放大器、混频器、解调器及增益控制放大器等。

(3) 片状场效应晶体管

与片状晶体管相比，片状场效应晶体管具有输入阻抗高、噪声低动态范围大、交叉调制失真小等特点。片状场效应晶体管分结型场效应晶体管（JFET）和绝缘栅场效应晶体管（MOSFET）。JFET 主要用于小信号场合，MOSFET 既用于小信号场合，也用于功率放大或驱

动的场合。片状场效应晶体管如图 2-74 所示。

2. 选择场效应晶体管要适应电路的要求

当信号源内阻高, 希望得到较好的放大作用和较低的噪声系数时; 当信号为超高频和要求低噪声时; 当信号为弱信号且要求低电流运行时; 当要求作为双向导电的开关等场合时, 都可以优先选用场效应晶体管。

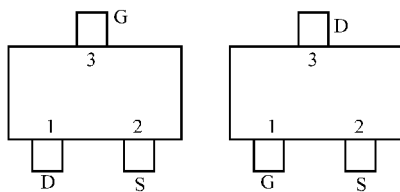


图 2-74 片状场效应晶体管

3. 场效应晶体管的型号命名方法

第一种命名方法与双极型晶体管相同:

第一位字母代表电极个数, 用 3 表示;

第二位字母代表材料, D 是 P 型硅 N 沟道; C 是 N 型硅 P 沟道;

第三位字母 J 代表结型场效应晶体管, O 代表绝缘栅场效应晶体管。

例如, 3DJ6D 是结型 N 沟道场效应晶体管, 3DO6C 是绝缘栅型 N 沟道场效应晶体管。

第二种命名方法是 CS × × #:

CS 代表场效应晶体管, × × 以数字代表型号的序号, # 用字母代表同一型号中的不同规格。

4. 场效应晶体管的参数

场效应晶体管的参数很多, 包括直流参数、交流参数和极限参数。

(1) 饱和漏源电流 I_{DSS}

饱和漏源电流是指耗尽型场效应晶体管工作于饱和区时, 栅—源极短路和 $U_{DS} > U_P$ (栅源电压 $U_{GS} = 0$) 时的漏源电流。通常按饱和漏源电流对场效应晶体管进行分档, 以便在实际中选用。图 2-75 所示为测量 I_{DSS} 所用电路。

(2) 夹断电压 U_P

夹断电压也称为截止栅压 $U_{GS(off)}$, 是耗尽型 MOS 管的重要参数, 指的是在 U_{DS} 等于某一定值, 使漏极电流 I_D 近似为零 (小于 $10\mu A$) 时, 栅极 G 和源极 S 之间所需的电压 U_{GS} 值。图 2-76 所示为测量 U_P 所用电路。

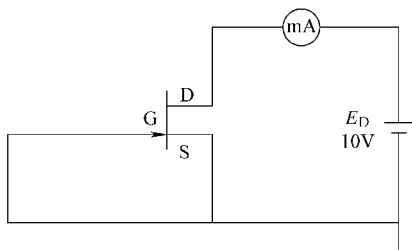


图 2-75 测量 I_{DSS} 电路

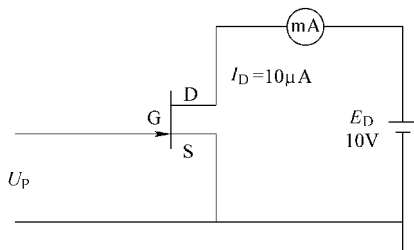


图 2-76 测量 U_P 电路

夹断电压 U_P 对场效应晶体管工作点的选择、饱和压降的确定非常重要。一般耗尽型场效应晶体管都有这项参数, 增强型场效应晶体管则没有这项参数。

(3) 开启电压 U_T

开启电压又称为阈值电压 $U_{GS(TH)}$, 是增强型 MOS 管的重要参数, 指的是在增强型绝缘栅场效应晶体管中, 使漏极 D 和源极 S 间导通的栅极电压, 是有明显漏极电流出现时的栅

极电压。图 2-77 所示为测量 U_T 所用电路。耗尽型场效应晶体管不存在开启问题, 故没有 U_T 这项参数。

(4) 直流输入电阻 R_{GS}

直流输入电阻是指漏—源极短路, 栅—源极加规定极性电压 U_{GS} 时, 栅—源极呈现的直流电阻值。它表示栅源电压和栅源电流之比, 电阻值很大, 结型场效应晶体管的 R_{GS} 值一般在 $10^7 \Omega$ 以上, MOS 管的 R_{GS} 值一般在 $10^9 \Omega$ 以上。

(5) 低频跨导 g_m

低频跨导又称为低频互导, 是指在漏—源极电压 U_{DS} 为定值条件下, 漏极电流微变量 ΔI_D 和引起这个变化的栅源电压微变量 ΔU_{GS} 之比。

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \Big|_{U_{DS} = \text{常数}}$$

g_m 表示栅极电压对漏极电流的控制能力, 是衡量场效应晶体管放大能力的重要参数。图 2-78 所示是测量 g_m 所用电路。

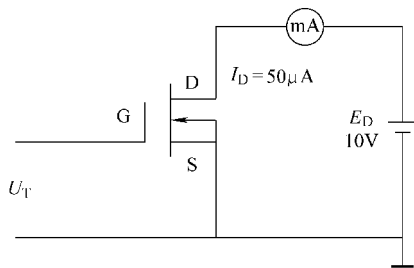


图 2-77 测量 U_T 电路

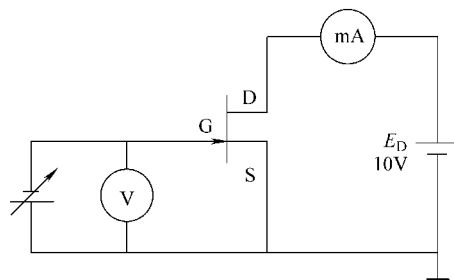


图 2-78 测量 g_m 电路

(6) 最大耗散功率 P_{DM}

最大耗散功率 $P_{DM} = U_{DS} I_D$, 与半导体晶体管的 P_{CM} 类似, 受管子最高工作温度的限制。

(7) 漏源击穿电压 $U_{(BR)DS}$

漏源击穿电压指漏极电流开始急剧增加时所对应的漏源电压。

(8) 截止频率 f_T

截止频率指共源电路中, 输出短路电流等于输入电流时的工作频率。

5. 使用注意事项

1) 在使用场效应晶体管时, 要注意漏源电压、漏源电流、栅源电压及耗散功率等值不能超过最大允许值。

2) 场效应晶体管从结构上看, 漏源两极是对称的, 可以互相调用, 但有些产品制作时已将衬底和源极在内部连在一起, 这时漏源两极不能对换用。

3) 注意各极电压的极性不能接错。

结型场效应晶体管的栅源电压不能反接, 但可以在开路状态下保存。

绝缘栅型场效应晶体管的栅源两极绝不允许悬空, 因为栅源两极如果有感应电荷, 就很难泄放, 电荷积累会使电压升高, 而使栅极绝缘层击穿, 造成场效应晶体管损坏。因此要在栅源间绝对保持直流通路, 保存时务必用金属导线将 3 个电极短接起来。在焊接时, 烙铁外壳必须接电源地端, 以防止由于烙铁带电而损坏管子, 并在烙铁断开电源后再焊接栅极 G,

以避免交流感应将栅极 G 击穿，并按源极 S、漏极 D、栅极 G 的顺序焊好之后，再去掉各极的金属短接线。

4) 结型场效应晶体管可用万用表定性检查管子的质量，而绝缘栅型场效应晶体管则不能用万用表检查，必须用测试仪，测试仪需有良好的接地装置，以防止绝缘栅击穿。

5) 在输入电阻较高的场合使用时应采取防潮措施，以免输入电阻降低。陶瓷封装的“芝麻管”具有光敏特性，应注意使用。

6. 场效应晶体管的检测

(1) 结型场效应晶体管的检测

1) 电极的判别。判断结型场效应晶体管的栅极 G 和管型：根据 PN 结正、反向电阻值不同的现象可以很方便地判别出结型场效应晶体管的栅极 G、漏极 D、源极 S。

使用万用表的“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，用黑表笔接触管子的某一电极，用红表笔依次接触管子的另外两个电极，若两次测得的电阻值都很小（几百欧姆），则黑表笔所接触的电极是栅极 G（结型场效应晶体管的漏极 D、源极 S 可互换），而且是 N 沟道的结型场效应晶体管。如果换红表笔接触管子的某一电极进行相同方法测试，测得电阻值都很小，则红表笔所接触的电极是栅极 G，而且是 P 沟道的结型场效应晶体管。在测量中如出现两次所测阻值相差悬殊，则需改换电极重测。

判断结型场效应晶体管的好坏：使用万用表的“ $R \times 1k\Omega$ ”挡测 P 沟道结型场效应晶体管，用红表笔接触源极 S 或漏极 D，黑表笔接触栅极 G 时，测得的电阻值应该很大，接近无穷大；如交换表笔重测，测得的电阻值很小（几百欧姆），则表明场效应晶体管是好的。当栅极 G 与源极 S、栅极 G 与漏极 D 间均无反向电阻时，表明场效应晶体管是坏的。

2) 放大倍数的测量。将万用表置于“ $R \times 1k\Omega$ ”或“ $R \times 100\Omega$ ”挡，两只表笔分别接触漏极 D 和源极 S，用手靠近或接触栅极 G，此时表针应向右摆，且摆动幅度越大，放大倍数越大。

对 MOS 管来说，为防止栅极 G 击穿，一般测量前先在其栅—源极间接一只几兆欧的大电阻，然后再按上述方法测量。

(2) MOS 场效应晶体管的检测

使用万用表“ $R \times 100\Omega$ ”挡，用红、黑表笔依次轮换测量各引脚间的电阻值，只有源极 S 和漏极 D 两极间的电阻值在几十欧至几千欧之间，其余各极间的电阻值均为无穷大。这样找到源极 S 和漏极 D 之后，再交换表笔测量这两个电极间的电阻值，在测得阻值较大的那次，黑表笔所接的为漏极 D，红表笔所接的为源极 S。

将万用表置于“ $R \times 100\Omega$ ”挡，测量源极 S 和漏极 D 之间的电阻值。正常时，一般在几十欧到几千欧之间，不同型号的 MOS 场效应晶体管略有差异。当用黑表笔接漏极 D，红表笔接源极 S 时，电阻值要比红表笔接漏极 D，黑表笔接源极 S 时所测得的电阻值大些。这两个电极之间的电阻值若大于正常值或为无穷大，则说明 MOS 场效应晶体管存在内部接触不良或内部断极；若接近于零，则说明内部已被击穿。

测量其余各引脚间的电阻。将万用表置于“ $R \times 10k\Omega$ ”挡，两表笔不分正负，测得栅极间、栅源极间、栅漏极间的电阻值。正常时，这些电阻值均应为无穷大。若阻值不是无穷大，则证明被测场效应晶体管已经损坏。这种方法对于内部电极开路性故障是无法判断的。

7. 场效应晶体管在电子技术中的应用

驻极体话筒的内部结构及应用电路如图 2-79 所示, 由图 2-79a、b 可知, 在话筒内部使用一只结型场效应晶体管 (如 K596) 对拾取的声音进行放大。在图 2-79c 中, 虚线框内为驻极体话筒内部电路, 虚线框外为外电路。

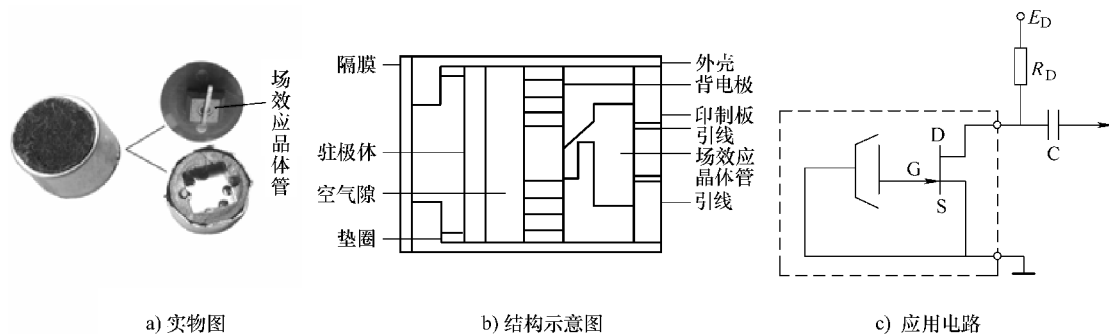


图 2-79 驻极体话筒内部结构及应用电路

话筒内部使用一只结型场效应晶体管的好处是:

- 1) MOS 管的温度稳定性好。
- 2) MOS 管的输入电阻极高, 可高达 $10^{10} \Omega$ 以上, 因此 MOS 管对前级的放大能力影响极小。
- 3) MOS 管的输入电阻极高, 所以一旦栅极 G 上感应少量电荷, 就很难释放掉。感应的少量电荷会产生很高的电压, 将绝缘层击穿, 损坏 MOS 管。因此使用 MOS 管时要特别小心。尤其是焊接 MOS 管时, 电烙铁外壳要良好接地。MOS 管存放时, 应使 MOS 管栅极 G 与源极 S 短接, 避免栅极 G 悬空。
- 4) MOS 管在结构上是对称的, 所以源极 S 和漏极 D 可以互换使用。但要注意, 分立元器件的 MOS 管, 有时已将衬底和源极 S 在管内短接, 漏极 D 和源极 S 就不能互换使用了。

2.4 选用及检测晶闸管

晶体闸流管简称晶闸管, 俗称可控硅 (SCR), 晶闸管是在晶体管基础上发展起来的一种大功率半导体器件, 在电路中能够实现以小电流控制大电流, 由于是无触点控制, 可快速接通或切断电路, 因而不会像继电器那样控制时有火花产生, 而且动作快、寿命长、可靠性好, 主要用于整流、逆变、调压、开关四大方面。晶闸管是一种功率型半导体器件, 它的出现使半导体器件由弱电领域扩展到强电领域, 使弱电对强电的控制得到了很大的发展。当前在调光、调温、调压、电机调速、变频、变流以及其他各种控制电路中广泛应用。在家电中主要用于交、直流无触点开关、台灯调光、电扇调速、彩色电视机过电压保护等。

晶闸管除了具有二极管的单向导电性, 能把交流电信号转换成直流脉冲电信号外, 还能进行可控整流, 即能控制直流电的大小, 也可以把直流电变换成交流电, 或把某一频率的交流电源变换成频率可调、电压可调的交流电。

1. 晶闸管分类

晶闸管主要分为单向晶闸管和双向晶闸管两种, 主要工作在开关状态, 具有能够承受高

电压、大电流的优点，常用于大电流场合下的开关控制，是实现无触点弱电控制强电的首选器件。

晶闸管分为单向和双向两种，符号也不相同。单向晶闸管由最外层的 P 极和 N 极引出两个电极，分别称为阳极和阴极，由中间的 P 极引出一个控制极。它是有 3 个 PN 结，由 P、N、P、N 四层半导体构成的器件，有 3 个电极，阳极 A、阴极 K 和控制极 G。双向晶闸管对应的引脚为 T_1 、 T_2 和 G。几种常见晶闸管的实物外形如图 2-80 所示。

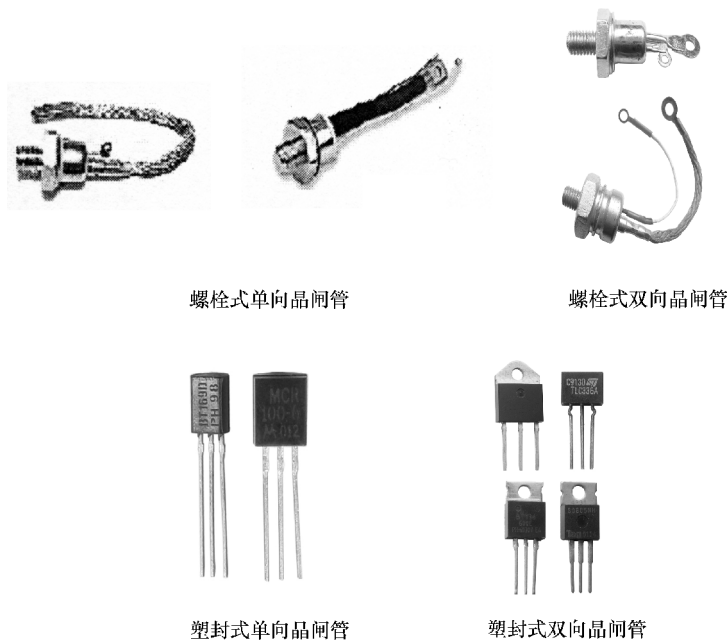


图 2-80 晶闸管

2. 单向晶闸管

单向晶闸管（全称为反向阻断三极晶体闸流管）是一种导通时间可以控制的、具有单向导电性能的可控整流器件，如图 2-81 所示。

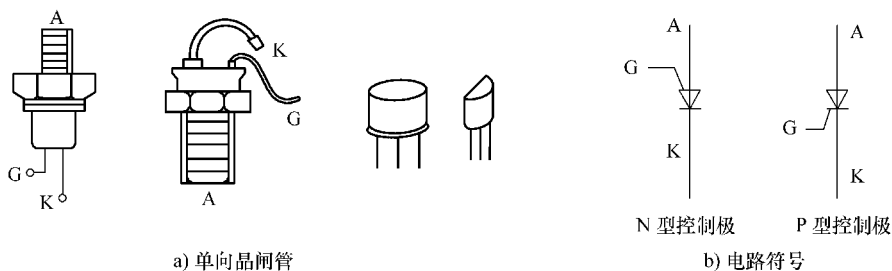


图 2-81 单向晶闸管的符号和外形

只要控制极通过毫安级的电流就可以触发器件导通，器件中可以通过较大电流。利用这种特性单向晶闸管可用于整流、开关、变频、调速、调温等自动控制电路中。

单向晶闸管像二极管一样，只能正向导通电流，但和二极管的根本区别是，它的导通是可控的，或者说是有条件的。图 2-82 所示为单向晶闸管导电实验示意图。先闭合开关 S，

然后再断开, 观察灯泡的变化, 说明此现象, 解释晶闸管的“触发导通”特性。

晶闸管由阻断到导通必须同时具备两个条件: 晶闸管的阳极 A 与阴极 K 之间加正向电压, 控制极 G 与阴极 K 之间加正向触发电压, 而晶闸管从截止到导通后, 触发电压就失去了作用。

晶闸管的关断条件: 要使晶闸管从导通到关断, 可减小阳极 A 与阴极 K 之间的阴极电流, 使之小于维持电流或使阳极电压方向或断开主电路。

根据单向晶闸管的“触发导通”特性, 可将其用于可控整流、彩灯控制、调光、调速和无触点开关电路等。单向晶闸管的工作过程如图 2-83 所示。

3. 双向晶闸管

双向三极晶闸管简称双向晶闸管, 双向晶闸管只用一个控制极, 可以控制晶闸管的正向或反向导通。它是一种理想的交流开关器件, 可广泛用于交流电动机、交流开关、交流调速、交流调压等电路中, 如图 2-84 所示。

它的主电极 T_1 、 T_2 无论加正向电压还是加反向电压, 即其控制极 G 的触发电压无论是正向还是反向, 它都能被触发导通, 图 2-85 所示为双向晶闸管工作过程图。双向晶闸管广泛应用于变频、调压电路、调温、调光、调速电路、电扇、洗衣机、空调控制电路和其他控制电路。

4. 可关断晶闸管

当门极加负触发信号时, 可关断晶闸管能自动关断, 它不仅保持了晶闸管控制大电流的闸流能力, 又具有可控关断的能力, 如图 2-86 所示。

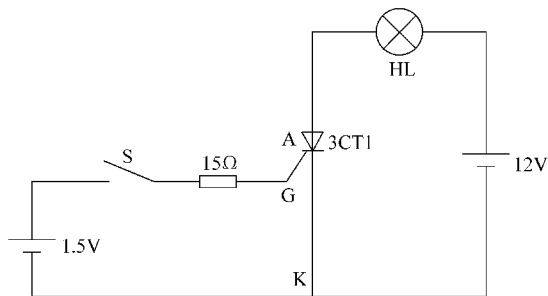


图 2-82 单向晶闸管导电实验示意图

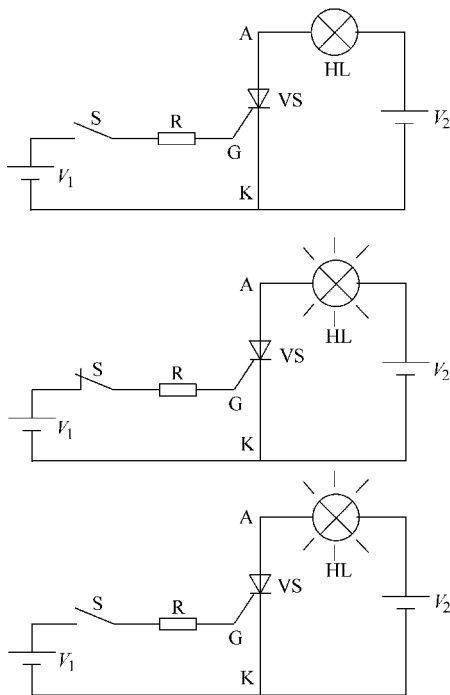


图 2-83 单向晶闸管工作过程图

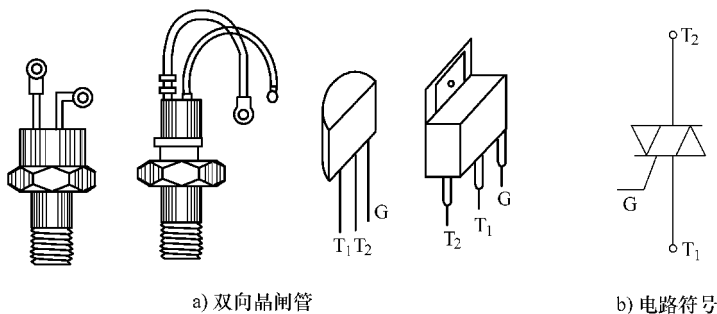


图 2-84 双向晶闸管结构和符号

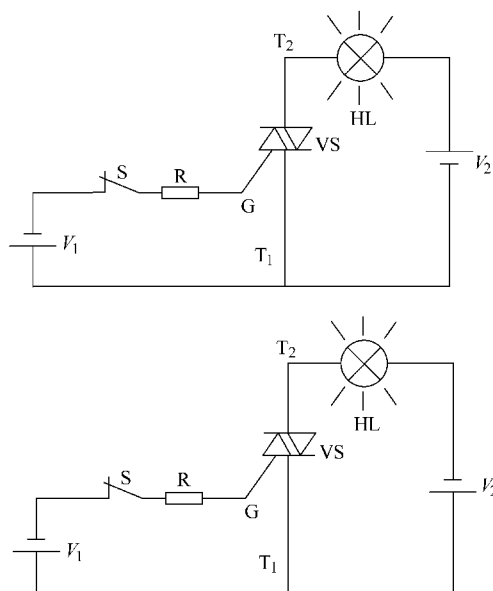


图 2-85 双向晶闸管工作过程图

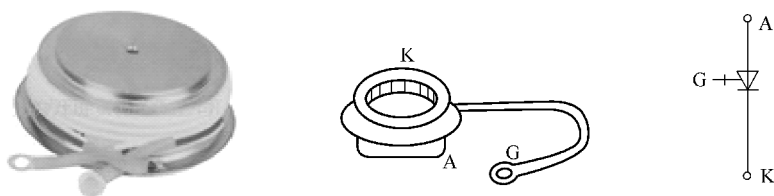


图 2-86 可关断晶闸管

5. 晶闸管的主要参数

(1) 额定正向平均电流 I_T

额定正向平均电流为在规定条件下, 阳极 A 和阴极 K 间可以连续通过的 50Hz 正弦半波电流的平均值, 结温稳定并不超过额定值。在选择晶闸管时, 通常选 I_T 应大于正常工作平均电流的 1.5 ~ 2 倍, 以留有余地。

(2) 维持电流 I_H

维持电流是指在规定环境温度条件下, 撤销触发电压后, 能维持晶闸管导通的最小正向电流。例如 $I_H = 20\text{mA}$, 表示当导通电流小于 20mA 时, 晶闸管就会由导通状态转变为阻断状态。

(3) 浪涌电流 I_{FSM}

浪涌电流是指晶闸管所能承受的最大过载电流。

(4) 正向 (反向) 阻断电压 U_{DRM}

正向 (反向) 阻断电压是指晶闸管在正向阻断时, 可重复加在阳极—阴极间最大的正向峰值电压。如果加在阳极—阴极间的正向电压大于 U_{DRM} , 晶闸管就会承受不了而被击穿损坏。使用中加在阳极—阴极的正向电压应小于 U_{DRM} 。在实际应用中, 选用 U_{RRM} 一定要大于交流电的反向峰值电压, 才能保证晶闸管安全可靠的工作。

U_{DRM} 为转折电压减去 100V 后的电压值, 使用时正向电压不允许超过此值。

(5) 控制极触发电压电流

控制极触发电压电流是在规定条件下使晶闸管导通所必需的最小控制极直流电压电流值, 一般情况下, 控制极电压不超过 10V, 电流不超过 1A。

(6) 导通时间

导通时间是从控制极 G 加上信号到阳极 A 电流上升到最终值的 90% 所需要的时间, 包括延迟时间, 为阳极电流上升到 10% 时间; 上升时间, 为从 10% ~ 90% 所需要的时间。

(7) 关断时间

关断时间是从切断正向电流到控制极 G 恢复控制能力所需要的时间。

(8) 控制极触发电压 U_{GT}

控制极触发电压是指在规定环境温度下, 阳极—阴极间加一定正向电压时, 能使晶闸管从阻断转变为导通所需的最小控制极正向电压。

(9) 控制极触发电流 I_{GT}

控制极触发电流是指在规定环境温度下, 阳极—阴极间加一定正向电压时, 能使晶闸管从阻断转变为导通所需的最小控制极正向电流。

6. 晶闸管的测量、质量判断方法与技巧

使用万用表 “ $R \times 100\Omega$ ” 挡或 “ $R \times 10\Omega$ ” 挡, 两表笔循环接触晶闸管任意两个电极, 总有一次阻值是小的, 此时, 黑表笔对应的电极就是控制极 G, 红表笔接的电极是阴极 K, 剩余的便是阳极 A。

晶闸管正常时控制极 G 与阴极 K 的正向电阻为几千欧, 反向电阻为几百千欧, 控制极 G 与阳极 A 的正反向电阻均为无穷大。若测得控制极 G 与阳极 A 的正反向电阻均很小, 则说明控制极 G 与阳极 A 已击穿; 若测得控制极 G 与阳极 A 与阴极 K 之间的正反向电阻都很小, 则表明可控硅也已击穿。

7. 晶闸管在电子技术中的应用

晶闸管是一种开关器件, 是 “以小控大” 的功率 (电流) 型器件, 被广泛应用于电子电工的各个领域。

应用实例: 开关电源过电压保护电路。

彩电开关电源都设有保护电路, 其保护方式一般是使电路停振, 有过电流保护、过电压保护和欠电压保护 (短路保护) 等。某种开关电源的过电压保护电路如图 2-87 所示, 电压的采样点取自主负载供电电压, 通过一个齐纳二极管 (稳压二极管) 来进行采样判别。一旦过电压, 齐纳二极管被击穿, 晶闸管导通, 通过线圈将主电源短路, 起到保护作用。

8. 晶闸管在电力中的应用

应用实例: 双向晶闸管调速电路。

实际应用的电风扇调速电路实物图及应用电路如图 2-88 所示。图 2-88b 中虚线框内的电路为晶闸管调速电路, M 为电风扇电动机。在实际应用中也可将电动机换成电灯或电热元件进行调光或调温。

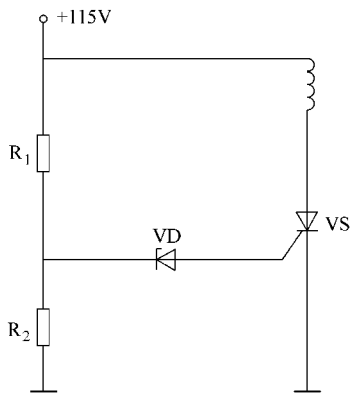


图 2-87 开关电源过电压保护电路

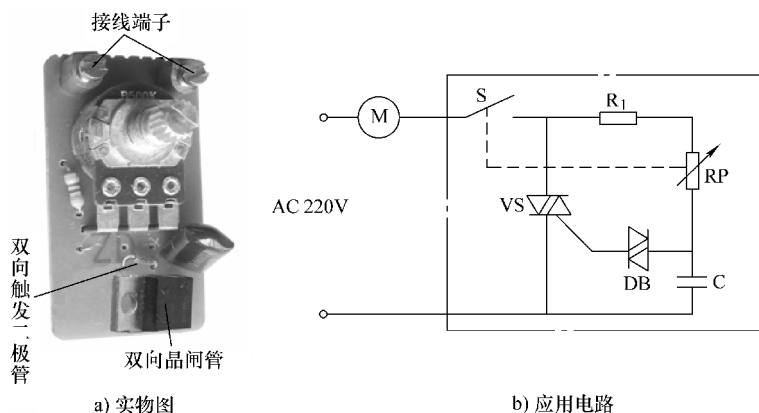


图 2-88 电风扇调速电路实物及应用电路

2.5 选用显示器件

显示器件种类很多,有发光二极管显示器件 (Light Emitting Diode, LED),它是由半导体材料制成的,能将电信号转换成光信号的发光器件;还有液晶显示器件 (Liquid Crystal Display, LCD) 和液晶显示模块 (LCD Module, LCM)。显示器件是显示装置的关键器件,决定了显示装置的性能。

目前发光显示器件主要有两大类:一类是数码显示器件 (LED),是主动发光器件,主要有七段数码显示器件和点阵显示器件;另一类是液晶显示器件 (LCD),是被动显示器件,靠反差显示文字和图形,主要有点阵显示器件及专用图形符号的显示器件。LED 和 LCD 工作电压低、工作电流小 (LED 的工作电流只有几毫安、LCD 的工作电流只有几微安),并且易于与集成电路连接。LED 颜色多,亮度高。新型的 LCD 有彩色和背景光,显示效果也不错。正因为其优点突出,所以发展速度很快,应用范围也较广。

1. LED 的电参数和伏安特性

(1) 电参数

1) 发光强度 I_v 指法线 (对圆柱形发光管是指其轴线) 方向上的发光强度。若在该方向上辐射强度为 $1/683$ (W/sr),则称为发光 1 坎德拉 (符号为 cd)。由于一般 LED 的发光强度小,所以发光强度常用毫坎德拉 (mcd) 作单位。

2) 光谱分布和峰值波长。该发光管所发光之中某一波长 λ_0 的光强最大,则该波长为峰值波长。图 2-89 所示为光谱分布和峰值波长。

3) 半值角 $1/2$ 是指发光强度值为轴向强度值一半的方向与发光轴向 (法向) 的夹角。

4) 光谱半宽度 $\Delta\lambda$ 表示发光管的光谱纯度。

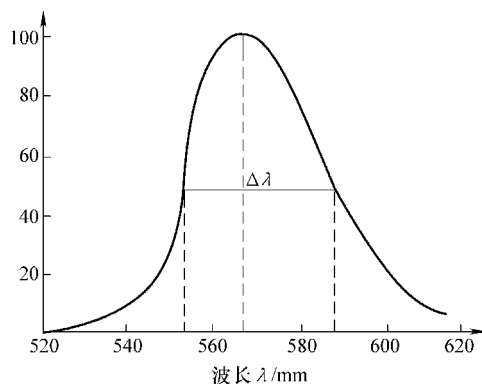


图 2-89 光谱分布和峰值波长

5) 视角 (或称半功率角) 为半值角的 2 倍。

图 2-90 所示为两支不同型号 LED 发光强度角分布的情况。中垂线 (法线) 的坐标为相对发光强度 (即发光强度与最大发光强度之比)。显然, 法线方向上的相对发光强度为 1, 离开法线方向的角度越大, 相对发光强度越小。由此图可以得到半值角或视角值。

(2) 正向工作电流 I_F

正向工作电流是指 LED 正常发光时的正向电流值, 在实际使用中应根据需要选择, I_F 应在 $0.6I_{Fm}$ 以下, 图 2-91 是 LED 的电压与电流的伏安特性。在正向电压值小于阈值时, 电流极小, 不发光; 当电压超过阈值后, 正向电流随电压迅速增加, 并且发光。由伏安曲线可以得出 LED 的正向电压, 反向电流及反向电压等参数, LED 反向漏电流 $I_R < 10\mu A$ 。

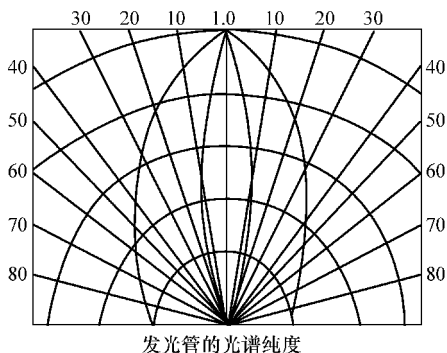


图 2-90 发光强度角分布

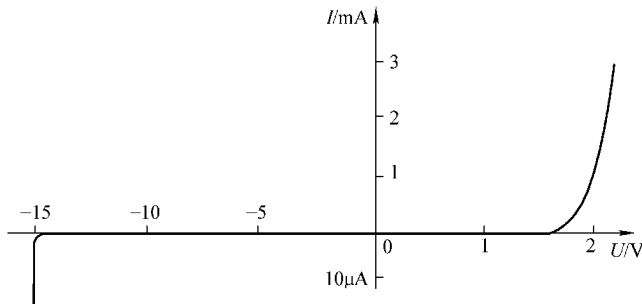


图 2-91 LED 的电压与电流的伏安特性

2. 数码管构造和显示原理

数码管是目前最常用的一种数显器件, 它由 LED 发展而来。把 LED 制成条状, 再按一定方式连接, 组成数字“8”, 就构成 LED 数码管。使用时按规定使某些笔段上的 LED 发光, 即可组成 0~9 的一系列数字。

(1) 数码管构造

LED 数码管分为共阳极与共阴极两种。共阳极 LED 数码显示器中各发光二极管的正极均连在一起, 作为公共阳极与电源正极相连, 内部结构如图 2-92a 所示。a~g 代表 7 个笔段的驱动端, 亦称笔段电极, DP 是小数点, ③脚与⑧脚内部连通, “+”表示公共阳极, “-”表示公共阴极。对于共阳极的 LED 数码管 (如图 2-92b 所示), 将 8 支 LED 的阳极 (正极) 短接后作为公共阳极, 实物图如图 2-92d 所示。

(2) 数码管显示原理

共阳极数码管的工作原理是: 当笔段电极接低电平, 公共阳极接高电平时, 相应笔段可以发光。共阴极 LED 数码管则与之相反, 它是将 LED 的阴极 (负极) 短接后作为公共阴极。当驱动信号一端为高电平、另一端接低电平时, 才能发光。LED 数码管一般通过集成电路驱动, 才能正常显示。

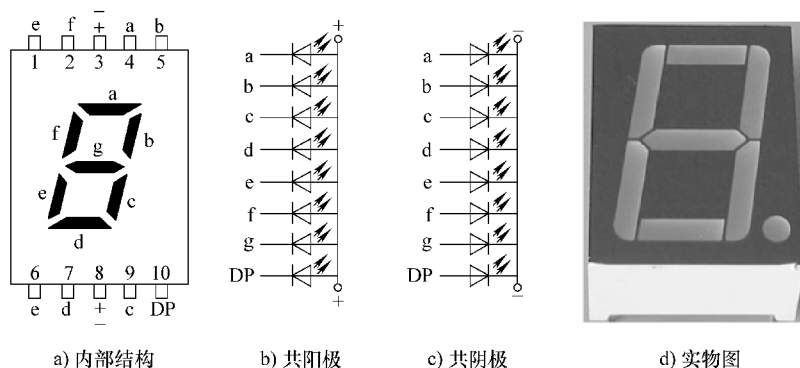
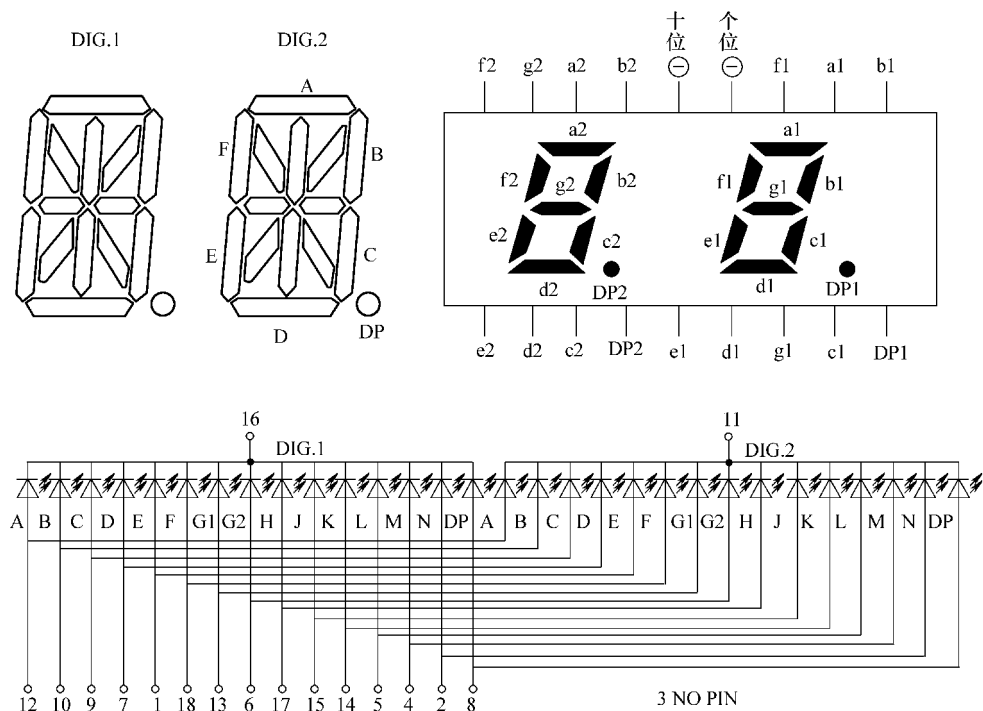


图 2-92 共阳极与共阴极数码管及内部结构图和实物图

(3) 双位 LED 数码显示管

数码管的种类还是很多的，双位 LED 数码显示管是将两只数码管封装成一体，如图 2-93 所示。其特点是结构紧凑、成本较低。

为简化外部引线数量和降低显示器功耗，多位显示的数码管一般采用动态扫描显示方式。其特点是将各位同一笔段的电极短接后作为一个引出端，并且各位数码管按一定顺序轮流发光显示。



两位共阴极数码显示器原理图

图 2-93 双位 LED 数码显示管

3. LCD 的分类、结构和工作原理

液晶 (Liquid Crystal) 是一种既具有液体流动性又有晶体光学特性的有机化合物，具有

晶体特有的双折射性和液体的流动性，在电场和温度作用下能产生各种电光效应和热光效应，其透明度和颜色受外加电场的控制。

(1) 黑白 LCD 的结构

将上、下两块具有透明电极的玻璃叠放（中间留有一定间隔），四周用封接胶封接。从注入口抽真空并注入液晶材料后密封。在玻璃的上下表面各贴上一片偏振方向相互垂直的偏振片，底部加反射板，如图 2-94 所示。

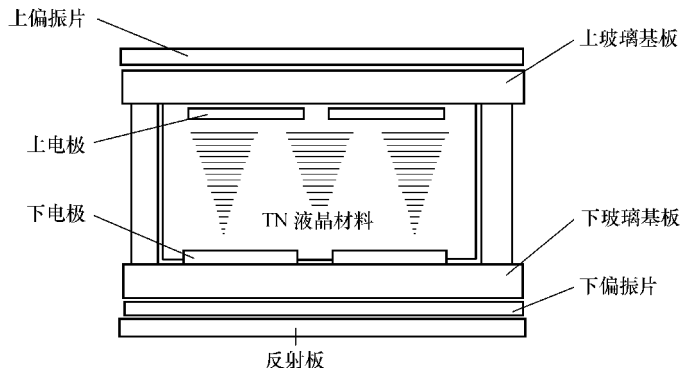


图 2-94 黑白 LCD

当入射光通过上偏振片（其偏振方向与上电极面液晶分子排列方向相同）形成偏振光射入液晶层时，其被液晶层扭转了 90° ，液晶盒为透明状态，可以看到反射板。

当液晶盒上、下两电极间加上一定的交流电压时，电极部位的液晶分子在电场的作用下会转变成与上、下玻璃面垂直的排列状态，液晶层失去旋光性，不能改变偏振光方向，因此看不到反射板，只能看到电极部位为黑色，而电极则可制成数字、字符或图形，如图 2-95 所示。

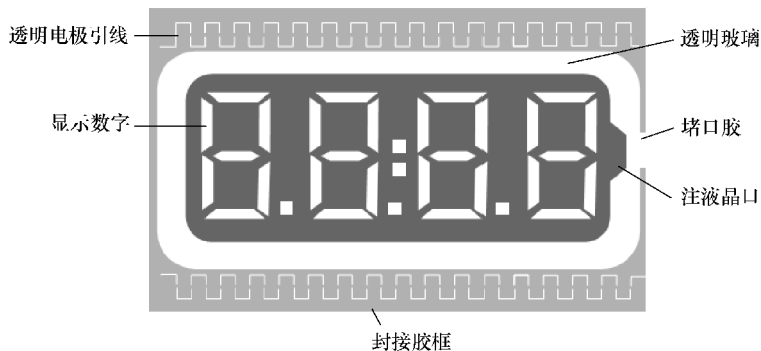


图 2-95 LCD 制成的字符

(2) 其他的 LCD 分类

LCD 按光电效应的物理方式不同可分为扭曲向列型（Twisted Nematic, TN）、超扭曲向列型（Super TN, STN）、双层超扭曲向列型（Dual Scan Tortuosity Nomograph, DSTN）和薄膜晶体管型（Thin Film Transistor, TFT）。

图 2-96 所示为扭曲向列型 LCD 的简易构造图，包括了垂直方向与水平方向的偏光板，

具有细纹沟槽的配向膜、液晶材料以及导电的玻璃基板。TN 的显像原理是将液晶材料置于两片贴附光轴垂直偏光板的透明导电玻璃间，液晶分子会依附向膜的细沟槽方向，按序旋转排列。如果电场未形成，光线就会顺利地从偏光板射入，液晶分子将向其行进方向旋转，然后从另一边射出。两片导电玻璃通电之后，玻璃间就会形成电场，进而影响其间液晶分子的排列，使分子棒进行扭转，光线便无法穿透，进而遮住光源。这样得到光暗对比的现象，称作扭转式向列场效应（Twisted Nematic Field Effect, TNFE）。

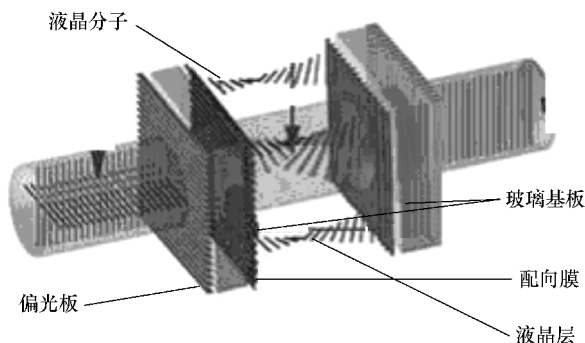


图 2-96 扭曲向列型

图 2-97 所示为超扭曲向列型液晶显示器的简易构造图，STN 与 TN 的基本显示原理都相同，只是液晶分子的扭曲角度不同而已，STN 的液晶分子扭曲角度为 180° 甚至 270° ，TN 的液晶分子扭曲角度为 90° 。从液晶显示原理来看，STN 的原理是通过电场改变原为 180° 以上扭曲的液晶分子的排列，达到改变旋光状态的目的。外加电场则通过逐行扫描的方式改变电场，因此在电场反复改变电压的过程中，每一点的恢复过程都较慢，这样就会产生余辉现象。用户能感觉到拖尾（余辉）现象，也就是一般俗称的“伪彩”。



图 2-97 超扭曲向列型

图 2-98 所示为双层超扭曲向列型液晶显示器的简易构造图，DSTN 与 TN 的基本显示原理都相同，只是液晶分子的扭曲角度不同而已，DSTN 的液晶分子扭曲角度为 180° 甚至 270° ，TN 的液晶分子扭曲角度为 90° 。扫描屏幕被分为上下两部分，CPU 同时并行对这两部分进行刷新（双扫描），这样的刷新频率虽然要比单扫描（STN）重绘整个屏幕快一倍，提高了占空率，改善了显示效果，但是当 DSTN 分上下两屏同时扫描时，上下两部分就会出现刷新不同步的问题。所以当内部电子元件的性能不佳时，显示屏中央可能会出现一条模糊的水平亮线。



图 2-98 双层超扭曲向列型

(3) LCD 的技术参数

1) 可视面积。LCD 所标示的尺寸就是实际可以使用的屏幕范围，一个 15.1in (1in = 2.54cm) 的 LCD 约等于 17in CRT 屏幕的可视范围。

2) 可视角度。LCD 的可视角度左右对称，而上下则不一定对称。当背光源的入射光通过偏光板、液晶及取向膜后，输出光便具备了特定的方向特性，也就是说，大多数从屏幕射出的光具备了垂直方向。

3) 点距等于可视宽度/水平像素 (或者可视高度/垂直像素)，即 $285.7\text{mm}/1024 = 0.279\text{mm}$ (或 $214.3\text{mm}/768 = 0.279\text{mm}$)。一般 14in LCD 的可视面积为 $285.7\text{mm} \times 214.3\text{mm}$ ，它的最大分辨率为 1024×768 。

4) 色彩度。LCD 重要的是色彩表现度，自然界的任何一种色彩都是由红、绿、蓝三种基本色组成的。LCD 面板上是由 1024×768 个像素点组成显像的，每个独立的像素色彩由红、绿、蓝 (R、G、B) 三种基本色控制。大部分 LCD 每个基本色 (R、G、B) 达到 6 位，即 64 种表现度，那么每个独立的像素就有 $64 \times 64 \times 64 = 262144$ 种色彩。也有使用所谓 FRC (Frame Rate Control) 技术以仿真的方式来表现出全彩画面的，也就是每个基本色 (R、G、B) 能达到 8 位，即 256 种表现度，那么每个独立的像素就有高达 $256 \times 256 \times 256 = 16777216$ 种色彩。

(4) 液晶显示模块 (LCM)

LCM 是一种将 LCD、连接件、集成电路、PCB 电路板、背光源和结构件装配在一起的组件，根据其构造和用途可分为以下几类。

1) 数显液晶模块。这是一种由段型 LCD 与专用的集成电路组装成一体的功能部件，只能显示数字和一些标识符号。段型 LCD 大多应用在便携、袖珍设备上。常见的数显 LCM 有以下几种：

① 计数模块。它是一种由不同位数的 7 段型 LCD 与译码驱动器，或再加上计数器装配成的计数显示部件。它具有记录、处理、显示数字的功能。一般来说，这种计数模块大都由斑马导电橡胶条、塑料 (或金属) 压框和 PCB 将 LCD 与集成电路装配在一起而成。其外引线端有焊点式、插针式、电路板插脚式几种。

② 计量模块。它是一种有多位段型 LCD 和具有译码、驱动、计数、A-D 转换功能的集成电路片组装而成的模块。由于所用的集成电路具有 A-D 转换功能，所以可以将输入的模拟量电信号转换成数字量显示出来。

③ 计时模块。将一个 LCD 与一块计时集成电路装配在一起就是一个功能完整的计时器。计时模块虽然用途很广,但通用、标准型的计时模块却很难在市场上买到,只能到电子钟表生产厂家选购或定购合适的表芯。计时模块和计数模块虽然外观相似,但它们的显示方式不同,计时模块显示的数字是由两位一组的数字组成的,而计数模块每位数字均是连续排列的。由于不少计时模块还具有定时、控制功能,因此这类模块被广泛装配到一些家电设备上,如收录机、CD 机、微波炉、电饭煲等电器。

2) 液晶点阵字符模块。液晶点阵字符模块是由点阵字符 LCD 和专用的行、列驱动器、控制器及必要的连接件、结构件装配而成的,可以显示数字和英文字符。这种点阵字符模块本身具有字符发生器,显示容量大,功能丰富。一般该种模块最少也可以显示 8 位 1 行或 16 位 1 行以上的字符。这种模块是由 5×7 、 5×8 或 5×11 的一组组像素点阵排列组成的。每组为 1 位,每位间有一点的间隔,每行间也有一行的间隔,所以不能显示图形。

3) 点阵图形液晶模块。这种模块也是点阵模块的一种,其特点是点阵像素连续排列,行和列在排布中均没有间隔。因此可以显示连续、完整的图形。由于它也是由 $X-Y$ 矩阵像素构成的,所以除显示图形外,也可以显示字符。

4. 显示器件的选用与检测

(1) 显示器件的选用

1) LED 数码显示器的选用。选用 LED 数码显示器时,应根据具体要求来选择合适的型号规格。外形尺寸、发光颜色、发光强度、额定功率、工作电流、工作电压及极性等均应符合应用电路的要求。选用共阳极还是共阴极应与其译码驱动电路相匹配。通常 LED 数码显示器后面的末位数字或型号前面的两位字母表示显示器的极性。

2) LCD 的选用。LCD 本身不发光,只能靠发射和吸收外界光来显示信息。选用时应根据不同用途来选择 LCD 的显示类型、数字位数及图像、字符的规格等,还应根据驱动电路的类型选择显示器与驱动电路的连接方式。

(2) 显示器件的检测

1) LED 数码显示器的检测。LCD 数码显示器的极性判断:对于标识不清的 LED 数码显示器,可以通过万用表“ $R \times 10k\Omega$ ”挡测量来确定极性。

测量时,将万用表的黑表笔外部串接到 1 节 1.5V 干电池的正极,干电池负极接到万用表的“-”端后(万用表内部电池实际的接法:红笔表接万用表内部电池负极,内部电池正极接黑表笔),黑表笔接数码管任一引脚不动,用红表笔依次触碰其余各引脚。若同一位数码管上的几个笔段均发光,则说明被测数码管为共阳极结构,黑表笔接的是该数码管的公共阳极。

若测量时各位数码管均不亮,则应对调表笔,即将红表笔串接 1 节 1.5V 干电池后(电池负极与红表笔相接,电池正极与万用表“+”极相接),接数码管的任一引脚不动,用黑表笔依次触碰其余各引脚。

若同一位数码管上各笔段均发光,则说明被测数码管显示器为共阴极结构,且红表笔接为该数码管的公共阴极。

检测已知极性的数码管:使用万用表“ $R \times 10k\Omega$ ”挡测量数码管内部 LED 的正、反向电阻值,即可判断其好坏。

将万用表的红表笔与数码管的公共端相接不动,用黑表笔依次去触碰其他各引脚,若触

碰那个引脚时,相应的笔段应发光,同时万用表的指针也会大幅度向右摆动。则该数码管时共阴极。如果不发光也不偏转,则把红黑表笔对调进行测试,若发光,指针也偏转,则该数码管为共阳极。

若测量数码管公共端与某引脚之间的正向电阻值为 0 或为无穷大(相应字段也不发光),则说明该数码管内部有 LED 击穿或开路损坏。

2) LCD 的检测。使用万用表“ $R \times 1\Omega$ ”挡测量,在黑表笔与万用表之间串接 1 节 1.5V 干电池(电池负极与万用表“-”极相接,电池正极与黑表笔相接),黑表笔接 LCD 的背电极,用红表笔依次接触各引脚,利用万用表内电池和外接的干电池来驱动显示器。正常的显示器,会显示出相应的段、位笔画(COM 公共电极除外)。

也可以用一段软导线,用左手手指接触 LCD 的公共电极,右手拿软导线,用导线一端的金属部分依次去触碰各笔画电极,利用交流电在软导线上产生的感应电压来驱动显示器。正常的 LCD 应能依次显示出相应的笔画来。

5. 显示器件的应用

(1) LED 发光器件的应用

LED 被广泛用于各种电子仪器和电子设备中,如微光源、电平指示或电源指示灯等。红外发光管常用于电视机、录像机等遥控器中。

由于 LED 的颜色、尺寸、形状、发光强度及透明情况等不同,所以使用 LED 时应根据实际需要进行恰当选择。由于 LED 具有最大正向电流 I_{Fm} 、最大反向电压 U_{Rm} 的限制,使用时应保证不超过此值。

1) 微光源。利用高亮度或超高亮度 LED 制作微型手电的电路如图 2-99 所示。图中电阻 R 是限流电阻,其值应保证电源电压最高时使 LED 的电流小于最大允许电流 I_{Fm} 。

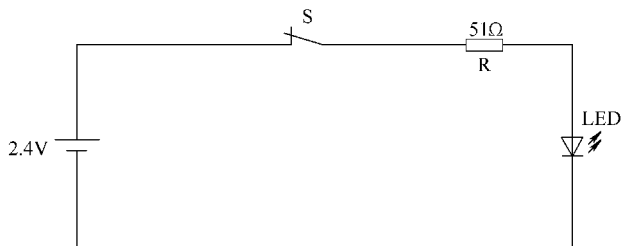


图 2-99 微型手电电路

2) 电平表。目前,在音响设备中大量使用 LED 电平表。它是利用多只 LED 指示输出信号电平的,即利用 LED 的不同数目,表示输出电平的变化。图 2-100 所示为由 5 只 LED 构成的电平表。当输入信号电平很低时,全不发光。当输入信号电平增大时,从 LED_1 开始依次发光。

3) LED 的几种特殊用法。LED 的特殊用法如图 2-101、图 2-102、图 2-103 和图 2-104 所示。图 2-101 所示为 LED 用以监视电池电压的应用电路。电路中稳压管 DW 稳压值应选电池额定电压 70% 左右。图 2-102 所示是将两只 LED 反向并联,用移相式晶闸管调压电路中代替双向触发二极管。

图 2-103 所示为 LED 工作指示电路,用于 220V、50Hz 市电中,作为电器工具作指示或熔丝熔断指示。图 2-104 所示为 LED 电源指示电路,用在固定输出三端稳压器电路中,用

以提升输出电压，并兼作电源指示。

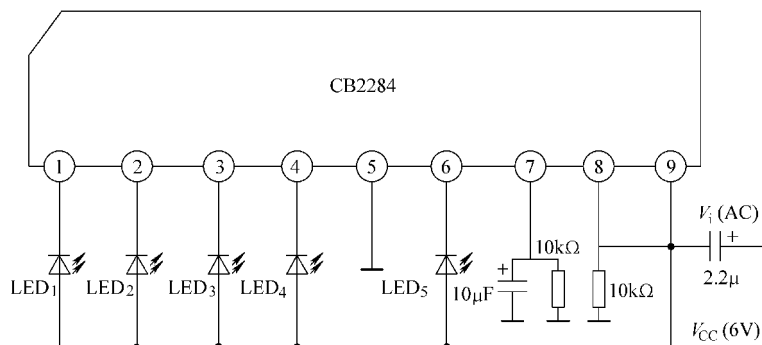


图 2-100 电平表

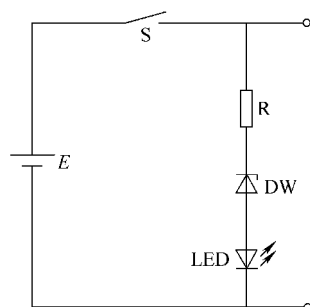


图 2-101 监视电池电压的电路

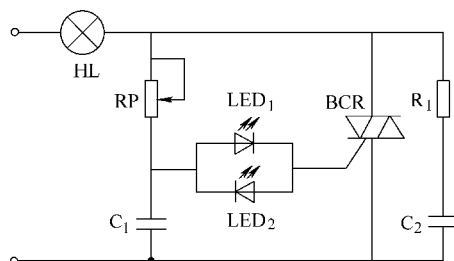


图 2-102 触发电路

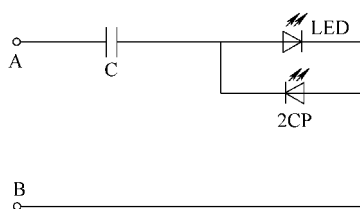


图 2-103 工作指示电路

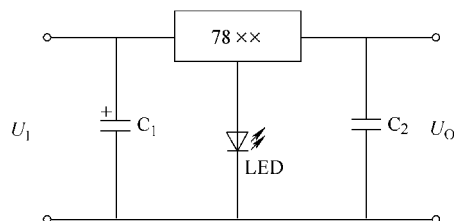


图 2-104 电源指示电路

(2) LED 数码管的应用

由 LED 数码管和 LED 点阵组成的交通信号灯，应用在全国各个城市和乡镇交通路口上，发挥着重要的作用。它采用四元素超高亮 LED、恒流供电，电压适应范围宽。它外观美观轻盈，使用超薄双重密封结构和全 PC 灯箱体，坚固耐用、横竖安装简便，信号灯芯也可任意变换。它具有光强高、衰减少、寿命长、可靠性高、稳定性强、耐温性好、防护性能好等优点。

(3) LCD 的应用

LCD 是一种新型显示器件，已广泛应用于液晶电子表、计算器、液晶电视机、数字万用表、笔记本式计算机、手机等电子产品。其发展速度之快，应用范围之广，已远远超过其他发光型显示器件。

2.6 选用继电器

继电器 (Relay) 是一种电控制器件, 是当输入量 (激励量) 的变化达到规定要求时, 在电气输出电路中使被控量发生预定的阶跃变化的一种电器。它具有控制系统 (又称输入回路) 和被控系统 (又称输出回路) 之间的互动关系。通常应用于自动化的控制电路中, 继电器实际上是用较小电流去控制较大电流的一种自动开关, 在电路中主要用做控制和转换电路的自动控制器件, 广泛应用于电子设备中, 在电路中起着自动调节、转换电路、安全保护等作用。常用的继电器有电磁继电器和固态继电器, 如图 2-105 所示。

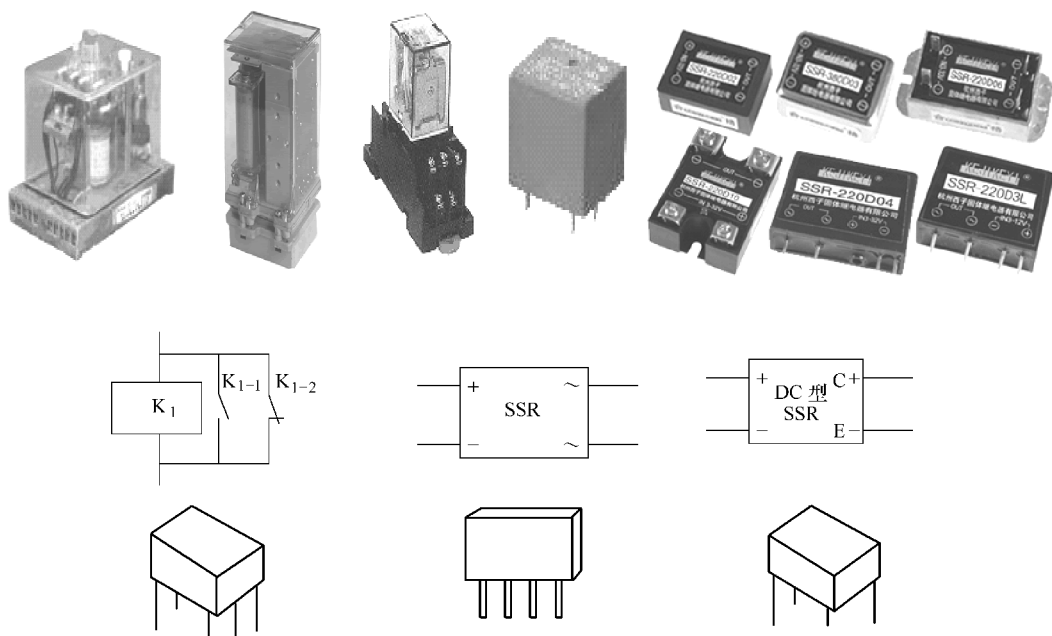


图 2-105 常用的继电器

因为继电器是由线圈和触点组两部分组成的, 所以继电器在电路中的图形符号也包括两部分: 一个长方框表示线圈; 一组触点符号表示触点组合。当触点不多, 电路比较简单时, 往往把触点组直接画在线圈框的一侧, 这种画法叫集中表示法, 如图 2-106 所示。

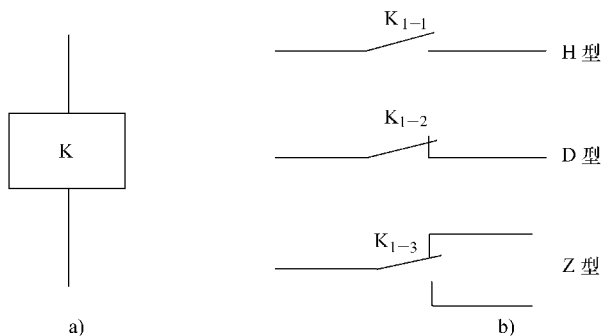


图 2-106 继电器在电路图中的图形符号

继电器线圈在电路中用一个长方框符号表示, 如果继电器有两个线圈, 就画两个并列的

长方框。同时在长方框内或长方框旁标上继电器的文字符号“J”。继电器的触点有两种表示方法：一种是把它们直接画在长方框一侧，这种表示法较为直观。另一种是按照电路连接的需要，把各个触点分别画到各自的控制电路中，通常在同一继电器的触点与线圈旁分别标注上相同的文字符号，并将触点组编上号码，以示区别。继电器的触点有三种形式，常开触点（用 H 表示）、常闭触点（用 D 表示）、转换触点（用 Z 表示）。常开触点的继电器在不通电的时候两个触点是断开的，常闭触点则相反。

继电器一般都有能反映一定输入变量（如电流、电压、功率、阻抗、频率、温度、压力、速度、光等）的感应机构（输入部分）；有能对被控电路实现“通”、“断”控制的执行机构（输出部分）；在继电器的输入部分和输出部分之间，还有对输入量进行耦合隔离，功能处理和对输出部分进行驱动的中间机构（驱动部分）。部分常用继电器的型号命名法如表 2-8 所示。

表 2-8 部分常用继电器的型号命名法

第一部分		第二部分				第三部分		第四部分	第五部分	
主称		产品分类				形状特征		符号	防护特性	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		符号	意义
J	继电器	R	小功率	S	时间	X	小型	数字	F	封闭式
		Z	中功率	A	舌簧	C	超小型		M	密封式
		Q	大功率	M	脉冲	Y	微型			
		C	电磁	J	特种					
		V	温度							

在实际应用中人们根据触点负荷不同又把它分成 4 类：

- 1) 微功率继电器：接通电压为 28V 时，负载电流小于 0.2A。
- 2) 小功率继电器：接通电流为 0.5 ~ 2A。
- 3) 中功率继电器：接通电流为 2 ~ 10A。
- 4) 大功率继电器：接通电流为 10 ~ 40A。

1. 继电器的分类

电子产品中常用的继电器有以下几种：

(1) 电磁继电器

电磁继电器一般由铁心、线圈、衔铁、触点簧片等组成的。

只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁感应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁心，从而带动衔铁的动触点与静触点（常开触点）吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力下返回原来的位置，使动触点与原来的静触点（常闭触点）释放。这样吸合、释放，从而达到在电路中导通、切断的目的。对于继电器的常开、常闭触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时处于断开状态的静触点，称为常开触点；处于接通状态的静触点称为常闭触点。继电器一般有两股电路，为低压控制电路和高压工作电路。

电磁继电器一般分交流与直流两大类，利用电磁吸力工作。电磁继电器的实物外形和内部结构如图 2-107 所示。



图 2-107 电磁继电器

(2) 热敏干簧继电器

热敏干簧继电器是一种利用热敏磁性材料检测和控制温度的新型热敏开关。它由感温磁环、恒磁环、干簧管、导热安装片、塑料衬底及其他一些附件组成。热敏干簧继电器不用线圈励磁，而由恒磁环产生的磁力驱动开关动作。恒磁环能否向干簧管提供磁力是由感温磁环的温控特性决定的。热敏干簧继电器实物外形如图 2-108 所示。

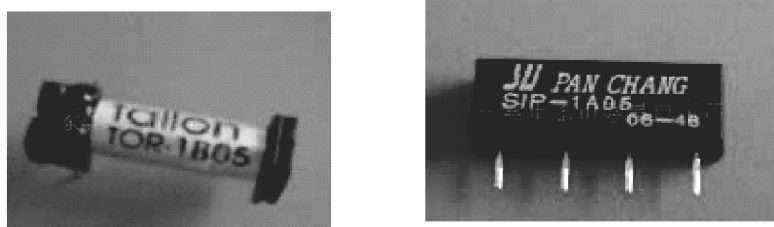


图 2-108 热敏干簧继电器

(3) 磁簧继电器

磁簧继电器以线圈产生磁场使磁簧管动作，是一种线圈传感装置。因此磁簧继电器具有尺寸小、质量轻、反应速度快、跳动时间短等特性。

当整块铁磁金属或者其他导磁物质与之靠近时，发生动作，开通或者闭合电路。磁簧继电器由永久磁铁和干簧管组成，永久磁铁、干簧管固定在一个不导磁也不带有磁性的支架上，以永久磁铁的南北极的连线为轴线，这个轴线应该与干簧管的轴线重合或者基本重合，由远及近地调整永久磁铁与干簧管之间的距离，当干簧管刚好发生动作（对于常开的干簧管，变为闭合；对于常闭的干簧管，变为断开）时，将磁铁的位置固定下来。这时，当有整块导磁材料，例如铁板，同时靠近磁铁和干簧管时，干簧管会再次发生动作，恢复到没有磁场作用时的状态；当该铁板离开时，干簧管即发生相反方向的动作。磁簧继电器结构坚固，触点为密封状态，耐用性高，可以作为机械设备的位置限制开关，也可以用来探测铁制门、窗等是否在指定位置。

(4) 时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理或机械原理实现延时控制的控制电器，是有时间控制作用的继电器，其实物外形如图 2-109 所示。

时间继电器大体可分为通电延时型和断电延时型两种。它的具体种类有很多，如空气阻

尼型、电动型和电子型等。

在交流电路中常采用空气阻尼型时间继电器,它是利用空气通过小孔节流的原理来获得延时动作的。它由电磁系统、延时机构和触点三部分组成。

空气阻尼型时间继电器的延时范围大(有0.4~60s和0.4~180s两种),它结构简单,但准确度较低。

当线圈通电(电压规格有AC380V、AC220V或DC220V、DC24V等)时,衔铁及托板被铁心吸引而瞬时下移,使瞬时动作触点接通或断开。但是活塞杆和杠杆不能同时跟着衔铁一起下落,因为活塞杆的上端连着气室中的橡皮膜,当活塞杆在释放弹簧的作用下开始向下运动时,橡皮膜随之向下凹,上面空气室的空气变得稀薄而使活塞杆受到阻尼作用开始缓慢下降。经过一定时间,活塞杆下降到一定位置,便通过杠杆推动延时触点动作,使动断触点断开,动合触点闭合。从线圈通电到延时触点完成动作,这段时间就是继电器的延时时间。延时时间的长短可以用螺钉调节空气室进气孔的大小来改变。

吸引线圈断电后,继电器依靠恢复弹簧的作用而复原,空气经出气孔被迅速排出。

(5) 高频继电器

高频继电器专用于转换高频电路并能与同轴电缆匹配。

(6) 控制继电器

按输入参量不同,控制继电器有温度继电器、热继电器、光继电器、声继电器、压力继电器等类别。

(7) 磁保持继电器

磁保持继电器是用极化磁场作用保持工作状态。

(8) 固态继电器

固态继电器是一种新型开关器件,是由固体电子元器件组成的无触点开关,简称SSR。

当施加触发信号时,主回路呈导通状态,无信号时呈阻断状态。它实际上是一种输入(控制信号)与输出隔离的电子开关,功能与电磁继电器相同。固态继电器是一种两个接线端为输入端,另两个接线端为输出端的四端器件,中间采用隔离器件实现输入、输出的电隔离。固态继电器实物外形如图2-110所示。

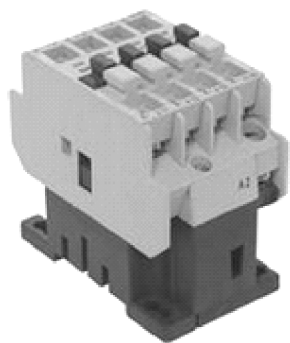


图 2-109 时间继电器

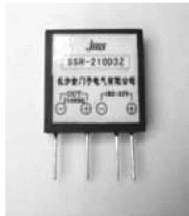


图 2-110 固态继电器

一般为有源器件,只要在输入端加上直流或脉冲信号,输出端就能进行开关的通断转换,实现了相当于电磁继电器的功能,多端固态继电器如图2-111所示。

(9) 光继电器

光继电器为 AC/DC 并用的半导体继电器，是发光器件和受光器件一体化的器件。输入侧和输出侧电气性绝缘，但信号可以通过光信号传输。其特点为寿命为半永久性、微小电流驱动信号、高阻抗绝缘耐压、超小型、光传输、无接点等。主要应用于量测设备、通信设备、保全设备、医疗设备等。

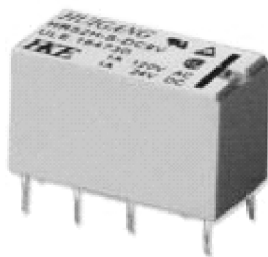


图 2-111 多端固态继电器

2. 电磁继电器的主要性能参数

(1) 额定工作电压或额定工作电流

额定工作电压或额定工作电流是指继电器工作时线圈需要的电压或电流，也就是控制电路的控制电压或电流。根据继电器的不同型号，额定工作电压可以是交流电压，也可以是直流电压，同种型号继电器的构造大体是相同的。为了适应不同电压的电路应用，同种型号的继电器通常有多种额定工作电压（3V、6V、12V、36V、8V…220V）或额定工作电流，并用规格型号加以区别。

(2) 直流电阻

直流电阻是指线圈的直流电阻。有些产品说明书中给出额定工作电压和直流电阻，这时可根据欧姆定律求出额定工作电流。若已知额定工作电流和直流电阻，则亦可求出额定工作电压。

