



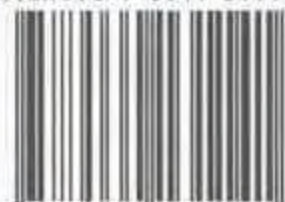
职业技能教材书系

# 巧识电子线路图

吴桂秀 编著

浙江科学技术出版社

ISBN 978-7-5341-3114-1



9 787534 131141 >

定 价：34.80元



职业技能教材书系

# 巧识电子线路图

QIAOSHI DIANZIXIANLU TU

吴桂秀 编著

浙江科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

巧识电子线路图 / 吴桂秀著. —杭州: 浙江科学技术出版社, 2008. 3.

(职业技能教材书系)

ISBN 978-7-5341-3114-1

I. 巧… II. 吴… III. 电子电路—识图法—职业教育—材料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 166114 号

丛 书 名 职业技能教材书系

书 名 巧识电子线路图

主 编 吴桂秀

---

出版发行 浙江科学技术出版社

杭州市体育场路 347 号 邮政编码: 310006

联系电话: 0571-85176040

E-mail: yh@zkpress.com

排 版 杭州天一图文制作有限公司

印 刷 杭州印校印务有限公司

经 销 全国各地新华书店

---

开 本 710×1000 1/16 印 张 22.75

字 数 472 000

版 次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5341-3114-1 定 价 34.80 元

---

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题, 本社负责调换)

责任编辑 严 冰 封面设计 孙 菁

责任校对 顾 均 责任印务 田 文



## 前言

0000000000

电子线路图是用规定的符号来表示各种电子元器件装置所组成的电路,它在电子设备或产品的设计、制造、使用和维修中作为一种技术资料,起着文字语言不可代替的作用。学会正确识读电子线路图,是掌握电子技术基本知识和技能所不可缺少的一项基本功。

本书主要介绍如何正确识读电子线路图的方法和有关的基本知识。从常用电子元器件识别和电子线路识图基本知识开始,到基本单元电路识图和综合电路识图,其中包括模拟电路、数字电路、分立元件电路和集成块应用电路。内容由浅入深、系统有序、通俗易懂,并配有大量插图。

本书内容丰富、实用性强,可供广大电子爱好者、家用电器和电子设备等行业的工人和技术人员以及大中专相关专业的师生阅读和参考。

由于作者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2006年11月

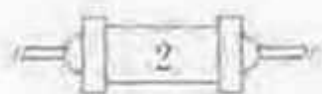




<b>第一章 常用电子元器件识别</b> .....	(1)
第一节 电阻器和电位器 .....	(1)
第二节 电容器 .....	(16)
第三节 电感器和变压器 .....	(24)
第四节 半导体二极管 .....	(30)
第五节 晶体三极管 .....	(56)
第六节 场效应晶体管 .....	(65)
第七节 晶闸管和单结晶体管 .....	(72)
第八节 电声器件 .....	(84)
第九节 数码显示器件 .....	(90)
第十节 集成电路 .....	(93)
第十一节 其他电子元器件 .....	(97)
<b>第二章 电子线路识图基本知识</b> .....	(103)
第一节 电子线路图的种类 .....	(103)
第二节 分立元件在电路中的作用 .....	(113)
第三节 电子线路图中常用的图形符号 .....	(122)
第四节 电子线路图中常用的文字符号 .....	(127)
第五节 电子线路图中其他图形符号 .....	(128)
第六节 电子线路图中其他文字符号 .....	(130)
<b>第三章 放大和振荡电路基本单元识图</b> .....	(132)
第一节 单管低频小信号放大电路 .....	(132)
第二节 晶体管低频功率放大电路 .....	(151)
第三节 晶体管直流放大电路 .....	(161)
第四节 集成运算放大器基本应用电路 .....	(167)
第五节 功率放大集成块应用电路 .....	(175)
第六节 调谐放大电路 .....	(181)
第七节 正弦波振荡电路 .....	(186)



第八节	晶闸管和单结晶体管电路 .....	(194)
第九节	部分敏感器件基本应用电路 .....	(206)
<b>第四章</b>	<b>数字电路基本单元识图 .....</b>	<b>(216)</b>
第一节	基本逻辑门电路 .....	(216)
第二节	组合逻辑门电路 .....	(224)
第三节	逻辑代数及其应用 .....	(230)
第四节	触发器电路 .....	(234)
第五节	单稳态电路 .....	(244)
第六节	施密特触发器电路 .....	(250)
第七节	多谐振荡器电路 .....	(255)
第八节	编码器和译码器电路 .....	(261)
第九节	计数器电路 .....	(264)
第十节	寄存器电路 .....	(274)
第十一节	数字显示电路 .....	(280)
<b>第五章</b>	<b>电源电路基本单元识图 .....</b>	<b>(284)</b>
第一节	二极管整流滤波电路 .....	(284)
第二节	直流稳压电路 .....	(300)
第三节	固定式集成稳压器应用电路 .....	(308)
第四节	可调式集成稳压器应用电路 .....	(314)
第五节	集成基准电压源应用电路 .....	(317)
第六节	开关稳压器应用电路 .....	(323)
<b>第六章</b>	<b>电子线路综合识图实例 .....</b>	<b>(337)</b>
第一节	调频无线话筒电路 .....	(337)
第二节	集成简易家用防盗报警器电路 .....	(341)
第三节	音频压控节日彩灯电路 .....	(345)
第四节	集成调频收音机电路 .....	(347)
第五节	可调直流稳压电源电路 .....	(349)
第六节	S 位数字显示 10MHz 通用计数器电路 .....	(351)





## 第一章 常用电子元器件识别

通常将电阻器、电容器、电感器和开关等统称为电子元件或简称元件；将二极管、三极管、可控硅、集成块等统称为电子器件或简称器件。可以说，任何具有一定功能的电子线路都是由电子元件和电子器件组成。

### 第一节 电阻器和电位器

#### 一、固定电阻器的种类和识别

##### 1. 固定电阻器的种类和特性

电阻器(简称电阻)按其制造材料不同,可分为碳膜电阻器,金属膜电阻器,金属氧化膜电阻器和线绕电阻器等多种。

(1) 碳膜电阻器(RT系列)。碳膜电阻器的基本工艺是:在真空、高温状态下分解出的碳沉积在瓷棒表面形成碳膜,再经过刻槽方法确定阻值,最后在电阻体表面涂上一层保护漆,并以数字或色环标明阻值。碳膜电阻器工作稳定性较好、高频特性好、价格低,故使用相当普遍,但它的热稳定性不如金属膜电阻器好,不适宜在高温下工作。

(2) 金属膜电阻器(RJ系列)。金属膜电阻器是用合金粉通过真空蒸发,在瓷管上均匀生成一层金属膜而制成。金属膜电阻器的性能比碳膜电阻器好,具有精度高、噪声低、体积小、高温下工作稳定性好等优点,其应用广泛。但它的主要缺点是承受脉冲负载能力差,不宜在脉冲状态下工作。

(3) 金属氧化膜电阻器(RY系列)。金属氧化膜电阻器除了具有金属膜电阻器的优点外,还具有耐高温、低阻( $100\Omega$ )性能好及成本低等优点。但在直流工作下,其氧化膜容易发生电解而还原,因此性能不太稳定。

(4) 线绕电阻器(RX系列)。线绕电阻器是用电阻率较大的镍铬、锰铜等合金丝绕在陶瓷骨架上而制成。这种电阻器的最大优点是阻值精确、功率范围大,并具有耐高温、噪声小、抗氧化等优点。它主要用于高精密、大功率场合。但不适宜在高频电路中使用,因为它的高频性能较差。





一些常用固定电阻器的外形如图 1-1(a) 所示, 固定电阻器的电路符号如图 1-1(b) 所示。

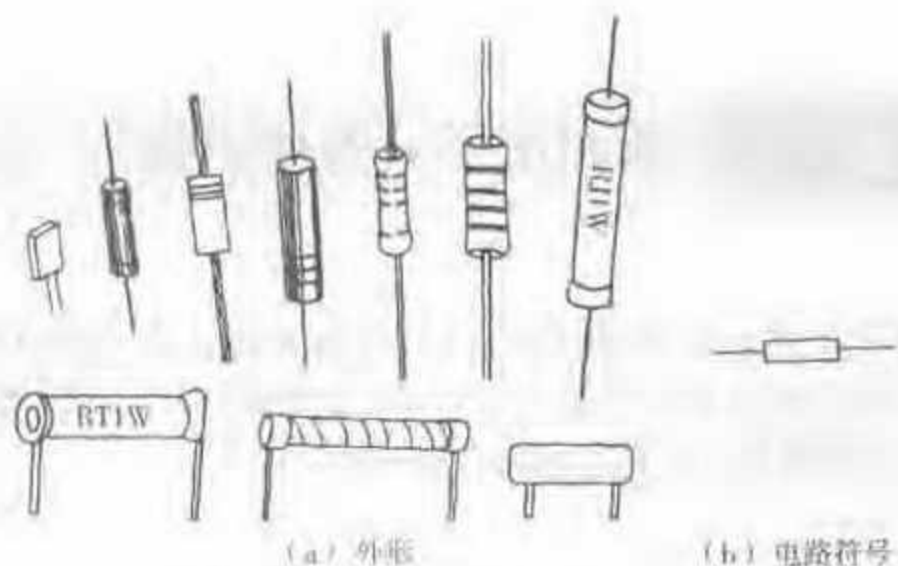


图 1-1 固定电阻器的外形和电路符号

## 2. 固定电阻器的标称阻值和允许偏差

(1) 标称阻值。为了便于生产和使用的标准化, 国家制定了电阻器的标称阻值, 见表 1-1。表中所列是标称阻值的基数, 电阻的阻值可以是表中基数乘以 10、100 等倍率, 从而可得到更多的标称阻值。例如, 基数 2.7, 标称阻值可以有 2.7Ω、27Ω、270Ω、2.7kΩ、27kΩ、270kΩ、2.7MΩ 等。Ω、kΩ、MΩ 是电阻器阻值的单位, 1kΩ=1 000Ω, 1MΩ=1 000kΩ。

表 1-1 标准化的电阻器标称阻值

标称阻值系列	允许偏差	电阻器标称阻值
I 级 (E24)	±5%	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
II 级 (E12)	±10%	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
III 级 (E6)	±20%	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

(2) 允许偏差。电阻器实际阻值与标称阻值之间的允许偏差, 对于不同系列、不同级别的电阻器是不同的, 表 1-1 规定 I 级电阻器的允许偏差为 ±5%; II 级电阻器的允许偏差为 ±10%; III 级电阻器的允许偏差为 ±20%。另外, 也可用字母符号表示电阻器允许偏差, 见表 1-2。





表 1-2 字母符号表示电阻器的允许偏差

字母符号	B	C	D	F	G	J	K	M	N
允许偏差	±0.1%	±0.25%	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%	±30%

### 3. 固定电阻器的阻值表示方法

(1) 阻值直接标注法。如图 1-2(a)所示,左图为碳膜电阻器(RT),阻值为 $10\text{k}\Omega$ ,允许偏差为±10%;右图为线绕电阻器(RX),阻值为 $100\Omega$ ,允许偏差为±5%,标称功率为10W。另外,如果标注为 $1.5\text{k}\Omega\text{I}$ ,则表示阻值为 $1.5\text{k}\Omega$ ,允许偏差为±5%。

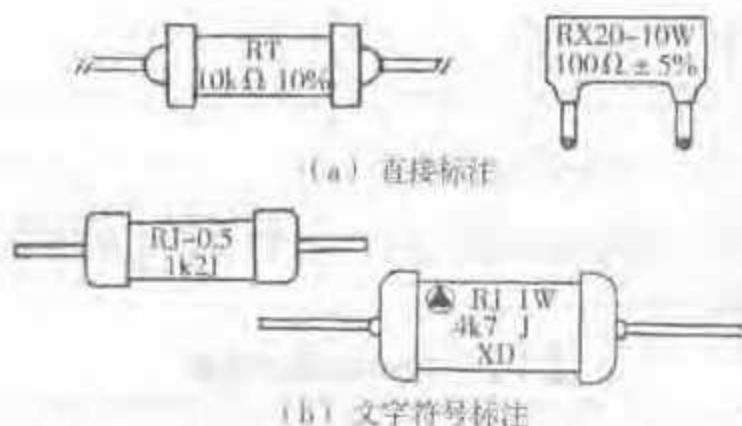


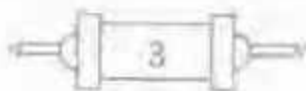
图 1-2 固定电阻器的直接标注和文字符号标注

(2) 阻值的文字符号标注法。如图 1-2(b)所示,左图 RJ-0.5 表示额定功率为 0.5W 的金属膜电阻器(RJ), $1\text{k}2\text{J}$  表示阻值为 $1.2\text{k}\Omega$ ,允许偏差为±5%(表 1-2);右图 RJ1W, $4\text{k}7\text{J}$  则表示额定功率 1W 的金属膜电阻器(RJ),阻值为 $4.7\text{k}\Omega$ ,允许偏差为±5%。

(3) 阻值的色环表示法。通常用 4 条色环来表示电阻器标称阻值和允许偏差,即自左至右第一、第二色环用来表示 2 位有效数字,第三色环表示乘倍率(零的个数),第四色环表示允许偏差,见表 1-3。

表 1-3 四色环电阻识别表

环序	1	2	3	4
颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	乘倍率(零的个数)	允许偏差
黑	0	0	$10^0$	
棕	1	1	$10^1$	
红	2	2	$10^2$	
橙	3	3	$10^3$	
黄	4	4	$10^4$	



续表

环序 \ 颜色	1	2	3	4
颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	乘倍率(零的个数)	允许偏差
绿	5	5	$10^0$	
蓝	6	6	$10^0$	
紫	7	7	$10^0$	
灰	8	8	$10^0$	
白	9	9	$10^0$	-20%~+50%
金			$10^{-1}$	±5%
银			$10^{-2}$	±10%
无色				±20%

精密电阻器采用5条色环来标注,比4条色环表示方法多了一位有效数字。五色环电阻识别见表1-4。

表1-4 五色环电阻识别表

环序 \ 颜色	1	2	3	4	5
颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	第三位有效数字	乘倍率(零的个数)	允许偏差
黑	0	0	0	$10^0$	
棕	1	1	1	$10^1$	±1%
红	2	2	2	$10^2$	±2%
橙	3	3	3	$10^2$	
黄	4	4	4	$10^0$	
绿	5	5	5	$10^0$	±0.5%
蓝	6	6	6	$10^0$	±0.25%
紫	7	7	7	$10^0$	±0.1%
灰	8	8	8	$10^0$	
白	9	9	9	$10^0$	
金				$10^{-1}$	
银				$10^{-2}$	
无色					

固定电阻器的色环表示法示例如图1-3所示。其中四色环自左至右为红、紫、





橙、金,表示为  $27\ 000\Omega \pm 5\%$ ;五色环自左至右为棕、紫、绿、银、棕,表示为  $1.75\Omega \pm 1\%$ 。

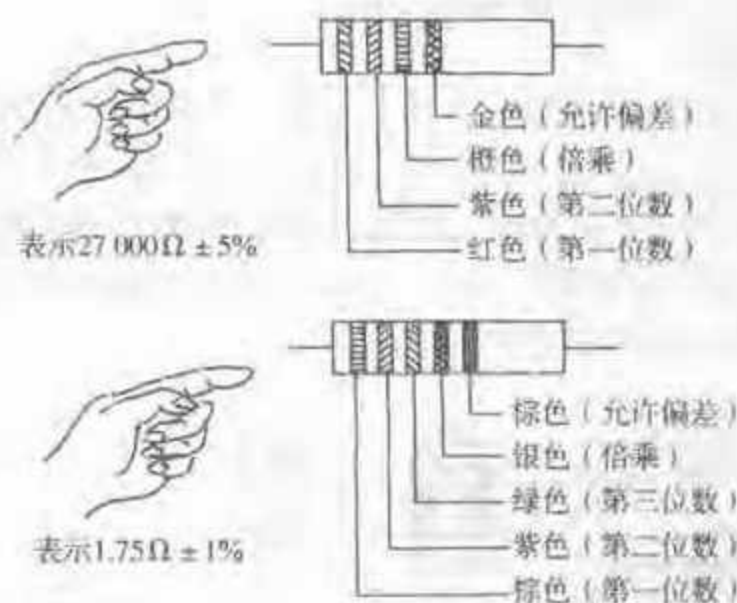


图 1-3 固定电阻器色环表示法示例

#### 4. 固定电阻器的额定功率

固定电阻器的额定功率一般分为:  $0.062\ 5\text{W}$  ( $1/16\text{W}$ )、 $0.125\text{W}$  ( $1/8\text{W}$ )、 $0.25\text{W}$  ( $1/4\text{W}$ )、 $0.5\text{W}$  ( $1/2\text{W}$ )、 $1\text{W}$ 、 $2\text{W}$ 、 $3\text{W}$ 、 $4\text{W}$ 、 $5\text{W}$ 、 $10\text{W}$  等。固定电阻器额定功率的符号如图 1-4 所示。

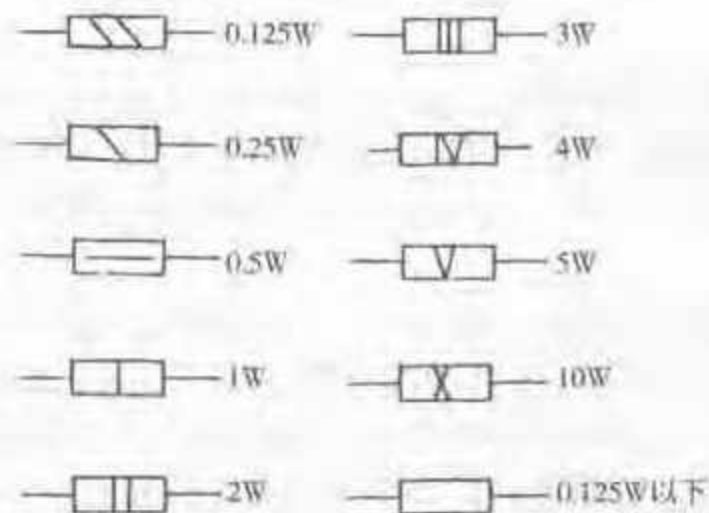
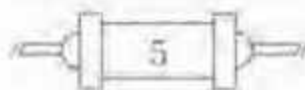


图 1-4 固定电阻器额定功率符号

固定电阻器的体积与它的额定功率有关,一般说额定功率较大的固定电阻器,它的体积也较大。对于阻值为  $R$ ,额定功率为  $P$  的固定电阻器,允许通过的电流  $I$  为:

$$I \leq \sqrt{\frac{P}{R}}$$



例如,对于  $500\Omega, 0.125W$  的固定电阻器,根据上式可算出允许通过的电流不应超过  $0.0158A$ ,即不应超过  $15.8mA$ ,否则固定电阻器将变值甚至烧毁。

## 二、微调电阻器和电位器的识别

### 1. 微调电阻器

常用微调电阻器的外形和电路符号如图 1-5 所示。欲改变其阻值时,通常用小螺丝刀插入它的长方形孔中进行左、右旋转调节,以改变活动端和两固定端之间的阻值。为达到所需要的阻值,往往需要来回缓慢地调节数次。微调电阻器适用于不需要经常调节的电路中,如作为晶体管工作点调节的偏流电阻,固定频率的 RC 振荡器中频率微调电阻等。

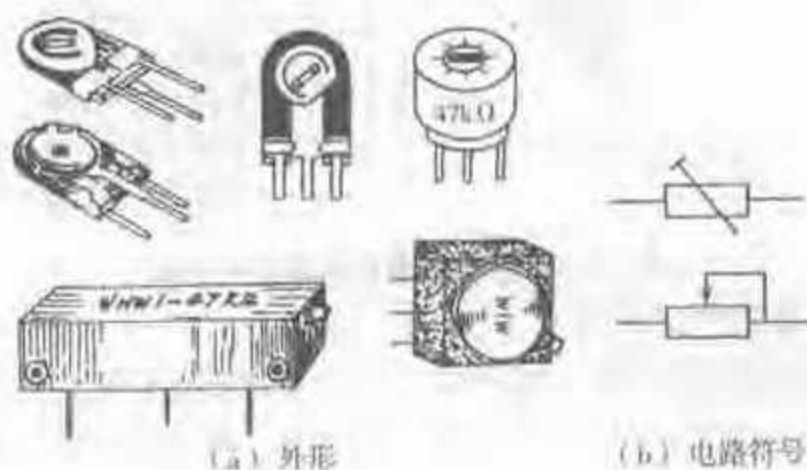


图 1-5 微调电阻器的外形和电路符号

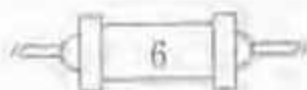
### 2. 电位器

(1) 电位器的种类和特性。电位器按制造材料不同,可分为线绕电位器(WX)和非线绕电位器两大类。线绕电位器额定功率大、寿命长、噪声低、温度稳定性好,但阻值范围小( $0.1\sim 100k\Omega$ ),分布电感和分布电容大,不适用于高频电路,且成本较高。

非线绕电位器包括碳膜电位器(WT)、合成碳膜电位器(WH)、金属膜电位器(WJ)、玻璃釉膜电位器(WI)、氧化膜电位器(WY)、有机实芯电位器(WS)和无机实芯电位器(WN)。它们共同的特点是阻值范围宽、分布电感和分布电容小、制造成本低,但额定功率较小、寿命较短、噪声比线绕电位器大。

按照结构不同,电位器可分为单圈电位器,多圈电位器以及单联、双联和多联电位器;又可分为带开关电位器、锁紧型和非锁紧型电位器等多种。按照调节方式不同,电位器还可分为旋转式电位器和直滑式电位器两类。常见旋转式电位器外形和电路符号如图 1-6 所示。

(2) 电位器的标称阻值和额定功率。表 1-5 列出电位器标称阻值的基数,标称阻值可以是基数乘以  $10, 100, 1000$  等倍率。线绕电位器允许偏差为  $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$  以及非线绕电位器允许偏差为  $\pm 5\%$  仅在必要时才采用,故一般较少见。



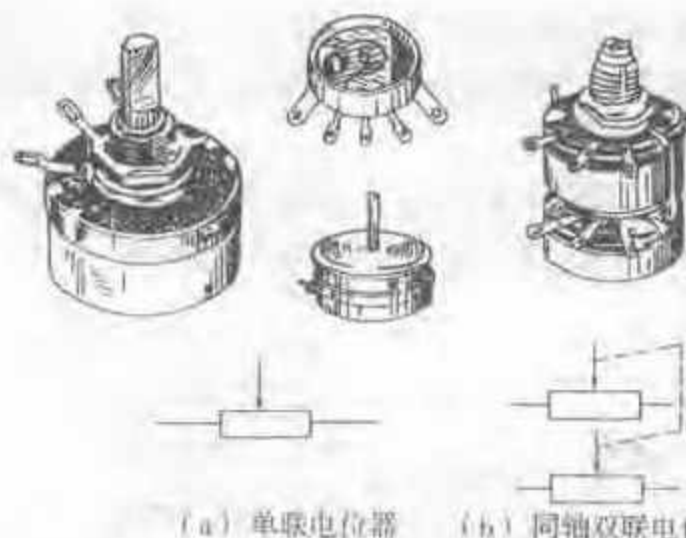


图 1-6 旋转式电位器外形和电路符号

表 1-5 标准化电位器标称阻值的基数

允许偏差	系列	电位器标称阻值的基数
±20%, ±10% ±5%, ±2%, 1%	E <sub>93</sub>	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
	E <sub>24</sub>	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

电位器的额定功率系列见表 1-6。

表 1-6 电位器的额定功率系列

种类	额定功率(W)
线绕电位器	0.25, 0.5, 1.0, 1.6, 2.3, 5, 10, 16, 25, 40, 63, 100
非线绕电位器	0.025, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2, 3

(3) 电位器的阻值调节变化规律。电位器的阻值调节变化规律有 3 种形式：直线式(X 型)、指数式(Z 型)和对数式(D 型)，它们的变化规律如图 1-7 所示。

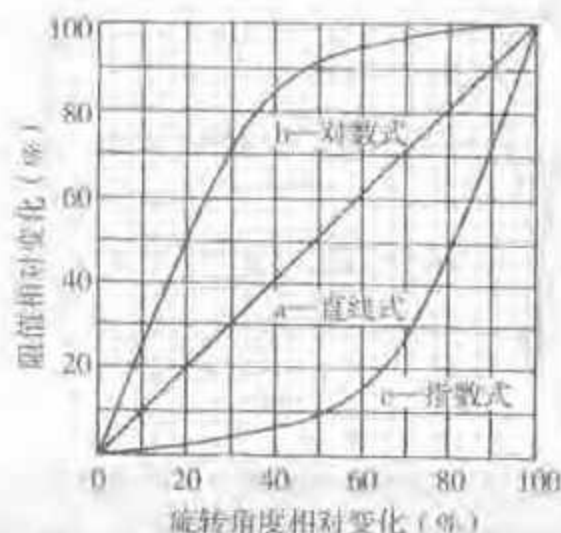
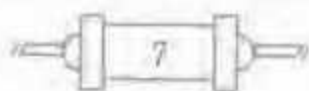


图 1-7 电位器阻值调节变化规律



在使用中,直线式电位器适用于分压,也勉强可用作音量控制;指数式电位器适用于音量控制;对数式电位器适用于音调控制,不宜用作音量控制。

### 三、特殊电阻器识别

特殊电阻器与一般的电阻器不同,它们属于敏感器件或双功能元件。常用特殊电阻器名称如图 1-8 所示,现在它们已得到广泛应用。



图 1-8 常用特殊电阻器的名称

#### 1. 热敏电阻器

(1) 热敏电阻器的基本结构、外形和电路符号。热敏电阻器是一种对温度敏感的元件,按其电阻温度系数可分为正温度系数(PTC)和负温度系数(NTC)热敏电阻器。它们通常由金属氧化物陶瓷半导体材料或碳化硅材料经成型、烧结等工艺而制成。

常用热敏电阻器的外形和电路符号如图 1-9 所示。其中,珠粒状热敏电阻器采用玻璃封装,体积小而传热快;圆柱状热敏电阻器用树脂或玻璃封装,有的外形与玻璃封装的二极管相似,有的与普通电阻器相似。此外,还有树脂封装的圆片状等。

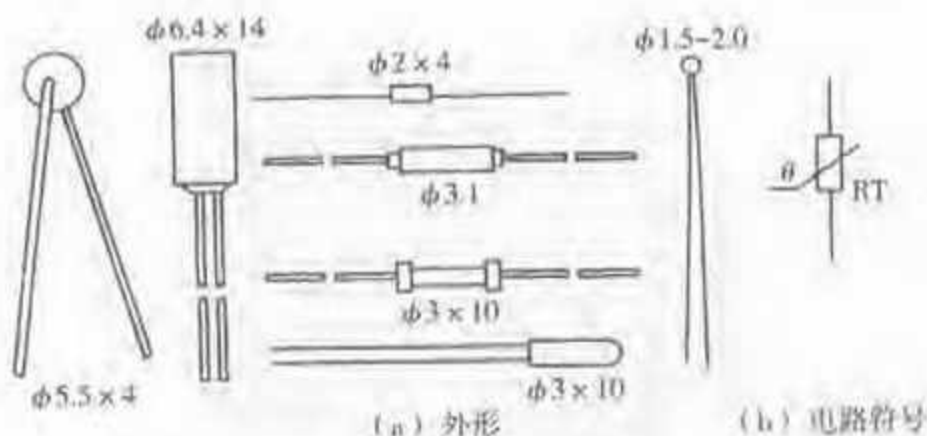


图 1-9 热敏电阻器的外形和电路符号

(2) 热敏电阻器的基本特性。正温度系数(PTC)热敏电阻器的典型特性曲线





如图 1-10(a)所示。其中,曲线 1 为突变型,它的温度范围较窄,一般用于恒温加热控制或温度开关;曲线 2 为缓变型,其温度范围比较宽,可用于温度补偿或温度测量。

负温度系数(NTC)热敏电阻器的典型特性曲线如图 1-10(b)所示。其中,曲线 1 为缓变型,它的温度范围比较宽,主要用于温度测量;曲线 2 为开关型,当达到临界温度时,其阻值会发生急剧转变,利用这种特性可制成无触点开关。

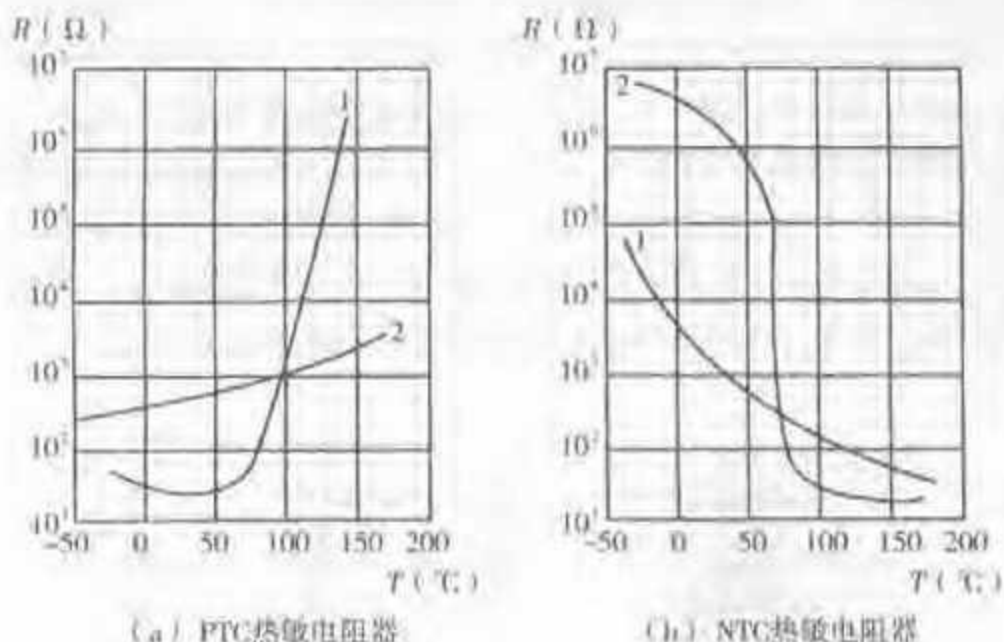


图 1-10 热敏电阻器的特性曲线

(3) 热敏电阻器的主要参数。几种常见热敏电阻器的主要参数见表 1-7。其中, MF12-1 型等可供测温 and 温控用; MZ72-2 型可供彩电消磁用; 8-063 型可供稳流用, 如用于家用电器的软启动方面。

表 1-7 几种常见热敏电阻器的主要参数

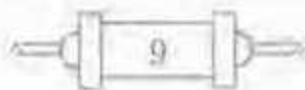
参数 型号	标称阻值 ( $\Omega$ )	温度系数 (%/ $^{\circ}\text{C}$ )	最高工作温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	额定功率 (W)	时间常数 (s)	器件尺寸 (mm $\times$ mm)
MF12-1	$1\sim 10^3$	$-(4.7\sim 6.94)$	120	$0.25\sim 1$	$\leq 15\sim 80$	$\phi 3\times 2$ $\phi 1.8\times 6.5$
MF13	$10^2\sim 2.2\times 10^3$	$-(2.3\sim 4)$	85	0.25	$\leq 30$	$\phi 2.8\times 10$
MZ72-2	27~56	正值	—	$\leq 3$	(注 1)	14 $\times$ 19 $\times$ 31
8-063	6	负值	—	(注 2)	35	$\phi 8$