(3) 吸合电流

吸合电流是指继电器能够产生吸合动作的最小电流。在实际使用中，给定的电流必须略大于吸合电流，这样继电器才能稳定地工作。要使继电器可靠吸合，给定电压可以等于或略高于额定工作电压，一般不要大于额定工作电压的 1.5 倍，否则会烧毁线圈。

(4) 释放电流

释放电流是指继电器能够产生释放动作的最大电流。如果减小处于吸合状态的继电器的电流，当电流减小到一定程度时，继电器恢复到未通电时的状态，那么这个过程就称为继电器的释放动作。释放电流比吸合电流小得多。

(5) 触点负荷

触点负荷是指断电器触点允许的电压或电流。它决定了继电器能控制电压和电流的大小，使用时不能用触点负荷小的继电器去控制大电流或高电压。

(6) 触点切换电压和电流

触点切换电压和电流是指继电器允许加载的电压和电流。它决定了继电器能控制电压和电流的大小，使用时不能超过此值，否则很容易损坏继电器的触点。

3. 电磁继电器测量、质量判别方法与技巧

磁型中间继电器导线过细，易断线，功耗小，温升高，不需外附大功率电阻，可任意安装，接线方便；继电器触点容量大，工作寿命长；继电器动作后有发光管指示，便于现场观察；延时只需用面板上的拨码开关整定，延时精度高，延时范围可在 0.02 ~ 5.00s 任意整定。

(1) 目测法技巧

先从外观上检查，一看继电器引脚有无断线、开路、生锈，二看线圈有无烧焦，常开、常闭触点接触与断开是否正常，带有铁心的继电器还要看它的铁心有无松动和破损。如有上

述现象,继电器的质量就存在问题,需用万用表测量。

(2) 测线圈电阻

可用万用表“ $R \times 10\Omega$ ”挡测量继电器线圈的阻值,从而判断该线圈是否存在开路现象。继电器线圈的阻值和它的工作电压及工作电流有非常密切的关系,通过线圈的阻值可以计算出它的使用电压及工作电流。

(3) 用万用表检测继电器常开、常闭触点的方法与技巧

万用表检测继电器常开、常闭触点的方法是:万用表选用“ $R \times 10k\Omega$ ”挡,万用表的两支表笔先测量常开触点,测得电阻值为无穷大,说明常开触点正常;如果测量的阻值不是无穷大,则说明常开触点没有断开,已损坏。再将万用表电阻挡调到“ $R \times 1\Omega$ ”挡,再去测量常闭触点,测得电阻值为零,说明常闭触点正常。如果测量的阻值不是零,则说明常闭触点没有闭合,接触不良或已损坏。

(4) 测量吸合电压和吸合电流

找来可调稳压电源和电流表,给继电器输入一组电压,且在供电回路中串入电流表进行监测。慢慢调高电源电压,听到继电器吸合声时,记下该吸合电压和吸合电流。为求准确,可以多试几次求平均值。

(5) 测量释放电压和释放电流

连接测试方法同(4),当继电器发生吸合后,再逐渐降低供电电压,当听到继电器发生释放声时,记下此时的电压和电流,亦可多试几次而求得平均的释放电压和释放电流。一般情况下,继电器的释放电压约为吸合电压的10%~50%,如果释放电压太小(小于吸合电压的10%)时则不能正常使用,否则会对电路的稳定性造成威胁使工作不可靠。

4. 继电器的选用

(1) 按使用环境选型

使用环境条件主要指温度(最大与最小)、湿度(一般指40℃下的最大相对湿度)、低气压(使用高度1000m以下可不考虑)、振动和冲击。此外,尚有封装方式、安装方法、外形尺寸及绝缘性等要求。由于材料和结构不同,继电器承受的环境力学条件各异,在超过产品标准规定的环境力学条件下使用,有可能损坏继电器,可按整机的环境力学条件或高一级的条件选用。

对电磁干扰或射频干扰比较敏感的装置周围最好不要选用交流电激励的继电器,应选用带线圈瞬态抑制电路的直流继电器。那些用固态器件或电路提供激励及对尖峰信号比较敏感的地方,也要选择有瞬态抑制电路的产品。

(2) 按输入信号不同确定继电器种类

按输入信号是电、温度、时间还是光信号,确定选用电磁、温度、时间还是光电继电器。这里特别说明电压、电流继电器的选用,若整机供给继电器线圈是恒定电流则应选用电流继电器,是恒定电压则选用电压继电器。

(3) 输入参量的选定

与用户密切相关的输入量是线圈工作电压(或电流),而吸合电压(或电流)则是继电器制造厂控制继电器灵敏度并对其进行判断、考核的参数。对用户来讲,它只是一个工作下极限参数值。控制安全系数是工作电压(电流)/吸合电压(电流),如果在吸合值下使用继电器是不可靠、不安全的,环境温度升高或处于振动、冲击条件下,会使继电器工作不可

靠。整机设计时,不能以空载电压作为继电器工作电压的依据,而应接入线圈作为负载来计算实际电压,特别是电源内阻较大时更是如此。当用晶体管作为开关器件控制线圈通断时,晶体管必须处于开关状态,对 DC 6V 以下工作电压的继电器来讲,还应扣除晶体管饱和压降。当然,并非工作值得越高越好,超过额定工作值太高会增加衔铁的冲击磨损,增加触点回跳次数,缩短电气寿命,一般工作值应为吸合值的 1.5 倍,工作值的偏差一般为 $\pm 10\%$ 。

(4) 根据负载情况选择继电器触点的种类和容量

国内外长期实践证明,继电器约 70% 的故障发生在触点上,这足见正确选择和使用继电器触点非常重要。

触点组合形式和触点组数应根据被控回路实际情况确定。动合触点组和转换触点组中的动合触点对由于接通时触点回跳次数少,并且在触点烧蚀后补偿量大,其负载能力和接触可靠性较动断触点组和转换触点组中的动断触点对要高,整机电路可通过对触点位置适当调整,尽量多用动合触点。

根据负载容量大小和负载性质(阻性、感性、容性、灯载及电动机负载)确定参数十分重要。认为触点切换负荷小一定比切换负荷大可靠是不正确的,一般来说,继电器切换负荷在额定电压下,电流大于 100mA、小于额定电流的 75% 最好。电流小于 100mA 会使触点积碳增加,可靠性下降,故 100mA 称作试验电流,是国内外专业标准对继电器生产厂工艺条件和水平的考核内容。由于一般继电器不具备低电平切换能力,因此在订购用于切换 50mV、50 μ A 以下负荷的继电器时,用户需注明,必要时应请继电器生产厂协助选型。

继电器的触点额定负载与寿命是指在额定电压、电流下,负载为阻性时的动作次数。当超出额定电压时,可参照触点负载曲线选用;当负载性质改变时,其触点负载能力将发生变化。

2.7 选用检测传感器

在所有的物理量中,电量是最容易被测量和处理的物理量。当需要对其他非电物理量进行测量时,人们通常会把非电物理量转换成为与之有确定对应关系的电量。传感器(Transducer/Sensor)是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。传感器的应用极其广泛,它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

传感器的种类繁多,常用的传感器有温度、声音、光、磁、压力、流量、位移、速度、加速度等。

1. 传感器的特性及参数

(1) 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指对静态输入信号,传感器的输出量与输入量之间所具有的相互关系。因为这时输入量和输出量都和时间无关,所以它们之间的关系叫做传感器的静态特性。传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程,或用一条以输入量为横坐标,与其对应的输出量为纵坐标画出的特性曲线来描述。

表征传感器静态特性的主要参数有:线性度、灵敏度、迟滞、重复性、漂移等。

1) 线性度。通常情况下,传感器的实际静态特性输出是条曲线而非直线。在实际工作中,为使仪表具有均匀刻度的读数,常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线,线性度(非线性误差)就是这个近似程度的一个性能指标。

拟合直线的选取有多种方法,如将零输入和满量程输出点相连的理论直线作为拟合直线;或将与特性曲线上各点偏差的二次方和最小的理论直线作为拟合直线,此拟合直线称为最小二乘法拟合直线。

线性度是指传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离拟合直线的程度。定义为在全量程范围内实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差值与满量程输出值之比。

2) 灵敏度。灵敏度是传感器静态特性的一个重要指标,其定义为传感器在稳态工作情况下,输出量的增量与引起该增量的相应输入量增量之比,用 S 表示。

灵敏度是输出—输入特性曲线的斜率,如果传感器的输出和输入之间呈线性关系,则灵敏度 S 是一个常数。否则,它将随输入量的变化而变化。

例如某位移传感器,在位移变化 1mm 时,输出电压变化 200mV ,则其灵敏度应表示为 200mV/mm 。当传感器的输出、输入量的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。

提高灵敏度,可得到较高的测量精度,但灵敏度越高,测量范围越窄,稳定性往往也越差。

3) 迟滞。传感器在输入量由小到大(正行程)及输入量由大到小(反行程)变化期间,其输入、输出特性曲线不重合的现象称为迟滞。对于同一大小的输入量,传感器的正、反行程输出量大小不相等,这个差值称为迟滞差值。

4) 重复性。重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变化时,所得特性曲线不一致的程度。

5) 漂移。传感器的漂移是指在输入量不变的情况下,传感器输出量随着时间变化的现象。产生漂移的原因有两个方面:一是传感器自身结构参数;二是周围环境(如温度、湿度等)。

6) 分辨力。当传感器的输入从非零值缓慢增加时,在超过某一增量后输出发生可观测的变化,这个输入增量称为传感器的分辨力,即最小输入增量。分辨力即是传感器可感受到的被测量的最小变化的能力,也就是说,如果输入量从某一非零值缓慢地变化,在输入变化值未超过某一数值时,传感器的输出不会发生变化,即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的;只有当输入量的变化超过分辨力时,其输出才会发生变化。

通常传感器在满量程范围内各点的分辨力并不相同,因此常用满量程中能使输出量产生阶跃变化的输入量中的最大变化值作为衡量分辨力的指标。上述指标若用满量程的百分比表示,称为分辨率,分辨率与传感器的稳定性有负相关性。

7) 阈值。当传感器的输入从零值开始缓慢增加时,在达到某一值后输出发生可观测的变化,这个输入值称为传感器的阈值电压。

(2) 传感器动态特性

所谓动态特性,是指传感器在输入变化时,它的输出特性。在实际工作中,传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示,这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得,并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,往往知道了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两

种，所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

2. 常用传感器分类

按传感器输入端被测物理量（用途）分类：

- 1) 机械量：质量、力、扭矩、应力等。
- 2) 热工量：热量、热流、温度、流速、流量等。
- 3) 物性参量：密度、黏度、酸碱度等。
- 4) 光学量：光强、光通量、辐射能量等。
- 5) 化学量：气体的组分、液体的组分等。

按传感器输出端被测物理量分类：

- 1) 电参数型传感器：电阻式、电容式、电感式。
- 2) 电量型传感器：感应式、压电式、热电式、光电式等。

按能量关系分类：

- 1) 能量转换型（有源型、发生器型）：如热电偶、光电池等。
- 2) 能量控制型：如 R、L、C 电参数型传感器，必须由外部提供激励源（电源）。

按传感器结构是否变化分类：

- 1) 结构型：由敏感元件（如弹性元件）和变换器（如电阻式变换器）组成。
- 2) 物性型：只有变换器，如热电偶（既是变换器也是传感器）。

3. 常用传感器

(1) 电阻式传感器

电阻式传感器是将被测量的非电量变化，如位移、形变、力、加速度、湿度、温度等物理量转换成电阻值的一种变换器件。主要有电阻应变式、压阻式、热电阻、热敏、气敏、湿敏等电阻式传感器。

1) 电阻应变式传感器。电阻应变式传感器中的电阻应变片具有金属的应变效应，即在外力作用下产生机械形变，从而使电阻值随之发生相应的变化。电阻应变片主要有金属和半导体两类，金属应变片有金属丝式、箔式、薄膜式三类。半导体应变片具有灵敏度高（通常是丝式、箔式的几十倍）、横向效应小等优点。

2) 压阻式传感器。压阻式传感器是根据半导体材料的压阻效应在半导体材料的基片上经扩散电阻而制成的器件。其基片可直接作为测量传感元件，扩散电阻在基片内接成电桥形式。当基片受到外力作用而产生形变时，各电阻值将发生变化，电桥就会产生相应的不平衡输出。

用作压阻式传感器基片（或称膜片）的材料主要为硅片和锗片，硅片作为敏感材料制成的硅压阻传感器越来越受到人们的重视，尤其是以测量压力和速度的固态压阻式传感器应用最为普遍。

3) 热电阻传感器。热电阻测温是基于金属导体的电阻值随温度的增加而增加这一特性来进行温度测量的，如图 2-112 所示。

热电阻大都由纯金属材料制成，目前应用最多的是铂和铜，此外，现在已开始采用镍、锰和铑等材料制造

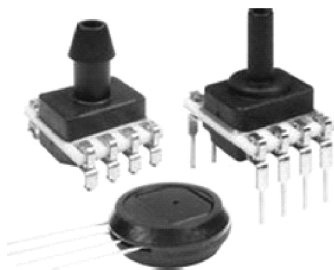


图 2-112 热电阻传感器

热电阻。

热电阻传感器主要是利用电阻值随温度变化而变化这一特性来测量温度及与温度有关的参数。在温度检测精度要求比较高的场合,这种传感器比较适用。目前较为广泛的热电阻材料为铂、铜、镍等,它们具有电阻温度系数大、线性好、性能稳定、使用温度范围宽、加工容易等特点,用于测量 $-200 \sim +500^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度。

热电阻传感器分类:

① NTC 热电阻传感器。该类传感器为负温度系数传感器,即传感器阻值随温度的升高而减小。

② PTC 热电阻传感器。该类传感器为正温度系数传感器,即传感器阻值随温度的升高而增大。

(2) 温度传感器

1) 温度传感器的测温参数。

测温原理:根据电阻值、热电偶的电势随温度不同发生有规律变化的原理,可以得到所需要测量的温度值。

① 热电偶是基于塞贝克效应制成的。它由两种不同的金属 A 和 B 连在一起所构成,当温度和不同时,在热电偶的两端将产生温差电动势。电动势的大小取决于温度和的差值,即电动势的大小将会随着温度和差值的增大而增大。

常用的热电偶有铂—铂铑热电偶,镍铬合金—镍铝合金热电偶,铜—康铜热电偶等。

② 测温电阻就是利用一些金属(例如,铂、铜、镍等)的电阻率随温度的变化而变化的特性制成的测温电阻器。

③ 热敏电阻是利用对温度敏感的半导体材料制成的,它具有尺寸小、响应速度快、灵敏度高等优点。按温度系数可分为负温度系数热敏电阻(NTC)、正温度系数热敏电阻(PTC)和临界温度系数热敏电阻(CTR)三种类型。按工作方式可分为直热式、旁热式和延迟电路三种。

④ PN 结温度传感器是利用结电压随温度的变化而变化的原理进行温度测量的。当测温 PN 结处于正偏电流工作状态时,在一定范围内,正向结压降将随温度的升高而递减。PN 结温度传感器具有灵敏度高、体积小、重量轻、响应快、造价低等优点。

2) 常用的温度传感器。温度传感器的种类很多,现在经常使用的有热电阻:PT100、PT1000、Cu50、Cu100;热电偶:B、E、J、K、S 等。温度传感器不但种类繁多,而且组合形式多样,应根据不同的场合选用合适的产品。

① 一体化温度传感器一般由测温探头(热电偶或热电阻传感器)和两线制固体电子单元组成。采用固体模块形式将测温探头直接安装在接线盒内,从而形成一体化的传感器。一体化温度传感器一般分为热电阻型和热电偶型两种类型。

热电阻温度传感器是由基准单元、R-U 转换单元、线性电路、反接保护单元、限流保护单元、U-I 转换单元等组成。测温热电阻信号转换放大后,再由线性电路对温度与电阻的非线性关系进行补偿,经 U-I 转换电路后输出一个与被测温度呈线性关系的 $4 \sim 20\text{mA}$ 的恒流信号。

热电偶温度传感器一般由基准单元、冷端补偿单元、放大单元、线性电路、U-I 转换单元、断偶处理单元、反接保护单元、限流保护单元等组成。它是将热电偶产生的热电动势

经冷端补偿放大后,再由线性电路消除热电动势与温度的非线性误差,最后放大转换为 $4 \sim 20\text{mA}$ 电流输出信号。为防止热电偶测量中由于电偶断丝而使控温失效造成事故,传感器中还设有断电保护电路。当热电偶断丝或接触不良时,传感器会输出最大值(28mA)以使仪表切断电源。

一体化温度传感器具有结构简单、节省引线、输出信号大、抗干扰能力强、线性好、显示仪表简单、固体模块抗震防潮、有反接保护和限流保护、工作可靠等优点。一体化温度传感器的输出为统一的 $4 \sim 20\text{mA}$ 电流信号,可与微机系统或其他常规仪表配套使用,也可按用户要求做成防爆型或防火型测量仪表,如图 2-113 所示。



图 2-113 温度传感器

② 室温传感器用于测量室内和室外的环境温度,管温传感器用于测量蒸发器和冷凝器的管壁温度。室温传感器和管温传感器的形状不同,但温度特性基本一致。

按温度特性划分,目前使用的室温管温传感器有两种类型:常数值为 $4100\text{k}\Omega \pm 3\%$,基准电阻为 25°C 对应电阻 $10\text{k}\Omega \pm 3\%$ 。温度越高,阻值越小;温度越低,阻值越大。离 25°C 越远,对应电阻公差范围越大;在 $0 \sim 55^\circ\text{C}$ 对应电阻公差约为 $\pm 7\%$;而 0°C 以下及 55°C 以上,电阻公差会有一定的差别。

③ 排气温度传感器用于测量压缩机顶部的排气温度,常数值为 $3950\text{k}\Omega \pm 3\%$,基准电阻为 90°C 对应电阻 $5\text{k}\Omega \pm 3\%$ 。

④ 模块温度传感器用于测量变频模块(IGBT 或 IPM) 的温度,目前用的感温头的型号是 602F-3500F,基准电阻为 25°C 对应电阻 $6\text{k}\Omega \pm 1\%$ 。几个典型温度的对应阻值分别是: $-10^\circ\text{C} \rightarrow (25.897 \sim 28.623) \text{ k}\Omega$; $0^\circ\text{C} \rightarrow (16.3248 \sim 17.7164) \text{ k}\Omega$; $50^\circ\text{C} \rightarrow (2.3262 \sim 2.5153) \text{ k}\Omega$; $90^\circ\text{C} \rightarrow (0.6671 \sim 0.7565) \text{ k}\Omega$ 。

⑤ 无线温度传感器将控制对象的温度参数变成电信号,并对接收终端发送无线信号,对系统实行检测、调节和控制。可直接安装在一般工业热电阻、热电偶的接线盒内,与现场传感元件构成一体化结构。通常和无线中继、接收终端、通信串口、电子计算机等配套使用,这样不仅节省了补偿导线和电缆,还减少了信号传递失真和干扰,从而获得高精度的测量结果。

无线温度传感器广泛应用于化工、冶金、石油、电力、水处理、制药、食品等自动化行业。例如,高压电缆上的温度采集;水下等恶劣环境的温度采集;运动物体上的温度采集;不易连线通过的空间传输传感器数据;单纯为降低布线成本选用的数据采集方案;没有交流电源的工作场合的数据测量;便携式非固定场所数据测量。

(3) 霍尔传感器

霍尔效应是研究半导体材料性能的基本方法。通过霍尔效应实验测定的霍尔系数,能够判断半导体材料的导电类型、载流子浓度及载流子迁移率等重要参数。将一载流体置于磁场中静止不动,若此载流体中的电流方向与磁场方向不同,则在此载流体中,平行于由电流方向和磁场方向所组成的平面上将产生电动势,此现象叫做霍尔效应,如图 2-114 所示。

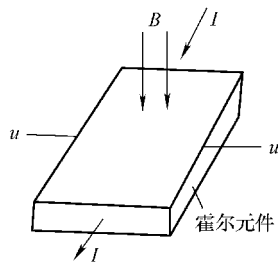


图 2-114 霍尔效应

霍尔传感器是利用半导体磁电效应中的霍尔效应制成的磁场传感器,其实物外形如图 2-115 所示,它将霍尔元件、放大器、温度补偿电路及稳压电源等做在一个芯片上,能够感知与磁有关的物理量,从而输出相应的电信号,制成霍尔集成电路。可进行磁场测量、大直流电流测量、可制成无触点开关以及进行位移、速度、转速等物理量的测量。霍尔传感器广泛地应用于工业自动化技术、检测技术及信息处理等方面。



图 2-115 霍尔传感器

霍尔传感器分为线性型霍尔传感器和开关型霍尔传感器两种。

1) 线性型霍尔传感器由霍尔元件、线性放大器和射极跟随器组成,它输出模拟量。

2) 开关型霍尔传感器由稳压器、霍尔元件、差分放大器,施密特触发器和输出级组成,它输出数字量。

霍尔电压随磁场强度的变化而变化,磁场越强,电压越高,磁场越弱,电压越低。霍尔电压值很小,通常只有几个毫伏,但经集成电路中的放大器放大,就能使该电压增大到足以输出较强的信号。若要使霍尔集成电路起传感作用,则需要用机械的方法来改变磁场强度。

例如,采用的工作方法是用一个转动的叶轮作为控制磁通量的开关,当叶轮叶片处于磁铁和霍尔集成电路之间的气隙中时,磁场偏离集成片,霍尔电压消失。这样,霍尔集成电路输出电压的变化就能表示出叶轮驱动轴的某一位置,利用这一工作原理,可将霍尔集成电路片用作点火正时传感器。霍尔效应传感器属于被动型传感器,它要有外加电源才能工作,这一特点使它能检测低转速的运转情况。

(4) 液位传感器

1) 浮球式液位传感器。浮球式液位传感器由磁性浮球、测量导管、信号单元、电子单元、接线盒及安装件组成。

一般磁性浮球的比重小于 0.5,可漂浮于液面之上并沿测量导管上下移动。导管内装有测量元件,它可以在外磁作用下将被测液位信号转换成正比于液位变化的电阻信号,并将电子单元转换成 4~20mA 或其他标准信号输出。该传感器为模块电路,具有耐酸、防潮、防震、防腐蚀等优点,电路内部含有恒流反馈电路和内保护电路,可使输出最大电流不超过 28mA,因而能够可靠地保护电源并使二次仪表不被损坏。

2) 浮筒式液位传感器。浮筒式液位传感器是将磁性浮球改为浮筒,它是根据阿基米德浮力原理设计的。浮筒式液位传感器是利用微小的金属膜应变传感技术来测量液体的液位、界位或密度的。它在工作时可以通过现场按键来进行常规的设定操作。

3) 静压或液位传感器。该传感器利用液体静压力的测量原理工作。它一般选用硅压力测压传感器将测量到的压力转换成电信号,再经放大电路放大和补偿电路补偿,最后以 4~20mA 或 0~10mA 电流方式输出。

(5) 光电传感器

在光的作用下,半导体的电性能会发生变化,利用半导体的这种光电特性,可将光信号转变成为电信号。光电传感器根据检测模式可分为反射式光电传感器、透射式光电传感器和聚焦式光电传感器。

1) 光敏传感器。光敏传感器是最常见的传感器之一,是基于物质内光电效应而制成的一种光电子器件如图 2-116 所示。它的种类繁多,主要有光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏晶体管、太阳能电池、红外线传感器、紫外线传感器、光纤式光电传感器、色彩传感器、CCD 和 CMOS 图像传感器等。它的敏感波长在可见光波长附近,包括红外线波长和紫外线波长。光敏传感器不只局限于对光的探测,它还可以作为探测元件组成其他传感器,对许多非电量进行检测,只要将这些非电量转换为光信号的变化即可。光敏传感器是目前产量最多、应用最广的传感器之一,它在自动控制和非电量电测技术引中占有非常重要的地位。最简单的光敏传感器是光敏电阻,当光子冲击接合处就会产生电流。



图 2-116 光敏传感器

2) 激光传感器。激光传感器是利用激光技术进行测量的传感器。它由激光器、激光检测器和测量电路组成。激光传感器是新型测量仪表,它的优点是能实现无接触远距离测量,速度快,精度高,量程大,抗光、电干扰能力强等。

激光传感器工作时,先由激光发射二极管对准目标发射激光脉冲。经目标反射后激光向各方向散射。部分散射光返回到传感器接收器,被光学系统接收后成像到雪崩光电二极管上。雪崩光电二极管是一种内部具有放大功能的光学传感器,因此它能检测极其微弱的光信号,并将其转化为相应的电信号。

利用激光的高方向性、高单色性和高亮度等特点可实现无接触远距离测量。激光传感器常用于长度 (ZLS-Px)、距离 (LDM4x)、振动 (ZLDS10X)、速度 (LDM30x)、方位等物理量的测量,还可用于探伤和大气污染物的监测等。

(6) 力学传感器

力学传感器可将被测的力学量转换成为电信号。这些力学量包括位移、速度、加速度、重力、压力、扭矩和振动等。

压力传感器是工业实践中最为常用的一种传感器,其广泛应用于各种工业自控环境,涉及水利水电、铁路交通、智能建筑、生产自控、航空航天、军工、石化、油井、电力、船舶、机床、管道等众多行业。

(7) 位移传感器

位移传感器又称为线性传感器,是把位移转换为电量的传感器。位移传感器是一种属于金属感应的线性器件,它分为电感式位移传感器、电容式位移传感器、光电式位移传感器、超声波式位移传感器、霍尔式位移传感器。

在这种转换过程中有许多物理量(例如压力、流量、加速度等)常常需要先变换为位移,然后再将位移变换成电量,因此位移传感器是一类重要的基本传感器。在生产过程中,位移的测量一般分为测量实物尺寸和机械位移两种,机械位移包括线位移和角位移。按被测变量变换的形式不同,位移传感器可分为模拟式和数字式两种,模拟式又可分为物性型(如自发电式)和结构型两种。常用位移传感器以模拟式结构型居多,包括电位器式位移传感器、电感式位移传感器、自整角机、电容式位移传感器、电涡流式位移传感器、霍尔式位移传感器等。数字式位移传感器的一个重要优点是便于将信号直接送入计算机系统,这种传感器发展迅速,应用日益广泛。

超声波测距传感器采用超声波回波测距原理,运用精确的时差测量技术,检测传感器与

目标物之间的距离,采用小角度、小盲区超声波传感器,具有测量准确、无接触、防水、防腐蚀、低成本等优点,可应用于液位、物位检测,特有的液位、料位检测方式,可保证在液面有泡沫或大的晃动,不易检测到回波的情况下有稳定的输出,应用于液位、物位、料位检测,工业过程控制等行业。

(8) 生物传感器

生物传感器是用生物活性材料(酶、蛋白质、DNA、抗体、抗原、生物膜等)与物理化学换能器有机结合的一门交叉学科,是发展生物技术必不可少的一种先进的检测方法与控制方法,也是物质分子水平的快速、微量分析方法。

各种生物传感器有以下共同的结构:包括一种或数种相关生物活性材料(生物膜),及能把生物活性表达的信号转换为电信号的物理或化学换能器(传感器),两者组合在一起,用现代微电子和自动化仪表技术进行生物信号的再加工,构成各种可以使用的生物传感器分析装置、仪器和系统。

生物传感器的原理:待测物质经扩散作用进入生物活性材料,经分子识别,发生生物学反应,产生的信息继而被相应的物理或化学换能器转变成可定量和可处理的电信号,再经二次仪表放大并输出,便可知道待测物浓度。

按照传感器器件检测的原理可分为热敏生物传感器、场效应晶体管生物传感器、压电生物传感器、光学生物传感器、声波道生物传感器、酶电极生物传感器、介体生物传感器等。

按照其感受器中所采用的生命物质可分为微生物传感器、免疫传感器、组织传感器、细胞传感器、酶传感器、DNA传感器等。

按照生物敏感物质相互作用的类型可分为亲和型和代谢型两种。

(9) 视觉传感器

视觉传感器具有从一整幅图像捕获光线的数以千计的像素。图像的清晰和细腻程度通常用分辨率来衡量,以像素数量表示。

在捕获图像之后,视觉传感器将其与内存中存储的基准图像进行比较,以做出分析。例如,若视觉传感器被设定为辨别正确地插有八颗螺栓的机器部件,则传感器知道应该拒收只有七颗螺栓的部件,或者螺栓未对准的部件。此外,无论该机器部件位于视场中的哪个位置,无论该部件是否在360°范围内旋转,视觉传感器都能做出判断。

视觉传感器的低成本和易用性已吸引机器设计师和工艺工程师将其集成入各类曾经依赖人工、多个光电传感器,或根本不检验的应用领域。视觉传感器的工业应用包括检验、计量、测量、定向、瑕疵检测和分拣。

(10) 智能传感器

智能传感器的功能是通过模拟人的感官和大脑的协调动作,结合长期以来测试技术的研究和实际经验而提出来的,是一个相对独立的智能单元。它的出现使得对原来硬件性能的苛刻要求有所降低,而靠软件帮助可以使传感器的性能大幅度提高。

1) 信息存储和传输。随着全智能集散控制系统(Smart Distributed System)的飞速发展,要求智能单元具备通信功能,用通信网络以数字形式进行双向通信,这也是智能传感器关键标志之一。智能传感器通过测试数据传输或接收指令来实现各项功能。如增益设置、补偿参数设置、内检参数设置、测试数据输出等。

2) 自补偿和计算功能。智能传感器的自补偿和计算功能为传感器的温度漂移和非线性

补偿开辟了新的道路,放宽传感器加工精度要求,只要保证传感器的重复性好,利用微处理器对测试的信号通过软件计算,采用多次拟合和差值计算方法对漂移和非线性进行补偿,从而能获得较精确的测量结果压力传感器。

3) 自检、自校、自诊断功能。普通传感器需要定期检验和标定,以保证它在正常使用时具有足够的准确度,这些工作一般要求将传感器从使用现场拆卸送到实验室或检验部门进行,对于在线测量传感器出现异常便不能及时诊断。若采用智能传感器,情况则大有改观,首先自诊断功能在电源接通时进行自检,诊断测试以确定组件有无故障。其次根据使用时间可以在线进行校正,微处理器利用存在 EPROM 内的计量特性数据进行对比校对。

4) 复合敏感功能。观察周围的自然现象,常见的信号有声、光、电、热、力、化学等。敏感元件测量一般通过两种方式:直接和间接的测量。而智能传感器具有复合功能,能够同时测量多种物理量和化学量,给出能够较全面反映物质运动规律的信息。

2.8 常用电子器件的认知与检测实训

1. 实训要求

1) 了解常用电子器件:二极管、晶体管、发光二极管、晶闸管等的分类,命名方法,型号规格,有关参数,引脚的标志(标注)方法。

2) 学会用万用表检测上述器件性能指标的一般方法。

3) 学会从器件上的标识符号文字读取该器件的性能,参数等信息的方法。

4) 学会选择器件的方法。

2. 实训内容

课题一 二极管、特殊二极管的识别与检测

(1) 实训任务

1) 根据二极管器件的集合板认识二极管的分类、型号命名方法、基本用途。

2) 用万用表简易检测二极管性能方法。

3) 特殊二极管的识别检测方法。

(2) 实训步骤

1) 外形及型号含义识别,各类二极管电路符号的认知练习。

2) 用万用表判别二极管的极性,普通二极管引脚的判定,认知训练。发光二极管引脚的判定,性能的检测。

3) 将万用表分别置不同挡,测量并观察各二极管正、反向电阻值的变化,将结果填入表格中。根据实验结果,总结比较硅、锗二极管各自的性能特点。

4) 稳压二极管的识别与检测训练。

课题二 半导体晶体管的认知与检测

(1) 实训任务

1) 根据半导体晶体管的集合板认知晶体管的分类、命名方法(国内及国外)、半导体晶体管的选用条件、更换替代原则。

2) 半导体晶体管引脚的识别与测试技能。

(2) 实训步骤

1) 由给定不同半导体晶体管读取识别半导体晶体管的型号、出产国, 及其规格、用途等。

2) 用万用表测量上述的半导体晶体管的引脚排列、 β 值, 判定是大功率还是小功率管, 是 NPN 型还是 PNP 型, 是高频管还是低频管, 是好管子还是坏管子。

半导体晶体管是应用最广的电子器件之一, 它有 NPN 和 PNP 两种类型, 还有硅管和锗管材料上的差别, 但检测方法类似。

用万用表检测半导体晶体管的依据是: NPN 型管其基极到发射极和集电极均为正向 PN 结, 而 PNP 型管则为反向 PN 结。利用数字式万用表可直接测量半导体晶体管的共射极电流放大系数。

3) 用万用表测量电路中各半导体晶体管的各极电位, 试分析它们的工作状态。

4) 用万用表测量半导体晶体管各极间的正、反向电阻, 判别管型, 结果填入表格中, 根据表格中的有关数据, 说明硅管、锗管的正、反向电阻的大致范围, 并比较这几个管子 β 值的大小。

课题三 晶闸管认知与检测

(1) 实训任务

1) 根据给出的晶闸管, 认知与了解晶闸管的外形与封装, 单 (双) 向晶闸管内部结构等效电路、工作原理、重要参数。

2) 晶闸管的基本用途; 交直流调压; 无触点开关。

3) 单向晶闸管的检测及引脚判定。

(2) 实训步骤

1) 单向晶闸管的管极测试。

2) 双向晶闸管的调试安装。

第3章 选用及检测电声、集成器件

电声器件是将电信号转换为声音信号或将声音信号转换成电信号的换能器件，是利用电磁感应、静电感应或压电效应等来完成电声交换的。如扬声器就是把音频信号转变成声音信号的电声器件；而传声器则是把声音信号转变为音频信号的电声器件。常用的电声器件有：扬声器、传声器、耳机等，如图3-1所示，在家用电器和测量仪器等电子设备中得到了广泛应用。

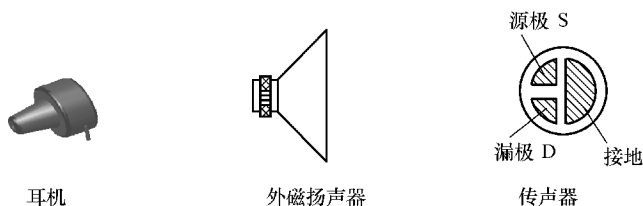


图3-1 电声器件

3.1 选用及检测电声器件

3.1.1 选用及检测扬声器

扬声器（又称喇叭）是能将电信号转换成声音信号的电声器件，在电路中用文字符号B或BL表示。

1. 扬声器的类型

扬声器的类型很多，按其换能原理可分为电动式（动圈式）、静电式（电容式）、电磁式（舌簧式）、压电式（晶体式）、放电（离子）式、气动式等几种，后几种多用于农村的有线广播网中，其音质较差，但价格便宜。

按扬声器工作时的频率范围可分为低音扬声器、中音扬声器、高音扬声器、全频带扬声器，高、中、低音扬声器常在音箱中作为组合扬声器使用，如图3-2所示。

按辐射方式分类：纸盆（直接辐射式）扬声器、号筒（间接辐射式）扬声器。

按振膜形式分类：锥盆扬声器、球顶形扬声器、带式扬声器、平板驱动式扬声器。

按组成方式分类：单纸盆扬声器、组合纸盆扬声器、组合号筒扬声器、同轴复合扬声器。

按用途分类：高保真（家庭用）扬声器、监听扬声器、扩音用扬声器、乐器用扬声器、



图3-2 扬声器

接收机用小型扬声器、水中用扬声器。

按外形分类：圆形扬声器、椭圆形扬声器、圆筒形扬声器、矩形扬声器。

按磁体和磁路形式分类：内磁式扬声器、外磁式扬声器、双磁路式扬声器、屏蔽式扬声器。

常见的扬声器外形及符号如图 3-3 所示。

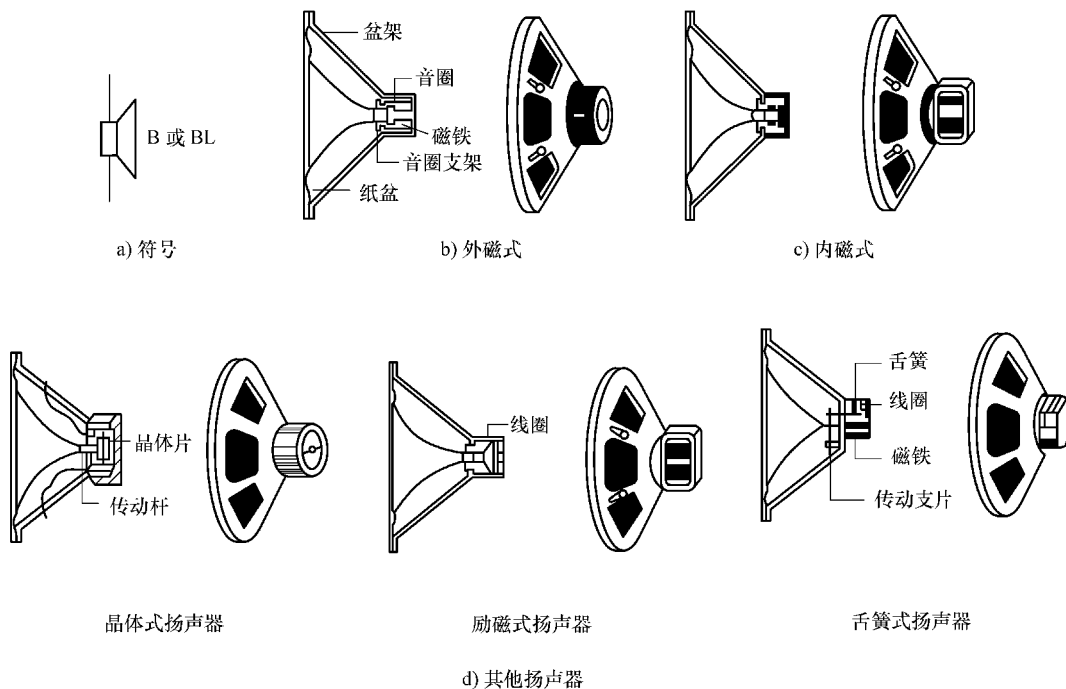


图 3-3 扬声器

2. 扬声器的主要参数

扬声器的主要技术参数有额定功率、标称阻抗、频率响应、灵敏度等，使用扬声器时应注意它的功率匹配。国产动圈式扬声器上都标明主要技术参数。例如 YD0.5 - 100 - 8 Ω ，Y 代表扬声器，D 代表动圈式，0.5 表示额定功率为 0.5W，100 代表扬声器口径为 100mm，8 Ω 表示扬声器的标称阻抗，常有 4 Ω 、8 Ω 、16 Ω 、25 Ω 等。

(1) 额定阻抗（标称阻抗）

扬声器是一个感性阻抗，扬声器的直流电阻与其标称阻抗不同，扬声器的直流电阻总是小于其标称阻抗，标称阻抗指扬声器的交流阻抗，扬声器的阻抗一般和频率有关。选用扬声器时，其标称阻抗一般应与音频功放电路的输出阻抗匹配，在这个阻抗上，扬声器可获得最大功率。标称阻抗是指音频为 400Hz 时，从扬声器输入端测得的阻抗，它一般是音圈直流电阻的 1.2 ~ 1.5 倍。一般动圈式扬声器常见的阻抗有 4 Ω 、8 Ω 、16 Ω 、32 Ω 等。

(2) 额定功率

扬声器的功率有标称功率和最大功率之分。额定功率又称标称功率、不失真功率，是指扬声器在额定不失真范围内允许的最大输入功率，也是指扬声器非线性失真不超过某一数值时，

能长时间正常工作允许输入的平均功率。扬声器在额定功率下是安全的,失真度也不会超出规定值,重放的效果良好,在扬声器的商标、技术说明书上标注的功率即为该功率值。最大功率是指扬声器在某一瞬间所能承受的峰值功率,为保证扬声器工作的可靠性,要求扬声器的最大功率为标称功率的2~3倍。瞬时功率短暂超过最大功率,不会导致扬声器的损坏。

为了获得较好的音质,扬声器的实际输入功率应小于其额定功率,留有一定的功率余量,一般取额定功率的 $1/3 \sim 1/2$ 。

(3) 频率响应(有效范围)

频率响应指扬声器重放音频的有效工作频率范围,给扬声器加一个幅度不变的交变信号,当信号的频率改变时,扬声器所产生的声压将随频率而改变。扬声器对不同频率信号的稳定输出特性称为扬声器的频率响应特性,简称频率特性,通常用频率范围来表征其频率特性。一般中音频时产生的声压较大,而低音频和高音频时产生的声压较小。当声压下降为中音频的某一数值时的高、低音频范围,称作该扬声器的频率响应特性。扬声器的频率响应特性曲线是有许多峰谷点的不规则的连续曲线。

扬声器的频率响应特性曲线越平坦,说明频率失真越小,有效频率范围就越宽。在工作频率范围内,扬声器可以输出适合人耳收听的声音大小,当超过扬声器的使用频率范围时,声音会减小很多,甚至会产生失真。

对低音扬声器来说,其频率范围为:30Hz~3kHz。

对中音扬声器来说,其频率范围为:500Hz~5kHz。

对高音扬声器来说,其频率范围为:2~15kHz。

理想的扬声器频率特性应为20Hz~20kHz,这样就能把全部音频均匀地重放出来,然而这是无法做到的,每一只扬声器只能较好地重放音频的某一部分。

(4) 灵敏度

灵敏度指在规定频率范围内,在自由场条件下,输入视在功率为 $1\text{V} \cdot \text{A}$ 的噪声信号时,在扬声器轴线上距参考点1m处测出的平均声压(Pa)。扬声器灵敏度越高,其电声转换效率就越高。灵敏度高的扬声器,较小的输入电功率就可以推动。

(5) 效率

效率指扬声器输出的声功率与输入的电功率之比。扬声器的效率很低,电动式扬声器一般为2%~5%,高质量的号筒式可达25%。

(6) 非线性失真

扬声器不能把原来的声音逼真地重放出来的现象称作失真。非线性失真是指扬声器振动的幅度与扬声器的输入电平不成线性关系。失真有两种:频率失真和非线性失真。频率失真这是由于对某些频率的信号放音较强,而对另一些频率的信号放音较弱造成的,失真破坏了原来高低音响度的比例,改变了原声音色。非线性失真是由于扬声器振动系统的振动和信号的波动不完全一致造成的,在输出的声波中增加一个新的频率成分。

(7) 指向性

指向性是指扬声器放音时,声压在其周围的分布情况。指向性与频率有关,扬声器的辐射指向性随频率升高而增强,一般在250~300Hz以下,没有明显的指向性。

(8) 谐振频率

扬声器的输入阻抗随频率变化,扬声器在低频段某一频率处,输入阻抗最大,这一频率

称为谐振频率，谐振频率可以理解为扬声器有效频率范围的下限值。谐振频率与扬声器的口径、振动系统有关，扬声器的口径越大，振动系统质量越高；纸盆折环、定心支片越柔软，其谐振频率越低；谐振频率越低，扬声器重放声音的低音效果越好。

3. 常见的扬声器

(1) 电动式扬声器

电动式扬声器又称动圈式扬声器，是音频系统中使用最多的扬声器。动圈式扬声器主要由磁体（路）和振动系统组成，如图 3-4 所示。其中，纸盆（又称音膜或震动版）、轭环、定心片、音圈支架、音圈和防尘罩组成了振动系统，磁铁和心柱构成磁路。

电动式扬声器发声原理是当音圈中通上交变的音频信号时，磁铁的固定磁场与载流导线（音圈）产生的交变磁场相互作用，通过交变电流信号的线圈在磁场中运动。当音频电流通过音圈时，音圈产生随音频电流变化的磁场，变化的磁场与永久磁铁的磁场发生相吸或相斥作用，导致音圈产生机械振动，音圈随电流变化而前后运动，使与音圈相连的振膜振动，音圈与纸盆连接，从而牵扯纸盆振动，纸盆运动推动空气振动再通过空气介质，将声波传出去。

根据电动扬声器磁路结构可分为外磁式、内磁式、屏蔽式和双磁路式等多种。后三种扬声器的漏磁场很小，对其他元器件的磁场影响小，适用于电视机、组合音响等要求杂散磁场较小的整机，其中双磁路扬声器的灵敏度较高。常见的电动扬声器分内磁式和外磁式，内磁式的磁路系统多采用合金磁体，体积小、重量轻，外界杂散磁场影响小；外磁式的磁路多采用铁氧体磁体，它的体积较大，但价格便宜，适用于对杂散磁场要求不严的场合。

电动扬声器的振动系统参数有以下几个：

- 1) 最低共振频率 f_0 ：最低共振频率即扬声器有效重放下限频率。
- 2) 振动系统等效质量 m_0 ：包括扬声器的纸盆、音圈的重量和鼓动空气发声时产生的附加质量的总和。
- 3) 振动系统的 Q_0 值：它是表征最低共振频率 f_0 上振动系统的阻尼状态（即振动衰减快慢）和共振锐度的参数。
- 4) 有效振动半径 r_0 ：它是扬声器纸盆中心到支撑边的距离。

在设计、计算扬声器系统（音箱）时，需要用到以上四个参数。

(2) 励磁式扬声器

励磁式也叫舌簧式扬声器，它是在舌簧外套一个线圈，放在磁场中间，舌簧一端经过传动杆连接到圆锥形纸盆尖端，磁场由永久磁铁通过软铁极化构成，如图 3-5 所示。

(3) 压电式扬声器

压电式扬声器是利用压电陶瓷材料在施

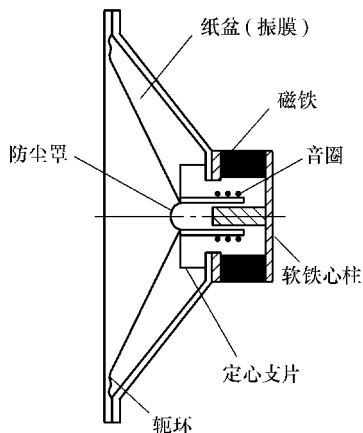


图 3-4 动圈式扬声器结构

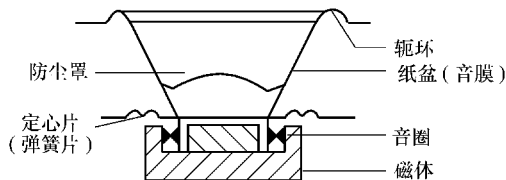


图 3-5 舌簧式扬声器结构

加压力时能产生电压；反之施加电压时，又会产生机械形变的原理制成的。其工作原理是当音频电压加在压电陶瓷片上时，压电片产生机械形变，形变的规律与音频电压相对应。压电片的机械形变带动振膜做对应振动，使声音通过空气传出。其主要特点是结构简单、灵敏度高、成本低、但频率特性较差，主要用作中高频信号的回放。

(4) 气动式扬声器

气动式扬声器也称气流式扬声器，它是由气室、信号源、调制器、调制阀及号筒构成的。其工作原理是，由空气压缩机的气室喷出的气流经外加音频信号的调制，送到调制器，调制器在磁场中振动时，该气流经过调制槽缝面积的变化，将断续气流压入号筒，经混合后气流转换为速度，形成脉冲声源由号筒辐射出去。

气动式扬声器常用的有感应式和电动式两种，特点是输出声音功率大，最大可达10kW，适用于远距离扩声。

(5) 号筒式扬声器

号筒式扬声器是由发音头和号筒两大部分组成的。发音头部分包括环形磁铁、音圈、振动膜、磁隙框板、圆形软铁板、软铁心柱等部件。号筒式扬声器属于间接辐射式扬声器，振膜振动后，把振膜产生的声音通过号筒反射扩散出去，是间接辐射。常见的号筒式扬声器外形和结构如图3-6所示。

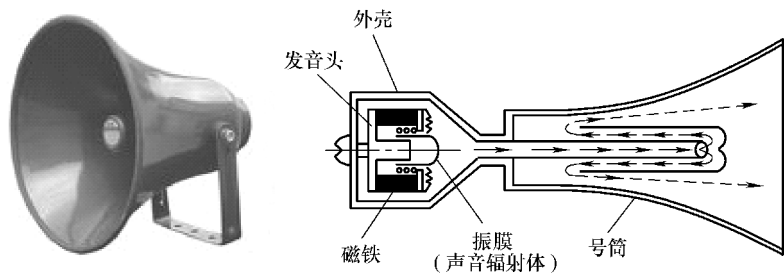


图3-6 号筒式扬声器外形和结构

号筒扬声器的振膜多是球顶形的，号筒式扬声器按截面变化可分为圆柱号筒式、指数号筒式、反射号筒式、抛物号筒式等；按换能方式分，有电动号筒式、压电号筒式、静电号筒式等。号筒式扬声器的主要特点是效率高、功率大、中高频特性好、谐波失真较小、指向性强，但其频带较窄，低频响应差，比较适合扩音面积大的场合。

(6) 球顶式扬声器

球顶式扬声器大致可以看成号筒式扬声器去掉号筒剩下的部分，即把球顶振膜粘接在音圈上，音圈运动带动振膜直接发出声音。通常为了获得更小的失真，人们都会在极心中间打孔并填充以高吸收特性的软质材料。因为振膜和音圈直径都很小，所以可制成很轻巧的器件。常见的球顶式扬声器外形和结构如图3-7所示。

球顶式扬声器具有比传统的扬声器更好的瞬态特性、更小的失真，大量应用于高保真系统中的高频回放。

(7) 平板式扬声器

平板式扬声器的振膜是平面，以整体振动直接向外辐射声波。它的平面振膜是一块圆形

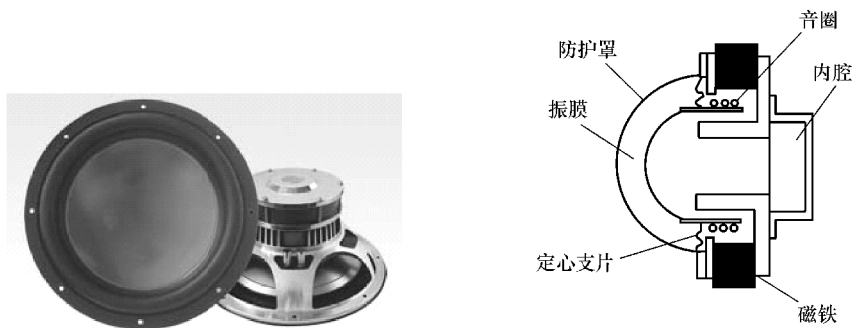


图 3-7 球顶式扬声器外形和结构

蜂巢板，板中间是用铝箔制成的蜂巢心，两面蒙上玻璃纤维。它的频率特性较为平坦，频带宽而且失真小，但额定功率较小，内部结构如图 3-8 所示。

平板式扬声器无指向性，且与频率无关，频响范围宽，不用高音单元与分频器，声压级随距离变化慢，声音可传得更远。

4. 扬声器的选用

要根据使用的场合及对声音的要求，结合各种扬声器的特点来选择扬声器。例如，室外以语音为主的广播，可选用电动式号筒扬声器，如要求音质较高，则应选用电动式扬声器或音柱；室内的一般广播，可选单只电动式纸盆扬声器做成的小音箱；而以欣赏音乐为主或用于高质量的会场扩音，则应选用由高、低音扬声器组合的扬声器箱等。

在使用扬声器应注意以下几点：

- 1) 扬声器得到的功率不要超过它的额定功率，否则会烧毁音圈或将音圈振散。电磁式和压电陶瓷式扬声器工作电压不要超过 30V。
- 2) 注意扬声器的阻抗应与输出电路配合。
- 3) 要正确选择扬声器的型号。如在广场使用，应选用高音扬声器；在室内使用，应选用纸盆式扬声器，并选好辅助扬声器。也可将高、低音扬声器做成扬声器组，以扩展频率响应范围。
- 4) 在布置扬声器时，要做到扬声均匀且有足够的声级，如用单只（点）扬声器不能满足需要，可进行多点设置，使每一位听众得到几乎相同的声音响度，且保证有良好的声音的清晰度。扬声器应安装在高于地面 3m 以上，使听众能够“看”到扬声器，并尽量使水平方位的听觉（声源）—视觉（讲话者）尽量保持一致，而且两只扬声器之间的距离不宜过大。
- 5) 电动式号筒扬声器，必须把音头套在号筒上后才能使用，否则很易损坏发音头。
- 6) 两个扬声器放在一起使用时，必须注意相位问题，如果是反相，声音将显著削弱。测定扬声器相位的最简单方法是利用高灵敏度表头或万用表的 50 ~ 250 μ A 电流挡，把测试

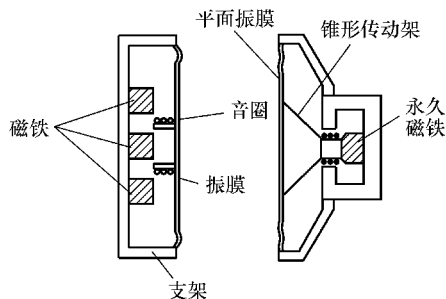


图 3-8 平板式扬声器

表与扬声器的接线头相连接，双手扶住纸盆，用力推动一下，这时就可从表针的摆动方向来判定它们的相位。如相位相同，表针向一个方向摆动。此时可把与正表笔相连的音圈引出头作为“+”级。

选配扬声器，要求其失真度小、频率特性好且灵敏度高。当扬声器损坏后，除简单故障可修复外，一般应进行更换，在选用和替换扬声器时，应注意下面几点：

- 1) 新、旧扬声器的口径要相同。
- 2) 新、旧扬声器的阻抗要相同。
- 3) 新、旧扬声器的额定功率要接近。
- 4) 新、旧扬声器的电性能指标要相近。

5. 扬声器的检测方法

(1) 估测阻抗和判断好坏

万用表检测扬声器的方法：

扬声器的阻值一般是几欧到几十欧，而耳机可分为低阻型和高阻型两种。一般在扬声器磁体的标牌上都标有阻抗值，但有时也可能遇到标记不清或标记脱落的情况。

因为一般电动扬声器的实测电阻值约为其标称阻抗的 80% ~ 90%，检测时要注意。如果测出的阻值为无穷大，则说明扬声器的引出线或音圈断路；如果测出的阻值为零，则说明它的音圈有问题。一只 8Ω 的扬声器，实测铜阻值应约为 11.5 ~ 7.2Ω，所以可用下述方法进行估测。

将万用表置于“R × 1Ω”挡，调零后，测出扬声器音圈的直流铜阻 R，然后用估算公式 $Z = 1.17R$ 即可估算出扬声器的阻抗。例如，测得一只无标记扬声器的直流铜阻为 11.8Ω，则阻抗 $Z = 1.17 \times 11.8 = 8\Omega$ 。

扬声器是否正常，除可用以上方法测其阻抗外，还可用以下方法进行简易判断。方法是：将万用表置“R × 1Ω”挡，把任意一只表笔与扬声器的任一引出端相接，用另一只表笔断续触碰扬声器另一引出端，此时，扬声器应发出“喀喀”声，指针亦相应摆动。如果测得电阻值约为几欧姆，则表明电声器件是好的；如果听到的是沙哑声或破壳声，表明质量有问题，应该更换；如触碰时扬声器不发声，指针也不摆动，说明扬声器内部音圈断路或引线断裂。

(2) 判断相位

就一只扬声器而言，其两个引线是无所谓相位之分的，但在安装组合音箱或用来播放立体声信号时，扬声器的相位是不能接反的。

有的扬声器在出厂时，厂家已在相应的引出端上注明了相位，但有许多扬声器的引线上没注明相位，所以正确判断出扬声器的相位是很有用处的。

判断扬声器引线相位的方法是：将万用表置于最小直流电流挡（μA），如 50μA 或 100μA 挡，取一只扬声器，用左手持红、黑表笔分别跨接在扬声器的两引出端，再用手指尖快速地弹一下纸盆，轻轻而快速地将纸盆向里推动，此时表针将偏转，仔细观察指针的摆动方向。

若指针向右摆动，则说明红表笔所接的一端为正端，而黑表笔所接的一端则为负端；若指针向左摆，则红表笔所接的为负端，而黑表笔所接的为正端。

规定正、负极后用同样的方法测量其他扬声器，这样极性就统一了。在测试时应注意，

弹纸盆时不要用力过猛,切勿使纸盆破裂或变形将扬声器损坏;而且千万不要弹音圈上面的防尘保护罩,以防使之凹陷影响美观。

3.1.2 选用及检测耳机

1. 耳机、耳塞

耳机、耳塞是一种小型的电声器件,它可以把音频电信号转换成声音信号。在电路中用文字符号 B 或 BE 表示。耳机的种类较多,但常用的耳机或耳塞按结构来分有两类,一类是电磁式,另一类是动圈式。

普通耳机是由磁铁、线圈和振膜片构成的电磁式耳机,它的阻抗一般在 $1 \sim 4\text{k}\Omega$ 之间。近年生产出的一种平膜动圈耳机,其音圈与音膜连为一体,频响宽度达到 $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$,失真小、重量轻,其阻抗约 20Ω ,属低阻型耳机,广泛用于立体声放音系统。

动圈式低阻头戴耳机的工作原理同电动扬声器相似,一般用薄膜代替纸盆做振膜,靠通有音频信号的线圈带动振膜推动空气发声,如图 3-9 所示。与电磁式耳机相比,具有灵敏度高,频率效应好,低音丰富等特点。

耳塞是一种可以直接塞入耳内的小型耳机。耳塞式的耳机由磁铁、线圈、垫圈、膜片等组成,如图 3-10 所示。

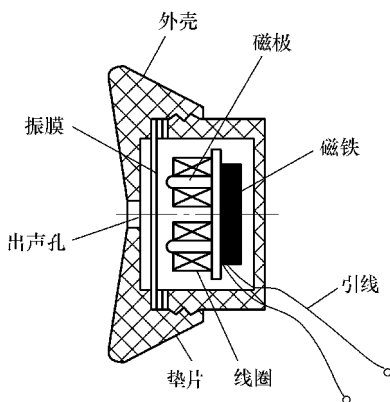


图 3-9 耳机构成

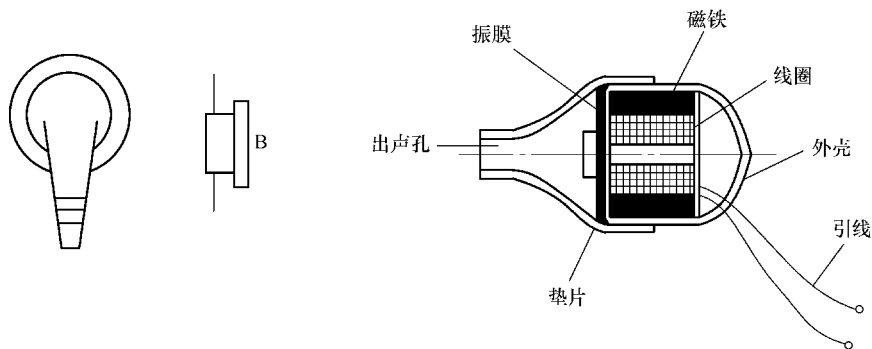


图 3-10 耳塞的外形及电路符号

耳塞的音圈是固定的,发声靠振膜片。当音频电流流过线圈磁铁时,电磁铁将产生交变的磁场,对软磁材料制成的膜片产生吸引和排斥作用,使膜片产生吸引和排斥作用,进而振动发声。

高阻型的耳机外形稍大,一般阻抗为 800Ω 或 1500Ω ;低阻型耳机外形较小,其阻抗为 8Ω 或 10Ω 。耳塞额定功率小,频率响应差,但体积小、价格便宜。

耳机在使用时需注意避免受潮或振动。耳机的引线较软,移动灵活方便,但因经常扭动

会造成内部断线，特别是引线与耳机及插头的连接处，需注意保护。使用耳机时要注意阻抗匹配，低阻型耳机应接在音频放大器输出阻抗较低的端点，例如，取代 8Ω 扬声器接在收录机功放级的射极输出端。

2. 耳机的主要技术参数

耳机的主要技术参数有频率响应、阻抗、灵敏度、谐波失真等。

1) 阻抗：耳机交流阻抗的简称，不同阻抗的耳机主要用于不同的场合。在功放等机器上常用高阻抗耳机（ 200Ω 以上），而对于各种 MP3 等设备一般使用低阻抗耳机（ 4Ω 、 8Ω 、 16Ω 等）。

2) 灵敏度：在同样响度的情况下，音源需要输入的功率大小。灵敏度反映了耳机的电声转换效率。灵敏度越高，阻抗越小的耳机就越容易驱动，耳机的灵敏度一般在 90dB 以上。

3) 频率响应：耳机能够放送出的频带宽度，高保真耳机的频响范围不能小于 $50 \sim 12500\text{Hz}$ ，优秀的耳机频响宽度可达 $5 \sim 40000\text{Hz}$ ，而人耳的听觉仅在 $20 \sim 20000\text{Hz}$ 。

4) 谐波失真：是一种波形失真，其越小音质就越好。

5) 声压级：用来体现声强或音量，主要用于表示声音能量的强弱，单位为分贝（dB）。人耳所能听到的声压级在 $0 \sim 140\text{dB}$ 。

3. 耳机的作用与特点

与扬声器一样，耳机也是一种将电信号转换为声音信号的电子器件。与扬声器不同的地方在于：

1) 耳机最大限度地减小了左、右声道的相互干扰，因而耳机的电声性能指标明显优于扬声器。

2) 耳机所需输入的电信号很小，因此输出声音信号的失真很小。

3) 耳机的使用不受场所、环境的限制，因此更受广大用户的青睐。

4) 耳机的使用缺陷是长时间使用耳机收听，会出现耳鸣、耳痛的现象。

4. 耳机的检测

正常的耳机，在使用万用表测量其直流电阻时，会听到“咯咯”的声音；或者用一节电池在耳机的两根线上一搭一放，会听到较响的“咯咯”声；若无声音，则说明耳机已损坏。

用万用表的“ $R \times 1\Omega$ ”挡测量耳机线圈的直流电阻。若测得的直流电阻值略小于标称电阻值，则说明耳机是正常的；若测得的直流电阻值极小（远小于标称电阻值），则说明耳机内部有短路故障；若测得的直流电阻值远大于标称电阻值，则说明扬声器内部线圈出现断线故障。当出现后两种情况时，耳机便不能再使用。

3.1.3 选用及检测驻极体传声器

传声器也叫麦克风，又称话筒，在电路中用文字符号 B 或 BM 表示。它是整个音响的第一个环节，对整个系统的电声指标有着重要影响。当有声音时，声波激发音膜振动，带动音圈作切割磁力线运动而产生音频感应电压，从而实现了声电转换。传声器是一种将声音信号转换为电信号的声电器件。传声器的种类很多，通常可按原理、指向特性、声作用方式及输出阻抗等进行分类，常见的有动圈式、晶体式、铝带式、电容式和碳粒式等，现在应用最广

泛的是动圈式和驻极体电容式两大类。动圈式传声器由永久磁铁、音膜、音圈、输出变压器等部分组成，音圈位于永久磁铁的缝隙中，并与音膜粘在一起。驻极体传声器是一种用驻极体材料制作的新型传声器，具有体积小、频带宽、噪声小、灵敏度高等特点，被广泛应用于助听器、录音机、无线传声器等产品中。

1. 常见的传声器

(1) 动圈式传声器

动圈式传声器也称为电动式传声器，是最常用的一种传声器，主要由振膜、音圈、永久磁铁和升压变压器等组成。它的工作原理是当人对着传声器讲话时，振膜就随着声音前后颤动，从而带动音圈在磁场中作切割磁力线的运动。根据电磁感应原理，在线圈两端就会产生感应音频电动势，从而完成了声电转换。为了提高传声器的输出感应电动势和阻抗，还需装置一只升压变压器，主要用来提高传声器的输出感应电动势的幅度和实现阻抗匹配。目前使用的动圈式传声器基本上都没有用阻抗匹配变压器，它在音圈绕制工艺上采用细线多层绕制方法，使得传声器的输出阻抗一次达到 200Ω 左右，简化了结构，也提高了传声器的技术指标。

动圈式传声器结构简单、坚固耐用，具有单指向性，稳定可靠、使用方便、固有噪声小，被广泛用于语言广播和扩声系统中。其缺点是灵敏度较低、频率范围窄。近几年已有专用动圈传声器，其特性和技术指标都较好。动圈式传声器结构如图 3-11 所示。

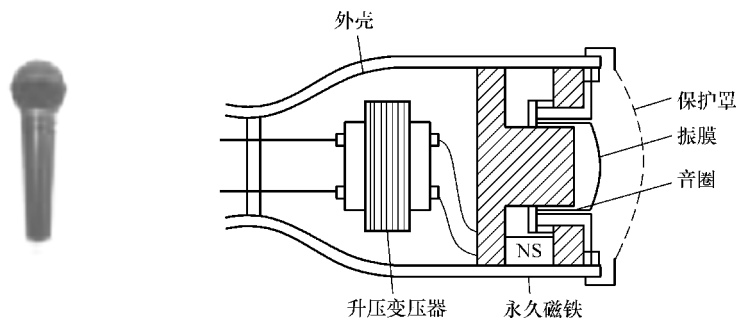


图 3-11 动圈式传声器结构示意图

声音引起传声器内的音膜振动从而带动线圈一起振动，线圈处在永磁体产生的磁场中，所以线圈振动时切割磁力线而产生感应电流，经内附变压器升压后能输出 $0.3 \sim 3\text{mV}$ 的音频电压，可以与扩音机的输入相匹配。动圈式传声器的频率响应一般在 $200 \sim 5000\text{Hz}$ 之间，不如电容式传声器优良。但它的灵敏度是比较高的，卡拉 OK 用传声器大都属于这一类。

动圈式传声器的基本构造不变，因而电容两端的电压随着振动而变化，于是就有音频交变电压输出。由于它的输出阻抗很高，约 $10\text{M}\Omega$ ，因此应用场效应晶体管源极跟随器作为阻抗变换器，并且两者之间的接线要尽量短，或者干脆将阻抗变换器与驻极体一起安装在传声器的外壳内，从而减弱外界干扰。

(2) 电容式传声器

电容式传声器是一种靠电容量的变化而引起声电转换作用的传声器。它由一个金属振动膜和一个固定电极构成，两者之间距离很近，中间的介质是空气，从而形成一个电容器，如图 3-12 所示。工作时两金属片间接有 $200 \sim 250\text{V}$ 的直流电压，并串联一只高阻值电阻器。

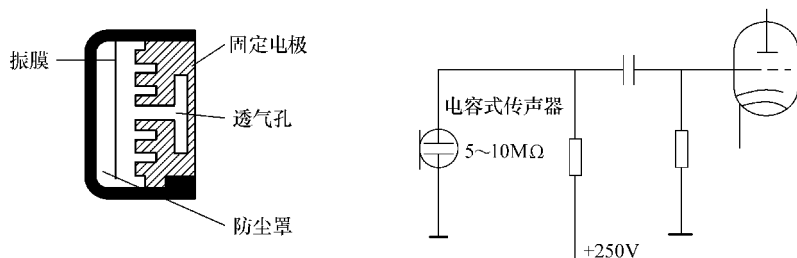


图 3-12 电容式传声器构成

平时电容器呈充电状态，当声波作用于振膜上时，其电容量随音频变化，因此电路中充放电电流也随音频变化，其电流通过电阻器，便产生电压降输出。

电容式传声器灵敏度较高，频率特性平坦，瞬时特性好，音质较好，但制造复杂，成本高，由于放大器必须供给电源，使用比较麻烦，因此一般多用于高质量的广播、录音和舞台扩声。

(3) 驻极体电容式传声器

驻极体电容式传声器是电容式传声器中的一种，内部结构如图 3-13 所示。驻极体传声器的结构由声电转换系统和场效应晶体管放大器组成，声电转换的关键元器件是驻极体振膜。这种传声器的工作原理和电容式传声器相同，所不同的是它采用一种聚四氟乙烯材料作为振膜。由于这种材料经特殊电处理后，表面被永久地驻有极化电荷，其结构与上述电容式传声器相似，但是它的电极是驻极体，故名为驻极体电容式传声器。

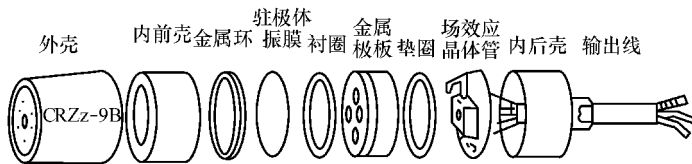


图 3-13 驻极体电容式传声器构成

驻极体电容式传声器的塑料振膜的一面镀有金属薄膜层，与另一金属极间形成电容，经生产厂高压电场驻极后就成为驻极体电容。在声波作用下膜片发生振动时，电容量随之变化，但驻极体电容表面电荷保持。

驻极体电容式传声器的场效应晶体管与电路的接法有两种：输出端有 2 个或 3 个输出接点，源极 S 输出和漏极 D 输出。源极 S 输出有三根引出线，漏极 D 接电源正极，源极 S 经电阻器接地，再经一电容器作信号输出，3 个输出接点的传声器漏极 D、源极 S 及接地电极彼此分开呈三端式；漏极 D 输出有两根引出线，漏极 D 经一电阻器接至电源正极，再经一电容器作信号输出，源极 S 直接接地，两个输出接点的传声器外壳、驻极体与场效应晶体管源极相接做接地端，场效应晶体管漏极 D 做信号输出端，如图 3-14 所示。

驻极体电容式传声器的连接形式：驻极体传声器工作时要给它提供极化电压，驻极体传声器的连接形式有四种，即负极接地，源极 S 输出；正极接地，源极 S 输出；负极接地，漏极 D 输出；正极接地，漏极 D 输出，如图 3-15 所示。源极电阻 R_s 常取 $2.2 \sim 5.1 \text{ k}\Omega$ ，漏极电阻 R_d 常取 $1 \sim 2.7 \text{ k}\Omega$ 。

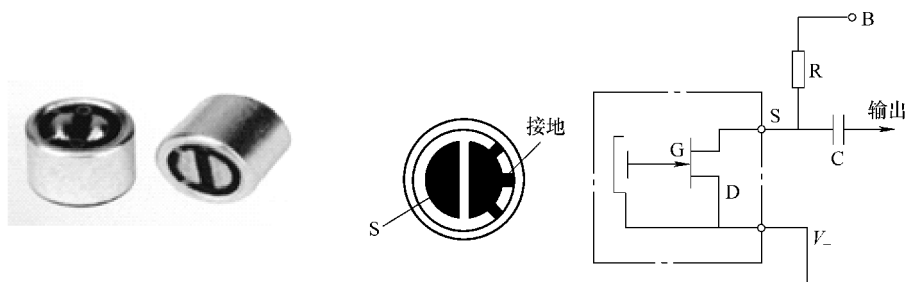


图 3-14 驻极体电容式传声器电路图

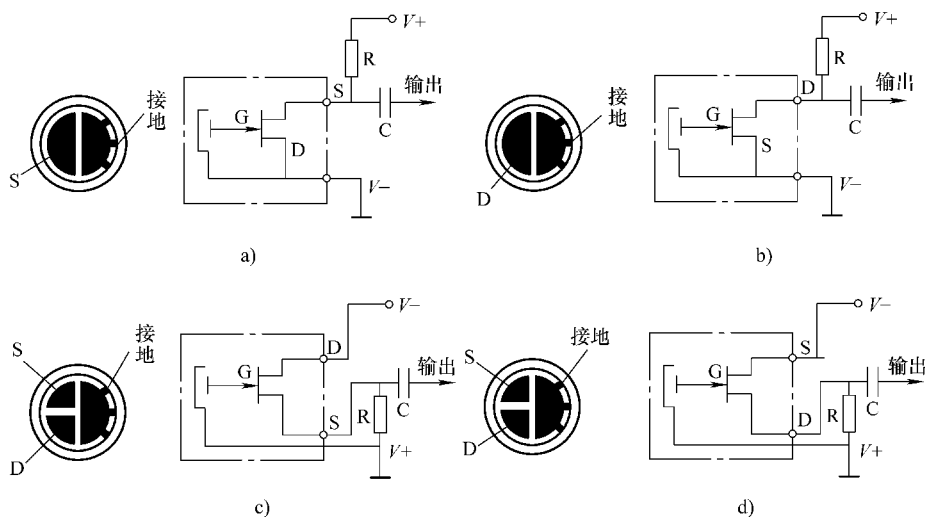


图 3-15 驻极体电容式传声器的连接形式

驻极体电容式传声器作为换能器，被广泛用于助听器、无线传声器、电话机、声控设备等电路中。这种传声器除具备普通电容式传声器的优良性能外，还具有结构简单、体积小、耐振、重量轻、价格低、频带宽、噪声小等特点，在普及型收录机中的内置传声器以及普通无线传声器均广泛采用这类传声器。该类传声器的缺点是在高温高湿下寿命较短。

国产驻极体电容式传声器有些品种用色点标记来表示灵敏度分挡。通常用白、蓝(绿)、黄、红等色点表示。白点的灵敏度最高，红点的灵敏度最低。驻极体电容式传声器使用时必须外加直流电源，工作电压均在 $1.5 \sim 6\text{V}$ 范围内。

(4) 压电式传声器

压电式传声器也叫晶体式传声器，它是利用晶体的压电效应制成的，比如钛酸钡晶体有较强的压电效应，用它制成的压电式传声器已得到广泛应用。压电效应是当声波作用到晶体表面时，在两个受力面上将产生异性电荷，两表面间产生电位差，该电位差随着声波的强度变化，从而把声的振动转换为电信号。

(5) 铝带式传声器

铝带式传声器是在强力磁极极化的空隙中悬挂一条极薄的铝合金带，其表面折成皱纹形，永久磁铁所产生的磁力线集中地穿过铝带。当声波传来时因声波到达的时间不同，在铝带前面和后面造成两面压力差，铝带便依靠压力差而振动并切割磁力线，感应出音频电压。由于铝带的振动是前后压力差所引起的，故属于压差式传声器。铝带的重量极轻，能很好地适应高、低频声波的振动，故频率特性很好，很适合于要求较高的广播和音乐录音等。铝带的尺寸、形状和质量对传声器音质有直接影响，铝带越宽，铝带的沟槽越多、越深，音调就越低；铝带越薄，音调越高。

(6) 炭精式传声器

炭精式传声器主要由保护罩、炭精砂、带有可动电极的振动片、装有固定电极的绒杯、外壳等构成。可动电极固定在振动片的中心，而振动片则固定在金属外壳上，利用外壳作为可动电极的引线。振动片多用炭精片制成，因为炭精弹性好且能导电，也有用铝片制成的。固定电极则装在金属绒杯底部，与引线螺钉相连接，利用引线螺钉作固定电极引线。绒杯具有弹性，所以振膜能自由振动，炭精砂放在金属绒杯内，在可动电极和固定电极之间。炭精式传声器需要电池供给电源，传声器经过电池接到升压变压器的输入端，输出端经过一个电位器接到放大器的输入端。在没有声音信号时，炭精式传声器中有一直流电流通过，当有声音信号作用于传声器时，声波作用在传声器的振动膜上，使振膜随着振动，同时使炭精砂所受到的压力时大时小，压力大时，炭精砂粒被挤紧，电阻减小，电流增大；压力小时，炭精砂疏散，电阻增大，电流减小。由此在电路中会产生一音频电流，经变压器输送到放大器进行放大。

炭精式传声器灵敏度高，输出功率大，结构简单，价格低廉。但其频率特性差，非线性失真大，噪声大，容易受潮，工作不稳定，现已较少应用。

(7) 半导体式传声器

半导体式传声器是利用锗、硅等半导体材料或晶体管的压阻效应制成的传声器件，有压阻式和晶体管式两类。晶体管式是在晶体管上加压，使电流放大率减小制成的晶体管传声器。压阻式是在锗、硅等单晶上加压，使电阻变化，利用压阻效应，类似炭精式传声器的原理得到输出电压。半导体传声器的灵敏度较高，是一种高质量的传声器。

2. 传声器（传声器）的主要技术参数

传声器的主要技术参数有频率响应、灵敏度、输出阻抗、指向性等。

(1) 灵敏度

灵敏度是在自由声场中，当电压为 0.1Pa 时，传声器所产生的输出电压或电动势，是指传声器在一定强度的声音作用下输出电信号的大小。灵敏度高，表示传声器的声电转换效率高，对微弱的声音信号反应灵敏。技术上常用在 0.1Pa [μBar （微巴）] 声压作用下传声器能输出多高的电压来表示灵敏度。如某传声器的灵敏度为 $1\text{mV}/\mu\text{Bar}$ ，即表示该传声器在 $1\mu\text{Bar}$ 声压作用下输出的信号电压为 1mV 。习惯上也常用分贝来表示，上述传声器的灵敏度用分贝可以表示为 60dB 。

(2) 频率响应

频率响应是指传声器在自由场中灵敏度和频率变化的关系。传声器在不同频率声波作用下的灵敏度是不同的，一般在中音频（如 1kHz ）时灵敏度高，而在低音频（如几十赫）或

高频（十几千赫）时灵敏度降低。通常以中音频的灵敏度为基准，把灵敏度下降为某一规定值的频率范围称作传声器的频率特性。频率特性范围宽，表示该传声器对较宽频带的声波具有较高的灵敏度，扩音效果就好。理想的传声器频率特性应为 20Hz ~ 20kHz。

（3）输出阻抗

传声器的输出阻抗是指传声器的两根输出线之间在 1kHz 时测量的传声器阻抗。有低阻（如 50Ω、150Ω、200Ω、250Ω、600Ω 等）和高阻（如 10kΩ、20kΩ、50kΩ）两种。为了使传输获得高效率，为了保证频率响应及满足失真度指标的要求，信号源的输出阻抗应与前级增音器或扩音器的输入阻抗相匹配。其匹配原则是：信号源的输出阻抗应接近负载阻抗但不得高于负载阻抗。传声器宜采用低阻抗型，电路的高频损失和电噪声干扰较小，传输电路的允许长度可较长。高阻抗传声器价格便宜，但感应电噪声较大，传输电路的允许长度较短，宜用于要求较低场合。

（4）指向性

指向性是指传声器灵敏度随声波入射方向而变化的特性。如单方向性表示只对某一方向来的声波反应灵敏，而对其他方向来的声波则基本无输出，单向传声器可分为心形、超心形、超指向形。无方向性则表示对各个方向来的相同声压的声波都能有近似相同的输出。双向性表示传声器前、后两面灵敏度一样，两侧灵敏度较低。

（5）固有噪声

固有噪声是指在无声压作用时，传声器的输出电压。

3. 传声器的使用

选择传声器时应根据使用的场合和对声音质量的要求，结合各种传声器的特点，综合考虑选用。例如，高质量的录音和播音，主要要求音质好，应选用电容式传声器、铝带式传声器或高级动圈式传声器；作一般扩音时，广播和宣传选用普通动圈式即可；当讲话人的位置不时移动或讲话时与扩音机距离较大时，以及在噪声环境中，应选用方向性强的传声器；如卡拉 OK 演唱时，应选用单方向性、灵敏度较低的传声器，以减小杂音干扰等。在使用中应注意：

（1）阻抗匹配

在使用传声器时，传声器的输出阻抗与放大器的输入阻抗相同是最佳匹配，如果失配比在 3:1 以上，就会影响传输效果。例如把 50Ω 传声器接至输入阻抗为 150Ω 放大器时，虽然输出可增加近 7dB，但高低频的声音都会受到明显的损失。

（2）连接线

传声器的输出电压很低，为了免受损失和干扰，连接线必须尽量短，要注意平衡连接，高质量的传声器应选择双心绞合金属隔离线，一般传声器可采用单心金属隔离线。高阻抗式传声器传输线长度不宜超过 5m，否则高音将明显损失，低阻传声器的连线可延长至 30 ~ 50m。

（3）工作距离与近讲效应

通常，传声器与声源之间的工作距离在 30 ~ 40cm 为宜，如果距离太远，则回响增加，噪声相对增大；工作距离过近，会因信号过强而失真，低频声过重而影响语音的清晰度，这是因为指向性传声器存在着“近讲效应”，即近距离播讲时，低频声会得到明显的提高。

普通动圈式传声器的工作距离一般为 20cm 左右，过近声音含糊不清，过远噪声过大；

动圈式近讲传声器距离可近些,灵敏度高的传声器(如电容传声器)距离应远些。传声器应尽量远离扬声器,避免声反馈而产生啸叫。

(4) 声源与传声器之间的角度

每个传声器都有它的有效角度,一般声源应对准传声器中心线,两者间偏角越大,高音损失越大。声源与传声器角度应尽量小,最好以中心为准,以减少失真。有时使用传声器时会带有失真的声音,这时把传声器偏转一些角度,就可减轻一些。

(5) 传声器位置 and 高度

在扩音时,传声器不要先靠近扬声器放置或对准扬声器,否则会引起啸鸣。传声器放置的高度应依声源高度而定,如果是一个人讲话或几个人演唱,传声器的高度应与演唱者口部一致;当人数众多时,传声器应选择平均高度放置,并适当调配演唱者和伴奏队中各种乐器的位置,勿使响的过响,轻的过轻,而且要使全部声响都在传声器有效角度以内。如果有领唱或领奏,必要时应放置专用传声器。

(6) 多只传声器同时使用

在需要几个传声器同时使用时,可采取并联接法,但必须注意几个传声器的相位问题。相位一致时才能互相并联,否则将互相干扰,使输出减小,失真。不同型号和不同阻抗的传声器,不宜并联使用,因为高阻抗传声器会短路,使输出电压降到很低。通常状况下,传声器直接并联使用,其效果不如单只传声器。若几只传声器同时使用直接并联,应至前置放大后再予以合并或使用传声器集线器,并注意各传声器相位一致。

(7) 其他方面

传声器使用中应防止敲击,不宜用损坏传声器的敲击方法试验,在室外使用时应加防风罩。用电池供电的传声器应注意防止电池极性接反,如果电池电压下降,会使灵敏度降低,失真度增大。

4. 驻极体电容式传声器的测试

(1) 极性判断

在场效应晶体管的栅极 G 和源极 S 间有一只二极管,故可利用二极管的正、反向电阻特性来判断驻极体传声器的漏极 D 与源极 S。将万用表拨至“ $R \times 1k\Omega$ ”挡,将黑表笔接任意一点,红表笔接另外一点,记下测得的数值;再交换两表笔的接点,比较两次测得的结果,阻值比较小的一次,黑表笔接触的点为场效应晶体管的源极 S,红表笔接触的点为场效应晶体管的漏极 D。

(2) 质量判断

万用表检测驻极体传声器方法是:如图 3-16 所示,将万用表拨至“ $R \times 1k\Omega$ ”挡,黑表笔接传声器漏极 D,红表笔接传声器的源极 S 和外壳,同时接地,用手指不间断地弹或用嘴对传声器吹气,同时观察万用表指针,若万用表指针不动(没有指示),则说明传声器已失效;如果万用表指针有指示,表明传声器正常,同类型的传声器比较,指针摆动的范围越大其灵敏度越高。

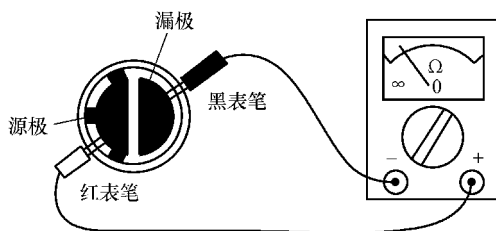


图 3-16 万用表检测驻极体传声器

3.2 选用及检测集成芯片

3.2.1 集成电路芯片

集成电路（Integrated Circuit，IC）实现了元器件、电路和系统的三结合。它利用半导体特殊工艺将大量的元器件，如电阻器、二极管、晶体管、电容器等，包括它们之间的连线按要求相互连接并封装在一起，全部集中制作在一小块半导体硅基片上，因而形成了具有一定电子技术功能的集成电路。一般集成电路在一平方毫米的硅片上，可以容纳几十个到几十万个元器件，组成功能强大的电路系统。今天的超大规模集成电路，已经在每块芯片上制有上亿个元器件，而芯片面积却只有几十平方毫米。

集成电路不仅体积小、重量轻、成本低、耗能小、引出线和焊接点少、寿命长，而且电路工作的可靠性很高，组装和调试也很方便，同时成本低，便于大规模生产。用集成电路来装配电子设备，其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍，设备的稳定工作时间也可大大提高。集成电路已被广泛应用于电子计算机、电子设备和家用电器等各种领域，在军事、通信、遥控等方面也得到应用。在此需要说明的是，半导体集成电路有很多种类，其中大量应用的是运算放大器和数字集成块。

1. 常见集成电路芯片的分类和命名

(1) 常见集成电路的外形结构

常见集成电路的外形结构如图 3-17 所示。

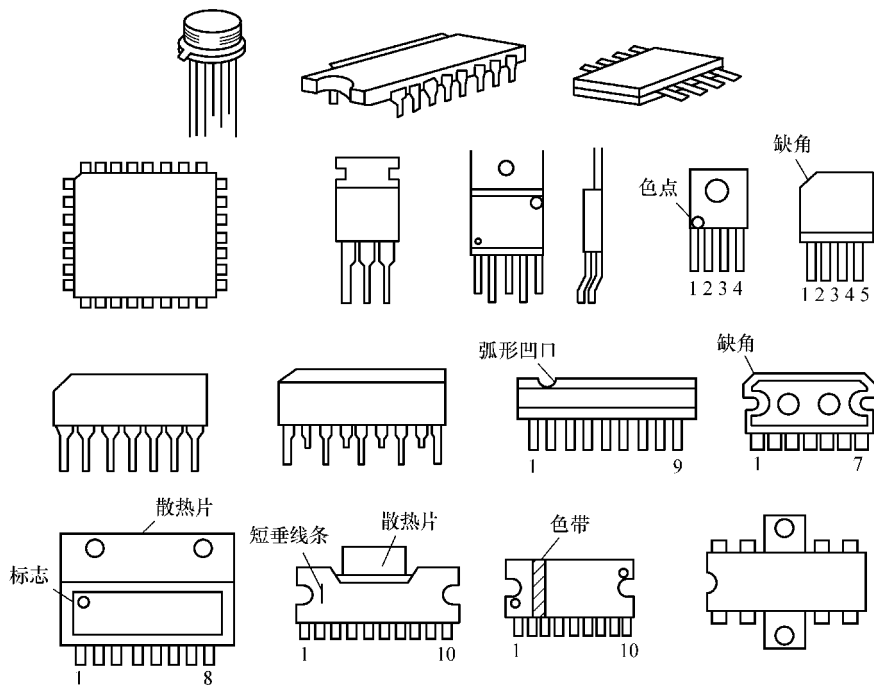


图 3-17 集成电路芯片

(2) 集成电路的分类

综合考虑制造工艺和使用功能, 集成电路的分类如下:

1) 集成电路按其功能、结构的不同, 可以分为模拟集成电路、数字集成电路两类。模拟集成电路又称线性电路, 用来产生、放大和处理各种模拟信号 (指幅度随时间连续变化的信号, 如半导体收音机的音频信号、录放机的磁带信号等), 其输入信号和输出信号成比例关系。而数字集成电路用来产生、放大和处理各种数字信号 (指在时间上和幅度上离散取值的信号, 如 VCD、DVD 重放的音频信号和视频信号)。常用的模拟集成电路包括运算放大器、稳压器、音响电路、电视电路、非线性电路; 数字集成电路包括 TTL 电路、HTL 电路、ECL 电路、CMOS 电路、微型机电路。

2) 集成电路按其制作工艺的不同, 可以分为半导体集成电路、膜集成电路和混合集成电路三类。膜集成电路又分类厚膜集成电路和薄膜集成电路。

用平面工艺 (氧化、光刻、扩散、外延) 在半导体晶片上制成的集成电路称为半导体集成电路 (也称单片集成电路)。

用薄膜工艺 (真空蒸发、溅射) 或厚膜工艺 (丝网印刷、烧结), 将电阻器、电容器等无源元件及相互连线制作在同一块绝缘衬底上, 再焊接上晶体管管心, 使其具有一定功能的电路, 叫薄膜或厚膜集成电路。

如果再把单片集成电路装入焊上, 则又称为混合集成电路。

3) 集成电路按集成度高低的, 可以分为小规模、中规模、大规模及超大规模集成电路四类, 它表示了在一个硅基片上所制造的元器件的数目。对模拟集成电路, 由于工艺要求较高、电路又较复杂, 所以一般认为集成 50 个以下元器件为小规模集成电路 (SSI); 集成 50 ~ 100 个元器件为中规模集成电路 (MSI), 集成 100 个以上元器件为大规模集成电路 (LSI); 对数字集成电路, 一般认为集成 1 ~ 10 等效门/片或 10 ~ 100 个元器件/片为小规模集成电路 (SSI); 集成 10 ~ 100 个等效门/片或 100 ~ 1000 元器件/片为中规模集成电路 (MSI); 集成 100 ~ 10000 个等效门/片或 1000 ~ 100000 个元器件/片为大规模集成电路 (LSI); 集成 10000 以上个等效门/片或 100000 以上个元器件/片为超大规模集成电路 (VLSI)。

4) 集成电路按导电类型的不同, 可分为双极型集成电路和单极型集成电路两类。双极型集成电路的制作工艺复杂, 功耗较大, 代表集成电路有 TTL、ECL、HTL、LST-TL、ST-TL 等类型。单极型集成电路的制作工艺简单, 功耗也较低, 易于制成大规模集成电路, 代表集成电路有 CMOS、NMOS、PMOS 等类型。

5) 集成电路按用途的不同, 可分为电视机用集成电路、音响用集成电路、影碟机用集成电路、录像机用集成电路、计算机 (微机) 用集成电路、电子琴用集成电路、通信用集成电路、照相机用集成电路、遥控集成电路、语言集成电路、报警器用集成电路及各种专用集成电路。

(3) 集成电路型号命名

国标集成电路型号的命名由五部分组成, 各部分的含义如表 3-1 所示。第一部分: 用字母 C 表示该集成电路为中国制造, 符合国家标准; 第二部分: 用字母表示集成电路的类型; 第三部分: 用数字或数字与字母混合表示集成电路的系列和品种代号; 第四部分: 用字母表示电路的工作温度范围; 第五部分: 用字母表示集成电路的封装形式。例如: CT4020ED 为低功耗肖特基 TTL 双 4 输入与非门, 其中, C 表示符合国家标准 (第一部分), T 表示 TTL

电路（第二部分），4020 表示低功耗肖特基系列双 4 输入与非门（第三部分），E 表示 -40℃ ~85℃（第四部分），D 表示陶瓷双列直插封装（第五部分）。

表 3-1 国产半导体集成电路型号命名法

第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
用字母表示器件 符合国家标准	用字母表示器件的 类型	用阿拉伯数字表示 器件的系列和品种 代号	用字母表示器件 的工作温度范围	用字母表示器件的封装
中国制造 C	T: TTL 电路	TTL 电路分为	C: 0 ~70℃	F: 多层陶瓷扁平封装
	H: HTL 电路	54/74 × × ×	G: -25 ~70℃	B: 塑料扁平封装
	E: ECL 电路	54/74H × × ×	L: -25 ~85℃	H: 黑瓷扁平封装
	C: COS 电路	54/74L × × ×	E: -40 ~85℃	D: 多层陶瓷双列直插封装
	M: 存储器	54/74S × × ×	R: -55 ~85℃	J: 黑瓷双列直插封装
	μ: 微型放大器	54/74LS × × ×	M: -55 ~125℃	P: 塑料双列直插封装
	F: 线性放大器	54/74AS × × ×		S: 塑料单列直插封装
	W: 稳压器	54/74ALS × × ×		T: 金属圆壳封装
	D: 音响电视电路	54/74F × × ×		K: 金属菱形封装
	B: 非线性电路	CMOS 电路为		C: 陶瓷芯片载体封装
	J: 接口电路	4000 系列		E: 塑料芯片载体封装
	AD: A - D 转换器	54/74HC × × ×		G: 网络针栅陈列封装
	DA: D - A 转换器	54/74HCT × × ×		SOIC: 小引线封装
	SC: 通信专用电路			PCC: 塑料芯片载体封装
	SS: 敏感电路			LCC: 陶瓷芯片载体封装
	SW: 钟表电路			
	SJ: 机电仪表电路			
	SF: 复印机电路			

注：74 表示国际通用 74 系列（民用）；54 表示国际通用 54 系列（军用）。H 表示高速。L 表示低速。LS 表示低功耗。C 表示只出现在 74 系列。M 表示只出现在 54 系列。

在生产、调试和维修过程中，有时需要对所用集成芯片进行替换试验，可以按照表中第三部分的数字系列代码进行选择。在我国，TTL 电路按速度、功耗和性能分为 4 个系列，它们分别与国外通用的 54/74 型系列对应。1000 系列是标准系列，与 54/74 系列相对应；2000 系列是高速系列，与 54H/74H 系列相对应；3000 系列是肖特基系列，与 54S/74S 系列相对应；4000 系列是低功耗肖特基系列，与 54LS/74LS 系列相对应。

TTL 集成器件分为五大类，如表 3-2 所示。该表是 74 系列的分类情况，若将表中 74 换成 54 就是 54 系列的分类表。

表 3-2 TTL 器件分类表

种类	字头	举例	国内对应系列
标准 TTL	74 × × ×	7400、74161	CT74 × × ×
高速 TTL	74H × × ×	74H00、74H161	CT74H × × ×
低功耗 TTL	74L × × ×	74L00、74L161	CT74L × × ×
肖特基 TTL	74S × × ×	74S00、74S161	CT74S × × ×
低功耗肖特基 TTL	74LS × × ×	74LS00、74LS161	CT74LS × × ×

2. TTL 和 CMOS 型集成电路芯片

(1) TTL 型集成电路

TTL 型集成电路是晶体管—晶体管逻辑 (Transister – Transister – Logic) 电路的英文缩写, 是数字集成电路的一大门类。它采用双极型工艺制造, 具有高速度低功耗和品种多等特点。

1) TTL 集成电路简介。

① 国产 TTL 集成电路有 T1000 ~ T4000 系列。

我国选取了与国际 54/74 系列完全一致的品种作为优选系列品种, 并采用统一的型号, 即 T0000 系列。

T1000 标准系列与国标 CT54/74 系列及国际 SN54/74 通用系列相同。

T2000 高速系列与国标 CT54H/74H 系列及国际 SN54H/74H 高速系列相同。

T3000 肖特基系列与国标 CT54S/74S 系列及国际 SN54S/74S 肖特基系列相同。

T4000 低功耗肖特基系列与国标 CT54LS/74LS 系列及国际 SN54LS/74LS 低功耗肖特基系列相同。

② 型号区别:

54 与 74 系列的区别主要是在工作环境温度上, 54 系列为 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$, 74 系列为 $0 \sim +70^{\circ}\text{C}$ 。

T1000 ~ T4000 的主要区别仅在于典型门的平均延迟时间和平均功耗两个参数有所不同, 其他电参数和外引线排列基本相同, 可根据要求选择功能相同的系列电路互为代用。

2) TTL 系列集成电路主要特点、TTL 系列产品向着低功耗、高速度方向发展。

① 不同系列同型号器件引脚排列完全兼容。

② 参数稳定, 使用可靠。

③ 噪声容限高达数百毫伏。

④ 输入端一般有钳位二极管, 减少了反射干扰的影响。输出电阻低, 带容性负载能力强。

⑤ 采用 +5V 电源供电, 超过 4.75 ~ 5.25V 范围有可能造成集成电路芯片损坏或处于不正常的工作状态。

3) TTL 集成电路的端口识别。

① 电源端和接地端的识别。国产 TTL74 系列“与”、“或”、“与非”门等集成电路电源端和接地端的位置有两种: 一种为左上角第一脚为电源端, 右下角最边上的引脚为接地端。

② 输入和输出端的识别。国产 TTL74 系列“与”、“或”、“与非”门等集成电路因输入短路电流值不大于 2.2mA, 输出低电平小于 0.35V, 据此便可识别出它的输入端和输出端。

③ 识别同一个“与非”门的输入、输出端。将“与非”门的电源接 +5V 电压, 接地端按要求正确接地。指针式万用表拨在直流 10V 挡上, 黑表笔接地, 红表笔接任一输出端。

4) TTL 集成电路一般使用规则。为保证电源电压的稳定, 电路规定的工作参数不能超过极限参数值。输入输出端的处理: 当负载为容性且电容量大于 100pF 时, TTL 输出端应串接数百欧姆的限流电阻限制充放电电流。不要带电焊接或拔插集成电路, 以防电流的冲击造成集成电路的永久性损坏。输入信号的有效上升沿和下降沿不应超过 $1\mu\text{s}$ 。TTL 集成电路的各个输入端不能直接与高于 +0.5V 和低于 -0.5V 的低内阻电源连接。对多余的输入端最好

不要悬空，根据电路原理需要进行接地、接电源、剪断悬空或与已用输入端并联。除“三态门”、“集电极开路门”外，TTL 集成电路的输出端不允许并联使用。

(2) CMOS 集成电路简介

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 指互补金属氧化物 (PMOS 管和 NMOS 管) 共同构成的互补型 MOS 集成电路制造工艺，由于 CMOS 中一对 MOS 组成的门电路在瞬间看，要么 PMOS 导通，要么 NMOS 导通，要么都截止，比线性的晶体管 (BJT) 效率要高得多。

CMOS 集成电路是以单极型晶体管为基本元器件制成的，具有功耗低、工作电源电压范围宽 (如 CC4000 系列的工作电压范围为 3 ~ 18V)、速度快 (可达 7MHz)、抗干扰能力强、逻辑摆幅大、输入阻抗高 (通常为 108Ω)、扇出能力大、封装密度大、温度稳定性好、抗辐射能力强及成本低等优点。

74 系列的高速 CMOS 电路主要有两类：74HC × × 为 CMOS 工作电平，74HCT × × 为 TTL 工作电平。该系列的速度比一般的 CMOS 电路快，与 TTL 系列相同品种代号的引脚兼容。常用的 CMOS 器件分类如表 3-3 所示。

表 3-3 CMOS 器件分类表

种类	名称	举例	国内对应系列
CMOS	互补道场效应晶体管系列	CD4001	CC4000 (CC14000) 系列
HCMOS	高速 CMOS 系列	74HC00、54HC00	CC54HC/74HC
HCT	与 TTL 电平兼容的 HCMOS 系列	74HCT20、54HCT20	CC54HCT/74HCT
AC	先进 CMOS 系列	74AC02、54AC02	

我国国产的 CMOS 器件主要分以下两个系列：

1) 工作电压为 3 ~ 18V 的 CC4000 系列，其引脚功能排列与国外相应序号的品种一致。此外，还有一些 CC14000 系列，也和国外相应品种序号相同。

2) 工作电压为 7 ~ 15V 的 C0000 系列，其引脚功能排列符合电子工业部 SJ1527 - 79 标准的规定。

国际上通用的 CMOS 集成电路主要有美国无线电 (RCA) 公司开发的 CD4000 系列产品和美国摩托罗拉 (Motorola) 公司开发的 MC14000 系列产品。CD4000 系列按工作电压范围、输出驱动能力的不同又可分成 A、B 两大类。CD4000A 系列的电源电压为 3 ~ 15V，输出驱动能力稍差；CD4000B 系列的电源电压为 3 ~ 18V，在 5V 电源时可驱动一个 74LS 系列 TTL 电路或两个 74ALS 系列电路，因此 B 系列器件可以与 TTL 电路混合使用。

无论是 TTL 的 54/74 系列，还是 CMOS 的 4000、40000 和 14000 系列，具有相同型号的产品，其引脚功能及排列通常都是一致的，只在它们的型号前面加上各个公司前缀。例如在 54/74 系列型号前冠有 SN，则表示美国德克萨斯公司的标准 TTL 集成电路；若在 4000、40000 和 14000 系列型号前冠有 HD，则表明该器件是日本日立公司的 CMOS 集成电路。

例如：国产 CT4020CP 芯片可与国外通用的 74LS20 互换使用；CC4012 可与国外的 CD4000、MC4000 系列代换使用；国产 D7680 可与国外 TA7680 互换使用；NE555 可以和 LM555，μPC1555，SG555 替换。

1) CMOS 集成电路的主要特点：

① 具有非常低的静态功耗：在电源电压 $V_{cc} = 5V$ 时，中规模集成电路的静态功耗小于 $100\mu W$ 。

② 具有非常高的输入阻抗：正常工作的 CMOS 集成电路，其输入保护二极管处于反偏状态，直流输入阻抗大于 $100M\Omega$ 。

③ 宽的电源电压范围：CMOS 集成电路标准 4000B/4500B 系列产品的电源电压为 $3 \sim 18V$ 。

④ 扇出能力强：在低频工作时，一个输出端可驱动 CMOS 器件 50 个以上输入端。

⑤ 抗干扰能力强：CMOS 集成电路的电压噪声容限可达电源电压值的 45%，且高电平和低电平的噪声容限值基本相等。

⑥ 逻辑摆幅大：CMOS 电路在空载时，输出高电平 $V_{OH} > V_{cc} - 0.05V$ ，输出低电平 $V_{OL} \leq 0.05V$ 。

2) 三种封装形式：

陶瓷扁平封装，工作温度范围为 $-55 \sim +100^\circ C$ 。

陶瓷双列直插封装，工作温度范围为 $-55 \sim +125^\circ C$ 。

塑料双列直插封装，工作温度为 $-40 \sim +85^\circ C$ 。

3) CMOS 集成电路的一般使用规则：

① 电源极性不允许接反，电源电压范围为 $3 \sim 18V$ ，电源电压不允许超出此范围。工作时一定要注意电压与信号的加载顺序，要先加电源，后加信号，先撤除信号，后切断电源。

② 输入信号的幅度不能超过电源电压，否则会损坏其内部的输入保护二极管。

③ 输入端的输入电流一般不应超过 $1mA$ ，对低内阻的信号源常采用限流措施。

④ 多余不用的输入端不允许悬空，在电路中应按逻辑功能的要求接电源端或地（参考 TTL 多余输入端处理）。多余输入端最好不要并联使用，因为并联后会增加输入电容而降低电路的工作速度。

⑤ CMOS 集成电路的输出端不允许直接接地或电源，也不允许两个 CMOS 芯片输出端直接连接使用，以免损坏器件。可将同一芯片的几个同类电路的输入端和输出端分别并联在一起以增加驱动能力。

⑥ 焊接烙铁、测量仪表等必须良好接地。

4) CMOS 集成电路使用应注意的问题：

① 防止静电。CMOS 电路的栅极 G 与源极 S 之间有一层绝缘的二氧化硅薄层，厚度仅为 $0.1 \sim 0.2\mu m$ 。由于 CMOS 电路的输入阻抗很高，而输入电容又很小，当不太强的静电加在栅极上时，其电场强度将超过 $105V/cm$ 。这样强的电场极易造成栅极 G 击穿，导致永久损坏。

② 正确选择电源。由于 CMOS 集成电路的工作电源电压范围比较宽（CD4000B/4500B： $3 \sim 18V$ ），选择电源电压时首先考虑要避免超过极限电源电压。其次要注意电源电压的高低将影响电路的工作频率。降低电源电压会引起电路工作频率下降或增加传输延迟时间。

③ 防止 CMOS 电路出现晶闸管效应的措施。当 CMOS 电路输入端施加的电压过高（大于电源电压）或过低（小于 $0V$ ），或者电源电压突然变化时，电源电流可能会迅速增大，烧坏器件，这种现象称为晶闸管效应。

④ 对输入端的处理。

在使用 CMOS 电路器件时,对输入端一般要求如下:

a. 应保证输入信号幅值不超过 CMOS 电路的电源电压。即满足 $V_{ss} \leq V_i \leq V_{cc}$, 一般 $V_{ss} = 0V$ 。

b. 输入脉冲信号的上升和下降时间一般应小于数微秒,否则电路工作不稳定或损坏器件。

c. 所有不用的输入端不能悬空,应根据实际要求接入适当的电压 (V_{cc} 或 $0V$)。由于 CMOS 集成电路输入阻抗极高,一旦输入端悬空,极易受外界噪声影响,从而破坏电路的正常逻辑关系,也可能感应静电造成栅极 G 击穿。

⑤ 对输出端的处理。

a. CMOS 电路的输出端不能直接连到一起,否则导通的 P 沟道 MOS 场效应晶体管和导通的 N 沟道 MOS 场效应晶体管形成低阻通路,造成电源短路。

b. 在 CMOS 逻辑系统设计中,应尽量减少电容负载,电容负载会降低 CMOS 集成电路的工作速度和增加功耗。

c. CMOS 电路在特定条件下可以并联使用。当同一芯片上 2 个以上同样器件并联使用(例如各种门电路)时,可增大输出灌电流和拉电流负载能力,同样也提高了电路的速度,但器件的输出端并联,输入端也必须并联。

d. 从 CMOS 器件的输出驱动电流大小来看,CMOS 电路的驱动能力比 TTL 电路要差很多,一般 CMOS 器件的输出只能驱动一个 LS-TTL 负载,但从驱动和它本身相同的负载来看,CMOS 的扇出系数比 TTL 电路大得多(CMOS 的扇出系数大于 500)。CMOS 电路驱动其他负载,一般要外加一级驱动器接口电路,更不能将电源与地颠倒接错,否则将会因为电流过大而造成器件损坏。

3. 集成电路芯片的封装形式和引脚识别

集成电路常用的封装材料有塑料、陶瓷和金属三种。

(1) 封装形式

集成电路的封装外形很多,基本形式有晶体管型、扁平形、双列直插型、单列直插型、圆筒形和菱形等,如图 3-18 所示。

1) 金属圆形外壳 (Can TO-99)。早期的集成电路为圆形结构,采用金属外壳封装,形状类同普通半导体晶体管,散热、屏蔽性能良好,可靠性高,价格也高,其端子有 3 端、5 端、8 端、10 端和 12 端等多种,主要用于高档产品。

2) 单列直插封装 (SIP/SSIP/SIP-TAB)。单列直插封装的集成度不是很高,采用塑料或陶瓷封装,引脚自 3~16 脚不等,有标准间距和窄间距两种引脚排列。造价低廉,安装方便,广泛用于民用产品中。

3) 双列直插封装 (DIP/SDIP/DIP-TAB)。双列直插封装是最常用的一种封装形式,引脚自 8~64 脚不等,有标准间距和窄间距两种引脚排列。塑料封装的造价低,应用十分广泛;陶瓷封装耐高温,造价较高,用于高档产品。

4) 功率塑封 (ZIP-TAB)。TAB 封装是一种小间距引脚直插式薄形封装,引脚自 3~16 脚不等,芯片上方装有散热金属片,适用于大功率器件。TAB 器件的间距一般非常小,在进行焊接之前,必须仔细对齐。因此,在批量生产时 TAB 器件不适用标准的取、放置的表面安装操作进行印制电路装配,而必须利用专用的装配台连接 TAB 器件。

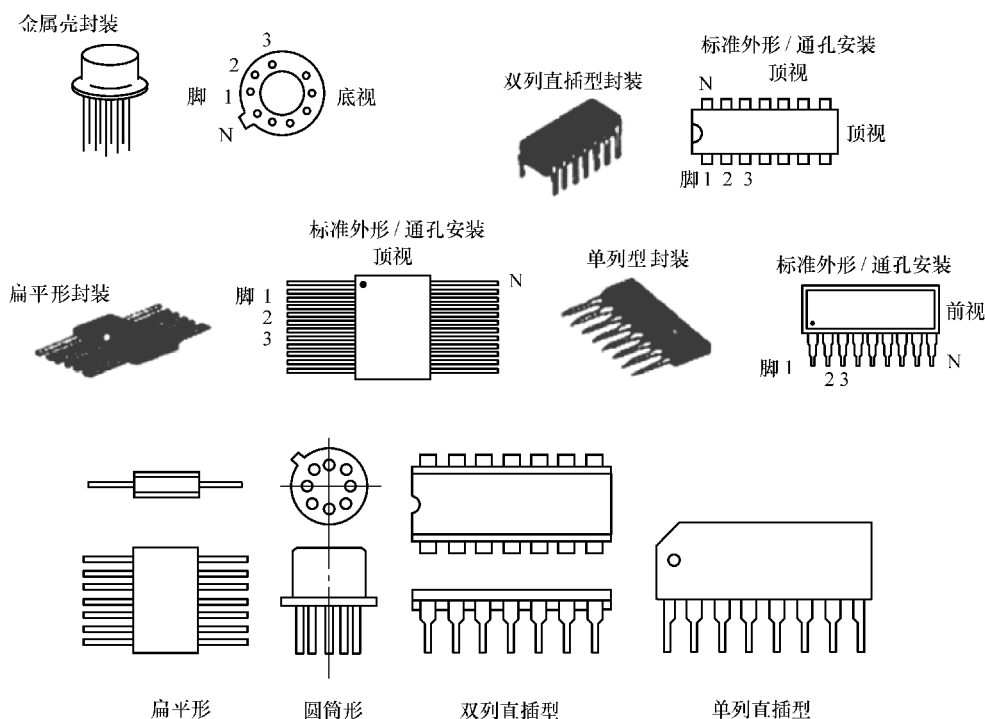


图 3-18 集成电路封装的基本形式

5) 薄膜封装 (TCP)。薄膜封装是 TAB 器件的一种形式,它能够像处理非常近间距的有引脚封装一样进行处理。TCP 本质上是一种非常薄的 QFP,在结构上使用的是聚酰亚胺薄膜,而不用引线框架。

6) 双列扁平封装 (SOP/SSOP/TSOP)。双列扁平封装是一种扁平结构的表面安装集成电路,采用塑料或陶瓷封装,有 J 形 (又叫钩形) 和 L 形 (又称翼形) 两种封装形式,其引脚数自 8~56 脚不等,分布在集成块两边,有标准间距和窄间距两种排列方式,常用于微组装产品。

7) 扁平矩形封装 (QFP/SQFP/TQFP)。扁平矩形封装适用于高频电路和引脚较多的模块,它的四边都有引脚,引脚数目 20 以上,最多可达 567 脚,属于大规模集成电路。

8) 栅格阵列 (BGA)。栅格阵列 (Ball Grid Array, BGA) 封装或称球栅阵列封装。它是一个多层的芯片载体封装,利用一个小印制电路托架作为 IC 和印制电路板之间的插件,用线将集成电路连接到印制电路托架上,或者将芯片倒装到印制电路托架上,然后用和引脚封装类似的方法进行封装。印制电路托架将外围元器件的引线连接到托架下面的阵列模型上。再利用焊球将阵列模型组装到印制电路基板上。

9) 板载芯片 (COB)。板载芯片封装俗称软封装,是一种真正意义上的高度小型化的无封装技术。在 COB 装配中,IC 器件被直接焊接在基板上,I/O 连接利用引线接合而成,最后用黑塑胶进行封装保护,以防止装配之后变形。

10) 倒装片 (FC)。倒装片封装是另一种允许高度小型化的无封装技术。裸芯片被直接安装于基底上,省去了中间的 IC 封装。由于消除了引脚和引线接合 (wire-bonded) 器件,

体积越来越小。

与 COB 技术不同的是,倒装片集成电路的 I/O 间距必须在印制电路板上进行准确匹配。

11) 芯片级封装 (CSP)。芯片级封装在概念上和 BGA 封装类似,但其引脚更小,厚度和倒装片接近。通常, CSP 的引脚仅比裸芯的引脚略大, CSP 提供的小型化程度和性能优势与倒装片接近, CSP 中的内插层 (类似于 BGA 上的承载基板) 可用于改变器件从外围到阵列的 I/O 结构。

(2) 引脚排列

集成电路的引脚排列次序有一定的规律,一般是从外壳顶部向下看,从左下角按逆时针方向读数,其中第一脚附近一般有参考标志,如凹槽、色点等。

常见集成电路外形和封装形式的引脚排列如图 3-19 所示。

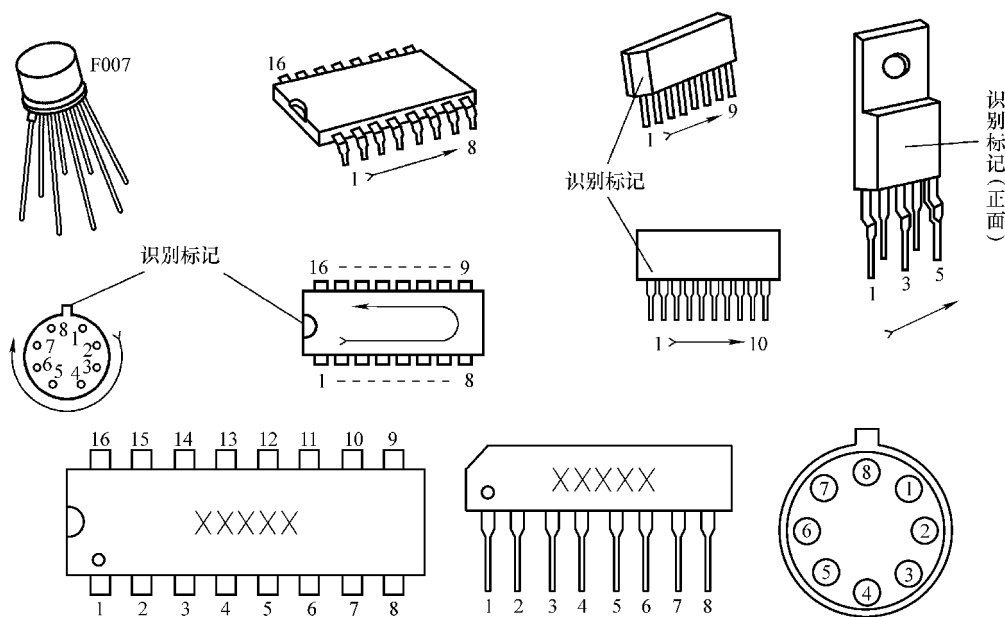


图 3-19 集成电路引脚的识读

(3) 集成电路引脚的识读方法

塑料扁平封装双列直插式集成电路引脚编号排列的识读方法是:面对集成电路印有型号字体的表面,找到 IC 的一角有一个黑点标记,从有标记端的左侧第一脚起逆时针依次为①、②、③……读完一侧后逆时针转另一侧再读,如图 3-19 所示。如果 IC 上没有标记点,可将 IC 上的文字符号方向放正,从左下角开始逆时针方向数。

金属圆筒形集成电路的识读方法是:引脚朝下,以间隙最大处或凸键为标记,右边起逆时针方向依次为引脚①、②、③……如图 3-19 所示。

4. 模拟集成电路

在二进制数字计算系统中,我们可分别用一个确定的低电平和一个确定的高电平代表“0”和“1”,因此对数字量的运算和处理就归结为对电的量——低电平和高电平的运算和处理。而对非电的物理量,则可用电压的高低或电流的大小相应模拟它们的大小,因此把这

种用来代表非电物理量的电量称为模拟量。有了模拟量，各种电子仪表就可对各种非电物理量进行测量、计算和处理了。模拟集成电路是以电压或电流为模拟量进行放大、运算、变换等的集成电路，它包括数字集成电路以外的所有半导体集成电路。

模拟集成电路具有多种多样的电路功能，以收音机用模拟集成电路为例，就包括高频放大、混频、中放、检波、前置放大和功率放大等功能。电路功能的多样化，使模拟集成电路的封装形式也是多种多样的。

(1) 模拟集成电路的特点

一般模拟集成电路的电源电压比数字集成电路的工作电压要高，电路处理的是连续变化的模拟信号。除功率输出级电路外，电路中信号的电平值较小，信号频率可以从直流延伸到高频，如图 3-20 所示。

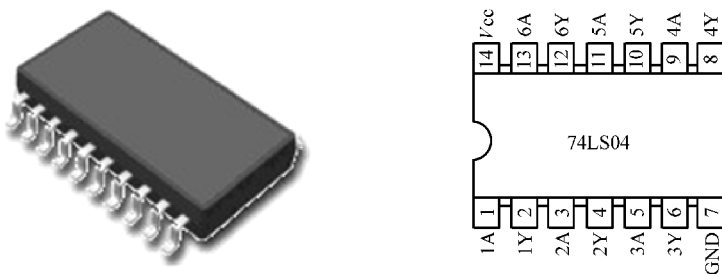


图 3-20 模拟集成电路

1) 电路所要处理的是连续变化的模拟信号。

2) 除了需要功率输出的输出级电路外，电路中信号的电平值较小。

3) 信号频率往往从直流延伸到高频。

4) 模拟集成电路具有多种多样的电路功能。以收音机用模拟集成电路为例，就包括高频放大、混频、中放、检波、前置放大和功率放大等功能。电路功能的多样化，使模拟集成电路的封装形式也是多种多样的。

5) 与数字集成电路相比，模拟集成电路一般总是要求在较高的电源电压下工作。

(2) 模拟集成电路的分类

模拟集成电路的分类方法是各种各样的。按制造工艺的不同可以分为双极型模拟集成电路、MOS 模拟集成电路和混合模拟集成电路。按电路功能可以分成线性模拟集成电路、非线性模拟集成电路、功率集成电路和微波集成电路。按照用途可以分为运算放大器、电视机集成电路、音响集成电路、钟表集成电路、集成稳压器等。

(3) 模拟集成电路的结构

常用的模拟集成电路多为半导体结构方式。它的外形主要有金属外壳、陶瓷外壳和塑料外壳三种，目前使用最多的是后两种。如果从结构形式来看，目前多采用扁平形，少数是圆形。

5. 数字集成电路

在电子计算机、自动控制、检测系统以及其他电子设备中，数字集成电路得到广泛应用。电路中的工作信号通常是断续的脉冲（数字）信号。一般说来，数字系统中运行的电信号，其大小往往并不改变，但在时间分布上却有着严格的要求，这是数字电路的一个基本特点。

(1) 数字集成电路的主要性能参数

1) 静态功耗。静态功耗为电路处于稳定状态时,电源流向电路内部的(平均)电流和电源电压的乘积。它的大小直接影响到电路的集成度,单位是 mW。

2) 导通电源电流 I_{CCL} 。导通电源电流是电路各输入端全部悬空,输出空载时电源所消耗的电流,单位为 mA。

3) 截止电源电流 I_{CCH} 。截止电源电流是电路输入端全部短路接地,输出端空载时电源所消耗的电流,单位为 mA。

4) 输入低电平电流(或输入短路电流) I_{IL} 。输入低电平电流是电路被测输入端接地,其余输入端开路时,流出该输入端的电流,单位为 mA。

5) 输入高电平电流 I_{IH} 。输入高电平电流是电路一个输入端接高电平,其他输入端接地时,从输入端流进电路的电流,单位为 mA。

6) 输入低电平电压(或称关门电平) U_{IL} 。输入低电平电压是保证电路输出为高电平时的输入低电平的上限值,单位为 V。

7) 输入高电平电压(或称开门电平) U_{IH} 。输入高电平电压是保证电路输出为低电平时的输入高电平的下限值,单位为 V。

8) 噪声容限。噪声容限是指在最坏条件下数字电路的输入端上所允许的输入电压变化的极限范围,即驱动门输出电压极限值和被驱动门所要求的输入电压极限值之差,单位为 V,它表明电路抗干扰能力的强弱。

9) 扇出系数。扇出系数是指最多能够带的同类负载门的数目,它表示集成电路的负载能力。

(2) 使用注意事项

数字集成电路芯片的使用频率比较高,在用它时要综合集成电路的常用注意事项。

1) 在使用 CMOS 电路时,电源电压极性不可以接反,即使是 0.5V 的反极性电压也会使器件遭到破坏。CMOS 电路的每个输入端电流是受限制的,要根据不同的 CMOS 电路确定输入端电流的大小。

2) 输入信号电压不得超过 V_{DD} 和 V_{SS} 的范围,以防止输入保护二极管因正向偏置而引起大电流损坏。用于 CMOS 电路的直流噪声容限的保证值是电源电压的 30%,因此输入低电平应在 $V_{SS} \sim 0.3V_{DD}$ 之间,输入高电平应在 $V_{DD} \sim 0.7V_{DD}$ 之间。

3) 任何输入端不得悬空,应按工作功能接逻辑“1”或“0”。

4) 严禁在接通电源的情况下,装拆印制电路板或器件。

5) 弯曲引脚应离开管壳根部一定距离。

6) 存放时,必须用金属屏蔽包装,插件板应备有短路插座,防止静电损坏电路。

7) 焊接烙铁、测量仪表等必须接地良好。

6. 专用集成电路(ASIC)

专用集成电路是相对于通用集成电路而言的,自己设计的专为特殊功能使用的专用集成电路(ASIC)。

(1) 半定制集成电路(SCIC)

1) 门阵列(GA)由许多重复单元(这些单元可以是单管也可以是一些门电路或触发器)排列成阵列的形式,各子阵列之间留有布线通道,四周排列 I/O 电路和某些备用电路,

电源和地线则呈网状或枝状遍布整个芯片。当用户提出制作新电路时,根据用户对功能的要求在 CAD 系统的辅助下进行布线设计,制出布线掩模板,并将库存半成品加工成符合要求的电路。门阵列法又分为块单元法、行单元法和无隙单元法(即门海)。门阵列具有性能稳定、开发周期短、保密性好、功能强、成本低等优点,故适于大批量生产。

2) 标准单元集成电路(CBIC)使用预先设计好的具有一定逻辑功能的单元电路(小规模电路如各种门或寄存器到中/大规模如 RAM、ROM 和 PLA)进行布局、布线,实现用户所需电路。这种设计方法是利用已有的单元库,设计出芯片的全套掩膜层板图。和门阵列相比,标准单元法开发周期长、成本高,但设计灵活性大,自动化程度较高,功能性好。

3) 可编程逻辑器件(PLD)是由用户自行定义功能的逻辑器件。这类器件的核心部分是由一个与阵列后接一个或阵列组成的与或阵列。可编程逻辑器件是靠阵列的编程组态来实现各种操作,完成所需的逻辑功能。

(2) 全定制集成电路

它是基于晶体管级的芯片结构,从管子的尺寸、安放位置及管子间互连着手设计。因此可实现最佳性能,即密度最高,速度最快,功耗最小,但开发周期最长,适合于大批量生产的集成电路芯片的设计,如微处理器芯片的设计。对于一些具有特殊要求的芯片也应考虑采用全定制设计方法。

7. 集成电路的检测分为在线检测和不在线检测

检测集成电路一般有在线检测、不在线检测(脱机检测)和替换法的三种方法。比较常用的有两种方法,一种是使用万用表检测,一种是专用测量集成电路的仪器。

在线检测测量集成电路各脚的直流电压,与集成电路各脚直流电压的标准值相比较,以此来判断集成电路质量的好坏。不在线检测是测量集成电路各脚间的直流电阻,并与集成电路各脚间直流电阻的标准值相比较,从而判断集成电路的好坏。如果测得的数据与集成电路资料上的数据相符,则可判断该集成电路是好的。

(1) 在线检测的技巧

在线检查集成电路各引脚的直流电压时,为防止表笔在集成电路各引脚间滑动造成短路,可将万用表的黑表笔与直流电压的“地”端固定连接,方法是在“地”端焊接一段带有绝缘层的铜导线,将铜导线的裸露部分缠绕在黑表笔上,放在印制电路板的外边,防止与板上的其他地方连接。这样用一只手握住红表笔,找准欲测量集成电路的引脚接触好,另一只手可扶住印制电路板,保证测量时表笔不会滑动。

(2) 在线测量集成电路各脚的直流电流的技巧

测量电流需要将表笔串联在电路中,而集成电路引脚众多,焊接下来很不容易。用一个裁纸刀将集成电路的引脚与印制电路板的铜箔走线之间刻一个小口,将两个表笔搭在断口的两端,就可以方便地把万用表的直流电流挡串接在电路中。测量完该集成电路引脚的电流后,再用焊锡将断口焊接起来即可。

(3) 在线测量集成电路直流电阻的方法

所谓在线直流电阻检测是指集成电路焊在印刷电路板上,接在电路中时的测量与检查方法。这一方式可以在不通电、不动电烙铁的情况下进行。着重检查集成电路中工作不正常的部分,各引脚的正、反向的电阻。在路测量时,各引脚对地电阻值要受外围元器件的影响,这一点要注意。通过测量如果某一个引脚的正、反向电阻与参考电阻有明显的差异,还不能

确定集成电路是坏的,还要检测引脚的外围元器件是否损坏,也可以断开这个引脚的外围元器件后,再测量这个引脚的正、反向电阻值。总之,应注意总结经验,收集资料,才能正确地判断集成电路的好坏。

(4) 在线测量集成电路直流电压的方法

这种方法是判断集成电路好坏的常用方法。它是用万用表的直流电压挡测出各引出脚对地的直流电压值,然后与标注的参考电压进行比较,并结合其内部和外围电路进行分析,据此来判断集成电路的好坏。

在线直流电压测量时应注意以下几个问题:

使用的万用表的内阻要大,至少要大于被测电路电阻的10倍以上,一般要求万用表的内阻为 $20\text{k}\Omega/\text{V}$,万用表内阻太小,会影响测量的精度,会出现较大的偏差。

在测量集成电路各引出脚的直流工作电压时,如果遇到某个引出脚的电压与原理图提供的参考电压不一致,此时,一方面要检查测量的条件与方法;另一方面要核对所提供的参考电压是否可靠。因为,有些参考电压与实际电压有较大的差别,有时还有印刷和标注方面的错误,所以需要寻找一些相关的资料进行核对,不要急于判定集成电路坏了。若集成电路各引脚电压正常,则一般认为集成电路正常;若集成电路部分引脚电压异常,则应从偏离正常值最大处入手,检查外围元器件有无故障,若无故障,则集成电路很可能损坏。

由于集成电路内部由许多晶体管组成,各级之间全部采用直接耦合方式,所以前后级工作点相互影响。当集成电路内某个元器件损坏时,不但会影响相应引出脚的电压值,而且还会影响与之有关的后面各级。在测量集成电路引出脚直流电压前,应先测集成电路的供电电压是否正常,如果供电电压不正常,所测得引出脚的直流电压也是不正常的,如果供电电压正常,测得引出脚的电压不正常时,也要检查外围元器件是否正常,若外围元器件正常则说明集成电路内部已损坏,应予以更换。

当外围元器件发生漏电、短路、开路或变值时,若外围电路连接的是一个阻值可变的电位器,则电位器滑动臂所处的位置不同,都会使引脚电压发生变化。

对于动态接收装置和多种工作方式的装置,如电视机,在有无信号时,集成电路各引脚电压是不同的,检测时发现引脚电压不该变化的反而变化大,应该随信号大小和可调元器件不同位置而变化的反而不变化,就可确定集成电路损坏。而录像机在不同工作方式下,集成电路各引脚电压也是不同的。

还要注意所测的电压是静态电压还是动态电压。因为集成电路的个别引出脚有信号时的动态电压和无信号时的静态电压有明显变化,一般在测量静态电压时可将输入端交流短路,测量动态电压时可在输入端输入交流信号。

(5) 在线测量集成电路交流工作电压的方法

为了掌握集成电路交流信号的变化情况,可以用带有dB插孔的万用表对集成电路的交流工作电压进行近似测量。检测时万用表置于交流电压挡,正表笔插入dB插孔;对于无dB插孔的万用表,需要在正表笔串接一只 $0.1\sim 0.5\mu\text{F}$ 隔直电容。该法适用于工作频率比较低的集成电路,如电视机的视频放大级、场扫描电路等。由于这些电路的固有频率不同,波形不同,所以所测的数据是近似值,只能供参考。

(6) 在线测量集成电路总电流的方法

该方法是通过检测集成电路电源进线的总电流,来判断集成电路好坏的一种方法。由于

集成电路内部绝大多数为直接耦合，集成电路损坏时（如某一个 PN 结击穿或开路）会引起后级饱和与截止，使总电流发生变化。所以通过测量总电流的方法可以判断集成电路的好坏，也可用测量电源通路中电阻的电压降，用欧姆定律计算出总电流值。

（7）集成电路不在线电阻测量法

所谓不在线直流电阻测量是指集成电路没有装在印制电路板上或集成电路未与外围元器件连接时，测量集成电路的各引脚对应于地脚的正、反向电阻。

具体测量方法：首先，在集成电路手册或技术资料中找到被测集成电路的型号，查到该集成电路各引脚对地接地脚的正、反向电阻的参考值，其次，用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，一般不用“ $R \times 1\Omega$ ”挡，万用表电阻挡的内部电压不得大于 6V，以防测试电流太大损坏集成电路。测量前应欧姆校零。如被测集成块是 TA7680AP ①脚，红表笔接 ①脚，黑表笔接地（④脚），测得的阻值为 $5.8k\Omega$ ，然后交换表笔，黑表笔接 ①脚，红表笔接地，测得电阻为 $12k\Omega$ 。将所测值同正常值比较，只要相差不大，就可以认定集成电路性能良好。由于集成电路的生产批次不同，电阻值偏差也较大，一般为 10% 左右。如果偏差超出 10%，该集成电路的性能就有问题。

（8）集成电路的替换检测

集成电路的内部结构比较复杂，引脚数目也比较多，如果没有专用设备，要直接测出集成电路的好坏是很难的，因此，当集成电路整机电路出现故障时，检测者往往用替换法来进行集成电路的检测。用同型号的集成块进行替换实验，是见效最快的一种检测方法。但是要注意，若因负载短路的原因，造成大电流流过集成电路直接损坏的，在没有排除负载短路故障情况下，用相同型号的集成块进行替换实验，其结果是造成集成块的又一次损坏，因此，替换实验的前提是必须保证负载不短路。

（9）用示波器检查法

使用示波器观察测量被测集成电路的输入和输出信号是否正常，将其与电路原理图中提供的正常波形相比较，可以非常直观地判断故障所在。在有条件的情况下，使用示波器检查，是一种非常迅速有效的方法，使用时应注意选择相应的信号发生器；根据电路原理中要求的信号种类来供给测试信号。使用示波器测量时应注意示波器的接地点与被测电路接地点一致。不要接入“热地”，否则会损坏示波器。还有其他一些检测方法，如触摸检测法、人体感应法等。

8. 常用集成电路的检测

（1）微处理器集成电路的检测

微处理器集成电路的关键测试引脚是 V_{DD} 电源端、RESET 复位端、 X_{IN} 晶振信号输入端、 X_{OUT} 晶振信号输出端及其他各线输入、输出端。在线测量这些关键脚对地的电阻值和电压值，看是否与正常值（可从产品电路图或有关维修资料中查出）相同。

（2）开关电源集成电路的检测

开关电源集成电路的关键脚电压是电源端（ V_{CC} ）、激励脉冲输出端、电压检测输入端、电流检测输入端。测量各引脚对地的电压值和电阻值，若与正常值相差较大，则在其外围元器件正常的情况下，可以确定是该集成电路已损坏。

内置大功率开关管的厚膜集成电路，还可通过测量开关管极电极 c、基极 b、发射 e 极之间的正、反向电阻值，来判断开关管是否正常。

(3) 音频功放集成电路的检测

检查音频功放集成电路时,应先检测其电源端(正电源端和负电源端)、音频输入端、音频输出端及反馈端对地的电压值和电阻值。若测得各引脚的数据值与正常值相差较大,其外围元器件均正常,则是该集成电路内部损坏。对引起无声故障的音频功放集成电路,测量其电源电压正常时,可用信号干扰法来检查。测量时,万用表应置于“ $R \times 1\Omega$ ”挡,将红表笔接地,用黑表笔点触音频输入端,正常时扬声器中应有较强的“喀喀”声。

(4) 运算放大器集成电路的检测

用万用表直流电压挡,测量运算放大器输出端与负电源端之间的电压值(在静态时电压值较高)。用手持金属镊子依次点触运算放大器的两个输入端(加入干扰信号),若万用表表针有较大幅度的摆动,则说明该运算放大器完好;若万用表表针不动,则说明运算放大器已损坏。

(5) 时基集成电路的检测

时基集成电路内含数字电路和模拟电路,用万用表很难直接测出其好坏。可以用如图3-21所示的测试电路来检测时基集成电路的好坏。测试电路由阻容元件、发光二极管LED、6V直流电源、电源开关S和8脚IC插座组成。将时基集成电路(例如NE555)插入IC插座后,按下电源开关S,若被测时基集成电路正常,则LED将闪烁发光;若LED不亮或一直亮,则说明被测时基集成电路性能不良。

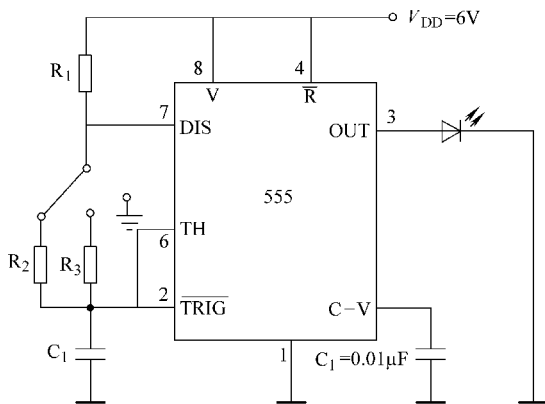
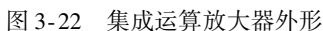


图 3-21 时基集成电路

3.2.2 集成运算放大器

集成运算放大器 (Operational Amplifier) 简称集成运放,是由多级直接耦合放大电路组成的高增益模拟集成电路。它的增益高 (可达 $60 \sim 180\text{dB}$), 输入电阻大 (几十千欧至百万兆欧), 输出电阻低 (几十欧), 共模抑制比高 ($60 \sim 170\text{dB}$), 失调与漂移小, 而且还具有输入电压为零时输出电压亦为零的特点, 适用于正、负两种极性信号的输入和输出。

集成运算放大器其实就是具有两个不同相位输入端的高增益直流差动放大器。它实质上是一个具有很高的放大倍数的、直接耦合的多级放大器。它的种类很多,但从电路的总体结构上看,基本上都由输入级、中间放大级、功率输出级和偏置电路4个部分组成。在集成运算放大器中,除采用差动电路外,还应用晶体管恒流源、射极输出器电路,以稳定工作电流和降低输出电阻。采用具有恒流源的双输入端差分放大电路的目的,就是减小放大电路的零点漂移、提高输入阻抗;中间放大级的主要作用是电压放大,使整个集成运算放大器有足够的电压放大倍数;输出级一般采用射极输出器构成的电路,其目的是实现与负载的匹配,使电路有较大的输出功率和较强的带负载能力;偏置电路的作用是为上述各级电路提供稳定合适的偏置电流,稳定各级的静态工作点,一般由各种恒流源电路组成。



(1) 集成运算放大器的型号命名方法

(2) 各系列集成运算放大器的性能特点和运算范围

1) 按增益的高低不同,通用型运放可分成通用 I 型、通用 II 型和通用 III 型三种。

表 3-4 集成运算放大器的型号参数

品种类型		通 用		低功耗	高阻	高速	高压	大功率	宽 带	高精度
参数名称 及单位	国内外 型号	CF709 (09)	CF/741 (uA741)	F3078 (CA3078)	F3140 (CA3140)	F715 (uA715)	BG315	FX0021 (LH0021)	F507	CF725 (Ua725)
开环差模电压增益 A_{v0}	dB	93	106	100	100	90	≥ 90	106	103	130
最大输出电压 V_{omax}	V	± 13	± 14	± 5.3	+ 13, - 14.4	± 13	$\geq 40 \sim 64$	± 12	± 12	± 13.5
最大共模输入电压 V_{lcmx}	V	± 10	± 13	+ 5.8, - 5.5	+ 12.5, - 14.5	± 12	$\geq 40 \sim 64$		± 11	± 14
最大差模输入电压 V_{ldmax}	V	± 5.0	± 30	± 6	± 8				± 12	± 5
差模输入电阻 R_{ID}	k Ω	400	2000	870	150 $\times$ 10	1000	- 500	1000	300 $\times$ 10 ³	1.5 $\times$ 10 ³
输入电阻 R_0	Ω		75				500			
共模抑制比 K_{CMR}	dB	90	90	115	90	92	≥ 80	90	100	120
输入失调电压 V_{IO}	mV	1.0	1, 0	0.7	5	2	≤ 10	1	1.5	0.5
输入失调电流 I_{IO}	nA	50	20	0.5	5.0 $\times 10^{-4}$	70	≤ 200	30	15	2.0

通用Ⅰ型是集成运放早期产品。其特点是增益和输入阻抗较低，共模信号范围小，正、负电源电压不对称，可用作高频放大器、窄带放大器、积分器、微分器、加法器和减法等。

通用Ⅱ型的特点是增益较高，输入阻抗适中，输入幅度较大等，可作交直流放大器、电压比较器、滤波器等。

通用Ⅲ型的特点是增益高，共模和差模电压范围宽，无阻塞，工作稳定等，可作测量放大器、伺服放大器、变换电路、各种模拟运算电路等。

2) 高速型运放的特点是转换速率高、频带较宽、建立时间快，以及输出能力强，可用作脉冲放大器、高频放大器、A-D或D-A转换器等。

3) 高精度型运放的特点是增益高、共模抑制能力强、温漂小、噪声小，可用作测量放大器、传感器、交直流放大器和仪表中的积分器等。

4) 高阻型运放的特点是输入阻抗高、偏置电流小、转换速率高等，可用作采样—保持电路，A-D、D-A转换、长时间积分器、微电流放大、阻抗变换等。

5) 低功耗型运放的特点是功耗低、电源电压低，增益高、工作稳定、共模范围宽、无阻塞等，可用在要求功耗低、耗电量小的航天、遥控、计算机和仪器仪表中。

6) 宽带型运放的特点是增益高、频带宽、转换速率快等，可用作直流放大器、低频放

大器、中频放大器、高频放大器、方波发生器、高频有源滤波器等。

7) 高压型运放的特点是有高的工作电压、高的输出电压和高的共模电压等,可用作宽负载恒流源、高压音频放大器、随动供电装置、高压稳压电源等。

8) 其他运放主要指跨导集成运放、程控运放、电流型运放及集成电压跟随器。

(3) 集成运算放大器的使用注意事项

1) 使用前要了解产品的类别及电参数,弄清楚封装形式、外引线排法、端子接线、供电电压范围等。

2) 按要求接好消振网络,在能消振的前提下兼顾带宽。

3) 集成运放是电子电路的核心,为了减少损坏,最好采取适当保护措施。

4) 集成运放类别、品种很多,使用者必须根据实际使用要求,合理选用,使性价比最为合算。

2. 集成运算放大器的运算应用

集成运算放大器简称“集成运放”,其图形符号如图 3-23 所示。它有 2 个输入端,即反相输入端(−)和同相输入端(+);有 2 个电源端,即正电源端(+ V_{CC} 、或+ V_{DD})和负电源端(− V_{EE} 或− V_{ss});有一个输出端(U_O)。除此以外,在很多集成运放中还设有调零电位器端和消振电阻、电容端。在多数场合,为了分析集成运放应用电路的输入、输出关系比较方便,常用如图 3-23 所示的简化符号。

图 3-23 中的集成单运算放大器 CF741 器件各引脚的功能为:①脚为失调调零端(接调零电位器)、②脚为反向输入端、③脚为同相输入端、④脚为接负电源端、⑤脚为失调调零端(接调零电位器)、⑥脚为输出端、⑦脚为接正电源端、⑧脚为空脚。CF741

主要技术参数:电源电压的额定值为 $\pm 15V$,极值为 $\pm 22V$;允许功耗正常值为 $50mW$,极限值为 $500mW$;输出电阻为 75Ω ;电源电流为 $1.7mA$;最大输出电流为 $25mA$;最大输出电压为 $\pm 13V$ 。

集成单运算放大器 CF741 应用的外部接线如图 3-24 所示。

集成运算放大器的传输特性:集成运算放大器的输出电压 U_O 与输入电压 U_I (U_+ 、 U_-)之间的关系称为传输关系或传输特性,如图 3-25 所示。在线性工作区,输入电压范围很小。实际上电压放大倍数越大,线性工作区输入电压范围越小,因为 $U_O = A_u(U_+ - U_-)$, A_u 为开环电压放大倍数。一般来讲,线性工作区开环输入电压范围为几百微伏甚至更小。在非线性区(饱和区和截止区),电压放大倍数 A_u 已不起作用,运放器的输出电压达到正、负饱和值的极限状态,接近电源电压值。例如当电源电压为 $\pm 15V$ 时,非线性区工作的正饱和输出电压约为 $13V$,负饱和输出电压约为 $-13V$ 。

集成运算放大器的应用:集成运放时都接有反馈电路形成闭环结构,作为反馈放大器来应用,例如图 3-26 所示的比例运算电路,输出、输入之间连接一个反馈电阻 R_f 。对于反相输入运算电路,运放器的同相端(+)接地,输入信号 U_I 经过电阻 R_1 后至反相输入端(−),如图 3-26 所示。