注: 1. 额定电压为 220V, 起始电流为 15A 时, 1s 后 $\leq 150\text{mA}$ , 160s 后残余电流 $\leq 3\text{mA}$ 。

2. 最大稳流为 3A, 此时阻值为  $0.50\Omega$ 。

## 2. 光敏电阻器

(1) 光敏电阻器的基本结构、外形和电路符号。光敏电阻器是利用多晶半导





体光致导电特性而制成的一种无结半导体器件。光照使光导体的电阻率下降,光照越强,电阻越小。光敏电阻器按其光谱响应特性可分为紫外光敏类、可见光敏类及红外光敏类。在可见光敏类中,目前以硫化镉(CdS)光敏电阻器使用最多。

① 硫化镉光敏电阻器的基本结构。如图 1-11(a)所示,这种结构属于不带外壳的树脂封装型,它的芯片是在陶瓷基片上涂上光导体材料烧结而成。由于光致导电现象只局限于光导体表面薄层,为提高器件的光灵敏度,使其受光照后电阻变化更大,在结构上一般都把电极做成互为镶嵌的梳子状或手指状。因芯片怕潮湿,所以在其表面涂防潮树脂,或采用密封型结构。在密封型结构中常用金属和玻璃为外壳,其顶部有透光窗口。光敏电阻器的电路符号如图 1-11(b)所示。

② 硫化镉光敏电阻器的外形。部分 MG 型硫化镉光敏电阻器的外形如图 1-11(c)所示,其中 3 个引脚的 MG41 型是双光敏电阻器。另外,还有外径为 5mm、7mm、9mm、16mm 等几种基本尺寸的 MG45 型(图未画)。其他型号的光敏电阻器,它们的外形与上述介绍的硫化镉光敏电阻器大同小异。

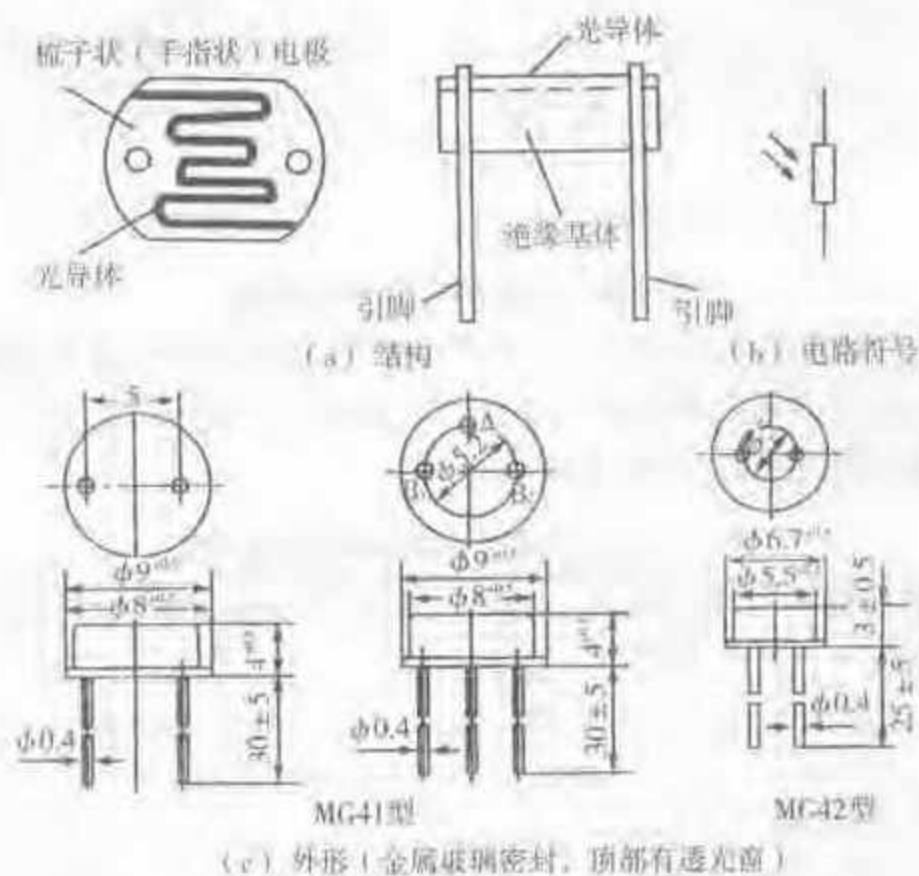


图 1-11 硫化镉光敏电阻器的结构、外形和电路符号

(2) 光敏电阻器的主要参数。硫化镉光敏电阻器的光谱响应范围一般为 400~700nm,峰值波长为 520nm 左右,暗电阻为 0.1k $\Omega$ ~20M $\Omega$ ,亮电阻为 1~200k $\Omega$ (照度 100lx),时间常数一般为 1~50ms。可见,光敏电阻器的响应速度很慢,它只适用于低速控制电路。部分国产 MG 型硫化镉光敏电阻器适用于可见



光,光谱范围为 400~760nm,其主要技术参数见表 1-8。

表 1-8 MG 型硫化镉光敏电阻器主要技术参数

参数 型号	亮电阻 (kΩ)	暗电阻 (MΩ)	时间常数 (ms)	功率 (mW)	额定 电压 (V)	环境 温度 (℃)	外径 (mm)	封装
MG41-23	≤5	≥5	≤20	20	100	-40 ~+70	9.2	金属玻璃密封
MG41-24	≤10	≥10						
MG42-02	≤2	≥0.1	≤50	5	20	-25~ +55	7.2	
MG42-03	≤5	≥0.5						
MG42-04	≤10	≥1						
MG42-05	≤20	≥2						
MG44-03	≤5	≥1	≤20	5	20	-40 ~+70	4.7	树脂封装
MG44-05	≤20	≥5						
MG45-12	≤2	≥1	≤20	50	100	-40 ~+70	5.2	
MG45-13	≤5	≥5						
MG45-53	≤5	≥5	≤20	200	250	-40 ~+70	16	
MG45-54	≤10	≥10						

另外,有的光敏电阻器产品,如 JN 型的亮电阻测定条件是在低照度下(10lx)进行的,因而它们的亮电阻就普遍显得比较高一些。

### 3. 湿敏电阻器

湿敏电阻器是一种阻值随湿度变化而变化的敏感元件,它的基本构造由感湿层、基体层和电极引线三部分组成。通常用多孔电子陶瓷材料作为基体,有的湿敏电阻器还装有耐高温塑壳或多孔防尘铜外壳。图 1-12 所示为几种常用湿敏电阻器外形和电路符号。

湿敏电阻器在家用电器中,如空调、去湿机、加湿器、干衣机、录像机中作为湿度测量和控制的传感元件,应用很广泛。

常用湿敏电阻器产品有 ZHC 系列、MSOI 系列等。如 ZHC 系列湿敏电阻器在 20℃ 情况下,当相对湿度从 20%RH 升到 90%RH 时,它的阻值相应地从 4MΩ 降到 44kΩ。



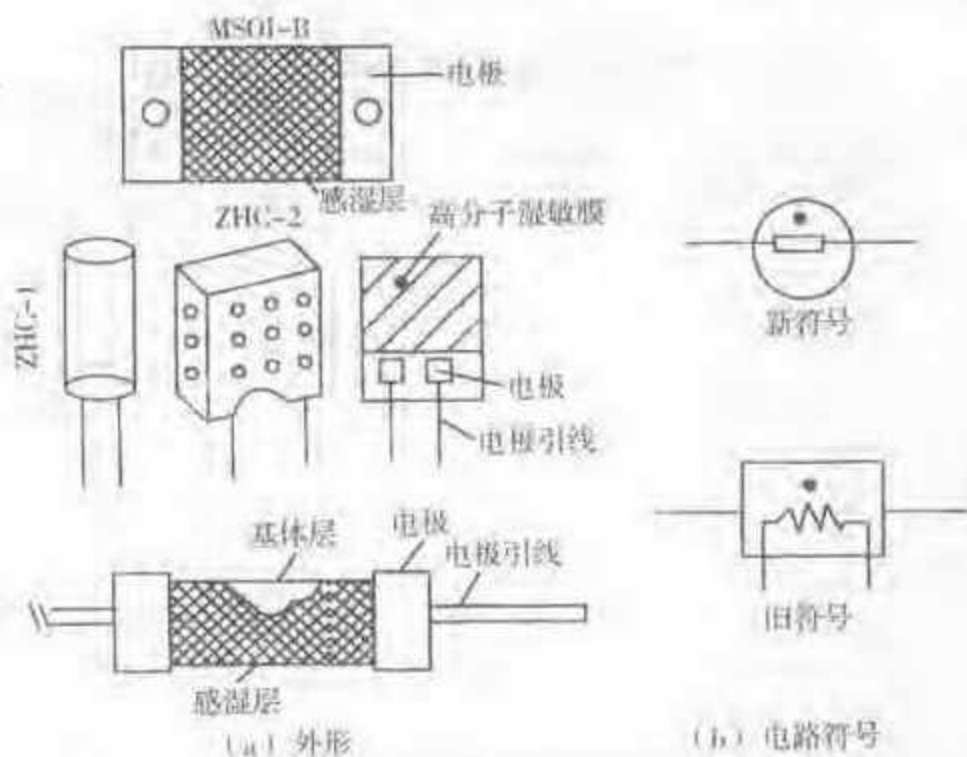


图 1-12 常见湿敏电阻器的外形和电路符号

#### 4. 压敏电阻器

(1) 压敏电阻器的基本结构。电压敏感电阻器简称压敏电阻器(VSR),它是一种过电压保护器件,其种类很多,但目前以氧化锌压敏电阻器使用最多,其次是碳硅压敏电阻器。它在电视机等家用电器的电源电路中应用相当广泛,也常用于对电机、晶闸管等的保护。氧化锌压敏电阻器是以氧化锌(ZnO)为主体材料,添加微量其他多种金属氧化物,采用电子陶瓷工艺制成的非线性电阻多晶半导体陶瓷元件。

(2) 压敏电阻器的外形和电路符号。压敏电阻器的外形和电路符号如图1-13所示。

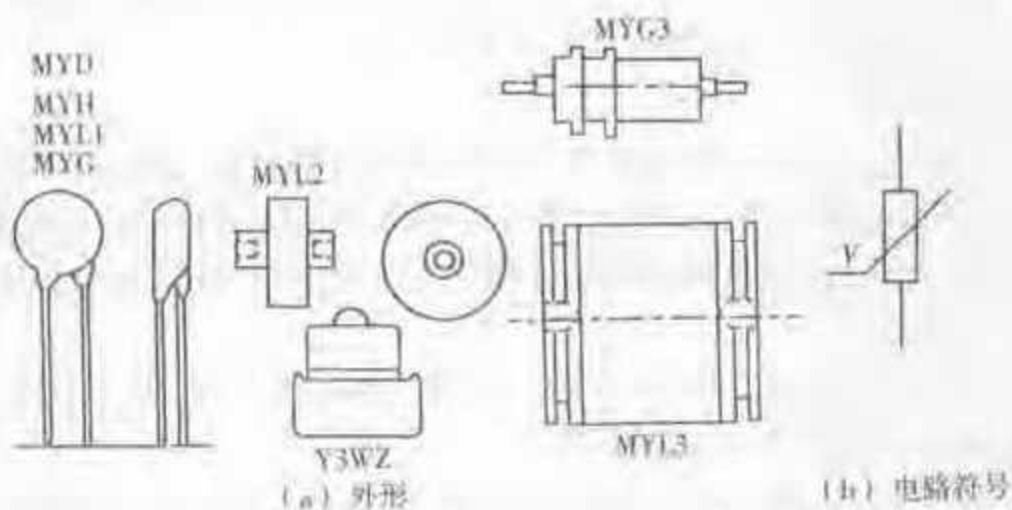


图 1-13 压敏电阻器的外形和电路符号

对氧化锌压敏电阻器而言,它的典型伏安特性曲线如图 1-14 所示。图中坐标是





按指数刻度,因此特性曲线不如常见的那样直观,但在读取数据时会更方便有效。

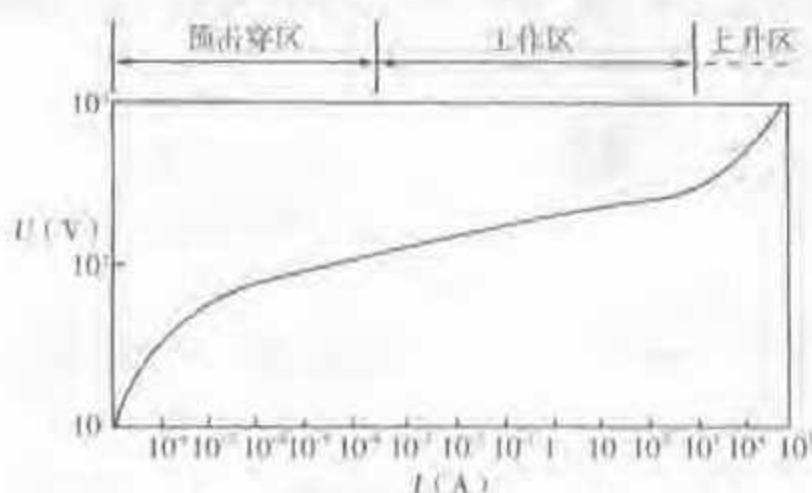


图 1-14 氧化锌压敏电阻器典型伏安特性曲线

目前国产压敏电阻器型号共分七大类,型号标志中的第三个字母表示类别,如MYD中,MY表示压敏电阻器,D表示通用型。其他为:H表示灭弧型,L表示防雷型,T表示特殊型,G表示浪涌压制型,Z表示消声型或组合型,S表示元件保护型。但各个厂家对其产品型号的表示方法不尽相同,选用时应注意产品说明书。

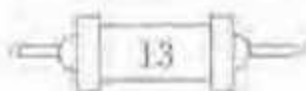
压敏电阻器的过电压保护基本原理是:在一般情况下,电路中压敏电阻器两端电压与被保护器件两端电压相等,此时压敏电阻器呈现高阻状态。一旦遇有过压电源加在保护电路两端时,因预定压敏电阻器两端电压低于被保护器件的耐压水平,且其许可最大电流大于保险丝的熔断电流,于是压敏电阻器被击穿,保险丝被烧断,被保护器件可免受过压影响。如果过压电源波形持续时间很短,则在保险丝不熔断的情况下被压敏电阻器所吸收,同样能起到过压保护作用。

### 5. 熔断电阻器

(1) 熔断电阻器的基本结构。熔断电阻器是一种具有电阻器和熔断器作用的双功能元件。在正常情况下工作时,它具有普通电阻器的性能,一旦电路故障引起过载时,它就会像熔断器(保险丝)一样被熔断,从而对电路起保护作用。熔断电阻器在电视机等家用电器中应用相当普遍。

熔断电阻器按结构不同可分为线绕式和膜式两类。线绕式是将功率型涂釉线绕电阻器的一部分用细线绕制,使这部分起到熔丝(保险丝)的作用,也有将功率型涂釉线绕电阻器的一部分裸露不涂釉质保护层,当有过载电流时这部分因过热氧化而烧断。一般线绕式熔断电阻器的阻值较低,适用于大电流工作。膜式熔断电阻器按其膜层的不同,有碳膜、金属膜、金属氧化膜、化学沉积膜等几种。其基本结构有两种:一种是元件膜层局部的螺纹间距缩短,形成膜层局部过热而断路;另一种是采用在元件膜层表面涂覆低熔点玻璃浆料,过热时电阻膜与涂料反应而熔断。一般膜式熔断电阻器的阻值范围为 $1\sim 10\text{k}\Omega$ ,适用于非大电流场合下工作。

(2) 熔断电阻器外形、电路符号及使用。常见熔断电阻器的外形和电路符号



如图 1-15 所示。根据熔断电阻器的工作方式可分为不可修复型和可修复型 2 种。目前,国内外一般采用不可修复型(一次性)熔断电阻器,当它被熔断时,维修者排除故障后,再换上新的同规格熔断电阻器即可。

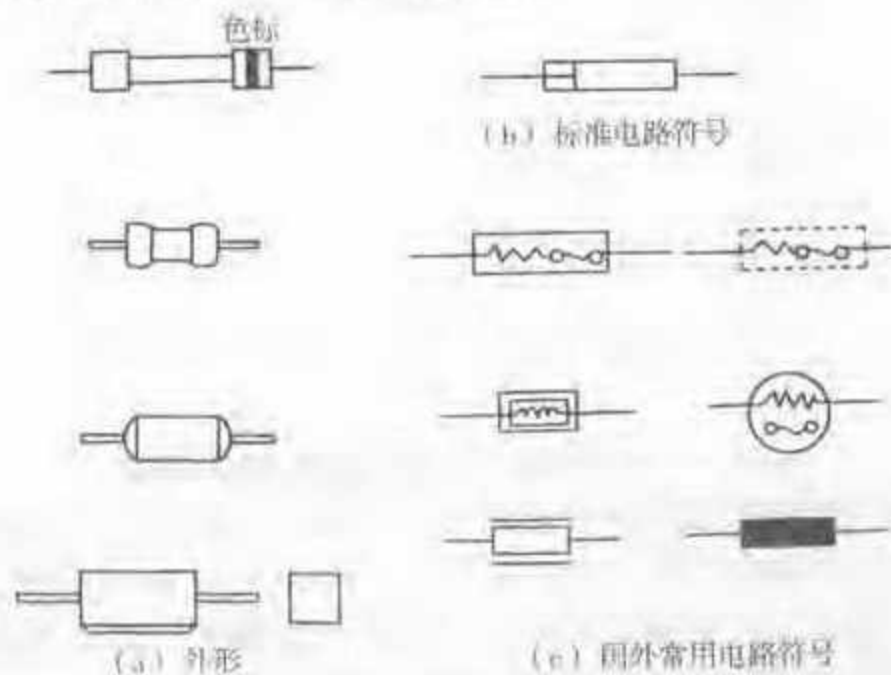


图 1-15 熔断电阻器的外形和电路符号

(3) 熔断电阻器的主要参数。国产熔断电阻器的主要参数有额定功率、阻值范围、温度系数、最高开路电压、最高负载电压和绝缘电压等。RJ90 型、RF10 型、RF11 型熔断电阻器的主要参数见表 1-9 和表 1-10。

表 1-9 RJ90-A 型、RJ90-B 型熔断电阻器主要参数

额定功率 (W)	阻值范围 ( $\Omega$ )	允许偏差 ( $\pm\%$ )	温度系数 ( $\pm 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	最高开路电压 (V)	最高负载电压 (V)
0.5	1.0~5.1k	5	500~1000	150	300
1					
2				200	400
3					

表 1-10 RF10 型、RF11 型熔断电阻器主要参数

型号	品种	额定功率 (W)	温度系数 ( $\pm 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	阻值范围 ( $\Omega$ )	最高开路电压 (V)	绝缘电压 (V)
RF10	AA	0.25	$\pm 350$	0.47~1k	200	250
	BA	0.5			250	250
	CA	1			350	350
	DA	2				



续表

型号	品种	额定功率 (W)	温度系数 ( $\pm 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ )	阻值范围 ( $\Omega$ )	最高开路电压 (V)	绝缘电压 (V)
RF11	AA	0.5	$\pm 350$	0.33~1.5k	200	1 000
	BA	1		0.33~1k		
	CA	2			200	
	DA	3		0.33~3.3k		

注:1. 额定功率工作温度规定在  $70^{\circ}\text{C}$  以下。

2. 绝缘电压指交流或交流峰值电压。

3. 元件尺寸:长 7~23mm,宽 5.5~10.5mm, $\phi$  2.5~5.3mm。

## 6. 水泥电阻器

(1) 水泥电阻器的基本结构。水泥电阻器是一种外壳绝缘性能优良、阻值稳定性好、过载能力强、阻燃防爆特性好并能对电路起保护作用的线绕电阻器。它的基本结构如图 1-16(a)所示。它的外壳采用工业高频电子陶瓷材料包封,其绝缘电阻可达  $100\text{M}\Omega$  以上。电阻丝选用康铜、锰铜、镍铬等电阻温度系数小的合金材料制成。电阻丝被密封于陶瓷阻燃体内部,电阻丝与元件引脚之间采用压接。因此,如果在电路中出现负载短路,压接处可迅速熔断,从而对电路起保护作用。

(2) 水泥电阻器的外形和电路符号。一些水泥电阻器的外形如图 1-16(b)、(c)、(d)所示,其电路符号与普通电阻器符号相同。

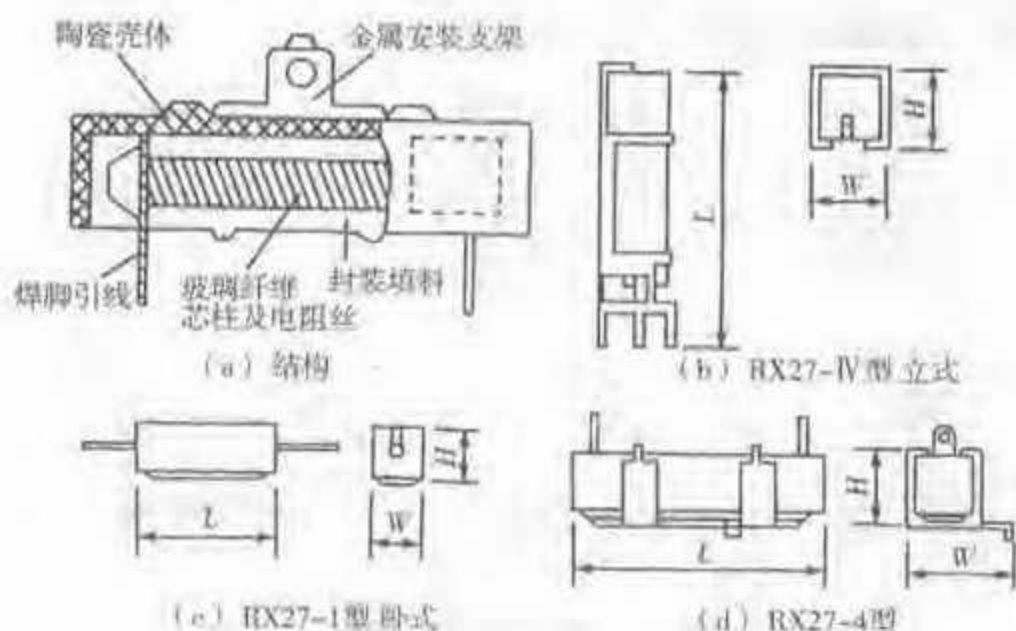


图 1-16 水泥电阻器的结构和外形

(3) 水泥电阻器的主要参数。水泥电阻器的主要参数有额定功率、阻值范围和外形尺寸等。RX27-1 型水泥电阻器的主要参数见表 1-11。



表 1-11 RX27-1 型水泥电阻器主要参数

额定功率 (W)	阻值范围 (Ω)	外形尺寸(mm)		
		L	W	H
2	0.1~200	18	6.4	6.8
3	0.1~330	22	8.0	8.0
5	0.1~680	22	9.5	9.5
7	0.15~1.2k	35	9.5	9.5
10	0.2~1.8k	48	9.5	9.5
15	0.2~2.2k	48	12.5	13.5

水泥电阻器在常温下工作时,选用额定功率( $P$ )的大小可按其两端电压( $U$ )乘以负载电流( $I$ )来估算,即  $P=U \times I$ 。如果在较高温度的特殊环境下工作,则应根据水泥电阻器的功率曲线来选择额定功率,通常是随着环境温度升高将额定功率选得更大一些。

## 第二节 电容器

电容器是储能元件,它可以储存电能,在电路中具有充电、放电以及通交流、隔直流的作用。电容器的电路符号如图 1-17 所示。



图 1-17 电容器的电路符号

### 一、固定电容器的种类及特性

电容器,简称电容。按其极片之间介质的不同,常用的各种介质电容器可分为铝电解电容器(CD)、钽电解电容器(CA)、纸介电容器(CZ)、金属化纸介电容器(CJ)、聚苯乙烯电容器(CB)、聚丙烯电容器(CBB)、涤纶电容器(CL)、瓷介电容器





(CC、CT)、玻璃釉电容器(CD)、云母电容器(CY)等多种。

### 1. 铝电解电容器(CD系列)

普通电解电容器就是铝电解电容器,它是将附有氧化膜的铝箔作为正极,与浸有电解液的衬垫纸以及作为负极的铝箔叠在一起卷绕而成。电解电容器的氧化膜具有单向导电性,在使用电解电容器时应按极性标志接入电路,如果接反会导致通过氧化膜的电流太大而过热击穿。铝电解电容器一般额定直流工作电压从6.3~450V分多种规格,标称容量一般为2.2~6800 $\mu$ F。电解电容器的工作温度在-20~+50 $^{\circ}$ C范围内,当低于-20 $^{\circ}$ C时,其容量将随温度的下降而急剧下降,且损耗反而会急剧上升;当高于+40 $^{\circ}$ C时,其绝缘电阻也会很快下降,性能变坏。

一些常见铝电解电容器的外形如图1-18所示。

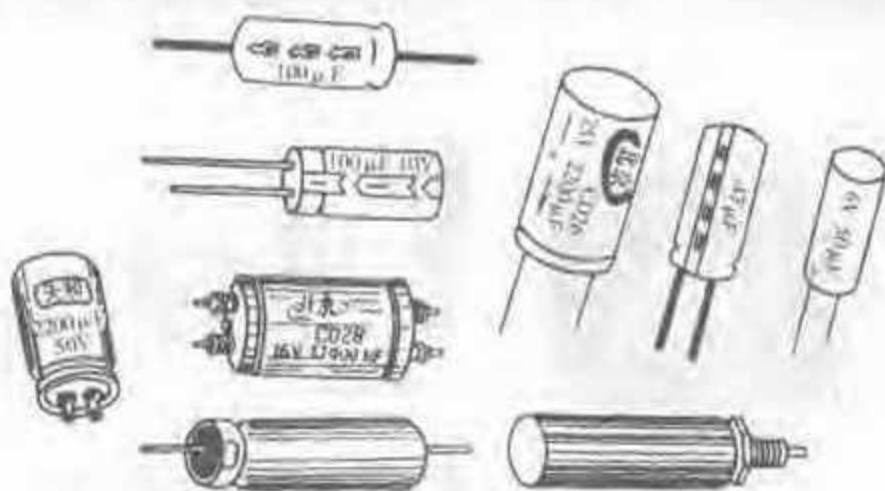


图1-18 铝电解电容器的外形

### 2. 钽电解电容器(CA系列)

钽电解电容器的钽氧化膜介电常数要比铝氧化膜高一倍以上,在相同容量下,钽电解电容器的体积可减小很多。而且钽电解电容器的绝缘电阻很高,工作温度上限可达200 $^{\circ}$ C。钽氧化膜的化学稳定性特别好,从而可制成损耗较小、频率稳定性和耐寒性都比较好的电解电容器,能适用于要求较高的场合。箔式钽电解电容器是有极性的,而钽粉烧结式电解电容器是无极性的,它们的外形如图1-19所示。

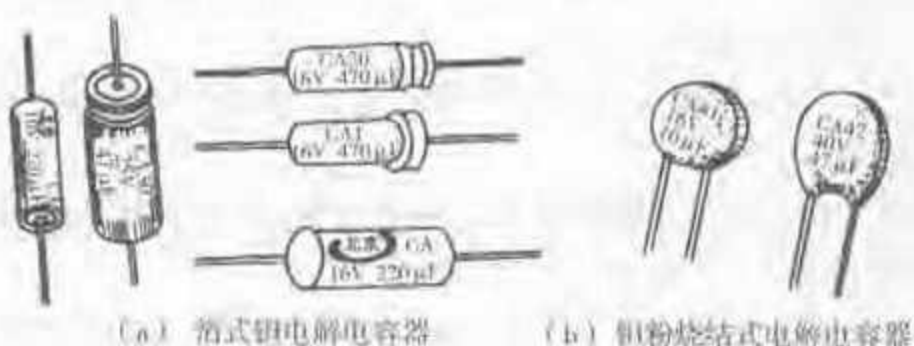


图1-19 钽电解电容器外形



### 3. 纸介电容器(CZ 系列)

纸介电容器是用厚度很薄的纸作为介质,铝箔作为电极,卷绕成圆柱形后经过浸渍再用环氧树脂灌封或用外壳封装而制成。纸介电容器的特点是具有较高的抗张强度、体积小、容量大,但它具有较严重的一些缺点:化学稳定性差、容易老化、介质损耗大、热稳定性差。

### 4. 金属化纸介电容器(CJ 系列)

金属化纸介电容器采取端头喷金工艺,使得电容器工作时电流路径比纸介电容器短很多,因而介质损耗小,很适宜在音频范围内使用。它的最大优点是具有自愈作用,即如果电容器内某一绝缘点被击穿,因金属膜很薄立刻被蒸发掉,从而可以避免两极片之间短路。

纸介电容器和金属化纸介电容器均不宜在高频电路中使用,它们的外形如图 1-20 所示。



图 1-20 纸介电容器和金属化纸介电容器的外形

### 5. 聚苯乙烯电容器(CB 系列)

聚苯乙烯电容器的优点是绝缘电阻大、介质损耗小、温度系数小、耐压强度高、比率体积小、化学稳定性好,但耐热性、耐潮性较差,一般适用于温度不超过 +55℃、相对湿度低于 80% 的环境下工作。聚苯乙烯电容器种类很多,它们适用于高频、低频电路,常见有以下几种:

①CB11 型——普通聚苯乙烯电容器,标称容量为 47~1 000pF,耐压为 500V,环境温度为 -40~+55℃。

②CB14 型、CB15 型——精密聚苯乙烯电容器,适用于电子仪器和通信设备。其容量的允许偏差为 ±0.5%、±1%、±2%。

③CB40 型——密封金属化聚苯乙烯电容器,防潮性、稳定性好,供一些要求较高的场合使用。

④CB80 型——高压聚苯乙烯电容器,标称容量为 10~1 000pF,额定耐压高



达 10~40kV, 适宜在高压电路中使用。

聚苯乙烯电容器的外形如图 1-21(a)所示。

#### 6. 涤纶电容器(CL 系列)和聚丙烯电容器(CBB 系列)

涤纶电容器和聚丙烯电容器的外形如图 1-21(b)所示。它们均属于有机介质薄膜电容器,也是我们常用的 2 种电容器。它们具有比率体积小、绝缘电阻大、介质损耗小和重量轻等特点。常用的如 CL10 型、CL20 型、CL21 型等涤纶电容器和 CBB10 型、CBB11 型、CBB60 型、CBB61 型等聚丙烯电容器。