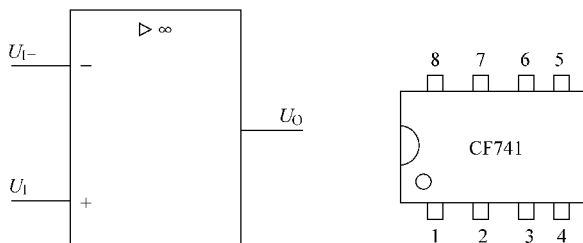


图 3-23 集成运算放大器的图形符号

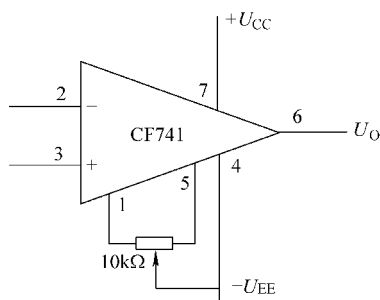


图 3-24 CF741 外部接线图

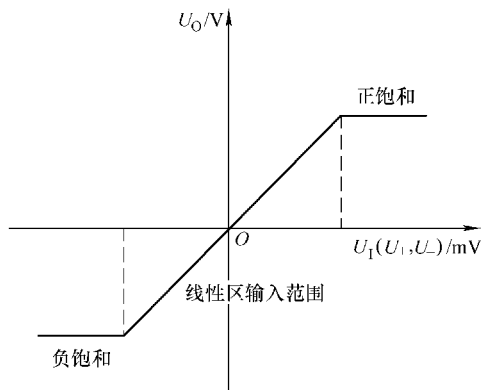


图 3-25 集成运算放大器的传输特性

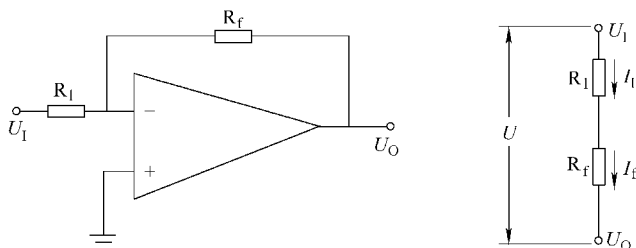


图 3-26 比例运算电路

输出电压与输入电压的关系为 $U_O = -\frac{R_f}{R_1}U_1$ 。运算关系是从运算放大器等效电路中推导出来的电压和电阻的关系式。

从等效电路中可以看出 $U = U_1 + U_O$ 并且 $I = I_1 = I_f$ ，其中存在各关系式

$$I_1 = \frac{U_1 - 0}{R_1}, I_f = \frac{0 - U_O}{R_f}, U = I(R_1 + R_f);$$

利用存在的关系式推导得到的等式是 $\frac{U_1 + U_O}{R_1 + R_f} = \frac{U_1}{R_1}$ ，把它化简得到 $U_O = -\frac{R_f}{R_1}U_1$ 。

由此也可推见闭环电压放大倍数取决于 R_f 与 R_1 之比，与开环电压放大倍数无关。

3.2.3 集成稳压器

稳压集成电路又称集成稳压电源，它是把稳压电路中的各种元器件（晶体管、二极管、电阻器、电容器等）集成化，即把功率调整管、误差放大器、取样电路等集成做在一个硅片上，或者把不同芯片组装在一个管壳内而制成的。其电路形式大多采用串联稳压方式。集成稳压器与分立元器件稳压器相比，具有体积小、性能高、使用简便可靠等优点。其外形与晶体管相似，引脚排列形式如图 3-27 所示。

集成稳压电源是模拟集成电路的一个重要分支，如图 3-28 所示。其品种很多，除了专用集成稳压电源外，按电压调整方式分为可调式和固定式两种；按输出电压极性可分为正电源和负电源两种；按端子可分为三端式、多端式及单片开关式集成稳压器等多种。

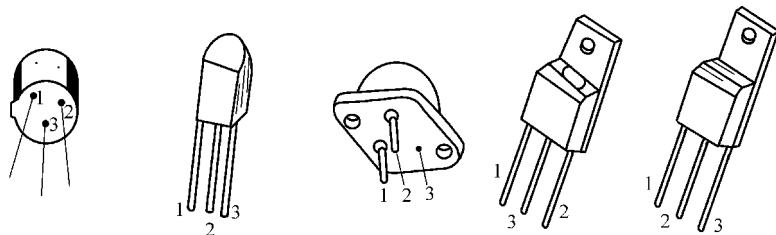


图 3-27 集成稳压器引脚排列形式

集成稳压电源国标命名由两部分组成：一部分是字母，用“CW”表示，其中“C”代表中国，“W”代表稳压器。国外产品有 LM（美国 NC 公司）、A（美国仙童公司）、MC（美国摩托罗拉公司）、TA（日本东芝）、PC（日本日电）、HA（日立）、L（意大利 SGS 公司）等。另一部分是阿拉伯数字，数字部分与国外同类产品的数字一样，数字部分凡与国外某产品型号可互换的，则采用国外产品型号的数字，不同厂家规定了自己的字母部分，后续凡无国外同类产品的由生产厂家自行规定。

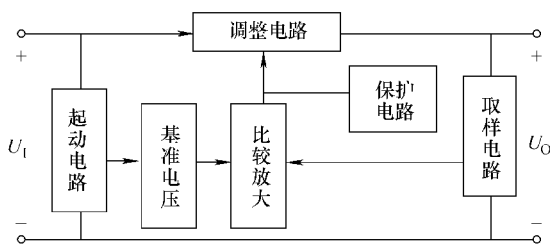


图 3-28 集成稳压电源的内部电路组成部分

三端固定输出集成稳压器是一种串联调整式稳压器，其电路只有输入、输出和公共 3 个引出端，使用方便。其型号有 CW78 系列和 CW79 系列。常见的 CW78 × × 系列是输出固定正电压的稳压器，CW79 × × 系列是输出固定负电压的稳压器。

CW78 系列提供稳定电压分别是：5V、6V、8V、9V、12V、15V、18V、24V；CW79 系列提供稳定电压分别是：-5V、-6V、-8V、-9V、-12V、-15V、-18V、-24V。它们的稳压性能相当好，例如 CW7805C 型集成稳压器，当输入电压在 $(10 \pm 2)V$ 范围内变化时，输出电压的变化量小于等于 7mV，其相对变化 $\leq 0.14\%$ 。

CW78 系列和 CW79 系列的部分参数如表 3-5、表 3-6 所示。至于 CW79M 系列、CW79L00 系列，除最大输出电流与 CW78 系列不同外，输入电压、输出电压（绝对值）等参数与 CW78 系列相同。另外，还有 78T 系列，最大输出电流为 3A，输出电压为 5V、12V、18V、24V。78P 系列，其最大输出电流 10A，输出电压为 5V。

表 3-5 CW78（W78）系列集成稳压电路芯片型号的主要参数

型 号	W7805	W7806	W7809	W7812	W7815	W7818	W7824
输入电压/V	10	11	14	19	23	26	33
最小输入电压/V	7	8	11	14	17	20	26
最大输入电压/V	35	35	35	35	35	35	40
输出电压/V	5 ± 0.2	6 ± 0.25	9 ± 0.35	12 ± 0.5	15 ± 0.6	18 ± 0.7	24 ± 1
	5 ± 0.25	6 ± 0.3	9 ± 0.45	12 ± 0.6	15 ± 0.75	18 ± 0.9	24 ± 1.2
最大输出电流/A	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

注：CW7800 系列加 200mm × 200mm 散热片时，最大功耗为 15W。

表 3-6 CW79（W79）系列集成稳压电路芯片型号的主要参数

型 号	W7905	W7906	W7909	W7912	W7915	W7918	W7924
输入电压/V	-10	-11	-14	-19	-23	-26	-33
最小输入电压/V	-7	-8	-11	-14	-17	-20	-26
最大输入电压/V	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-40
输出电压/V	-5±0.2	-6±0.25	-9±0.35	-12±0.5	-15±0.6	-18±0.7	-24±1
	-5±0.25	-6±0.3	-9±0.45	-12±0.6	-15±0.75	-18±0.9	-24±1.2
最大输出电流/A	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

三端固定稳压器引脚判断：

在 CW78××、CW79×× 系列三端稳压器中，最常用的是 T0-220 和 T0-202 两种封装。这两种封装的图形及引脚序号、引脚功能如图 3-29 所示。

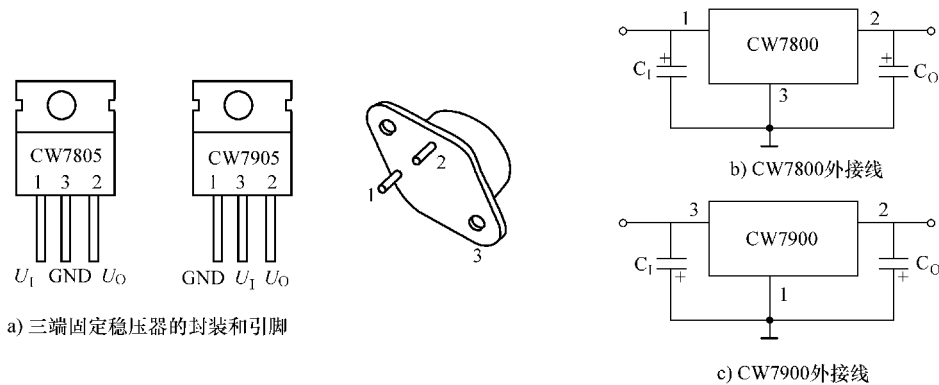


图 3-29 三端固定稳压器的封装、引脚和外部连接图

注：图 3-29 中引脚号的标注方法是按照引脚电位从高到低的顺序标注的，引脚①为最高电位，②脚为最低电位，③脚居中。从图中可以看出，不论 78 系列、还是 79 系列，③脚均为输出端。对于 78 正压系列，输入是最高电位，为①脚，地端为最低电位，为②脚，输出为中间电位，为③脚。对于 79 负压系列，输入为最低电位，自然是②脚，而地端为最高电位，为①脚，输出为中间电位，为③脚。

注：输入电压 U_1 一般应比输出电压端 U_0 高 3V 以上。

基本应用电路如图 3-30a 所示，如果要同时输出正和负两组电压，则可选用正、负各一块集成稳压器，按照图 3-30b 所示方法连接使用。这时桥式整流电路输出的正、负极，分别成为 W7815、W7915 的输入端，电容分压器的中间端才是接地端，与集成稳压器的地端相接在一起。

三端可调式集成稳压器 CW317、CW337 内部设有过电流保护和芯片的过热保护等，工作十分安全可靠，而它的电压调整率（输出电压稳定度）则优于上述 CW78 系列。三端可调式输出集成稳压器精度高，输出电压纹波小，一般输出电压为 1.25~35V 或 1.25~35V 连续可调。其型号有 CW117、CW138、LM317、LM138、LM196 等型号。比较常见的芯片型号 CW117/CW217/CW317 为可调输出正电压的稳压器，型号 CW137/CW237/CW337 为可调输

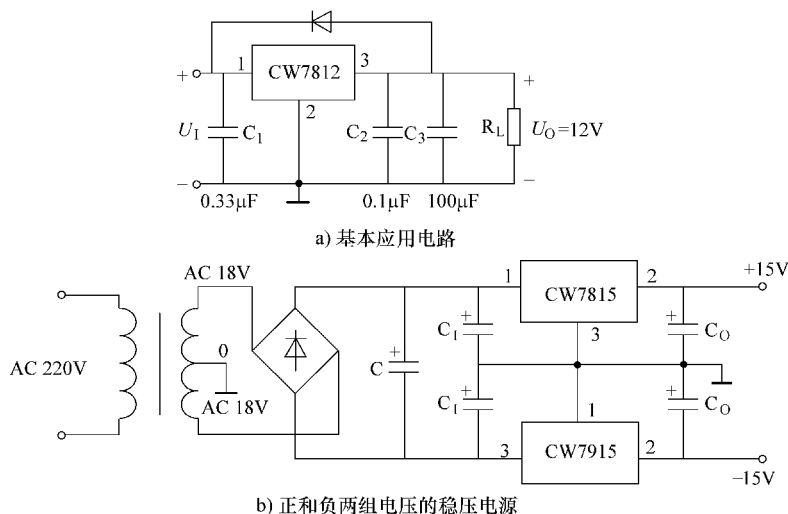


图 3-30 集成稳压器构成的稳压电源

出负电压稳压器。它们的输出电压在 $\pm 1.2 \sim \pm 35\text{V}$ 连续可调；输出电流分三种规格，L 为 0.1A ；M 为 0.5A ；无字母为 1.5A 。

三端可调集成稳压器 CW $\times 17$ 、CW $\times 37$ 的封装分金属管壳型和塑封型，其外形尺寸有多种，如图 3-31 所示。其在 $0 \sim 30\text{V}$ 连续可调稳压电路实例如图 3-32 所示。

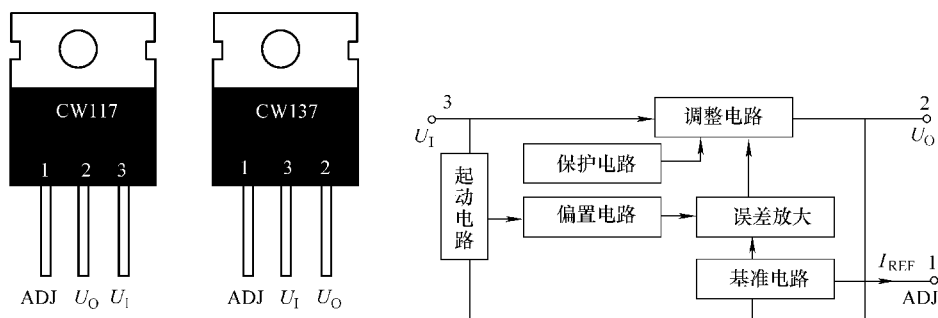
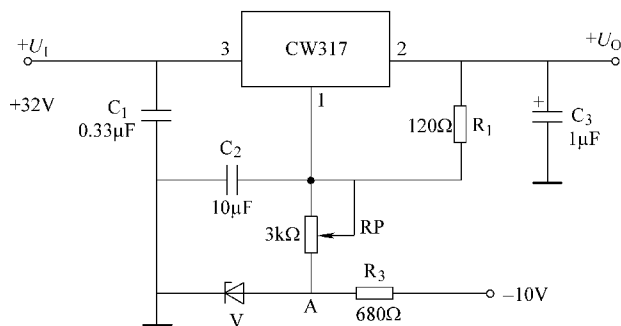
图 3-31 CW $\times 17$ 、CW $\times 37$ 的封装与内部电路

图 3-32 三端可调集成稳压器 CW317 的 $0 \sim 30\text{V}$ 连续可调稳压电路实例
($U_A = -1.25\text{V}$ ，当 $R_P = 0$ 时， $U_O = 0\text{V}$)

例如常见的一种塑封型 CW317 的外形及引脚排列如图 3-33 所示, 其基本应用电路如图 3-34 所示。电阻器 R_1 (240Ω) 接在稳压器输出端与调整端之间, 此两端的电压为 1.25V (基准电压), 调节电位器 RP ($0 \sim 6.8\text{k}\Omega$) 即可从 CW317 的输出端获得 $1.25 \sim 35\text{V}$ 连续可调的直流输出电压。由于稳压器具有维持基准电压 (1.25V) 不变的能力, 所以流过 R_1 的电流 ($1.25\text{V}/240\Omega \approx 5.2\text{mA}$) 也能维持不变, 其值相当于 W317 的最小负载电流。

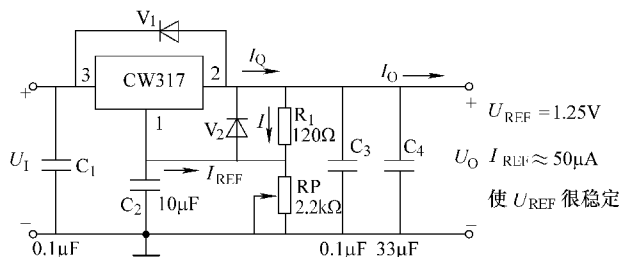


图 3-33 基本应用电路

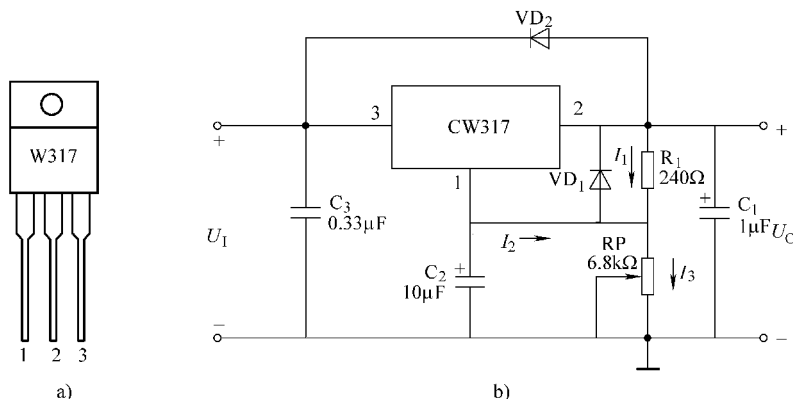


图 3-34 CW317 的外形和应用电路

1—调整端; 2—输出端; 3—输入端

$$U_O = \frac{U_{REF}}{R_1} (R_1 + RP) + I_{REF} RP \approx 1.25 (1 + RP/R_1)$$

静态电流 I_Q (约 10mA) 从输出端流出, 在 R_L 开路时流过 R_1 。因为流过 RP 的电流等于流过 R_1 的电流以及从稳压器输出调整端流出的电流 ($50\mu\text{A}$) 之和, 所以调节 RP 能改变输出电压。

$$R_1 = \frac{U_{REF}}{I_Q} = 125\Omega, RP = 0 \sim 2.2\text{k}\Omega \text{ 时}, U_O = 1.25 \sim 24\text{V}。$$

在图 3-34b 中, 二极管 D_2 是为了防止输入短路后 C_1 放电损坏芯片内部调整管而接入, 二极管 D_1 是为了防止输出短路后 C_2 放电损坏芯片中的放大管而接入。另外, 实际安装时 R_1 应紧接在 CW317 的输出端和调整端之间, 以免影响输出精度。 RP 的接地点应与负载电流返回点的接地点相同。 R_1 、 RP 宜选用同种材料做的电阻器, 精度尽量高一些。 C_1 应采用钽电容 ($1\mu\text{F}$) 或 $25\mu\text{F}$ 电解电容, 电容器耐压应 $\geq 25\text{V}$ 。

可调负输出集成稳压器 CW337 常见的一种塑封型外形如图 3-35a 所示, 其基本应用电路如图 3-35b 所示。可见它与 CW317 正输出集成稳压器用法相同, 只是输入端与输出端引脚排列不同, 以及电容器和二极管的极性接法不同。另外, 应注意的是稳压器必须加散热器才能发挥其充分作用。

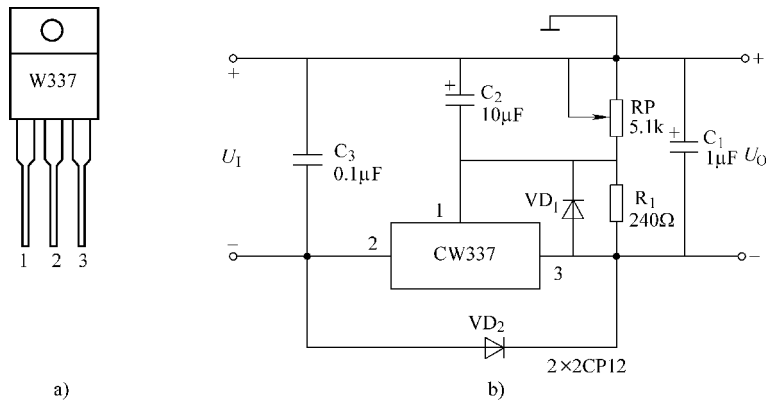


图 3-35 CW337 的外形和应用电路

1—调整端; 2—输入端; 3—输出端

集成稳压电源的选型及使用注意事项:

1) 集成稳压电源品种很多, 每类产品都有其自身的特点和使用范围, 从输出方式上有固定的和可调的; 从调整方式上有线性的和开关式的, 每种稳压电源又有正、负压及跟踪式, 每类产品根据外形又分三端及多端, 根据电流大小也有不同分类。因此在选用集成稳压电源时, 要考虑设计的需要和可实施性及性价比, 才能做到物尽其用, 性能最佳。

2) 在稳压电源使用中, 为了适应各种负载要求, 要设计各种保护电路。目前一些型号的集成稳压电源已设置了短路保护、调整管安全工作区保护及过热保护电路, 使用时可不另加保护电路, 但在特殊使用时仍要加必要的保护。

3) 在使用中, 注意各种封装的引线排列, 防止接错烧毁。同时保证不要超出给定的极限参数值。

4) 集成稳压电源在使用时, 要接一定的滤波电容器, 这些电容器要按要求的规格连接, 引线要短, 最好接在集成电路块的引线部分。

3.2.4 集成时基电路

1. 555 时基电路简介

555 集成定时电路通常称为定时器也称 555 时基电路, 它是一种中规模集成电路, 具有功能强、使用灵活、适用范围宽等特点。通常只需外接少量阻容元件, 就可以组成各种不同用途的脉冲电路, 如多谐振荡器、单稳态电路及施密特触发器等。另外 555 时基电路还可用于调光、调温、调压、调速度等多种控制电路。它有 TTL 型的, 还有 CMOS 型的。典型的 TTL 定时器有 5G555、NE555、NE556 等; CMOS 定时器有 CC7555, CC7556 (双定时), 它们的逻辑功能和外部引脚排列完全相同。由于它使用方便、价格低廉因此得到了广泛应用。

CC7555 的内部电路结构如图 3-36a 所示, 图 3-36b 为外引线排列图。由图 3-36a 可以看出, 电路可分成电阻分压器、电压比较器、基本 RS 触发器和输出缓冲级等部分。

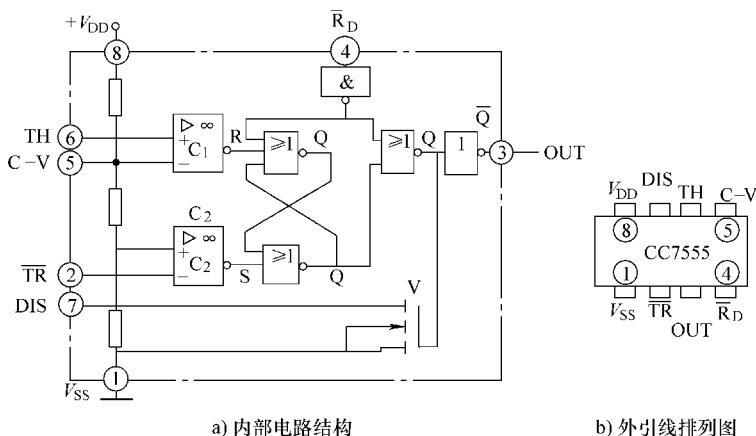


图 3-36 CC7555 集成定时器

(1) 电阻分压器和电压比较器

电阻分压器由 3 个等值电阻组成, 它对电源电压 V_{DD} 分压, 使比较器 C_1 的“-”输入端电压为 $V_{DD}/3$, 而比较器 C_2 的“+”输入端电压为 $V_{DD}/3$ 。当输入 TH 端的电压大于 $V_{DD}/3$ 时, 比较器 C_1 输出高电平 1; 若加在的电压小于 $V_{DD}/3$ 时, 比较器 C_2 也输出高电平 1。

(2) 基本 RS 触发器

基本 RS 触发器由两个或非门组成。 C_1 、 C_2 的输出端即为基本 RS 触发器的输入端 R、S。定时器的输出 $OUT = Q$ 。

(3) 放电管 V 和输出缓冲器

场效应晶体管 V 作为放电开关, 它的栅极 G 受基本 RS 触发器 Q 反端状态的控制。输出端的反相器构成输出缓冲器, 主要作用是提高电流驱动能力, 同时还可隔离负载对定时器的影响。

2. 集成定时器的其他应用

(1) 路灯自动控制器

图 3-37 所示为路灯自动控制器的电原理图。其中 V 为光敏晶体管 3DU。有光照时, c-e 之间的电阻变小; 光暗时, c-e 间电阻就变大。RP 为可变电阻, L 受控于小灯泡, 白天因光线亮光敏管 3DU c-e 之间的电阻下降, ⑥脚分得的电压大于 V_{CC} (4V), 定时器的输出端, ③脚为低电平, 所以小灯泡 L 不亮。天黑时光敏 c-e 间电阻增大, 使低触发端②脚电压小于 V_{CC} (2V), 于是③脚输出高电平, 小灯泡 HL 发光。调节 RP 可调节灯的亮度。

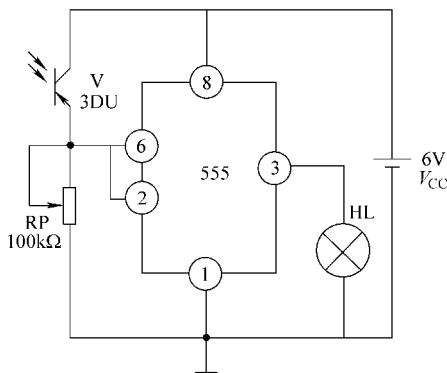


图 3-37 路灯自动控制电路

(2) 触摸台灯

集成电路图 3-38 所示是一片 555 时基电路, 在这里接成单稳态电路。平时由于触摸片

P 端无感应电压, 电容 C_1 通过 555 第⑦脚放电完毕, 第③脚输出为低电平, 继电器 KS 释放, 电灯不亮。

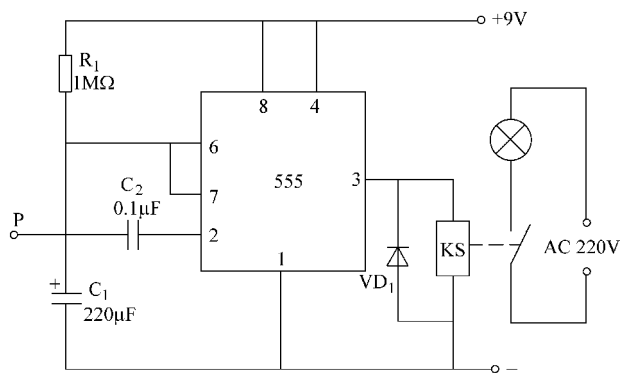


图 3-38 触摸台灯电路

555 时基电路的触发端, 使 555 时基电路的输出由低电平变成高电平, 继电器 KS 吸合, 电灯点亮。同时, 555 时基电路第⑦脚内部截止, 当需要开灯时, 用手触碰一下金属片 P, 人体感应的信号电压由 C_2 加至电源便通过 R_1 给 C_1 充电, 这就是定时的开始。

当电容 C_1 上电压上升至电源电压的 $2/3$ 时, 555 时基电路第⑦脚导通使 C_1 放电, 使第③脚输出由高电平变回到低电平, 继电器释放, 电灯熄灭, 定时结束。

3.2.5 音乐集成电路的应用

1. 音乐集成电路片的特点

音乐集成电路片自诞生以来, 得到迅速发展, 主要是它有如下优点:

(1) 功能强

一片音乐集成电路片虽然很小, 却包含了成千上万个电子器件。它的内部有振荡电路、音乐发生器、节拍产生器、音色发生器、地址计数器、控制输出器等单元电路, 功能巨大。

(2) 价格低

一般一片音乐集成电路片价格仅为 1 元左右。

(3) 使用方便

音乐集成电路片电路外的电路十分简洁, 使用者不用了解其内部复杂的电路和工作原理, 仅需要按要求接几个导线或者是加几个元器件即可。

(4) 适应性强

音乐集成电路片对电源电压的要求不高, 允许变化范围大, 耗电还非常少。

2. CW9300 型音乐集成电路片

CW9300 是最常用的音乐集成电路片之一, 它的乐曲种类很多, 相同型号的音乐集成电路片, 不同的音乐片内部的音乐各不相同。

该系列音乐集成电路片用法灵活, 用途极广, 广泛应用在电子玩具、电话、门铃、钟表及各种仪器仪表中作发声装置。

CW9300 型音乐集成电路片的外形和引脚功能如图 3-39 所示。

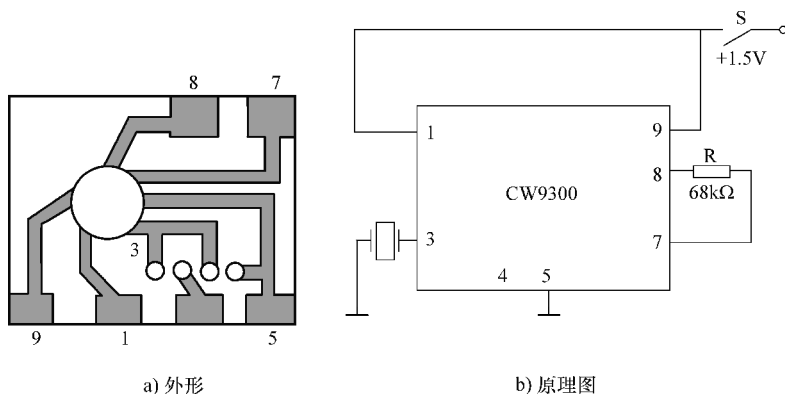


图 3-39 CW9300 型音乐集成电路片的外形和引脚功能

3. HY-100 型音乐集成电路片

HY-100 型音乐集成电路片是一个可以用作门铃的电路，可直接驱动 2.5in 的动线圈式扬声器发声。当 HY-100 型音乐集成电路片受到脉冲信号触发时，就会自动演奏长约 20s 的乐曲。

如果要改变演奏乐曲的速度，则只需要改变电阻 R 的阻值即可。

HY-100 型音乐集成电路片的外形和引脚功能如图 3-40 所示。

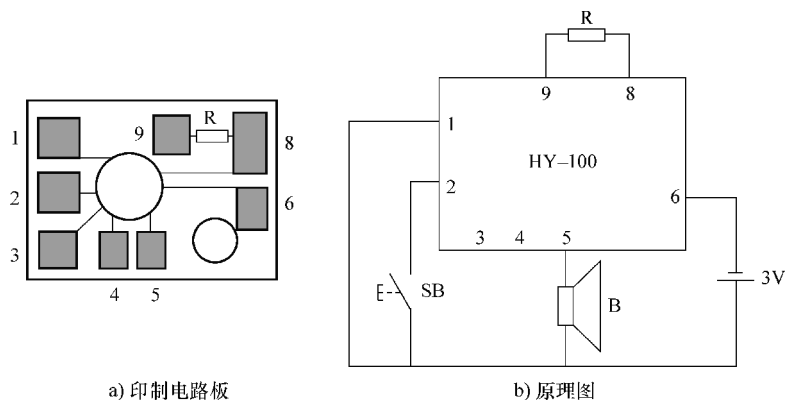


图 3-40 HY-100 型音乐集成电路片

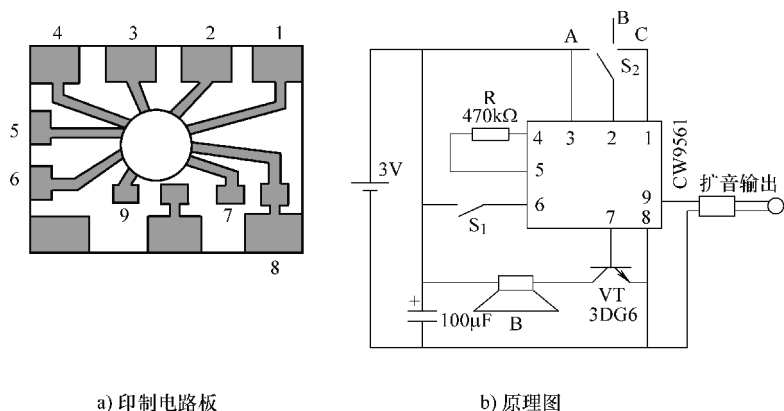
4. CW9561 型音乐集成电路片

CW9561 型音乐集成电路片是一种能发出警报声、汽笛声、警车声、机枪声的四声音乐集成电路片。

CW9561 型音乐集成电路片的外形和引脚功能如图 3-41 所示。

当开关 S_2 分别置于 A、B、C 位置时，电路可发出警报声、汽笛声、警车声；当开关 S_1 闭合时，不论 S_2 置于何处，电路均发出连续的机枪声。

还有一种 CW9561 型音乐集成电路片， S_2 为一个双刀四掷开关，当 S_2 置于不同的挡位时，电路就会发出警报声、汽笛声、警车声和机枪声。



a) 印制电路板

b) 原理图

图 3-41 CW9561 型音乐集成电路片

3.3 贴片式器件的选用及检测

1. 贴片式器件（表面安装元器件）

贴片式元器件又称为表面安装元器件或称片状元器件，它包括：表面安装元件 SMC (Surface Mount Component) 和表面安装器件 SMD (Surface Mount Device)。其结构特点是该种元器件无引线或有极短引线、小型且标准化。贴片式器件是无引脚线的微型元器件。目前在计算机、电视机、通信设备、音响设备等方面有广泛应用。SMC、SMD 没有引线或引线很短，分布电感和分布电容大大减小，因而可获得更好的频率和更强的抗干扰能力。与传统元器件相比，它具有体积小、重量轻、集成度高、装配密度大、成本低、可靠性高、高频特性好、抗振性能好、易于实现自动化等特点，如图 3-42 所示。

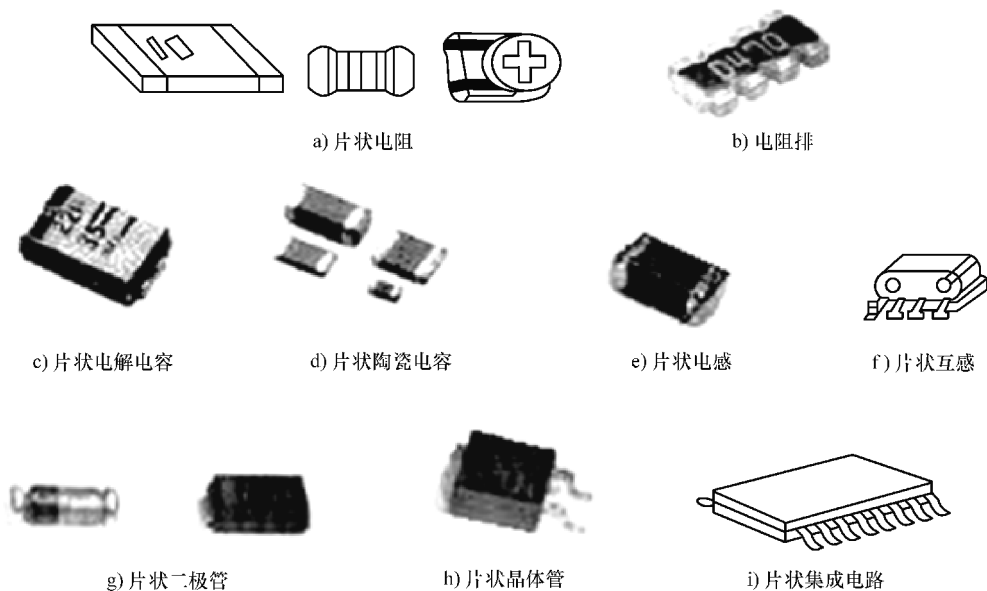


图 3-42 片状元器件

传统元器件的组装需要将元器件整形，同时，插入印制电路板上的插孔过程中引线往往易受到损伤，如果元器件距电路板有一定高度，在运输过程中，元器件引线将受到交变应力的影响，这些都将使可靠性降低，而 SMC、SMD 无须整形、插装。如图 3-43 所示，紧贴印制板面安装，因此，耐振动、耐冲击，降低了失效率，使产品的可靠性大大提高。

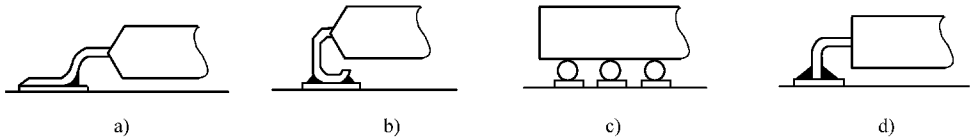


图 3-43 SMD 引脚形状示意图

与传统元器件相比，贴片元器件的体积小得多，集成度高得多，装配的密度也大得多。因此使用贴片元器件使电子产品的体积大大缩小。

2. 贴片元器件的种类

贴片元器件按其形状可分为矩形、圆柱形和异形（如翼形、钩形等）三类（外形如图 3-44、图 3-45 所示，如表 3-7、表 3-8 所示）；按其功能可分为无源、有源和机电元器件三类，具体如表 3-9 所示。按元器件的品种可分为片状电阻、片状电容、片状电感、片状敏感元器件、小型封装半导体器件和基片封装的集成电路等。

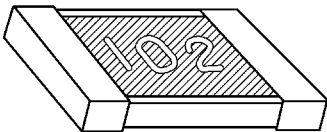
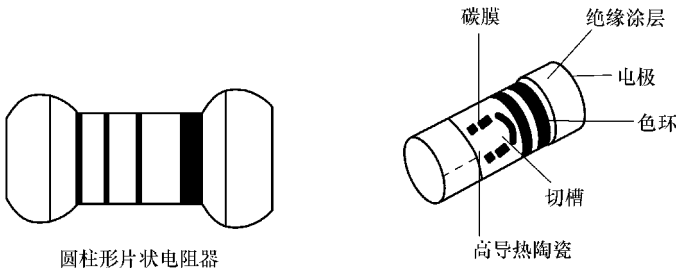


图 3-44 矩形片状电阻器结构



圆柱形片状电阻器

图 3-45 圆柱形片状电阻器

表 3-7 矩形表面安装元器件 SMC 的外形尺寸意义

公制/英制型号	外形长 L (mm/in)	外形宽 M (mm/in)	额定功率 P/W	最大工作电压 U/V
3225/1210	3.2/0.12	2.5/0.10	1/4	200
3216/1206	3.2/0.12	1.6/0.06	1/8	200
2012/0805	2.0/0.08	1.25/0.05	1/10	150
1608/0603	1.6/0.06	0.8/0.03	1/16	50
1005/0402	1.0/0.04	0.5/0.02	1/20	50

片状集成电路的封装有小型封装和矩形封装两种形式。

小型封装有 SOP 和 SOJ 两种封装形式，这两种封装电路的引脚间距大多为 1.27mm、1.0mm 和 0.76mm。其中 SOJ 占用印制电路板的面积更小，应用较为广泛。

矩形封装有 QFP 和 PLCC 两种封装形式，PLCC 比 QFP 更节省印制电路板的面积，但其焊点的检测较为困难，维修时拆焊更困难。

表 3-8 圆形表面安装元器件 SMC 的外形尺寸意义

圆柱直径/mm	外形长/mm	额定功率/W
1.1	2.0	1/10
1.5	3.5	1/8
2.2	5.9	1/4

表 3-9 片状元器件分类

种 类		矩 形	圆 柱 形
片状无源 元器件	片状电阻器	厚膜、薄膜电阻器、热敏电阻器	碳膜、金属膜电阻器
	片状电容器	陶瓷独石电容器、薄膜电容器、云母电容器、 微调电容器、铝电解电容器、钽电解电容器	陶瓷电容器、固体钽电 解电容器
	片状电位器	电位器、微调电位器	
	片状电感器	绕线电感器、叠层电感器、可变电感器	绕线电感器
	片状敏感元器件	压敏电阻器、热敏电阻器	
	片状复合元器件	电阻网络、滤波器、谐振器、陶瓷电容网络	
片状有源器件	小型封装二极管	塑封稳压、整流、开关、齐纳、变容二极管	玻封稳压、整流、开 关、齐纳、变容二极管
	小型封装晶体管	塑封 PNP、NPN 晶体管、塑封场效应晶体管	
	小型集成电路	扁平封装、芯片载体	
	裸芯片	带形载体、倒装芯片	

此外，还有 COB 封装，即通常所称的“软黑胶”封装。

它是将集成电路芯片直接粘在印制电路板上，通过芯片的引脚实现与印制电路板的连接，最后用黑色的塑胶包封。

3. 贴片元器件的特点

1) SMC/SMD 的尺寸很小，重量轻，无引线或引线很短。

2) SMC/SMD 没有引线或引线很短，寄生电感和分布电容很小，所以可获得更好的频率特性和更强的抗干扰能力。

3) SMC/SMD 适于自动化组装，目前 SMT 的自动化表面组装设备已非常成熟，使用非常广泛，大大缩短了装配时间，而且装配精确，产品合格率高，因此节省了劳动成本。另外 SMC 无引线、体积小，不仅省铜材，基板面积也可大大缩小，从而提高了经济效益。

4. 贴片式元器件的选择

选择贴片元器件，应围绕其规格、类型、型号、性能和价格等指标综合考虑，各项指标应符合产品装配图和明细表的要求。

5. 贴片式元器件的存放

金属封装、陶瓷封装的贴片式元器件的密封性好，常态下能保存较长的时间。塑料封装的贴片式元器件的存放条件：存放的温度低于 40℃、湿度小于 60%，注意防静电处理，存储有效期一般在 1~2 年。

6. 贴片式元器件的标志识别技巧与检测

贴片式元器件一般采用直标法，贴片式元器件的检测方法与普通元器件的检测方法基本相同。

(1) SMC 电阻器

贴片电阻阻值偏差精度为 $\pm 5\%$ 的贴片电阻器一般用三位数表示, 其中前两位数字表示电阻值的有效数字, 第三位是前两位数的倍乘率, 即 10 的整数次幂, 表示加 0 的个数。电阻单位为欧姆 (Ω), 当阻值小于 10Ω 时, 以 $\times R \times$ 表示, 小数点用字母 R 表示。

例如: 5R1 (5.1Ω)、364 ($360k\Omega$)、125 ($1.2M\Omega$)、820 (82Ω)。

贴片电阻阻值偏差精度为 $\pm 1\%$ 的电阻器一般多数采用 4 位数来表示, 这样前三位表示有效数字, 第四位表示 10 的整数次幂, 即有多少个零。

例如: 4531 也就是 4530Ω , 也就等于 $4.53k\Omega$ 。

如图 3-46 所示的 RC3216K103F, 其中 RC3216 是代号、K 表示功率、103 表示阻值、F 表示允许偏差。

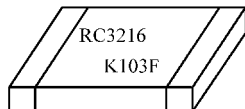


图 3-46 贴片电阻器标志

(2) SMC 电容器

SMC 电容器的静电容量一般是采用三位数字表示的。一般情况下静电容量的单位为皮法 (pF), 但电解电容器为微法 (μF), 小数点用字母 R (或 P) 表示。

例如: 103 ($0.01\mu F$)、010 ($1pF$)、6R8 ($6.8pF$)。

目前越来越多的 SMC 电容器采用一个英文字母与一位数字表示静电容量, 其中英文字母代表容量的有效值, 而数字则表示有效值的倍乘率, 单位为 pF 。

例如: G3 ($1800pF$)、C6 ($1.2\mu F$)、A4 ($0.01\mu F$)。

图 3-47 所示的 CC1206NPO151JZT 是矩形贴片式陶瓷电容器, 其中 CC1206 是代号、NPO 表示功率、151 表示容量、前两位数字表示电容的有效数, 第三位数字表示 10 的几次幂 (几次方), $151 = 15 \times 10^1 = 150pF$, 单位是皮法 (pF), J 表示允许偏差, ZT 表示耐压。电容的耐压分有低压和高压两种: 低压为 $200V$ 以下, 有 $50V$ 、 $100V$; 高压有 $200V$ 、 $300V$ 、 $500V$ 、 $1000V$ 。

(3) 贴片晶体管

片状晶体管种类很多, 分 NPN 管与 PNP 管, 有普通管、超高频管、高反压管、达林顿管等。常见的矩形贴片普通 NPN 型晶体管如图 3-48 所示。

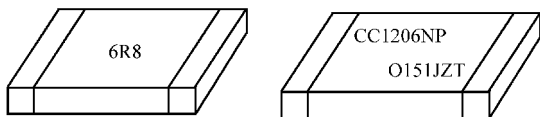


图 3-47 SMC 电容器标志

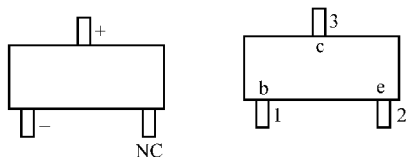


图 3-48 片状晶体管

使用贴片晶体管时, 应考虑散热条件, 可通过给元器件提供热焊盘, 将元器件与热通路连接, 或用在封装顶部加散热片的方法加快散热。还可采用降额使用来提高可靠性, 即选用额定电流和电压为实际最大值的 1.5 倍, 额定功率为实际耗散功率的 2 倍左右。

3.4 电子模块的识别技巧与检测

近几十年来, 随着微电子技术的快速发展, 涌现出一大批新型的电子模块。专用电子模

块取代了过去的集成电路、分立元件和器件等组成的电子电路,使电子整机产品的设计与制造得到大大的简化,也提高了电子整机产品的工作可靠性。

目前,电子模块在民用消费类电子整机产品中已得到广泛应用,如无线电通信发射与接收、红外线传感、功率放大等模块。

1. 无线电通信发射与接收专用模块

无线电发射与接收模块品种繁多,功能也不同。按内部结构可分为调制式和无调制式两种;按电路方式可分为超再生和超外差接收方式两种;按频率稳定度可分为稳定型和非稳定型两种;按遥控距离可大致分为近距离、中距离和远距离等几种。

(1) F00/J00 系列无线电发射与接收模块

F00/J00 系列无线电发射与接收模块是微型器件,采用 SMT 工艺树脂封装,性能稳定可靠。发射与接收配套使用时,可组成各种无线电遥控器、报警器等。

(2) F04A/J04A、B 系列无线电发射与接收模块

1) F04A/J04A、B 系列无线电发射与接收模块的外形结构。

F04A/J04A、B 系列无线电发射与接收模块的外形结构如图 3-49 所示,引脚采用单排直插式标准插距的印制电路板结构,尺寸为 $18\text{mm} \times 12\text{mm} \times 2\text{mm}$,器件体积小,功耗低、效率高,收发频率一致,外围元器件很少,免调试,即可使用。收发距离在 200m,数字信号传输速率为 $0.33 \sim 10\text{kb/s}$ 。

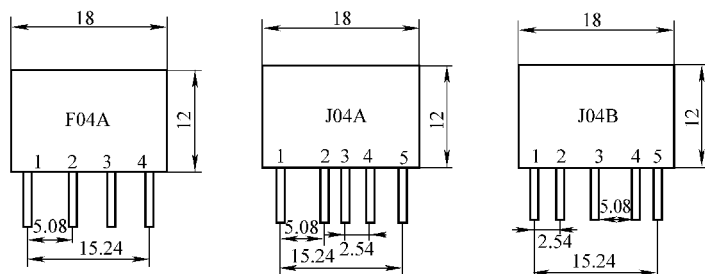


图 3-49 F04A/J04A、B 系列无线电发射与接收模块外形结构

2) 功能与参数。

F04A 为无线电调频发射模块,工作电压范围为 $5 \sim 12\text{V}$,发射电流为 $3 \sim 9\text{mA}$,发射功率 $\leq 10\text{mW}$,发射频率为 310MHz ,调制方式为 FSK。

J04A 为配套的调频接收模块,工作电压为 3V ,工作电流为 0.3mA ,接收频率为 310MHz 。模块内部没有整形电路,接收数据信号时,需外接专用的 J04B 放大整形模块。

J04B 为放大整形模块,工作电压为 $3 \sim 5\text{V}$,工作电流在 3V 时为 0.1mA ,输出高低电平的数字信号。

3) 工作原理。F04A/J04A、B 系列无线电发射与接收模块电路原理:输入端输入数据信号,经电阻限流后加到 F04A 的③脚,对模块产生的高频信号进行调制,然后从②脚输出,发射天线以电磁波形式向外辐射。在有效距离内,接收天线接收到的高频无线电信号,经 J04A 模块内部电路放大、解调,再由④脚输出。经电容耦合输送到 J04B 的②脚,再由内部电路放大、整形、还原数据信号从④脚输出,送到下一级电路,作为遥控数据指令,如图 3-50 所示。

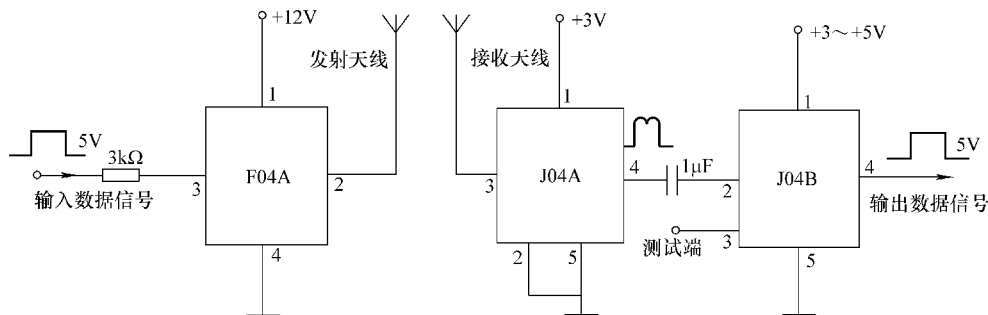


图 3-50 F04A/J04A、B 系列无线电发射与接收模块电路

2. 红外线传感专用模块

红外线传感模块通常可分为热释电和红外线传感模块等几大类，热释电红外线传感模块能直接接收人体或动物等物体辐射的微量红外光线，并将其转换为相应的电信号输出，它无需器件自带红外光线照射就能工作，又称被动式红外探测器件。

红外线发射、接收模块属于主动式控制器件，接收模块接收到的红外光线来自于红外发射模块发出的编码红外光线，而非人体或动物等物体辐射的微量红外光线。采用红外线进行近距离传输、遥控等，具有保密性强、不会对无线电信号干扰的特点。

(1) HD-03C 热释电红外线控制模块结构

HD-03C 热释电红外线控制模块中心组件为 CMOS 工艺大规模集成电路，模块内部包括热释电红外线全部处理电路，如图 3-51 所示。使用时只要配接传感探头（PIR）就可以工作，它具有电路结构简单、控制方便、功能齐全等特点，可广泛应用与报警电路、自动开关等领域。

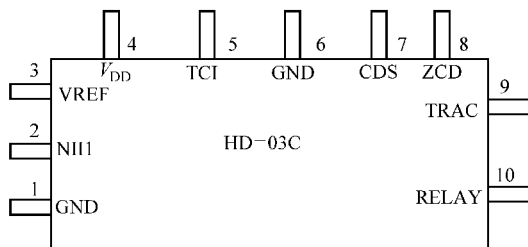


图 3-51 热释电红外线控制模块

红外线报警电路工作原理：

当有人或物体遮挡住红外线光束时，接收电路会自动输出信号，进而带动继电器，当有人进入 PIR 的监控范围内，HD-03C 模块⑩脚输出高电平，经 LM358 比较放大后，再送入 VT 放大驱动报警扬声器发出报警声。当人退出 PIR 的监控区，30s 自动停止；再次进入，再次报警，如图 3-52 所示，PIR 的监控范围在 8~12m。

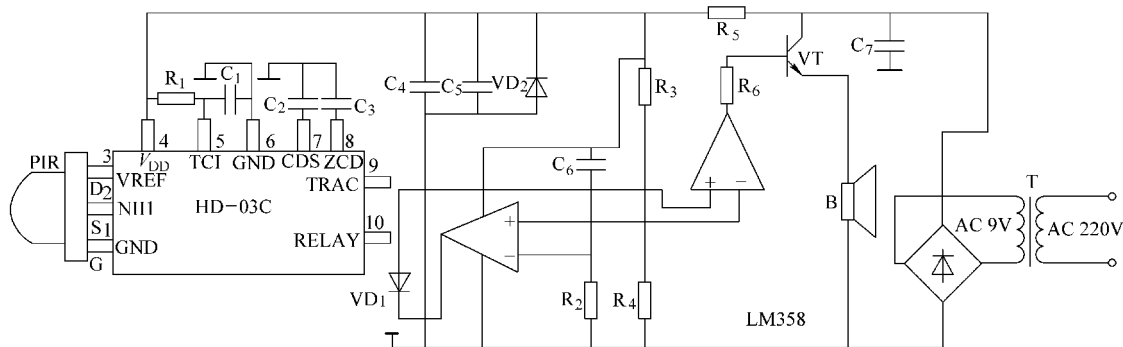


图 3-52 红外线报警电路

(2) TX05C 系列红外接收模块

TX05C 系列红外发射与接收模块可组成对射式电子开关,如图 3-53 所示。它是利用人眼观察不到的红外线光束,组成红外线区域检测系统。当有人或物体遮挡住红外线光束时,接收电路会自动输出信号,进而带动继电器动作,使功率器件执行部件动作。

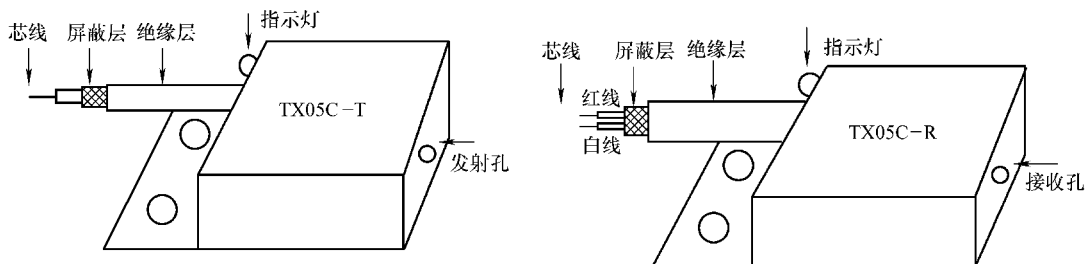


图 3-53 TX05C 系列红外接收模块

1) TX05C-T 发射模块。TX05C-T 发射模块内部电路有电源管理器件、密码 IC、红外调制电路和中功率红外线发射管、发生指示灯电源线,如图 3-54 所示。

2) TX05C-R 接收模块内部电路有:红外线接收窗、状态指示灯、放大器、解调器、输出电缆(输出电为双芯线,红色芯线接电源正极,白色芯线是信号输出)续流二极管等。

3) 工作原理。发射模块只要在电源线上串接一个开关,就可以正常工作。接收模块只需在红线和白线之间接一个继电器,就可以正常工作。

当 TX05C-R 模块接收到发射模块 TX05C-T 送来的信号时,继电器 K 不工作,当人体或物体遮挡红外线光束时, TX05C-R 模块内部电路动作,继电器 K 吸合,吸合的时间与遮挡光束的时间基本一样。在实际应用时一般需加 D 触发器或采用保持式继电器。

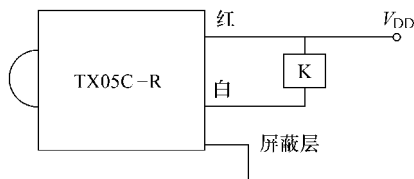


图 3-54 TX05C-T 发射模块

3. 电子模块识别技巧与检测

(1) 引脚识别技巧

电子模块的引脚识别技巧仍然采用集成电路的方法,可参考集成电路的识别技巧与检测。

(2) 电子模块好坏检测方法

用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡,测量电子模块各引脚的阻值,如测量出来阻值与参考值基本一致,则说明电子模块是好的,若测量出来阻值与参考值相差很大,则电子模块内部击穿或开路。

3.5 常用电声、集成器件的认知与检测实训

课题一 扬声器和传声器的认知与检测

1. 实训要求

1) 扬声器的分类、主要技术参数、电动式扬声器的工作原理、扬声器与压电陶瓷片的检测。

2) 传声器的种类、结构与工作原理、动圈式与驻极体传声器的检测。

2. 实训任务

1) 试分析高、中、低音扬声器的异同点。

2) 回答: 1 只 3VA 8Ω 与 1 只 1VA 8Ω 的扬声器能互换使用吗? 为什么?

3) 有两个二端式驻极体传声器, 经过实测如何判断其 D、S 端, 及其优劣?

课题二 集成电路常识

1. 实训要求

1) 集成电路的分类、国内外集成电路的命名、封装外形与引脚顺序识别。

2) 用万用表检测 F007。

3) 使用 MOS 集成电路一般常识。

2. 实训任务

1) 根据给定模拟集成电路, 熟悉制造厂家、标志类型、封装形式, 了解引脚排列顺序。

2) 简述用万用表检测集成电路的方法。

3) 对照运放参数, 练习参样集成块。

第 4 章 常用测量仪器

电子测量仪器是在电子产品生产过程中不可缺少的设备，掌握常用仪器仪表的使用方法，才能胜任电子产品的生产、检测和调试。

4.1 低频信号发生器的使用

信号发生器是产生各种信号的设备，凡能产生符合一定技术特性的测试的信号源，统称为信号发生器。作为信号源，它提供具有特定频率或频谱和合适幅度的测量信号，用以激励被测电路。

信号发生器的种类繁多，常按频段、用途、调制形式、频率产生方式以及按输出信号波形来分类。如超低频（0.001 ~ 1000Hz）信号发生器；低频（1Hz ~ 1MHz）信号发生器；视频（20Hz ~ 10MHz）信号发生器；高频（0.1 ~ 30MHz）信号发生器；甚高频（30Hz ~ 300MHz）信号发生器；超高频（300 ~ 1000MHz）信号发生器；微波（1GHz 以上）信号发生器。

下面以 XD I 型低频信号发生器为例介绍其使用方法。

1. XD I 型低频信号发生器的组成

信号发生器内部电路由振荡器、放大器、输出衰减器、稳压电源及指示电压表等部分组成。

(1) 振荡器

振荡信号可以由三种形式的振荡器产生。

1) LC 振荡器。这种振荡器由于 LC 体积大、频率变化范围小、品质因数 Q 值较小，故一般不太适合用于低频信号振荡器，一般在高频信号振荡器中使用较多。

2) 差频振荡器。由一稳定的基准频率振荡器与可调频率振荡器产生差频信号，此差频信号经过低频滤波、放大后作为信号源输出信号。这种振荡器频率覆盖面宽，缺点是受高频基准振荡器频率稳定性的影响很大，所以输出频率稳定性较差，在低频端尤为显著，使用时需要经常校正。

3) RC 振荡器。RC 振荡器用电阻器代替了电感器，使结构简单、紧凑，不仅降低了成本，而且还具有较高的频率稳定性，调节使用较方便，因而在低频信号发生器中被广泛地应用。典型的 RC 振荡器叫做文氏电桥振荡器。

如图 4-1 所示为 XD I 型晶体管低频信号发生器的文氏电桥 RC 振荡器电路图，该文氏电桥 RC 振荡器电路由放大器、文氏电桥正反馈回路和热敏电阻器负反馈支路及由 R_1 、

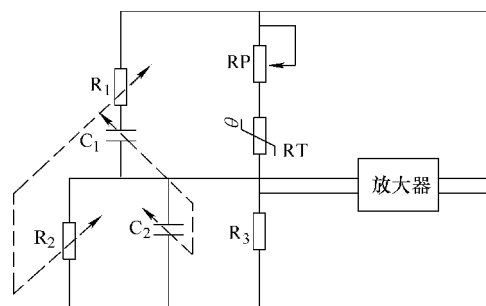


图 4-1 文氏电桥 RC 振荡器电路图

C_1 、 R_2 、 C_2 组成具有选频作用的支路构成。文氏电桥 RC 振荡器决定输出信号的波形和频率。

文氏电桥 RC 振荡器的优点是,在同一频段内比 LC 振荡器的频率范围宽,其频率变化比值(以最高频率与最低频率之比表示)可达 10:1,而 LC 振荡器只有 3:1 左右;振荡波形是正弦波,失真小;频率稳定性高,在所有工作频率范围内,振幅几乎等于常数。低频信号发生器中多采用这种电路。

(2) 放大器

放大器一般由电压放大器、功率放大器、保护电路及输出匹配电路组成。电压放大器主要用于阻抗变换。对功率放大器的要求是有足够的输出功率、信号不失真、频率特性好、非线性失真小和输出阻抗低。

晶体管电路的过载能力差,信号发生器输出端又经常会发生短路,晶体管的工作状态超出极限时便很容易烧毁。为使低频信号发生器能安全、可靠地工作,设置保护电路是非常必要的。

(3) 输出衰减器

输出衰减器的作用是调节输出电压的大小,常采用步进调节或连续调节。

(4) 指示电压表

电压表用来指示信号源输出电压的高低。电压表可作内测量和外测量用,内测量时,电压表直接接到电压输出端钮上;外测量时,将输出衰减器输入端接到电压表输入端上,内测量和外测量一般是通过开关来变换的。

2. XD I 型低频信号发生器工作原理

图 4-2 所示为 XD I 型低频信号发生器的面板图,其工作原理框图如图 4-3 所示。XD I 型低频信号发生器是由文氏电桥 RC 振荡器、功率放大器、功放过载保护电路、交流电压表及直流稳压电源等组成。文氏电桥 RC 振荡器产生的正弦波信号电压,经衰减器 I 成为仪器的电压输出或功放级的输入信号,进行功率放大后,再经过衰减器 II 送到输出匹配变压器组。为适应不同频率的功率输出,该信号发生器共设有 3 个输出变压器,即一个低频变压器和两个高频变压器,稳压电源供给各个电路的工作电压和工作电流。交流电压表除了用于指示仪器的电压输出或功率输出外,也可单独用于测量外部交流电压。

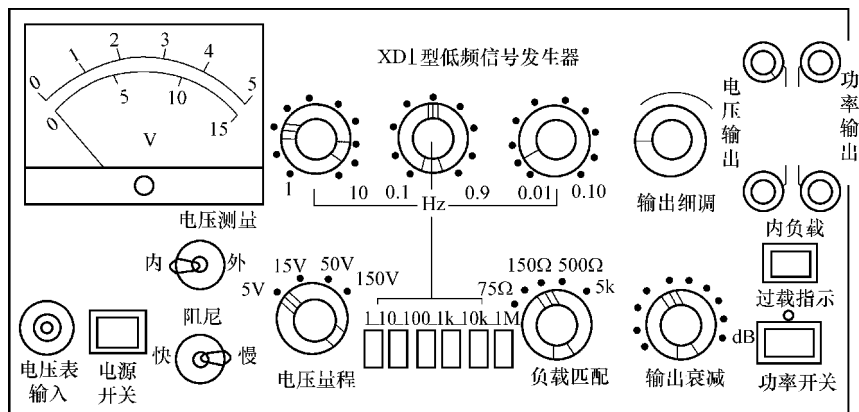


图 4-2 XD I 型低频信号发生器的面板

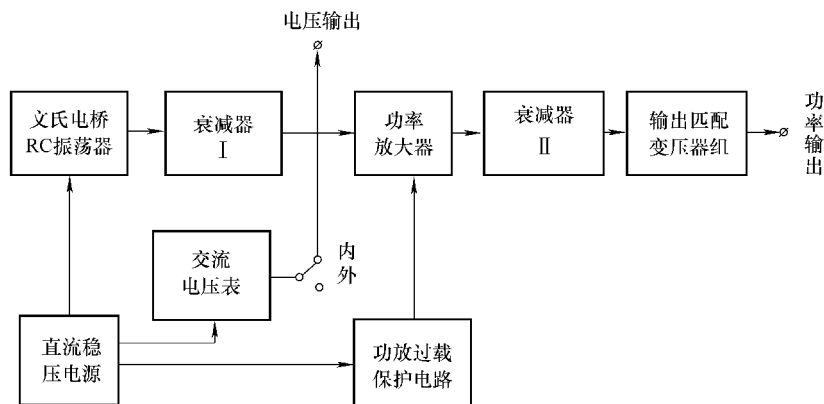


图 4-3 XD I 型低频信号发生器工作原理框图

3. XD I 型低频信号发生器的使用方法

(1) 使用前的准备工作

接通仪器的电源之前，应先检查电源电压是否正常，电源线及电源插头是否完好无损，通电前将输出细调电位器旋至最小，然后接通电源，打开 XD I 型低频信号发生器的开关。

(2) 频率的调节

包括频段的选择和频率细调。

1) 频段的选择。根据所需要的频段（即频率范围），通过按面板上的按键开关来选择所需要的频率。例如，需要输出信号的频率为 6200Hz，该频率在 1~10kHz 的频段，故应按下 10kHz 的按键（从左向右第 5 个键）。

2) 频率细调。在频段按键的上方，有 3 个频率细调旋钮，旋钮 1~10 为整数，旋钮 0.1~0.9 为第一位小数，0.01~0.10 旋钮为第二位小数。选择频率时，信号频率的前 3 位有效数字由这 3 个旋钮来确定。例如，需要信号的频率为 3550Hz，则频段选择按下 10kHz 按键后，应将 3 个细调旋钮分别旋转到 3、0.5、0.05 的位置。

(3) 输出电压的调节。XD I 型低频信号发生器设有电压输出和功率输出两组端钮，这两组输出共用一个输出衰减旋钮，可做 10dB/步的衰减。但需要注意，在同一衰减位置上，电压与功率的衰减分贝数是不相同的，面板上已用不同的颜色区别表示。输出细调是由同一电位器连续调节的，这两个旋钮适当配合便可在输出端上得到所需的信号输出幅度。

调节时，首先将负载接在电压输出端钮上，然后调节输出衰减旋钮和输出细调旋钮，即可得到所需要的电压幅度信号。输出信号电压的大小可从电压表上读出，然后除以衰减倍数就是实际输出电压值。

(4) 电压级的使用

从电压级可以得到较好的非线性失真系数（ $<0.1\%$ ）、较小的输出电压（200 μ V）和较好的信噪比。电压级最大可输出 5V 电压，其输出阻抗是随输出衰减的分贝数的变化而变化的。为了保持衰减的准确性及输出波形不失真（主要是在 0dB 时），电压输出端钮上的负载应大于 5k Ω 。

(5) 功率级的使用

使用功率级时应先将功率开关按下，以将功率级输入端的信号接通。

1) 阻抗匹配。功率级共设有 50Ω 、 75Ω 、 150Ω 、 600Ω 和 $5k\Omega$ 五种额定负载值, 如欲得到最大的功率输出, 应使负载阻抗等于这五种数值之一, 以达到阻抗匹配。若做不到完全相同, 一般也应使实际的负载阻抗值大于所选用的功率级的额定阻抗数值, 以减小信号失真。当负载为高阻抗, 且要求工作在频率输出频段的两端, 即在接近 10Hz 或几百千赫时, 为了输出足够的幅度, 应将功放部分内负载按键按下, 接通内负载, 否则在功放级工作频段的两端, 输出幅度会下降。当负载值与面板上负载匹配旋钮所指数值不相符时, 步进衰减器指示将产生误差, 尤其是 $0 \sim 10\text{dB}$ 这一挡。当功率输出衰减放在 0dB 时, 信号发生器内阻比负载值要小。但衰减放在 10dB 以后的各挡时, 内阻与面板上负载匹配旋钮指示的阻抗值相符, 可做到负载与信号发生器内阻匹配。

2) 保护电路。刚开机时, 过载指示灯亮, 经 $5 \sim 6\text{s}$ 后熄灭, 表示功率级进入工作状态。当输出衰减旋钮开得过大或负载阻抗值过小时, 过载指示灯亮, 表示过载, 此时应减小输出幅度, 指示灯过几秒钟后熄灭, 自动恢复正常工作, 若减小输出幅度后仍过载, 则灯闪亮。在高频端, 有时因信号幅度过大, 指示灯会一直亮, 此时应减小信号幅度或减轻负载, 使其恢复正常。当保护指示不正常时, 需要关机进行检修, 以免烧坏功率管。当不使用功率级时, 应把功率开关按键复位, 以免功率保护电路的动作影响电压级输出。

3) 对称输出。功率级输出可以不接地, 当需要这样使用时, 只要将功率输出端与接地端的连接片取下即可。

4) 功率输出。功率级在 $10\text{Hz} \sim 700\text{kHz}$ ($5k\Omega$ 负载时在 $10 \sim 200\text{Hz}$) 范围的输出, 符合技术条件的规定。在 $5 \sim 10\text{Hz}$ 、 $700\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ (或 $5k\Omega$ 负载在 $200\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$) 范围仍有输出, 但输出功率减小。功率级输出频率在 5Hz 以下时, 不能输出信号。

5) 电压表的使用。当用作外测仪表时, 需将电压测量开关拨向外, 此时根据被测量电压选择电压表的量程, 测量信号从输入电缆上输入。当电压测量开关拨向内时, 电压表接在电压输出级细调电位器之后, 量程为 5V 挡。当功率输出衰减旋钮挡位改变时, 电压表指示不变, 而实际输出电压在改变, 这时的实际输出电压值 $U = \text{电压表指示值 } U_1 / \text{电压衰减倍数}$ 。此电压表与地无关, 因此可测量不接地的输出电压。

4.2 万用表的使用

万用表是一种应用最广泛的测量仪器, 用它可以测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻和晶体管直流电流放大系数等物理量。根据测量原理及测量结果显示方式的不同, 万用表分为两大类: 模拟式(指针)万用表和数字式万用表, 每类型号很多, 如图4-4所示。



a) 模拟式



b) 数字式

图4-4 模拟式和数字式万用表

4.2.1 模拟式万用表的使用

1. 万用表的组成

模拟式（指针式）万用表的形式很多，但基本结构是类似的，万用表主要由指示器、测量电路和转换装置三部分组成。

指示器俗称表头，用以指示被测电量的数值。指示器是万用表的关键，其很多的重要性能，如灵敏度、精确等级等都取决于表头的性能。表头的灵敏度是以满刻度的测量电流来衡量的，满刻度偏转电流越小，灵敏度越高。一般万用表表头灵敏度在 $10 \sim 100\mu\text{A}$ 左右。指针式万用表该部分通常为磁电式微安表。

测量电路的作用是把被测的电量转化为适合于表头要求的微小信号（直流电流），再通过转换装置转换成能够驱动指示器指示所需的信号。它通常包括分流电路、分压电路和整流电路。分流电路将被测大电流通过分流电阻变成表头所需要的微小电流，分压电路将被测得高电压通过分压电阻变换成表头所需的低电压；整流电路将被测的交流，通过整流转变成所需的直流电。

转换装置可实现万用表的各种测量类型和量程的选择。转换装置通常包括转换开关、接线柱、输入插孔等；转换开关有固定触点和活动触点，测量时，改变开关的位置，即可接通相应的触点，实现相应的测量功能。