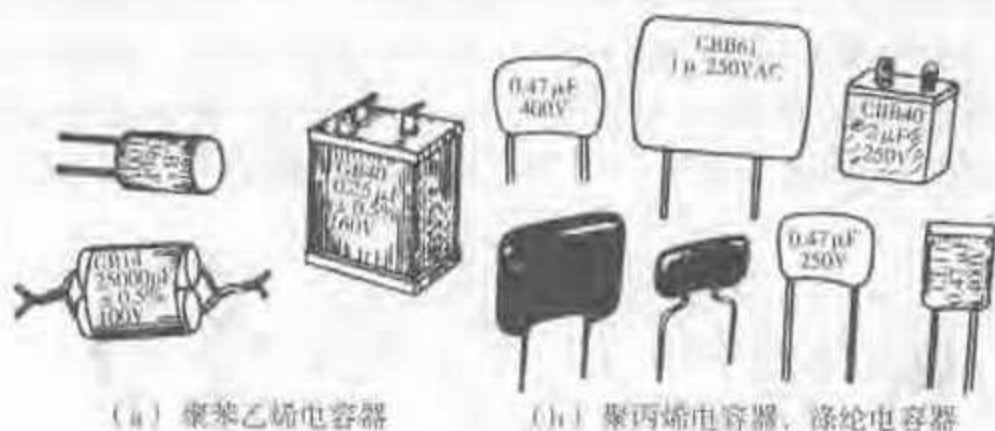


图 1-21 部分有机薄膜电容器的外形

#### 7. 瓷介电容器(CC、CT 系列)

瓷介电容器是以陶瓷材料为介质并在其表面烧渗上银层作为电极的电容器。由于陶瓷材料的介电系数很大,因此可以做成比率体积很小的电容器。瓷介电容器具有稳定性好、耐热性好、介质损耗小、绝缘性能好的特点,可以制成低频、高频都适用的高压电容器,且价格比较低。它的缺点是机械强度低、容易碎裂。瓷介电容器按介质成分、形状和结构以及工作电压高低可分为许多种。常见的有:

- ①CC1 型——圆片形瓷介电容器。
- ②CC2 型——管形瓷介电容器。
- ③CC3 型——叠片瓷介电容器。
- ④CC81 型——高压低频瓷介电容器。
- ⑤CCG1 型、CCG11 型——瓶形高功率瓷介电容器,适用于高频、高压电路。
- ⑥CCG8 型——板形高功率瓷介电容器。
- ⑦CCG5 型、CCG61 型——鼓形高功率瓷介电容器,均适用于高频、高压电路。
- ⑧CT1 型——圆片形低频瓷介电容器。
- ⑨CT3 型——叠片低频瓷介电容器。
- ⑩CT5 型——穿心式低频瓷介电容器。
- ⑪CT6 型——支柱式低频瓷介电容器。
- ⑫CT4、CT42 和 CC4、CC42 型——分别为低频和高频独石(钛酸钡)电容器。

其中低频瓷介电容器宜用于对损耗及容量稳定性要求不高的场合,如作为交流旁路电容和低频耦合电容等。常见瓷介电容器外形如图 1-22(a)所示。

### 8. 玻璃釉电容器(CI 系列)

玻璃釉电容器以釉粉压制成薄片作为电容器的介质,釉粉的配方不同,即介质的性能不同,制成的玻璃釉电容器性能也不同,但它们的性能都比较好,与云母电容器、陶瓷电容器相当。玻璃釉电容器的常见外形如图 1-22(b)所示。

### 9. 云母电容器(CY 系列)

云母电容器是采用云母作介质,以金属箔或在云母片表面喷银构成电极,叠片后经浸渍压塑在胶木外壳内而构成。云母的介质特性很好,制成的云母电容器具有很高的绝缘性能,耐高温、介质损耗小、高频特性好、频率稳定性好。云母电容器种类很多,外形也各不相同,常见的几种云母电容器外形如图 1-22(c)所示。



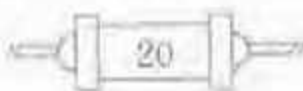
图 1-22 瓷介电容器、玻璃釉电容器和云母电容器外形

常见云母电容器的标称容量范围一般为  $1.1\text{pF} \sim 0.68\mu\text{F}$ , 额定工作电压为  $50\text{V}$ 、 $100\text{V}$ 、 $250\text{V}$ 、 $500\text{V}$  等几种产品,常见的云母电容器有:

- ①CY 型——普通云母电容器。
- ②CY31 型、CY32 型——密封云母电容器。
- ③CYZ 型——包封云母电容器。

### 10. 电容器的标称容量和额定工作电压

我们可以见到在电解电容器上一般都标注容量和额定工作电压,还标注工作温度上限。例如,  $1000\mu\text{F} 25\text{V} +85^\circ\text{C}$ 、 $10\mu\text{F} 50\text{V} -40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$  等。有些还标注了引脚的极性。但在某些体积较小的无极性电容器上,有的厂家采用了简化、





省略的标注方法。例如,4.7 $\mu$ F标注为4 $\mu$ 7;3 300pF即3.3nF,标注为3n3。还有的厂家采用只标数码的办法(默认单位为pF),共用3位数码,前两位表示容量的有效数字,第三位表示有效数字后面要添零的数目。例如,333表示33 000pF即0.033 $\mu$ F;562表示5 600pF;204表示200 000pF即0.2 $\mu$ F。

国外某些厂家的电容器产品采用不标出小数点的办法(默认单位为F)。例如,470n即0.47 $\mu$ F;1m0表示1mF即0.001F。

电容器标称容量标注示例见表1-12。电容量单位之间的关系:1F=10<sup>3</sup>mF=10<sup>6</sup> $\mu$ F=10<sup>9</sup>nF=10<sup>12</sup>pF

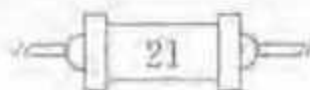
表 1-12 电容器容量标注符号示例

标称容量	标注符号	注 解	
1 $\mu$ F	105	10 $\times$ 10 <sup>5</sup> pF=1 $\mu$ F	
0.2 $\mu$ F	204	20 $\times$ 10 <sup>4</sup> pF=0.2 $\mu$ F	
0.1 $\mu$ F	104	10 $\times$ 10 <sup>4</sup> pF=0.1 $\mu$ F	
0.039 $\mu$ F	393	39 $\times$ 10 <sup>4</sup> pF=0.039 $\mu$ F	
0.033 $\mu$ F	333	33 $\times$ 10 <sup>4</sup> pF=0.033 $\mu$ F	
5 600pF	562	56 $\times$ 10 <sup>2</sup> pF=5 600pF	
1 000pF	102	10 $\times$ 10 <sup>2</sup> pF=1 000pF	
标称容量	标注符号	标称容量	标注符号
4 700 $\mu$ F	4m7	1 000pF	1n0
1 000 $\mu$ F	1m0	4 700pF	4n7
4.7 $\mu$ F	4 $\mu$ 7	10pF	10P
1 $\mu$ F	1 $\mu$ 0	4.7pF	4P7
0.47 $\mu$ F	470n	1pF	1P0
3 300 $\mu$ F	3n3	0.1pF	P10

此外,有些电容器产品是采用色标法表示的,即在电容器上用色环或色点的方法来表示标称容量及允许偏差。规定自左起第一环、第二环表示2位有效数字,第三环表示乘数,第四环表示允许偏差。各色环的含义见表1-13。五色环识别见表1-4。电容器、电阻器色环表示方法相同。

表 1-13 色标电容器上的色环(色点)识别(pF)表

颜色	有效数字	乘数	允许偏差 (%)	工作电压 (V)	颜色	有效数字	乘数	允许偏差 (%)	工作电压 (V)
黑	0	10 <sup>0</sup>	—	4	紫	7	10 <sup>7</sup>	$\pm$ 0.1	50
棕	1	10 <sup>1</sup>	$\pm$ 1	6.3	灰	8	10 <sup>8</sup>	—	63





续表

颜色	有效数字	乘数	允许偏差 (%)	工作电压 (V)	颜色	有效数字	乘数	允许偏差 (%)	工作电压 (V)
红	2	$10^2$	$\pm 2$	10	白	9	$10^0$	-20~+50	—
橙	3	$10^3$	—	16	金	—	$10^{-1}$	$\pm 5$	—
黄	4	$10^4$	—	25	银	—	$10^{-2}$	$\pm 10$	—
绿	5	$10^5$	$\pm 0.5$	32	无色	—	—	$\pm 20$	—
蓝	6	$10^6$	$\pm 0.25$	40					

例如,黄、紫、黄、金表示  $0.47\mu\text{F}\pm 5\%$ ;蓝、灰、棕、棕表示  $680\text{pF}\pm 1\%$ 。

## 二、可变电容器和微调电容器识别

### 1. 可变电容器

常见几种可变电容器的外形和电路符号如图 1-23 所示。其中,图 1-23(a)所示为空气介质可变电容器;图 1-23(b)所示为小型固体介质(如聚苯乙烯薄膜)可变电容器。

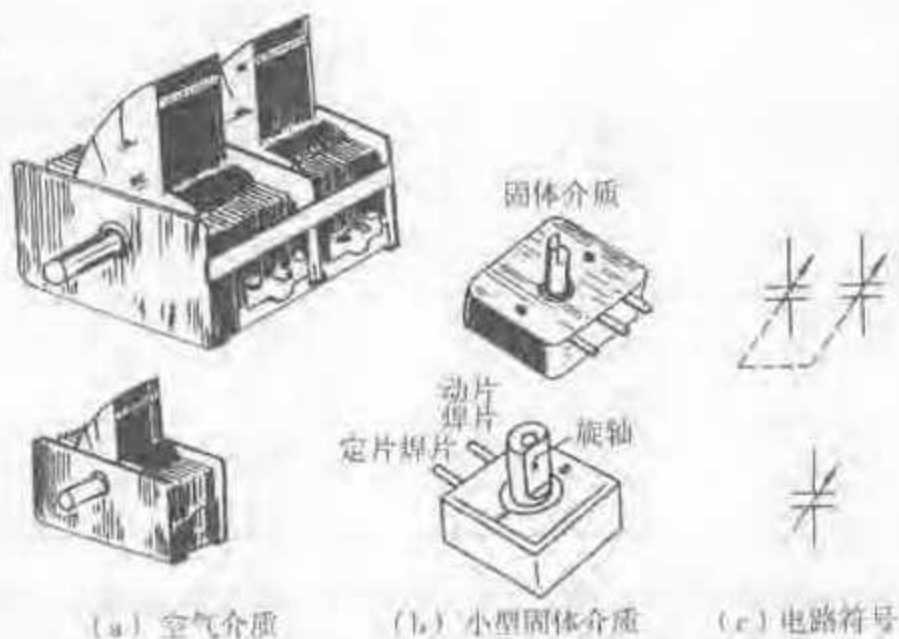


图 1-23 可变电容器的外形和电路符号

可变电容器由动片、定片 2 组金属片组成电极,当改变动片、定片之间的相对角度时(2 组金属片之间始终互不接触),即可改变其容量。当转动动片使它全部旋入时,电容器的容量为最大;当动片全部旋出时,容量为最小。它的最大、最小容量与两组极片之间的距离、极片组的总面积有关,而容量随旋转角的变化规律则与极片的形状有关。

可变电容器按变化规律可分为直线电容式、直线波长式、直线频率式和对数电容式等几种;按可变电容器的联动方式,则可分为单联、双联、三联等多种,如单





联 CB-1 系列和 CB-X 系列, 双联 CBG-2X-270 型、CBM-2X-270 型、三联 CBM-3X-340 型小型薄膜介质可变电容器等。

## 2. 微调电容器

常见微调电容器的外形如图 1-24 所示。微调电容器的电路符号如图 1-17(b) 所示。微调电容器又称半可变电容器, 常被应用于补偿、校正电路等。实际上它也是一种可变电容器, 只是容量变化范围较小, 常见的有  $3/10\text{pF}$ 、 $4.7/20\text{pF}$ 、 $4.7/25\text{pF}$  等几种。

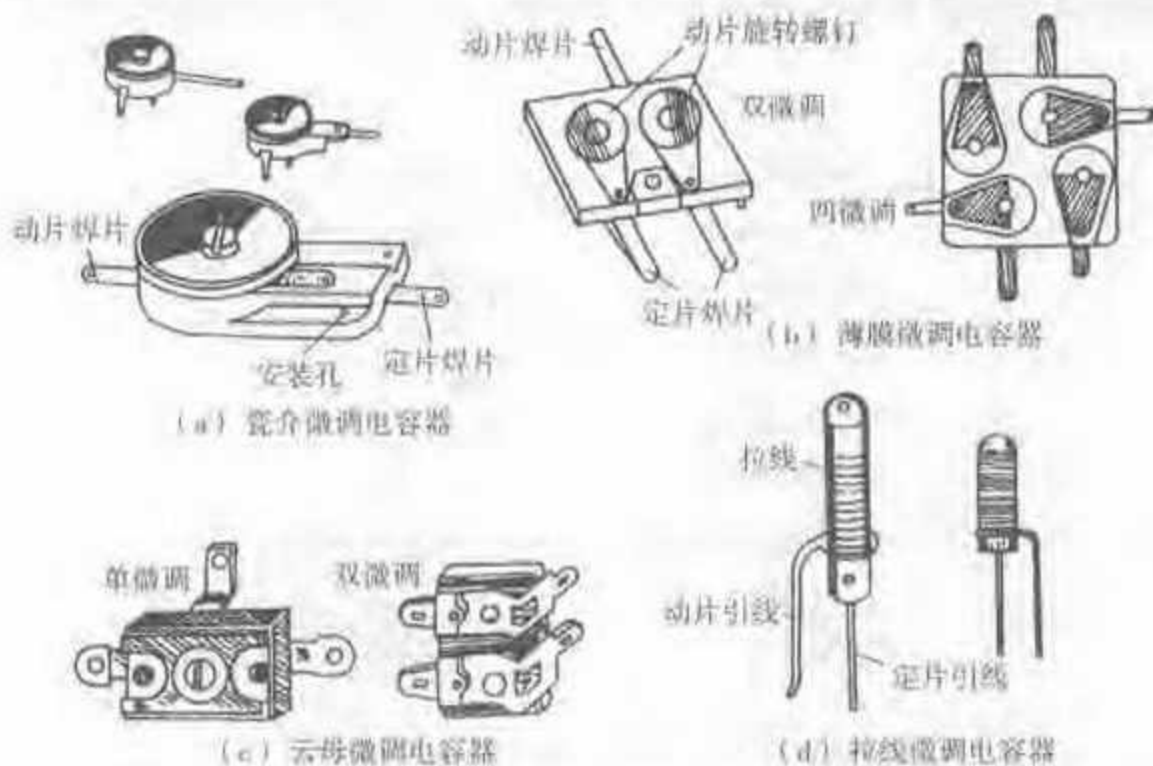


图 1-24 常见微调电容器的外形

图 1-24(a) 所示为瓷介微调电容器, 它是在陶瓷的动片、定片上镀半圆形银层作为极片, 当调节动片位置时即可改变其容量。图 1-24(b) 所示为薄膜微调电容器, 它用有机塑料薄膜作为介质, 以不规则半圆形金属片作为电容器的定片与动片, 当调节动片上的螺钉使动片转动时, 即可改变容量。薄膜微调电容器一般分为双微调 and 四微调 2 种。在有的密封双联或密封四联可变电容器的外壳顶部, 装有薄膜微调电容器, 与可变电容器构成一体, 以更方便使用和调整。图 1-24(c) 所示为云母微调电容器, 其中一个极片固定在胶木板或瓷板上, 再紧贴一云母薄片; 另一极片是具有弹性的金属片(铜片或铝片)固定于胶木或瓷片上, 两个极片之间夹有云母片以保证绝缘, 通过调节螺钉来改变两个极片之间的相对距离, 即可达到调整容量的目的。图 1-24(d) 所示为拉线微调电容器, 它以镀银瓷管基体为定片, 绕在瓷管上的细导线为动片, 减少细导线的圈数(拉掉剪去)即可使容量下降。其缺点是容量只能从大调到小, 无法恢复到原有的容量。此种微调电容器早期用于收音机振荡电路中作为补偿电容。



### 第三节 电感器和变压器

#### 一、电感线圈识别

##### 1. 电感线圈的种类

按照电感线圈的结构特点,它们可分为单层空心线圈、多层线圈、蜂房线圈、磁心线圈、固定电感器和可调电感器等多种。它们的常见电路符号如图 1-25 所示。

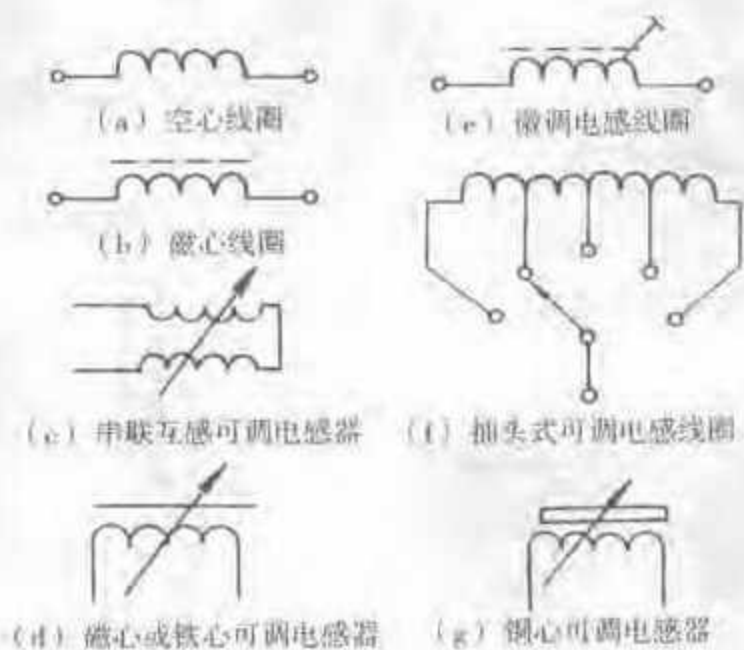


图 1-25 电感线圈和可调电感线圈的电路符号

(1) 单层空心线圈。单层空心线圈一般用于高频电路中,其电感量一般都较小,否则单层线圈的尺寸就会很大,且高频电路中并不要求大的电感量。空心线圈的电路符号如图 1-25(a)所示。

单层空心线圈通常应用介质损耗小的绝缘材料,如陶瓷、聚苯乙烯等作为线圈的骨架,用镀银铜线间绕或用漆包线密绕在骨架上而制成。间绕线圈每匝之间都相隔一定的距离,一般采用较粗的导线绕制,以满足分布电容、分布电感较小,稳定性要求高的场合。密绕单层线圈比间绕线圈的体积小,但分布电容较大,稳定性较低。另外,在高频大电流的场合,为了减少集肤效应带来的损耗,如高频感应炉所用的线圈是采用粗的空心铜管绕制而成。

(2) 多层线圈。在需要线圈电感量较大的场合,就要采用多层线圈。但多层线圈的分布电容比较大,除了匝间具有分布电容外,层间也具有分布电容。由于多层线圈的层间电压相差较大,因此当线圈两端峰值电压较高时容易发生绝缘击穿。改进的办法是将一个线圈分成几段绕制,使得每段线圈的层间电压以及整



个线圈的分布电容均可减小一些。二段式多层线圈的一种外形如图 1-26(b) 所示。

(3) 蜂房线圈。蜂房线圈一般都是由蜂房式绕线机绕制而成,绕制的导线以一定的偏角( $19^{\circ}\sim 26^{\circ}$ )在骨架上绕成线包,对于电感量较大的线圈则采取绕成几个或多个蜂房线包。二段式蜂房线圈外形如图 1-26(c)所示。蜂房线圈的优点是分布电容比较小。

(4) 磁心线圈。在线圈中加装磁心可以显著增加电感量,从而有效地缩小电感线圈的体积。但需要注意:由于涡流效应的影响,适合一定频率范围工作的磁心,不宜将它加装到更高工作频率的线圈中使用。磁心的形状有棒状、工字形、E型、环型、螺纹型、双孔型、罐型等多种,图 1-26(d)所示仅画出形状较简单的几种磁心。

(5) 小型固定电感器。小型固定电感器也是一种带磁心的线圈,并用塑料壳封装或环氧树脂包封而制成。由于它的电感量固定且体积小、重量轻、结构可靠而得到广泛的应用。如国产 LG 系列电感器产品的电感量范围为  $0.1\sim 22\,000\mu\text{H}$  (外壳上直标),额定电流为  $0.05\sim 1.6\text{A}$ ,误差范围为  $\pm 5\%\sim \pm 10\%$ 。LGA 系列色码电感器为超小型结构,外形类似  $0.5\text{W}$  色环电阻器,电感量范围为  $0.22\sim 100\mu\text{H}$ ,额定电流为  $0.09\sim 0.4\text{A}$ 。几种小型、超小型固定电感器外形如图 1-26(e)所示。

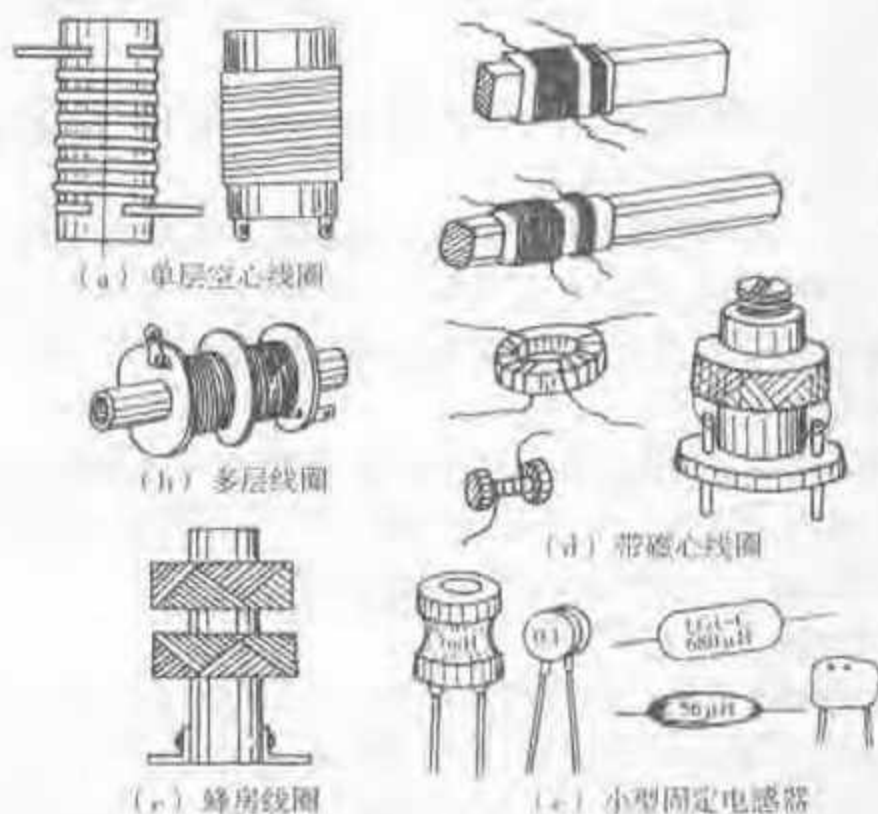
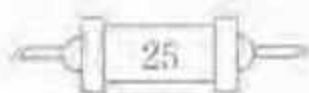


图 1-26 部分电感线圈的外形

(6) 可调电感器。可调电感器改变电感量的方法有抽头跳跃式和平滑连续式





2种,前者适用于电感量变化较大且允许分档变化的场合,后者宜用于电感量变化不大但需要连续调节的场合。一般是通过改变插入线圈中磁心或铜心的位置,或改变一对串联线圈之间的相对位置,使电感量得到连续的变化。另外,如果在线圈上装上一个可以滑动的接点(如同滑线式电阻器),则通过滑动接点而改变线圈的匝数,电感量也可逐步改变。

除上述各种电感器外,还有一些具有特殊形状的电感器,如电视机显像管的行偏转线圈呈马鞍形。

## 2. 电感器的主要特性

电感器的主要特性参数有电感量、品质因数、分布电容和稳定性等。

(1) 电感量。根据线圈在电路中的作用来确定其电感量的大小。一般电路的工作频率越高,要求线圈的电感量越小。在低频电路工作的电感线圈(带铁心),电感量很大。不同用途的电路,对线圈电感量允许误差的要求也不同。例如,调谐回路、滤波器中的电感器要求允许误差小,而一般作为扼流圈、耦合线圈等则允许误差可以比较大。

(2) 品质因数。线圈在某一频率交流电压下工作时,所呈现的感抗与线圈的等效电阻之比,称为线圈的品质因数( $Q$ ),即品质因数  $Q$  可表示为:

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

式中, $f$ 为线圈的工作频率; $L$ 为电感量; $R$ 为等效电阻(等于线圈的直流电阻、损耗等效电阻的总和)。

由于线圈的损耗会随着频率上升而增加,所以  $Q$  值不可能做得很高,一般在 20~120 之间,最高可达 400~500。

(3) 分布电容。由于线圈的每个匝间以及线圈与屏蔽、线圈与“地”之间都有一定的电容,所以整个线圈不仅有分布电感,而且也有一定的分布电容。分布电容的存在使电感器的稳定性下降,而且也会使品质因数下降。在多层线圈中,蜂房式线圈的分布电容比较小。

(4) 稳定性。电感器的稳定性是指当温度、湿度等因数改变时,线圈的电感量和品质因数随之改变的程度。它与线圈骨架材料以及线圈结构类型有关。以陶瓷材料为骨架的单层空心线圈,它的稳定性比较好。

## 3. 电感器在电路中的主要作用

(1) 电感器的阻流作用。因为感抗等于  $2\pi fL$ ,说明它不仅与电感量  $L$  成正比,同时也与交流电的频率  $f$  成正比,电感量越大,感抗越大;频率越高,感抗也越大。所以,电感器对于交流电有一定的阻流(扼流)作用。高频扼流圈可以阻止高频信号而允许低频交流信号和直流信号通过。低频扼流圈可以阻止交流成分而只让直流通过。因此,采用电感量不同的线圈,可以构成分频电路或滤波电路。



(2) 电感线圈的谐振选频作用。电感线圈与电容器并联构成 LC 谐振回路, 其固有振荡频率  $f_0$  可表示为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

于是当外加频率  $f$  等于  $f_0$  时, 这时谐振回路中的感抗和容抗等值且反相, 谐振回路呈现纯电阻特性, 总阻抗最小, 电流最大。因此, LC 谐振回路具有选频作用。LC 谐振回路的品质因数  $Q$  值越高, 回路的选频作用就越好。想得到高选择性的 LC 谐振回路, 应要求线圈的电阻尽量小, 线圈骨架材料和电容器的介质损耗尽量小。

## 二、变压器识别

### 1. 变压器的种类和功能

变压器的种类很多, 常见的有电源变压器、低频(音频)变压器、中频变压器、高频宽带变压器、脉冲变压器等。在同种功能的变压器中, 按结构的不同又可分成多种。

一些常用变压器的电路符号如图 1-27 所示。图中仅画出单绕组(自耦式)和双绕组结构, 带铁心(硅钢片)或带磁心和空心结构。

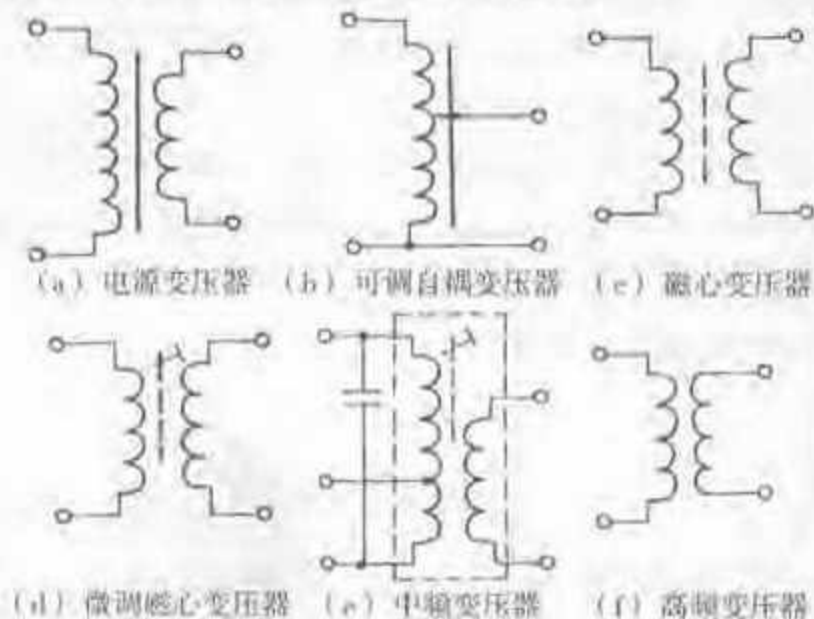


图 1-27 变压器的电路符号

(1) 电源变压器。一般电源变压器的初级(输入)绕组和次级(输出)绕组用粗细不同的漆包线绕成。因为电源变压器的主要用途多数是将市电(交流 220V)降压, 所以初级绕组的匝数要比次级绕组的匝数多, 它所用的漆包线比次级绕组细。当然, 如果是升压变压器, 情况则相反。

电源变压器按铁心不同分叠片式和卷绕式 2 种, 前者制造工艺比较简单、成本低、应用普遍; 后者制造工艺较复杂、制造成本高, 但具有漏磁小和效率高的明显优点, 主要用于要求高的电子设备中。





(2) 低频变压器(也称音频变压器)。它的结构与电源变压器类似,但体积小得多。它的主要用途是起阻抗变换和隔直流作用。例如,扩音机前级的话筒输入变压器、功率放大器的输出变压器等都起阻抗匹配作用。低频变压器的工作频率范围一般为  $30\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 。

(3) 中频变压器。收音机中的中周变压器就是最常见的一种中频变压器,它的工作频率为  $465\text{kHz}$ 。为了避免外界电磁干扰,中频变压器都安装在金属屏蔽壳内,其外壳顶部开一小孔,可用小螺丝刀(非金属的最适宜)调节磁心(或磁帽),从而改变初级绕组的电感量  $L$ ,以便与固定电容器  $C$  形成一个 LC 谐振回路,对中频信号起选择作用。

(4) 高频宽带变压器。在许多场合,变压器传输的信号具有很宽的频带。例如,电视中的天线匹配变压器,它要适应传输几十至几百兆赫的信号。这种情况与低频变压器所处的情况大不相同,因此无论在材料的选择还是结构的设计方面,它与低频变压器大不一样。通常它是用双根塑胶线并绕在高频、高磁导率的双孔磁心上构成。

(5) 脉冲变压器。在某些场合下,变压器要工作于非正弦脉冲电流和非正弦脉冲电压状态,因而要采用涡流损耗极小的高频铁氧体磁心作为脉冲变压器的磁心。例如,电视机中的行输出变压器,采用 U 形高频铁氧体磁心,变压器的次级由多个绝缘良好的副绕组分别输出不同的电压。还有一种一体化的行输出变压器,其初、次级绕组以及整流二极管全部灌封在一起,体积小且可靠性显著提高。另外,还有行推动变压器、开关变压器、电子点火器的脉冲变压器、臭氧发生器的脉冲变压器等多种,它们也各有自己的结构特点。

部分变压器的外形如图 1-28 所示。

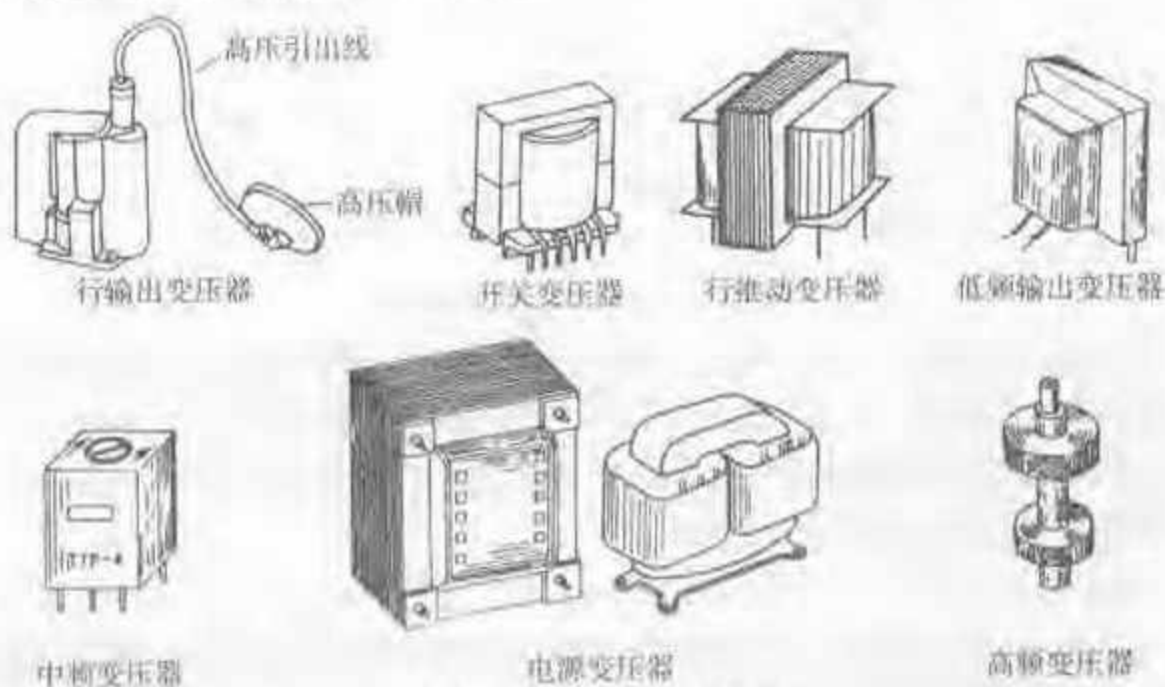


图 1-28 部分变压器的外形



## 2. 变压器的主要参数

变压器的主要参数有电压比、频率特性、额定功率和效率等。

(1) 电压比  $n$ 。变压器的输入电压  $U_1$  与输出电压  $U_2$  之比称为电压比  $n$ ，它与变压器绕组匝数的关系为：

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

式中， $N_1$  为初级(输入)绕组匝数； $N_2$  为次级(输出)绕组匝数。

因此，变压器的输出电压  $U_2$  等于输入电压  $U_1$  除以电压比  $n$ 。

即 
$$U_2 = \frac{U_1}{n}$$

当  $n$  小于 1 时变压器起升压作用；当  $n$  大于 1 时变压器起降压作用。

(2) 额定功率  $P$ 。变压器的额定功率是指在规定的频率和电压下，能长期工作而不超过限定温度的输出功率。它与变压器的铁心截面积、漆包线直径等有关。一般来说变压器的铁心截面积越大、漆包线线径越粗，即变压器体积大，它的输出功率也大。额定功率一般作为电源变压器的一个主要参数。

(3) 效率  $\eta$ 。变压器的效率是指在额定负载时，它的输出功率  $P_2$  与输入功率  $P_1$  的百分比。

即 
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

实际上，变压器的输出功率  $P_2$  总是要比输入功率  $P_1$  小。这首先是变压器中的绕组电阻引起发热而损失能量(所谓铜耗)，其次是铁心的涡流损耗和磁滞损耗也会引起发热而损失能量(所谓铁耗)。因此，变压器的效率不可能是百分之百。一般说，变压器的额定功率较大，它的效率较高。通常一些小功率变压器的效率与功率的关系见表 1-14。

表 1-14 小功率变压器的效率与功率的关系

额定功率 (V·A)	<10	10~30	30~50	50~100	100~200	>200
效率(%)	60~70	70~80	80~85	85~90	90~95	>95

(4) 频率特性。频率特性是指变压器有一定的工作频率范围(频率响应)，不同频率特性的变压器一般不能互换使用。实际上不同用途的变压器，它们的频率响应差别很大。例如，普通电源变压器是指定在工频 50Hz 使用的，但音频变压器的频率响应需要 40Hz~15kHz，要求稍低的则为 80Hz~8kHz。变压器的工作频率范围主要受铁心材料的涡流效应、绕组的漏感和分布电容影响所限制。

## 3. 变压器的阻抗变换作用

如将电能在变压器传输过程中的损耗忽略不计，则次级输出功率应等于初级



输入功率,即  $P_2 = P_1$ 。因为  $P_2 = U_2 I_2$ ,  $P_1 = U_1 I_1$ , 所以  $U_2 I_2 = U_1 I_1$ 。由此可见,通过变压器降压能增大额定输出电流。

阻抗变换原理:设  $Z_1$  表示变压器的输入阻抗,  $Z_2$  表示输出阻抗,  $n$  表示电压比(等于匝数比),则根据欧姆定律可得:

$$Z_2 = n^2 Z_1 \quad \text{或} \quad Z_1 = Z_2 / n^2$$

可见,变压器的输出阻抗( $Z_2$ )等于输入阻抗( $Z_1$ )的  $n^2$  倍。当  $n=1$  时,输出阻抗等于输入阻抗;当  $n$  小于 1 时,输出阻抗小于输入阻抗;当  $n$  大于 1 时,输出阻抗大于输入阻抗。因此,变压器不仅起变换电压作用,还起变换阻抗作用。当电子线路的输出端与负载实现阻抗匹配时,负载可获得最大的不失真输出功率(可选择合适匝数比  $n$  的变压器,进行阻抗变换以达到匹配)。

## 第四节 半导体二极管

半导体二极管简称二极管。

### 一、二极管基本知识

#### 1. 二极管的基本结构、外形和电路符号

二极管的单向导电性是由 PN 结的存在而引起的,即 P 型半导体一边接电源正极, N 型半导体一边接电源负极时二极管可以导通,反之则二极管处于截止状态。二极管的基本结构、外形和电路符号如图 1-29 所示。

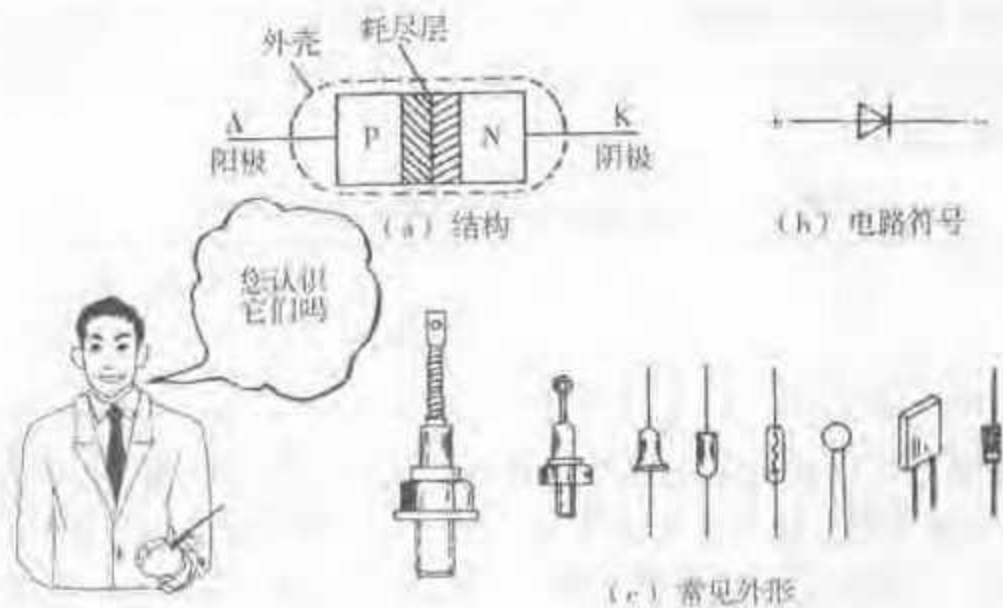


图 1-29 二极管的基本结构、外形和电路符号

#### 2. 二极管的伏安特性

普通二极管根据所用半导体材料不同,分为硅管和锗管两大类。它们的伏安





特性有明显的差别,如图 1-30 所示。由图可见,正向导通电压硅管比锗管大。硅管的导通电压约为  $0.6\sim 0.7\text{V}$ ,而锗管的导通电压约为  $0.2\sim 0.3\text{V}$ 。也就是说,硅管的正向压降要比锗管大(大功率硅管的正向压降 $\approx 1\text{V}$ )。同时,锗管的正向电阻也比硅管的小,因此为提高检波效率,通常都采用锗二极管作为检波管。

硅管的最大优点是温度稳定性好,工作温度高达  $75\sim 100^\circ\text{C}$  时,它的反向电阻和反向电流仍在允许范围内。锗管只能在室温下工作,如果工作到  $70^\circ\text{C}$  以上将失去单向导电性。因此,大功率整流二极管都是硅管。

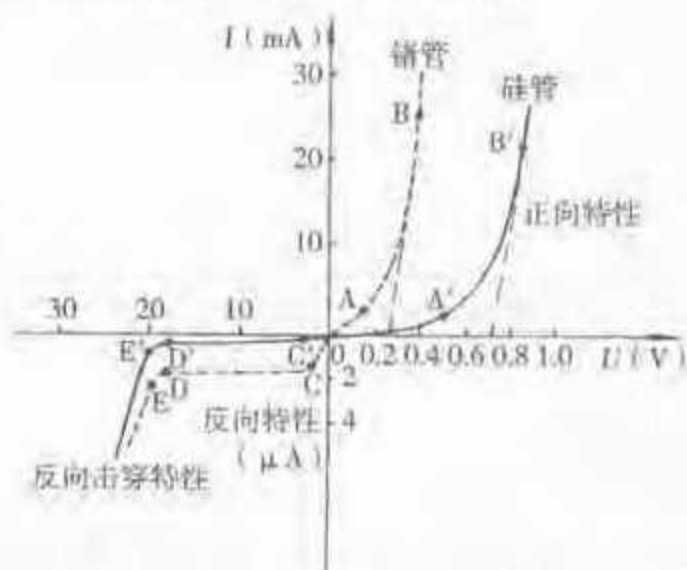


图 1-30 两类不同材料二极管的伏安特性曲线

### 3. 常用二极管的主要参数

几种常用国产检波二极管的主要参数见表 1-15。部分整流二极管的主要参数见表 1-16。

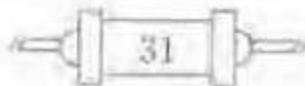
表 1-15 几种常用国产检波二极管的主要参数

参 数 型号	最大整流电流 (mA)	最高反向 工作电压 (V)	反向击穿电压 (V)	正向电流 (mA)	反向电流 ( $\mu\text{A}$ )	截止频率 (MHz)	结电容 (pF)
2AP9	5	15	$\geq 20$	8	$\leq 200$	100	$\leq 0.5$
2AP10	5	30	$\geq 40$	8	$\leq 40$	100	$\leq 0.5$
2AP11	$\leq 25$	10		10	$\leq 250$	40	$\leq 1$

注:结电容测试条件的反向电压为  $6\text{V}$ ,交流电压为  $1\sim 2\text{V}$ ,频率为  $10\text{MHz}$ 。

表 1-16 部分整流二极管的主要参数

参 数 型 号	最高反向工作电压 (V)	额定正向电流 (mA)	正向电压降 (V)	反向漏电流 ( $\mu\text{A}$ )	正向浪涌电流 (A)
2CZ54A~M	25~1 000	500	$\leq 1.0$	40	10





续表

参数 型号	最高反向工作电压 (V)	额定正向电流 (mA)	正向电压降 (V)	反向漏电流 ( $\mu$ A)	正向浪涌电流 (A)
2CZ55A~M	25~1 000	1 000	$\leq 1.0$	10	10
2CZ56A~M	25~1 000	3 000	$\leq 0.8$	20	65
2CZ57A~M	25~1 000	5 000	$\leq 0.8$	20	105
2CZ58A~M	25~1 000	10 000	$\leq 0.8$	30	210
2CZ82A~M	25~1 000	100	$\leq 1.0$	5	2
2CZ83A~M	25~1 000	300	$\leq 1.0$	5	6
2CZ84A~M	25~1 000	500	$\leq 1.0$	10	10
2CZ85A~M	25~1 000	1 000	$\leq 1.0$	10	20

注:整流二极管的耐压和字母 A~M 对应关系为:A—25V,B—50V,C—100V,D—200V,E—300V,F—400V,G—500V,H—600V,J—700V,K—800V,L—400V,M—1 000V。

#### 4. 二极管种类和极性识别

(1) 国产二极管型号中字母的意义。如二极管 2AP9 型、2CZ54 型,型号的第二部分字母是表示材料与导电类型:A 表示 N 型(电子导电型)锗管;C 表示 N 型硅管;B 表示 P 型(空穴导电型)锗管;D 表示 P 型硅管。型号的第三部分字母是表示二极管的种类,如 P 表示普通管;Z 表示整流管;W 为稳压管;L 为整流堆;U 为光电管;K 为开关管;S 为隧道管;N 为阻尼管。

(2) 极性识别。对于国产点接触型二极管,一般在管壁上涂颜色来表示正、负极性。如涂红色的一端为正极,不涂或涂其他颜色的一端为负极;带色点的一端为正极,不带色点的一端为负极;表面印有标志符号,标三角形符号的一端为正极,没有标三角形符号的一端为负极。另外,也可从外形来识别极性。

国外二极管,如 1N4000 系列一般是在管壁上涂有白色圆圈的一端为负极,没有涂白色圆圈的一端为正极。总之,若有疑问,均可用万用表测量二极管正、反向电阻的方法来判定引脚的极性。

## 二、稳压二极管基本知识

### 1. 稳压二极管的基本结构、外形和电路符号

稳压二极管又称齐纳二极管,它是能对电路起稳压作用且工作于反向击穿区的一种特殊二极管。稳压二极管通常用硅半导体材料制成,其热稳定性比较好。它的基本结构和外形与普通二极管相似。常见稳压二极管外形和电路符号如图 1-31 所示。标准稳压管有 3 个引脚,它是将一对稳压二极管封装在一起,如图 1-31 (b)、(c)所示,其中金属管壳型封装外形类似三极管。



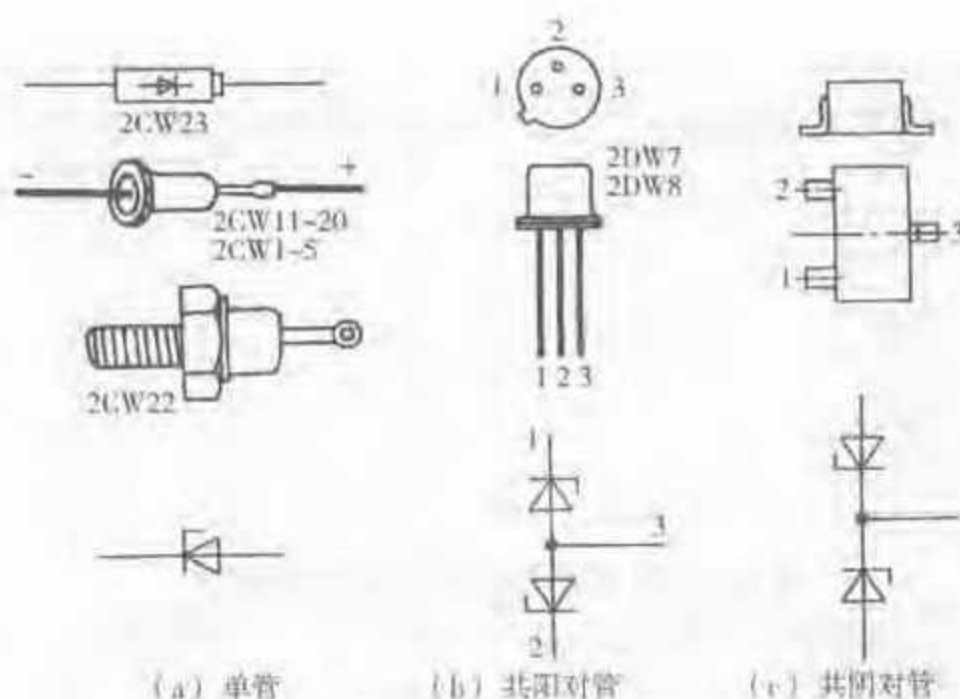


图 1-31 稳压二极管的外形和电路符号

## 2. 稳压二极管的伏安特性

稳压二极管的正向伏安特性和普通二极管相似,但它的反向特性与普通二极管不同,普通二极管不允许进入反向击穿区工作,而稳压二极管正是利用反向击穿区内反向电压基本上不随反向电流变化这一特点进行稳压的。只要适当控制反向电流的大小,稳压二极管是不会损坏的(串联限流电阻使反向电流小于额定最大电流)。

## 3. 稳压二极管的主要参数

稳压二极管的主要参数有:①稳定电压,也称稳压范围;②标称稳定电压,一般指稳压范围中间的一个电压而言;③稳定电流,指典型稳压状态下流过稳压管的反向电流;④最大稳定电流;⑤动态电阻,指在反向击穿区曲线上用动态小信号方法测定的电压与电流变化量之比值,动态电阻越小,稳压特性越好;⑥电压温度系数,指稳压二极管温度每变化 $1^{\circ}\text{C}$ 时引起其工作电压的相对变化量 $(\Delta U/U)$ ,电压温度系数有正、负之分,其绝对值越小,稳压二极管的稳定性越好。

部分常用稳压二极管的主要参数见表 1-17 及 1-18。

表 1-17 2CW、2DW 型部分稳压二极管主要参数

型号	参数	稳定电压 (V)	稳定电流 (mA)	最大稳定电流 (mA)	动态电阻 ( $\Omega$ )	电压温度系数 ( $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ )	额定功率 (W)	旧型号
2CW50		1.0~2.8	10	83	50	$\geq -9$	0.25	2CW9
2CW54		5.5~6.5	10	38	30	-3~5	0.25	2CW13
2CW56		7.0~8.8	5	27	15	$\leq 7$	0.25	2CW15





续表

型号	参数	稳定电压 (V)	稳定电流 (mA)	最大稳定电流 (mA)	动态电阻 ( $\Omega$ )	电压温度系数 ( $10^{-1}/^{\circ}\text{C}$ )	额定功率 (W)	旧型号
2CW63		16~19	3	13	70	$\leq 9.5$	0.25	2CW20A
2CW120		32~36	10	25	60	12	1	2CW21N
2DW230		5.8~5.6	10	30	$\leq 25$	$\leq  0.05 $	0.2	2DW7A
2DW231		5.8~5.6	10	30	$\leq 15$	$\leq  0.05 $	0.2	2DW7B
2DW232		6.0~6.5	10	30	$\leq 10$	$\leq  0.05 $	0.2	2DW7C

表 1-18 IN 系列部分稳压二极管主要参数

型号	参数	稳定电压 (V)	标称稳定电压 (V)	稳定电流 (mA)	动态电阻 ( $\Omega$ )	耗散功率 (W)
IN4614		1.7~1.9	1.8	120	1 200	0.25
IN4627		5.9~6.3	6.1	45	1 200	0.25
IN4106		11.4~12.6	12	20.4	200	0.25
IN4114		19~21	20	11.9	150	0.25
IN758		9~11	10	45	17	0.4
IN5942B		48~54	51	7.3	70	1.5
IN5956B		190~210	200	1.9	1 200	1.5

### 三、恒流二极管基本知识

#### 1. 恒流二极管的基本结构、外形和电路符号

恒流二极管(简称 CRD)是一种具有稳定电流作用的半导体器件,它是利用场效应原理制造而成,实质上是一个栅极和源极短路的场效应管。常见恒流二极管的外形如图 1-32(a)所示,它的电路符号如图 1-32(b)所示。

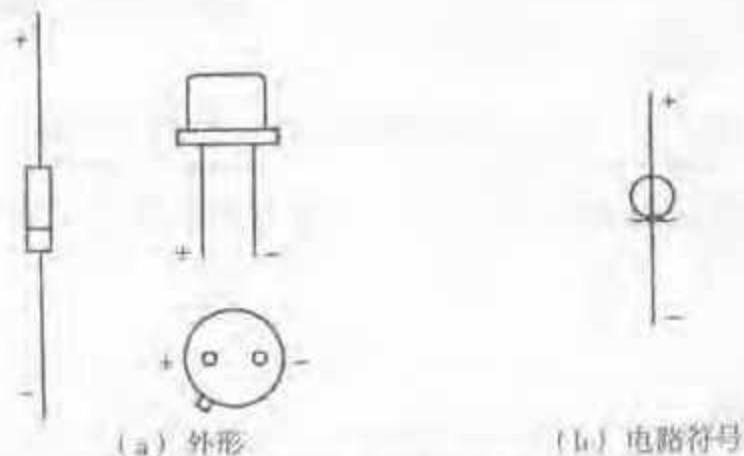
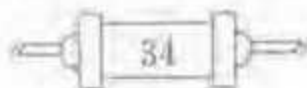


图 1-32 恒流二极管的外形和电路符号





## 2. 恒流二极管的伏安特性

恒流二极管最重要的基本特性可以从它的伏安特性曲线看出,该曲线表明恒流二极管两端电压和流过的电流之间的关系,如图 1-33 所示。可见,恒流二极管正向工作时伏安特性曲线可分为 oa 段、ab 段、bc 段及 cd 段,前两段合在一起即 ob 段总称为起始区,电流( $I$ )随电压( $U$ )的增加由线性地增加变为缓慢增加;接着的 bc 段相当平坦,电流( $I$ )基本上不随电压( $U$ )而变化,被称为饱和区或恒流区;在 cd 段,电流( $I$ )将随电压( $U$ )的增加而急增,属于击穿区。恒流二极管只有工作在饱和区的时候,才能起稳流作用。所以,恒流二极管的正常应用是在正向工作区,并且应使正向偏置工作点在饱和区居中位置。

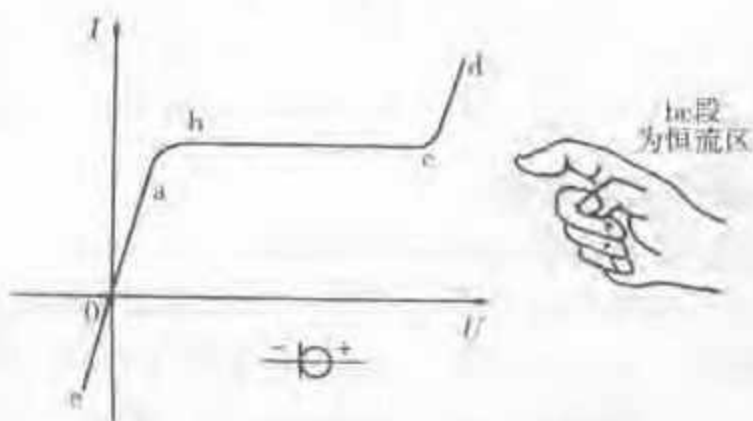


图 1-33 恒流二极管的伏安特性曲线

## 3. 恒流二极管的主要参数

(1) 恒定电流( $I_H$ )。指恒流二极管工作在恒流区域时的电流。一般在  $0.05 \sim 7\text{mA}$  之间。

(2) 起始电压( $U_S$ )。在恒流二极管的伏安特性曲线上,一般定义正向电流  $I_F = 0.9I_H$  所对应的电压  $U_S$  称为起始电压。常见恒流二极管的起始电压为  $0.5 \sim 5\text{V}$ 。

(3) 动态电阻。采用动态小信号方法测定恒流区部分伏安特性曲线的斜率,斜率的倒数就是恒流二极管的动态电阻。一般恒定电流较大的器件动态电阻较小。常见恒流二极管的动态电阻在  $0.1 \sim 8\text{M}\Omega$  之间。

(4) 电流温度系数。指恒流二极管温度每变化  $1^\circ\text{C}$  引起其工作电流的相对变化量( $\Delta I_H/I_H$ )。电流温度系数越小,恒定电流的稳定性越好。

一些常用恒流二极管的主要参数见表 1-19。



表 1-19 部分常用恒流二极管的主要参数

参数 型号	恒定电流 (mA)	起始电压 (V)	动态电阻 (MΩ)	最大工作电压 (V)	电流温度系数 (ppm/°C)
CR100	1.00	0.95	4.4	100	-300
CR120	1.20	1.15	3.3	100	-600
CR150	1.50	1.35	2.2	100	-950
CR200	2.00	0.60	0.88	100	+50
CR300	3.00	0.85	0.60	100	-450
CR470	4.70	1.40	0.40	100	-1100
J501	0.330	0.9	6.0	50	-
J505	1.000	1.5	1.9	50	-

#### 四、开关二极管基本知识

##### 1. 开关二极管的基本结构、外形和电路符号

开关二极管的特点是反向恢复时间比较短,其基本结构也是由半导体材料构成一个PN结,因此也具有单向导电性。但是硅电压开关二极管的结构比较特殊,它是由硅PNPN共4层结构组成,所以也称为4层二极管。硅双向电压开关二极管则由NPNPN共5层结构组成。

开关二极管有普通、高速、超高速、低功耗、高反压型和硅电压开关二极管等多种,它们均具有良好的高频开关特性。它们的外形因封装形式不同而有所不同。常见开关二极管的外形如图1-34(a)所示。开关二极管的电路符号除双向开关二极管外,与普通二极管的电路符号无异,如图1-34(b)所示。

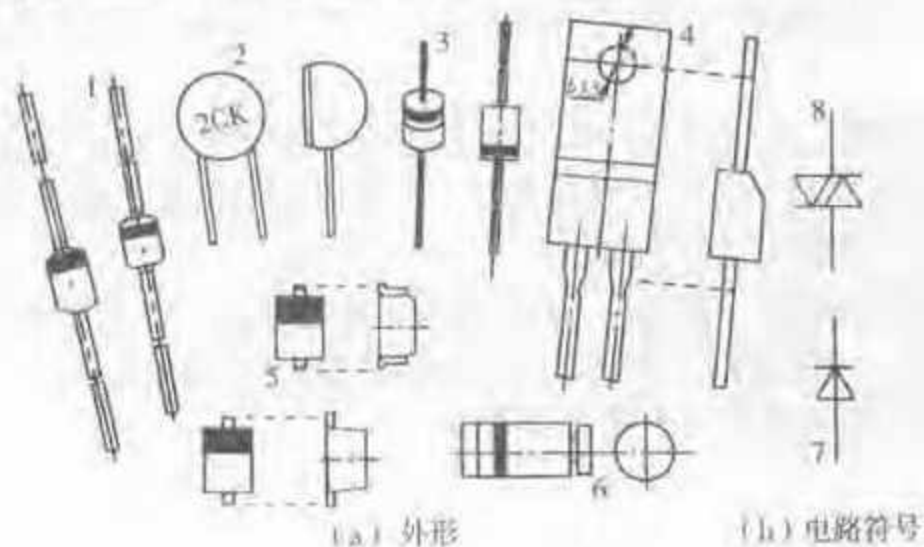
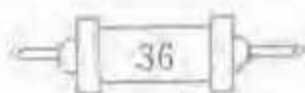


图 1-34 常见开关二极管的外形和电路符号

1-玻璃封装;2-塑料封装;3-塑封硅单向电压开关二极管;4-塑封硅双向电压开关二极管;  
5-表面封装(矩形);6-表面封装(圆柱形);7-开关二极管电路符号;8-双向开关二极管电路符号





## 2. 开关二极管伏安特性和主要参数

(1) 一般开关二极管的伏安特性。一般开关二极管(如 2AK、2CK 系列)的伏安特性曲线与普通二极管类似,因半导体材料不同而形成差别。如硅二极管的导通电压为  $0.6 \sim 0.7\text{V}$ , 大功率硅管正向压降  $\approx 1\text{V}$ , 而锗二极管的导通电压为  $0.2 \sim 0.3\text{V}$ 。它们的伏安特性曲线如图 1-30 所示。

(2) 硅电压开关二极管的伏安特性。单向硅电压开关二极管的伏安特性曲线如图 1-35 所示,可见它与普通二极管的伏安特性曲线有很大不同。它的正向部分呈现负阻电压开关特性,而反向则为稳压特性。其中  $U_s$  为正向转折电压;  $I_s$  为开启电流;  $I_T$  为通态电流,对应  $U_T$  为通态压降;  $I_H$  为维持电流;  $U_H$  为反向稳压值。

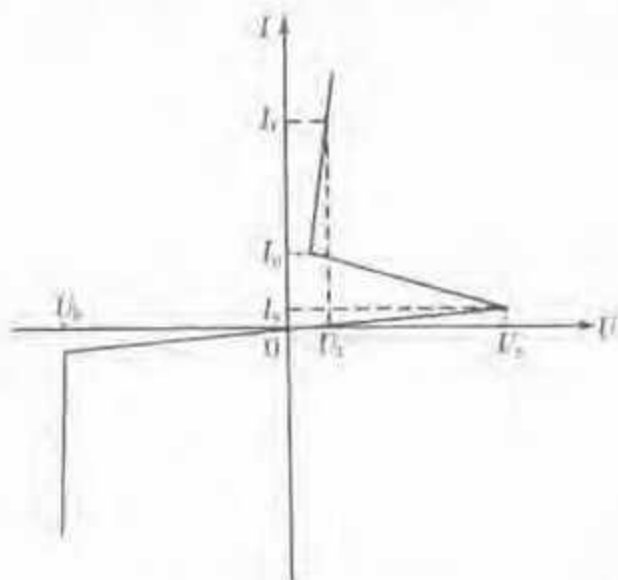


图 1-35 单向硅电压开关二极管的伏安特性曲线

双向硅电压开关二极管的伏安特性曲线如图 1-36 所示,它的正向和反向具有相同的负阻开关特性。

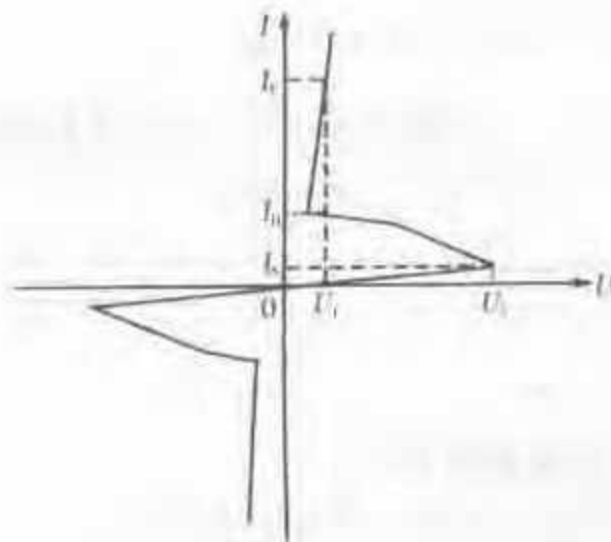


图 1-36 双向硅电压开关二极管的伏安特性曲线

(3) 开关二极管的主要参数。开关二极管的主要参数有反向恢复时间、正向压降、正向电流、最高反向工作电压、反向击穿电压、反向电流、零偏压电容等。其中反向恢复时间是开关二极管的一个重要参数。普通开关二极管的反向恢复时间为 150~200ns, 高速开关二极管的反向恢复时间小于 10ns 而大于 2ns, 超高速开关二极管的反向恢复时间约为 2ns。

部分常用开关二极管的主要参数见表 1-20, 2 种常用硅电压开关二极管的主要参数见表 1-21。

表 1-20 部分常用开关二极管的主要参数

型号	参数	最高反向工作电压 (V)	正向重复峰值电流 (mA)	正向压降 (V)	额定功率 (mW)	反向恢复时间 (ns)
1N4148		60	450	$\leq 1$	500	4
1N4149						
2AK1		10	150	$\leq 1$	正向电流 0.1~0.2A	$\leq 200$
2AK2		20		$\leq 0.9$		$\leq 150$
2AK3		30				
2AK5		40				
2AK6		50				
2CK74(A~E)	A $\geq 30$		100	$\leq 1$	100	$\leq 5$
2CK75(A~E)	B $\geq 45$		150		150	
2CK76(A~E)	C $\geq 60$		200		200	
2CK77(A~E)	D $\geq 75$		250		250	
	E $\geq 90$					