2. 使用万用表测量的一般方法

下面以 MF-47 型万用表为例介绍万用表操作方法。

(1) 正确插入表笔

将红表笔插头插入“+”插孔中，黑表笔插头插入“com”插孔中。如果测量的交直流电压在 $1000 \sim 2500\text{V}$ ，或者直流电流在 $500\text{mA} \sim 5\text{A}$ 时，红表笔插头分别插到标有“2500V”或“5A”的插孔中。

(2) 机械调零

使用前应检查指针是否指在机械零位上，否则用小号一字螺钉旋具旋转万用表面板中间的机械零位调整螺钉，使指针指示在零位上。

(3) 物理量及量程选择

物理量选择：就是根据不同的被测物理量将转换开关旋至相应的位置。

合理选择量程：测量电流和电压时，应使表针偏转至满刻度的 $1/2$ 或 $2/3$ 以上；测量电阻时，应使表针偏转至中心刻度值的 $(1/10 \sim 10)$ 倍之间。

(4) 各种物理量的测量

1) 电压测量：将万用表与被测电路并联测量；测量直流电压时，应将红表笔接高电位、黑表笔接低电位。如果不知道被测直流电压的极性，那么在电路一端先接好一支笔，另一支笔在电路另一端轻轻地碰一下，如果指针向右摆动，说明接线正确；如果指针向左摆动，（低于零点），说明表笔接反了，应把两支表笔位置对换。测量高电压（ $500 \sim 2500\text{V}$ ）时应戴绝缘手套，站在绝缘垫上进行，并使用高压测试表笔。

测量直流电压：MF47 万用表常用的直流电压挡位有 0.25V 、 1V 、 2.5V 、 10V 、 50V 、 250V 、 500V 、 1000V 8 个量程。把挡位开关旋钮到直流电压挡，并选择合适的量程，当被测电压数值范围不确定时，应先选用较高的量程，根据测出电压值，再逐步选用低量程。

测量交流电压：MF47 万用表常用的交流电压挡有 10V、50V、250V、500V、1000V 5 个量程。将挡位开关旋到交流电压挡，表笔不分正负极，其他与测量直流电压方法相同，读数为交流电压的有效值。

2) 电流测量：将万用表串联接入被测回路中；测量直流电流时，应使电流由红表笔流入、由黑表笔流出万用表；测量较大电流时应断开电源后再撤表笔。

测量直流电流：MF47 万用表常用的直流电流挡有 500mA、50mA、5mA、500 μ A 和 50 μ A 5 个量程。把挡位开关旋钮打到直流电流挡，选择合适的量程。如果不能确定电流方向极性，参考直流电压测量。特别提醒，在测量电流时，避免将万用表并联到被测部位两端，由于电流表内阻很小，极易造成短路、损坏电表或发生事故。

3) 电阻测量：MF47 万用表电阻挡有 $\times 1\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 100\Omega$ 、 $\times 1k\Omega$ 、 $\times 10k\Omega$ 5 个倍率。插好表笔，将功能开关切换到“电阻”位置，并选择合适倍率。测量前，先将指针表两表笔短接，旋动电阻调零旋钮，进行电阻挡调零，使指针打到电阻刻度右边的“0 Ω ”处，每次换挡位都要调零，若调不到零点，说明万用表内电池不足，需要更换电池，然后再进行电阻测量，表笔极性任意。在测量阻值时，应使被测电阻脱离电源，如电路中有电容应先行放电，用两表笔接触电阻两端，使指针尽量能够指向表刻度盘中间的 1/3 区域，否则，调换合适的电阻挡位，保证读数的精度。

读数方法：所测电阻值为表头指针显示的读数乘以所选量程的倍率。如选用“R $\times 10\Omega$ ”挡测量，指针指示 50，则被测电阻的阻值为 $50\Omega \times 10 = 500\Omega$ 。另外电阻挡的刻度是倒刻度，即从 $\infty \sim 0$ ，有别于其他刻度线。

4) 音频电平测量：该功能主要用于测量电信号的增益或衰减。测量方法与交流电压的测量方法相同，读数是表面最下边一条刻度线，该刻度数值是量程选择开关在交流“10V”挡时的直接读数值。当交流电压为“50V”、“250V”、“500V”各挡时，测量结果应在表面读数值上分别加上 +14dB、+28dB 和 +34dB。

5) 晶体管直流放大倍数 h_{FE} 测量：先将转换开关旋至晶体管调节 ADJ 位置进行电气调零，使表针对准 $300h_{FE}$ 刻度线；然后将转换开关旋至 h_{FE} 位置，把被测晶体管插入专用插孔进行测量。N 型管孔插 NPN 型晶体管，P 型管孔插 PNP 型晶体管。

6) 电感和电容的测量：将量程选择开关旋至交流 10V 位置，将被测电容或电感串接于任一测试棒，而后跨接于 10V 交流电压电路中进行测量。

3. 使用指针式万用表测量时注意的问题

1) 将万用表接入电路前，应确保所选测量的类型及量程正确。

2) 在使用万用表过程中，不能用手去接触表笔的金属部分，这样一方面可以保证测量的准确，另一方面也可以保证人身安全。

3) 测试导线和铜箔的通断性以及测试电阻或二极管或电容之前，必须先切断电源，大容量的电容器必须先进行放电。

4) 在测量某一电量时，不能在测量的同时换挡，如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量，尤其是在测量高电压或大电流时，否则会使万用表毁坏。

5) 万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用，还应将万用表内部的电池取出来，以免电池腐蚀表内其他器件。

6) 万用表在使用时，必须水平放置，以免造成误差，使用过程中不要靠近强磁场，以

免测量结果不准确。

7) 万用表的表盘上有多条刻度尺, 读数时应根据被测电量, 观看对应的标度尺, 与量程挡联合读出正确的测量数值。读数时目光垂直表面, 使指针与反光镜中的指针重合, 确保读数的准确。

8) 与其他仪器和电路进行连接时, 先连接公共测试导线, 再连接带电的测试导线; 切断连接时, 则应先断开带电的测试导线, 再断开公共测试导线。

4.2.2 数字式万用表的使用

数字式万用表一般采用大规模集成电路, 指示被测电量数值的指示器为液晶或荧光数码显示屏。数字式万用表与指针式万用表相比, 具有以下特点:

采用大规模集成电路, 提高了测量精度, 减少了测量误差; 以数字方式在屏幕上显示测量值, 使读数变得更为直观; 增设了快速熔断器和过电压、过电流保护装置, 使过载能力进一步加强; 具有防磁抗干扰能力、测试数据稳定。具有自动调零、极性显示、超量程显示及低压指示功能。下面以 AT-9205B 型数字万用表为例, 介绍数字式万用表测量的一般方法。

1. 直流电压的测量

1) 将黑表笔插头插入“COM”插孔, 红表笔插头插入“V/ Ω /Hz”插孔。

2) 将量程开关转换在“DCV”相应量程, 然后将两测试笔并联在测量电路中, 则红表笔所接电压极性及该点电压显示在屏幕上。

3) 注意事项:

① 未测量时小电压挡有残留数字, 属正常且不影响测量。

② 测量最大电压不超过 1000V, 如超过有损坏表的危险。

③ 测量时高位显示“1”或“-1”, 说明超出量程范围, 应换到大量程挡位。

2. 交流电压的测量

测量交流电压方法类似于直流电压测量, 只是要把量程开关拨在“AC V”范围内的适当量程, 不得接有效值高于 750V 的交流电压。

3. 电阻的测量

将量程开关拨至“ Ω ”挡范围内的适当量程, 表笔插入位置同测量电压的位置。将两表笔接触到被测元件的两引脚, 元件的电阻值便会显示在屏幕上。

注意事项: 当所测量电阻值超过 $1\text{M}\Omega$ 时, 需要几秒钟才能稳定显示数值, 这是正常的。

4. 直流电流的测量

1) 将黑表笔插头插入“COM”插孔, 红表笔插头插入“mA”插孔, 若所测的电流大于 200mA 时, 需插入 20A 插口。

2) 将量程开关转换在“DC A”相应量程, 然后将两测试笔串联在测量电路中, 则该点电流值和红表笔所接电流极性显示在屏幕上。

3) 注意事项: 最大输入电流为 200mA 或 20A, 过大会烧坏熔丝。在测 20A 时注意, 连续测量大电流会使电路过热, 影响精度甚至烧坏仪表。

5. 交流电流的测量

测量交流电流方法类同于直流电流测量, 只是要把量程开关拨在“AC A”范围内的适

当量程。注意事项同直流电流的测量。

6. 电容的测量

将量程开关转换在测量电容值相应的量程上,将电容插入“Cx”插孔(对于VC9804A+为黑表笔插头插入“mA”插孔,红表笔插头插入“V/ Ω /Hz”插孔。将表笔插头跨接于电容两端测量,注意极性)。

注意事项:

- 1) 在测量电容之前 LCD 会有残留读数,这属正常,不影响测量结果。
- 2) 量程大的挡位测量漏电严重或击穿电容时,将显示一组不稳定数值。
- 3) 测量电容之前应充分放电,否则会损坏仪表。

7. 电流放大系数 h_{FE} 的测量

测量晶体管的电流放大系数 h_{FE} 时,将量程开关置于“ h_{FE} ”挡位。先判断晶体管是 NPN 还是 PNP,再将各引脚分别插入相应的测试插孔,由显示屏可读出 h_{FE} 数值。

8. 二极管及通断的测量

- 1) 将黑表笔插头插入“COM”插孔,红表笔插头插入“V/ Ω /Hz”插孔。
- 2) 将量程开关置于“ $\rightarrow$ ”挡位,然后则红表笔接二极管正极,黑表笔接其负极,读数为二极管正向压降的近似值。
- 3) 将表笔连接在被测电路的两点,若内置蜂鸣器响,则两点间的电阻值低于 $(70 \pm 20) \Omega$ 。

4.3 示波器的使用

示波器是利用电子示波管的特性,将人眼无法直接观测的交变电信号转换成图像,显示在荧光屏上以便测量的电子测量仪器。它是观察数字电路实验现象、分析实验中的问题、测量实验结果必不可少的重要仪器。随着计算机、半导体和通信技术的发展,示波器的种类、型号越来越多,根据其用途及特点的不同,可以分为通用示波器、取样示波器、逻辑示波器、记忆与存储示波器等。示器虽然分成好几类,各类又有许多种型号,但是一般的示波器除频带宽度、输入灵敏度等不完全相同外,使用方法基本都是相同的。本章以 ST-16 型示波器、SR-8 型双踪示波器为例,介绍它们的基础使用方法。

4.3.1 示波器的组成

示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器,示波器利用狭窄的、由高速电子组成的电子束,打在涂有荧光物质的屏面上,产生细小的光点,在被测信号的作用下,电子束如同一支笔的笔尖,可以在屏面上描绘出被测信号的瞬时值的变化曲线。利用示波器能观察各种不同信号幅度随时间变化的波形曲线,还可以用它测试各种不同的电量,如电压、电流、频率、相位差、调幅度等。

1. 普通示波器的基本组成

普通示波器由 5 个基本组成部分:显示电路、垂直(Y轴)放大电路、水平(X轴)放大电路、扫描与同步电路、电源供给电路。普通示波器的原理功能方框图如图 4-5 所示。

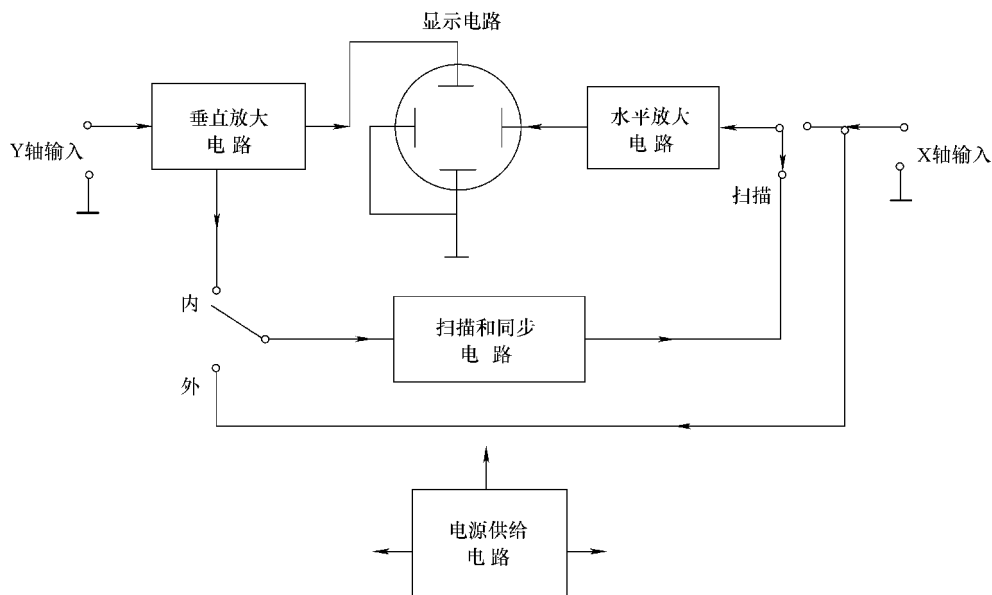


图 4-5 示波器的原理功能方框图

(1) 显示电路

显示电路包括示波管及其控制电路两个部分。示波管是一种特殊的电子管，是示波器的一个重要组成部分。示波管内部结构示意图如图 4-6 所示，由图可见，示波管由电子枪、偏转系统和荧光屏 3 个部分组成。

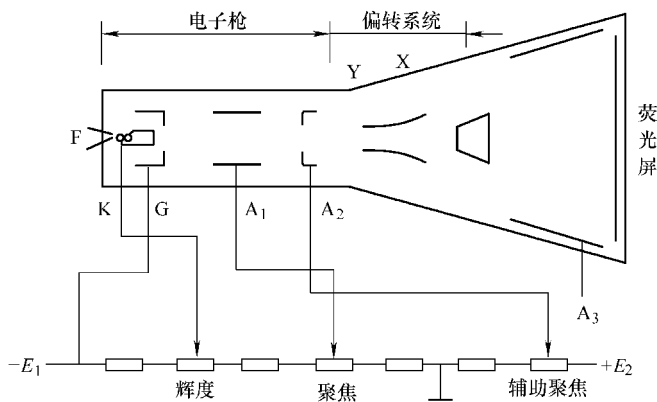


图 4-6 示波管内部结构示意图

1) 电子枪。电子枪用于产生并形成高速、聚束的电子流，去轰击荧光屏使之发光。它主要由灯丝 F、阴极 K、控制极 G、第一阳极 A_1 、第二阳极 A_2 组成。除灯丝外，其余电极的结构都为金属圆筒，且它们的轴心都保持在同一轴线上。阴极被加热后，可沿轴向发射电子；控制极相对阴极来说是负电位，改变电位可以改变通过控制极小孔的电子数目，也就是控制荧光屏上光点的亮度。为了提高屏上光点亮度，又不降低对电子束偏转的灵敏度，现代示波管中，在偏转系统和荧光屏之间还加上一个后加速电极 A_3 。

第一阳极对阴极而言加有约几百伏的正电压。在第二阳极上加有一个比第一阳极更高的

正电压。穿过控制极小孔的电子束,在第一阳极和第二阳极高电位的作用下,得到加速,向荧光屏方向作高速运动。由于电荷的同性相斥,电子束会逐渐散开。通过第一阳极、第二阳极之间电场的聚焦作用,使电子重新聚集起来并交汇于一点。适当控制第一阳极和第二阳极之间电位差的大小,便能使焦点刚好落在荧光屏上,显现一个光亮细小的圆点。改变第一阳极和第二阳极之间的电位差,可起调节光点聚焦的作用,这就是示波器的“聚焦”和“辅助聚焦”调节的原理。第三阳极是示波管锥体内部涂上一层石墨形成的,通常加有很高的电压,它有3个作用:

① 使穿过偏转系统以后的电子进一步加速,使电子有足够的能量去轰击荧光屏,以获得足够的亮度。

② 石墨层涂在整个锥体上,能起到屏蔽作用。

③ 电子束轰击荧光屏会产生二次电子,处于高电位的 A_3 可吸收这些电子。

2) 偏转系统。示波管的偏转系统大都是静电偏转式,它由两对相互垂直的平行金属板组成,分别称为水平偏转板和垂直偏转板,分别控制电子束在水平方向和垂直方向的运动。当电子在偏转板之间运动时,如果偏转板上没有加电压,偏转板之间无电场,离开第二阳极后进入偏转系统的电子将沿轴向运动,射向屏幕的中心。如果偏转板上有电压,偏转板之间就有电场,进入偏转系统的电子会在偏转电场的作用下射向荧光屏的指定位置。

如图4-7所示,如果两块偏转板互相平行,并且它们的电位差等于零,那么通过偏转板空间的,具有速度 v 的电子束就会沿着原方向(设为轴线方向)运动,并打在荧光屏的坐标原点上。如果两块偏转板之间存在着恒定的电位差,则偏转板间就形成一个电场,这个电场与电子的运动方向相垂直,于是电子就朝着电位比较高的偏转板偏转。这样,在两偏转板之间的空间,电子就沿着抛物线在这一点上做切线运动。最后,电子降落在荧光屏上的 A 点,这个 A 点距离荧光屏原点(O)有一段距离,这段距离称为偏转量,用 y 表示,偏转量 y 与偏转板上所加的电压 V_y 成正比。同理,在水平偏转板上加有直流电压时,也发生类似情况,只是光点在水平方向上偏转。

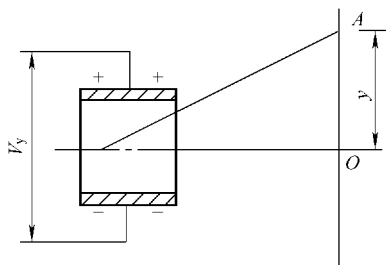


图4-7 偏转板电场电子束的控制作

3) 荧光屏。荧光屏位于示波管的终端,它的作用是将偏转后的电子束显示出来,以便观察。在示波器的荧光屏内壁涂有一层发光物质,因而,荧光屏上受到高速电子冲击的地点就显现出荧光。此时光点的亮度取决于电子束的数目、密度及其速度,改变控制极的电压时,电子束中电子的数目将随之改变,光点亮度也就改变。在使用示波器时,不宜让很亮的光点固定出现在示波管荧光屏一个位置上,否则该点荧光物质将因长期受电子冲击而烧坏,从而失去发光能力。

涂有不同荧光物质的荧光屏,在受电子冲击时将显示出不同的颜色和不同的余辉时间,通常供观察一般信号波形用的是发绿色光的,属中余辉示波管,供观察非周期性及低频信号用的是发橙黄色光的,属长余辉示波管;供照相用的示波器中,一般都采用发蓝色光的短余辉示波管。

(2) 垂直(Y轴)放大电路

由于示波管的偏转灵敏度甚低,例如常用的13SJ38J型示波管,其垂直偏转灵敏度为

0.86mm/V (约 12V 电压产生 1cm 的偏转量), 所以一般的被测信号电压都要先经过垂直放大电路的放大, 再加入到示波管的垂直偏转板上, 以得到垂直方向的尺寸合适的图形。

(3) 水平 (X 轴) 放大电路

由于示波管水平方向的偏转灵敏度也很低, 所以接入示波管水平偏转板的电压 (锯齿波电压或其他电压) 也要先经过水平放大电路的放大以后, 再加入到示波管的水平偏转板上, 以得到水平方向适当大小的图形。

(4) 扫描与同步电路

扫描电路产生一个锯齿波电压, 该锯齿波电压的频率能在一定的范围内连续可调。锯齿波电压的作用是使示波管阴极发出的电子束在荧光屏上形成周期性的、与时间成正比的水平位移, 即形成时间基线。这样, 才能把加在垂直方向的被测信号按时间的变化波形展现在荧光屏上。

(5) 电源供给电路

电源供给电路供给垂直与水平放大电路、扫描与同步电路以及示波管与控制电路所需的负高压、灯丝电压等。

由示波器的原理功能方框图可见, 被测信号电压加到示波器的 Y 轴输入端, 经垂直放大电路加于示波管的垂直偏转板。示波管的水平偏转电压, 虽然多数情况都采用锯齿电压 (用于观察波形时), 但有时也采用其他的外加电压 (用于测量频率、相位差等时), 因此在水平放大电路输入端有一个水平信号选择开关, 以便按照需要选用示波器内部的锯齿波电压, 或选用外加在 X 轴输入端上的其他电压来作为水平偏转电压。

此外, 为了使荧光屏上显示的图形保持稳定, 要求锯齿波电压信号的频率和被测信号的频率保持同步。这样, 不仅要求锯齿波电压的频率能连续调节, 而且在产生锯齿波的电路上还要输入一个同步信号。这样, 对于只能产生连续扫描 (即产生周而复始、连续不断的锯齿波) 一种状态的简易示波器 (如国产 SB10 型等示波器) 而言, 需要在其扫描电路上输入一个与被观察信号频率相关的同步信号, 以牵制锯齿波的振荡频率。对于具有等待扫描功能 (即平时不产生锯齿波, 当被测信号来到时才产生一个锯齿波, 进行一次扫描) 的示波器 (如国产 ST-16 型示波器、SR-8 型双踪示波器等而言, 需要在其扫描电路上输入一个与被测信号相关的触发信号, 使扫描过程与被测信号密切配合。为了适应各种需要, 同步 (或触发) 信号可通过同步或触发信号选择开关来选择, 通常来源有 3 个:

1) 从垂直放大电路引来被测信号作为同步 (或触发) 信号, 此信号称为 “内同步” (或 “内触发”) 信号。

2) 引入某种相关的外加信号为同步 (或触发) 信号, 此信号称为 “外同步” (或 “外触发”) 信号, 该信号加在外同步 (或外触发) 输入端。

3) 有些示波器的同步信号选择开关还有一挡 “电源同步”, 是由 220V、50Hz 电源电压, 通过变压器二次降压后作为同步信号。

2. 双踪示波器的基本组成

图 4-8 所示为双踪示波器的原理功能方框图。由图可见, 它主要由两个通道的 Y 轴前置放大电路、门控电路、电子开关、混合电路、延迟电路、Y 轴后置放大电路、触发电路、扫描电路、X 轴放大电路、Z 轴放大电路、校准信号电路、示波管和高低压电源供给电路等组成。

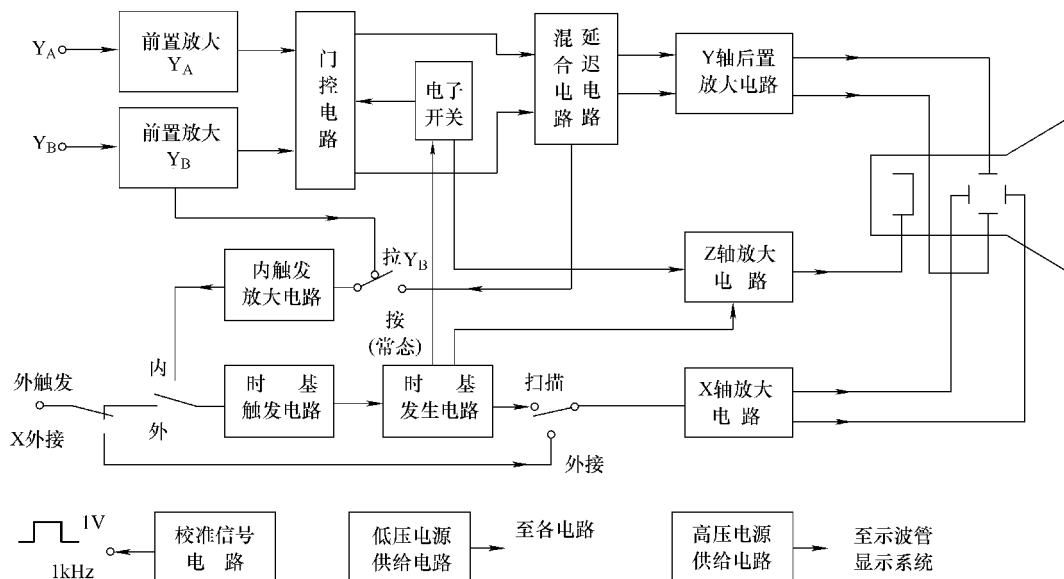


图 4-8 双踪示波器的原理功能方框图

观察信号波形时，被测信号 u_A 、 u_B 通过 Y_A 、 Y_B 两个输入端输入示波器，先分别送到 Y 轴前置放大电路 Y_A 和 Y_B 进行放大。因通道 Y_A 和通道 Y_B 都受电子开关的控制，所以 u_A 、 u_B 两信号轮流着输送到后面的混合电路，加到示波管的垂直偏转板上。

为了适应各种不同的测试需要，电子开关可有五种不同的工作状态，即交替、 Y_A 、 Y_B 、 $Y_A + Y_B$ 、断续等。这五种工作状态由显示方式开关来控制。

当显示方式开关置于交替位置时，电子开关为一双稳态电路。它受由扫描电路来的闸门信号控制，使得 Y 轴两个前置通道随着扫描电路门信号的变化而交替地工作。每秒钟交替转换次数与由扫描电路产生的扫描信号的重复频率有关。交替工作状态适用于观察频率不太低的被测信号。

当显示方式开关置于 Y_A 或 Y_B 位置时，电子开关为一单稳态电路。前置放大电路 Y_A 或 Y_B 可单独工作，此时，双踪示波器可作为普通单线示波器使用。

当显示方式开关置于 $Y_A + Y_B$ 位置时，电子开关处于不工作状态。此时， Y_A 、 Y_B 两通道同时工作，因而可得到两信号相加或两信号相减的显示。然而，两信号究竟是相加还是相减，这要通过 Y_A 通道的极性作用开关来选择。这个开关有两个位置，在第一个位置时，荧光屏上的图形为两信号之和；在第二个位置（ $-Y_A$ ）时，荧光屏上的图形为两信号之差。

为了观察被测信号随时间变化的波形，示波管的水平偏转板上必须加以线性扫描电压（锯齿波电压）。这个扫描电压是由扫描电路产生的。当触发信号加到触发电路时，触发了扫描电路，扫描电路就产生相应的扫描信号；当不加触发信号时，扫描电路就不产生扫描信号。

触发有内触发、外触发两种，由触发选择开关来选择。当该开关置于内的位置时，触发信号来自经 Y 轴通道送入的被测信号。当该开关置于外的位置时，触发信号是由外部送入的。这个信号应与被测信号的频率成整数比的关系。示波器在使用中，多数采用内触发工作方式。

所谓内触发也分为两种情况,并由内触发选择开关控制。当开关置于常态的位置时,触发电路的触发信号来自 Y_A 、 Y_B 通道。此时,两个通道即可同时稳定地显示出各自的被测信号。当用双踪显示来做时间比较分析时,就应该将内触发选择开关置于 Y_B 的位置。在这个位置时,触发电路的触发信号只取自 Y_B 通道的输入信号。此时只有当 u_A 、 u_B 的频率成整数比时,荧光屏上才能同时稳定地显示两个波形。

扫描电路产生的扫描信号(锯齿波信号)通过 X 轴选择开关接到 X 轴放大电路,经放大后送到示波管的 X 轴偏转板。这就是通常在观察信号随时间变化的波形时,开关选扫描挡的情况。除上述情况外,用示波器进行其他测试(比如观察李沙育图形)时,开关置 X 外接挡,此时可将 X 轴输入端输入的信号,加到 X 轴放大电路进行放大,随后再送至 X 轴偏转板。

Z 轴放大电路对荧光屏上光点辉度起着调节的作用,抹去不必要显示的光点轨迹。当扫描电路闸门信号来到 Z 轴放大电路后,Z 轴放大电路便输出正向的增辉脉冲信号,加至示波管的控制极。这就是说,在扫描信号的过程中,荧光屏上的光点得以增辉;在电子开关的转换过程中,电子开关电路将输出脉冲信号也加至 Z 轴放大电路,此时 Z 轴放大电路便输出负向脉冲信号,加至示波管的控制极。这样,在电子开关的转换过程中,就消去了两个通道交替工作时的过渡光点,以提高显示波形的清晰度。

校正信号电路产生一个一定频率、一定幅度的矩形信号(如国产 SR-8 型双踪示波器的校正信号是频率为 1kHz、幅度为 1V)。它是作校正 Y 轴放大电路的灵敏度和 X 轴的扫描速度之用的。

高、低压电源供给电路中的低压是供给示波器各级所需的低压电源的,高压是供给示波管显示系统电源的。

4.3.2 示波器的测试应用

1. 电压的测量

利用示波器所做的任何测量,都是归结为对电压的测量。示波器可以测量各种波形的电压幅度,既可以测量直流电压和正弦电压,又可以测量脉冲或非正弦电压的幅度。更有用的是它可以测量一个脉冲电压波形各部分的电压幅值,如上冲量或顶部下降量等。这是其他任何电压测量仪器都不能比拟的。

(1) 直接测量法

所谓直接测量法,就是直接从屏幕上量出被测电压波形的高度,然后换算成电压值。定量测试电压时,一般把 Y 轴灵敏度开关的微调旋钮转至“校准”位置上,这样,就可以从“V/div”的指示值和被测信号占取的纵轴坐标值直接计算被测电压值。所以,直接测量法又称为标尺法。

1) 交流电压的测量。将 Y 轴输入耦合开关置于“AC”位置,显示出输入波形的交流成分。如交流信号的频率很低时,则应将 Y 轴输入耦合开关置于“DC”位置。

将被测波形移至示波管屏幕的中心位置,用“V/div”开关将被测波形控制在屏幕有效工作面积的范围,按坐标刻度片的分度读取整个波形所占 Y 轴方向的度数 H ,则被测电压的峰—峰值 V_{p-p} 可等于“V/div”开关指示值与 H 的乘积。如果使用探头测量时,应把探头的衰减量计算在内,即把上述计算数值乘 10。

例如, 示波器的 Y 轴灵敏度开关“V/div”位于 0.2 挡级, 被测波形占 Y 轴的坐标幅度 H 为 5div, 则此信号电压的峰—峰值为 1V。如是经探头测量, 仍指示上述数值, 则被测信号电压的峰—峰值就为 10V。

2) 直流电压的测量。将 Y 轴输入耦合开关置于“地”位置, 触发方式开关置“自动”位置, 使屏幕显示一水平扫描线, 此扫描线便为零电平线。

将 Y 轴输入耦合开关置于“DC”位置, 加入被测电压, 此时, 扫描线在 Y 轴方向产生跳变位移 H , 被测电压即为“V/div”开关指示值与 H 的乘积。

直接测量法简单易行, 但误差较大。产生误差的因素有读数误差、视差和示波器的系统误差(衰减器、偏转系统、示波管边缘效应)等。

(2) 比较测量法

比较测量法就是用一已知的标准电压波形与被测电压波形进行比较求得被测电压值。

将被测电压 V_x 输入示波器的 Y 轴通道, 调节 Y 轴灵敏度选择开关“V/div”及其微调旋钮, 使荧光屏显示出便于测量的高度 H_x 并做好记录, 且“V/div”开关及微调旋钮位置保持不变。去掉被测电压, 把一个已知的可调标准电压 V_s 输入 Y 轴, 调节标准电压的输出幅度, 使它显示与被测电压相同的幅度。此时, 标准电压的输出幅度等于被测电压的幅度。比较法测量电压可避免垂直系统引起和误差, 因而提高了测量精度。

2. 时间的测量

示波器时基能产生与时间呈线性关系的扫描线, 因而可以用荧光屏的水平刻度来测量波形的时间参数, 如周期性信号的重复周期、脉冲信号的宽度、时间间隔、上升时间(前沿)和下降时间(后沿)、两个信号的时间差等。

将示波器的扫速开关“t/div”的“微调”装置转至校准位置时, 显示的波形在水平方向刻度所代表的时间可按“t/div”开关的指示值直读计算, 从而较准确地求出被测信号的时间参数。

3. 相位的测量

利用示波器测量两个正弦电压之间的相位差具有实用意义, 用计数器可以测量频率和时间, 但不能直接测量正弦电压之间的相位关系。利用示波器测量相位的方法很多, 下面仅介绍几种常用的简单方法。

(1) 双踪法

双踪法是用双踪示波器在荧光屏上直接比较两个被测电压的波形来测量其相位关系。测量时, 将相位超前的信号接入 Y_B 通道, 另一个信号接入 Y_A 通道。选用 Y_B 触发。调节“t/div”开关, 使被测波形的一个周期在水平标尺上准确地占满 8div, 这样, 一个周期的相角 360° 被 8 等分, 每 1div 相当于 45° 。读出超前波与滞后波在水平轴的差距 T , 按下式计算相位差 ϕ :

$$\phi = 45^\circ/\text{div} \times T(\text{div})$$

如 $T = 1.5\text{div}$, 则 $\phi = 45^\circ/\text{div} \times 1.5\text{div} = 67.5^\circ$

(2) 李沙育图形法测相位

将示波器的 X 轴选择置于 X 轴输入位置, 将信号 u_1 接入示波器的 Y 轴输入端, 信号 u_2 接入示波器的 X 轴输入端。适当调节示波器面板上相关旋钮, 使荧光屏上显现一个大小适宜的椭圆(在特殊情况下, 可能是一个正圆或一根斜线)。

形成椭圆的原理如图 4-9 所示。由图可见, 设 Y 轴偏转板上的信号 u_1 提前于 X 轴偏转板上的信号 u_2 的 $1/8$ 周期, 设 u_2 的初相为零, 即 $\phi_2 = 0$, 因此当 u_2 为零时, u_1 为一个较大的值, 如图中的“0”点。此时, 荧光屏上的光点也相应地位于“0”点。随着时间的变化, u_1 上升, u_2 也上升, 则荧光屏上的光点向右上方移动。当经 $1/8$ 周期后, u_1 、 u_2 分别到达“1”点, 此时 u_1 到达最大值, u_2 为一个较大的值, 荧光屏上的光点位于相应的“1”。如此继续下去, 荧光屏上的光点将描出一个顺时针旋转的椭圆。如果 u_1 滞后于 u_2 , 则形成一个逆时针旋转的椭圆。当然, 这只有在信号频率很低时 (如几赫兹), 且在短余辉的荧光屏上便会清楚地看到荧光屏上的光点顺时针或逆时针旋转的现象。由上述可见椭圆的形状是随两个正弦信号电压 u_1 、 u_2 相位差的不同而不同。因此可以根据椭圆的形状确定两个正弦信号之间的相位差 $\Delta\phi$ 。在图 4-9 中设 A 是椭圆与 Y 轴交点的纵坐标, B 是椭圆上各点坐标的最大值。由图可见, A 是对应于 $t=0$ 时 u_1 的瞬时电压, 即

$$A = U_{m1} \sin\phi_1$$

B 是对应于 u_1 的幅值, 即

$$B = U_{m1}$$

于是 $A/B = (U_{m1} \sin\phi_1) / U_{m1} = \sin\phi_1$

且由于假设 $\phi_2 = 0$, 所以

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = \phi_1$$

由此可得

$$\Delta\phi = \phi_1 = \arcsin(A/B)$$

同理, 相位差 $\Delta\phi$ 也可用式 $\Delta\phi = \phi_1 = \arcsin(C/D)$ 来表示。在实际测试中为读数方便, 常读取 $2A$ 、 $2B$ (或 $2C$ 、 $2D$), 按式 $\Delta\phi = \arcsin(2A/2B)$ 或 $\Delta\phi = \arcsin(2C/2D)$ 来计算相位差。

图 4-10 所示的各种图形分别表示正弦信号电压在不同相位差时的情况。不难看出, 如果椭圆的主轴在第 1 和第 3 象限内, 则相位差在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 或 $270^\circ \sim 360^\circ$ 之间; 如果主轴在第 2 和第 4 象限内, 则相位差在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 或 $180^\circ \sim 270^\circ$ 之间。

图形							
相位差	0° 或 360° ($A/B=0$)	30° 或 330° ($A/B=0.5$)	60° 或 300° ($A/B=0.866$)	90° 或 270° ($A/B=1$)	120° 或 240° ($A/B=0.866$)	150° 或 210° ($A/B=0.5$)	180° ($A/B=0$)

图 4-10 不同相位差时的图形

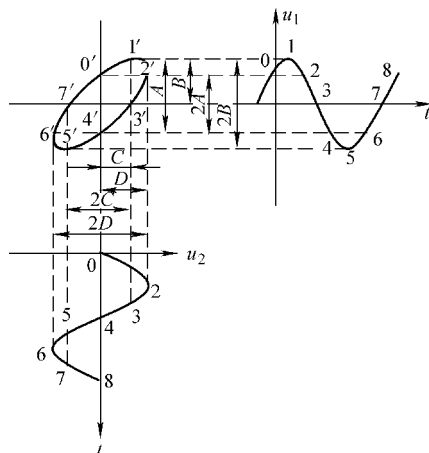


图 4-9 椭圆形成原理

4. 频率的测量

用示波器测量信号频率的方法很多，下面介绍常用的两种基本方法。

(1) 周期法

对于任何周期信号，可用前述的时间间隔的测量方法，先测定其每个周期的时间 T ，再用下式求出频率 f : $f=1/T$ 。

例如，示波器上显示的被测波形，一周期为 8div，“t/div”开关置“1μs”位置，其“微调”置“校准”位置。则其周期和频率计算如下：

$$T=1\mu\text{s}/\text{div}\times8\text{div}=8\mu\text{s}$$
$$f=1/8\mu\text{s}=125\text{kHz}$$

所以，被测波形的频率为 125kHz。

(2) 李沙育图形法测频率

将示波器置 X-Y 工作方式，被测信号输入 Y 轴，标准频率信号输入“X 外接”，慢慢改变标准频率，使这两个信号频率成整数倍时，例如 $f_x:f_y=1:2$ ，则在荧光屏上会形成稳定的李沙育图形。

李沙育图形的形状不但与两个偏转电压的相位有关，而且与两个偏转电压的频率也有关。用描迹法可以画出 u_x 与 u_y 的各种频率比、不同相位差时的李沙育图形，几种不同频率比的李沙育图形如图 4-11 所示。

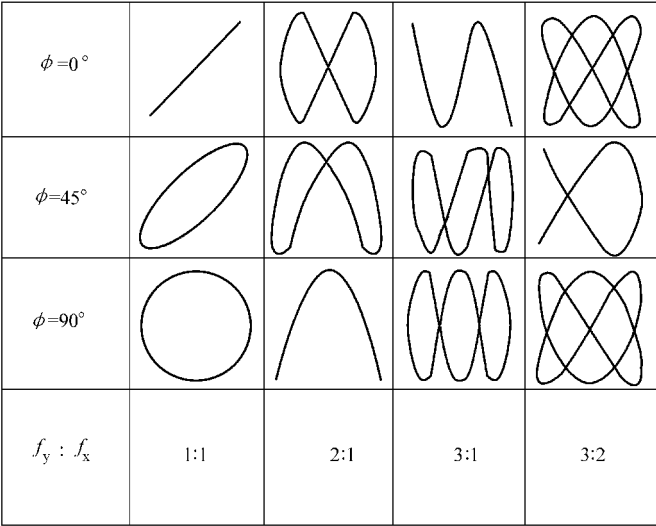


图 4-11 常用频率比的李沙育图形

利用李沙育图形与频率的关系，可进行准确的频率比较来测定被测信号的频率。其方法是分别通过李沙育图形引水平线和垂直线，所引的水平线垂直线不要通过图形的交叉点或与其相切。

$$f_y/f_x=m/n$$

若水平线与图形的交点数为 m ，垂直线与图形的交点数 n ，则当标准频率 f_x （或 f_y ）为已知时，由上式可以求出被测信号频率 f_y （或 f_x ）。显然，在实际测试工作中，用李沙育图形进行频率测试时，为了使测试简便正确，在条件许可的情况下，通常尽可能调节已知信号

的频率，使荧光屏上显示的图形为圆或椭圆，这时被测信号频率等于已知信号频率。

由于加到示波器上的两个电压相位不同，荧光屏上图形会有不同的形状，但这对确定未知频率并无影响。

李沙育图形法测量频率是相当准确的，但操作较费时。同时，它只适用于测量频率较低的信号。

5. 使用不当造成的异常现象

示波器在使用过程中，往往由于操作者对于示波原理不甚理解和对示波器面板控制装置的作用不熟悉，会出现由于调节不当而造成异常现象。现把示波器使用过程中，常见的由于使用不当而造成的异常现象及其原因罗列于如表 4-1 所示表中，供示波器使用者参考。

表 4-1 示波器使用不当造成的异常现象及原因

现 象	原 因
没有光点或波形	1) 电源未接通 2) 辉度旋钮未调节好 3) X、Y 轴移位旋钮位置调偏 4) Y 轴平衡电位器调整不当，造成直流放大电路严重失衡
水平方向展不开	1) 触发源选择开关置于外挡，且无外触发信号输入，则无锯齿波产生 2) 电平旋钮调节不当 3) 稳定度电位器没有调整在使扫描电路处于待触发的临界状态 4) X 轴选择误置于 X 外接位置，且外接插座上又无信号输入 5) 双踪示波器如果只使用 A 通道（B 通道无输入信号），而内触发开关置于拉 Y_B 位置，则无锯齿波产生
垂直方向无展示	1) 输入耦合方式 DC - 接地 - AC 开关误置于接地位置 2) 输入端的高、低电位端与被测电路的高、低电位端接反 3) 输入信号较小，而 V/div 误置于低灵敏度挡
波形不稳定	1) 稳定度电位器顺时针旋转过度，致使扫描电路处于自激扫描状态（未处于待触发的临界状态） 2) 触发耦合方式 AC、AC（H）、DC 开关未能按照不同触发信号频率正确选择相应挡级 3) 选择高频触发状态时，触发源选择开关误置于外挡（应置于内挡） 4) 部分示波器扫描处于自动挡（连续扫描）时，波形不稳定
垂直线条密集或呈现一矩形	t/div 开关选择不当，致使 f 扫描 $\ll f$ 信号
水平线条密集或呈一条倾斜水平线	t/div 关选择不当，致使 f 扫描 $\gg f$ 信号
垂直方向的电压读数不准	1) 未进行垂直方向的偏转灵敏度（ v/div ）校准 2) 进行 v/div 校准时， v/div 微调旋钮未置于校正位置（即顺时针方向未旋足） 3) 进行测试时， v/div 微调旋钮调离了校正位置（即调离了顺时针方向旋足的位置） 4) 使用 10:1 衰减探头，计算电压时未乘以 10 倍 5) 被测信号频率超过示波器的最高使用频率，示波器读数比实际值偏小 6) 测得的是峰 - 峰值，正弦有效值需换算求得

(续)

现 象	原 因
水平方向的读数不准	1) 未进行水平方向的偏转灵敏度 (t/div) 校准 2) 进行 t/div 校准时, t/div 微调旋钮未置于校准位置 (即顺时针方向未旋足) 3) 进行测试时, t/div 微调旋钮调离了校正位置 (即调离了顺时针方向旋足的位置) 4) 扫速扩展开关置于拉 ($\times 10$) 位置时, 测试未按 t/div 开关指示值提高灵敏度 10 倍计算
交直流叠加信号的直流电压值分辨不清	1) Y 轴输入耦合选择 DC - 接地 - AC 开关误置于 AC 挡 (应置于 DC 挡) 2) 测试前未将 DC - 接地 - AC 开关置于接地挡进行直流电平参考点校正 3) Y 轴平衡电位器未调整好
测不出两个信号间的相位差 (波形显示法)	1) 双踪示波器误把内触发 (拉 Y_B) 开关置于按 (常态) 位置应把该开关置于拉 Y_B 位置 2) 双踪示波器没有正确选择显示方式开关的交替和断续挡 3) 单线示波器触发选择开关误置于内挡 4) 单线示波器触发选择开关虽置于外挡, 但两次外触发未采用同一信号
调幅波形失常	t/div 开关选择不当, 扫描频率误按调幅波载波频率选择 (应按音频调幅信号频率选择)
波形调不到要求的起始时间和部位	1) 稳定度电位器未调整在待触发的临界触发点上 2) 触发极性 (+、-) 与触发电平 (+、-) 配合不当 3) 触发方式开关误置于自动挡 (应置于常态挡)

4.3.3 ST-16 型单踪示波器的使用

1. 使用前的检查

1) 将仪器面板上各个控制机件置于如表 4-2 所示的位置。

表 4-2 控制机件所置位置

控制机件	作用位置	控制机件	作用位置
	逆时针旋转	电平	自动
	居中	t/div	2ms
	居中	X 轴微调	校准
	居中	+、-、X 外接	+
	居中	内、TV、外	内
V/div		Y 轴微调	校准
		AC ⊥ DC	⊥

- 2) 接通电源, 指示灯应有红光显示, 稍待片刻, 仪器进入正常工作。
- 3) 顺时针调节辉度电位器, 此时屏上应显示不同步的校准信号方波。
- 4) 将触发电平 (LEVEL) 调至 “自动 (AUTO)” 位置, 并向逆时针方向转动直至方

波波形同步（波形稳定不动），然后将方波波形移至屏幕中间。若仪器性能基本正常，则此时屏上显示的方波垂直幅度约为 5div ，方波周期在水平轴上的宽度约为 10div （电网频率 50Hz ），如图 4-12 所示。

2. 使用前的校准

1) 当仪器已符合上述要求，并等待数分钟后，调节面板上的“平衡”电位器，使在改变灵敏度“ V/div ”挡级开关时，显示的波形不发生 Y 轴方向上的位移。

2) 仪器在使用前，必须对垂直系统的增益校准和水平系统的扫描校准分别进行校准，使屏幕上所显示校准信号的垂直幅度恰好为 5div ，周期宽度恰好为 10div 。

3. 电压测量

当示波器已完成上述简单校准后，即可对被测信号波形的电压幅度进行定量测定。

1) 直流电压的测量。被测信号中如果含有直流电平且需对此直流电平进行测量时，首先应确定一个相对的参考基准电位。一般情况下，基准电位直接采用仪器的地电位，其测量步骤如下。

将垂直系统的输入耦合选择开关置于“ $\perp$ ”，触发电平电位器置于“自动”，使屏幕上出现一条扫描基线，并按被测信号的幅度和频率将“ V/div ”挡级开关和“ t/div ”扫速开关置于适当位置，然后调节“ $\uparrow\downarrow$ ”垂直移位电位器，使扫描基线与某一坐标横线重合，作为基准电平，如图 4-13 所示。

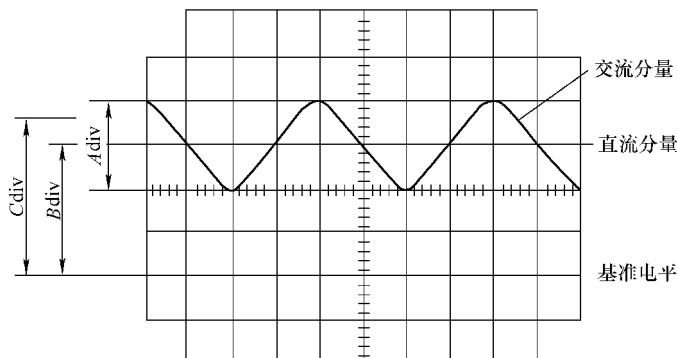


图 4-13 垂直系统的输入耦合

将输入耦合选择开关改置于“DC”位置，并将信号直接或经 10:1 衰减探极接入仪器的 Y 轴输入插座，然后调节触发“电平”使信号波形稳定。

根据屏幕坐标刻度，分别读出显示信号波形的交流分量（峰—峰）为 $A\text{div}$ ，直流分量为 $B\text{div}$ ，以及被测信号某特定点 R 与参考基线间的瞬时电压值为 $C\text{div}$ 。若仪器“ V/div ”挡级的标称值为 0.2V/div ，同时 Y 轴输入端使用了 10:1 衰减探极，则被测信号的各电压值分别如下。

被测信号交流分量： $V_{p-p} = 0.2 (\text{V/div}) \times A (\text{div}) \times 10 = 2A (\text{V})$

被测信号直流分量： $F = 0.2 (\text{V/div}) \times B (\text{div}) \times 10 = 2B (\text{V})$

被测信号 R 点瞬时值: $V_r = 0.2 \text{ (V/div)} \times C \text{ (div)} \times 10 = 2C \text{ (V)}$

2) 交流电压的测量。对于交流电压一般是直接测量交流分量的峰—峰值。测量时, 通常使被测信号通过输入端的隔直电容, 信号中所含的交流分量予以分离; 否则, 被测信号的交流与直流分量叠加后往往会超过放大器的有效动态范围, 于是不得不采用较低的输入灵敏度挡级, 从而影响交流分量的测量精度。除可按上述直流电压的测量方法外, 交流电压的测量一般应按如下步骤进行。

将垂直系统的输入耦合选择开关置于“AC”, “V/div”挡级开关和“t/div”扫速开关根据被测信号的幅度和频率选择适当的挡级, 并将被测信号直接或通过 10:1 探极输入仪器的 Y 轴输入端, 调节触发电平使波形稳定, 如图 4-14 所示。

根据屏幕的坐标刻度, 读出显示信号波形的峰—峰值为 $D\text{div}$, 如“V/div”挡级标称值为 0.1V/div , 且 Y 轴输入端使用了 10:1 探极, 则被测信号的峰—峰值应为

$$V_{p-p} = 0.1 \text{ (V/div)} \times D \text{ (div)} \times 10 = D \text{ (V)}$$

4. 时间测量

当仪器已在使用前对时基扫速 t/div 校准后, 即可对被测信号波形上任意两点间的时间参数进行定量测量。其步骤如下所述。

1) 按被测信号的重复频率或信号波形上两特定点 P 与 Q 的时间间隔, 选择适当的“t/div”扫速挡级, 使两特定点的距离在屏幕的有效工作面内到达最大限度, 以便提高测量精度, 如图 4-15 所示。

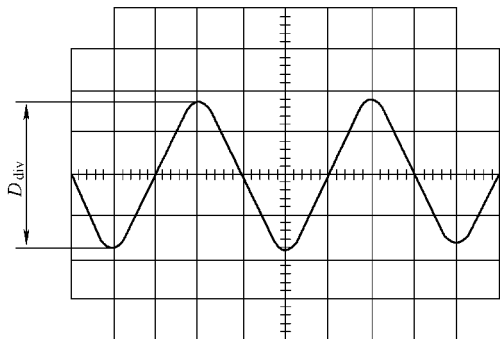


图 4-14 调节触发电平

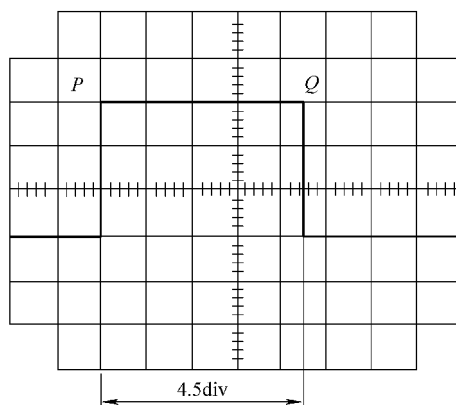


图 4-15 时间测量

2) 根据屏幕坐标线的刻度, 读取被测信号两特定点 P 与 Q 间的距离为 $D\text{div}$, 如“t/div”扫描开关挡级的标称值为 2ms/div , $D = 4.5\text{div}$, 则 P 、 Q 两点的时间间隔值为

$$t = 2 \text{ (ms/div)} \times D \text{ (div)} = 2D \text{ (ms)} = 9 \text{ (ms)}$$

5. 脉冲上升时间的测量

仪器对时基扫速 t/div 校准后, 即可对脉冲的前沿上升时间进行测定, 其测量步骤如下。

1) 按照被测信号的幅度选择“V/div”挡级, 并调节灵敏度“微调”电位器, 使屏幕上显示的波形垂直幅度恰为 5div 。

2) 调节触发电平及“↔”水平移位电位器, 并按照脉冲前沿上升时间的宽度, 选择适当的“t/div”扫速挡级, 使屏幕上显示的信号波形如图 4-16 所示。

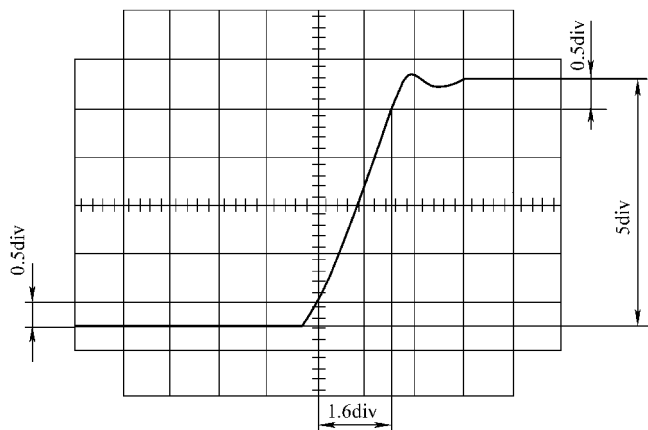


图 4-16 上升时间

3) 根据屏幕坐标刻度上显示的波形位置, 读取被测信号波形的前沿在垂直幅度的 10% 与 90% 两位置间的时间间隔距离为 $D\text{div}$, 若 “ t/div ” 挡的标称值为 $0.1\text{ }\mu\text{s}/\text{div}$, $D = 1.6\text{div}$, 则前沿上升时间为

$$t_r = \sqrt{t_1^2 - t_2^2} = \sqrt{(1.6 \times 100)^2 - 70^2} \approx 144\text{ (ns)}$$

式中, t_1 为垂直幅度 10% 与 90% 的时间间隔; t_2 为仪器的固有上升时间, 约为 70ns。

6. 频率测量

对于重复信号的频率测量, 一般可按时间测量的步骤测出信号的周期, 并按其倒数算出频率值, 其正确度取决于周期的测量精度。

例如, 测得某重复信号周期 $T = 4\text{ }\mu\text{s}$, 则频率为

$$f = 1/T = 1/(4 \times 10^{-6}) = 0.25 \times 10^6 = 250\text{ (kHz)}$$

如果借助信号发生器的已知频率, 并利用李沙育图形法, 亦可测出信号的频率值, 但其精度将直接取决于信号发生器已知频率的频率误差, 其测量步骤如下。

1) 将被测信号输入示波器的 Y 输入插座, 而将已知频率信号输入示波器的 “外接 X” 输入插座。

2) 根据屏幕上显示的李沙育图形的比值及已知频率信号的频率值 f_X , 计算被测信号的频率值 f_Y 。

图 4-17 所示为 Y 轴和 X 轴均输入正弦波时的李沙育图形, 被测信号的频率值 f_Y 的求法如下。

N_X 为 X 轴与图形交点数; N_Y 为 Y 轴与图形交点数, 被测信号的频率值 f_Y 与已知信号的频率值 f_X 之间有如下关系:

$$f_Y : f_X = N_X : N_Y$$

所以
$$f_Y = \frac{N_X}{N_Y} \cdot f_X$$

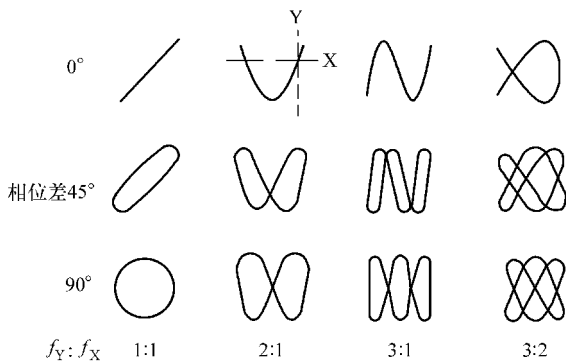


图 4-17 李沙育图形

4.3.4 SR-8 型双踪示波器的使用

SR-8 型双踪示波器具有两个输入通道, 因此它能同时观察两路信号, 可以比较方便地测量两个信号的相位差。

该示波器的扫描速率分为 21 挡, 采用 1-2-5 系列标称, 范围是 $0.2 \mu\text{s}/\text{div} \sim 1\text{s}/\text{div}$ 。X 轴和两个 Y 轴粗调旋钮的顶端都有一个微调旋钮, 这个微调旋钮可用于微调示波器上每一格所代表的数值, 如把微调旋钮逆时针旋到底并把挡位选在 “ $1\text{s}/\text{div}$ ”, 则对应的扫描速率为 $2.5\text{s}/\text{div}$ 。微调旋钮顺时针旋到底则处于校准状态, 此时示波器的显示值是正确的, 所以测量精确参数的时候, 需要使示波器处于校准状态。微调的主要作用是使扫描速率连续, 或者说是使得使用者可以选择一个最佳的观察背景。若把 X 粗调旋钮置于 “X 外接” 处, 则 X 轴的扫描信号可以由 “外触发, X 外接” 端子输入。拔出 “ $\times 10$ ” 开关时可使扫描速率是挡位开关所表示值的 10 倍。

Y 轴输入分为 11 挡, 范围是 $10\text{mV}/\text{div} \sim 20\text{V}/\text{div}$, 可输入信号频率范围: AC 耦合, $10\text{Hz} \sim 15\text{MHz}$; DC 耦合, $0 \sim 15\text{MHz}$ 。在此说明一点, 直流 (DC) 信号指的是信号的极性是单极的, 即只有大小的变化而没有极性的变化。例如, 正弦交流电压信号经过二极管半波整流后形成的电压信号就是直流的。不要把由电池产生的幅度、极性都不变的信号当成是直流的唯一形式。前面在介绍信号发生器时讲过方波发生器产生的幅值不变而极性变的信号却是交流信号, 所以同样也不要将正弦波信号当成是唯一合法的交流信号。但是后面讲到信号中的 “直流成分”, 指的是一段时间内的波形与 X 轴所形成的上部分面积与下部分面积的差再除以对应的时间值。

1. 面板装置

SR-8 型双踪示波器的面板图如图 4-18 所示。其面板装置按其位置和功能通常可划分为 3 大部分: 显示、垂直 (Y 轴)、水平 (X 轴)。现分别介绍这 3 个部分控制装置的作用。

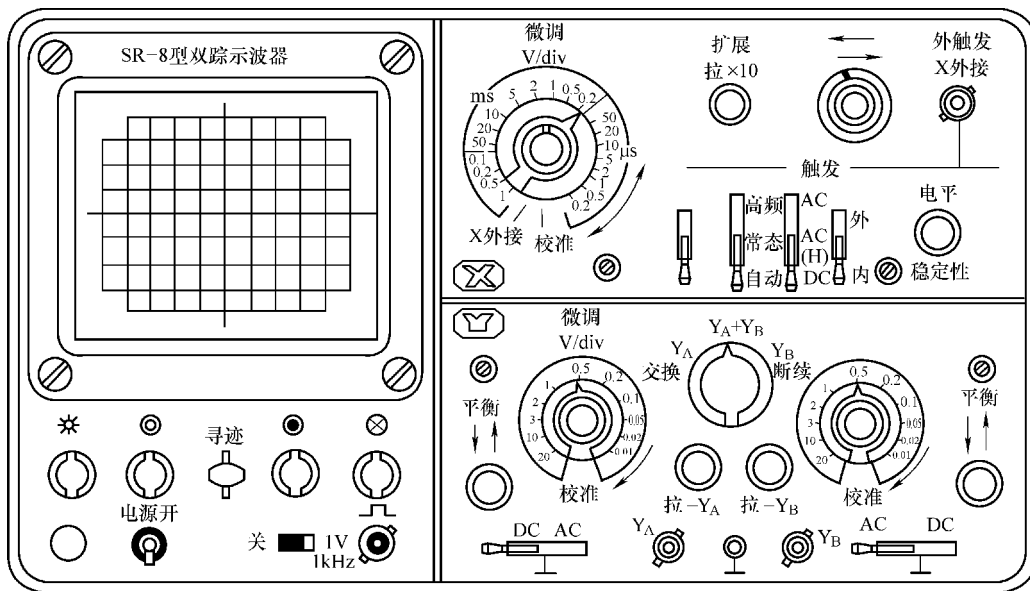


图 4-18 SR-8 型双踪示波器前面板

(1) 显示部分

主要控制件为：

- 1) 电源开关。
- 2) 电源指示灯。
- 3) 辉度：调整光点亮度。
- 4) 聚焦：调整光点或波形清晰度。
- 5) 辅助聚焦：配合“聚焦”旋钮调节清晰度。
- 6) 标尺亮度：调节坐标片上刻度线亮度。
- 7) 寻迹：当按键向下按时，使偏离荧光屏的光点回到显示区域，而寻到光点位置。
- 8) 标准信号输出：1kHz、1V 方波校准信号由此引出。加到 Y 轴输入端，用以校准 Y 轴输入灵敏度和 X 轴扫描速度。

(2) Y 轴插件部分

1) 显示方式选择开关用以转换两个 Y 轴前置放大器 Y_A 与 Y_B 工作状态的控制件，具有五种不同作用的显示方式：

① 交替：当显示方式开关置于“交替”时，电子开关受扫描信号控制转换，每次扫描都轮流接通 Y_A 或 Y_B 信号。当被测信号的频率越高，扫描信号频率也越高，电子开关转换速率也越快，不会有闪烁现象。这种工作状态适用于观察两个工作频率较高的信号。

② 断续：当显示方式开关置于“断续”时，电子开关不受扫描信号控制，产生频率固定为 200kHz 方波信号，使电子开关快速交替接通 Y_A 和 Y_B 。由于开关动作频率高于被测信号频率，因此屏幕上显示的两个通道信号波形是断续的。当被测信号频率较高时，断续现象十分明显，甚至无法观测；当被测信号频率较低时，断续现象被掩盖。因此，这种工作状态适合于观察两个工作频率较低的信号。

③ Y_A 、 Y_B ：显示方式开关置于“ Y_A ”或者“ Y_B ”时，表示示波器处于单通道工作，此时示波器的工作方式相当于单踪示波器，即只能单独显示“ Y_A ”或“ Y_B ”通道的信号波形。

④ $Y_A + Y_B$ ：显示方式开关置于“ $Y_A + Y_B$ ”时，电子开关不工作， Y_A 与 Y_B 两路信号均通过放大器和门电路，示波器将显示出两路信号叠加的波形。

2) “DC - $\perp$ - AC”为 Y 轴输入选择开关，用以选择被测信号接至输入端的耦合方式。置于“DC”位置，实现直接耦合，能输入含有直流分量的交流信号；置于“AC”位置，实现交流耦合，只能输入交流分量；置于“ $\perp$ ”位置，实现 Y 轴输入端接地，这时显示的时基线一般用来作为测试直流电压零电平的参考基准线。

3) “微调 V/div”为灵敏度选择开关及微调装置。灵敏度选择开关为套轴结构，黑色旋钮是 Y 轴灵敏度粗调装置，自 10mV/div ~ 20V/div 分 11 挡。红色旋钮为细调装置，顺时针方向增加到满度时为校准位置，可按粗调旋钮所指示的数值，读取被测信号的幅度。当此旋钮反时针转到满度时，其变化范围应大于 2.5 倍，连续调节“微调”电位器，可实现各挡级之间的灵敏度覆盖，在作定量测量时，此旋钮应置于顺时针满度的“校准”位置。

4) 平衡：当 Y 轴放大器输入电路出现不平衡时，显示的光点或波形就会随“V/div”开关的“微调”旋转而出现 Y 轴方向的位移，调节“平衡”电位器能将这种位移减至最小。

5) “ $\updownarrow$ ”为Y轴位移电位器,用以调节波形的垂直位置。

6) “极性、拉 Y_A ”为 Y_A 通道的极性转换按拉式开关。拉出时 Y_A 通道信号倒相显示,即显示方式($Y_A + Y_B$)时,显示图像为 $Y_B - Y_A$ 。

7) “内触发、拉 Y_B ”为触发源选择开关。在按的位置上(常态)扫描触发信号分别取自 Y_A 及 Y_B 通道的输入信号,适应于单踪或双踪显示,但不能够对双踪波形作时间比较。当把开关拉出时,扫描的触发信号只取自于 Y_B 通道的输入信号,因而它适合于双踪显示时对比两个波形的时间和相位差。

8) “Y轴输入”插座采用BNC型插座,被测信号由此直接或经探头输入。

(3) X轴插件部分

1) “ t/div ”扫描速度选择开关及微调旋钮。X轴的光点移动速度由其决定,从 $0.2\mu\text{s} \sim 1\text{s}$ 共分21挡级。当该开关“微调”电位器顺时针方向旋转到底并接上开关后,即为“校准”位置,此时“ t/div ”的指示值即为扫描速度的实际值。

2) “扩展、拉 $\times 10$ ”为扫描速度扩展装置。是按拉式开关,在按的状态作正常使用,拉的位置扫描速度增加10倍。“ t/div ”的指示值,也应相应计取。采用“扩展、拉 $\times 10$ ”适于观察波形细节。

3) “ $\rightleftarrows$ ”为X轴位置调节旋钮。系X轴光迹的水平位置调节电位器,是套轴结构。外圈旋钮为粗调装置,顺时针方向旋转基线右移,反时针方向旋转则基线左移。置于套轴上的小旋钮为细调装置,适用于经扩展后信号的调节。

4) “外触发、X外接”插座采用BNC型插座。在使用外触发时,作为连接外触发信号的插座。也可以作为X轴放大器外接时信号输入插座。其输入阻抗约为 $1\text{M}\Omega$ 。外接使用时,输入信号的峰值应小于12V。

5) “触发电平”旋钮用于选择输入信号波形的触发点。具体地说,就是调节开始扫描的时间,决定扫描在触发信号波形的哪一点上被触发。顺时针方向旋动时,触发点趋向信号波形的正向部分,逆时针方向旋动时,触发点趋向信号波形的负向部分。

6) “稳定性”微调旋钮用以改变扫描电路的工作状态,一般应处于待触发状态。调整方法是将Y轴输入耦合方式选择(AC - $\perp$ - DC)开关置于地挡,将 V/div 开关置于最高灵敏度的挡级,在电平旋钮调离自激状态的情况下,用小螺钉旋具将稳定度电位器顺时针方向旋到底,则扫描电路产生自激扫描,此时屏幕上出现扫描线;然后逆时针方向慢慢旋动,使扫描线刚消失。此时扫描电路即处于待触发状态。在这种状态下,用示波器进行测量时,只要调节电平旋钮,即能在屏幕上获得稳定的波形,并能随意调节选择屏幕上波形的起始点位置。少数示波器,当稳定度电位器逆时针方向旋到底时,屏幕上出现扫描线;然后顺时针方向慢慢旋动,使屏幕上扫描线刚消失,此时扫描电路即处于待触发状态。

7) “内、外”为触发源选择开关。置于“内”位置时,扫描触发信号取自Y轴通道的被测信号;置于“外”位置时,触发信号取自“外触发X外接”输入端引入的外触发信号。

8) “AC”“AC(H)”“DC”为触发耦合方式开关。“DC”挡是直流耦合状态,适合于变化缓慢或频率甚低(如低于100Hz)的触发信号。“AC”挡是交流耦合状态,由于隔断了触发中的直流分量,因此触发性能不受直流分量影响。“AC(H)”挡是低频抑制

的交流耦合状态,在观察包含低频分量的高频复合波时,触发信号通过高通滤波器进行耦合,抑制了低频噪声和低频触发信号(2MHz 以下的低频分量),免除因误触发而造成的波形晃动。

9)“高频、常态、自动”为触发方式开关,用以选择不同的触发方式,以适应不同的被测信号与测试目的。“高频”挡,频率甚高时(如高于5MHz),且无足够的幅度使触发稳定时,选该挡。此时扫描处于高频触发状态,由示波器自身产生的高频信号(200kHz 信号),对被测信号进行同步。不必经常调整电平旋钮,屏幕上即能显示稳定的波形,操作方便,有利于观察高频信号波形。“常态”挡,采用来自Y轴或外接触发源的输入信号进行触发扫描,是常用的触发扫描方式。“自动”挡,扫描处于自动状态(与高频触发方式相仿),但不必调整电平旋钮,也能观察到稳定的波形,操作方便,有利于观察较低频率的信号。

10)“+、-”为触发极性开关。在“+”位置时选用触发信号的上升部分,在“-”位置时选用触发信号的下降部分对扫描电路进行触发。

2. 使用前的检查、调整和校准

示波器初次使用前或久藏复用时,有必要进行一次能否工作的简单检查和进行扫描电路稳定度、垂直放大电路直流平衡的调整。示波器在进行电压和时间的定量测试时,还必须进行垂直放大电路增益和水平扫描速度的校准。示波器能否正常工作的检查方法、垂直放大电路增益和水平扫描速度的校准方法,由于各种型号示波器的校准信号的幅度、频率等参数不一样,因而检查、校准方法略有差异。

3. 使用步骤

用示波器能观察各种不同电信号幅度随时间变化的波形曲线,在这个基础上示波器可以应用于测量电压、时间、频率、相位差和调幅度等电参数。下面介绍用示波器观察电信号波形的使用步骤。

(1) 选择Y轴耦合方式

根据被测信号频率的高低,将Y轴输入耦合方式选择“AC- $\perp$ -DC”开关置于AC或DC。

(2) 选择Y轴灵敏度

根据被测信号的大约峰—峰值(如果采用衰减探头,应除以衰减倍数;在耦合方式取DC挡时,还要考虑叠加的直流电压值),将Y轴灵敏度选择V/div开关(或Y轴衰减开关)置于适当挡级。实际使用中如不需读测电压值,则可适当调节Y轴灵敏度微调(或Y轴增益)旋钮,使屏幕上显现所需要高度的波形。

(3) 选择触发(或同步)信号来源与极性

通常将触发(或同步)信号极性开关置于“+”或“-”挡。

(4) 选择扫描速度

根据被测信号周期(或频率)的大约值,将X轴扫描速度t/div(或扫描范围)开关置于适当挡级。实际使用中如不需读测时间值,则可适当调节扫速t/div微调(或扫描微调)旋钮,使屏幕上显示测试所需周期数的波形。如果需要观察的是信号的边沿部分,则扫速t/div开关应置于最快扫速挡。

(5) 输入被测信号

被测信号由探头衰减后（或由同轴电缆不衰减直接输入，但此时的输入阻抗降低、输入电容增大），通过 Y 轴输入端输入示波器。

（6）触发（或同步）扫描

缓缓调节触发电平（或同步）旋钮，屏幕上显现稳定的波形，根据观察需要，适当调节电平旋钮，以显示相应起始位置的波形。

如果用双踪示波器观察波形，作单踪显示时，显示方式开关置于 Y_A 或 Y_B 。被测信号通过 Y_A 或 Y_B 输入端输入示波器。Y 轴的触发源选择“内触发—拉 Y_B ”开关置于按（常态）位置。若示波器作双踪显示时，显示方式开关置于交替挡（适用于观察频率不太低的信号），或断续挡（适用于观察频率不太高的信号），此时 Y 轴的触发源选择“内触发—拉 Y_B ”开关置“拉 Y_B ”挡。