注: 1. 2AK 系列为普通开关二极管, 其零偏压电容 $\leq 1\text{pF}$ 。

2. 2CK, 1N 系列为高速开关二极管, 其零偏压电容为 2~8pF。

表 1-21 2 种常用硅电压开关二极管主要参数

型号	参数	转折电压 (V)	通态压降 (V)	通态电流 (A)	开启电流 (mA)	维持电流 (mA)	浪涌电流 (A)
K130(单向)		120~140	1.5	1	0.2	100	10
2CTK(双向)		80~300	1.5	1	0.2	100	20

## 五、双向触发二极管基本知识

### 1. 双向触发二极管的基本结构、外形和电路符号

双向触发二极管也称二端交流器件(DIAC), 是属于 3 层结构并具有对称性的二端半导体器件, 基本结构如图 1-37(a)所示。它等效于基极开路, 发射极与集





电极对称的一个 NPN 型晶体管,如图 1-37(b)所示。双向触发二极管的外形与普通二极管类似,它的电路符号与双向电压开关二极管的电路符号相同,如图 1-37(c)所示。

## 2. 双向触发二极管的基本特性和主要参数

(1) 伏安特性。双向触发二极管的伏安特性曲线如图 1-37(d)所示。可见,当器件两端的电压  $U < \text{正向转折电压 } U_{\text{BR}}$  时,器件呈现高电阻特性;当  $U > U_{\text{BR}}$  时,器件呈现负电阻特性,电压降低,电流反而增加。由于它的伏安特性具有对称性,所以当器件两端电压  $U$  超过反向转折电压  $U_{\text{BR}}$  时,器件同样也能进入负阻区而呈现负电阻特性。转折电压的对称性(转折电压偏差)用  $U_{\text{BR}}$  与  $U_{\text{BR}}$  的绝对值之差来表示,即  $\Delta U_{\text{B}} = U_{\text{BR}} - |U_{\text{BR}}|$ ,一般要求  $\Delta U_{\text{B}} < 2\text{V}$  为好,实际上  $\Delta U_{\text{B}} = 3 \sim 4\text{V}$  也认为是合格的。

(2) 主要参数。双向触发二极管的主要参数有转折电压( $U_{\text{BR}}$ )、转折电压偏差( $\Delta U_{\text{B}}$ )、峰值电流( $I_{\text{P}}$ )和转折电流( $I_{\text{BR}}$ )等。几种常用双向触发二极管的主要参数见表 1-22。

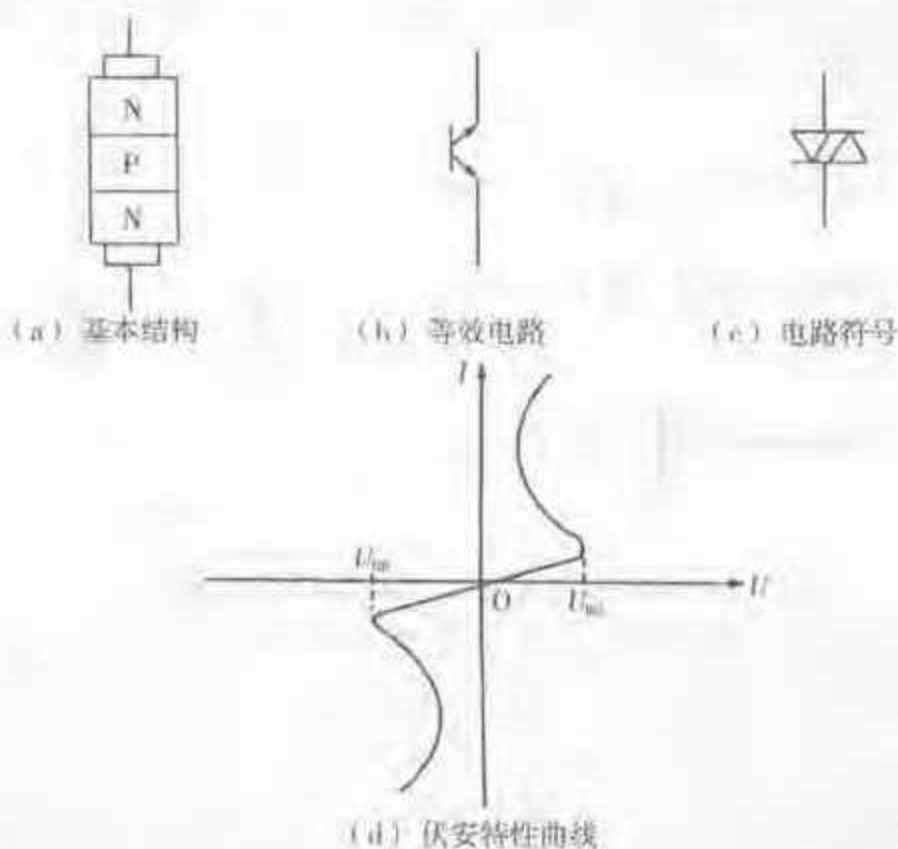


图 1-37 双向触发二极管的基本结构、电路符号和伏安特性曲线



表 1-22 几种常用双向触发二极管的主要参数

参数 型号	峰值电流 $I_p$ (A)	转折电压 $U_{tr}$ (V)	转折电压偏差 $\Delta U_{tr}$ (V)	弹回电压 $\Delta U$ (V)	转折电流 $I_{tr}$ ( $\mu$ A)
2CTS2	2	26~40	3	5	50
PDA30	2	28~36	3	5	100
PDA40	2	35~45	3	5	100
PDA60	1.6	50~70	4	10	100

由于双向触发二极管具有 2 个互为对称的正反转折电压这一特性,可用作双向交流开关向双向晶闸管提供触发电流。所以,它在双向晶闸管触发电路、定时器电路、移相电路和过电压保护电路等方面的应用很普遍。

### 六、瞬态电压抑制二极管基本知识

瞬态电压抑制二极管的外形和电路符号如图 1-38 所示。它由硅半导体材料采用扩散工艺制成,分单极型和双极型 2 种结构。它是一种可以作为瞬态电压抑制器(TVS)使用的半导体器件。

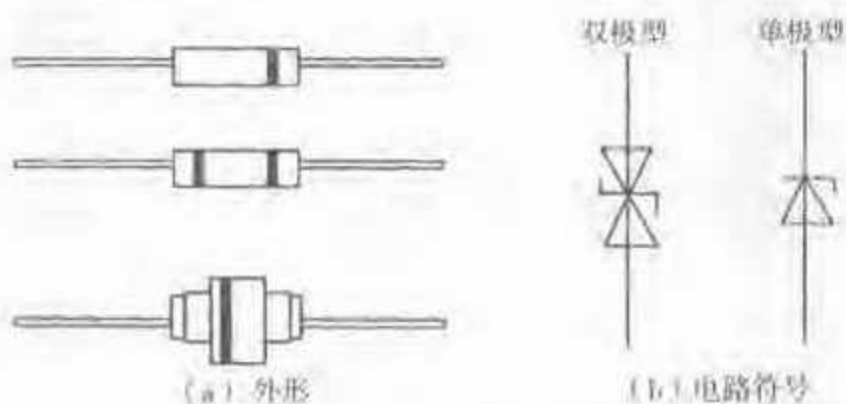
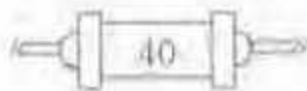


图 1-38 瞬态电压抑制二极管的外形和电路符号

瞬态电压抑制二极管的伏安特性曲线如图 1-39 所示。其中,图 1-39(a)所示为单极型器件的伏安特性曲线, $U_B$ 为反向击穿电压。可见,当反向击穿时其反向电流突然增加,而 PN 结电压能基本保持  $U_B$  值不变。利用这一特性,能将保护电路中出现的瞬间浪涌电压钳位在额定值  $U_B$ ,从而避免仪器设备遭受损坏。图 1-39(b)所示为双极型器件的伏安特性曲线,利用其特性可以作为双向电压保护器件使用。

瞬态电压抑制二极管的主要参数有击穿电压、反向变位电压、最大钳位电压、最大反向漏电流、最大峰值脉冲电流、额定脉冲功率等。部分瞬态电压抑制二极管的主要参数见表 1-23。



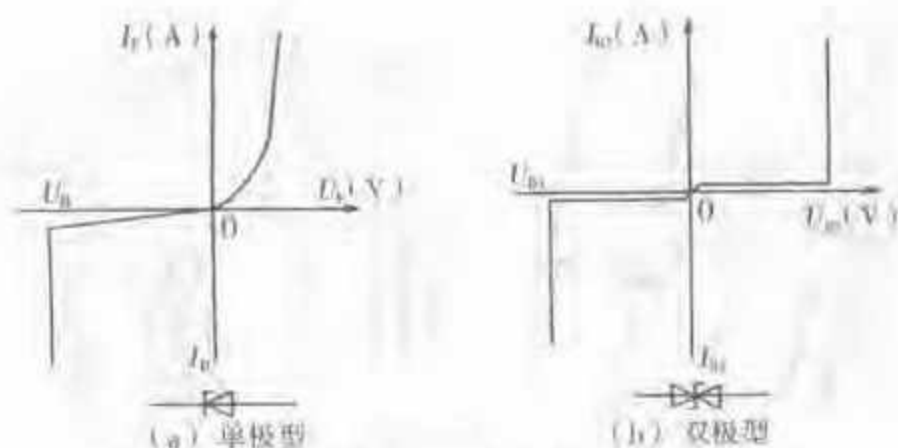


图 1-39 瞬态电压抑制二极管的伏安特性曲线

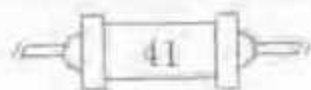
表 1-23 部分瞬态电压抑制二极管主要参数

参数 型号	击穿电压 (V)	反向 变位电压 (V)	最大 钳位电压 (V)	最大反向 漏电流 ( $\mu\text{A}$ )	最大峰值 脉冲电流 (A)	额定 脉冲功率 (W)
TVP501	9.1	7.37	13.4	50	36.2	500
TVP519	51	41.3	70.1	5	6.8	500
TVP526	100	81	137	5	3.5	500
TVP534	200	162	274	5	1.7	500
TVP1034	200	162	274	5	3.5	1 000
TVP5000	8.2	6.63	12.5	200	400	5 000
TVP5002	10	8.1	15	10	353	5 000
TVP5026	100	81	144	5	35	5 000
TVP5030	150	121	215	5	23	5 000
TVP5034	200	162	287	5	17	5 000

## 七、快恢复二极管基本知识

常见快恢复和超快恢复二极管的外形及内部电路如图 1-40 所示。其电路符号虽和普通二极管电路符号相同,但它的内部结构及器件特性均与普通二极管有区别。在结构方面,它在 P 型、N 型硅材料中间增加了基区 I,构成 P-I-N 硅片。由于基区很薄,反向恢复电荷量很小,从而使反向恢复时间大大减少,并且使瞬态区压降降低,同时还能承受很高的反向电压。

在高频、高压、大电流整流及保护电路中,普通二极管已不能满足应用要求。而快恢复、超快恢复二极管具有开关特性好、反向恢复时间短、正向电流大、反向





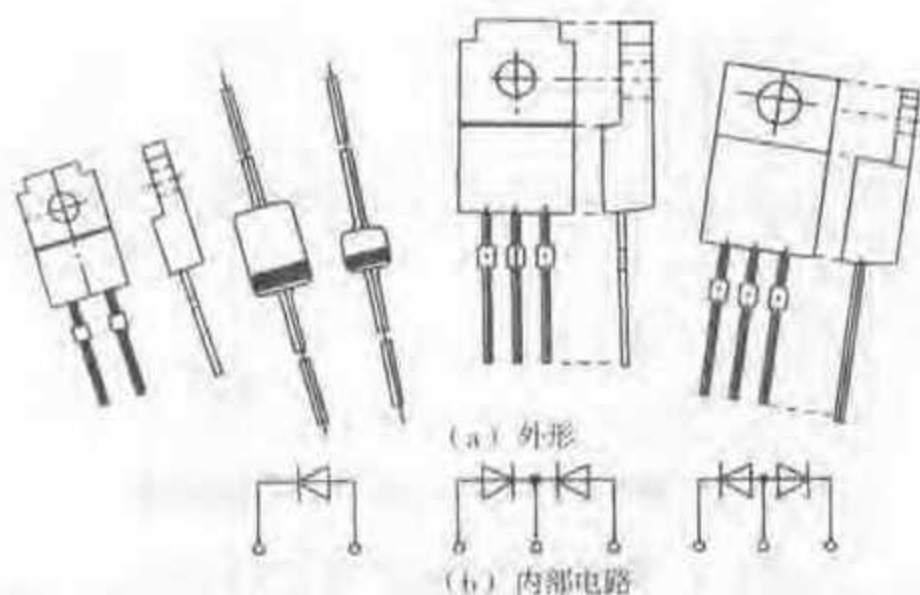


图 1-40 常见几种快恢复、超快恢复二极管的外形及内部电路

耐压高、体积小等优点,因而在开关电源、不间断电源、高频加热、交流电动机变频调速器、脉冲宽度调制器等装置中,应用十分广泛。

通常可用万用表( $R \times 1k$ 挡)检测快恢复、超快恢复二极管的正、反向电阻方法来判定其引脚极性,测试方法与检测普通硅整流二极管的方法相同。常用快恢复(400ns)、超快恢复(35ns)二极管主要参数见表 1-24。此外,还有 FR、PFR 系列小功率快恢复二极管等。

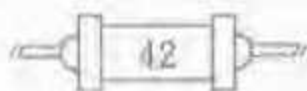
表 1-24 常用快恢复、超快恢复二极管主要参数

参数 型号	反向恢复时间 $t_{rr}$ (ns)	平均整流电流 $I_d$ (A)	最大瞬时电流 $I_{FSM}$ (A)	反向峰值电压 $U_{RM}$ (V)	结构形式
C20-04	400	5	70	400	单管
C92-02	35	10	50	200	共阴对管
MUR1680A	35	16	100	800	共阳对管
MUR3040PT	35	30	300	400	共阴对管
MUR30100	35	30	400	1 000	共阳对管

## 八、温敏二极管基本知识

温敏二极管也称精密二极管,它是利用半导体二极管 PN 结的正向电压会随温度而缓慢变化这一特性而制成的半导体温度传感器。部分国产温敏二极管的外形和电路符号如图 1-41 所示。

虽然我们也可直接采用普通小功率硅半导体二极管作为温敏二极管使用,但



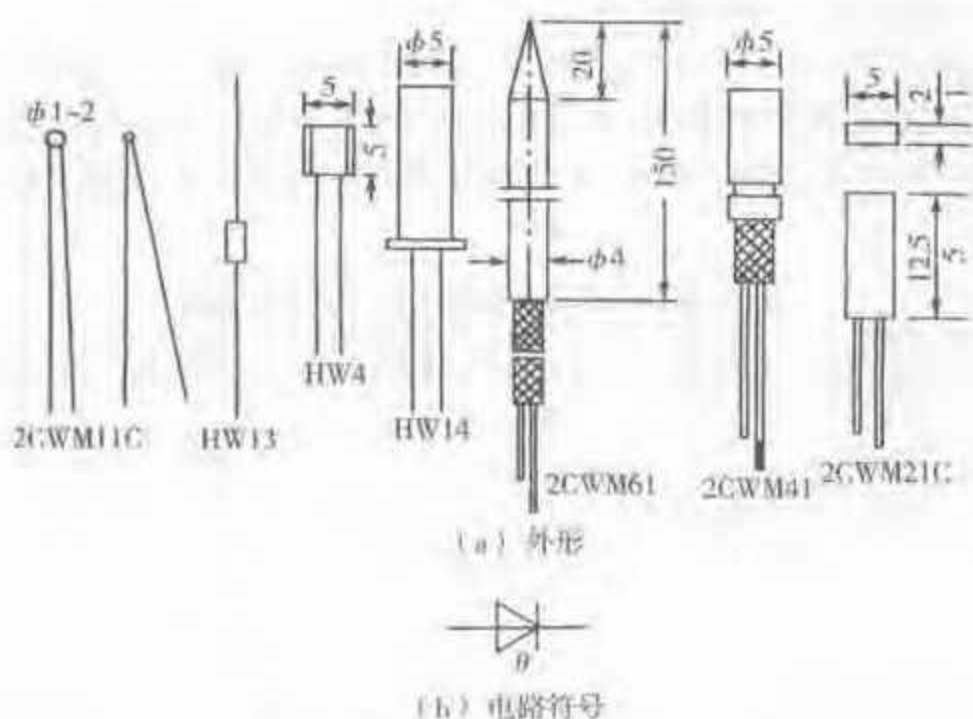
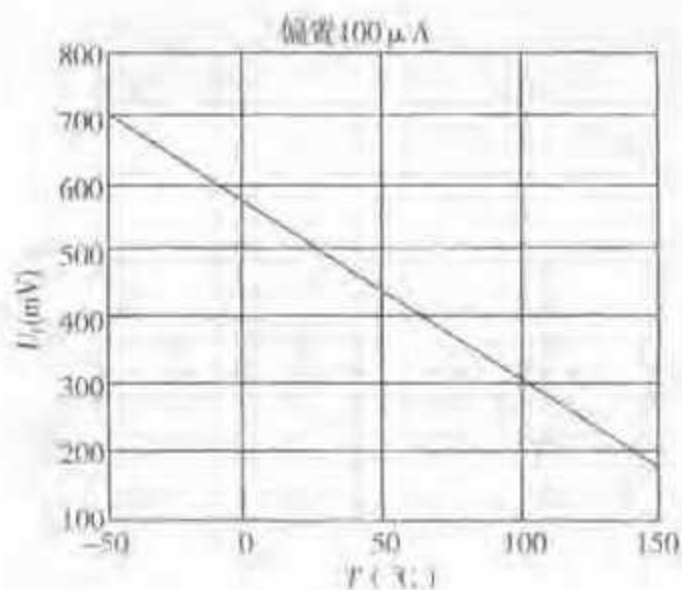


图 1-41 温敏二极管的外形和电路符号

是它们同型号的互换性较差。温敏二极管可克服这一缺点,互换性好,一般组内互换性偏差 $\leq \pm(0.2 \sim 1.5)^\circ\text{C}$ 。

温敏二极管的 $U_F-T$ 特性曲线基本上是一条直线,它表示温敏二极管输出正向电压( $U_F$ )与PN结温度( $T$ )之关系。例如,国产2DWM型温敏二极管的线性度为 $\pm 0.3\%$ ,测温范围为 $-50 \sim +150^\circ\text{C}$ 。2DWM型温敏二极管的 $U_F-T$ 特性曲线如图1-42所示。

图 1-42 2DWM型温敏二极管的 $U_F-T$ 特性曲线

温敏二极管的主要参数有:工作温度范围、输出电压、灵敏度、线性度、组内互换偏差、时间常数和最大功耗等。表1-25列出几种国产温敏二极管的主要参数。



温敏二极管正、负电极判别方法和普通二极管一样,可用万用表的  $R \times 100$  挡或  $R \times 1k$  挡测量其正、反向电阻来判定。温敏现象可用数字万用表的二极管测量挡(正向接法)连接被测器件,并用手指紧捏住器件,由于人手的温度高于室温(当然也可用电吹风适当加热),我们就可以看到数字万用表显示的正向电压有逐渐下降的现象。

表 1-25 几种国产温敏二极管的主要参数

参数 型号	工作温度范围 ( $^{\circ}C$ )	输出电压 (V)	灵敏度 ( $mV/^{\circ}C$ )	线性度 (%)	组内互换偏差 ( $^{\circ}C$ )	时间常数 (s)	最大功耗 (mW)
2CWM11C	-50~+125	0.6	2~2.5	0.3	0.5	0.1~2	0.1
2CWM21C	-50~+200	0.6	2~2.5	0.3	0.5	0.1~2	0.1
HW14	-50~+150	—	4.5	$\pm 0.3$	$\pm 0.2$ $\pm 0.5$ $\pm 1$	5~10	—
HW15	-50~+150	—	10	$\pm 0.3$	—	2~10	—
HW16	-50~+400	—	10	$\pm 0.5$	—	2~10	—

### 九、变容二极管的基本知识

变容二极管的结构与普通二极管类似,也具有单向导电性。它是利用半导体 PN 结电容可随反向偏压大小而变化的原理制成。它的主要用途是作为可变电容器使用。

变容二极管的外形和电路符号如图 1-43 所示,可见其外形与常见二极管没有多大区别。变容二极管的电容—电压典型特性曲线如图 1-44 所示,可见电容—电压之间是非线性关系。注意:反向电压不可无限制地增加,最高反向工作电压不应超过产品规定值,一般为 20~30V。

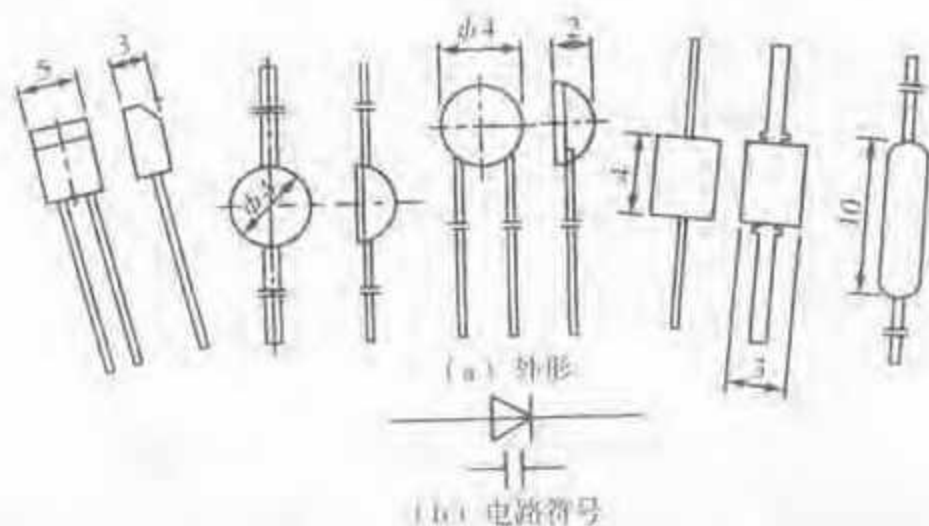


图 1-43 变容二极管的外形和电路符号



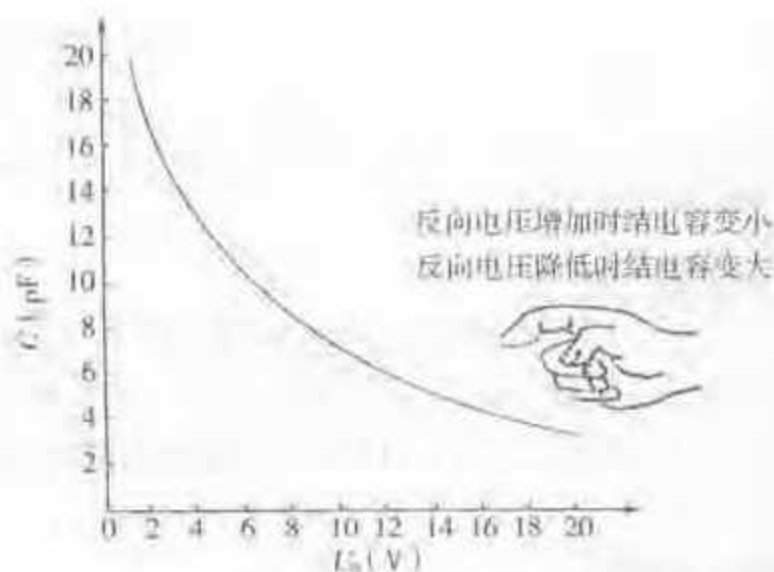


图 1-44 变容二极管的电容—电压典型特性曲线

变容二极管在电视机、收音机、超短波通信机以及其他电子设备的高频调谐或频段转换部分的应用相当普遍。

常用变容二极管有调谐变容二极管、频段转换变容二极管、调频变容二极管等多种。部分国产硅调谐变容二极管主要参数见表 1-26，其结电容分档见表 1-27。

表 1-26 调谐变容二极管主要参数

型号	参数	反向电流 ( $\mu\text{A}$ )	最高反向 工作电压 (V)	10V 偏压 下结电容 (pF)	允值	串联电阻 ( $\Omega$ )	电容 温度系数 (1/ $^{\circ}\text{C}$ )
	A						
2CC122 2CC222 2CC322 2CC422	A	$\leq 0.1$	30	8~9.5	120	1.5	$\leq 5 \times 10^{-4}$
	B			9.5~10.5			
	C			10.5~12			
	D			8~9.5			
	E			9.5~10.5			
	F			10.5~12			

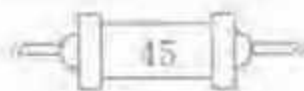
注：1. 结电容按 A、B、C、D、E、F 分档。

2. 最高结温 125 $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 反向电流测试条件：25 $^{\circ}\text{C}$ ，反向电压 30V。

表 1-27 变容二极管结电容分档表

分档标志	A	B	C	D	E	F
$C_j$ 容量范围 (pF)	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70



续表

分档标志	G	H	J	K	L	M
$C_{10}$ 容量范围(pF)	70~80	80~90	90~100	100~110	110~120	120~130

注:结电容在  $U_R=4V$  下测试,表中以  $C_{10}$  表示。

## 十、发光二极管基本知识

发光二极管(LED)是一种具有单向导电性的半导体PN结电致发光器件。常见的发光二极管分别有红、绿、黄、蓝、白等多种发光颜色。它作为电源指示灯、电平指示器或组合成LED显示屏,在各种电子线路、家用电路、仪器仪表和城乡交通等方面的应用相当普遍。

### 1. 单色和多色发光二极管

常见发光二极管的外形和电路符号如图1-45所示。其中多于2个引脚的是变色发光二极管(也称多色发光二极管),它是将2个或2个以上不同发光颜色的芯片封装在一起。

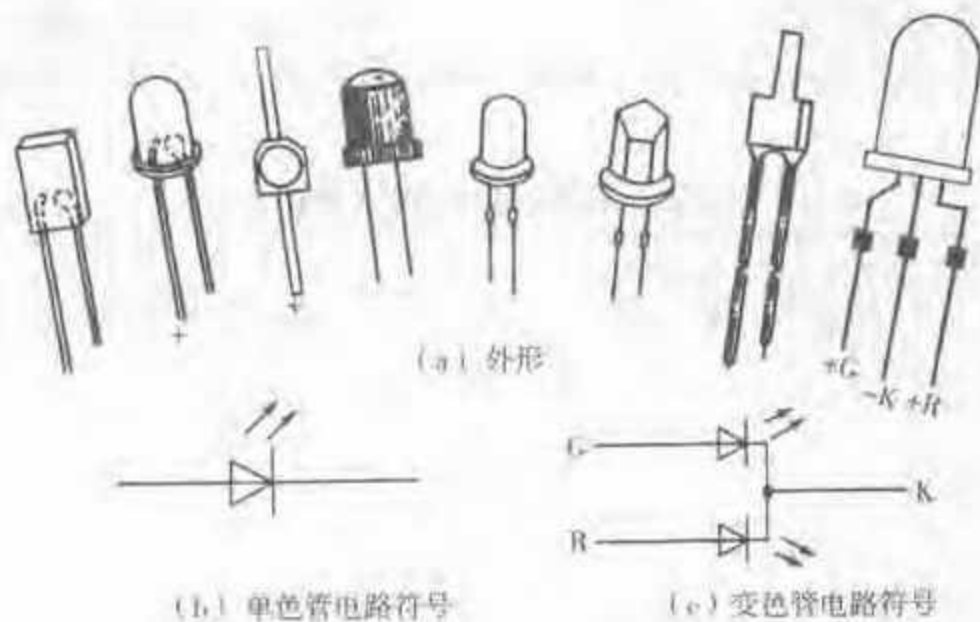


图1-45 发光二极管的外形和电路符号

G:绿色;R:红色;K:阴极

目前,制造发光二极管的半导体材料有磷化镓、磷砷化镓、砷化镓、砷铝化镓、磷铟砷化镓等多种,主要依靠这些不同的半导体材料,制成各具特色的发光二极管。

发光二极管的主要参数有:峰值波长、正向电压、正向电流、最大工作电流、反向电压、反向电流、耗散功率等。

峰值波长是指发光光谱曲线高峰所对应的波长,该波长的光相对光强最大。波长与颜色的关系见表1-28。



表 1-28 波长与颜色的关系

光的波长 (nm)	光的颜色
630~770	红色
590~630	橙色
570~590	黄色
490~570	绿色
470~490	青色
440~470	蓝色
330~440	紫色

一些常用发光二极管的主要参数见表 1-29, 常用高亮度、超高亮度发光二极管的主要参数见表 1-30。

表 1-29 常用发光二极管主要参数

参数 型号	正向 电压 (V)	最大 工作电流 (mA)	反向 电压 (V)	反向 电流 ( $\mu$ A)	峰值 波长 (nm)	发光 颜色	最大 耗散功率 (W)	外形 尺寸 (mm)
BT102	$\leq 2.5$	20	$\geq 5$	$\leq 50$	700	红色	0.05	$\phi 3$
BT103	$\leq 2.5$	20	$\geq 5$	$\leq 50$	565	绿色	0.05	
BT203	$\leq 2.5$	40	$\geq 5$	$\leq 50$	656	红色	0.09	$\phi 4.4$
BT204	$\leq 2.5$	40	$\geq 5$	$\leq 50$	585	黄色	0.09	
BT213	$\leq 2.5$	40	$\geq 5$	$\leq 50$	650	红色	0.09	$\phi 4.4$
BT214	$\leq 2.5$	40	$\geq 5$	$\leq 50$	585	黄色	0.09	
BT302	$\leq 2.5$	120	$\geq 5$	$\leq 200$	700	红色	0.09	$\phi 7.8$
BT303	$\leq 2.5$	120	$\geq 5$	$\leq 200$	565	绿色	0.09	
BT304	$\leq 2.5$	120	$\geq 5$	$\leq 200$	585	黄色	0.09	
FG314003	$< 2.5$	50	$> 5$	—	700	红色	0.125	$\phi 5$
	$< 2.5$	50	$> 5$	—	585	黄色	0.125	
2EF205	2.5	40	—	$\leq 50$	656	红色	—	$\phi 5$
2EF405	2.5	40	—	$\leq 50$	585	黄色	—	

注:表中 FG314003 型的工作电流、耗散功率不是最大值。

表 1-30 常用高亮度、超高亮度发光二极管主要参数

参数 型号	正向 电压 (V)	最大 工作电流 (mA)	反向 电压 (V)	反向 电流 ( $\mu$ A)	峰值 波长 (nm)	发光 颜色	最大 耗散功率 (W)	材料
BT116-X	<2.5	20	>5	<100	660	红色	0.1	GaAlAs
BT316-X	<2.5	20	>5	<100	660	红色	0.1	
BT416-X	<2.5	20	>5	<100	660	红色	0.1	
BT616-X	<2.5	30	>5	<100	660	红色	0.1	
BT716-X	<2.5	20	>5	<100	660	红色	0.1	
BT1143	<2.4	20	>5	<100	655	红色	0.1	GaAsInP
BT1144	<2.4	20	>5	<100	595	橙色	0.1	
BT1147	<2.4	20	>5	<100	620	橙色	0.1	
BT3142	<2.4	20	>5	<100	645	红色	0.1	
BT3143	<2.4	20	>5	<100	565	绿色	0.1	
BT3144	<2.4	20	>5	<100	595	橙色	0.1	
BT3147	<2.4	20	>5	<100	620	橙色	0.1	

发光二极管的反向电压 $\geq 5V$ ,是指可以达到5V或比5V稍大一点,一般要比普通二极管的反向电压低许多。因此,应用发光二极管时要特别注意避免有较高的反向电压,最好不要使它承受任何反向电压。

发光二极管的引脚通常是一长一短,长的引脚为正极,短的引脚为负极。也可透过透明塑料管体从侧面观察2根引出线在管体内形状,较小的一端是正极,较大的一端是负极。若有疑问,也可用数字万用表的二极管测量挡来判别引脚极性,或用点亮试验法判别引脚极性(用2节1.5V电池和1只约300 $\Omega$ 电阻与被测发光二极管串联做试验)。

## 2. 闪烁发光二极管

闪烁发光二极管(BTS)的外形及电路符号如图1-46所示。

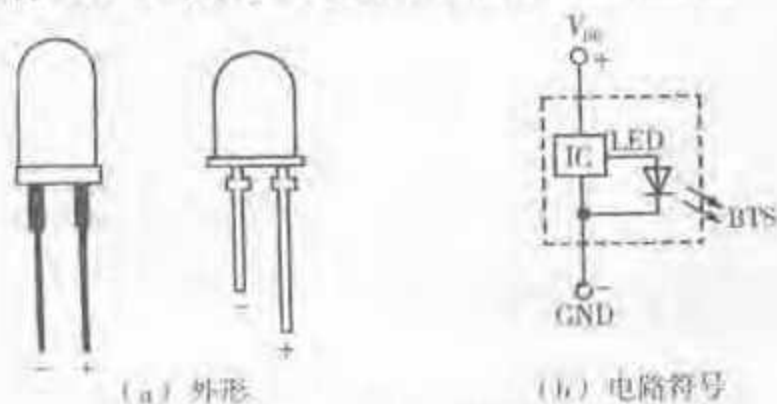


图 1-46 闪烁发光二极管的外形及电路符号



图中 IC 为 CMOS 集成电路, LED 为单色发光二极管。CMOS 集成电路内部包括振荡器、分频器、缓冲驱动器三部分。分频器最终输出频率为 1.3~5.2Hz 的脉冲信号,由驱动器进行电流放大后输出一个足够大的驱动信号,驱动发光二极管(LED)闪烁发光。

由此可见,闪烁发光二极管无需外接任何元件,只要在它的两引脚之间接上额定工作电压就能正常工作。它具有功耗低、寿命长、使用简便等特点。因此,在各种车辆及其他设备上作为报警、提醒或某个过程的显示,其应用相当普遍。

一般从闪烁发光二极管的外形即可判别引脚的极性[图 1-46(a)]。若有怀疑则可用万用表检测后确定,具体操作方法:将万用表置于  $R \times 1k$  挡,交换表笔 2 次接触闪烁发光二极管的 2 个引脚,这相当给两引脚之间接上 1.5V 电压。如果被测器件是好的,则可看到两次检测中有一次会出现仪表指针持续小幅度抖动的现象,这时黑表笔所接的引脚为正极,红表笔所接的引脚为负极。

国产闪烁发光二极管主要参数见表 1-31。

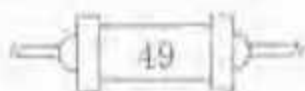
表 1-31 几种国产闪烁发光二极管主要参数

参数 \ 型号	BTS314058	BTS324058	BTS334058	BTS344058	测试条件
发光强度(mcd)	$\geq 0.5$	$\geq 1$	$\geq 1$	$\geq 1$	工作电压 $V_{10} = 5V$
峰值波长(nm)	700	630	585	565	
颜色	红色	橙色	黄色	绿色	-
半角值( $^{\circ}$ )	$\pm 40$				-
工作电压(V)	4.75~5.25				功能正常
正向电流(mA)	7~40				$V_{10} = 5V$
反向漏电流( $\mu A$ )	$\leq 50$				$V_{10} = 0.4V$
闪烁频率(Hz)	1.3~5.2				$V_{10} = 5V$
占空比(%)	33~67				$V_{10} = 5V$

## 十一、红外发光二极管和红外光敏二极管基本知识

### 1. 红外发光二极管

红外发光二极管的结构原理与普通发光二极管类同,也是依靠一个 PN 结发光,但它是发出人眼不可见的红外光(峰值波长为 880~940nm)。为了提高红外光发射的指向性,通常采用折射率较高的环氧树脂封装,也有的是采用玻璃或塑料封装。封装材料的颜色一般有蓝色透明和无色透明 2 种。红外发光二极管的外形和电路符号如图 1-47 所示,红外发光二极管的电路符号与普通发光二极管相同。





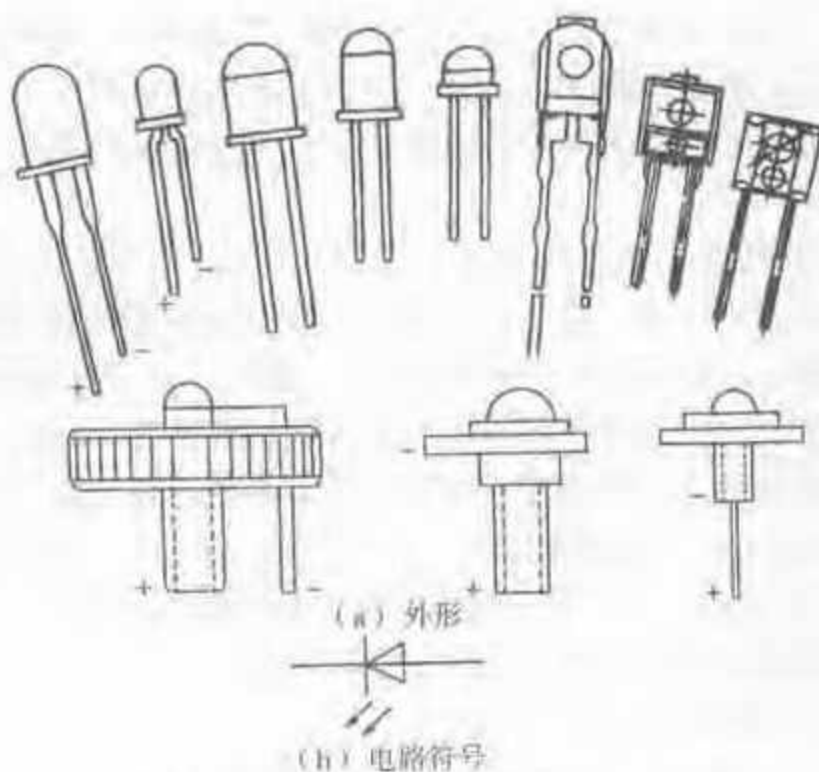


图 1-47 红外发光二极管的外形和电路符号

红外发光二极管的指向特性,是由封装透镜的形状及管芯与顶端的位置所决定的。2 种不同方式封装的红外发光二极管的指向特性曲线如图 1-48 所示。

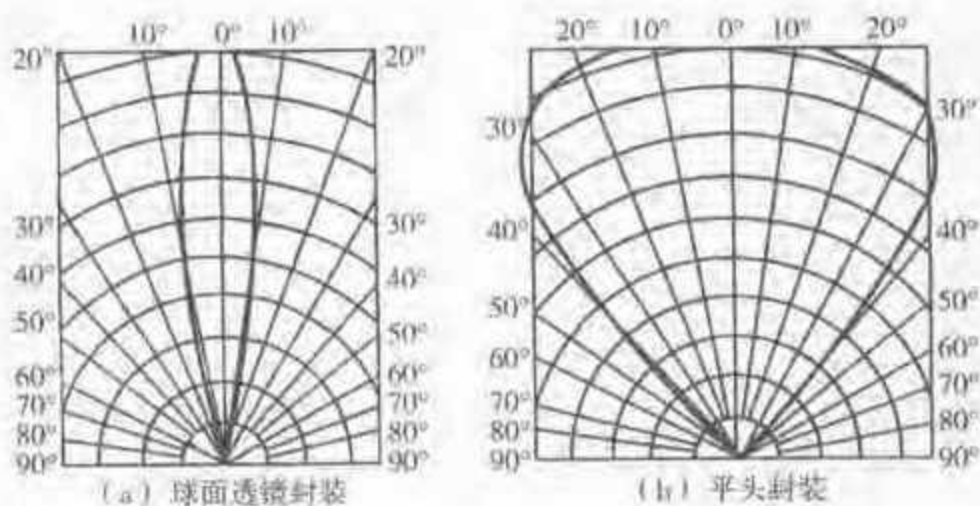


图 1-48 红外发光二极管的指向特性曲线

红外发光二极管的驱动方式有恒定直流电流、脉冲直流电流、交流电流驱动 3 种方式。一些红外发光二极管的主要参数见表 1-32。

表 1-32 一些红外发光二极管的主要参数

型号	参数	正向电流 (mA)	正向电压 (V)	反向耐压 (V)	发射功率 (mW)	峰值波长 (nm)
GL-2		20	$\leq 1.3$	$\geq 5$	0.5~1	940
GL-5		20	$\leq 1.3$	$\geq 6$	0.5~1.2	940





续表

型号	参数	正向电流 (mA)	正向电压 (V)	反向耐压 (V)	发射功率 (mW)	峰值波长 (nm)
GL-5S		20	$\leq 1.3$	$\geq 6$	1~3	940
HG301		50	$\leq 1.5$	$\geq 5$	1~3, 5~10	940
HG310		50	$\leq 1.5$	$\geq 5$	1~2	940
TLN107		50	$\leq 1.5$	$\geq 5$	$\geq 1.5$	940
TLN104		60	$\leq 1.5$	$\geq 5$	$\geq 2.5$	940
LN51L		100	1.5	—	3	950
HG501		200	1.5~1.8	—	10~20	930
HG506		200	1.6~1.8	—	70~100	930
HG521		3000	$\leq 2.0$	—	100~150	930

## 2. 红外光敏二极管

红外光敏二极管也称红外接收二极管,有4种不同类型,即PN结型、PIN结型、雪崩型、肖特基结型,其中用得最多的是由硅半导体材料制成的PN结型。其原理是当红外光照射到PN结上时,光能被吸收转变为电能,从而将接收光的变化转换成电流的变化。红外光敏二极管的常见外形和电路符号如图1-49所示。

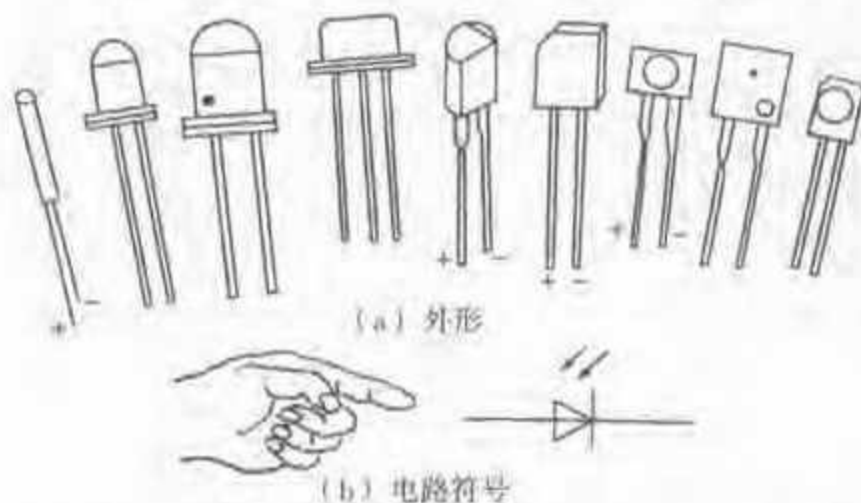
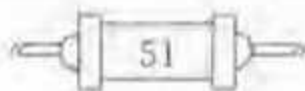


图 1-49 常见红外光敏二极管的外形和电路符号

红外光敏二极管的封装采用塑料、玻璃、树脂等透光材料,为了滤去波长700nm以下的可见光,有的红外光敏二极管采用黑色树脂封装。管体外形一般有圆形或矩形2种,圆形的红外光敏二极管从顶面受光(半圆顶起聚光作用);矩形的红外光敏二极管从侧面受光,有的还制有红外聚光透镜。

无光照射,红外光敏二极管的伏安特性曲线与普通二极管类似。有光照射,红外光敏二极管的反向电流增大,它的伏安特性曲线沿电流*I*轴往负向平移,光



照越强,负向平移的幅度越大,如图 1-50 所示。可见,即使无外加电压,在光照下闭路时也会产生一定的反向电流。

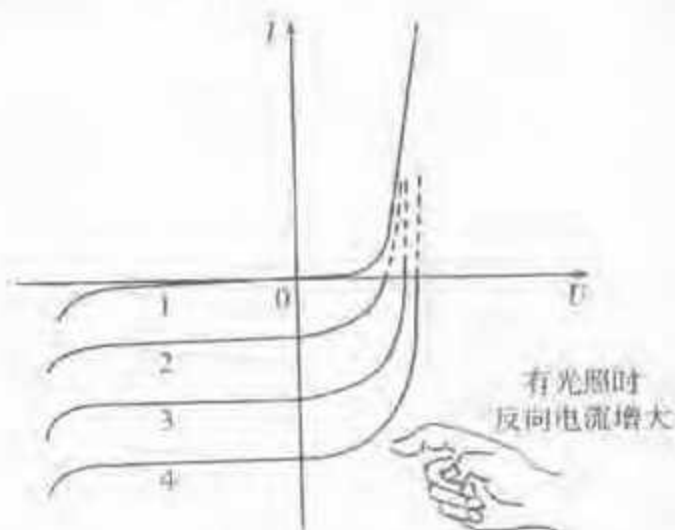


图 1-50 红外光敏二极管的伏安特性曲线

1-无光照;2、3、4-光照强度逐步增加

红外光敏二极管的主要参数有暗电流、光电流、峰值波长、反向耐压等。对于高速红外探测和控制器件,响应时间也是一个主要参数,可查阅有关手册了解。表 1-33 为部分红外光敏二极管的主要参数。

表 1-33 部分红外光敏二极管的主要参数

型号	参数	暗电流 ( $\mu\text{A}$ )	光电流 ( $\mu\text{A}$ )	峰值波长 (nm)	反向耐压 (V)
2CU1A~2E		$\leq 0.2$	$\geq 30$	880	10~50
2CU3A,B,C		$\leq 0.5$	$\geq 15$	900	10~30
2CU5A,B,C		$\leq 0.1$	$\geq 10$	880	10~30
2CU83~86		$\leq 0.3$	$\geq 20$	950	20~100
2CU301A,B		$< 0.3$	$> 8$	900	20
2DUA		$\leq 0.3$	$\geq 6$	880	50
2DUB		$\leq 0.3$	$\geq 20$	880	50
HP-3FR2S		$\leq 0.01$	$\geq 20$	940	35
HP1-3FR2		$\leq 0.03$	$\geq 40$	940	35
HP1-6FR4		$\leq 0.03$	$\geq 30$	940	35
FPD-302		$\leq 0.03$	-	940	32
RPM-301B		0.01	-	1000	32
HPD711,712		$\leq 0.03$	$\geq 50$	940	30



判别红外光敏二极管引脚的极性,可以用万用表(以下不作说明均系模拟式万用表)测量其正、反向电阻的方法。测量时必须将被测管置于暗盒中,或用黑纸包住以防光照。另外,也可从外观上识别引脚极性。例如,常见外观黑色近似半圆柱体的红外光敏二极管,它的顶端有一小斜切平面,通常对应此斜切平面一端的引脚为负极,另一端的引脚为正极。一种外观为矩形的红外光敏二极管,对应顶部切角一端的引脚为正极,另一端的引脚为负极;或者面对受光面看,左边引脚为正极,右边引脚为负极。如果引脚一长一短,一般较长的引脚为正极,较短的引脚为负极(图 1-49)。

## 十二、激光二极管基本知识

激光二极管是一种多层元素 PN 结结构的特殊发光二极管,它的 P 区和 N 区都是高浓度掺杂,通常为镓铝砷三元素或铟镓铝磷四元素化合物半导体。激光二极管的外形、内部结构类型和电路符号如图 1-51 所示。

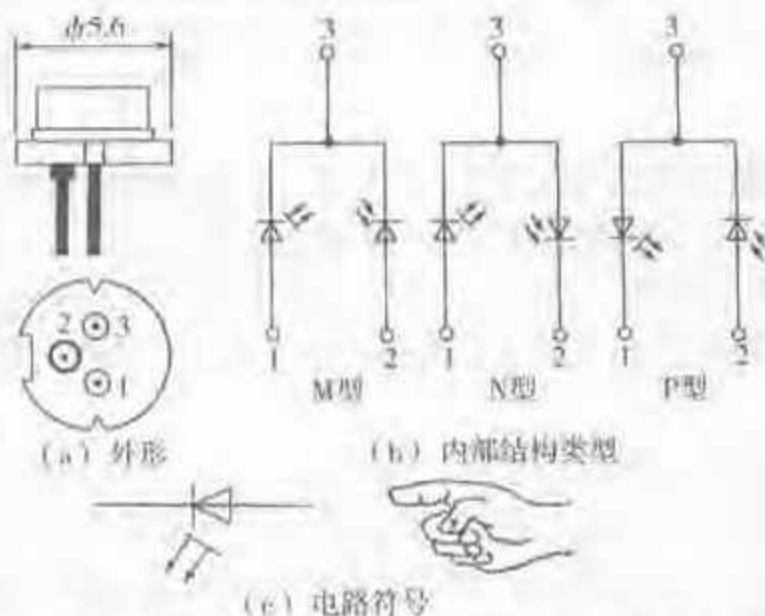


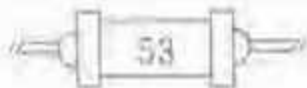
图 1-51 激光二极管的外形、电路符号和内部结构类型

一种平顶的激光二极管常被用于激光影碟机(LD机)、DVD激光影碟机、电脑光驱等产品中。它将光敏二极管与激光二极管封装在同一管壳内,用光敏二极管检测激光强度,以便通过外部电路对激光二极管进行自动功率控制。还有一种顶部为斜面的激光二极管,一般被用于CD机和VCD机等产品中。

激光二极管的主要参数有:额定光功率、阈值电流、典型工作电流、正向电压、波长。部分激光二极管的主要参数见表 1-34。

表 1-34 部分激光二极管的主要参数

型号	参数	额定光功率 (mW)	阈值电流 (mA)	典型工作电流 (mA)	正向电压 (V)	波长 (nm)	封装形式
RLD-78MA		5	45	55	1.9	785	M



续表

型号	参数	额定光功率 (mW)	阈值电流 (mA)	典型工作电流 (mA)	正向电压 (V)	波长 (nm)	封装形式
RLD-78PA		5	45	55	1.9	785	P
RLD-78MV		5	45	55	1.9	785	M
RLD-78PP		5	25	45	1.9	785	P
RLD-78NP		5	25	45	1.9	785	N
SLD104AU		5	45	52	1.9	780	M
SLD1122VS		5	40	50	1.9	670	N
TOLD9211		5	30	40	1.9	670	N
TOLD9221M		5	35	45	1.9	670	N
TOLD9520		5	30	40	1.9	635	N
HLDA6721MG		5	40	50	1.9	670	N

注: TOLD9211 极限值为: 内部的激光二极管(LD)反向耐压为 2V; 光敏二极管(PD)反向耐压为 30V, 额定输出功率为 5mW。

由于激光二极管的反向耐压很低, 仅为 2V, 因此检测时要特别注意防止过电压引起反向击穿, 万用表的高阻挡( $R \times 10k$ 、内置电池电压  $\geq 6V$ ) 应禁止使用。可用  $R \times 1k$  挡, 按照检测普通二极管正、反向电阻的方法, 就可确定激光二极管的引脚。一般光敏二极管的正向电阻要比激光二极管的正向电阻小得多, 而反向电阻也是近似于无穷大。

激光二极管的基本工作电路如图 1-52 所示。可见, 图中激光二极管 LD 为正向连接而光敏二极管 PD 为反向连接, 电阻器  $R_1$ 、 $R_2$  分别对 LD 的正向电流、PD 的反向电流起限流作用。特别是激光二极管对所接限流电阻的要求比较严格, 它要求激光二极管工作电流既大于阈值又不超过允许电流的最大值, 以免电流过大而损坏其内部的谐振腔, 所以一般应选择典型工作电流为宜。

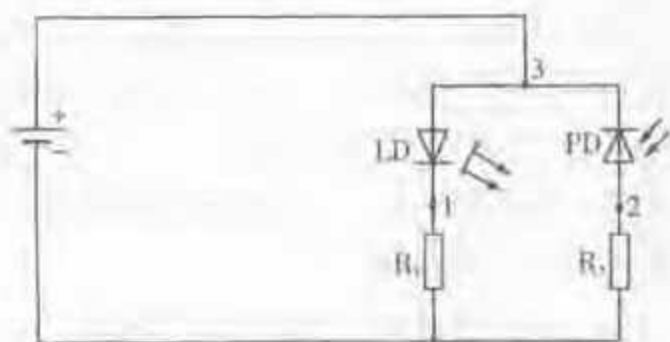


图 1-52 激光二极管基本工作电路

### 十三、磁敏二极管基本知识

磁敏二极管是一种可将磁信号转换成电信号的半导体器件。通常是用一块



高纯度锗半导体,将其两端和中间的一个侧面掺杂,从而在芯片两端形成P区及N区,中间为I区,中间的一个侧面为r区,于是芯片的电阻将会随外加磁场垂直分量的大小而改变。

国产2ACM型、2DCM型磁敏二极管外形为扁平矩形(长6mm、宽4mm、厚1.5mm),如图1-53(a)所示。磁敏二极管的电路符号如图1-53(b)所示。外形尺寸较小的磁敏二极管更适合作磁传感器使用。

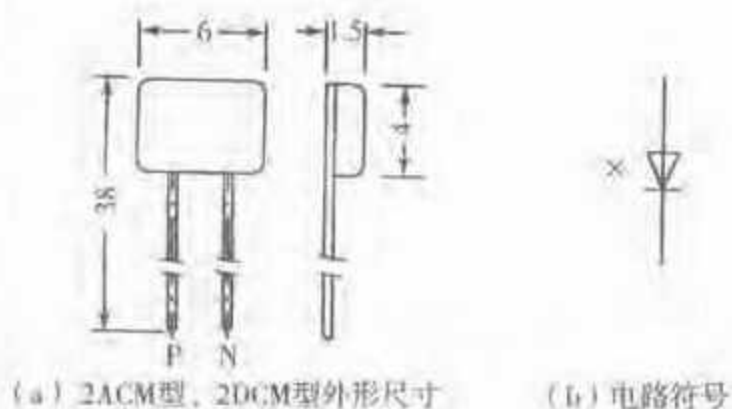


图 1-53 磁敏二极管的外形及电路符号

磁敏二极管的电压输出特性曲线如图1-54所示,该特性曲线对应的串联负载电阻 $R=3\text{k}\Omega$ 、电源电压为12V。从曲线可见,在较弱的磁场下,输出电压增量 $\Delta U$ 与磁感应强度 $B$ 呈线性关系,随着磁场的增强, $\Delta U$ 与 $B$ 呈现非线性关系(当 $B>0.15\text{T}$ 时)。

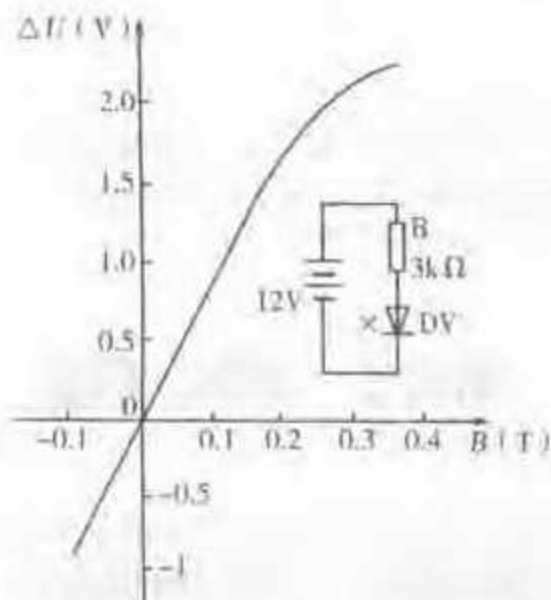


图 1-54 磁敏二极管的电压输出特性曲线

由此可见,磁敏二极管可以用于判断磁场方向和强弱,因而可以作为磁传感器使用。实际上,目前在磁场测量、磁力探伤、转速测量、位移测量、自动控制无触点开关、直流无刷电动机等方面,磁敏二极管得到广泛应用。国产2ACM、2DCM系列磁敏二极管的主要参数见表1-35。

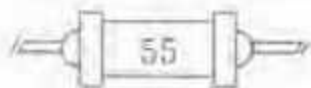


表 1-35 2ACM、2DCM 型磁敏二极管主要参数

型号	参数	工作电压 (V)	工作电流 (mA)	最大耗散功率 (mW)	±0.1T 磁场输出电压 (V)		ΔU+ 温度系数 (%/°C)	响应频率 (kHz)
					ΔU+	ΔU-		
2ACM-1A	4~6	2~2.5	50	50	<0.6	<0.4	1.5	10
2ACM-1B					≥0.6	≥0.4		
2ACM-1C					>0.8	>0.6		
2ACM-2A	6~7	1.5~2	50	50	<0.6	<0.4	1.5	
2ACM-2B					≥0.6	≥0.4		
2ACM-2C					>0.8	>0.6		
2ACM-3A	7~9	1~1.5	50	50	<0.6	<0.4	1.5	
2ACM-3B					≥0.6	≥0.4		
2ACM-3C					>0.8	>0.6		
2DCM-2A	12.5	2.8	40	40	0.5~0.75	≥0.25	-0.6	100
2DCM-2B					0.75~1.25	≥0.35		
2DCM-2C					≥1.25	≥0.6		

注:1. 负载电阻为 3kΩ。

2. 磁场变化为 ±0.1T。

3. 测试 2ACM 型时电源电压为 12V。

4. 2ACM 型的热阻为 2mW/°C, 反向漏电流 ≤200μA/5V, 使用温度范围为 -40~+65°C。

5. 工作电压和工作电流是指磁敏二极管在零磁场时的电压和电流。

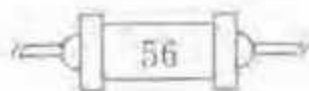
6. 2ACM 型灵敏度(±0.1T)为 800mV/mA。

## 第五节 晶体三极管

晶体三极管也称半导体三极管,通常简称为晶体管或三极管。

### 一、晶体三极管的基本结构、外形和电路符号

晶体三极管的基本结构是由 2 个距离很近的 PN 结组成,按 PN 结的组合方式不同,晶体三极管分 PNP 型和 NPN 型,它们都有 3 个电极,即发射极(E)、基极(B)、集电极(C),如图 1-55 所示。



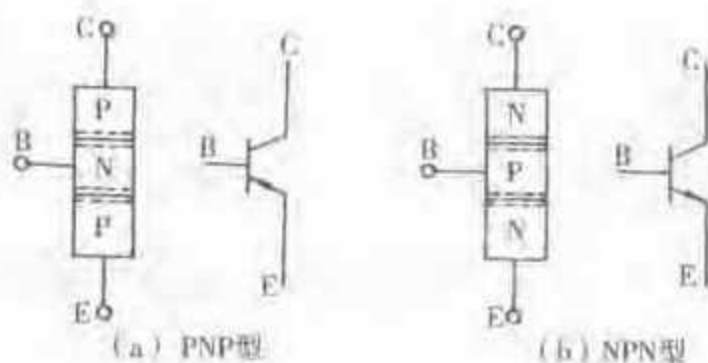


图 1-55 晶体三极管的基本结构和电路符号

晶体三极管种类很多,按功率不同可分为小功率管、中功率管和大功率管;按工作频率不同可分为低频管、高频管和超高频管;按用途不同可分为放大管和开关管等;按材料不同,又可分为锗管和硅管。每一类晶体三极管又有多种型号,以区别其性能。一些常见晶体三极管的外形如图 1-56 所示。它们有的采用金属外壳,有的采用塑料封装,也有的小功率锗管采用玻璃外壳(外壳上的黑漆是为了防强光照射而影响晶体管的性能)。

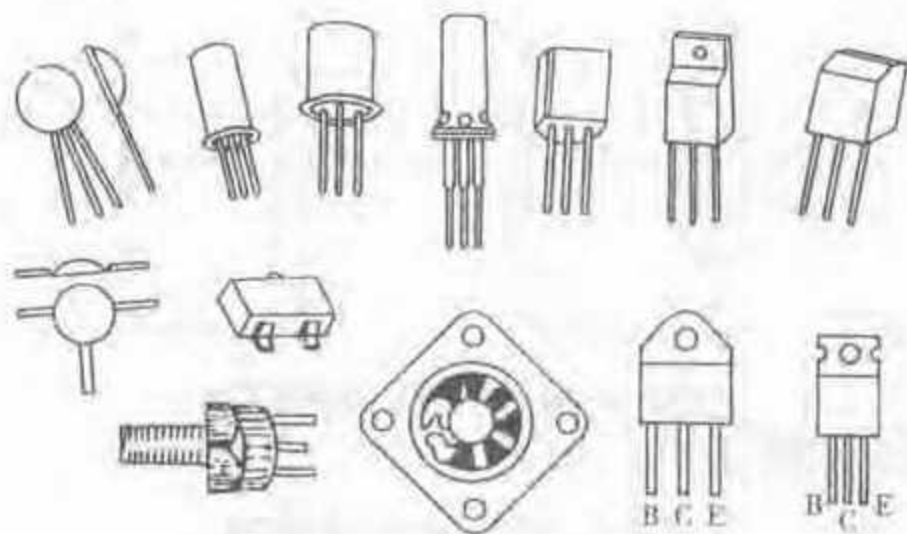
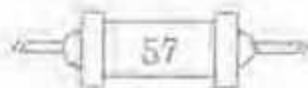


图 1-56 常见晶体三极管的外形

一些常用小功率晶体三极管的引脚排列如图 1-57 所示。当从外观上确定引脚有疑问时,也可用万用表测量各引脚之间电阻的方法来判断(一般采用  $R \times 100$  或  $R \times 1k$  挡)。晶体三极管电极判别原理如图 1-58 所示。