第5章 电子电路故障查找方法与技巧

5.1 故障查找处理的基本步骤

电子电路故障查找与维修是一项理论与实践紧密结合的技术工作。遵循正确的故障查找程序,有利于准确判断故障的原因和部位,可提高故障查找速度和维修质量。故障查找处理的基本步骤一般可分为以下几个方面。

1. 弄清电路的组成与基本工作原理

熟悉电路的组成与基本工作原理是故障查找和维修的前提。对于要维修的电子电路,尤其是新接触的电路应仔细查找该电路的技术资料,主要有电路工作原理图、方框图、印制电路、结构图、技术参数等。

2. 观察故障现象

一般应该首先采用不通电观察法。因为很多故障的发生往往是由于工艺上的原因,特别是未经过调试的产品或者装配工艺质量很差的产品,而这些故障大多数单凭眼睛观察就能发现,盲目地通电检查有时反而会扩大故障范围。

首先对被检查电路状况进行直接观察。在不接通电源的情况下,用直观的办法和使用万用表电阻挡检查有无断线、脱焊、短路、接触不良。检查绝缘情况、熔丝通断、变压器好坏、元器件情况等。如果电路中有改动过的地方,还应该判断这部分的元器件和接线是否正确。

若在不通电观察时未发现问题,则可进行通电观察。采取看、听、摸、摇的方法进行查找。通过观察,有时可以直接发现故障的原因。例如,是否有冒烟、烧断、烧焦、跳火、发热的现象。如遇到这些情况,必须立即切断电源分析原因,再确定检修部位。如果一时观察不清,可重复开机几次;但每次时间不要长,以免扩大故障。必要时,断开可疑的部位再进行试验,看故障是否消除。

注:只有当采用上述的断电观察法不能发现问题时,才可以采用通电观察的方法。

3. 测试分析

根据故障的基本现象、工作原理分析故障产生的部位和有可能损坏的元器件。这是非常关键的一步。有些电子电路通过试机观察,能很快确认故障的大致部位,在不能直接迅速判断故障时,可采用逐级检查的方法逐步孤立故障部位。

(1) 判断故障级

在判断故障级时,可采用三种方式:

1) 由前向后逐级推进寻找故障级。这时从第一级输入信号,用示波器或电压表逐级测试其后各级输出信号,若发现某一级的输出波形不正确或没有输出时,则故障就发生在该级或下级电路。这时可将级间连线或耦合电路断开,进行单独测试,即可判断故障级。模拟电路一般加正弦波,数字电路根据功能的不同输入方波、单脉冲或高、低电平。

2) 由后向前逐级推进寻找故障级。可在某级输入端加信号,测试其后各级输出信号是否正常,无故障则往前推进。如在某级输出信号不正常时,处理方法与1)相同。

3) 由中间级直接测量工作状态或输出信号,由此判断故障是在前半部分还是在后半部分,这样一次测量可排除一半电路的故障怀疑,然后再对有怀疑的另一半电路从中间切断测量。如此进行可使孤立故障的速度加快,这种方法对多级放大电路尤为有效。

(2) 寻找故障的具体部位和元器件

故障级确定后,寻找故障具体部位可按以下几步进行。

1) 检查静态工作点。可按电路原理图所给的静态工作点进行对照测试,也可根据电路元器件参数值进行估算后测试。以晶体管为例,对线性放大电路,则可根据估算和判断电路工作状态是否正常。

$$U_c = (1/2 \sim 1/3) U_{CC}, U_e = (1/6 \sim 1/4) U_{CC}, U_{be\text{硅}} = 0.5 \sim 0.7V, U_{be\text{锗}} = 0.2 \sim 0.3V$$

对于开关电路,如果晶体管应处于截止状态,则根据 U_{be} 电压加以判断,它应略微处于正偏或反偏;如果晶体管应处于饱和状态,则 U_{ce} 小于 U_{be} ,若工作点值不正常,可检查该级电路的接线点以及电阻器、晶体管是否完好,查出故障所在点,若仍不能找出故障,则应作动态检查。对于数字电路,如果无论输入信号如何变化,输出一直保持高电平不变时,这可能是被测集成电路的地线接触不良或未接地线,如输出信号的变化规律和输入的相同,则可能是集成电路未加上电源电压或电源接触不良所致。

2) 动态的检查。要求输入端加检查信号,用示波器(或电子电压表)观察测试各级各点波形,并与正常波形对照,根据电路工作原理判断故障点所在。

4. 排除故障

通过检查检测找出损坏的元器件并更换,使电子电路功能恢复正常。

元器件拆下后,应先测试其损坏程度,并分析故障原因,同时检查相邻的元器件是否也有故障,在确认无其他故障后,再动手更换元器件。更换元器件应注意以下事项:

1) 更换电阻器应采用同类型、同规格(同阻值和同功率级)的电阻器,可用金属膜电阻器代替碳膜电阻器,一般不可用大功率等级代用,以免电路失去保护功能。

2) 对于一般滤波电容器,可用同容量、同耐压或高容量、高耐压电容器代用,对高频回路电容器,一定要用同型号瓷介电容器或高频介质损耗及分布电感相近的其他的电容器替换。

3) 集成电路应采用同型号、同规格的芯片替换,对于型号相同但前缀或后缀字母、数字不同的集成电路,应查找有关资料,弄明白其意义方可使用。

4) 晶体管的代换,尽量采用同型号,参数相近的代用,当使用不同型号的晶体管代用的,应使其主要参数满足电路要求,并适当调整电路相应元器件的参数,使电路恢复正常工作状态。

5.2 故障查找的方法

故障查找的方法有多种,应用时应根据实际需要灵活应用。

1. 直观检查法

直观检查法是通过人体感觉发现电子电路故障的方法。这是一种最简单最安全的方法,

也是各种电子电路通用的检测过程的第一步。直观检查法指在不采用任何仪器设备、不焊动任何电路元器件的情况下,凭人的感觉——视觉、嗅觉、听觉和融觉来检查电子设备故障的一种方法。

直观检查法可分为静态观察法(不通电观察法)和动态观察法(通电观察法)两种。

静态观察法是在不通电的情况下对电子电路进行直观检查。先看电子电路外部有无残缺,开关、键盘、插孔、显示器、指示电表的表头是否完好,接线柱、电源线和电源插头等有无脱落,是否松动。

观察检查电子电路的内部元器件的情况。通过视觉可以发现熔丝的熔断;引线的脱落、接插件接触不良或脱落;元器件的脱焊;电阻器的烧坏(烧焦烧断);印制电路板断裂、变形;电池触点锈蚀;机内进水、受潮;变压器烧焦;电解电容器爆裂;油或蜡填充物元器件(电容器、线圈和变压器)的漏油、流蜡等现象。

用直观检查法观察到故障元器件后,一般需进一步分析找出故障根源,并采取相应措施排除。对于装配制作的电子电路应重点检查是否存在装接错误,包括二极管、晶体管及电解电容器等元器件的极性是否接错;是否存在错焊、漏焊、虚焊、短路及连线错误;集成电路、接插件是否插反,插接是否可靠到位。

动态观察法是进行通电检查,即在电子电路通电工作情况下进行直观检查。通过视觉可以发现元器件(电阻器等)有没有烧焦、闪亮、冒烟,显像管灯丝亮不亮等现象。

通过嗅觉可以发现变压器、电阻器等发出的焦味。如闻到机内有烧焦的气味、臭氧味,说明电路中的元器件有过电流现象,应及时查明元器件是否已损坏或有故障。

通过听觉可以发现导线和导线之间,导线和机壳之间的高压打火声,以及变压器过载引起的交流声及其他异常声音等,如有上述现象则说明电路或机械传动机构有故障。一旦发现上述不正常现象,应该立即切断电源,进一步分析找出故障根源,并采取措施排除。

通过触觉可发现电子元器件是否有发烫现象。小信号处理电路中的电子元器件摸上去应该是室温的、无明显的升温感觉,说明电路无过电流现象,工作正常;大信号处理电路(末级功率放大管)用手摸上去应有一定的温度感,但不能发烫,说明电路无过电流现象,工作正常,如果是冰凉的、无温度感觉,说明电路不工作;如果发烫,说明电路有过电流现象。用手摸变压器外壳或电动机外壳,如变压器外壳发烫,则说明变压器线圈有局部短路或过载;如电动机外壳发烫,则说明电动机的定子绕组与转子可能存在严重的摩擦,应检查定子绕组、转子和含油轴承是否损坏。用手触摸电子元器件时要注意安全,应避免发生人身触电、烫伤等事故,在电路结构、工作原理不明情况下,不要乱摸乱碰,以防触电。

直观检查法的基本技巧:应用直观检查法要围绕故障现象有重点地对一些元器件进行检查,切莫什么元器件都去仔细观察一次,浪费排除故障时间。直观检查法通常要用手拨动一些元器件,在拨动中要注意安全,防止元器件碰到220V的交流电或其他直流电源上。拨过的元器件要扶正,不要让元器件互相碰到一起,特别是金属外壳的耦合电容不能碰到机器内部的金属部件上,否则会引起噪声。对直观检查法得出的结果有怀疑时,要及时运用其他方法来判断,不要放过任一个疑点。

2. 测量法

测量法是使用测量仪器测试电路的相关电参数,与产品技术文件提供的参数作比较,判断故障的一种方法。测量法是故障查找中使用最广泛、最有效的方法。

(1) 电阻检测法

电阻检测法是在不通电的情况下,利用万用表的电阻挡检测元器件质量是否优良、电路的通与断、电阻值的大小,测量电路中的可疑点、可疑组件以及集成电路各引脚的对地电阻,来判断电路故障的具体部位。检查开关件的通路与断路、接插件的通路与断路、铜箔线的通路与断路,应根据阻值大小来判断。正常导通时,电阻值应为零,若测得阻值无穷大,则说明开关件、接插件铜箔线断路。

电阻检测法一般有两种,在路测量法和不在路测量法。用电阻法判断集成电路的好坏,可用万用表的电阻挡,直接测量安装在印制电路板上集成电路引脚对地的阻值,这种测量称为在路电阻测量,其优点是可以不焊开集成电路引脚的焊点。为确保检测的可靠性,在进行电阻测量前应对各在路滤波电容进行放电,防止大电容储电烧坏万用表。检测元器件的对地电阻,一般采用“正向电阻测试”和“反向电阻测试”两种方式相结合来进行测量。习惯上,“正向电阻测试”是指黑表笔接地,用红表笔接触被测点,“反向电阻测试”是指红表笔接地,用黑表笔接触被测点,通过检测集成电路各引脚与接地引脚之间的电阻值并与正常值进行比较,便可粗略地判断该集成电路的好坏。

由于在路电阻测量是直接在印制电路板上测量集成电路或其元器件两端或对地的阻值,而被测元器件是接在电路中,所以所测数值会受到其他并联支路的影响,在分析测量结果时应予以考虑。除了在路电阻测量外,还有一种不在路电阻测量。所谓不在路电阻测量,就是将被测元器件的一端或将整个元器件从印制电路板上焊下后测其阻值。这种测量,虽然比较麻烦,但测量结果却更准确、可靠。

电阻检测法的基本技巧:在路检测与不在路检测交替运用,如果在路检测对元器件质量有怀疑时,应从印制电路板上拆下该元器件后再测。在路检测时,万用表表笔搭在铜箔电路上,要注意铜箔电路是涂上绝缘漆的,应用刀片先刮去绝缘漆。测量铜箔断裂故障时,可以分段测量。当发现某一段铜箔电路开路时,先在2/3处划开铜箔电路上的绝缘层,测量两段铜箔电路,再在存在开路的那一段继续测量或分割后测量。断头一般在元器件引脚焊点附近,或在印制电路板容易弯曲处。在测通路时宜选用“ $R \times 1k\Omega$ ”挡或“ $R \times 10k\Omega$ ”挡。

在检测接触不良故障时,可用夹子夹住表笔及测试点,再摆动印制电路板,若表针断续表现出电阻大时,则说明存在接触不良故障。

(2) 电压检测法

电压检查法是运用万用表的电压挡测量电路中关键点的电压或电路中元器件的工作电压,并与正常值进行比较来判断故障电路的一种检测方法。因为电子电路有了故障以后,它最明显的特征是相关的电压会发生变化,因此测量电路中的电压是查找故障时最基本、最常用的一种方法。

电压测量主要用于检测各个电子电路的电源电压、晶体管的各电极电压、集成电路各引脚电压及显示器件各电极电压等。测得的电压值是反映电子电路实际工作状态的重要数据。如测得某个放大电路中晶体管3个电极的工作电压偏离正常值很大,那么这一级放大电路肯定有故障,应及时查出故障的原因。又如测得某个放大电路中晶体管3个电极无工作电压,那么在故障检修时应先找出无电源电压的原因,先予以排除。

电压检测法主要是进行直流电压的测量,而交流电压的测量主要是检测交流电源的电压。测量交流220V电压时注意单手操作,安全第一;并先要分清交、直流挡,检查电压量

程,以免损坏万用表。测量直流电压时,还要分清极性,红、黑表笔接反后表针会反方向偏转,严重时损坏表头。

电压测量的基本技巧:

一是单手操作。测量电压时用万用表并联连接在元器件或电路两端,无需对元器件、电路作任何调整,所以,为了测量方便可在万用表的一支表笔上装上一只夹子,用此夹子夹住接地点,万用表的另一支表笔用来接触被测点,这样可变双手测量为单手操作,既准确、又安全。

二是检测关键点电压。在实际测量中,通常有静态测量和动态测量两种方式。测量时要弄清所测的电压是静态电压,还是动态电压,因为有信号和无信号时的电压是不一样的。静态测量是电器不输入信号的情况下测得的结果,动态测量是电器接入信号时所测得的电压值。电压检测法一般是检测关键点的电压值。根据关键点的电压情况,来缩小故障范围,快速找出故障组件。

三是在检查电池电压时,应尽量采用有负载时的检测,以保证测量的准确性和真实性。但是现在通常采用测量电池空载电压的大小,来判断该电池的好坏。其实这种检测方法是不准确、不科学的。因为一节快失效的电池,它的空载电压往往也很高,特别是用内阻较大的电压表测量时,其电压基本接近于正常值。

四是万用表在选择挡位时要比实际电压值高一个挡位,这样可提高测量的精度。

(3) 电流检测法

电流检查法是用万用表的电流挡,检测放大电路、集成电路、局部电路、负载电路的工作电流并与其正常值进行比较,从中来判断故障的部位。用电流检查法检测电路电流时,需要将万用表串入电路,这样会给检测带来一定的不便。

电流检查法可分直接测量法和间接测量法两种。用电流直接测量法时,要注意选择合适的电流测量口。一般用刀片在铜箔上划一道口子,制造出一个测量口。电流间接测量法就是通过测电压来换算电流或用特殊的方法来估算电流的大小。例如,测晶体管电流时,就可以通过测量其集电极或发射极上串联电阻上的压降换算出电流值。采用此种方法测量电流时,无需在印制电路上制造测量口。另外,有些电器在关键电路上设置了温度熔丝电阻。通过测量这类电阻上的电压降,再应用欧姆定律,即可估算出各电路中负载电流的大小。

电流检查法的基本技巧:测量直流电流时要注意表笔的极性,红表笔是流入电流的,在认清电流流向后再串入电表,以免电表反偏转而打弯表针,损坏表头精度;在测量大电流时要注意表的量程,以免损坏电表;测量中若断开铜箔电路,必须记住测量完毕要及时焊好断口,否则会影响下一步的检查。对于发热、短路故障,采用电流法检测效果明显,但在测量电流时要注意通电时间越短越好,做好各项准备工作后再通电,以免无意中烧坏元器件。由于电流测量比电压测量麻烦,所以应该是先用电压检查法检查,必要时再用电流检查法。

3. 干扰检测法

干扰检测法是利用人体感应产生杂波信号作为注入的信号源,通过扬声器有无响声反映或屏幕上有无杂波,以及响声、杂波大与小来判断故障的部位。它是信号注入检查法的简化形式,业余条件下,干扰法是一种简单方便又迅速有效的方法。具体操作方法有两种。

第一种方法:用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡,红表笔接地,用黑表笔点击(触击)放大电路的输入端。黑表笔在快速点击过程中会产生一系列干扰脉冲信号,这些干扰信号的频率成分

较丰富,它有基波和谐波分量。如果干扰信号的频率成分中有一小部分的频率被放大器放大,那么经放大后的干扰信号同样会传输到电路的输出端,然后根据输出端的反应来判断故障的部位。

第二种方法:用手拿着小螺钉旋具、镊子的金属部分,去点击(触击)放大电路的输入端。它是由人体感应所产生的瞬间干扰信号送到放大器的输入端。这种方法简便,容易操作。

干扰检测法的基本技巧:一要快速点击,二是检查多级放大器电路的无声故障时,一般从后级逐一往前级干扰放大器的输入端,耳听扬声器有无响声反映;检查视频电路的方法基本一样,只是通过观看屏幕的情况来判断故障部位。干扰检测法对检查无声和声音很轻故障时十分有效。干扰时只用螺钉旋具,无需其他仪表、工具,以扬声器响声来判断故障部位,十分方便。干扰检测法有时也可以从中间开始,这样更有利于缩短检查时间,快速判断故障范围。如检查收音机无声的主要干扰点。用干扰信号法判断高、低频电路的技巧:干扰信号到高频电路输入时,其输出端接扬声器,发出的是“喀啦、喀啦”的声响;而干扰信号到低频电路输入时,发出的是“嘟嘟嘟、嘟嘟嘟”的声响;而交流声是“嗡嗡”的声响。

4. 波形法

波形法是用信号发生器注入信号、用示波器检测电子电路工作时各关键点波形、幅度、周期等来判断电路故障的一种方法。信号波形参数形象地反映了信号电压随时间变化的轨迹,从中可以读出信号的频率(周期)、不同时间段的电压、相位等。应用示波器对故障点进行检测具有准确而迅速的特点。为能确定故障发生在哪一个电路或哪两个测试点之间的电路中,往往在采用示波器检测法的同时,再与信号源配合使用,就可以进行跟踪测量,即按照信号的流程逐级跟踪测量信号,这样就可较迅速地发现故障的所在部位。在查找电路故障中,凡是有交流信号的地方都可以使用示波器观察信号的各项参数。例如频率(周期)、电压电流的幅度、信号的失真(限幅失真、交流失真、场扫描电路锯齿波的线性、自校电路的抛物波形状等)、脉冲信号前后沿变化及幅度(如CPU的总线信号SCL和SDA)等,这些参数的变化或异常,是用万用表无法测试的。又如电路产生自激振荡或异常干扰、电源滤波不良导致纹波干扰(如电视机中的交流声、图像上的黑白条纹干扰)、元器件的不稳定或失效(如电位器接触不良、瓷片电容无规律漏电、PN结软击穿、电解电容的容量减少)等所产生的故障,这些也都是用万用表无法准确判断或无法在路分析的。因此在国家有关部门对家电维修人员技术等级考核的要求中,使用示波器检测应当是查找电路故障的基本技能。

随着新的电子电器不断涌现,电器结构日趋复杂和片状元器件的大量应用,要想快捷地查找电路故障,就必须学会用示波器测量信号的参数,掌握测试波形和识读波形的技巧。通过观察信号波形、进行分析比较,才能快捷、准确地发现故障点,最后排除故障。例如用万用表测试电路中的电压等数据无法判断电路的工作状态时,如果采用示波器测量电路中的信号波形,就可以从波形中获得更多的信息和电路数据,分析这些数据可以更多的了解电路的性能,准确快捷的找出电路故障原因。

用万用表测量电压时,指针的偏转角度代表电压的多少,用示波器测量时,被测电压驱动示波管中的电子束作垂直方向的移动,同时,电子束还在水平扫描锯齿波电压的驱动下作水平方向的移动,两者合成的结果便是电子束在屏幕上形成一个运动轨迹,这个运动轨迹在屏幕上用刻度定标,垂直方向的位移用电压表示,水平方向的位移用时间表示,根据仪器旋

钮预先设置的参数,屏幕上形成的图形就是一个可以定量读出时间和电压的波形图。与常用的电压表和电流表相比,示波器的最大优点是没有惰性,示波器可以看作是一个可以高速测试、高速描绘并能保存图形的自动电压表。

波形法的基本技巧:将信号发生器的信号输出端接入到被测电路的输入端,示波器接到被测电路的输出端,先看输出端有无信号波形输出。若无输出,那么故障就在电路的输入端到输出这个环节中;若有信号输出,再看输出端信号波形是否正常,如果信号波形的幅度、周期不正常,那么说明电路的参数发生了变化,需进一步检查这部分的元器件。一般电路参数发生变化的原因主要是元器件变值、损坏、调节器件失调等。用波形法检测时,要由前级逐级往后级检测,也可以分单元电路或部分电路检测。要测量电路的关键点波形,关键点一般指电路的输出端、控制端。检测振荡器时不用信号发生器。测量电路的频率特性曲线时需用扫频仪。测量时要注意被测试的那一点信号幅度的大小,输出信号幅度太大需用衰减探头。同时信号发生器与被测量电路之间要串接一只 $0.01\mu\text{F}$ 电容。

5. 短路检查法

短路法是用导线等导体,将电路中的某个元器件、某两点或几点暂时连接起来。例如人为地使电路中的交流信号与地短接,不让信号送到后级电路中去,或是通过短接使其振荡电路暂时停止工作,然后根据信号短接后扬声器中的响声来判断故障部位,或通过观察图像来判断故障部位,或通过振荡电路中电压或电流的变化来判断振荡电路是否起振。例如判断晶体管振荡器是否起振,可将振荡电容或线圈直接短路,然后对比短路前后晶体管各级的工作电压。有明显变化,则可说明短路前振荡器已起振,否则振荡电路没有工作。

短路检测法的基本技巧:常用的短路方式有用导线短路与用电容器短路两种,用导线短路适宜检查振荡电路,用电容器短路适宜检查交流通路,如交流声或噪声故障。短路检测法对啸叫故障不适用,因为啸叫故障往往发生在环路范围内,在这一环路内任一处进行短接,将破坏自励的幅度条件,使啸叫声消失,导致无法准确搞清楚故障的具体部位。采用短路检测法检查噪声故障时,也可由后级往前级逐一短路各级的输入端,如果短路后扬声器中的噪声消失,则故障在前级;如果声音没有变化,则故障在后级。短路检测法主要是对晶体管的基极、发射极瞬间短接,不可采用集电极对地短路;对于直耦式放大器,在短接一只管子时将影响其他晶体管的工作点,这点有时会引起误判。为避免直流电压被短路,一般采用交流短路为宜。

6. 开路分割法

开路分割法是指将怀疑有故障的某一单元或负载电路或某只元器件开路,使整机分割成多个相对独立的单元电路,然后通过检测电阻、电流、电压的方法,来判断故障范围或故障点。例如,从电源电路上切断它的负载并通电观察,然后逐级接通各级电路测试,这是判断电源本身故障还是某级负载电路故障的常用方法。这种方法在多接插件、多模块的组合电路中得到广泛应用。

若当电源出现短路击穿等故障时,运用开路分割法,可以逐步缩小故障范围,最终找到故障部位。尤其对于一些电流大的故障,无法开机或只能短时间开机检查,运用此法检查比较合适,可获得安全、直观、快捷的检修效果。此法常用于电源熔丝烧断的故障检查,只要将负载电路逐一断开,就可以迅速找到短路性故障发生的部位,还能有效地区分故障是来源于负载电路还是电源电路本身。通常逐步断开某条支路的电源连线或切断电路板负载的连接

铜箔,直至发现造成电流增大的局部电路为止。在电路中若发现某处电压突降时,也可逐一断开有关元器件加以检测,但必须熟悉此处电路原理,视其是否可以断开而定。

开路分割法的基本技巧:采用开路分割法检查稳压电源或开关电源故障时,要接上假负载,否则会引起故障进一步扩大。开路分割要选择合适的切入点,一般应从故障部位入手,要缩小故障范围,并分割要彻底。有些电路不能随便断开,如负反馈、正反馈网络、自动控制与保护电路,断开后会引发新的故障。对电路进行分割时,应在断电情况下进行。故障排除后要用焊锡封闭好切割点。

7. 比较法

比较检测法是用两台同一型号的设备或同一种电路进行比较,找出故障的部位和原因的一种方法。比较的内容有:电路的静态工作电压、工作电流、输入电阻、输出电阻、输出信号波形、元器件参数及电路的参数等。如功率放大电路均含左右两个声道,两声道的电路结构完全一样,彼此独立,对应组件在印制电路板上所呈现出的电阻及工作电压也几乎一致。功放电路故障一般是损坏一个声道,很少同时损坏双声道,这样,当一个声道正常而另一个声道出现故障时,就可以通过测量故障声道的组件阻值或电压值,再与正常声道的对应组件相对比来查出故障。利用此法时,要求了解电路的整体布局,分清组件所属的声道,并能找到两声道之间的对应组件。更换组件前,先将损坏声道的半导体组件、功放管发射极回馈电阻等仔细检查一遍。将损坏组件更换后,再测量功放管、激励管等各极对地阻值,其阻值如果与正常声道各对应点阻值不一致时,则应再仔细检测相关电阻、电容是否有损坏。

比较检测法的基本技巧:先比较在路电阻、电压、电流值的测量数据,当两者基本相同时,再测信号的波形是否一致,最后焊下元器件进行检测。

8. 替代检测法

替代检测法是用规格相同、性能良好的元器件、电路或部件,代替故障电器上某个被怀疑而又不便测量的元器件或电路,从而来判断故障的一种检测方法,是电路检修中最常用、最有效的方法之一。在查找电路故障时,有些元器件性能变坏,用万用表检测又不能判断其好坏,这样只好采用替代法。替代法俗称万能检测法,适用于任何一种电路故障。该方法操作时比较麻烦,有时很困难,对印制电路板有一定的损伤。因此,使用替代法要根据电路故障具体情况,以及检修者现有的备件和代换的难易程度而定。要注意的是,在代换元器件或电路的过程中,连接要正确可靠,不要损坏周围其他组件,从而正确地判断故障,提高检修速度,并避免人为造成故障。

替代检测法的基本技巧:对开路的元器件,不需焊下,替代的元器件也不要焊接,用手拿住元器件直接并联在印制电路板上相应的焊接盘上,看故障是否消除,如果故障消除,说明替代正确。如怀疑电容量变小就可直接并联上一只电容器来判断。为减小引脚脱焊与焊接的不便,在替代被怀疑的晶体管时,可将三只引脚中的两只脱焊,然后将好晶体管的两只引脚插入印制电路板焊好,另一只引脚与未脱焊的引脚相并接即可。

9. 假负载法

假负载法就是不通电的情况下,断开主电源与主要负载电路的连接,用相同阻值、相等功率的线绕电阻器等作为假负载,接在主电源输出端与地之间。假负载也可以用作电源调试,电路测试等。例如在检修开关电源的故障时,切断行输出负载(通称+B负载)或所有电源负载,在+B端接上灯泡模拟负载,该方法有利于快速判断故障部位,即根据接假负

载时电源输出情况与接真负载的输出情况进行比较,就可判断是负载故障还是电源本身故障。假负载灯泡的亮度能够直接显示电压高低,有经验的维修人员可通过观察灯泡的亮度来判断 + B 电源是否正常或输出电压有无明显变化。采用灯泡作假负载一般用小瓦数的灯泡,主要目的是根据灯泡亮度判断 + B 电压是否正常,避免频繁的检测,除非涉及负载能力差的故障才用大灯泡试验。如果电源稳压失控(多数并非完全失控),用小灯泡比用大灯泡烧开关管的机会要小,而且小灯泡造成电源不起动的机会也小。维修早期的彩色电视机电源,用假负载法比较稳妥,而新型彩色电视机电源大多为他激式(使用振荡集成电路),稳压控制性能好,空载不至于电压升高,而且过电流、过电压保护功能完善,因此可以不用或少用假负载法。

假负载法的基本技巧:为了快速地判断是开关电源电路故障还是负载或 CPU 方面故障,一般采用开路切割法与假负载法相结合,即:切断负载(短路行管发射结),切断 CPU 控制电路,在电源进线串联 200W 灯泡(利用与灯泡串联的插座),+ B 接上 40W 灯泡作为假负载。通电后如果负载灯泡忽亮忽暗,而限流灯泡不亮,这说明故障在开关电源电路,并且没有过流故障。

10. 逻辑状态分析法

对数字电路而言,只需判断电路各部位的逻辑状态,即可判别电路工作是否正常。用专门的逻辑分析仪或逻辑分析器对故障电路进行检测,然后,确定故障的部位和元器件损坏的原因。这种方法检修数字电路和带有 CPU 的电路特别有效。

常用的逻辑分析仪器的种类及测试的内容有:

- 1) 逻辑时间分析仪,用来测量 I²C 总线控制的时序关系是否正常。
- 2) 逻辑状态分析仪,用来检测程序运行是否正常,可检查出各种代码是否出错或漏码现象。
- 3) 特征分析仪,用来检测特征码是否正常。
- 4) 逻辑笔(逻辑探头),用来测量输入/输出信号电平是否正常。
- 5) 逻辑脉冲信号源,可产生各种数据域信号。
- 6) 电流跟踪器,可检测电路中的短路现象。

第 6 章 电子电路检测

6.1 单元模拟电路故障查找方法与技巧

整机电路一般是由若干个单元电路组成的。常见的单元模拟电路有单管放大器、多级放大器、反馈放大器、运算放大器、振荡电路、直流稳压电路等。

6.1.1 基本放大电路故障查找方法与技巧

1. 单管放大器故障查找方法与技巧

单管放大电路的形式有三种：共发射极放大器、共集电极放大器、共基极放大器。下面以共发射极单管放大器为例，介绍电路故障现象和故障查找方法与技巧。

(1) 电路组成

共发射极放大器组成如图 6-1 所示。图中，1-1' 是放大器信号输入端，2-2' 是放大器信号输出端， R_{b1} 、 R_{b2} 是基极分压式偏置电阻， R_c 是集电极电阻， R_e 是发射极电阻， C_1 是直流电源去耦电容， C_2 、 C_3 是耦合电容， C_4 是发射极旁路电容，VT 是放大管， V_{CC} 是直流电源。

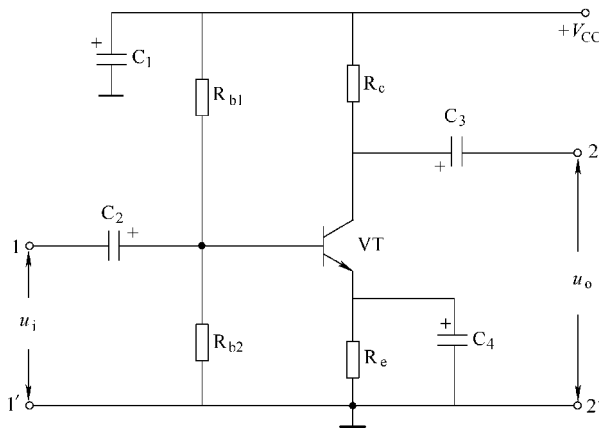


图 6-1 共发射极放大器组成

(2) 单管放大器常见故障

- 1) 无信号输出。
- 2) 输出信号幅度小。
- 3) 输出信号失真。

(3) 单管放大器故障查找方法与技巧

1) 无信号输出故障查找方法与技巧。

① 首先检查信号源、连接线和探头是否良好，如信号源、连接线和探头有故障，应先排除。

② 在信号源、连接线和探头正常情况下,先测量放大器直流供电电压,测量的方法是:用万用表直流电压挡,并选择合适的挡位, $+V_{CC}$ 电压是 12V,应选择 50V 挡,测量时万用表红表笔接 $+V_{CC}$ 的正极,黑表笔接地(公共端)。如测得的电压为零或很低,说明放大器供电电压不正常,应当查供电电源和去耦电容。

③ 直流供电电压正常后,测量放大管各电极的工作点电压。首先测量集电极电压,若测得集电极电压近似等于电源电压,查放大管是截止,还是开路。若测得集电极电压近似等于零或小于 1V,查放大管是饱和还是击穿。检查放大管好坏可用万用表电阻挡在线测量法,用“ $R \times 1\Omega$ ”挡测 PN 结的正、反向电阻,测得的阻值很小,说明 PN 结已击穿;用“ $R \times 10k\Omega$ ”挡测 PN 结的正、反向电阻,测得的阻值很大,说明 PN 结已开路,应更换放大管。如果放大管正常,应检查偏置电阻是否变值或开路。如 R_{b1} 开路,则放大管没有偏置电压,放大管不工作。

以下几种情况,放大器同样不能正常工作:集电极电阻 R_c 损坏;发射极电阻 R_e 损坏;电路有虚焊或元件开路。

2) 输出信号幅度小故障方法与技巧。

在信号输入正常时,放大器输出信号幅度小,主要是放大器的电压放大倍数过小引起。先检查放大管的性能是否良好,确认放大管正常后,再检查放大管的工作点是否合适。如工作点正常,着重检查 C_4 是否开路, C_4 开路会使放大器的交流负反馈量增大,导致放大器倍数下降,信号输出幅度下降。

3) 非线性失真故障方法与技巧。

放大器输出波形出现非线性失真,说明放大器没有工作在线性放大区,它工作在饱和区或截止区,使输出信号波形的顶部或底部出现失真,放大器工作在非线性的原因主要是偏置元件的参数发生了变化,所以只要检查偏置元件, R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_c 、 R_e 等元件是否出现变值就可以了。

2. 多级放大器的故障查找方法与技巧

多级放大器一般有输入级、中间级和输出级组成,框图如图 6-2a 所示。

(1) 电路组成及信号流程

1) 电路组成。图 6-2b 电路中 VT_1 是输入级,它是射极跟随器,作为信号缓冲和阻抗变换级, VT_2 是中间级起电压放大、 VT_3 是输出级为功率放大器。T 是输出变压器,作用是传输信号并实现与负载的阻抗匹配, $R_1 \sim R_8$ 、 $C_1 \sim C_5$ 的作用与图 6-1 中的元件作用类同。

2) 信号流程。输入信号 u_i 通过 C_1 加到 VT_1 基极,经过 VT_1 放大后,从发射极输出,直接加到 VT_2 基极上,经 VT_2 放大,由 VT_2 集电极输出,送 VT_3 基极,最后通过变压器耦合,将输出信号 u_o 送到负载上。

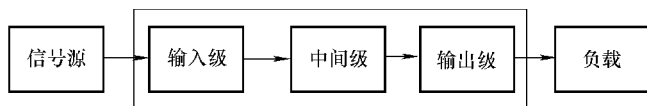
(2) 多级放大器常见故障

- 1) 无信号输出(无声)。
- 2) 输出信号幅度小(声音轻)。
- 3) 输出信号失真(声音失真)。

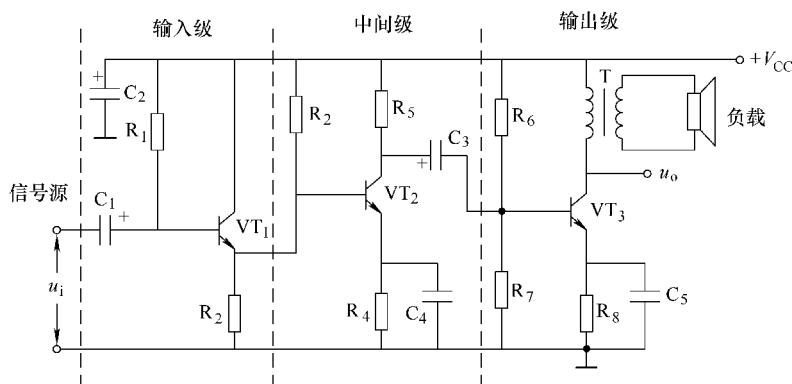
(3) 多级放大器故障查找注意事项

- 1) 由于 VT_1 和 VT_2 两级放大器之间采用直接耦合电路,所以两级放大器中有一级出现

故障,将会影响两级电路的直流工作点,所以在检测时要把两级电路视为一个整体综合进行检查。



a) 多级放大器框图



b) 多级放大器原理图

图 6-2 多级放大器电路

2) VT_2 和 VT_3 是阻容耦合,它们的工作点彼此独立,可采用分级查找。即分别检测它们工作点电压,哪一级工作点电压不正常,故障就在这一级。

3) 如果多级放大器中含有频率补偿电路或分频电路,可采用电路分割法,将这一部分电路割开后再进行检查。

(4) 故障查找的具体方法与技巧

1) 先缩小故障的范围,确定故障的具体在哪一级。

2) 查找的基本技巧:用信号注入法或干扰法。

信号注入法是:信号从前级向后级逐渐一级一级地加到放大管的基极,并观察输出端是否有信号输出,若信号加到某一级的基极,输出端无信号输出,则说明故障在这一级或下一级。

干扰信号注入法是:用万用表“ $R \times 1k\Omega$ ”挡,红表笔接地,黑表笔点触每一个基极,一般是从最后一级向前级逐级点触,同样,点触到某一级时,这一级无信号输出,说明故障在这一级或下一级。故障确认在哪一级后,可用电阻测量法仔细查找这一级中那个元器件损坏,予以排除。

3) 由集成电路组成的多级放大器,应先找到集成电路的信号输入引脚和输出引脚。然后将信号加到集成电路的信号输入端,观察输出端是否有信号,若无信号输出,不能立即判定集成电路损坏,此时应测量集成电路各引脚的工作电压是否正常,如测得某一个引脚工作电压不正常时,同样不能判定集成电路是坏的,还要检测这个引脚的外围元器件,如果外围元器件是好的,则说明集成块已损坏,应于更换。如果外围元器件是坏的,应更换外围元器件后再测量。

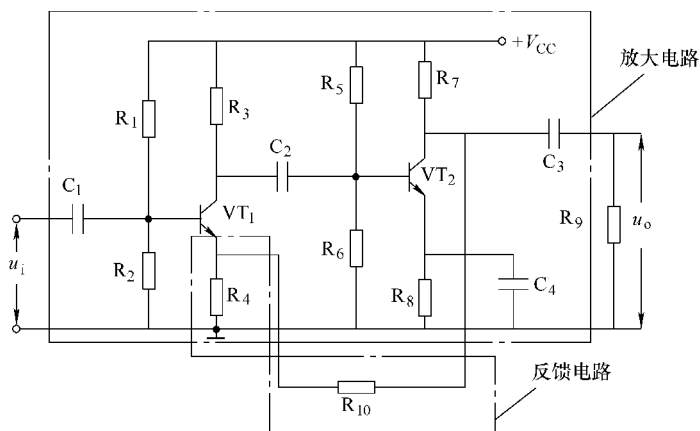
6.1.2 反馈放大电路的故障查找方法与技巧

在模拟电路中反馈放大电路有两种：一种是负反馈放大电路；另一种是正反馈电路（它可以组成各种振荡器）。

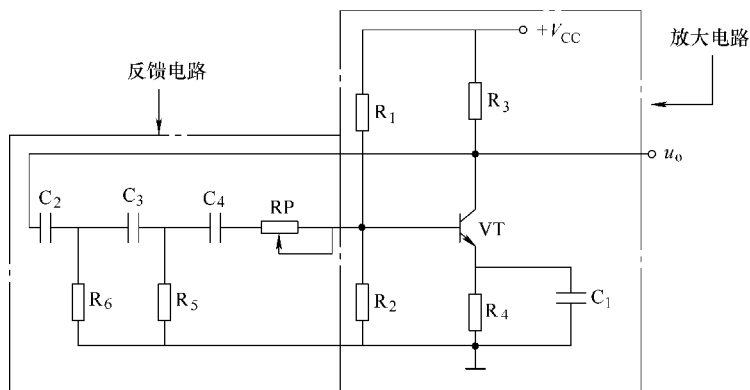
1. 反馈电路的基本电路结构

反馈电路的基本电路结构如图 6-3 所示。

从图 6-3a 中可看出反馈放大电路由两部分组成。第一部分是二级阻容耦合放大电路，其放大倍数用 A_0 表示。第二部分是反馈电路，反馈系数用 F 表示。图中基本放大电路与反馈电路连接成一个控制环路。图中 R_8 具有直流负反馈作用，用来稳定放大器的工作点。图 6-3b 中基本放大电路由 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、VT、 C_1 组成，反馈电路由 C_2 、 C_3 、 C_4 、 R_5 、 R_6 、RP 及输入电阻组成，它是 RC 移相电路，具有选频作用。



a) 负反馈放大电路原理图



b) 正反馈电路原理图

图 6-3 反馈放大电路

2. 反馈放大电路常见故障

1) 负反馈电路损坏，负反馈作用消失，输出信号幅度增大，输出信号失真，严重时还会产生自激振荡现象。

- 2) 负反馈作用加强, 输出信号幅度减小。
- 3) 正弦振荡器停振。
- 4) 输出信号频率变高或变低。

3. 反馈放大电路故障查找方法与技巧

1) 输出信号幅度增大造成失真故障的查找方法与技巧。

出现这种故障现象的主要原因是, 放大电路中负反馈元件损坏, 负反馈作用消失, 使放大器的增益变大, 导致输出信号幅度增大。此时应重点检查电路中的负反馈元件是否出现开路、虚焊、电阻变值等现象。如图 6-3a 中 R_{10} 开路或虚焊, R_4 阻值变小, 就会出现这种现象。也可以应用万用表电压挡测量反馈放大电路的工作电压是否变化, 如果反馈电路工作电压不正常, 那么故障肯定就在其中, 在如图 6-3a 中, 可以测量 VT_2 的集电极电压和 VT_1 的发射极电压, 如果发射极电压下降, 说明负反馈电路不正常或负反馈作用已经消失。

如果输出信号出现失真, 说明放大器已工作非线性区 (饱和或截止状态)。应重点测量放大器的工作点电压, 查找电路中的电阻器是否正常、放大管的参数是否发生变化。

2) 输出信号幅度小造成的故障的查找方法与技巧。

输出信号幅度变小的主要原因有: 一是放大电路中负反馈作用增强; 二是放大电路中元件的参数发生的变化。这两种情况都会引起放大器增益下降, 导致输出信号幅度减小。

在工作点正常情况下, 检查发射极旁路电容是否开路、失效、容量变小, 如图 6-3a 中如 C_4 开路或失效, 对交流信号就失去了旁路作用, 使放大器反馈的性质发生了变化, 由直流负反馈变为交直流负反馈, 使第二级放大器的放大倍数下降, 输出信号幅度减小。检查技巧是用短路法, 用一只好的元片电容将 C_4 短路掉, 同时观察输出信号是否增大, 如输出信号幅度增大, C_4 损坏。如交流旁路电容正常, 则说明电路中其他元器件参数发生了变化。

3) 振荡器停振故障的查找方法与技巧。

出现这种故障的主要原因有 3 个方面: 一是正反馈电路的元件损坏; 二是振荡电路中的起振元件损坏; 三是振荡管损坏。

先测量振荡器的直流工作点是否正常, 它是振荡器工作的必要条件。工作点电压不正常, 振荡器就不起振, 就无信号输出; 在工作点电压正常情况下, 再查找正反馈电路中的元件是否损坏、断路等, 如果正反馈电路中的某个元件损坏, 正反馈条件就不满足, 振荡器同样会停振。

如图 6-3b 中, 起振电路 (也就是偏置电路) 中 R_1 开路或虚焊, 振荡管基极没有工作电压, 电路就无法振荡。同样 R_3 、 R_4 开路或虚焊, 电路也无法工作。又如正反馈电路电容 C_2 、 R_6 、 RP 损坏。电路正反馈相位条件不满足, 也不会停振。检测方法用直流电压测量法测量工作点、用电阻测量法判断元器件好坏。

4) 输出信号频率发生变化造成故障的查找方法与技巧。

输出信号频率发生变化造成故障的主要原因是选频回路中的元件参数发生变化, 图 6-3b 中要重点检查 R_5 、 R_6 、 R_7 、 RP 、 C_2 、 C_3 、 C_4 是否良好或开路, 这些元件中只要有一个元件的参数发生变化, 其振荡频率就会变化。如振荡回路是由 LC 或石英晶体组成, 这些元件损坏的现象是: 电感量发生变化 (如磁心松动、破损) 或电感线圈开路、石英晶体性能不良等。查找方法与技巧是用电阻测量法和替代法。应注意的振荡器元件更换后, 电路需重新调试。

6.1.3 选频放大电路的故障查找方法与技巧

选频放大电路的作用是从许多个信号频率中，选出所需要的信号并给予放大，抑制无用信号。电路的基本形式有两种：一种是 LC 调谐放大器；另一种是 RC 选频放大器。在现代电子设备中常用陶瓷滤波器替代 LC 选频回路。

1. LC 调谐放大器故障的查找方法与技巧

(1) 电路组成及特性曲线

LC 调谐放大器有两种：一种是单调谐放大器；另一种是双调谐放大器，如图 6-4 所示。所谓单调谐放大器，就是选频放大电路的选频回路是单调谐回路，如图 6-4a 所示，图中， C_3 和 T_2 组成一个单调谐电路；双调谐放大器就是选频回路是双调谐回路的放大电路，如图 6-4b 所示。图中， C_4 、 C_5 、 T_2 组成双调谐电路， R_4 是阻尼电阻，用来展宽频带， C_6 是耦合电容。

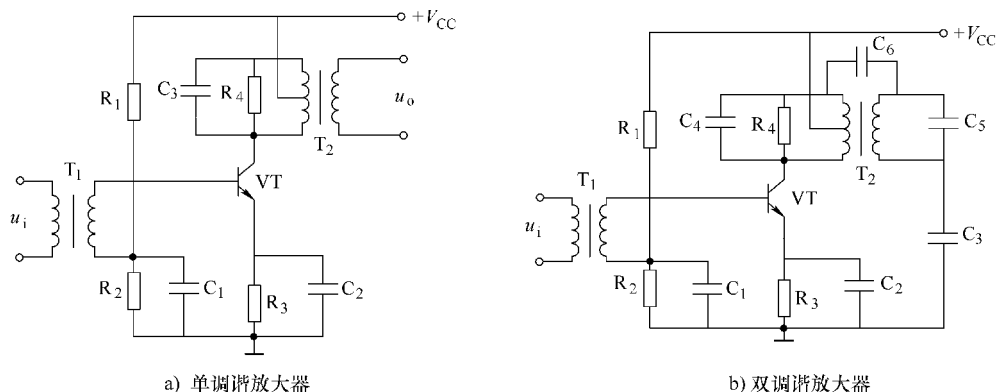


图 6-4 LC 调谐放大器

图 6-4 中调谐放大器的增益，由 LC 回路的谐振频率决定。当 LC 回路的谐振频率等于信号的频率时，放大器的增益最大，偏离信号的频率时，增益变小。调谐放大器的选择性、通频带与 LC 回路的 Q 值有关（Q 值是 LC 回路的品质因素），其特性曲线如图 6-5 所示。从图 6-5a 中，可以看出 Q 值越大，曲线越尖，选择性好，通频带窄；Q 值越小，曲线平坦，选择性差、通频带宽。图 6-5b 可以看出，曲线 a 呈单峰，曲线 b 呈双峰，并略有下凹，曲线的形状与 LC 双调谐回路的耦合程度有关，弱耦合呈单峰，大于临界耦合呈双峰。

(2) LC 调谐放大器常见故障

- 1) 无信号输出。
- 2) 输出信号幅度小。
- (3) LC 调谐放大器故障查找方法与技巧
- 1) 无信号输出故障查找方法与技巧。

图 6-4 中，先进行常规检查和测试（直流工作电压、元器件好坏，虚焊点等）。在直流工作电压正常情况下，用专用仪器（如扫频仪）测试调谐放大器的幅频特性曲线，如曲线不好或曲线偏离中心谐振点，应用无感起子调试。在示波器上找不到谐振曲线，要重点检查

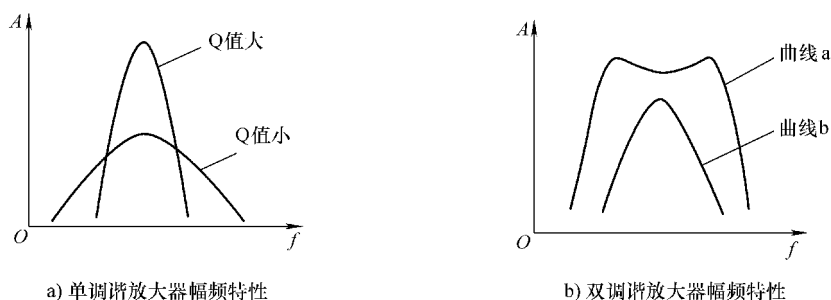


图 6-5 调谐放大器的幅频特性曲线

槽路电容和变压器的磁心是否良好，对于双调谐回路还要检查耦合电容是否良好。因槽路（回路）中容量变化、磁心松动、破碎都会引起谐振频率的偏移。还要查找槽路中的元件接触是否良好，有无断路等。

2) 信号输出幅度小故障查找方法与技巧。

图 6-4 中，造成信号输出幅度小的原因是：放大器的增益下降。主要查找与增益有关的元件，测量放大器的特性曲线。

2. RC 选频放大电路的故障查找方法与技巧

(1) 电路组成

双 T 型 RC 选频放大器如图 6-6 所示，图中， R_4 、 R_5 、 R_P 、 C_2 、 C_3 、 C_4 组成双 T 型选频网络，它在二级放大器中作为一个反馈电路，对不同频率的信号具有不同的负反馈量，使放大器对不同信号频率的增益也不同，这样就实现了放大器的选频功能。这种电路广泛应用于音调控制电路中。

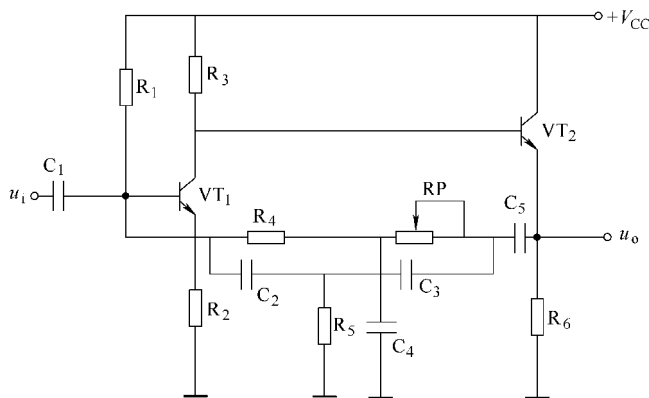


图 6-6 RC 选频放大器

(2) 常见故障的现象

- 1) 无信号输出。
- 2) 信号失真（声音变调）。

(3) 无信号输出故障查找方法与技巧

先测 VT_1 、 VT_2 的工作点电压是否正常，工作点电压正常后，一般可以断开 RC 选频电路，再观察输出端是否有信号输出，如果有信号输出，说明故障在 RC 选频电路中；重点查 RC 选频网络的电容是否损坏。电阻器是否开路、变值。工作点电压不正常查 VT_1 、 VT_2 及偏置电路。

(4) 输出信号失真故障的查找方法与技巧

出现这种故障原因有两点：第一，基本放大电路工作状态发生了变化，工作点进入非线性区；第二，放大电路中选频有故障，使其他谐波信号也被放大，造成输出信号失真。所以故障查找时应着重检查 RC 选频网络中的元器件。并测量工作电压。 C_2 、 C_3 损坏输出信号中的低频分量增加， C_4 损坏输出信号中的高频分量增加，所以，在有专用设备的情况下，可进行 RC 选频网络的特性测试，通过特性测试来排除故障的方法更为有效。

6.1.4 集成电路功率放大器故障查找方法与技巧

1. 电路组成

(1) 电路结构

BA535 集成电路 OTL 功率放大电路如图 6-7 所示，采用带有散热片的 12 个引出脚，单排直插塑料封装结构。

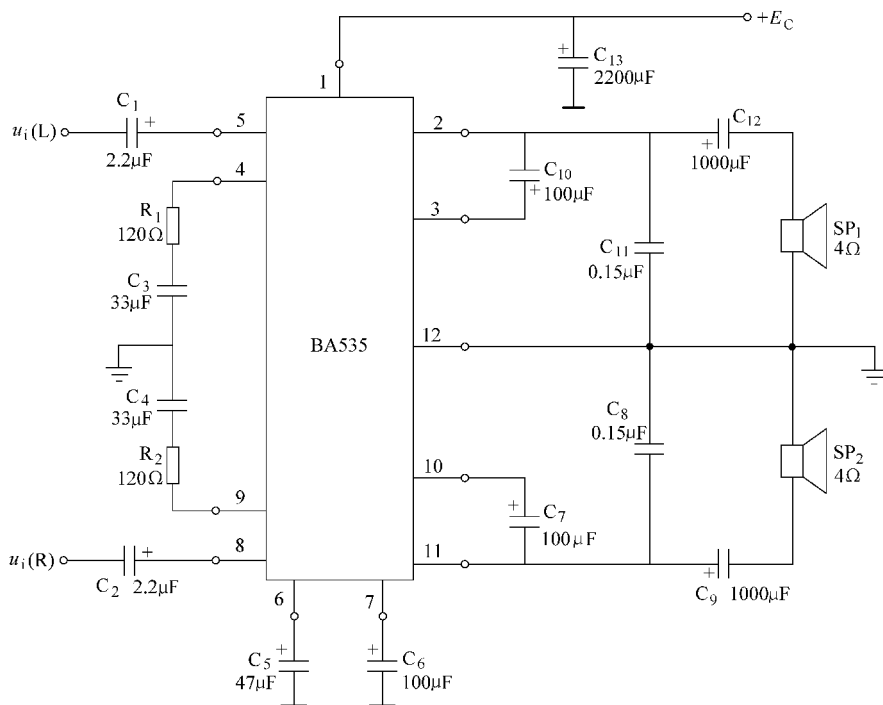


图 6-7 BA535 集成电路 OTL 功率电路

(2) BA535 集成电路外围元件的作用

C_1 、 C_2 是输入耦合电容，用来传递交流信号； R_1 、 C_3 、 R_2 、 C_4 是负反馈元件，它们的

大小可以改变放大器的增益； C_7 、 C_{10} 是自举电容； C_5 、 C_6 是滤波电容，用来滤除交流纹波； C_9 、 C_{12} 是输出端的耦合电容，同样是用来传递交流信号； C_8 、 C_{11} 是消振电容，主要是用来消除寄生振荡； SP_1 、 SP_2 是扬声器，用来电声转换还原声音。BA535 集成 OTL 功率引脚功能如表 6-1 所示。

表 6-1 BA535 集成 OTL 功率引脚功能

引脚	功能	引脚	功能
1	电源	7	右声道滤波
2	左声道输出端	8	右声道输入端
3	左声道自举	9	右声道负反馈
4	左声道负反馈	10	右声道自举
5	左声道输入端	11	右声道输出端
6	左声道滤波	12	地

(3) 信号流程

现以左声道为例说明其信号流程（右声道完全对称）。输入信号 u_i 由电容 C_1 耦合输入到 BA535 集成电路⑤脚，经内部激励放大、功率放大后再由其②脚输出，经 C_{12} 耦合去推动左声道扬声器发声。

2. 集成电路功率放大器常见的故障现象

- 1) 无声。
- 2) 声音轻。
- 3) 有交流声。
- 4) 失真。

3. 集成电路功率放大器故障查找方法与技巧

(1) 集成电路功率放大器的故障查找的一般程序

1) 熟悉集成块各引脚作用，找出输入、输出、音量控制端、电源等关键引脚。

2) 用触摸法检查集成块是发烫，还是环境温度（常温），可判断集成电路是否有故障。因为末级功率放大器工作的电压、电流较大，正常时集成电路有一定的温度，集成电路发烫和冰冷都是不正常现象。

3) 测量关键引脚的工作电压是否正常，查该引脚的外围元器件。

(2) 无声故障查找方法与技巧

1) 先用干扰法确定故障的大致部位，在图 6-7 所示电路中。先用万用表电阻挡“ $R \times 1k\Omega$ ”挡，红表笔接地，用黑表笔先点触扬声器，两只扬声器分别查找，同时听扬声器中是否发出“喀啦”声，如无此声，那么故障在扬声器。如有声，再点触集成电路的⑤脚，听扬声器中是否发出“喀啦”声，如无此声，那么故障在集成电路到扬声器的电路中，当故障确认后，应重点检查集成电路的工作电压和外围元件。 $C_1 \sim C_{13}$ 是否开路、损坏，扬声器引出线是否断。

2) 万用表直流电压挡测量集成电路引脚⑪的基本技巧是：先测集成电路的关键点。图 6-7 中，先测量⑪脚电压是否正常，若⑪脚电压不正常，断开 C_{13} 后，再测量⑪脚电压是否

恢复,如果电压恢复正常,说明 C_{13} 损坏,应予调换,如果还不正常,查直流供电电路。①脚电压正常后,再测量①脚与②脚之间的电压或①脚与⑪脚之间的电压,正常时是电源电压的一半,如果偏低,断开 C_{12} 、 C_{10} 、 C_9 、 C_7 后,再测量①脚与②脚之间的电压,看①脚与⑪脚之间的电压是否恢复正常,断开后恢复正常,说明 C_{12} 、 C_{10} 、 C_9 、 C_7 电容漏电引起,如电压仍然不正常,则集成电路内部损坏,需调换。如①脚与②脚之间的电压或①脚与⑪脚之间电压正常,故障还不能排除,应测量其他相关引脚,方法同上。总之,那个引脚电压不正常时,不能马上断定是集成电路损坏,要测量与其相关的外围元件是否损坏后,才能下结论。

3) 声音轻故障查找方法与技巧。

出现声音轻故障应重点检查电源电压是否偏低, C_{13} 漏电会造成电源电压偏低。电源电压正常后,应检查交流负反馈元件,如 C_3 、 C_4 开路会引起交流负反馈增大使输出信号幅度变小,声音变轻。自举电容性能不好,也会出现这个现象。

4) 有交流声故障查找方法与技巧。

有交流声重点查找电源电路中的滤波电容是否失效,容量是否变小。 C_{13} 滤波电容失效,开路时会出现交流声,原因是交流电中的纹波叠加在信号中出现交流声。

5) 失真故障查找方法与技巧。

失真的原因现象很多,扬声器纸盒破损,会出现失真,集成块性能不良会出现失真。

6.1.5 直流稳压电源故障查找方法与技巧

常用直流稳压电源有两种:串联型直流稳压电源与开关型直流稳压电源。

1. 串联型直流稳压电源故障查找方法与技巧

串联型直流稳压电源的基本电路有两种:分立元器件直流稳压电路与集成稳压电路,如图 6-8 所示。

(1) 串联型直流稳压电源电路组成

图 6-8a 中,CT 是电源插头,S 是开关, FU_1 、 FU_2 是电源变压器初、次级熔丝, $VD_1 \sim VD_4$ 是整流二极管,组成桥式整流电路,由于电源在接通瞬间会出现的电流浪涌,很容易击穿整流二极管,为此在每只二极管上并联一只电容,起到保护整流二极管的作用,如图中 $C_1 \sim C_4$ 、 C_5 为滤波电容, VT_5 为调整管, VT_6 为比较放大管, VD_7 为稳压二极管,提供基准电压, C_6 是电子滤波器,用来稳定调整管的基极电压, R_1 为偏置电阻, R_2 为限流电阻,用来保护稳压二极管, C_7 为消振电容, R_3 、 RP 、 R_4 为取样电路, C_8 为滤波电容,电路输出 12V 直流电压。

图 6-8b 中,LM317 是三端可调式集成稳压电路, VD_5 与 VD_6 是保护二极管,用来保护三端可调式稳压块。

(2) 串联型直流稳压电源常见故障现象

- 1) 输出直流电压输出 $u_o = 0$, 烧熔丝。
- 2) 输出直流电压输出 $u_o = 0$, 不烧熔丝。
- 3) 输出的直流电压偏低,调不上。
- 4) 输出的直流电压偏高,调不下。

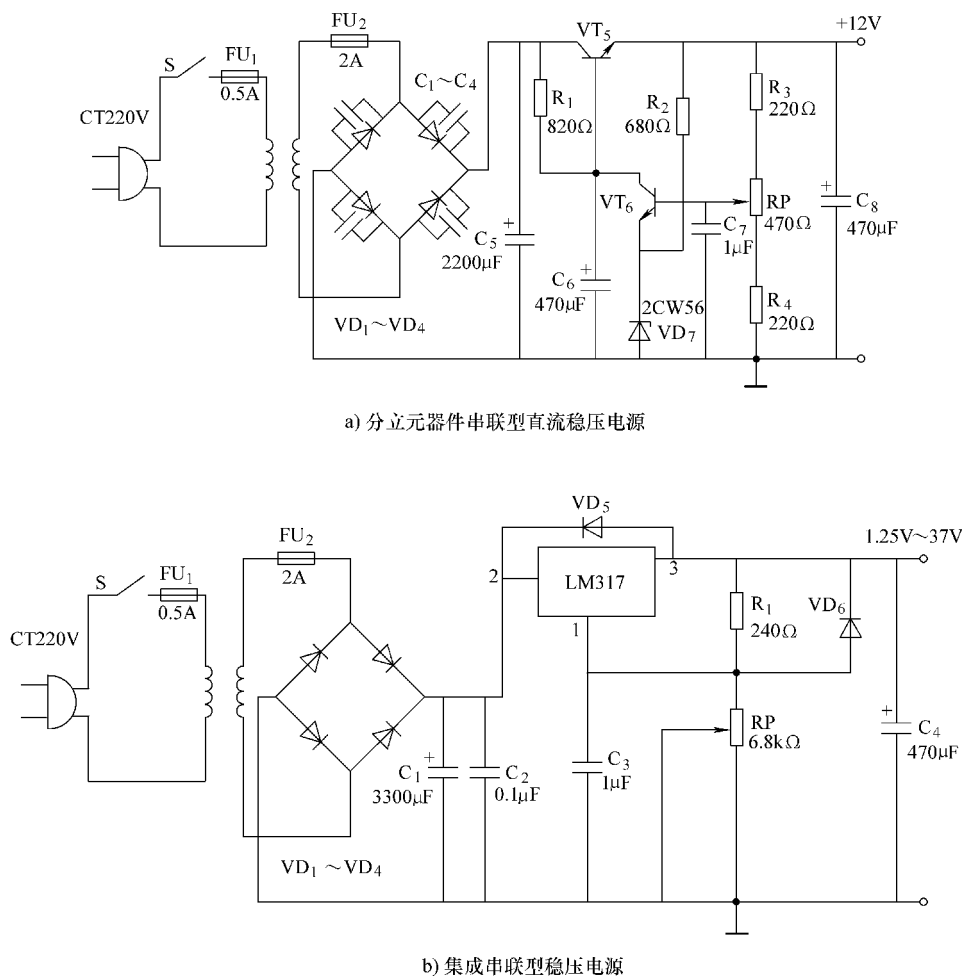


图 6-8 串联型直流稳压电源

5) 交流纹波系数大。

(3) 串联型直流稳压电源故障查找一般程序

故障查找一般程序如图 6-9 所示。

(4) 串联型直流稳压电源故障查找方法与技巧

1) 无输出电压，不烧熔丝。

图 6-8a 电路中，采用分割法，先缩小故障的范围，具体做法是：先用万用表电压挡测量 C_5 两端电压，如 C_5 两端无直流电压，则故障在电源插头、开关、电源变压器、整流电路。用万用表电阻挡测量整流二极管是否击穿，电源变压器、电源开关、插头是否良好。 C_5 上直流电压正常，则故障在稳压电路，此时测 VT_5 、 VT_6 、 VD_7 工作电压是否正常， VT_5 截止，输出端无直流电压， VT_6 饱和会引起 VT_5 截止， VD_7 击穿引起 VT_6 饱和， VT_5 截止。

2) 输出电压偏高、调不下故障查找方法与技巧。

如果滤波电容两端电压正常时，输出电压偏高是由于调整管压降减少引起，此时测 VT_6 集电极电压是否偏高，查 VT_6 、 VD_7 是否有断路等现象，取样电路中元器件断开，都会造成

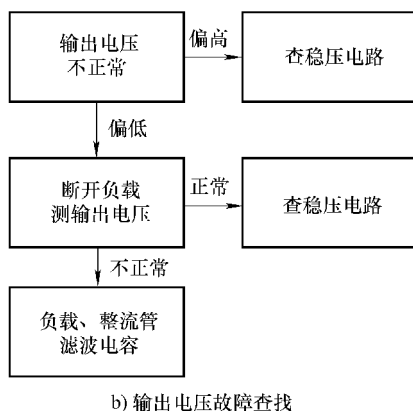
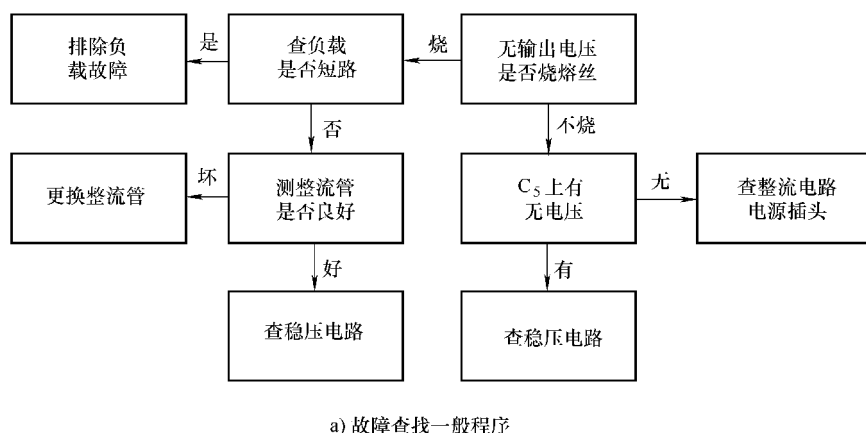


图 6-9 串联型稳压电源故障查找一般程序

输出电压偏高，且调不下。

3) 输出电压偏低、调不上故障查找方法与技巧。

输出电压偏低主要由三种情况引起：一是负载重、电流过大；二是整流管、滤波电容性能变差，它们的带负载能力差引起；三是稳压电路中稳压二极管、比较放大管、调整管性能不良。先查负载是否有短路现象，如有应先排除，其次是测量 C_5 是否漏电， C_5 漏电带负载能力下降，最后测量二极管的导电特性。以上情况正常后检查稳压电路，在稳压电路中主要测量调整管性能是否良好、工作电压是否正常，然后检查比较放大管和稳压二极管。

4) 输出直流电压纹波系数大故障查找方法与技巧。

出现这种故障主要是由滤波电容，容量变小或漏电引起的。查 C_5 、 C_6 、 C_8 是否漏电就可以，然后更换漏电容。

(5) 集成电路直流稳压电源故障查找方法与技巧

集成电路直流稳压电源故障现象与串联型稳压电路基本相同，这里举两种故障。

1) 输出电压小于 1V。

图 6-8b 输出电压小于 1V 说明保护二极管 VD_6 由截止转为导通，保护电路动作，所以重点检查两个方面：负载是否短路；整流电路中整流二极管是否击穿。

2) 输出电压不可调。

LM317 输出电压可在 1.25 ~ 37V 可调。如果输出电压不可调, 应先测量滤波电容两端的电压是否正常, 电容两端的电压正常情况下, 查 VD_5 是否导通, VD_5 正常时应截止, 如果 VD_5 导通输出电压不可调, 再查与取样电位器并联的电容是否漏电、取样电路是否良好, 如上述电路和元件都正常, 那么故障在集成稳压电路, 应予更换。

2. 开关型电源电路的故障查找方法与技巧

所谓开关型稳压电源电路就是稳压电路中调整管工作在开关状态。这种电路功耗小, 效率高, 机内温度低。实践证明, 它比传统的串联型稳压电源有更多的优越性, 已被广泛使用。

(1) 电路组成及工作原理

1) 电路作用。

开关型稳压电源电路的作用是将 220V/50Hz 交流电直接整流、滤波获 300V 脉冲的直流电压, 再由开关调整管、开关变压器、控制电路去控制调整管, 输出稳定的直流电压, 作为电路的工作电压。开关型稳压电源电路有多种类型, 输出电压的形式也多种多样, 分单路输出和多路输出。下面以图 6-10 所示彩电中的开关电源为例, 说明开关型稳压电源电路供给整机各个部分的工作电压。

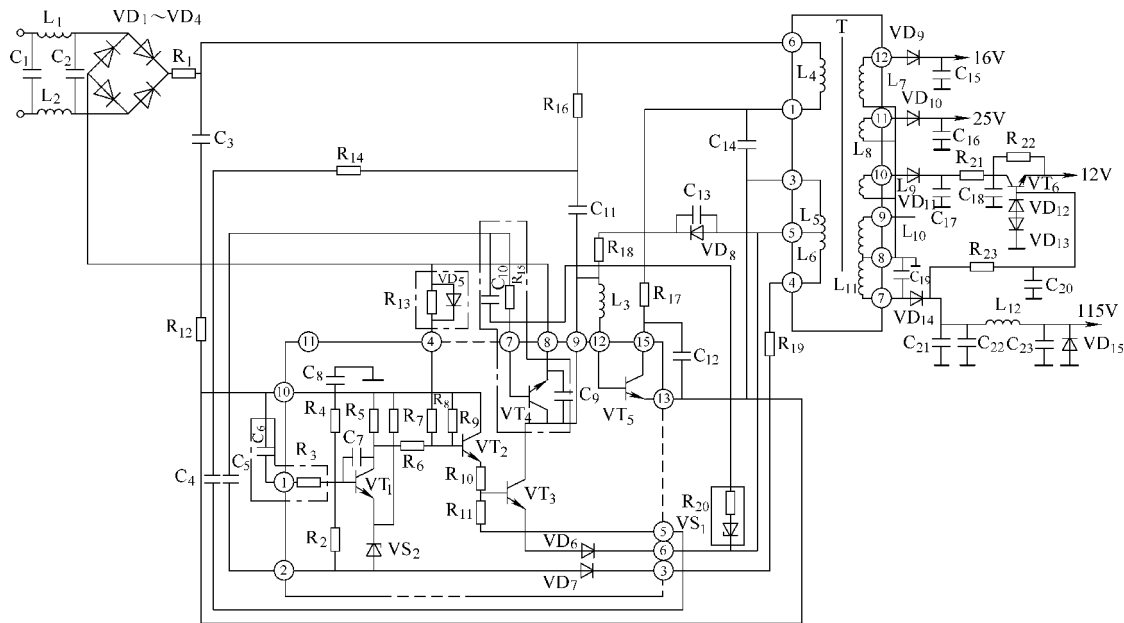


图 6-10 开关型稳压电源电路图

- ① 15V 电压是主电源, 一般是供给行推动电路、行输出电路。
- ② 25V 或 57V 电压是供给场输出级。
- ③ 12V 电压是供给公共通道集成电路、解码电路、遥控板。
- ④ 16 ~ 24V 电压是供给伴音功放电路 (厚膜电路)。
- ⑤ 主电源电压经并联型稳定电路后得到 33V 电压供给预选器。
- ⑥ 5V 电压是供给微处理器 (CPU)。

2) 电路组成。

① 滤波电路。

电路如图 6-10 所示, C_1 、 C_2 、 L_1 、 L_2 为低通滤波器, 具有双向滤波作用, 既可防止电源中的干扰信号进入机内, 又可防止机内的行脉冲和开关脉冲对电源产生干扰。

由整流二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 组成的桥式整流电路, 和由 RC 混合 π 型的滤波电路, 将 220V/50Hz 的交流电压变成 300V 直流电。

整流滤波部分的接地标志是地电位, 即电源一次侧的地电位, 也称“热地”, 它是带交流电的。由开关变压器隔离后, 主板地线不带电称“冷地”, 其标志是不同的。

② STK7358 厚膜电路。

STK7358 由开关调整管、稳压、保护等电路组成, 它由 15 只引脚和外围元件组成。各引脚功能和主要元件作用如表 6-2 所示。

表 6-2 STK7358 各脚电压与电阻值及引脚功能

引脚	对比电阻/k Ω		工作电压/V	引脚作用
	负笔接地	正笔接地		
1	4.1	3.4	-18.5	内部通过 R_3 取样比较管, 外接接电容 C_8
2	2.5	1.3	-26	取样比较电路公共端, 外接滤波电容 C_5
3	0	0	0.4	取样端外接 R_{19}
4	0.7	0.73	0	内部振荡管 VT_2 , 外接 R_{13} 振荡回路电阻
5	∞	1.35	-25	反馈滤波端, 外接 C_4 滤波电容
6	0	0	0	反馈端
7	3.2	1.5	-1.6	过电流保护端, 外接电网过电压保护稳压管
8	0	0	0	接地
9	1	1.2	-1.3	过电流保护电路输出端
10	0	0	0	集成电路内部接地端
11	∞	∞	0	空脚
12	1	1.2	-1.2	开关调整管 VT_5 基极
13	0	0	0	开关调整管 VT_5 发射极
14				空脚
15	3	50	270	开关调整管 VT_5 集电极

(2) 烧电源熔丝故障查找方法与技巧

1) 烧电源熔丝。

烧熔丝是彩色电视机最常见的一种故障。出现这种故障的原因是开关变压器初级电路中有的元器件击穿短路。由于开关电源本身有过电流保护, 因此, 当开关电源发生负载短路或过电流时, 开关电源内部保护电路动作, 迫使开关振荡器停止工作, 不会出现开机烧交流熔丝的现象, 因此故障范围在电网进线到开关变压器一次绕组的这部分电路中。常见故障有:

① 300V 整流二极管或滤波电容有一个被击穿。

② 电源开关调整管 STK7358 被内击穿。

③ 消磁电阻失效, 通电后阻值不增大。

可用电阻法逐一检查整流二极管或滤波电容与 STK7358 的引脚是否有元器件击穿。检查消磁电阻时可以暂拔掉消磁线圈,拔掉消磁线圈后如不再烧电源熔丝,则为消磁电阻失效了,可用冷阻为 27Ω 的消磁电阻代换之。

2) 有 300V, 无 110V 输出电压。

有 300V, 无 110V 输出电压,说明熔丝没有烧,造成这种故障的原因是负载有短路或开关电源振荡电路停振所致。

① 首先测量 110V、16V、25V、12V 各输出端对地电阻,如果电阻变小,可逐一检查各整流二极管与滤波电容是否击穿,还应检查各输出电压的负载是否短路、整流二极管是否被击穿等。

② 测量 STK7358 的引脚有无电压,如果无电压,检查电源振荡起动电阻与电容。如果 STK7358 的引脚有电压,可检查振荡正反馈电容与二极管和电阻是否开路,开关变压器绕组是否开路或脱焊。

③ 电阻阻值增大与开关变压器的引脚开路脱焊都会造成无电压输出。

④ 滤波电容容量变小会产生电源有时工作,有时不工作的故障现象。

3) 输出电压偏低。

造成开关电源输出电压偏低的原因有两种:一种是电源负载有交流短路(常见的是行输出变压高压包匝间短路或行偏转线圈匝间短路),引起负载电流大,造成输出电压低;另一种是开关电源本身的取样放大电路有故障,引起输出电压偏低。遇到输出电压偏低的故障时,故障排除的技巧是:首先可用假负载法来区分这两种故障部位。也可以测 110V 电源的电流值来区分,若行输出级有故障则 110V 主电源的电流很大,一般在 0.5A 以上,如果行输出级正常则 110V 主电源电流只有几十毫安。如果是电源电路造成的输出电压偏低,一般可先检查整流二极管与滤波电容等元器件。如果整流二极管与滤波电容正常,则为 STK7358 内部损坏。

4) 输出电压偏高。

输出电压偏高会击穿过电压保护二极管。过电压保护二极管俗称 115V 稳压二极管,型号为 SR2M,其实过电压保护二极管的稳压值在 135 ~ 140V 之间,当输出电压超过此值时,便击穿短路,开关电源停止工作,无任何电压输出。更换过电压保护二极管之前一定要先查出电源电压升高的原因。

造成输出电压过高,过电压保护二极管被击穿故障的原因有:

① 误差取样电路中的滤波电容漏电后使取样电压(绝对值)变低引起输出电压过高。

② 脉宽调节电路的电源滤波电容漏电后,使二极管导通时间变化,输出电压上升。所以遇到输出电压过高故障时,首先用替换法更换电源滤波电容,因为有时电源滤波电容用万用表不易查出其漏电。

③ STK7358 内部损坏,更换 STK7358。STK7358 可用 ST7359、IX0689 代换。

5) 纹波系数大。

电源纹波系数大,会造成光栅有两条往上或往下移动的窄干扰带,干扰带内图像扭曲,无彩色;还会伴有场同步不稳定与伴音中有交流声(100Hz)的故障。此故障是 300V 滤波电容开路或失效所致。可用 $(100 \sim 150) \mu\text{F}/400\text{V}$ 电解电容器更换之。更换时其正、负极千万不能接反,否则会产生电容器爆炸的现象。

6.1.6 现代模拟集成电路故障查找方法与技巧

1. 模拟多路开关故障查找方法与技巧

(1) 模拟多路开关结构

模拟多路开关是一种从多个模拟输入中，选择其中的一个作为输出的器件。MAX306 是美国 MAXIM 公司生产的 COMS 模拟多路开关，其外形结构如图 6-11 所示，内部结构如图 6-12 所示。A0、A1、A2、A3 是 4 个逻辑控制端，EN 是译码控制端，S1 ~ S16 是 16 个开关通道。有正电源 V^+ 和负电源 V^- ，它可以单电源工作，也可以双电源工作。用 EN 来控制整个器件，只有当 EN 为低电平时，多路开关才能工作，其真值表如表 6-3 所示。

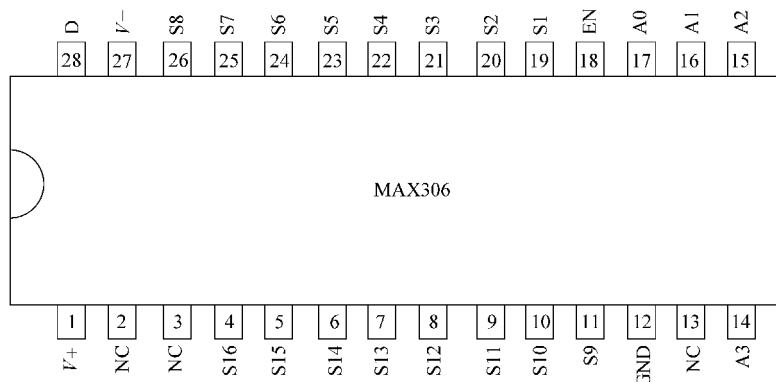


图 6-11 MAX306 模拟多路开关外形结构

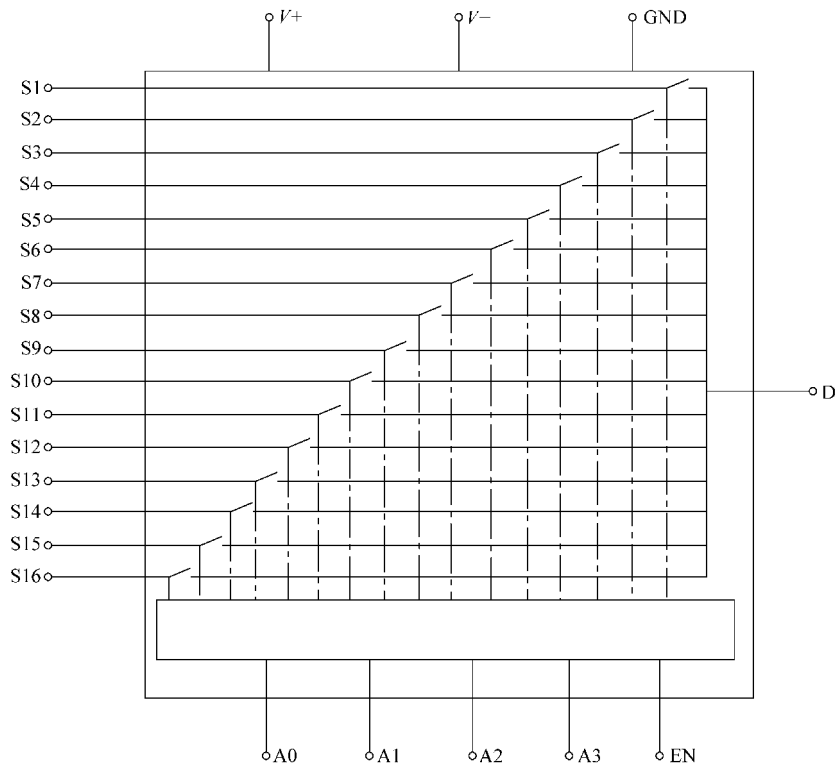


图 6-12 MAX306 模拟多路开关内部结构

表 6-3 MAX306 真值表

A3	A2	A1	A0	EN	开关接通
×	×	×	×	0	—
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	2
0	0	1	0	1	3
0	0	1	1	1	4
0	1	0	0	1	5
0	1	0	1	1	6
0	1	1	0	1	7
0	1	1	1	1	8
1	0	0	0	1	9
1	0	0	1	1	10
1	0	1	0	1	11
1	0	1	1	1	12
1	1	0	0	1	13
1	1	0	1	1	14
1	1	1	0	1	15
1	1	1	1	1	16

MAX306 器件逻辑低电平 $\leq 0.8\text{V}$ ，逻辑高电平 $\leq 2.4\text{V}$ 。在单电源工作时，工作电压范围为 $+10\sim+30\text{V}$ ；双电源工作时，工作电压范围为 $\pm 4.5\sim\pm 20\text{V}$ 。模拟信号幅度应在电源电压的范围内。

(2) 模拟多路开关的工作原理

MAX306 模拟多路开关的典型应用电路如图 6-13 所示。其工作原理如下：为 16 选 1 模拟开关，NO1 ~ NO16 可分别输入不同模拟信号，根据 A0 ~ A3 所接受的高电平的不同，来确定把其中的一个输入信号从输出端 u_o 输出。

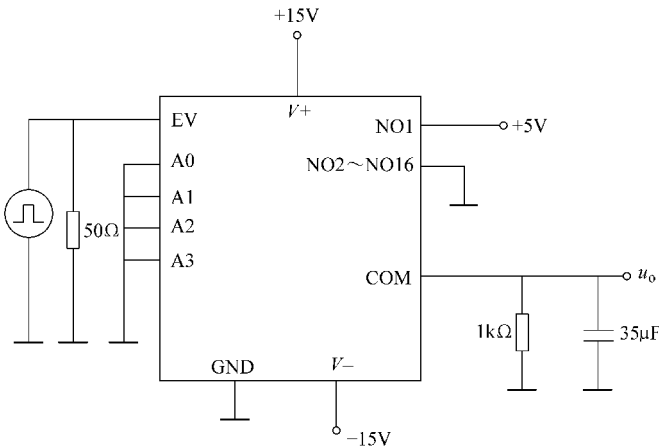


图 6-13 MAX306 应用电路

(3) 模拟多路开关常见故障现象

1) 无信号输出。

2) 输出信号逻辑关系紊乱。

(4) 模拟多路开关故障查找方法与技巧

1) 无信号输出故障查找方法与技巧。

① 首先检查控制端 (EN) 的电平是否正常, 因为使能端 EN 是控制整个器件, 它的电平不正常, 模拟多路开关不能正常工作, 就会出现无信号输出故障, 查找的技巧是先查信号源的连接线和探头是否良好, 若有故障应先排除。

② 在信号源、连接线和探头正常情况下, 先测量模拟多路开关直流供电电压, 测量的方法是: 用万用表直流电压挡, 并选择合适的挡位, $+V$ 电压是 15V, 应选择 50V 挡, 测量时万用表红表笔接 $+V$ 的正极, 黑表笔接地 (公共端)。如测得的电压为零或很低, 说明模拟多路开关供电电压不正常, 应当查供电电源和退耦电容。

2) 输出信号逻辑关系紊乱故障查找方法与技巧。

输出信号紊乱是指模拟多路开关通断的逻辑关系紊乱, 例如: 当 A0、A1、A2、A3 多为高电平时, 正常时应当 S16 开关接通, 逻辑关系出现紊乱时 S16 开关未接通, 而其他开关接通, 这种现象称为输出信号紊乱。

① 首先检查 A0、A1、A2、A3 电平是否正常, 若不正常应检查连接线的焊接有无虚焊, 连接线是否接错, 接地线是否良好。若有故障应及时修复。

② A0、A1、A2、A3 电平正常, 应检查对应开关的导通电阻, 用万用表 “ $R \times 10\Omega$ ” 挡测量其阻值是否小于 100Ω , 若阻值很大, 说明开关已损坏, 应更换。

2. 集成运算放大器故障查找方法与技巧

(1) 功能

运算放大器是具有高开环放大倍数并带有深度负反馈的多级直接耦合放大电路。它首先应用于电子模拟计算机上, 作为基本运算单元, 可以完成加减、乘除、积分和微分等数学运算。运算放大器随着半导体集成工艺的发展, 研制成集成运算放大器以来, 才使运算放大器的应用远远地超出模拟计算机的界限。从此, 集成运算放大器在信号运算、信号处理、信号采集、信号测量以及波形产生等方面得到了广泛的应用。

(2) LM324 器件应用举例

运算放大器国内外生产此类器件的厂家极多, 不同的生产厂家先后推出了多种类型的产品。如低增益运算放大器、高增益运算放大器、高精度运算放大器、斩波稳零运算放大器、低噪声精密运算放大器、宽带跨导运算放大器、高压运算放大器、可变增益运算放大器等类型。不同类型的产品具有不同的内部结构和使用特点以及不同应用领域。

运算放大器也是一类应用领域非常广泛的器件。首先运算放大器在线性运算方面, 可以完成比例、加减、乘除、积分微分、对数与反对数、开平方、指数变换、矢量计算等运算功能。其次运算放大器在信号处理方面, 可以实现有源信号滤波、信号的采样保持等处理功能。运算放大器在波形产生方面可以非常方便地构成矩形波发生器、三角波发生器、锯齿波发生器等波形发生器。在信号测量方面运算放大器可以将一些非电量 (如压力、温度、流量、浓度等) 变换及放大为合适的电压信号。LM324 是低功耗通用集成运算放大器, 如图

6-14 所示，引脚功能如表 6-4 所示。

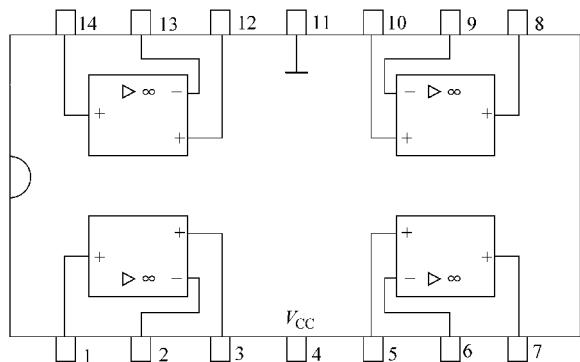


图 6-14 LM324 集成运算放大器结构图

表 6-4 LM324 集成运算放大器引脚功能

引脚	功能	引脚	功能	引脚	功能
1	输出端	6	反相输入端	11	地
2	反相输入端	7	输出端	12	同相输入端
3	同相输入端	8	输出端	13	反相输入端
4	电源	9	反相输入端	14	输出端
5	同相输入端	10	同相输入端	空白	

- (3) 比例运算器常见故障现象
- 1) 无信号输出。

2) 输出信号比例关系失常。
- (4) 比例运算放大器故障查找方法与技巧
- 1) 无信号输出故障查找方法与技巧。

① 首先检查运算放大器的输入端有无信号加入，若无信号，查信号源、连接线和探头是否良好，如信号源、连接线和探头有故障，应先排除。

② 在信号源、连接线和探头正常情况下，先测量运算放大器直流供电电压。测量的方法是：用万用表直流电压挡，并选择合适的挡位， $+V_{CC}$ 电压是 32V，应选择 50V 挡，测量时万用表红表笔接 $+V_{CC}$ 的正极，黑表笔接地（公共端）。如测得的电压为零或很低，说明放大器供电电压不正常，应当查供电电源和去耦电容。

③ 直流供电电压正常后，检查运算放大器的外围元件 R_1 、 R_F 和平衡电阻 R 是否变值或开路。如 R_1 开路，运算放大器不工作，导致无信号输出。
- 2) 输出信号比例关系失常故障查找方法与技巧。

输出信号比例关系失常故障说明有信号输入，直流电源正常，应着重检查运算放大器的外围电阻 R_1 、 R_F 和平衡电阻 R 是否变值，电阻变值会引起输出信号比例关系失常。

6.2 单元数字电路故障查找方法与技巧

门电路是基本的逻辑电路，也是数字电路最基本的单元电路，本节主要介绍集成逻辑门

电路常见故障查找方法与技巧。

6.2.1 集成逻辑门电路常见故障及查找方法与技巧

集成逻辑门电路又分为双极型（TTL 型）集成电路和单极型（MOS 型）集成电路两种。TTL 集成逻辑门电路很多，有与非门（如 74LS00、74LS20）、与门（如 74LS08）、非门（如 74LS04）、或门、或非门（如 74LS02）、与或非门（如 74LS51）、异或门（如 74LS86）、OC 门（如 74LS03）、三态门（如 74LS125）等。而 CMOS 集成门电路有：CMOS 反相器（非门）、集成 CMOS 与非门、集成 CMOS 或非门、集成 CMOS 与门、集成 CMOS 或门、CMOS 传输门和 CMOS 三态门等。

1. 常见故障现象

1) 在应用电路中，门电路逻辑功能不正常，有输入信号、无输出信号或输出状态不正确。

2) 输出电平不正常。

3) 器件损坏。

2. 常见故障查找方法与技巧

(1) 在应用电路中，门电路逻辑功能不正常的故障查找方法与技巧

由于在数字集成电路的具体应用中，分析、查找电路故障应全盘考虑，首先要熟悉电路的工作原理和各功能模块的工作原理，熟悉各器件的功能及性能指标。以与非门 74LS00 为例，集成电路模块如图 6-15 所示。

TTL 与非门的正常功能应是全“1”出“0”，见“0”出“1”，有故障时经常出现无论输入如何，输出都保持“1”状态或保持“0”状态，即所谓的固定电平故障。

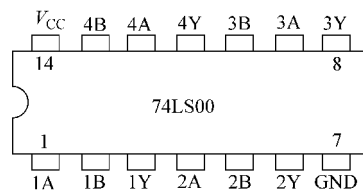


图 6-15 74LS00 集成二输入四与非门

查找该故障的最简单方法是感观和替换法，在替换新器件之前，应仔细检查，确保新换上器件的质量，即查看连接线有无错误：首先检查正、负电源端子引线，可以用万用表测量集成块电源端与接地端之间的直流电压是否正常；所使用的门电路的输入、输出脚与其他电路的连接是否正确，会不会出现输出端接到固定的高电平或低电平。在检查连接线无误情况下，取一块同型号的集成块换一下，观察是否正常，如功能正常则说明原集成块坏。如还不正常则可采用电阻的测量法来判断是否是连接导线内部断路或接触不良、虚接等状态。查找方法是将万用表接到电阻挡，将两表笔分别接待查连接线的两端，导线及连接良好则所测电阻值几乎为零，如读数较大甚至指针不动则说明连接线接触不好甚至导线内部断路，应更换导线重新连接。另外可用万用表的直流电压挡去分别测量门电路的输入端、输出端的电平，判断是否由其他外接电路的影响造成固定电平故障。

门电路通常在数字电路中用作控制门，因此，首先查看控制端的信号是否正常，被控信号是否正常。当电路比较复杂，与门电路单元的连接较多时，在对整个应用电路功能及工作原理比较熟悉的基础上，应用信号寻迹法，按照信号的流程从前级到后级，用示波器或万用表或逻辑笔逐级逐点的检查信号的控制及传输情况，从而缩小故障范围，判断出故障所在部位加以确定，排除故障。

通常情况下,一片集成块上有几个门电路,使用过程中经常发现集成块中个别门电路损坏,在实际电路应用中可以避开故障门选用正常门而不必更换新器件。

(2) 输出电平不正常的故障查找方法与技巧

门电路的输出高电平典型值为 3.6V, 输出低电平值通常为 0.3V。对于数字电路,有可能出现电路完全不工作或不稳定现象。出现这类情况时,多半是集成电路的引脚电平不正常,而且问题大多数出现在控制电路部分。查找故障的原因是:电源电压是否超过正常范围;器件的引脚接触是否不良或者连接导线接触不良;提供输入信号的电路带负载能力是否不强;闲置的引脚处理不当造成干扰信号的串入等。检查的方法是用万用表检测控制电路中集成门电路中集成门电路的电源电压是否正常,接地是否良好,再用示波器检测电压成分中的纹波成分,以确定是否要进行电源的检修。电源电压正常后,再测量集成块的各引脚电压值是否正常,当输出脚的低电平电压大于 0.8V 或高电平电压值低于 1.8V 时,容易造成集成电路逻辑功能混乱、电路失控。如果测量发现存在上述情况,首先用同型号的好的集成块替换怀疑对象,看是否恢复正常,如正常,说明被换器件已坏;如仍然不正常,应检查电路连接有无虚接、错接、多接或漏接等现象,这时的故障很可能是电路混线或与之相连的其他数字单元电路有故障而造成的。另外还应考虑是否是该器件所带负载过重。判断是否由相连的其他电路引起的故障,可以采用分割测试法,即把外接的端子线分别拆除,检查门电路的逻辑功能正常与否,如果门电路本身的逻辑功能正常,而且经过仔细检查没有发现电路连接错误,则考虑与该集成块相连的其他部分集成电路有故障。

(3) 器件损坏的故障查找方法与技巧

集成门电路由于使用不当,会造成集成块的损坏,主要表现为以下几个方面:

由于集成块不正确的频繁插拔造成引脚的断裂或变形,再次使用时没有注意到这一点,因而造成电路故障。可采用直接观察方法、功能分析方法、引脚电压测量法等进行检测。

由于连线时不注意,将门电路的输出端子直接接在电源或地上,通电试验前没有仔细检查,这时容易造成集成器件的损坏,这种由于连接线的错误引起的器件损坏,损坏部分是局部的,可以改用完好的门而不必更换集成块。

由于接线时疏忽,不小心将集成块的工作电源的正、负极性端子接反,通电后必定造成集成门电路的损坏,这时的故障现象表现为:器件发烫甚至冒烟,有时表现为器件表面有裂痕或冒泡烧焦等痕迹。当通过眼睛观察或鼻子嗅闻发现这类异常情况,首先必须想到电源接线的问题,应立即切断电源,然后仔细检查加以排除。

3. TTL 逻辑门电路使用注意事项

1) 注意电源的电压范围要满足要求,电源的极性不能接反,否则过大的电流会造成器件的损坏。

2) 电源接通的情况下,不能插、拔或焊接集成器件。

3) 注意输入信号的幅度范围: $-0.5 \sim +5.5\text{V}$ 。

4) 多余的输入端尽量不要悬空,以免受干扰。应按照其逻辑功能将多余输入端接地或通过适当的电阻接到 V_{CC} 上。

5) 输出端不允许与电源端或地相接,多个输出端不能短接使用(三态门和 OC 门除外)。

6) OC 门线与时, 应在其公共输出端上串接适当的电阻连接到 V_{CC} 上。

4. COMS 逻辑门电路使用注意事项

1) 注意 CMOS 集成门电路的工作电源范围为 $3 \sim 18V$, 为了能与 TTL 电路兼容, 一般情况下 V_{CC} 也取 $5V$ 。

2) 与 TTL 门电路一样, 不允许将电源的极性接反, 通电的情况下不允许插、拔或焊接集成器件。输出端不能与地或电源连接, 多个输出端也不能短接使用。

3) CMOS 集成门电路与 TTL 集成电路混合使用时, 电平配合的问题。由于它们的输入、输出电平带负载能力不同, 为保证整个数字系统的安全、可靠, 使电路具有比较好的抗干扰能力, 在 CMOS 集成门电路与 TTL 电路之间通常要加接口电路。

4) CMOS 门电路的多余端子在处理时, 必须根据具体情况或者接高电平、或者接地, 不允许悬空; 在工作速度很高的数字电路系统中, CMOS 门电路闲置的输入端不允许与使用的输入端并联使用, 否则会增大输入电容, 降低电路的工作速度或出现混乱, 检查电路时要留意。

5) CMOS 门电路的带负载能力比 TTL 门电路带负载能力差, 因此在实际使用中要注意。当负载较重而没有采取外接驱动电路时, 很容易造成电路异常。

6) 在进行电路实验或对 CMOS 电路系统进行调试、检测时, 要先接通直流工作电源, 后接入信号源; 检测结束先关信号源再关直流电源。

图 6-16 所示为 CMOS 门电路驱动 TTL 门电路, TTL 门电路驱动 CMOS 门电路的常用方法。

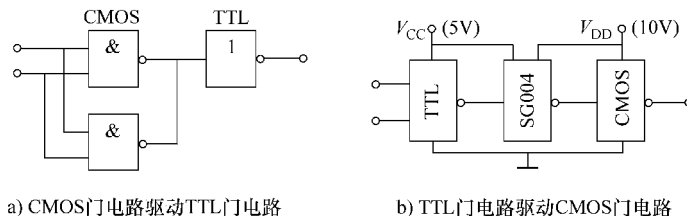


图 6-16 驱动电路的常用方法

6.2.2 1 位数值比较器电路故障查找方法与技巧

1. 电路组成及工作原理

图 6-17 所示为利用门电路组成的 1 位数值比较器电路。它主要由两个反相器 G_1 、 G_2 , 两个二输入与门电路 G_3 、 G_4 , 一个二输入或非门电路 G_5 及指示电路等组成。数值比较如表 6-5 所示。其功能为: 比较两个 1 位二进制数 A 和 B 的大小 (逻辑: 高电平为 1, 低电平为 0)。比较结果不外三种情况: 若 $A > B$, VT_1 导通, VL_1 红色发光二极管亮; 若 $A = B$, VT_2 导通, VL_2 黄色发光二极管亮; 若 $A < B$, VT_3 导通, VL_3 绿色发光二极管亮。

2. 常见故障现象

- 1) 三只发光二极管都不亮。
- 2) $A > B$ 时, 红色发光二极管不亮。
- 3) 两只发光二极管同时亮。

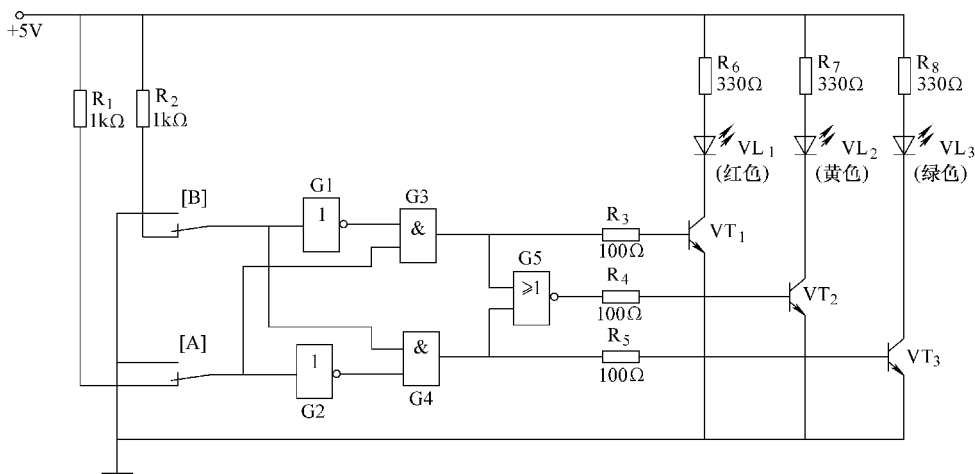


图 6-17 1 位数值比较器电原理图

表 6-5 1 位数值比较器的真值表

A	B	$Y_1 (A > B)$	$Y_2 (A = B)$	$Y_3 (A < B)$
0	0	0	1	0
0	1	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	1	0

3. 常见故障的查找方法与技巧

(1) 三只发光二极管都不亮的故障查找方法与技巧

1) 查找供电电路，+5V 电压是否正常，不正常修复。

2) 查找指示电路，先用镊子短路 VT₁、VT₂、VT₃ 晶体管的 e、c 极，如果发光二极管会发光，则说明发光二极管 VL₁、VL₂、VL₃ 和限流电阻 R₆、R₇、R₈ 正常，否则对损坏的元器件进行更换。

3) 用逻辑测试笔测试各门电路的输入、输出逻辑因果关系，若发现因果关系出错，先测量连接线、焊接点等，如连接线、焊点正常，则更换该门电路。

(2) A > B 时，红色发光二极管不亮的故障查找方法与技巧

1) 用镊子短路 VT₁ 的 e、c 极，判断红色发光二极管的好坏，若损坏，更换即可。

2) 用逻辑测试笔测试，是 A > B 吗？若正确，就分别测试 G₁、G₃ 门电路的因果关系，发现故障排除即能修复。

(3) 两只发光二极管同时亮的故障查找方法与技巧

拨动开关 A、B，判断是否 A、B 在任何状态都是有两只发光二极管亮，如是这种情况，可确定是 VT₁ 损坏了，更换即可；若不是，可按上述的其他方法排查。

6.2.3 触发电路故障查找方法与技巧

触发器具有记忆存储功能，是构成时序电路必不可少的部分，是用来存放二进制信息的

基本单元。触发器有两个稳定的工作状态即“0”和“1”，一般将 Q 端定义为触发器的输出状态。

1. RS 触发电路故障查找方法与技巧

RS 触发器通常可用来组成无抖动开关，也称作逻辑开关，如图 6-18 所示。

(1) RS 触发器常见故障现象

- 1) 门电路器件损坏。
- 2) 连接线接触不良或开路。
- 3) 制作调试时出现搭错、接错等情况而造成混线。

4) 控制端 S、D 出现不允许状态而造成输出不定的情况。

(2) RS 触发器常见故障查找方法与技巧

1) 由门电路组成的基本 RS 触发器，若门电路器件损坏，触发器将不能正常翻转。

- 2) 查看电路连接是不是正确。
- 3) 用感观法观察器件。
- 4) 判断控制端 S、D 是否出现非法状态。

2. JK 触发器故障查找方法

JK 触发器分为：主从型 JK 触发器，如 74LS72（下降沿触发）；边沿 JK 触发器，如 74LS112（下降沿触发）、74LS70（上升沿触发）、CC4027（上升沿触发）。

74LS112 是集成双下降沿 JK 触发器，如图 6-19 所示。带有置位端和复位端，其引脚端子如图 6-19a 所示，逻辑符号如图 6-19b 所示，真值表如表 6-6 所示。

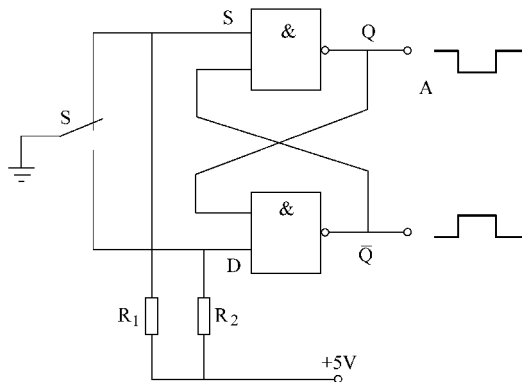
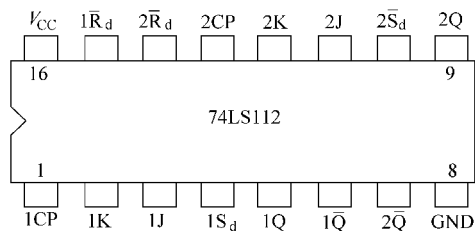
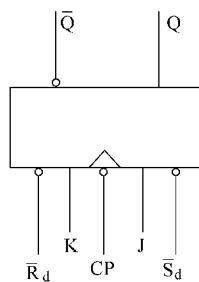


图 6-18 无抖动开关



a)



b)

图 6-19 双下降沿 JK 触发器

(1) JK 触发器常见故障现象

- 1) 在电路运行中，应该发生翻转时，触发器不翻转。
- 2) 触发器的输出始终为“0”或始终为“1”。
- 3) 触发器的 Q 与 $\bar{Q}$ 端出现同一状态。

(2) JK 触发器故障查找方法与技巧

1) 在电路运行中, JK 触发器在 CP 脉冲作用下, 应该发生翻转时, 而它不翻转。

首先使用万用表的直流电压挡检查触发器的工作电源是否正常, 电源的正、负极性有没有接反; 其次检查触发器的 J、K 端的电平状态在应该发生翻转前那一刻是不是满足翻转的条件。如不满足, 则检查 J、K 端的接线是否正确, 如果接线也没问题, 可先断开与 J、K 端的外部连线, 用万用表检查外接端子。如果外电路能给出正确的条件, 再断开触发器的输出端子的外接导线, 将万用表的表棒接在触发器的输出端, 观察触发器能不能正常翻转, 能正常翻转, 说明问题出在与触发器输出相连的电路部分; 如在输出断开的情况下, 触发器仍然不能翻转, 应断定故障就在 JK 触发器器件本身, 这时应更换器件。

2) 触发器的输出始终为“0”或始终为“1”。首先检查触发器的置位端或复位端的接法是否正确, JK 触发器要正常工作时, 其置位端和复位端都接高电平, 否则就会发生置位(输出为“1”)或复位(输出为“0”); 其次, 断开触发器的输出端与外电路的连接线, 看触发器的输出能不能恢复正常。在输出断开的情况下, 触发器恢复正常, 就说明故障出现在与输出相连的外电路; 在输出断开的情况下, 触发器仍然不能正常, 则应更换器件。

3) 触发器的 Q 与 $\bar{Q}$ 端出现同一状态。先更换器件, 看故障现象能否消失。如故障消失, 则故障排除; 如故障现象仍然存在, 参照前面的方法, 断开输出端的外接电路来检查即可找到问题所在。

3. D 触发器故障查找方法

D 触发器相对于 JK 触发器而言比较简单, 触发器的状态在时钟信号的上升沿到来时翻转, 输出与输入端 D 的状态一致。在使用中遇到故障, 按照逻辑功能结合故障现象, 仿照 JK 触发器的故障检测查找方法排除故障。

4. 五路灯光控制器电路

(1) 电路组成及工作原理

用 J-K 触发器组成的五路灯光控制器电路如图 6-20 所示。它主要由多谐振荡器、分频器和指示电路等组成。

电路中以 IC₁ (555) 集成电路为核心元器件组成的多谐振荡器, IC₂₋₁、IC₂₋₂ 为两个二分频电路。从 IC₁ ③ 脚输出方波信号, 作为 IC₂₋₁ 的时钟信号 CP₁, 每两个时钟脉冲, Q₁ 就输出一个脉冲, 作为 IC₂₋₂ 的时钟信号, Q₂ 输出的频率是 IC₁ ③ 脚信号频率的 1/4。

当 IC₁ (555) ③ 脚输出时钟脉冲为低电平时, 发光二极管 VL₁ 发光; ③ 脚输出高电平时, VL₁ 熄灭。因 IC₂ ① 脚、② 脚为一个 Q 和 $\bar{Q}$, VL₃、VL₅ 的输出波形总是反相的, 因而, VL₃、VL₅ 是交替闪烁发光, 闪烁频率为 VL₁ 闪烁频率的 1/2; 同理 VL₇、VL₉ 的闪烁频率为 VL₁ 闪烁频率的 1/4。

(2) 常见故障现象

1) 发光二极管全都不亮。

2) VL₁ 发光, 闪烁频率正常, VL₃、VL₅、VL₇、VL₉ 都不亮。

3) VL₁、VL₃、VL₅ 发光, 闪烁频率正常, VL₇、VL₉ 一直亮, 不闪烁。

(3) 常见故障的查找方法与技巧

1) 发光二极管全都不亮故障的查找方法与技巧。

① 查找供电电路, +6V 电源电压正常否, 不正常则修复。

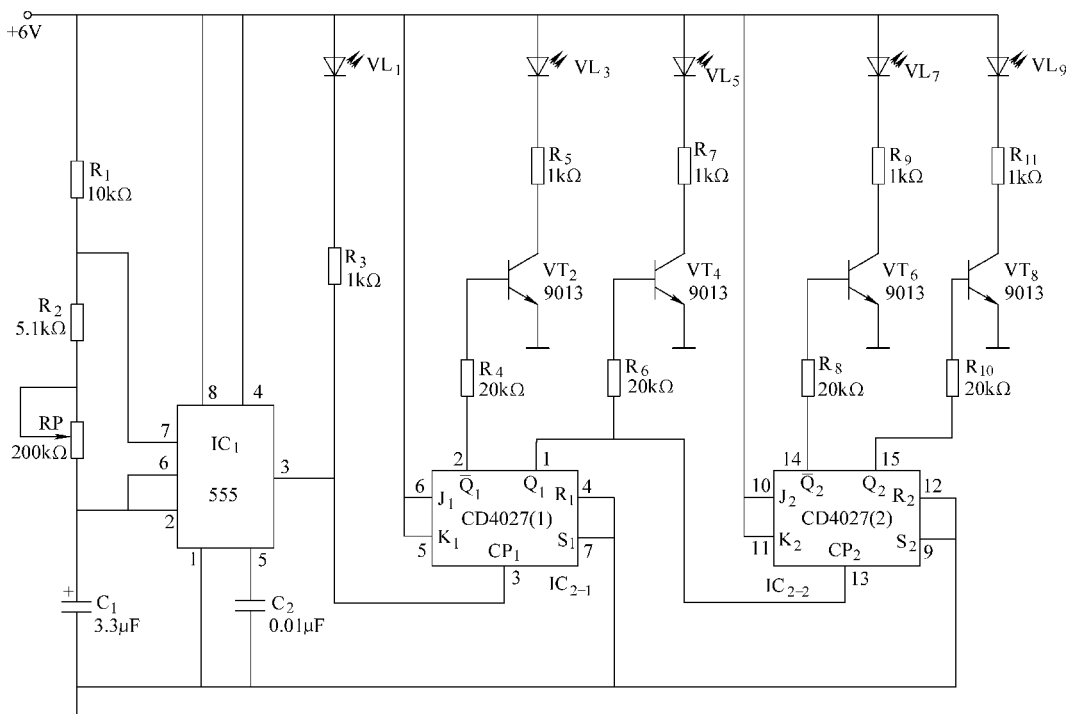


图 6-20 五路灯光控制器电路原理图

② 查多谐振荡器，若多谐振荡器停振，则所有发光二极管都不发光。可先测量外围元器件，再测量 IC₁（555）集成电路，若 IC₁ 损坏，更换即可。

2) VL₁ 发光，闪烁频率正常，VL₃、VL₅、VL₇、VL₉ 都不亮故障的查找方法与技巧。

① 查 IC₂ 的③脚，输入脉冲信号是否正常，若不正常，查 IC₁ 的③脚与 IC₂ 的③脚之间的连接线，若断裂，则修复。

② 查 IC₂ 集成电路，先用在线测量法测量集成电路各脚对地的电阻值，测量时注意比较对应脚的阻值是否相同，① - ⑮、② - ⑭、⑥ - ⑩、⑤ - ⑪、③ - ⑬、⑦ - ⑨和④ - ⑫脚的对地电阻值应相同，如发现阻值相差较大，基本可判定集成电路损坏。

③ 查电源供电线与地线是否连接良好。

④ 查指示电路，用在线测量法，测量电阻、晶体管和发光二极管等元器件，发现问题，更换损坏的元器件。

3) VL₁、VL₃、VL₅ 发光，闪烁频率正常，VL₇、VL₉ 一直亮，不闪烁故障的查找方法与技巧。

① 查 VT₆、VT₈，若已击穿或损坏，则会使 VL₇、VL₉ 一直亮。

② 查 IC₂ 集成电路，采用在线测量法测量集成电路各脚对地的电阻值，即能排除故障。

6.2.4 时序电路故障查找方法与技巧

1. 同步时序电路常见故障及查找方法

(1) 同步计数电路常见故障

1) 计数不正常：不计数或计数未达到预期要求。

2) 进位不正常: 未按照规定向高位送出进位信号。

(2) 同步计数电路故障查找方法与技巧

1) 计数不正常, 不计数或计数未达到预期要求故障的查找方法与技巧。

计数电路不能正常计数, 有可能是组成计数电路的触发器的驱动条件不满足或者是各触发器的复位端被长置成复位状态, 也可能是计数时钟脉冲信号没有加到触发器的 CP 端等。

先检查触发器的复位端的电平情况是否正常, 如不正常则检查连接线连接情况, 开关接触是否良好等。还可以检查计数脉冲是否顺利送到各触发器的 CP 端, 如果没有, 先断开 CP 端的外接线, 单独测量外来的 CP 信号正常与否, CP 信号不正常, 则检查外电路; CP 信号正常, 则检查 CP 信号输出端与触发器 CP 端之间的连接线。根据电路的驱动方程, 逐一检测各触发器的输入端状态。

计数未到预期要求的这种故障很可能是由于后面某一级的触发器输入状态信号不正确, 也有可能是该级没有接收到前级送来的状态信号, 或者该级触发器复位端被永久复位、CP 信号没能加入等原因造成。

先测量该触发器的 CP 端有没有时钟信号, 其次可以测量该触发器复位端的电平情况, 判断是否正常; 检查该级输入端即触发器的 J 端与 K 端外接电路正确与否。

2) 进位不正常的故障查找方法与技巧。

计数电路计数不正常或不计数, 这两种情况的故障现象也会造成没有进位信号的输出, 如果输出部分的门电路有故障也会引起该故障出现, 当整个计数过程都正常, 但没有进位脉冲产生时, 应检查门电路部分。

2. 寄存电路常见故障查找方法与技巧

寄存器是能够存放数码、运算结果或指令信息的数字部件。寄存器是依靠其内部的触发器来存放数码信息的, 移位寄存器除了能存放数码信息外, 还具有将数码移位的作用, 可以左移也能右移。正常的寄存器必须能存取数码, 因此在寄存器中除触发器以外还有一些起控制作用的门电路。通常所说的寄存器是指无空翻现象的边沿型触发器构成的寄存器。一个触发器可以存放一位二进制数码, 所以一个触发器就是一位寄存器, n 位寄存器则需要 n 个触发器。图 6-21 所示为一个由 D 触发器组成的四位数码并入、并出单拍接收方式的寄存器, 其组成结构和工作原理很简单。

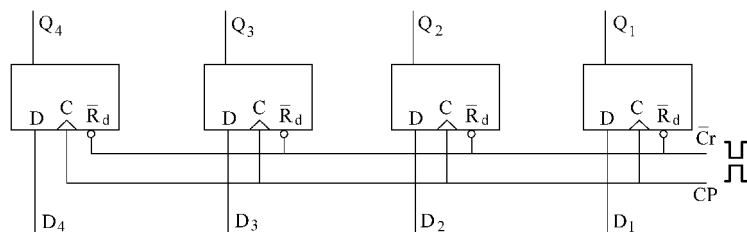


图 6-21 四位数码寄存器

(1) 数码寄存器故障现象及查找方法与技巧

假设 CP 脉冲到来前, 输入端 $D_4D_3D_2D_1$ 的状态为 1101, $Q_4Q_3Q_2Q_1$ 为 0000, CP 脉冲到

来后, $Q_4Q_3Q_2Q_1$ 的状态应变成 1101, 现发现结构仍为 0000。可能存在的问题: 一是各触发器没有工作电源; 二是清零端被置成低电平; 三是 CP 脉冲没进来。

电路输入端状态同上, 当 CP 脉冲到来后, $Q_4Q_3Q_2Q_1$ 为 1001 或其他状态。这个故障可以找出不同的部分对应的触发器, 用万用表检测其输入端状态、清零端电平、CP 脉冲的进线等, 排除触发器本身及与之相连的接线。

图 6-22 所示为 D 触发器组成的单向移位寄存器。图 6-22a 所示为四位右移寄存器, 图 6-22b 所示为四位左移寄存器, 它们的输入端是级连的方式, 故为串行输入、并行输出的寄存器。

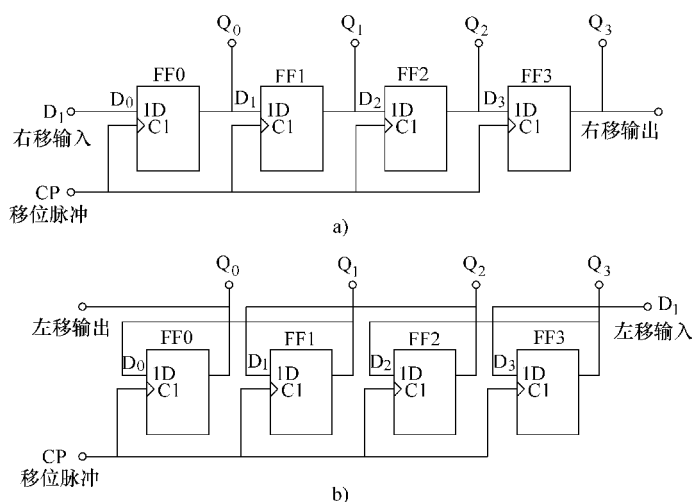


图 6-22 D 触发器组成的单向移位寄存器

(2) 移位寄存器 (左移寄存器或右移寄存器) 故障现象及分析查找方法

以左移寄存器为例如图 6-23b 所示, 被存数码逐位送到 D_3 端, Q_3 接到 D_2 、 Q_2 接到 D_1 、 Q_1 接到 D_0 , 每来一个 CP 信号, 输入的数码向左移动一位。假如 CP 脉冲到来, 寄存器不能按预定的目标移位, 例如寄存器根本无反应、寄存器移位结果有误。分析查找方法如下:

1) 寄存器根本没有反应。查电源是否正常; CP 脉冲是否送到; 复位端子被置成复位状态。使用万用表逐一检测可以发现问题。

2) 寄存器移位结果有误。移位结果有错误, 说明寄存器能实现移位功能, 只是各触发器之间的连接可能有错误, 也可能是某个触发器有故障。要仔细检查各级的连线是否正确和良好。如果连线没有问题, 则是某一个触发器故障造成的, 换同型号的新器件即可。如果该寄存器的输出还送到别的电路部分, 检查故障时应附加考虑外电路故障的牵制作用。

常用的 74LS194 是一个四位双向移位寄存器, 如图 6-23 所示。图 6-23a 所示为 74LS194 的引脚排列, 图 6-23b 所示为 74LS194 逻辑功能示意图。

74LS194 的主要功能为: 置 0 功能、保持功能、并行送数功能、右移串行送数和左移串行送数功能。

(3) 74LS194 故障现象及分析查找的方法

1) 故障现象:

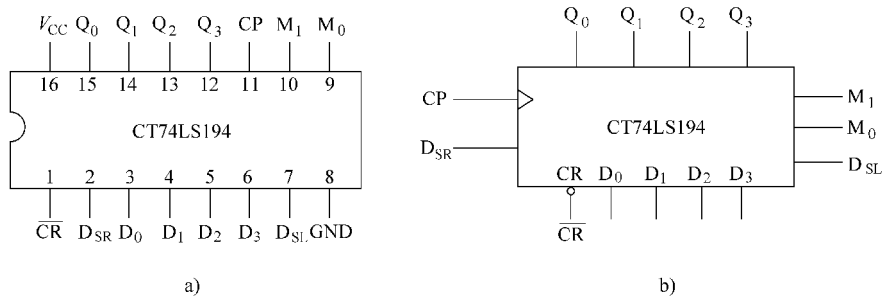


图 6-23 74LS194 集成电路

- ① 并入并出功能不正常。
- ② 左移或右移功能不正常。
- ③ 构成扭环计数器或脉冲发生器时计数过程或输出脉冲不正常等。

2) 查找故障方法与技巧:

- ① 并入并出功能不正常故障查找方法与技巧。

器件电源部分是否正常——检查工作电源；置 0 端或工作方式控制端 M_1 、 M_0 的状态不正确——测量清零端和工作方式控制端的电平；时钟信号有没有顺利送到器件的 CP 端——将该端用一根导线与时钟信号连接；数据是否完整送到——检测输入端 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 的电平。

- ② 左移或右移功能（串行送数）不正常故障查找方法与技巧同上。
- ③ 构成扭环计数器或脉冲发生器时计数过程或输出脉冲不正常故障查找方法与技巧同上。

3. 异步时序电路常见故障及查找方法

图 6-24 所示为异步计数电路。图 6-24a 所示为四位十进制异步加法计数器，图 6-24b 所示为三位二进制减法计数器。

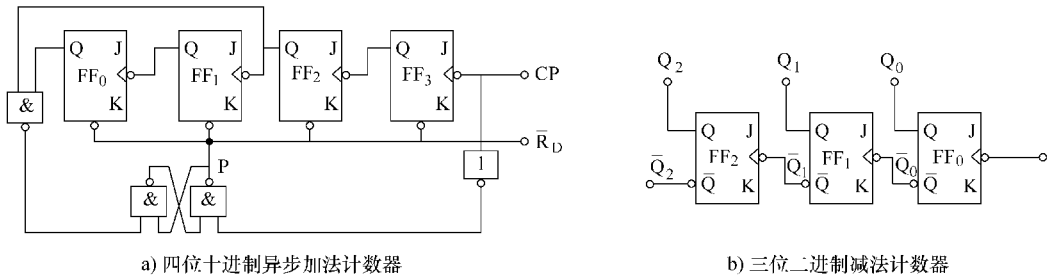


图 6-24 异步计数电路

- (1) 异步计数电路常见故障现象（以图 6-24a 为例）
 - 1) CP 信号到来时不能计数。
 - 2) 虽然能计数，但计数不正常。
- (2) 异步计数电路常见故障查找方法与技巧

1) 计数器不能计数故障的查找方法与技巧。

故障分析：电源问题；可能由于第一个触发器或所有触发器的清零端出现低电平；第一个触发器可能没接收到 CP 脉冲；第一个触发器可能有故障。用万用表直接测量触发器的电源、检测清零端电平；检查第一个触发器 CP 端的外接线连接情况，直接测量该端有没有 CP 信号。如果前面的检查没有问题，应怀疑是第一个触发器有问题，更换一块新芯片试试看。如果计数器的输出还送到别的电路去，那么检查时应考虑外电路故障对计数器电路的附加影响。

2) 虽然能计数，但计数不正常故障的查找方法与技巧。

故障分析：个别触发器的电源没加上；触发器之间的连接有误或断线；个别触发器的清零端没接好；由于门电路有问题，使门电路失去正常功能，导致反馈信号不能正常反馈；由于门电路部分接线不好导致提前反馈清零等。

故障查找方法：先检查各触发器电源，触发器之间的连接线；根据计数故障现象检查被怀疑触发器的清零端连接；检查集成门电路的电源、与触发器之间的连接线。如果接线没问题，应怀疑器件有故障，更换新器件。同样如计数电路还外接其他电路，应考虑外电路的不正常对本电路的影响。

(3) 集成计数器（以 74LS290 为例）

图 6-25 所示为二 - 五 - 十进制计数器。从内部结构可以看到，74LS290 也是异步计数器，由 4 个 JK 触发器和逻辑门电路组合而成。

74LS290 的电路功能为：74LS290 有两个相互独立的计数器，分别是二进制和五进制计数器，要实现十进制计数时，必须将 Q_0 与五进制计数器的时钟端 CP_A 连接起来。 R_{0A} 、 R_{0B} 是计数器的置 0 端， S_{9A} 、 S_{9B} 是计数器的置 9 端，它们都是高电平有效，因此，计数器正常计数时，必须将 R_{0A} 、 R_{0B} 、 S_{9A} 、 S_{9B} 接地。

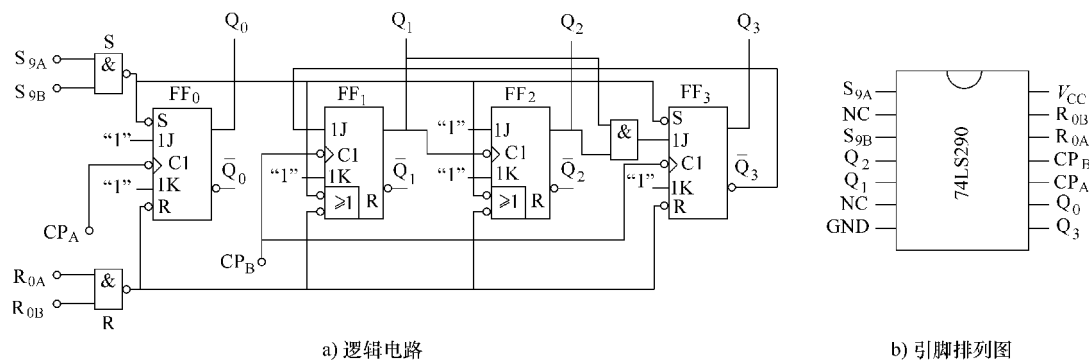


图 6-25 74LS290 集成电路

1) 故障现象（以图 6-26 所示 74LS290 构成的二十三进制计数电路为例）：

- ① 电路不工作。
 - ② 只计数 0 到 1 或 0 到 19 或其他不正常的情况。
 - ③ 有一片或两片都始终出现 9 等。
- 2) 常见故障的查找方法与技巧：

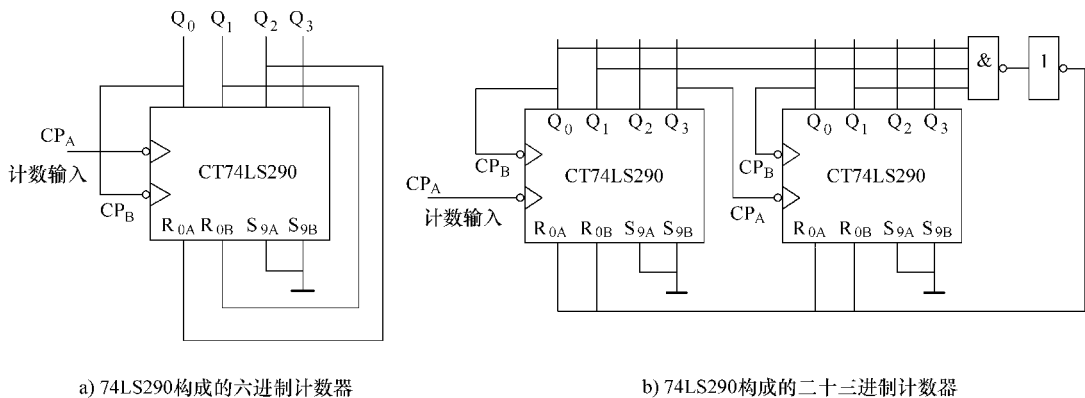


图 6-26 74LS290 构成的计数器

① 分析故障的原因：如整个计数电路不工作，可能电源供电有问题；也可能接线不好或门电路不好，造成 R_{0A} 、 R_{0B} 端悬空，计数器始终置 0，另外，应考虑计数信号有没有顺利送至集成计数器的 CP 端， S_{9A} 、 S_{9B} 接地是否良好等。

② 查找方法与技巧：先直接检测器件的电源，再检查 R_{0A} 、 R_{0B} 端是否为低电平（如果不是，可能由于非门的输出到 R_{0A} 、 R_{0B} 端的连线断路或门电路器件有问题）；检查 S_{9A} 、 S_{9B} 接地是否良好。如上述检查仍不能解决问题，应考虑计数器件的问题或外接电路的故障所带来的牵制，更换器件或检查外电路。

6.2.5 显示电路故障查找方法与技巧

1. 集成译码器驱动数码管的显示电路故障查找方法与技巧

图 6-27 所示是七段显示译码器 CD4511 的引脚排列图。该集成译码器有四位 BCD 码输入端 A、B、C、D 和七段码输出端 a、b、c、d、e、f、g。另外，CD4511 还有 3 个输入控制端，其功能如下：③ 脚为灯测试输入端，该端为 0，无论输入 A、B、C、D 为何种状态，输出都为 1，数码管七段全亮，显示出“8”字，用来检测数码管的七段是否能正常显示。④ 脚为动态灭 0 输入端，当该端为 0 时，输出都为低电平，显示器全灭。⑤ 脚为锁存控制功能端口，该端加高电平时，则在此之前一瞬间的 A、B、C、D 的输入状态被集成电路锁定并保持，即集成电路锁存了这一瞬间的状态，同时译码输出也随之保持不变，当⑤脚为低电平时，A、B、C、D 输入则直接到达译码变成七段信号从 a、b、c、d、e、f、g 输出。

(1) 译码显示电路常见故障现象

- 1) 固定显示“8”字。
- 2) 显示的数与预期的要求不一致。
- 3) 出现缺段显示。
- 4) 不显示任何数字。

(2) 译码显示电路常见故障查找方法与技巧

1) 固定显示“8”字：先测量④脚的电位和检查计数器部分接线及计数器的好坏。由于接线不良，将导致译码器④脚出现低电平，此时为“8”字显示状态。如果是计数器译码显示电路，也可能是计数器

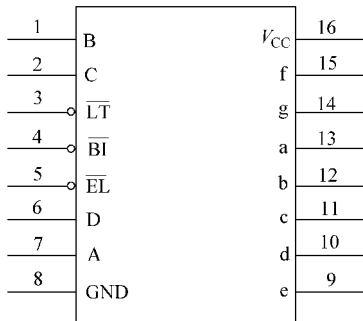


图 6-27 CD4511 的引脚排列图

有问题。

2) 显示的数与预期的要求不一致：很可能是计数器的输出送到译码器的输入端子之间有问题，如端子接错、接线不好等将会造成译码输出有误，还可能是译码器的 7 个输出端中的某一个或几个没有顺利送到数码管的相应端子上。查找接线是否正确及接线是否良好。

3) 出现缺段显示：可能数码管该端所对应的内部 LED 损坏，也有可能是对应的译码器输出没有接好。先检查接线，接线没有问题，则怀疑数码管内部相应段的 LED 烧坏，拆除该段的接线，单独从有显示的段引一根线接到该段看看有无显示，若没显示，则更换数码管；若数码管没有问题，则译码器有问题。

4) 不显示任何数字：很有可能是数码管的公共端接线没接好造成。先检查数码管的公共端有没有漏接线，数码管有没有选错。

2. 显示报警电路

(1) 电路组成与工作原理

显示报警电路由编码电路、译码电路和 LED 显示电路构成，电路原理图如图 6-28 所示。

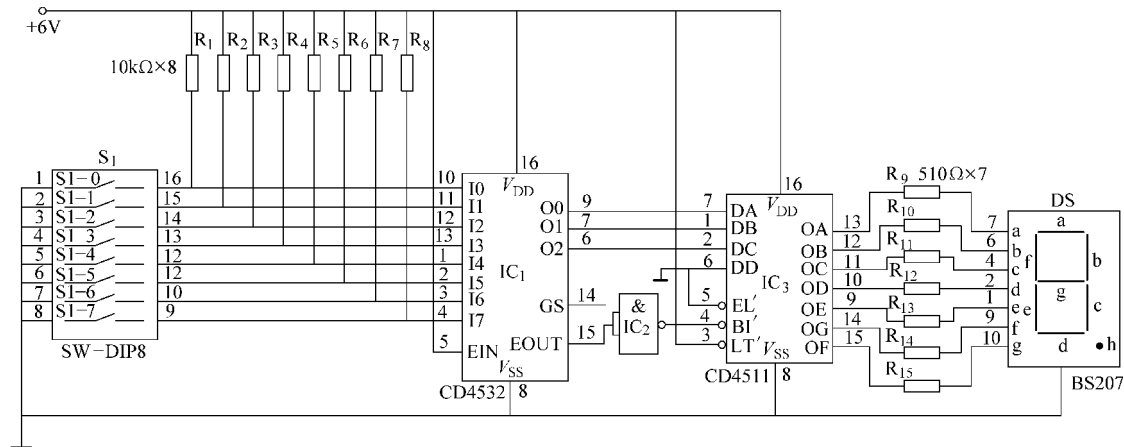


图 6-28 显示报警电路原理图

(2) 工作原理

由开关 S_1 和 CD4532 组成编码器电路，平时 S_1 的 8 组开关置接通状态，CD4532 的 8 个输入端 $D_0 \sim D_7$ 均为低电平即“0”状态。当其中某一个开关断开时，则 CD4532 的对应输入端为高电平即“1”状态，CD4532 将其编为对应的 8421BCD 码输出至七段锁存/译码/驱动器 CD4511，经译码后转换成相应的七段码由 BS207 数码管显示出相对应的开关号。如 S_{1-5} 开关断开，数码管相应的显示“5”。

(3) 常见故障现象

- 1) 报警显示出现错码。
- 2) 报警显示出现缺少笔画。
- 3) 输入任何状态，全显示“8”字。

(4) 报警显示电路故障查找方法与技巧

1) 报警显示出现错码故障查找方法与技巧:

① 检测 IC_1 编码器的输出状态是否与设计状态相同, 重点测量编码开关与 IC_1 之间的连线, 可拨动 S_1 开关, 用万用表测量对应输出给 IC_2 的电平来判断编码信号是否正确, 如连接接错或虚焊, 排除即可; 如连线正常并接触良好, 就检查 S_1 开关或 $R_1 \sim R_8$ 电阻器, 可用万用表进行测量, 若损坏则更换。

② 查数码管及连接电阻器是否有接错。仔细检测 IC_3 与数码管之间连接的对应关系是否正确, 出错纠正。

③ 查 IC_1 与 IC_3 之间的连接情况, 拨动 S_1 开关, 测量 IC_1 、 IC_3 的编码信号是否出错, 若编码信号正常, 可另用一只 CD4511 代换试验, 如代换后恢复正常, 说明 CD4511 已损坏。

2) 报警显示出现缺少笔画故障查找方法与技巧:

① 查数码管内部某笔画是否损坏, 用万用表测量, 即能判断, 损坏更换。

② 查对应译码器输出及之间的连接的电阻器, 主要查缺段显示的端子。

3) 输入任何状态, 全显示“8”字故障查找方法与技巧:

先测量 IC_3 的③脚是否高电平, 如是高电平, 则大多是 IC_3 损坏了。

3. 555 显示应用电路故障的查找方法与技巧

(1) 555 定时电路的组成与功能

555 定时电路内部结构的简化原理图如图 6-29a 所示, 主要由分压器、电压比较器 C_1 和 C_2 、基 RS 触发器和集电极开路的晶体管 VT_1 等组成。8 只引脚功能如图 6-29b 所示。其基本功能如表 6-6 所示。

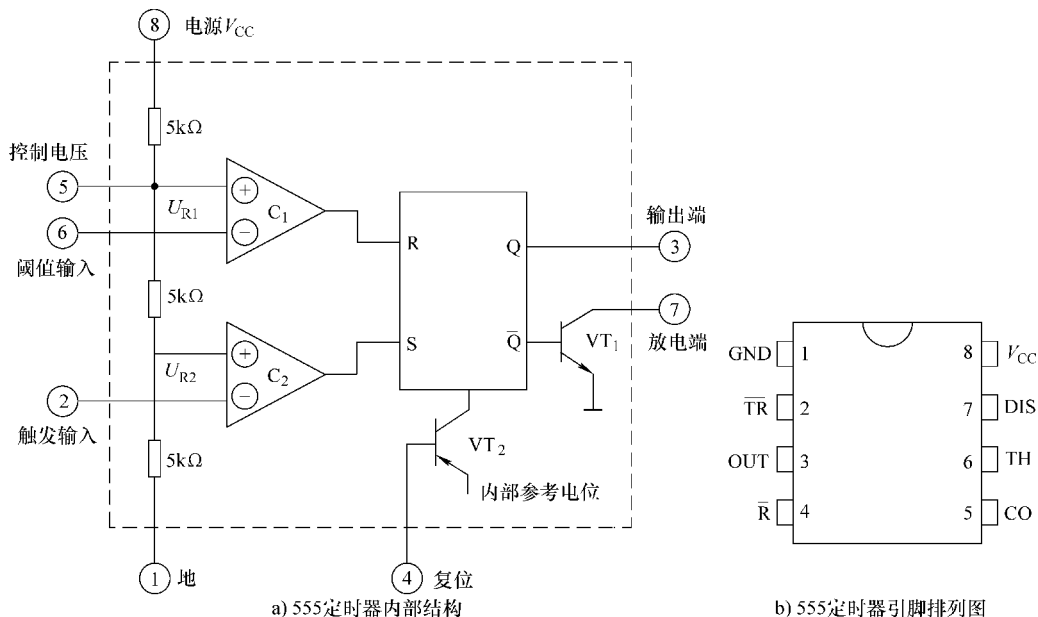


图 6-29 555 定时电路内部结构图

表 6-6 555 定时电路基本功能表

输 入			R S	输 出	
阈值输入	触发输入	复位		输出	放电管 VT ₁
$<2/3V_{CC}$	$>1/3V_{CC}$	1	0 0	不变	不变
$<2/3V_{CC}$	$<1/3V_{CC}$	1	0 1	1	截止
$>2/3V_{CC}$	$>1/3V_{CC}$	1	1 0	0	导通
$>2/3V_{CC}$	$<1/3V_{CC}$	1	1 1	×	×
×	×	0	×	0	导通

(2) 工作原理

555 定时器组成的声光报警电路如图 6-30 所示。IC₃、IC₄ 分别构成两只不同频率的多谐振荡器，IC₂ 构成施密特触发器，IC₁ 构成单稳态电路和光报警显示电路，VT₃、B 构成声报警电路。

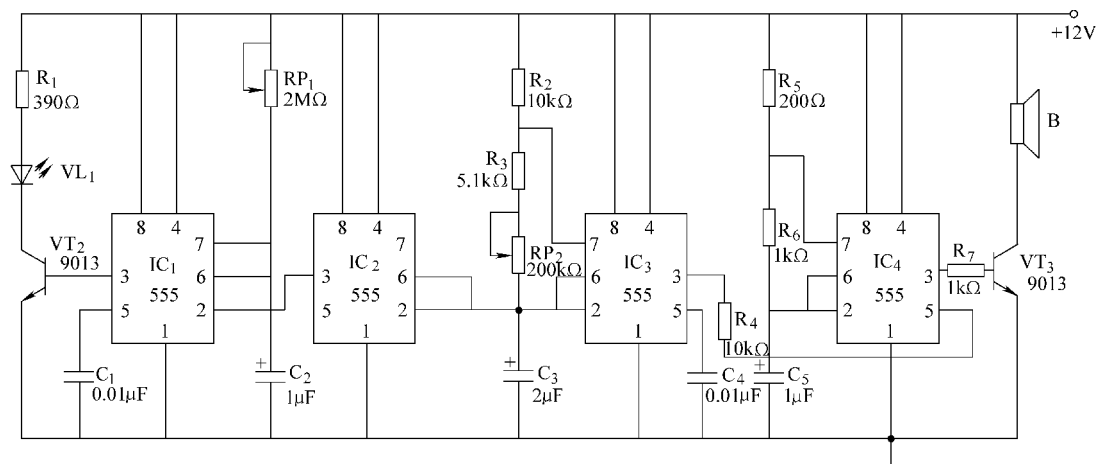


图 6-30 555 定时器组成的声光报警电路

接通电源后 IC₃ ②脚输出振荡锯齿波，经 IC₂ 施密特触发电路整形后触发 IC₁ 单稳态电路反转，使发光二极管不断闪烁。因为 IC₃ 振荡器的充放电时间常数远大于 IC₄ 振荡器的充放电时间常数，因此 IC₃ 振荡器的振荡周期远大于 IC₄ 振荡器，将 IC₃ 振荡器输出连接到 IC₄ 振荡器的控制电压输入端，利用 IC₃ 振荡器输出高、低电平控制 IC₄ 振荡器产生两个不同频率的音频振荡，通过 VT₃ 推动扬声器产生音响效果。

(3) 555 显示应用电路故障的查找方法

1) 常见故障现象：

- ① 发光二极管不亮。
- ② 发光二极管一直亮。
- ③ 发光二极管闪烁频率不正常。
- ④ 扬声器不响。

2) 常见故障查找方法与技巧：

发光二极管不亮故障的查找方法与技巧：

① 查供电电路：用万用表测 12V 电源是否正常。

② 查指示电路：可以用在线测量法，发现损坏更换即可。

③ 查 IC₁ 所构成的单稳态电路。IC₃ 的③脚始终输出低电平，VT₂ 将一直处于截止状态，发光二极管不亮，可采用替换法，判断 555 集成电路的好坏。

发光二极管一直亮故障的查找方法与技巧：

① 查 VT₂：若 VT₂ 击穿，更换 VT₂，故障即可排除。

② 测 IC₁ 的⑥脚、⑦脚的电平：若为低电平，查 RP₁ 及连接线是否有断线或虚焊，查 C₁ 是否击穿。查 IC₁ 的②脚是否悬空。外围检查无误后，可用替换法判断 IC₁ 是否损坏。