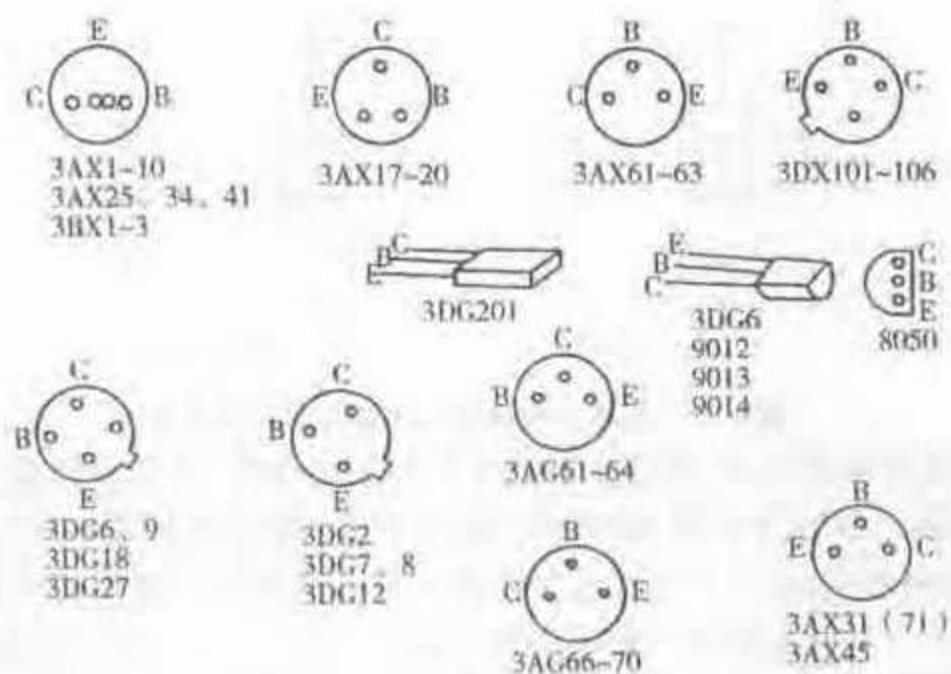


图 1-57 常用小功率晶体三极管的引脚排列

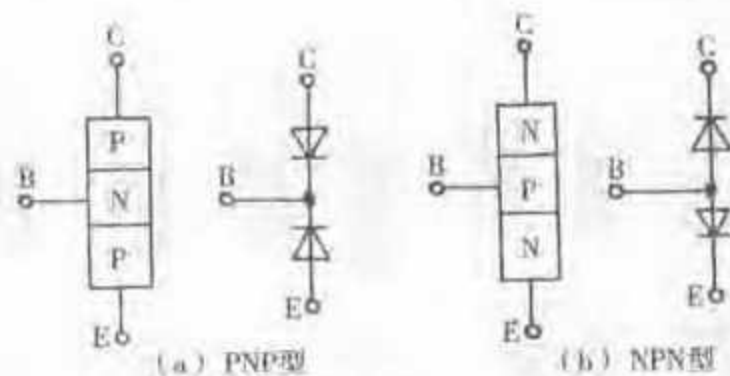


图 1-58 晶体三极管电极判别原理

国产晶体三极管种类见表 1-36。

表 1-36 国产晶体三极管的种类

型号	用途	芯片材料	导电性
3AG_	高频	锗	PNP
3AX_	低频		
3AK_	开关		
3AD_	大功率		
3CG_	高频	硅	
3CX_	低频		



续表

型号	用途	芯片材料	导电极性
3DG_ _	高频	硅	NPN
3DX_ _	低频		
3DK_ _	开关		
3DD_ _	低频大功率		
3DA_ _	高频大功率		
3BX_ _	低频	锗	

## 二、晶体三极管的主要参数

晶体三极管的主要参数有共发射极电流放大系数、集电极反向饱和电流、穿透电流、集电极最大允许电流、集电极与基极反向击穿电压、发射极与基极反向击穿电压、集电极与发射极反向击穿电压、集电极最大耗散功率、特征频率等。

(1) 共发射极电流放大系数。它是表示晶体三极管电流放大能力的一个重要参数,分为直流电流放大系数和交流电流放大系数。前者常用 $\bar{\beta}$ 或 $h_{FE}$ 表示,即 $\bar{\beta}=I_C/I_B$ ;后者用 $\beta$ 表示,即 $\beta=\Delta I_C/\Delta I_B$ 。在低顿时, $\bar{\beta}\approx\beta$ 。 $I_C$ 、 $\Delta I_C$ 为集电极电流及其变化量,而 $I_B$ 、 $\Delta I_B$ 为基极电流及其变化量。

通常低频小功率晶体三极管电流放大系数 $h_{FE}$ 的色标分档为:30~40(橙),40~50(黄),50~80(绿),80~120(蓝),120~180(紫),180~270(灰),270~400(白),400~600(黑)。

高频小功率晶体三极管 $h_{FE}$ 值的色标分档为:30~60(红),50~110(绿),90~160(蓝),>150(白)。

高频和低频大功率晶体三极管 $h_{FE}$ 值的色标分档为:20~40(棕),40~80(红),80~120(橙),>120(黄)。

(2) 集电极反向饱和电流( $I_{CBO}$ )。它是指发射极开路时基极与集电极之间的反向饱和电流,小功率晶体管的 $I_{CBO}$ 一般为0.1~10 $\mu$ A。

(3) 穿透电流( $I_{CEO}$ )。它是指基极开路时集电极和发射极之间的反向电流。 $I_{CEO}$ 越小,晶体管工作稳定性越好。 $I_{CEO}$ 与 $I_{CBO}$ 之间的关系是: $I_{CEO}=(1+\beta)I_{CBO}$ 。

(4) 集电极最大允许电流( $I_{CM}$ )。使用晶体三极管时,集电极电流 $I_C$ 不许超过 $I_{CM}$ ,否则会引起其性能下降甚至损坏。

(5) 集电极与发射极反向击穿电压( $U_{(BR)CE}$ )。它是指基极开路时,允许加在集电极与发射极之间的最高工作电压。使用晶体管时,直流电源电压 $U_{CE}\leq 1/2U_{(BR)CE}$ 为宜。

(6) 集电极与基极反向击穿电压( $U_{(BR)CB}$ )。它是指发射极开路而言,此值



较高,集电极与基极之间就不易击穿。使用晶体三极管时不可超过此值。

(7) 发射极与基极反向击穿电压( $U_{(BR)EB}$ )。它是指集电极开路而言,此值较高,发射极与基极之间就不易击穿。使用晶体三极管时不可超过此值。

(8) 集电极最大耗散功率( $P_{CM}$ )。使用晶体三极管时不应超过此值,以免集电极过热而损坏。

(9) 特征频率  $f_T$ 。它是指电流放大系数  $\beta$  随频率升高而下降,当下降到  $\beta=1$  时所对应的频率。显然,使用晶体三极管时若工作频率高于  $f_T$ ,晶体管就失去电流放大能力。

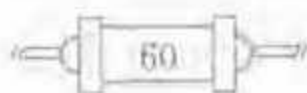
一些常用低频小功率晶体三极管的主要参数见表 1-37,高频小功率晶体三极管主要参数见表 1-38,部分进口塑封高频晶体三极管主要参数见表 1-39。

表 1-37 常用低频小功率晶体三极管的主要参数

参数 型号	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$h_{FE}$	$V_{(BR)CE}$ (V)	$I_{CM}$ (mA)	$P_{CM}$ (mW)
3DX2A~F	$\leq 5$	$\leq 25$	$\geq 10$	$\geq 15$	100	500
3DX3A~F	$\leq 3$	$\leq 10$	$\geq 9$	$\geq 15$	30	200
3DX3 200	$\leq 1$	$\leq 2$	55~400	$\geq 12$	300	300
3CX201	$\leq 1$	$\leq 2$	55~400	$\geq 12$	300	300
3AX31M	$\leq 25$		80~400	$\geq 6$	125	125
3AX31B	$\leq 10$	$\leq 750$	40~180	$\geq 18$	125	125
3AX31C	$\leq 6$	$\leq 500$	40~180	$\geq 24$	125	125
3AX31D	$\leq 12$	$\leq 750$	30~150	$\geq 12$	125	125
3AX31E	$\leq 12$	$\leq 500$	20~85	$\geq 12$	125	125
3BX31M	$\leq 25$		80~400	$\geq 6$	125	125
3BX31B	$\leq 12$	$\leq 750$	40~180	$\geq 18$	125	125
3BX31C	$\leq 6$	$\leq 500$	40~180	$\geq 24$	125	125

表 1-38 常用高频小功率晶体三极管的主要参数

参数 型号	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$h_{FE}$	$V_{(BR)CEO}$ (V)	$f_T$ (MHz)	$I_{CM}$ (mA)	$P_{CM}$ (mW)
3AG56A	$\leq 7$	40~270	$\geq 10$	$\geq 25$	10	50
3AG56B		40~180		$\geq 25$	10	50
3AG56C		40~180		$\geq 50$	10	50
3AG56D		40~180		$\geq 65$	10	50
3DG6A~D	$\leq 0.1$	20~200	$\geq 15$	$\geq 100$	20	100
3DG12A~C	$\leq 1$	20~200	$\geq 30$	$\geq 100$	300	700





续表

型号	参数	$I_{CEO}$ ( $\mu\text{A}$ )	$h_{FE}$	$V_{(BR)CEO}$ (V)	$f_T$ (MHz)	$I_{CM}$ (mA)	$P_{CM}$ (mW)
3DG27A~F		$\leq 5$	$\geq 20$	$\geq 60 \sim 250$	$\geq 100$	500	1 000
3DG84		$\leq 0.1$	$\geq 30$	$\geq 20$	$\geq 600$	15	100
3DG300		$\leq 1$	55~270	$\geq 18$	$\geq 100$	50	300
3CG3A~E		$\leq 1$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 50$	30	300
3CG14A~C		$\leq 0.1$	30~200	$\geq 25$	$\geq 50$	15	100
3CG15A~D		$\leq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 600$	50	300

表 1-39 部分进口塑封高频晶体三极管的主要参数

型号	参数	$I_{CEO}$ (nA)	$h_{FE}$	$V_{(BR)CEO}$ (V)	$f_T$ (MHz)	$I_{CM}$ (mA)	$P_{CM}$ (mW)
9011		100	28~198	30	150	30	400
9012		-100	64~202	-20	150	-500	625
9013		100	64~202	20	140	500	625
9014		50	60~1 000	45	80	100	625
9015		-50	60~600	-45	80	-100	450
9016		300	28~198	20	500	25	400
9018		50	28~198	15	500	50	400
8050		100	85~300	25	100	1 500	1 000
8550		-100	60~300	-25	100	-1 500	1 000

注:9011、9013、9014、9016、9018、8050 为硅 NPN 型管,9012、9015、8550 为硅 PNP 型管。

### 三、复合三极管

#### 1. 基本构造和外形

复合三极管也称达林顿管(DT),它是将 2 只或多只晶体三极管的集电极连接在一起,而将第一只晶体三极管的发射极接第二只晶体三极管的基极,如此依次连接复合而成,最后引出 E、B、C 3 个电极。它的基本电路如图 1-59 所示。

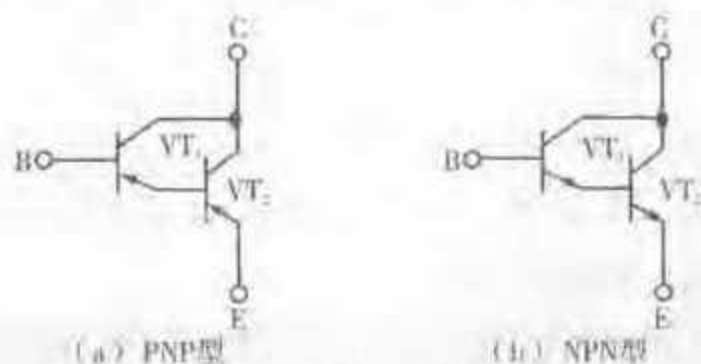


图 1-59 复合三极管的基本电路



复合三极管的电流放大系数约为各管电流放大系数的乘积,因此复合三极管的 $h_{FE}$ 值很高,可达几千倍甚至几十万倍,不过这类高放大系数的复合三极管一般只能在功率2W以下使用。

几种复合三极管的外形如图1-60所示。

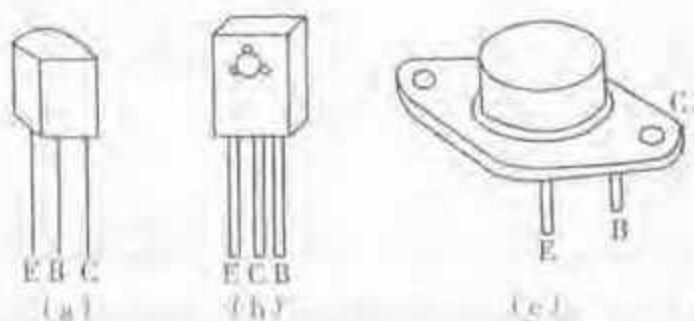


图1-60 几种复合三极管(达林顿管)的外形

图中1-60(b)和(c)所示为大功率复合三极管,前者为塑封型,后者为金属管壳型封装。

### 2. 复合三极管主要参数

复合三极管的主要参数有额定功率( $P_o$ )、额定集电极电流( $I_C$ )、集电极与发射极工作电压( $U_{CE}$ )、直流电流放大系数( $h_{FE}$ )等。几种复合三极管(达林顿管)的主要参数见表1-40。

从表1-40中可以看到大功率复合三极管(40~300W)的放大系数 $h_{FE}=400\sim 750$ ,而额定功率为1.8W的小功率复合三极管,它的 $h_{FE}$ 可高达5000。

表1-40 几种复合三极管(达林顿管)主要参数

参数 型号	$P_o$ (W)	$I_C$ (A)	$U_{CE}$ (V)	$h_{FE}$
FN620	1.8	0.8	60	5 000
BD677	40	4	60	750
BD678	40	-4	-60	750
BDX63A	90	8	80	500
BDX62A	90	-8	-80	500
KP110A	150	10	80	500
MJ10016	250	50	500	25
MJ11032	300	50	120	400
MJ11033	300	50	120	400

### 3. 复合三极管类型和引脚识别

由图1-59所示复合三极管基本电路可知,对于一般小功率复合三极管,可用万用表测量引脚之间正、反向电阻的方法来判别管子的导电类型及引脚排列。但



对于大功率复合三极管,其内部电路设有均衡电阻和阻尼二极管,如图 1-61 所示。因此,检测时应考虑到内部附加电阻和二极管对极间电阻测量的影响(正、反向电阻差别很小甚至没有差别),必要时应查阅该器件产品使用说明书。

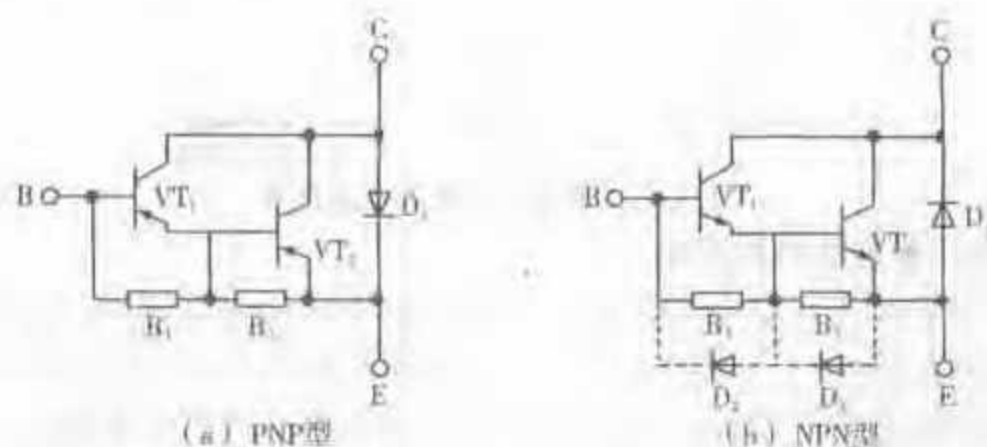


图 1-61 大功率复合三极管的内部电路

#### 四、光电三极管

##### 1. 光电三极管的基本结构、外形和电路符号

光电三极管也称光敏三极管,它是能进行光电转换并起放大作用的半导体器件。其基本结构与普通晶体三极管类似,采用平面工艺制成,也有 PNP 与 NPN 2 种类型。最常用的芯片材料是硅,通常将芯片封装在带有玻璃透镜的金属管壳内,使入射光线通过透镜能集中照射在芯片上。

常见光电三极管的外形如图 1-62 所示。

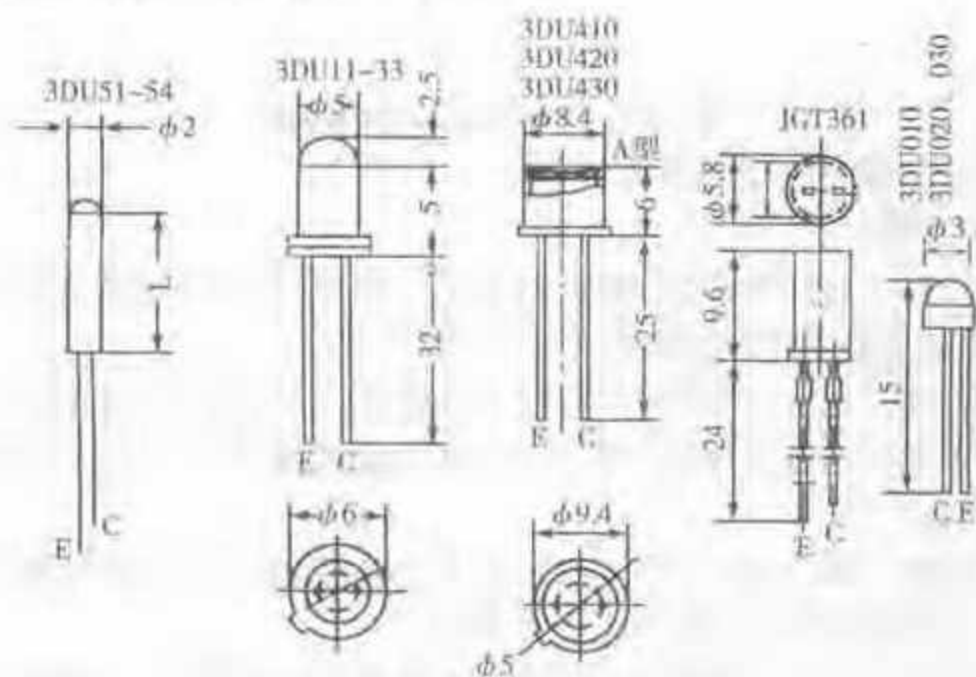
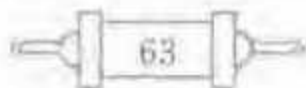


图 1-62 常见光电三极管的外形

多数光电三极管只有 2 个引脚,即发射极和集电极,但也有 3 个引脚的(引出基极作为温度补偿用)。光电三极管的电路符号如图 1-63 所示。



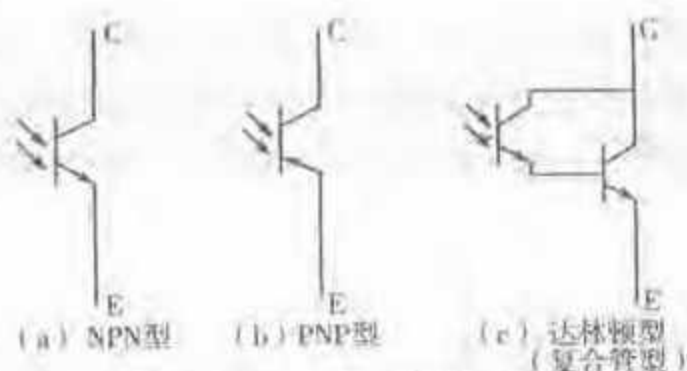


图 1-63 光电三极管的电路符号

## 2. 光电三极管的工作原理

光电三极管的工作原理可用图 1-64 所示的等效电路来说明。在光电三极管的基极、集电极之间的 PN 结就相当于一只光电二极管, 在光照下产生的光电流  $I_1$  输入到光电三极管的基极进行放大, 设光电三极管的电流放大系数为  $\beta$ , 则三极管集电极输出的光电流可增大到  $\beta I_1$ 。因为光电三极管是从基极直接输入光信号, 无需接线, 所以它通常只有 2 个引脚, 即只有发射极 (E) 和集电极 (C)。

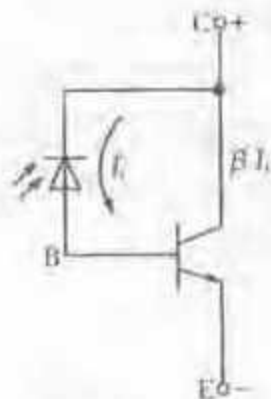


图 1-64 光电三极管的等效电路

## 3. 光电三极管的主要特性和参数

### (1) 主要特性。

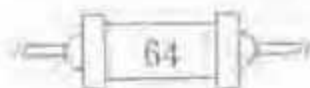
① 光谱特性。目前使用较多的是硅光电三极管, 它的峰值波长与硅光电二极管相同, 要比锗光电三极管的峰值波长短一些。

② 伏安特性。光电三极管的伏安特性是指在一定照度下, 它的工作电压与输出光电流的关系。光电三极管的典型伏安特性曲线如图 1-65 所示 (其中  $lm$  是光通量单位流明)。

③ 光电特性。指外加电压恒定时, 光电三极管输出光电流与照度之间的关系。光电三极管的线性度不如光电二极管好。

④ 时间常数。光电三极管的时间常数要比光电二极管大, 一般在  $10^{-5} \sim 10^{-4} s$  之间。这是由于光电三极管存在发射结电容且基区面积较大, 载流子通过的时间较长。

⑤ 温度特性。光电三极管的相对灵敏度随温度的增加而提高, 呈现非线性。



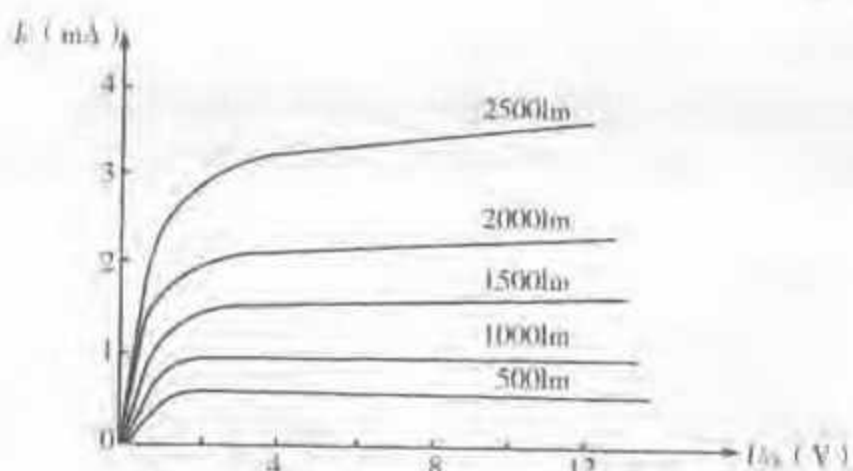


图 1-65 光电三极管的伏安特性曲线

(2) 光电三极管的主要参数如下:

①  $U_{(RM)CE}$ ——最高工作电压。

②  $I_D$ ——暗电流(无光照下反向漏电流)。

③  $I_L$ ——光电流(在规定的光照和工作电压下产生的集电极电流)。

④  $P_{CM}$ ——最大功耗。

⑤  $\lambda_p$ ——峰值波长。

⑥  $T$ ——开关时间(在规定工作条件下测定的脉冲上升时间、下降时间、延迟时间和储存时间的总和)。

部分硅光电三极管的主要参数见表 1-41。

表 1-41 部分硅光电三极管的主要参数

型号	参数	$U_{(RM)CE}$ (V)	$I_D$ ( $\mu A$ )	$I_L$ (mA)	$T$ ( $\mu s$ )	$\lambda_p$ (nm)	$P_{CM}$ (mW)
3DU11, 21, 31		10	$\leq 0.3$	0.5~2.0	$\leq 9$	880	30
3DU12, 22, 32	30	50					
3DU13, 23, 33	50	100					
3DU51, 52, 53		10, 30, 50	$\leq 0.2$	$\geq 0.5$	$\leq 9$	880	30
3DU411, 421, 431		10	$\leq 0.3$	0.03~0.2	$\leq 9$	880	30
3DU412, 422, 432	30	50					
3DU413, 423, 433	50	100					
JGT301* JGT361*		15	$\leq 1$	$\geq 3$	$\leq 100^{**}$	—	100

注: \* JGT301, JGT361 为达林顿(复合)型。

\*\* 只包括上升时间和下降时间,脉冲光也是可见光。

## 第六节 场效应晶体管

场效应晶体管(FET)属于电压控制型器件,具有输入阻抗高、噪声小和功耗





低等特点,按结构可分为结型和绝缘栅型两大类。

### 一、结型场效应晶体管基本结构、外形和电路符号

结型场效应晶体管(JFET)的基本结构和电路符号如图 1-66 所示。

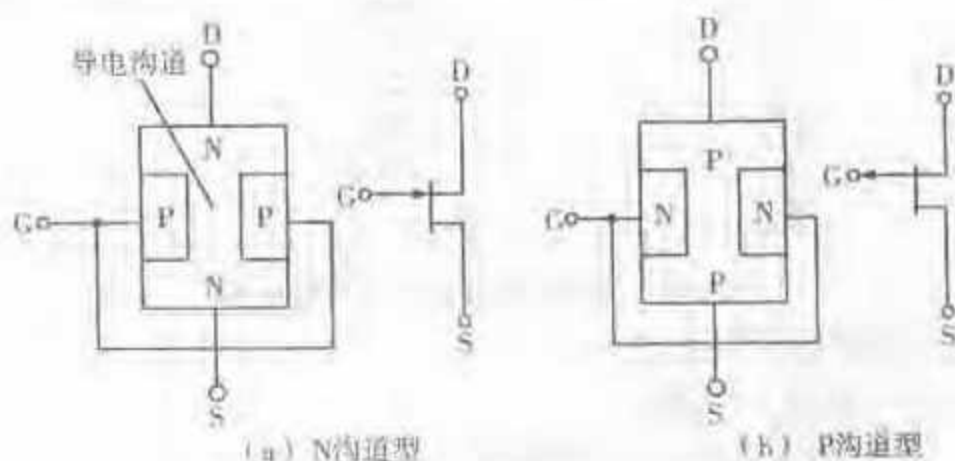


图 1-66 结型场效应晶体管的结构和电路符号

结型场效应晶体管按导电沟内导电类型的不同,可分为 N 沟道型、P 沟道型 2 种场效应晶体管,它们均属于耗尽型。如图 1-66 所示,在半导体两侧 2 个高掺杂区构成 2 个 PN 结(又称耗尽层),相互连接后引出一个控制极,称为栅极(G)。在半导体的上、下两端分别引出 2 个电极,称为漏极(D)和源极(S),漏、源之间作为电流的路径,称为导电沟道。

对于 N 沟道结型场效应晶体管,若将源极(S)接工作电源的负端(地端)、漏极(D)接电源正端,则漏极输出电流( $I_D$ )的大小可由栅极(G)输入负电压控制,甚至可使  $I_D=0$ ,即成为“夹断”状态。对于 P 沟道结型场效应晶体管,其工作情况与 N 沟道型类似,但极性相反[图 1-66(b)]。

常见结型场效应晶体管的外形和引脚排列如图 1-67 所示。其中 4DJ2 为双栅型 JFET。

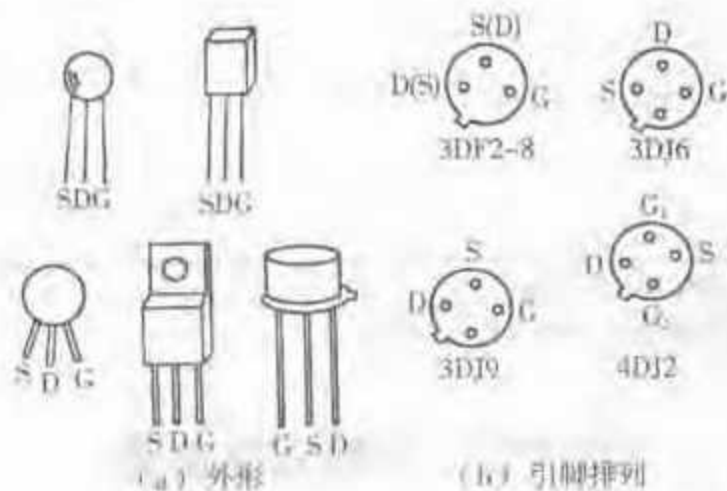
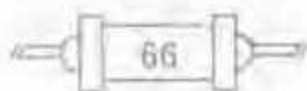


图 1-67 常见结型场效应晶体管的外形和引脚排列





## 二、结型场效应晶体管主要参数

(1)  $g_m$ ——跨导。表示漏极电流变化量  $\Delta I_D$  与引起变化的栅源电压变化量  $\Delta U_{GS}$  之比值, 即  $g_m = \Delta I_D / \Delta U_{GS}$ 。  $g_m$  越大, 放大能力越强。N 沟道结型场效应晶体管的  $g_m$  值一般为  $2 \sim 4 \text{ mA/V}$ 。

(2)  $U_P$ ——夹断电压。当栅源极间的反向偏压  $U_{GS} \geq U_P$  时, 场效应晶体管为截止状态,  $I_D = 0$ 。

(3)  $I_{DSS}$ ——饱和漏电流。指  $U_{GS} = 0$  的条件下, 漏源极间所加电压大于夹断电压  $|U_P|$  时的沟道电流即为饱和漏电流  $I_{DSS}$ 。

(4)  $U_{(BR)DS}$ ——漏源极间击穿电压。

(5)  $U_{(BR)GS}$ ——栅源极间击穿电压。

(6)  $P_{DM}$ ——最大耗散功率。使用场效应晶体管时其耗散功率  $P_D = U_{DS} \cdot I_D$  应小于  $P_{DM}$ , 以免过热而损坏器件。

部分 N 沟道结型场效应晶体管主要参数见表 1-42。

表 1-42 部分 N 沟道结型场效应晶体管主要参数

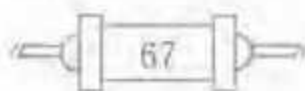
型号	参数	$I_{DSS}$ (mA)	$U_P$ (V)	$f_M$ (MHz)	$I_{DSM}$ (mA)	$P_{DM}$ (mW)	$U_{(BR)GS}$ (V)
3DJ2D~H		0.3~10	$\leq  -9 $	$\geq 300$	15	100	$> 20$
3DJ4D~H		0.3~10	$\leq  -9 $	$\geq 300$	15	100	$> 20$
3DJ6D~H		0.3~10	$<  -9 $	$> 90$	15	100	20
3DJ7F~J		1~35	$<  -9 $	$> 90$	15	100	20
3DJ8F~K		1~70	$<  -9 $	$> 90$	15	100	20
3DJ9F~I		1~18	$<  -7 $	$\geq 800$	15	100	20

注:  $f_M$  为最高工作频率, 饱和漏电流  $I_{DSS}$  按照型号分档, 例如, 3DJ8D 型的  $I_{DSS} < 0.35 \text{ mA}$ , 3DJ2E 型为  $0.3 \sim 1.2 \text{ mA}$ , 3DJ2F 型为  $1 \sim 3.5 \text{ mA}$ , 表中不一一列出。

## 三、MOS 场效应晶体管的基本结构、外形和电路符号

MOS 场效应晶体管的栅极与导电沟之间是相互绝缘的, 输入阻抗极高, 它是利用感应电荷的多少来改变沟道的导电特性, 从而达到控制漏极电流的目的。MOS 场效应晶体管分为耗尽型和增强型, 它们又分 N 沟道型和 P 沟道型, 这 2 种类型应用的区别是栅极偏压的正、负极性相反, 同时输出电流的方向也相反。