③ 用同样的方法查找 IC₂、IC₃ 及其外围元器件。

发光二极管闪烁频率不正常故障的查找方法与技巧：

主要查单稳态电路 (IC₁)，当单稳态电路工作不正常时，会造成发光二极管闪烁频率不正常，主要查 C₂。

扬声器不响故障的查找方法与技巧：

① 查音响电路：测量供电电源电压，检测 VT₃ 是否损坏。

② 查 IC₄ 集成电路：主要测量 IC₄ 的⑤脚的控制信号，不正常查 IC₃ 的③脚信号及 R₄，也可通过示波器测量输出波形来判断故障部位。

第7章 整机故障查找方法及技巧

由多种单元电路组合而成的，具有特定功能的电路系统称为整机电路。例如电话机、收音机、彩色电视机、家用电磁炉、微波炉、示波器、信号发生器等。当电子产品整机电路不能正常工作或达不到它的主要性能指标时，则认为电子产品整机电路出现了故障。如果掌握了一定的检修方法，就可以较快地找到产生故障的位置和故障的原因，使检修过程大大缩短。研究和掌握一些故障查找程序和排除方法是十分有益的。

7.1 整机电路故障查找处理的一般程序

7.1.1 电子产品整机电路故障的产生

1. 电子产品整机电路故障的特点

电子产品整机电路故障有两类：一类是组装好而未通电调试的故障；另一类是正常工作一段时间后出现的故障，它们在检修方法上略有不同，但基本原则是一样的。另外，由于电子产品的种类、型号、电路结构各不相同，故障现象又多种多样，因此这里只能介绍一般性的检修程序和检修方法。

电子产品在生产完成后的整个工作过程中大致可分3个阶段：

早期失效期：电子产品生产合格后即将投入使用，在此期间，故障率较高，一般通过出厂前的“老化处理”解决，即加速电子产品的早期老化，使早期失效发生在产品出厂之前。

老化期：经过早期失效期后，电子产品处于相对稳定状态，在此期间，故障率较低，出现故障叫偶然故障，这一期间的长短与产品设计使用寿命有关，以“平均无故障工作时间”作为衡量指标。

衰老期：电子产品经过老化期后进入衰老期，在此期间，故障率持续上升，直到产品失效。

2. 电子产品整机电路常见故障

电子产品故障不外乎是由于电路设计、元器件、电路和装配工艺几个方面的因素引起的，常见故障有如下几种：

- 1) 焊接故障。由于焊接工艺不完善和虚焊造成焊点接触不良等故障。
- 2) 元器件失效。由于元器件筛选检查不严格，参数达不到要求或使用不当超负荷失效。由于维护不当，元器件受潮或发霉，元器件绝缘性降低等。
- 3) 装配安装故障。印制电路板布局不当使元器件与机壳或元器件间相碰短路，由于机械安装位置不当造成开关或接插件等接触不良。
- 4) 连接导线的故障。由于导线错接、漏焊，由于焊接连接导线时剥皮过多与其他器件相碰，或导线烫伤，多股芯线部分折断等。
- 5) 产品特有的故障。电路设计不当或允许元器件参数变动范围过窄，导致元器件参数

一变化,电路就不能正常工作。

6) 材料或构件老化的故障。由于橡胶或塑料材料制作的构件老化引起元器件故障。

7.1.2 整机电路故障查找处理的一般步骤

整机电路故障查找处理一般可分为以下几个步骤:

1. 对整机电路的一般了解

(1) 设备使用情况

整机和主要部件都有一个使用期限,实际工作时间超过使用期限,其性能指标将明显下降。长期搁置的设备,若保管不善,会因受潮霉变、氧化、受油烟和灰尘污染等而容易发生故障。另外,由于使用保养情况不同,整机出现衰老的时间也会有所差异。

(2) 设备工作环境

整机设备在相对环境较差的条件下工作,就比较容易发生故障。而发生故障的特点与设备使用的环境有明显的因果关系,如电视机在较潮湿的环境下工作,就容易产生高压打火现象,也很容易出现开机后图像模糊的故障现象。

(3) 故障发生的过程与检修病历

整机故障发生后,只能看到故障发生后所产生的故障现象,而看不到故障发生的过程,所以,必须向有关人员了解故障发生的前后经过。能了解到多一些线索,对故障查找有着很大的帮助。另外,还要了解整机设备以往的维修、维护情况,是否更换过重要部件与电子元器件,整机设备中被检修过的部位应是故障查找的重点区域。

(4) 准备好待检修整机设备的电路原理图等相关资料

整机产品一般都配有相关资料,检修时最好准备好待检修整机设备的电路原理图,若有条件的话,对使用说明书等有关技术文件也应详细阅读,以便掌握该整机设备的工作原理、操作步骤、测试程序、调整方法。搞清该整机设备的组成和各部分的功能,以及各功能单元电路之间的相互因果关系,掌握各种有关数据及波形,尤其是故障所涉及的功能单元电路基本工作原理与信号流程。

2. 观察与测试分析

(1) 观察与测试判断故障

首先对被检查电路表面状况进行直接观察,可在不通电和通电两种情况下进行。对于不能正常工作的电路,应在不通电情况下观察被检修电路,也可借助万用表进行检查。这时可能会发现变压器、电阻器烧焦,晶体管断极,电容器漏油,元器件脱焊,插件接触不良或断线等现象。若在不通电观察时未发现问题,则可进行通电观察。采取看、听、摸、摇的方法进行查找。

看:电路有无打火、冒烟、放电现象。

听:有无爆破声、打火声、闻有无焦味、放电臭氧味。

摸:集成块、晶体管、电阻器、变压器等有无过热表现。

摇:印制电路板、接插件或元器件等有无接触不良表现等。若有异常现象,应记住故障点并马上关断电源。

通过观察可能直接找出一些故障点,但许多故障点的表面现象下面可能隐藏着深一层的原因,必须根据故障现象,结合电路原理进行仔细分析和测试再分析,才能找出故障的根本

原因和真正的故障点。

(2) 判断故障发生的大致范围

整机设备是由若干个功能部件组合而成的,检修人员可依据故障现象,在理论的指导下,根据实践经验快速判断出待检修整机设备故障的大致范围,准确地界定出故障所涉及的相关单元电路。正确地判断出整机设备故障发生的位置,是快捷地完成设备故障查找及维修的第一步,是非常重要的一个环节。

查找故障部位这一步是故障查找过程中的关键步骤,可借助各种故障查找方法,利用直流通路和交流(信号)通路的检测,采用在线、离线的各种测量方法,查找出故障所在。

3. 排除故障

(1) 故障处理

故障处理常用四种方法:

1) 用焊接法排除故障:对于电路中的接点接触不良故障,如焊接点虚焊与脱焊或焊接不当等故障,这时需要对焊点检查补焊。

2) 用替代法排除故障:由于元器件本身引起的故障,如电阻器、电容器、晶体管、电感器损坏变质或特性不良及变压器绝缘击穿等,用替代法排除故障。

3) 用调整法排除故障:有些情况下,需要对电路中可调元器件进行调整,如微调电阻器、微调电容器、电感器的磁心等。

4) 用权宜法排除故障:有时一时没有可替代的配件,为了应急以保障电路主要功能,用权宜之计,如旁路直通、丢卒保车等方法。

(2) 故障处理顺序技巧

故障处理顺序有一定技巧,一般来说应按以下原则进行。

先易后难:当有多种故障时,应先处理简单容易处理的故障,后处理较难和复杂的故障。

先外后内:电子产品外部操作件如开关按钮等,最经常操作,比内部元器件容易损坏。

先机械后电气:机械部件经常动作比电子器件故障率高,机械部件的故障也比电子器件故障容易找。

先电源后其他:当整机不工作,指示灯不亮时,应先考虑电源电路是否损坏,因为当电源有故障时,势必影响到负载,而负载电源有故障却未必影响到电源。

先静态后动态,先空载后负载:先静后动,先空载后负载为了确保安全修复,避免越修越坏。

先一般后特殊:某些电子产品由于自身结构或性能原因,出现的故障有一般常见故障和少见特殊故障,处理顺序应先一般后特殊。

4. 试机观察

完成检修后,应通电按规定时间试运行,对电子产品进行检验和校准。首先进行操作检验,以验证产品所有功能有无问题,是否产生新故障。其次是性能测试和校准。检修时对损坏的元器件或零部件进行更换,对更换后的故障点应重新进行测量验证,必要时还要进行适当的调整,使设备达到应有的性能指标。

7.1.3 整机电路故障查找常用方法

整机电路故障查找的方法有多种,常用方法可归结为以下几种,对于某种实际产品而言,应根据需要灵活选择,组合应用。

1. 直观检查法

直观检查法是通过眼看、耳听、鼻闻和手触发现电子产品明显故障的方法,这是一种最简单最安全的方法。可分为不通电观察法和通电观察法两种。

2. 数值检测法

数值检测法是使用测量仪器测试电路的相关电参数,与产品技术文件提供的参数作比较,判断故障的一种方法。数值检测法是故障查找中使用最广泛、最有效的方法。根据测量的电参数特性又可分为电阻法、电压法、电流法。

3. 信号法

信号传输电路,包括信号获取(信号产生)、信号处理(信号放大、转换、滤波、隔离等)以及信号执行电路,在现代电子电路中占有很大比例。对这类电路的检测,关键是跟踪信号的传输环节。信号法在具体应用中,分为信号注入法和信号寻迹法两种形式。

信号注入法:就是从信号处理电路的各级输入端,输入已知的外加测试信号,通过终端指示器(例如指示仪表、扬声器、显示器等)或检测仪器来判断电路工作状态,从而找出电路故障。信号注入法的查找顺序,往往是从后级往前级查寻。

信号寻迹法:是信号注入法的逆方法。是针对信号产生和处理电路的信号流向寻找信号踪迹的检测方法。信号寻迹法是从电路输入端,加入一个符合要求的信号,然后通过终端指示器或检测仪器,从前向后级或从后向前级探测在哪一级没有信号,经分析来判断故障部位。图7-1所示是用示波器检测音频功率放大器示意图。

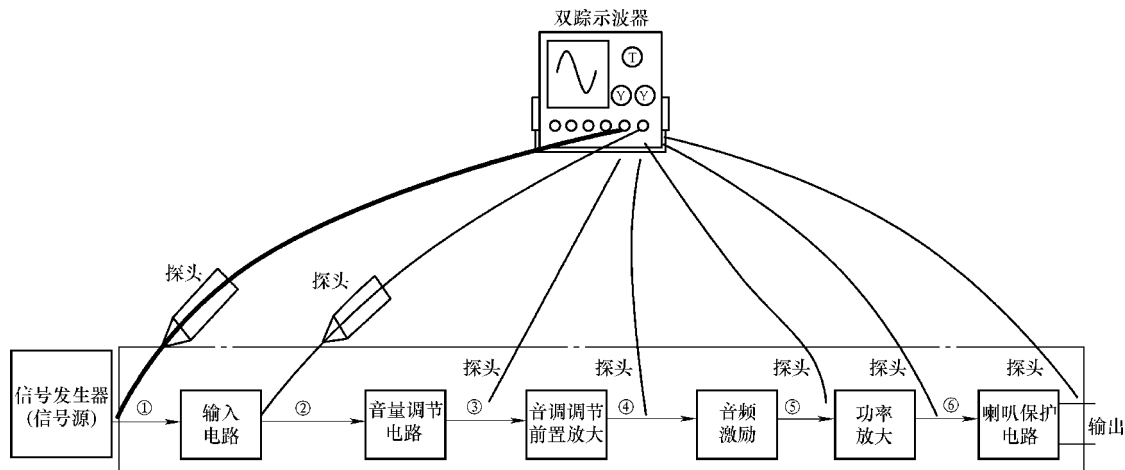


图 7-1 用示波器检测音频功率放大器示意图

4. 比较法

常用的比较法有整机比较、调整比较、旁路比较及排除比较四种方法。

整机比较法:将故障机与同类正常工作的机器比较,查找故障。

调整比较法:调整产品的可调元器件或改变某些现状,比较调整前后电路的变化情况来

查找故障。

旁路比较法：用适当容量和耐压的电容对电路某些部位进行旁路的比较检查法，适于电源干扰寄生振荡等故障。

排除比较法：插拔某些同类或试验组件，同时监测整机工作情况，直到查出故障。

5. 替换法

替换法是用规格性能相同的正常元器件、电路或部件，代替电路中被怀疑的相应部分，从而判断故障所在的一种检测方法。是电路检修中最常用、最有效的方法之一。实际应用中，按替换的对象不同，可有三种方式，即：元器件替换法、单元电路替换法、部件替换法。

6. 开路分割法

开路分割法是指将某一单元、负载电路或某只元器件开路，使整机分割成多个相对独立的单元电路，然后通过检测电阻、电流、电压的方法，来判断故障范围或故障点。例如，从电源电路上切断它的负载并通电观察，然后逐级接通各级电路测试，这是判断电源本身故障还是某级负载电路故障的常用方法。

7. 波形法

用示波器检查整机各级电路的输入与输出波形是否正常，是检修波形变换电路、振荡器及脉冲电路的常用方法。这种方法对于发现寄生振荡、寄生调制或外界干扰及噪声等引起的故障，具有独到之处。

8. 智能自动检测法

利用专门的硬件和软件，利用计算机强大的数据处理能力并结合现代传感器技术完成对电路的自动检测方法，是目前新技术的发展趋势。智能自动检测诊断其设计的基本思想是把计算机技术与人工测试维修技术融为一体，在计算机控制下，对被测电路施加激励，采集其响应，通过运算和数据处理，显示出诊断结果，为维修提供科学依据。

7.2 整机设备故障查找的注意事项

1. 不可盲目调换熔丝

测量在路电阻值，拆卸、焊接元器件或调换熔丝前必须切断电源。发现熔丝烧断，在未查清原因之前不可盲目调换熔丝。

2. 拆卸时要把拆卸过程记录下来

有些整机设备在检修时，需拆卸很多零部件，在拆卸时要把拆卸过程记录下来，装配时按逆过程安装。

3. 不要强行拆卸

检修中对精密加工的零部件、印制电路板、结构件不能硬掰硬撬，以防损坏。在了解了解拆卸方法之前，不要强行拆卸，以免导致永久损坏。

4. 更换的电子元器件应选择合理的元器件替代

更换的电子元器件要用原型号、同规格的替代。如找不到与原来一致的应严格按照代换原则选择合理的元器件替代。

5. 不可随意通电

对有冒烟、打火、焦味等故障现象的整机设备，查找中要格外小心，不可随意通电，特别注意在检查电源交流电路和高压电路部分时要小心。

6. 不允许盲目调节机内元器件

不允许盲目调节机内的可变电阻、可变电容、可变电感和其他可调元器件，也不允许随意调整机内的各种弹簧、弹簧片。

7. 对拨动过的元器件要恢复原状

在检查元器件时，对拨动过的元器件要恢复原状，以免使它们相碰发生短路或引起其他故障。

8. 整机设备检修后应检测其性能是否良好和稳定

检修过的整机设备，还应注意重新仔细调整一下，试看或检测其性能是否良好和稳定。

9. 要把导线束整理好恢复原样

检修结束，特别注意导线束不要靠近发热的零部件、电源部分、高压部分及锐利的边缘处，要把导线束整理好恢复原样。

10. 不要使测量仪器超过规定的测量最大值

在使用仪器设备时要遵守操作规范，正确使用仪器设备。如在用示波器、万用表或其他仪器进行检测时，要估测被检测点大致的电压幅度和信号的峰值，正确选择测量仪器的量程。

11. 注意防元器件温度太高烫伤手指

在检查元器件温度时，注意防元器件温度太高烫伤手指。

12. 确保人身安全

- 1) 检修人员在维修工作时脚下最好放置橡皮等一类的绝缘物。
- 2) 操作工作台的配电盘应安装漏电保护器。
- 3) 滤波电容器可能存有足以伤人的电荷，检修前先使滤波电容器放电。
- 4) 有些整机设备会产生各种射线，如 X 射线、强磁场和激光器发出的激光等，在维修过程中一定要严格遵守操作规程，以免在维修中自身受到伤害。

7.3 整机电路故障查找处理实例

7.3.1 简易音频信号发生器故障查找方法

1. 电路组成与工作原理

(1) 电路组成

简易信号发生器主要由直流稳压电源、音频振荡器、音频放大器等组成，如图 7-2 所示。

(2) 工作原理

简易信号发生器电路原理图如图 7-3 所示。直流稳压电源采用串联型稳压电路，音频振荡器采用 RC 正弦波振荡器，音频放大器由低频电压

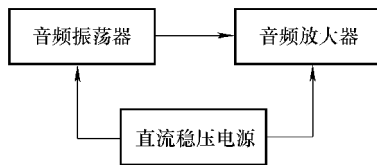


图 7-2 简易信号发生器组成框图

放大级和 OTL 功率放大级组成。

直流稳压电源输出 +6V，提供电源电压。RC 正弦波振荡器产生 320Hz 和 1kHz 两种音频信号，拨动 S_1 转换开关，使 C_1 、 C_3 变换为 C_2 、 C_4 即可切换振荡频率。VT₄ 及外围电路组成低频放大器，对信号进行电压放大，经 VT₅ 推动，VT₆、VT₇ 功率放大后输出。

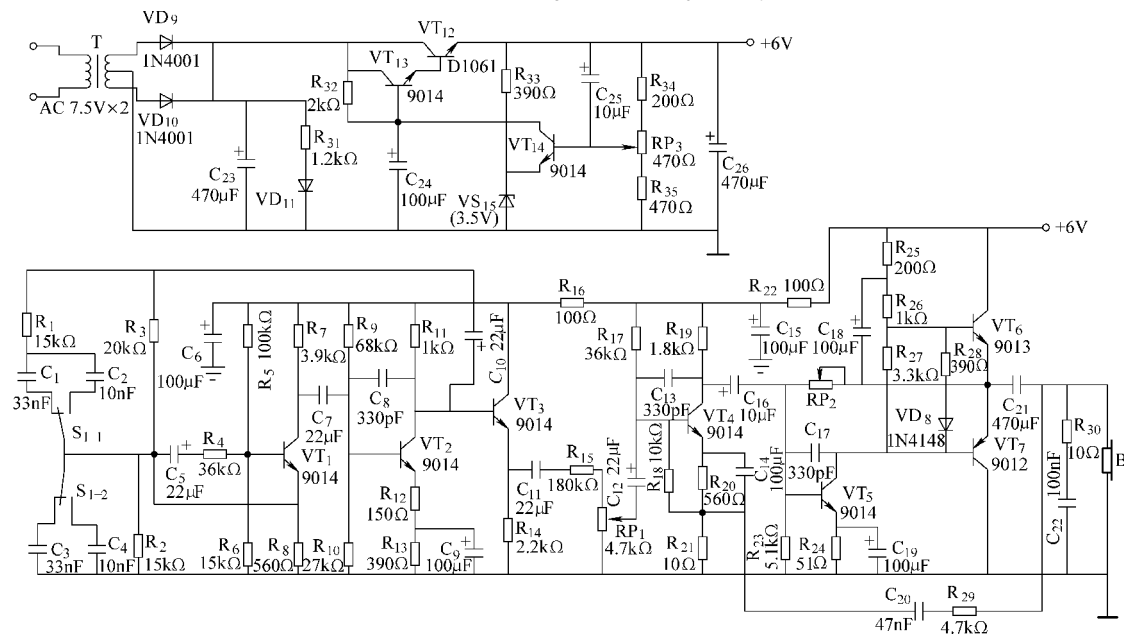


图 7-3 简易信号发生器电路原理图

2. 常见故障及查找方法

(1) 常见故障

- 1) 耳机中只有一种音频信号声。
- 2) 振荡器无音频信号输出。
- 3) 耳机中无声。

(2) 查找故障的一般程序

- 1) 耳机中只有一种音频信号声故障

查找，流程图如图 7-4 所示。

- 2) 振荡器无音频信号输出故障查找

流程图如图 7-5 所示。

- 3) 耳机中无声故障查找流程图如图 7-6 所示。

(3) 故障检修技巧

简易信号发生器故障检修技巧，以耳机中只有一种音频信号故障为例进行说明。

耳机中能听到一种音频信号，说明直流稳压电源、音频放大器电路工作正常。故障在音频振荡器的选频电路，这样根据电路原理分析可得：直接查找电路中 C_1 、 C_3 或 C_2 、 C_4 和 S_1 是否损坏，通过拨动 S_1 开关，判断 S_1 开关拨到何处电路工作不正常。根据前面介绍的检修技巧和查找耳机中只有一种音频信号声故障流程如图 7-4 所示，就能很快确定损坏的元器件，将电路修复。

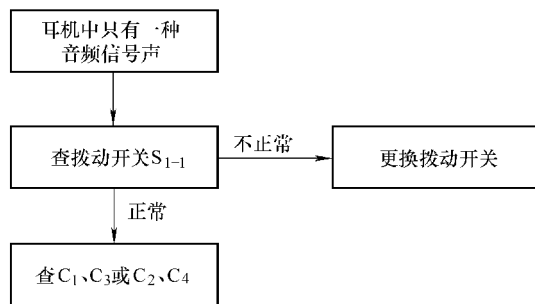


图 7-4 耳机中只有一种音频信号声故障查找流程图

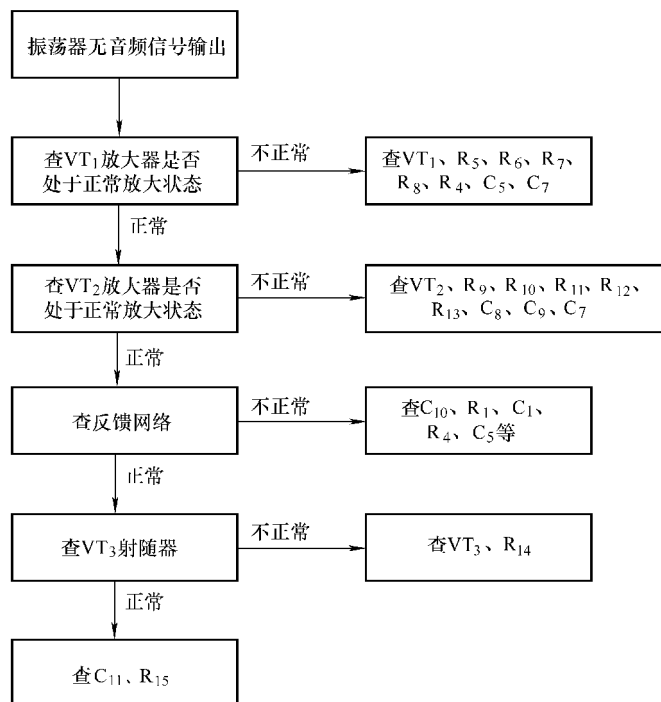


图 7-5 振荡器无音频信号输出故障查找流程图

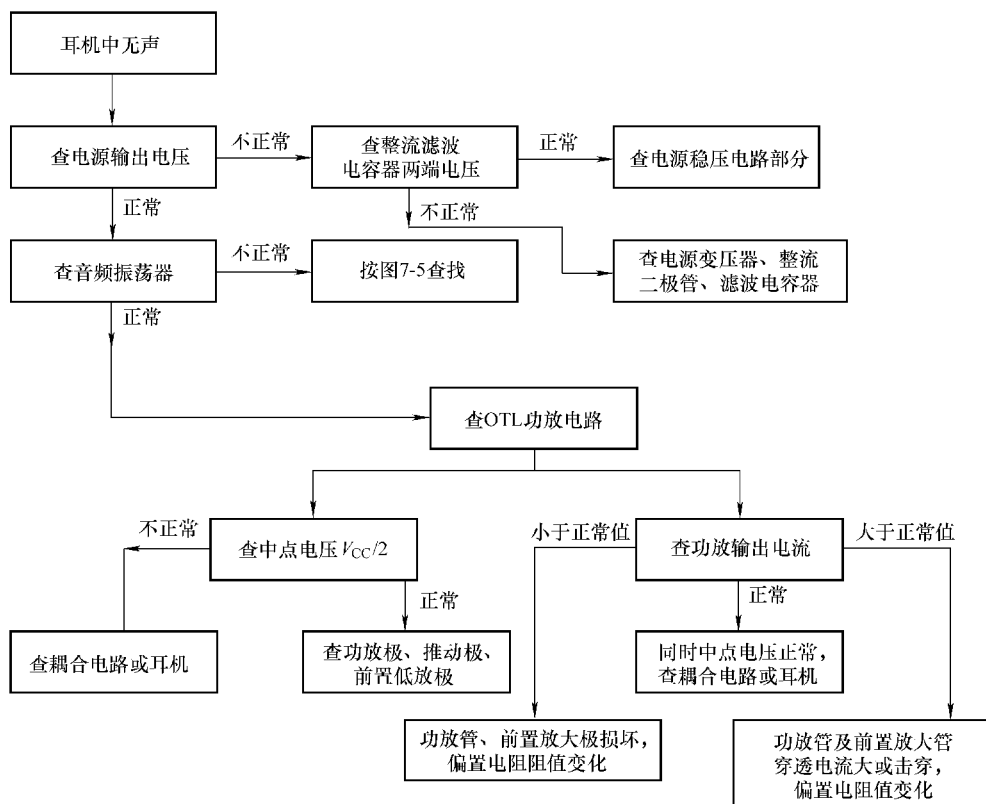


图 7-6 耳机中无声故障查找流程图

(4) 调整方法

- 1) 接通电源, 调整 RP_3 使直流稳压电源输出电压 V_{CC} 为 +6V, 然后切断电源将负载接上。
- 2) 接通电源, 将 RP_1 调至最小位置, 调整 RP_2 , 使功放电路的中点电压为 $V_{CC}/2$, 即 +3V。
- 3) 将 RP_1 调至音量适中, 耳机应发出音频信号的声音, 拨动 S_1 开关的两个位置, 可改变音频振荡器的频率, 耳机中的音频声应有明显的变化。
- 4) 用示波器可测试信号波形的变化情况。

7.3.2 遮光式计数器故障查找方法

1. 电路组成与工作原理

(1) 电路组成

遮光式计数器由直流稳压电源、光敏电阻器、电压放大器、倍压检波电路、电压比较器、计数器、译码器、显示电路等组成。遮光式计数器组成框图如图 7-7 所示。

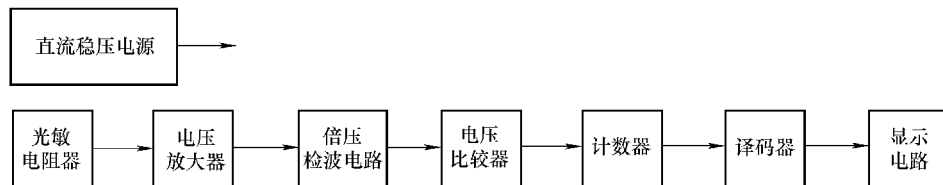


图 7-7 遮光式计数器组成框图

(2) 工作原理

遮光式计数器电路原理图如图 7-8 所示。电源变压器二次电压 7.5V 交流电经整流, 滤波成为约 9V 直流电, 再经 $VT_5 \sim VT_7$ 等组成的稳压电路稳压输出 5.5V 稳定直流电, 作为电路的工作电源。光电信号取自 R_7 光敏电阻器。当人、物遮住光敏电阻器表面的光线时产生的光电信号加到 IC_1 ③脚, 由运放 IC_{1A} 放大后从①脚输出, 经 C_4 、 VD_9 、 VD_{10} 构成的二倍压检波电路, 在 C_5 两端得到双倍于信号峰值的电压。这个电压使 IC_{1B} 同相端⑤脚电压超过⑥脚, IC_{1B} ⑦脚输出高电平, 加到三位 BCD 计数器 IC_3 (CD4553) 的时钟端。同时经 R_{13} 使发光管 VL_{11} 发光。

当人、物移开, 使光敏电阻器再次得到光线时, IC_{1A} ①脚无信号输出, 这时 C_4 起隔离作用, C_5 通过 R_{12} 迅速放电。 C_5 两端电压下降使 IC_{1B} 反相端⑥脚电位比同相端⑤脚高, ⑦脚输出低电平, 发光二极管 VL_{11} 截止、熄灭。同时 IC_{1B} ⑦脚由高电平跳变成低电平, IC_3 计数器在时钟信号下降沿进行加 1 计数值。计数器计数值由其输出端 $Q_0 \sim Q_3$ 输出到七段译码器 IC_2 CD4511 的输入端 ABCD, 经 IC_2 译码、驱动, 由 IC_2 的 A ~ G 端输出相应各笔画信号加到数码管 IC_4 、 IC_5 、 IC_6 输入端, 显示出计数值。

三位 BCD 计数器采用分时控制方式, 锁存显示端分别与计数器的个、十、百位计数器相对应。例如: 当显示个位数值时 IC_3 ②脚为低电平, VT_{14} 导通, 共阴数码管 IC_6 显示计数值。这样三位计数值轮流动态显示。由于循环周期很短, 视觉效果是同时亮着的 3 个数字。计数禁止端⑩脚接地, 使 IC_3 始终保持计数功能。⑪脚亦接地, 使时钟输入为下降沿脉冲有

效。计数器清零端 MR⑬脚平时接地, 不许清零。当需要清零时, 按下按钮 S_1 , 电源电压经 S_1 加到复零端, 使计数器复零。 $R_{15} \sim R_{21}$ 为数码管限流电阻。

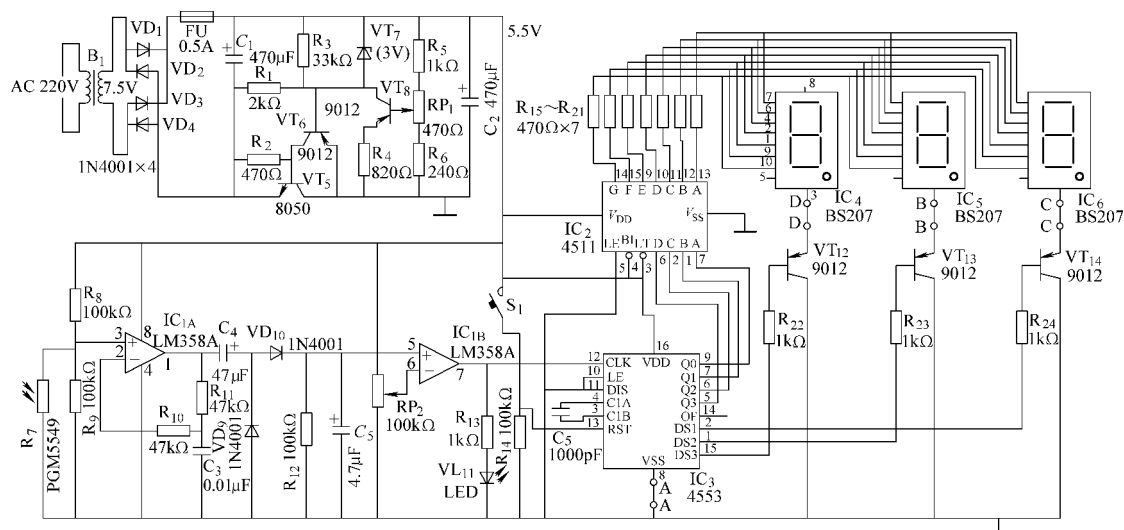


图 7-8 遮光式计数器电路原理图

2. 常见故障及查找方法

(1) 常见故障

- 1) 三位数码管中十位数不能显示, 故障查找流程如图 7-9 所示。
- 2) 遮光式计数器不能计数, 故障查找流程如图 7-10 所示。

(2) 遮光式计数器故障查找的一般程序

- 1) 三位数码管中十位数不能显示故障查找程序。

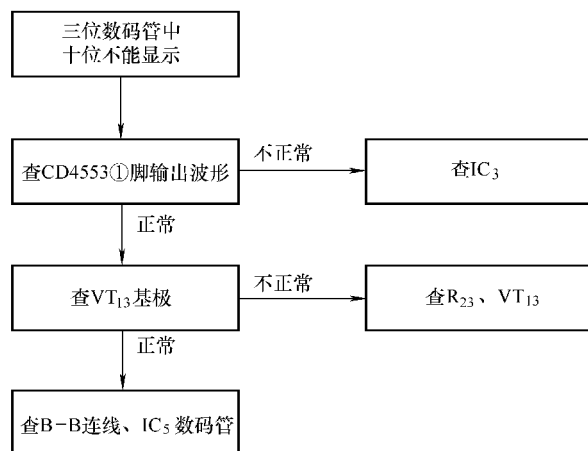


图 7-9 三位数码管中十位数不能显示故障查找流程图

- 2) 遮光式计数器不能计数故障查找程序。

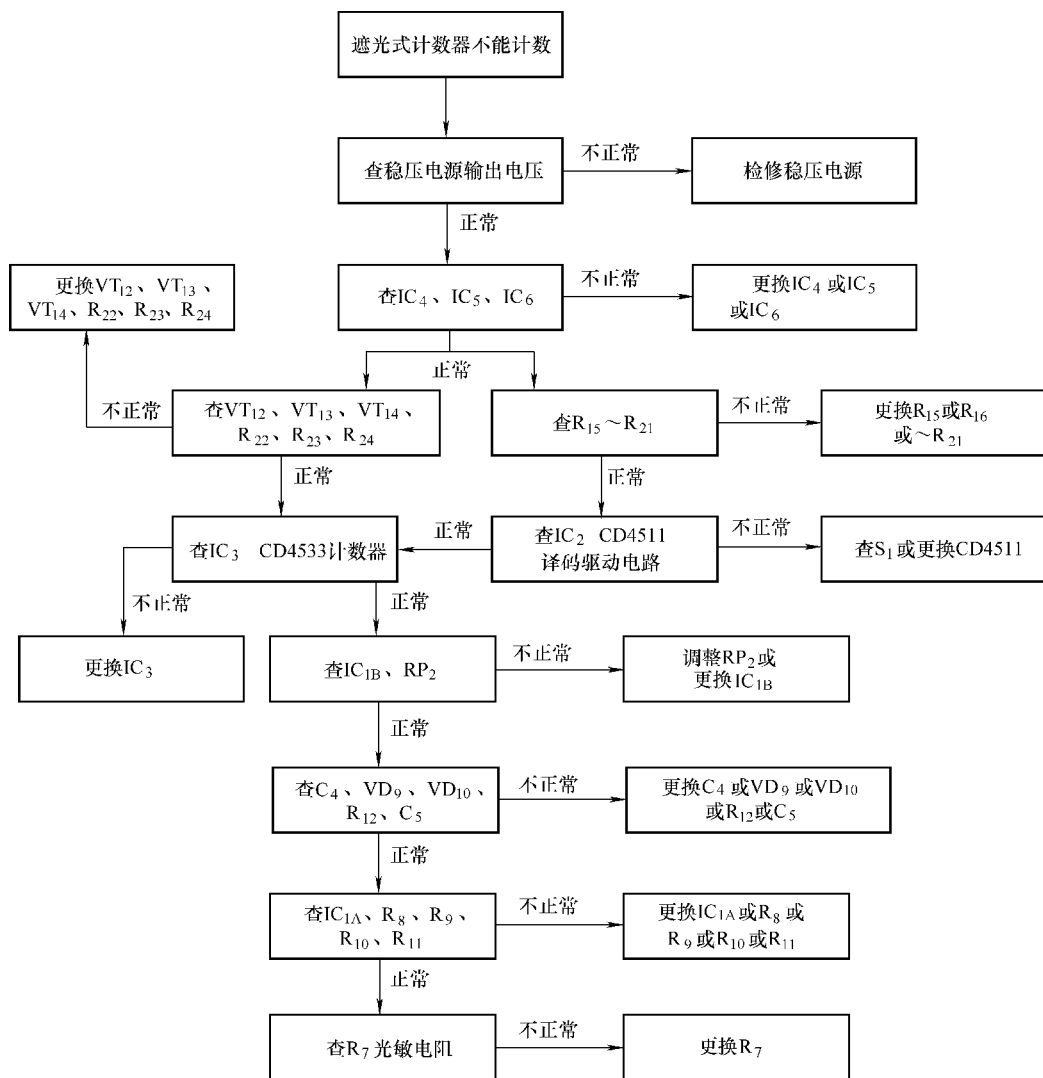


图 7-10 遮光式计数器不能计数故障查找流程图

(3) 故障检修技巧

遮光式计数器故障检修技巧，以三位数码管中十位数不能显示故障为例进行说明。

遮光式计数器出现三位数码管中十位数不能显示故障，可首先把 IC₅ 的③脚直接（通过镊子或导线）与地连接，若数码管能显示，说明数码管良好。然后利用在线测量的方法，对 VT₁₃、R₂₃、B-B 连线进行测量，不正常更换。如正常则检查 IC₃ 4553 集成电路，损坏更换即可。

(4) 调整方法

1) 装上熔丝后接通电源，调整 RP₁ 使稳压电源输出 $5.5\text{V} \pm 0.2\text{V}$ 。

2) 光敏电阻器在有自然光线的情况下，调整 RP₂，使发光管 VL₁₁ 发光，然后再将 RP₂ 的中心头向正方向转动，使 VL₁₁ 发光管刚好熄灭。这时计数器会自动进 1，仔细调整 RP₂ 使计数器每计数一次的时间小于 0.5s。

3) 上述调试正常后,按下清零按钮 S_1 ,这时数码管显示“000”,这表示调试结束可以投入使用。用手遮住光敏电阻器表面的光线然后再移开手,每遮光一次计数器就能自动加1。计数速度达每秒2次以上。

7.3.3 电话机电路故障查找方法

检修电话机最重要的步骤通常有三步:

第一步,通过试机观察故障的现象和特征。

第二步,分析与判断故障的范围。

第三步,根据电路中各元器件的作用、信号通路及检修经验,有针对性地查找和检测故障的具体部位和元器件,然后更换好的元器件或进行相应的处理,使电话机恢复正常工作。

下面以 HA8988 (2) P/TSD 型多功能电话机为例介绍。

1. 电路组成与电路原理图

(1) 电路组成框图

HA8988 (2) P/TSD 型多功能电话机电路主要由振铃电路、电源供给电路、拨号电路和通话电路四部分组成,其电路组成框图如图 7-11 所示。

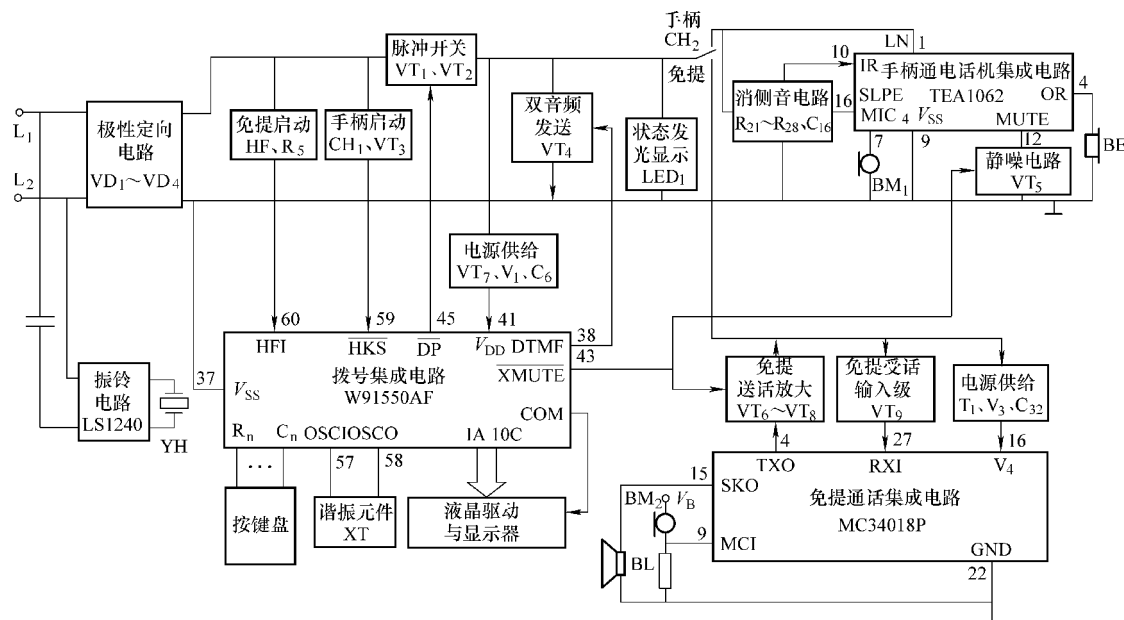


图 7-11 HA8988 (2) P/TSD 电话机电路组成框图

(2) 电路原理图

HA8988 (2) P/TSD 型多功能电话机电路原理图如图 7-12 所示。

1) 振铃电路。振铃电路由集成电路 N_1 和压电扬声器 YH 等组成。

2) 拨号电路。拨号电路的核心部件是脉冲/双音频拨号集成电路 W91550AF, 相关的外围电路有电源供给、按键盘、手柄起动、免提起动、脉冲发送、双音频发送电路及液晶显示器。

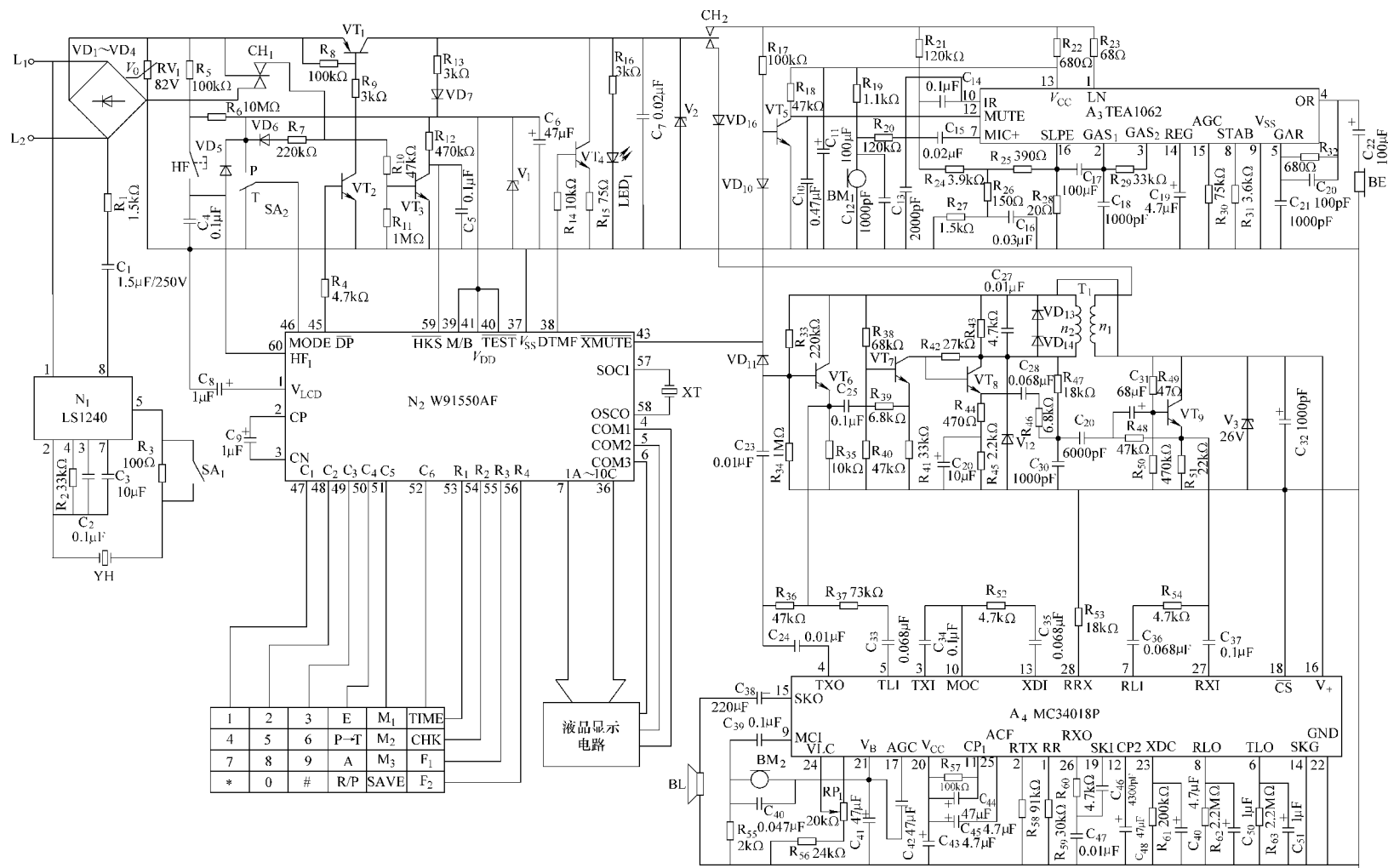


图 7-12 HA8988 (2) P/TSD 型电话机电路原理图

3) 手柄通话电路。手柄通话电路的核心部件是 TEA1062 芯片, 它与外围元器件组成的通话电路包含有电源供给、送话放大、受话放大、自动增益控制、拨号静噪和消侧音等。

4) 免提通话电路。免提通话电路的核心元器件是集成电路 MC34018, 手柄通话与免提通话的切换是由叉簧开关 CH_2 控制, CH_2 的上触点闭合时接通手柄通话电路, CH_2 的下触点闭合则接通免提通话电路。

2. 常见故障及检修方法

(1) 铃不响

如果通话和拨号均正常, 铃不响的主要原因有:

- 1) 铃输入电路不正常。
- 2) 振铃集成电路损坏。
- 3) 输出电路不正常。
- 4) 话机输入回路短路。

(2) 响铃只有单音

该故障大多是由于频率切换电容 C_2 失效或开路引起的, 只有少数情况是由于 LS1240 损坏而引起的。

(3) 铃声小

该故障一般为压电扬声器质量不良或 LS1240 芯片损坏。

(4) 能正常通话, 但脉冲与双音频均不能拨号

该故障一般是拨号振荡电路不工作或拨号集成电路本身损坏所致。

(5) 双音频能拨号, 但脉冲无法拨号

检查拨号集成电路的脉冲输出端④脚是否虚焊, R_4 、 R_9 、 VT_1 、 VT_2 引脚及相关印制电路是否开路。

若脉冲发号时受话器有“喀喇”声, 但拨号后接不通对方, 应检查 VT_1 是否良好、压敏电阻器 RV_1 是否耐压正常。

(6) 脉冲能拨号, 但双音频无法拨号

首先试将拨号集成电路的④脚 (MODE) 用导线对地短路, 若双音频拨号恢复正常, 则表明拨号选择开关不良或连接线断。

其次应检查⑧脚 (DTMF) 有无虚焊, 检查双音频发送电路 VT_4 、 R_{14} 和 R_{15} 是否良好, 相关的印制铜箔线是否断裂。

(7) 手柄摘机, 话机不能工作

若将拨号集成电路⑨脚 (HKS) 用导线对地短路, 拨号能恢复正常, 则表明是起动控制电路不良。

若将拨号集成电路的⑨脚用导线对地短路, 拨号不能恢复正常, 则通常是集成电路的电源供给部分出故障。

(8) 免提摘机失效

这是由于免提触发电路不正常引起的故障, 具体原因为: 免提按键开关接触不良或连接线断路, R_5 开路及 C_4 短路。

(9) 免提自动进入通话状态, 电话按免提键后电话挂不断

该故障一般是脉冲发送电路的放大管 VT_2 及开关管 VT_1 击穿或漏电所致, 此时 VT_1 无法

控制关断电源主回路,使之出现免提自摘机。检修时只要更换 VT_1 、 VT_2 ,故障一般就可排除。

(10) 拨号正常,但手柄通话时无法送受话

手柄不能送话和受话,故障一般出在通话集成电路 TEA1062 的以下两部分电路:

- 1) 集成电路电源异常。
- 2) 静噪控制电路异常。

(11) 手柄受话正常,但不能送话

用小螺钉旋具对 TEA1062 的⑦脚进行碰触干扰,受话器中有“喀咧”声,则表明故障范围在送话器输入回路上,应检查手柄的话绳是否断路,送话器的偏置电阻 R_{19} 、信号耦合元件 R_{20} 、 C_{15} 是否开路,替换新的送话器,以确定其质量是否良好。

对 TEA1062 的⑦脚进行碰触干扰,受话器中无“喀咧”声,检查⑭脚的外接电容 C_{19} 若无短路,一般为通话集成电路损坏,应予替换。

(12) 手柄通话时,受话无声

引起无受话故障的主要原因有:

- 1) 受话输出电路不正常。
- 2) 受话输入电路不正常。
- 3) 集成电路损坏。

(13) 手柄通话正常,但免提不能送受话

该故障的主要原因有:

- 1) MC34018 的供电不正常。
- 2) 去耦电容漏电。
- 3) 免提通话集成电路损坏。

(14) 免提不能受话

该故障的范围在免提受话通路和受话检测电路上,通常有以下原因:

- 1) 免提受话输入电路不正常。
- 2) 受话功率放大器有问题。
- 3) 接收检测电路不正常。
- 4) 增益控制电路不正常。

(15) 免提状态无送话声音

该故障的范围在免提送话通路和送话检测电路上,通常有以下原因:

- 1) 送话输入电路有故障。
- 2) 发送衰减器有故障。
- 3) 送话检测电路不正常。
- 4) 送话输出电路不正常。

(16) 双方通话时,免提受话声音出现阻塞、不流畅

该故障是由于芯片的发送状态保持时间过长所致,而发送状态保持时间是与第⑥脚的外接的 R_{63} 、 C_{51} 时间常数有关。应检查 R_{63} 有无开路, C_{51} 容量是否偏大。通常将 R_{63} 阻值调小至 $1.8 \sim 2M\Omega$ 故障即可排除。

(17) 双方通话时,免提送话声音出现阻塞、不流畅

该故障是由于芯片的接收状态保持时间过长所致，而接收状态保持时间是与第⑧脚的外接 R_{62} 、 C_{50} 时间常数有关。应检查 R_{62} 有无开路， C_{50} 容量是否偏大。通常将 R_{62} 阻值调小至 $1.8 \sim 2\text{M}\Omega$ 故障即可排除。

(18) 液晶显示数码少字段

该故障是由于拨号集成电路与显示器的连接线断开所致，应检查集成电路④~⑥脚的端口是否虚焊或开路。

7.3.4 开关电源故障查找方法

任何电子设备，电源因其要提供整机的电源供应，负担最重，所以故障率总是相当高的。开关电源的检修不像线性电源那么直观，电路的任一个小环节如振荡、稳压、保护、负载等出现异常，都会使电路出现各种各样的疑难故障现象。

开关电源电路提供变频器的整机控制用电，是变频器正常工作的先决条件。变频器应用的开关电源电路，为直-交-直型的逆变电路，是一种电压和功率的变换器，将直流电压和功率转换为脉冲电压，再整流成为另一种直流电压。输入、输出电压由开关变压器相隔离，开关变压器起到功率传递、电压/电流变换的作用。对复杂变频器的开关电源电路“化简”，可以简化为振荡回路、稳压回路、保护回路和负载回路等部分。某变频器的开关电源电路的简化电路如图 7-13 所示。

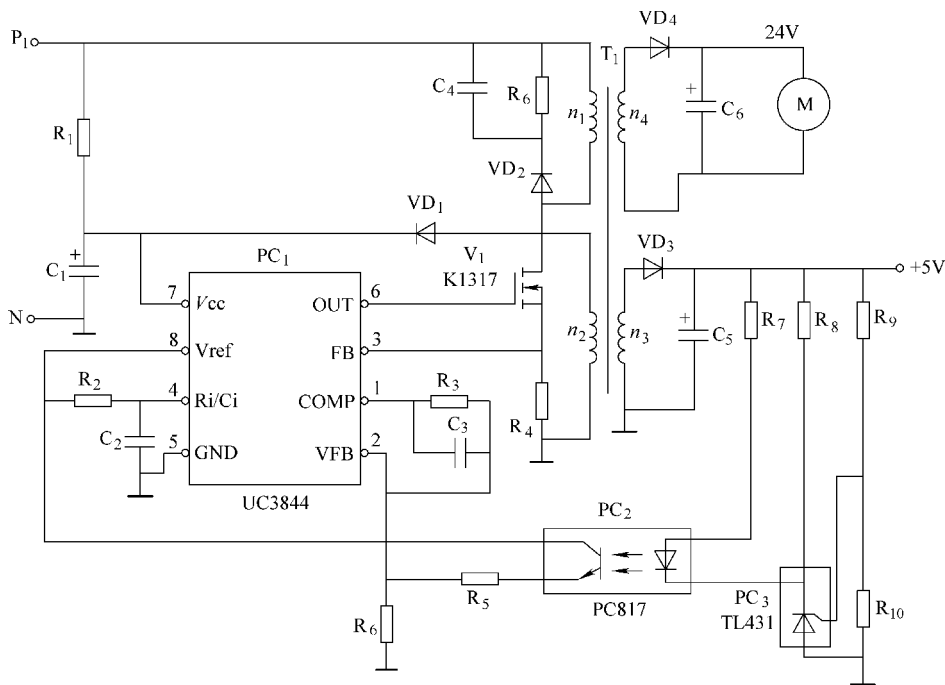


图 7-13 某变频器的开关电源的简化电路

1. 电路组成与电路原理图

如图 7-13 所示的电路,开关电源电路可以包括以下 4 个基本的回路。

(1) 振荡回路

开关变压器 T_1 的主绕组 N_1 、开关管 Q_1 的漏 - 源极、取样的接地电阻 R_4 为电源工作电流的通路；电阻 R_1 提供了起动电流；自供电绕组 N_2 、整流二极管 VD_1 、 C_1 形成振荡芯片的供电电压。这 3 个环节的正常运行，是电源能够振荡起来的先决条件。UC3844 芯片即 PC_1 的④脚外接定时元件 R_2 、 C_2 和 PC_1 芯片本身，也构成了振荡回路的一部分。

(2) 稳压回路

绕组 N_3 、 VD_3 、 C_5 等接的是 +5V 电源， $R_7 \sim R_{10}$ 、 PC_3 和 R_5 、 R_6 等构成了稳压控制回路。当然， PC_1 芯片和①、②脚外围元件 R_3 、 C_3 ，也是稳压回路的一部分。

(3) 保护回路

PC_1 芯片本身和③脚外围元件 R_4 构成过电流保护回路； N_1 绕组上并联的 VD_2 、 R_6 、 R_4 构成了开关管的反压吸收保护电路。实质上稳压回路的电压反馈信号（稳压信号），也可看作是一路电压保护信号。但保护电路的功能并不仅限于保护电路本身正常工作，原因是保护电路的起动和控制往往是由于负载电路的异常所引起。

(4) 负载回路

N_3 、 N_4 二次绕组及后续电路，均为负载回路。负载回路的异常，会牵涉到保护回路和稳压回路，使两个回路做出相应的保护和调整动作。

振荡芯片本身主要构成了前 3 个回路，如果是芯片损坏，这 3 个回路都会停止正常工作。对这 3 个或 4 个回路的检修，是在芯片本身正常的前提下进行的。另外，要用全局观念和系统思路来进行故障判断，透过现象看本质。如停振故障，也许并非由振荡回路元件损坏所引起，有可能是稳压回路故障或负载回路异常，导致了芯片内部保护电路起控，而停止了 PWM 脉冲的输出，并不能将各个回路完全孤立起来进行检修。

2. 常见故障及检修方法

对于一般性故障，故障排查法是有效的，但不一定百分之百的准确。若检查振荡回路、稳压回路、负载回路都无异常，电路输出电压低，或间歇振荡或干脆毫无反应，这些情况都有可能出现。先分析一下电路故障的原因，以帮助尽快查出故障元器件。

(1) 开关电源电路三种典型电压故障现象

开关电源电路常表现为以下三种典型故障现象。

1) 次级负载供电电压都为 0V。变频器上电后无反应，操作显示面板无指示，测量控制端子的电压为 24V 和 0V。检查开关电源输入的 530V 电压正常，可判断为开关电源故障。

检修步骤如下：

① 先用电阻测量法测量开关管 Q_1 有无击穿短路现象，电流取样电阻 R_4 有无开路现象。电路的易损坏元器件为开关管，当其损坏后， R_4 因受冲击而阻值变大或断路。由于开关管 Q_1 的栅极串联电阻，振荡芯片往往也受强电冲击而损坏，必须同时更换。还需要检查负载回路有无短路现象。

② 更换损坏件，或未检测到有短路元器件，可进行上电检查，进一步判断故障是出在振荡回路还是稳压回路。

检查方法：

a. 先检查起动电阻 R_1 有无断路。如果是正常的，用 18V 直流电源直接送入 UC3844 的⑦、⑤脚，为振荡电路单独上电。测量的⑧脚应有 5V 电压输出；⑥脚应有 1V 左右的电压输出。检查的电路如果正常输出说明振荡回路基本正常，故障在稳压回路。

若测量⑧脚有5V电压输出,但⑥脚电压为0V,查⑧、④脚外接R、C的定时元件,⑥脚的外围电路。若测量⑧脚、⑥脚电压都为0V,则UC3844振荡芯片坏掉,需更换。

b. 对UC3844单独上电,短接PC₂输入侧,若电路起振,说明故障在PC₂输入侧的外围电路;电路仍不起振,查PC₂输出侧电路。

2) 开关电源出现间歇振荡,能听到“打嗝”声或“吱吱”声,或听不到“打嗝”声,但操作显示的面板时亮时熄。

这是因负载电路异常,导致电源过载,引发过电流保护电路动作的典型故障特征。负载电流的异常上升,引起一次绕组激磁电流的大幅度上升,在电流采样电阻R₄形成1V以上的电压信号,使UC3844内部电流检测电路起控,电路停振;取样电阻R₄上的过电流信号消失,电路又重新起振,如此循环往复,电源出现间歇振荡。

检查方法:

① 测量供电电路C₅、C₆两端电阻值,如有短路直通现象,可能为整流二极管VD₃、VD₄有短路;观察C₅、C₆外观有无鼓顶、喷液等现象,必要时拆下检测;供电电路如无异常,可能为负载电路有短路故障元器件。

② 检查供电电路无异常,上电,用排除法对各路供电进行逐一排除。如拔下风扇供电端子,开关电源工作正常,操作显示面板正常显示,则为24V散热风扇已经损坏;拔下+5V供电端子或切断供电铜箔,开关电源正常工作,则+5V负载电路有损坏元器件。

3) 负载电路的供电电压过高或过低。

① 开关电源的振荡回路正常,问题出在稳压回路。输出电压过高,稳压回路的元器件损坏或低效,使反馈电压幅度不足。

检查方法:

a. 在PC₂输出端并联10kΩ电阻器,输出电压回落。说明PC₂输出侧稳压电路正常,故障在PC₂本身及输入侧电路。

b. 在R₇上并联500Ω电阻器,输出电压有显著回落。说明光耦合器PC₂良好,故障为PC₃低效或PC₃外接电阻元件变值。反之,则为PC₂不良。

② 负载供电电压过低,有3个故障可能:负载过重,使输出电压下降;稳压回路元器件不良,导致电压反馈信号过大;开关管低效,使开关变压器储能不足。

修复方法:

a. 将供电支路的负载电路逐一解除,不要以断开该路供电整流管的方法来脱开负载电路,尤其是接有稳压反馈信号的+5V供电电路一稳压回路不可断开。如果如此操作,反馈电压信号的消失,会导致各路输出电压异常升高,而将负载电路大片烧毁。

判断是否由于负载过重引起电压回落。如切断某路供电后,电路回升到正常值,说明开关电源本身正常,检查负载电路;若输出电压低,检查稳压回路。

b. 检查稳压回路的电阻元件R₅~R₁₀,无变值现象;逐一替换PC₂、PC₃器件若工作正常,说明替换器件低效,导通内阻变大。

c. 代换PC₂、PC₃器件若无效,故障可能为开关管低效,或开关管激励电路有问题,也不排除UC3844内部输出电路低效。更换优质的开关管和振荡芯片UC3844。

(2) 开关电路不起振故障现象

电路的间歇振荡或停振的原因不在起振回路和稳压回路时,电路的某些原因可导致电路

不起振。

1) 主绕组 V 两端并联的 R、D、C 电路为尖峰电压吸收网络, 提供开关管截止期间, 存储在变压器中磁场能量的泄放通路 (开关管的反向电流通路), 保护了开关管不被过电压击穿。当 VD_2 或 C_4 严重漏电或击穿短路时, 电源相当于加上了一个很重的负载, 使输出电压严重回落, UC3844 供电不足, 内部欠电压保护电路起控, 导致电路进入间歇振荡。因元器件并联在阳绕组上, 短路后不易测出, 往往被忽略。

2) 有的开关电源有输入供电电压的 (电压过高) 保护电路, 一旦电路本身故障, 使电路出现误过电压保护动作, 电路停振。

3) 电流采样电阻性能不良, 如引脚氧化、碳化或阻值变大时, 导致压降上升, 出现误过电流保护, 使电路进入间歇振荡状态。

4) 自供电绕组的整流二极管低效, 正向导通内阻变大, 电路不能起振, 更换进行测试。

5) 开关变压器因绕组发霉、受潮等, 品质因数降低, 用原型号变压器代换进行测试。

6) R_1 起振电路参数变异, 但测量不出异常, 或开关管低效, 此时查电路无异常, 但就是不起振。修理方法: 变动一下电路既有参数和状态, 试减小 R_1 的电阻值 (不宜低于 $200k\Omega$), 电路能起振。若无效, 更换开关管、UC3844 开关变压器再进行测试。

(3) 电路参数的变异, 使得输出电压总是偏高或偏低一点, 达不到正常值

检查不出电路和元器件的异常, 几乎换掉了电路中所有元器件, 电路的输出电压值仍不正常, 有以下几种原因:

1) 晶体管低效, 如晶体管放大倍数降低, 或导通内阻变大, 二极管正向电阻变大, 反向电阻变小等。

2) 用万用表不能测出电容器的相关介质损耗、频率损耗等。

3) 晶体管、芯片器件的老化和参数漂移, 如光耦合器的光传递效率变低等。

4) 电感元件, 如开关变压器的 0 值降低等。

5) 电阻元件的阻值变异, 但不明显。

调整一下电路参数, 使输出电路达到正常值, 达到其稳定工作状态。修理方法 (元件数值的轻微调整) 如下:

1) 输出电压偏低: 增大或减小 R_6 电阻值; 减小 R_7 、 R_8 电阻值或加大 R_9 电阻值。

2) 输出电压偏高: 减小 R_5 或增大 R_6 电阻值; 增大 R_7 、 R_8 电阻值或减小 R_9 电阻值。

上述调整的目的, 是在换掉低效元器件后进行电路彻底检查, 为的是调整稳压反馈电路的相关增益, 使振荡芯片输出的脉冲占空比变化, 开关变压器的储能变化, 使二次绕组的输出电压达到正常值, 电路进入一个新的正常的平衡状态。

检修中需注意的问题: 在开关电源检查和修复过程中, 应切断三相逆变电路 IGBT 模块的供电, 以防止驱动供电异常, 造成 IGBT 模块的损坏。在修理输出电压过高的故障时, 更要切断 +5V 对 CPU 主板的供电, 以免异常或高电压损坏 CPU, 造成 CPU 主板报废。不可使稳压回路中断, 这将导致输出电压异常升高。开关电源电路的二极管是用于整流和用于保护的, 都为高速二极管或肖基特二极管, 不可用普通 IN4000 系列整流二极管代用。开关管损坏后, 最好换用原型号的。

7.4 整机电路故障查找实训

1. 实训要求

了解 HA998 II P 型电话机故障现象, 学习整机电路故障查找步骤与方法。

2. 实训任务

- 1) 编写 HA998 II P 型电话机常见故障查找程序。
- 2) 练习 HA998 II P 型电话机常见故障查找处理方法。
- 3) 看懂 HA998 II P 型电话机原理图。

HA998 II P 型电话机是一种全电子脉冲按键电话机, 它具有全电子化自动音量控制、电子式双音频振铃、增音及闭音功能和重拨、暂停等功能。该电话机的原理图如图 7-14 所示。

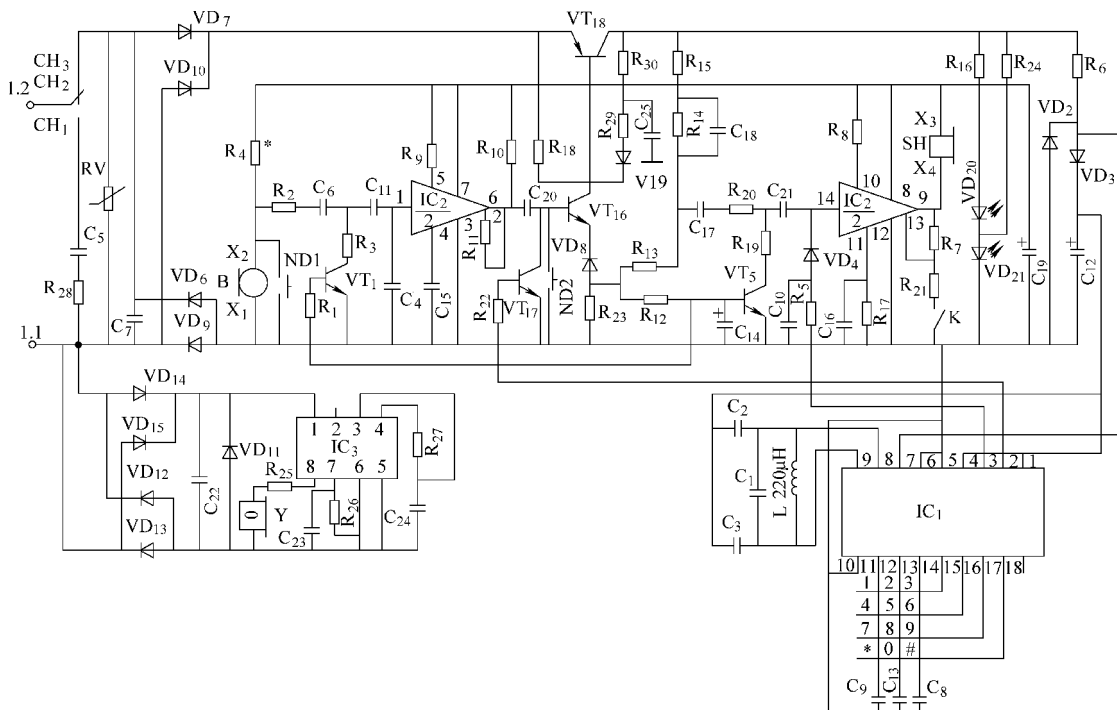


图 7-14 HA998 II P 电话机的原理图

3. HA998 II P 型电话机常见故障

- 1) 有振铃声, 但不能拨号与通话。
- 2) 收不到振铃声或振铃声不正常。
- 3) 我方听到对方讲话, 但对方听不到我方讲话。
- 4) 听不到对方的讲话。
- 5) 某些按键发不出相应号码。
- 6) 能正常进行通话, 但发号功能完全失效。

参 考 文 献

- [1] 解相吾,解文博.电子产品开发设计与实践教程 [M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [2] 马全喜.电子元器件与电子实习 [M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 杨海祥.电子电路故障查找技巧 [M]. 北京:机械工业出版社,2012.
- [4] 张大彪.电子技术技能训练 [M]. 北京:电子工业出版社,2009.

机械工业出版社部分相关同类书

书号	书 名	定价
42134	电子常用电子线路随身学	39.9
42006	电工实用电路轻松看懂	39.8
41924	9 天练会电子电路检测	49.8
41870	9 天练会电子电路识图	49.8
41565	9 天练会电子元器件检测	49.8
41548	万用表测量电子元器件技能速成	49.8
40341	最新常用电子管速查手册 (第2版)	59.8
39572	电子元器件检测技能速练速通	44.8
39531	万用表检修家电维修技能速练速通	44.8
39474	神奇的电阻器	15
39471	神奇的电子元器件	15
39470	神奇的晶体三极管	15
38076	变频器故障信息与维修代码速查手册	49.8
37946	中央空调维修技能“1对1”培训速成	45
37408	电子产品工艺与装配技能实训	34.8
36228	投影仪维修技能“1对1”培训速成	39.8
36227	新型元器件快学巧用必问精答	35
35300	机顶盒装调与维修技能“1对1”培训速成	35
35288	数字平板电视机维修技能“1对1”培训速成	45
34961	电话机/传真机维修技能“1对1”培训速成	35
34960	新型打印机维修技能“1对1”培训速成	35
34959	数码复印机维修技能“1对1”培训速成	35
32888	生活电子制作图说精解	49.8
32744	实用电路速学速用宝典	99
32493	新编常用集成电路及元器件使用手册	39.8
31966	最新常用 IGBT 速查手册	47
31651	最新常用保护元器件速查手册	44
31467	常用电路的分析方法与技巧	36
30677	电工电子元器件的选择与测量	19.8
30237	汽车电子电气元器件的检测与修理	27
30214	最新易混微小贴片集成电路识读与应用速查手册	58
29095	电子元器件的选用与检测即学即用	45
29079	新编实用电子电路 208 例	25
28670	家用电器单元电路识图与故障分析	22
28570	液晶屏代换与组装速查手册	41
28447	学电子元器件从入门到成才	29.8
23670	精讲电气工程制图与识图	28
19672	现代传感器应用技术	28

编著图书推荐表

姓名		出生年月		职称/职务		专业	
单位				E - mail			
通讯地址						邮政编码	
联系电话			研究方向及教学科目				
个人简历（毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文）							
您近期的写作计划有：							
您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有：							

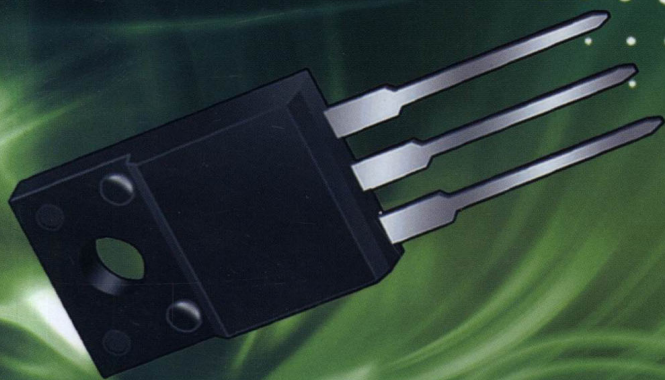
地址：北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社，电工电子分社

邮编：100037 网址：www.cmpbook.com

联系人：张俊红 电话：13520543780/010 - 88379768 010 - 68326336（传真）

E - mail：buptzjh@163.com（可来信索取本表电子版）

DIANZI YUANQIJIAN JICHU JI DIANZI SHIYAN SHIXUN



地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 电子技术

ISBN 978-7-111-42645-5

策划编辑◎张俊红 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-42645-5



9 787111 426455 >

定价: 45.00元