图 1-68 所示为耗尽型 MOS 场效应晶体管的基本结构和电路符号。图 1-69 所示为增强型 MOS 场效应晶体管的基本结构和电路符号。



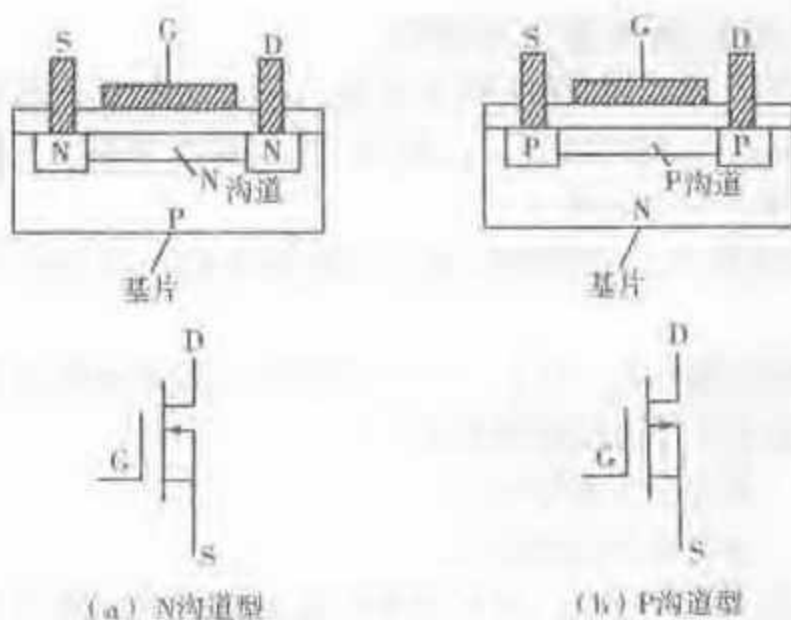


图 1-68 耗尽型 MOS 场效应晶体管结构和电路符号

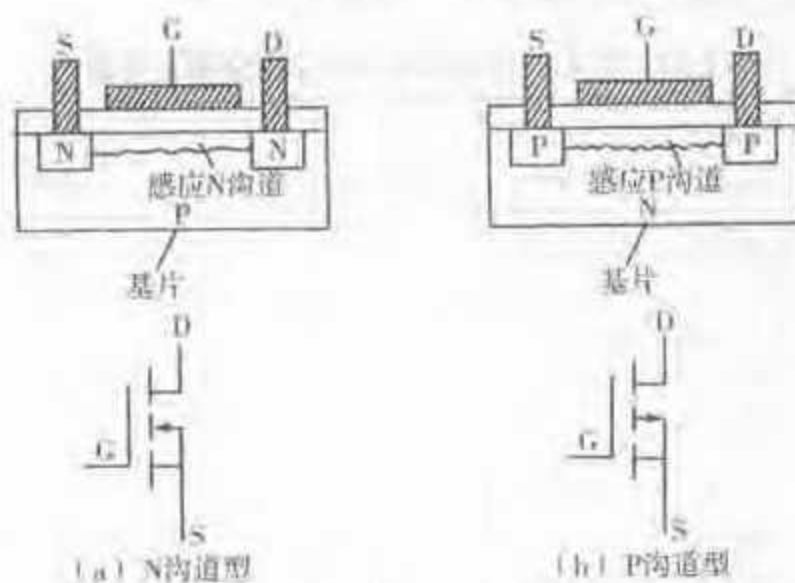


图 1-69 增强型 MOS 场效应晶体管结构和电路符号

除此以外,还有双栅 MOS 场效应晶体管,其基本结构和电路符号如图 1-70 所示。这类场效应晶体管现在用得比较多,由图可见它有 2 个互为串联的沟道,2 个栅极( $G_1$ 、 $G_2$ )都能控制沟道电流的大小。

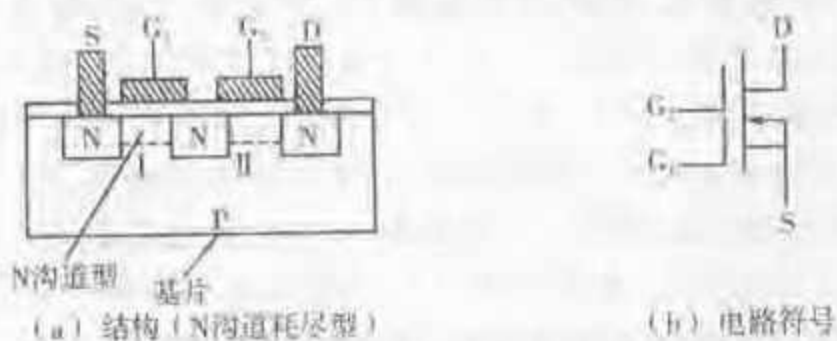


图 1-70 双栅 MOS 场效应晶体管的结构和电路符号



部分 MOS 场效应晶体管的外形和引脚排列如图 1-71 所示。

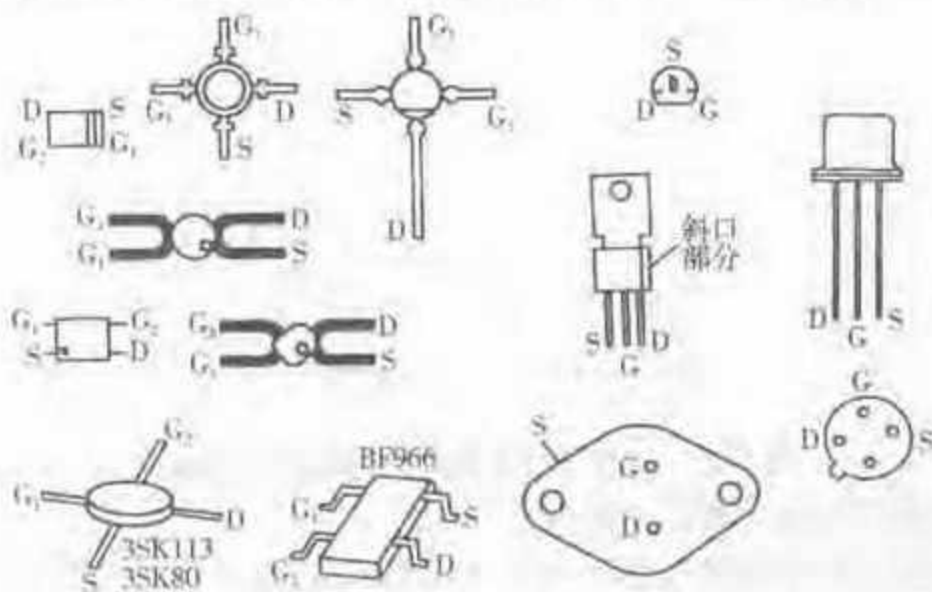


图 1-71 部分 MOS 场效应晶体管的外形及引脚排列

#### 四、MOS 场效应晶体管的特性和主要参数

##### 1. MOS 场效应晶体管的转移特性

图 1-72 所示为 N 沟道 MOS 场效应晶体管的转移特性曲线。图 1-72(a) 所示为 N 沟道增强型 MOS 场效应晶体管的转移特性曲线, 可见  $U_{GS} = U_T$  时,  $I_D = 0$ ; 只有当  $U_{GS} > U_T$  (开启电压) 时,  $I_D > 0$ 。

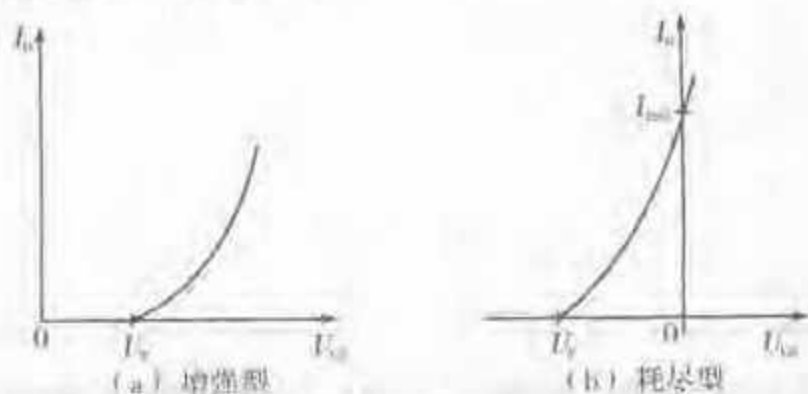


图 1-72 N 沟道 MOS 场效应晶体管的转移特性曲线

图 1-72(b) 所示为 N 沟道耗尽型 MOS 场效应晶体管的转移特性曲线, 可见  $U_{GS} = 0$  时就有漏极电流  $I_{DSS}$  (称为饱和漏电流), 要使漏极电流  $I_D$  减少,  $U_{GS}$  应为负电压, 当  $U_{GS}$  等于夹断电压  $U_P$  时,  $I_D = 0$ 。

P 沟道 MOS 场效应晶体管的转移特性与 N 沟道 MOS 场效应晶体管类似, 但电压极性相反。

##### 2. MOS 场效应晶体管的输出特性

MOS 场效应晶体管的输出特性曲线如图 1-73 所示。它表示漏源电压  $U_{DS}$  与漏极电流  $I_D$  之间的关系 (共源极连接时)。无论是增强型或耗尽型, 输出特性曲线都可分为可调电阻区 (I)、饱和区 (II) 和击穿区 (III)。MOS 场效应晶体管正常

工作时应在输出特性曲线的饱和区之内。

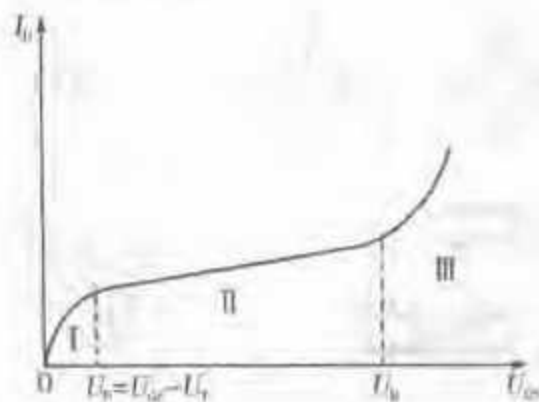


图 1-73 MOS 场效应晶体管的输出特性曲线

### 3. MOS 场效应晶体管的主要参数

部分增强型 MOS 场效应晶体管的主要参数见表 1-43。部分 N 沟道耗尽型 MOS 场效应晶体管的主要参数见表 1-44。

表 1-43 部分增强型 MOS 场效应晶体管主要参数

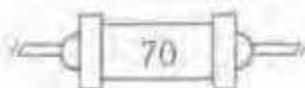
型号	参数	沟道类型	开启电压 $U_T$ (V)	饱和漏电流 $I_{DSS}$ (mA)	栅源击穿电压 $U_{GSmax}$ (V)	耗散功率 $P_D$ (mW)
3C01A 3C01B		P	-4~-2 -8~-4	15	20	100
3C03C 3C03E		P	-4~-2 -8~-4	10	15	150
3D03C 3D03E		N	2~8	10	150	150
3D06A 3D06B		N	2.5~5 <3	>10	20	100

表 1-44 部分 N 沟道耗尽型 MOS 场效应晶体管主要参数

型号	参数	$I_{DSS}$ (mA)	$U_b$ (V)	$f_{90}$ (MHz)	$I_{DSS}$ (mA)	$P_{DM}$ (mW)	$U_{GSmax}$ (V)
3D01D~H		0.3~10	< -9	>90	15	100	20
3D02E~H		1~25	< -9	>1 000	15	100	12
3D04D~I		0.3~15	< -9	>300	15	100	20
4D01A		5~35	< -5	250	30	100	≥18
4D01B~D		8~35	< -5	100	30	100	≥18
4D01E~F		≤20	< -3	30	30	100	≥18
4D01G		5~35	< -3	30	30	100	≥18

注:1. 3D01~3D04 系列跨导  $g_m$  为 1~2mA/V, 4D01 系列的  $g_m$  为 5~10mA/V。

2. 4D01 系列为双栅型。





## 五、VMOS 场效应晶体管

### 1. VMOS 场效应晶体管的基本结构、外形和电路符号

VMOS 场效应晶体管就是具有 V 形槽结构的 MOS 场效应晶体管,它是一种功率型场效应晶体管(功率 28~180W),其内部结构和电路符号如图 1-74 所示。它的主要特点是具有 V 形槽结构和垂直导电性能,其漏极(D)是从芯片的背面引出,工作时漏极电流在栅极电压的控制下垂直地到达漏极而不是沿着表面水平流动。

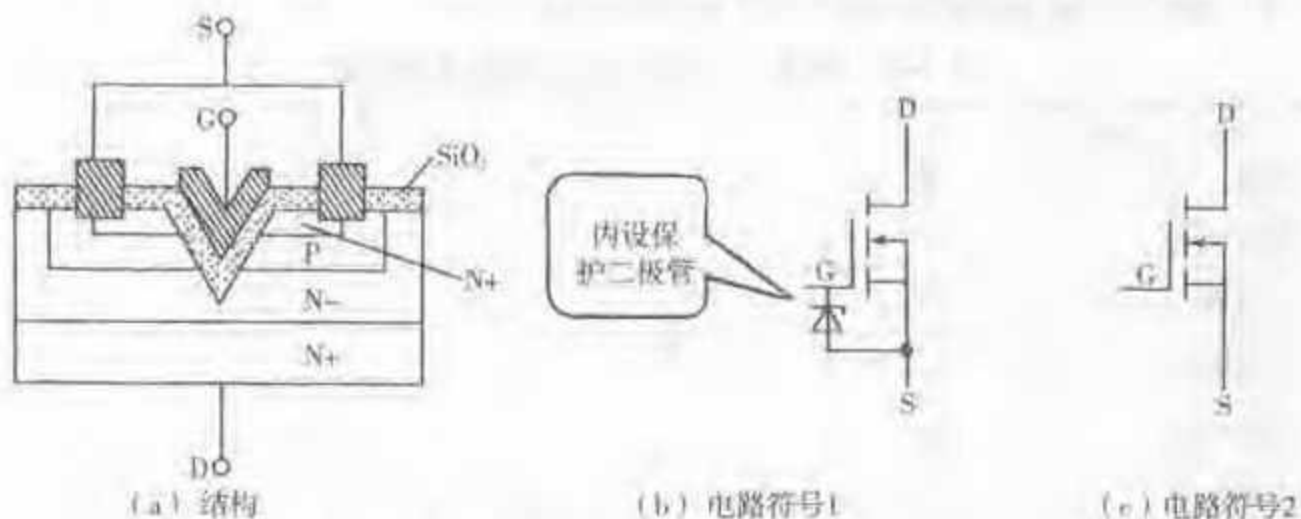


图 1-74 VMOS 场效应晶体管的结构和电路符号

其中图 1-74(b)所示的电路符号表示在栅极(G)和源极(S)之间并联了一只限压保护二极管,该二极管在制造时已设置在管内。图 1-74(c)所示的电路符号表示没有保护二极管设置在管内,使用这种 VMOS 场效应晶体管时,应在栅源极间外接保护二极管为宜,栅源极保护电压最大额定值可取 $\pm 10\text{V}$ 或按器件说明书的指定值。

几种 VMOS 场效应晶体管外形如图 1-75 所示。

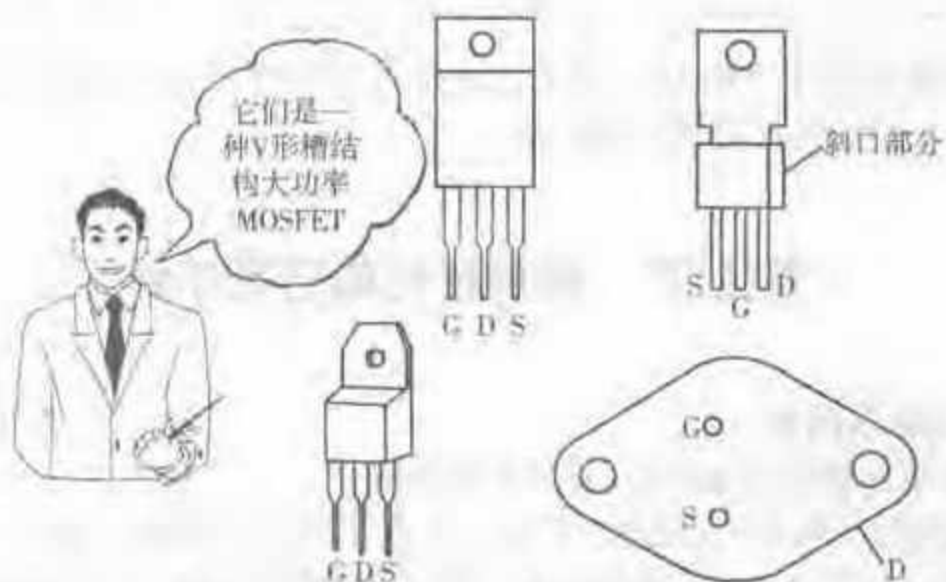


图 1-75 几种 VMOS 场效应晶体管外形





## 2. VMOS 场效应晶体管的主要特点和参数

VMOS 场效应晶体管具有输入阻抗高、驱动电流小、工作电流大、耐高压、大功率、跨导线性好、开关速度快等特点,因而不仅适合用作高效功率开关器件,也适宜于用作大功率线性放大器件,在各类电子线路中的应用相当普遍。

VMOS 场效应晶体管的主要参数有:漏源耐压  $U_{DSS}$ 、栅源耐压  $U_{GSS}$ 、最大漏极电流  $I_{DM}$ 、最大漏源导通电阻  $R_{DS(on)M}$ 、额定漏极耗散功率  $P_D$ 、阈值电压  $U_{th}$  和跨导  $g_m$  等。部分 VMOS 场效应晶体管主要参数见表 1-45。

表 1-45 部分 VMOS 场效应晶体管主要参数

型号	参数	$U_{DSS}$ (V)	$U_{GSS}$ (V)	$I_{DM}$ (A)	$R_{DS(on)M}$ ( $\Omega$ )	$P_D$ (W)
IRFP054		60	$\pm 20$	10	0.02	180
IRFP830		500	$\pm 20$	4.5	1.5	74
IRFPF50		900	$\pm 30$	6.8	1.6	180
IRFPG50		1000	$\pm 20$	6.1	2.0	180
2SK1181		500	$\pm 20$	$\pm 13$	0.4	85
2SK1388		30	$\pm 20$	35	0.022	60
2SK1754		50	$\pm 20$	10	0.09	45
FT6021		60	$\pm 20$	3	0.4	28
MTM3N40		400	—	3	3.3	75
MTP8010		100	—	8	0.4	75
SMP20P10		-100	$\pm 20$	-20	0.2	125
SMP9P15		-150	$\pm 20$	-9	0.7	125

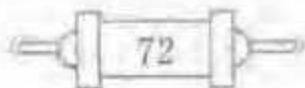
对于内部无保护二极管的 VMOS 场效应晶体管,可用万用表测量极间电阻的方法( $R \times 1k$  挡)来判别其引脚排列。

## 第七节 晶闸管和单结晶体管

### 一、单向晶闸管

#### 1. 单向晶闸管的基本结构、外形和电路符号

单向晶闸管也称单向可控硅,其管芯是由 4 块硅半导体材料( $P_1, N_1, P_2, N_2$ )形成 3 个 PN 结,并从  $P_1$  引出阳极(A),从  $N_2$  引出阴极(K),从  $P_2$  引出控制极也称门极(G),如图 1-76(a)所示。它的等效电路可由 3 只二极管互为反向串联来表





示。单向晶闸管的电路符号如图 1-76(b)所示。

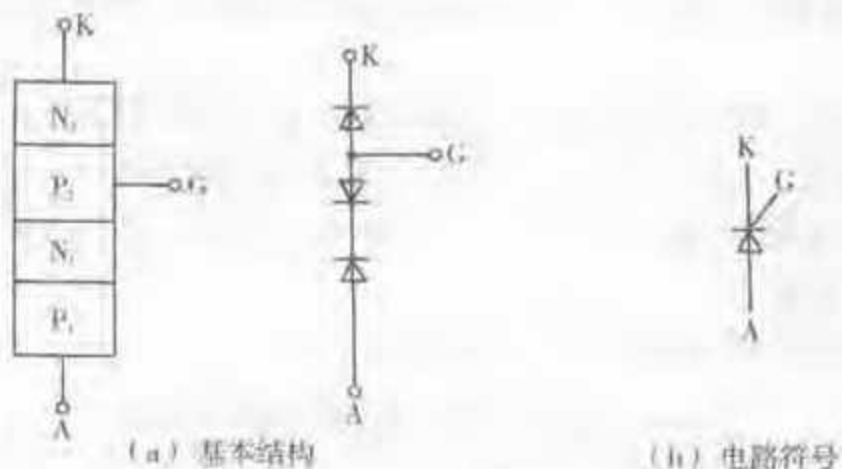


图 1-76 单向晶闸管的基本结构和电路符号

常见单向晶闸管外形如图 1-77 所示。我们从它的外部特点就可识别其引脚排列,其中外形为螺栓式、平板式的单向晶闸管是大功率管。

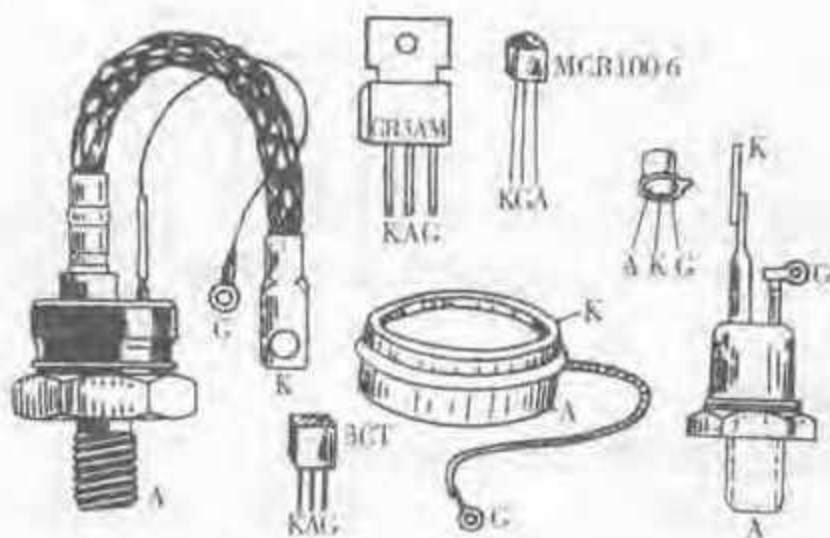


图 1-77 常见单向晶闸管的外形

对于小功率单向晶闸管,如果因标志不明或手边资料缺少不知其引脚排列时,则可用万用表的  $R \times 1k$  挡或  $R \times 100$  挡测量任意两极之间的正、反向电阻,若找到一对电极的电阻为低阻值  $100\Omega \sim 1k\Omega$ ,说明此时黑表笔接的是控制极(G),红表笔接的是阴极(K),剩下一极是阳极(A)。

也可采用低压导通测试法来判别单向晶闸管的电极,详见第三章第八节(图 3-84)中有关介绍。

## 2. 单向晶闸管基本特性和主要参数

(1) 基本特性。在额定工作电压下,晶闸管的 A、K 极之间加负电压时(A 负、K 正),晶闸管始终不导通。如果 A、K 极之间加正电压(A 正、K 负),则当控制极(G)无触发电流或触发电流太小时,A、K 极之间除极小的漏电流外依然不导通。一旦触发电流大于某个值时,晶闸管立即导通,导通后即使触发电流变为零,晶闸





管仍然不关断。只有当加在 A、K 极间电压下降使导通电流小于维持电流 ( $I_H$ ) 时,晶闸管才会关断(不导通)。因此,单向晶闸管具有通、断可控的单向导电基本特性。

(2) 主要参数。单向晶闸管的主要参数有:正向转折电压  $U_{BO}$ 、断态重复峰值电压  $U_{TRM}$  (定义为:  $U_{TRM} = U_{BO} - 100V$ )、正向重复峰值电压  $U_{FRM}$ 、反向重复峰值电压  $U_{RRM}$ 、正向平均电流  $I_T$ 、正向平均压降  $U_F$ 、维持电流  $I_H$ 、控制极触发电压  $U_G$ 、控制极触发电流  $I_G$  等。

国产 KP 系列单向晶闸管主要参数见表 1-46。

表 1-46 国产 KP 系列单向晶闸管主要参数

型号	参数	$U_{TRM}$ (V)	$U_{RRM}$ (V)	$U_F$ (V)	$I_H$ (mA)	$I_T$ (A)	$U_G$ (V)	$I_G$ (mA)
KP5		100~3000	100~3000	1.2	40	5	$\leq 3.5$	5~70
KP20		100~3000	100~3000	1.2	60	20	$\leq 3.5$	5~100
KP50		100~3000	100~3000	1.2	60	50	$\leq 3.5$	8~150
KP200		100~3000	100~3000	0.8	100	200	$\leq 4$	10~250
KP500		100~3000	100~3000	0.8	100	500	$\leq 5$	20~300

注:每个系列中有多种型号,例如, KP5-7 型,5 表示额定正向电流为 5A,后面的数字用其百伏数表示额定电压,如 7 表示 700V。对于额定电流  $\geq 100A$  的晶闸管,用末位字母表示导通压降范围,共 9 级,用 A~I 字母表示 0.4~1.2V。

## 二、双向晶闸管

### 1. 双向晶闸管的基本结构、外形和电路符号

双向晶闸管也称双向可控硅,它的 3 个电极为主电极 I、主电极 II 和控制极(也称门极),通常分别以  $T_1$ 、 $T_2$  和 G 或  $A_1$ 、 $A_2$  和 G 表示。

双向晶闸管的基本结构如图 1-78(a) 所示,其等效电路相当于将 2 只相同的单向晶闸管按相反方向并联。双向晶闸管的电路符号如图 1-78(b) 所示。

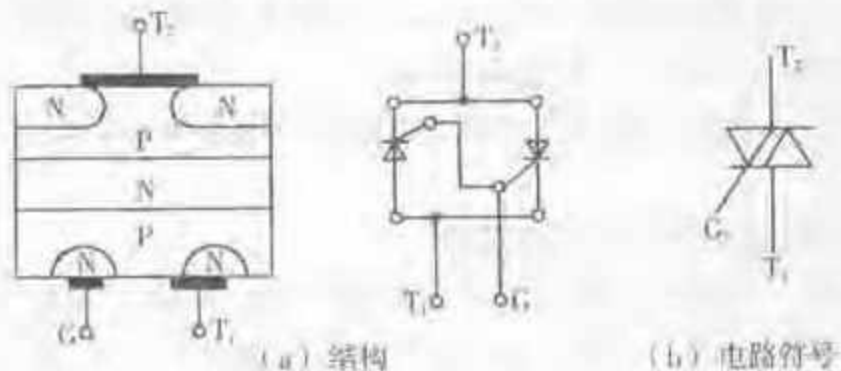
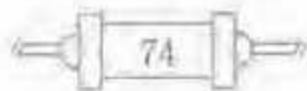


图 1-78 双向晶闸管的结构和电路符号





部分双向晶闸管的外形如图 1-79 所示。

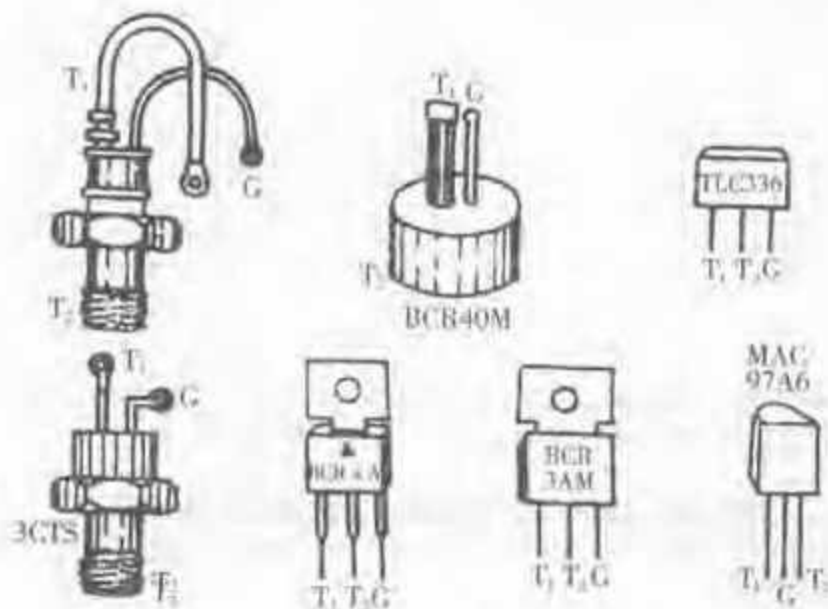


图 1-79 部分双向晶闸管的外形

多数小型塑封双向晶闸管,面对印字面,引脚朝下,则从左向右的排列依次为主电极( $T_1$ )、主电极( $T_2$ )、控制极( $G$ )。但也有例外的情况,因此有疑问时也可通过检测来判别。一种简单的方法是:用万用表的  $R \times 100$  挡或  $R \times 1k$  挡测量双向晶闸管的极间电阻之后作出判别。因为 2 个主电极之间的电阻无论表笔极性如何,读数均应为近似无穷大( $\infty$ ),而控制极( $G$ )与主电极( $T_1$ )之间的正、反向电阻仅约  $100\Omega$  或更小,同时  $T_1$ 、 $G$  极间的正向电阻要比反向电阻小一些。

## 2. 双向晶闸管的基本特性和主要参数

(1) 双向晶闸管的基本特性。在它的主电极( $T_1$ 、 $T_2$ )之间加上电压之后(无论极性如何),如果在控制极( $G$ )加正的或负的脉冲触发电压,则可实现对 2 个主电极之间的导通或关断控制(双向导电都能控制)。

(2) 双向晶闸管的主要参数。有断态重复峰值电压  $U_{DRM}$  [定义为:  $U_{DRM} = U_{D0}$  (正向转折电压) -  $100V$ ]、通态平均电压  $U_T$ 、额定电流有效值  $I_{T(RMS)}$  或正向平均电流  $I_F$ 、控制极(门极)触发电压  $U_G$ 、控制极(门极)触发电流  $I_G$ 、维持电流  $I_H$  等。其中  $U_G$ 、 $I_G$ 、 $I_H$  的含义与单向晶闸管的相同。

双向晶闸管工作时主电极电压峰值不应超过  $U_{DRM}$ , 电流有效值不应超过  $I_{T(RMS)}$ , 则可保证器件安全可靠工作。

双向晶闸管的型号很多,国产双向晶闸管(双向可控硅)有 3CTS 系列和 KS 系列。国产 3CTS 系列双向晶闸管的主要参数见表 1-47。国外 2N 系列部分双向晶闸管主要参数见表 1-48。





表 1-47 国产 3CTS 系列双向晶闸管主要参数

型号	参数	$U_{DM}$ (V)	$I_F$ (A)	$I_{TSM}$ (A)	$U_T$ (V)	$U_R$ (V)	$I_{R}$ (mA)
3CTS1	400~1000 可选		1	$\geq 10$	$\leq 2.2$	$\leq 3$	$\leq 50$
3CTS2			2	$\geq 20$	$\leq 2.2$	$\leq 3$	$\leq 50$
3CTS3			3	$\geq 30$	$\leq 2.2$	$\leq 3$	$\leq 50$
3CTS4			4	$\geq 33.6$	$\leq 2.2$	$\leq 3$	$\leq 50$
3CTS5			5	$\geq 42$	$\leq 2.2$	$\leq 3$	$\leq 50$

注： $I_F$ 为额定正向平均电流， $I_{TSM}$ 为不重复浪涌电流， $U_T$ 为通态平均电压。

表 1-48 国外 2N 系列部分双向晶闸管主要参数

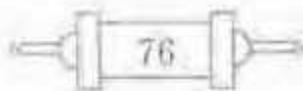
型号	参数	$U_{DM}$ (V)	$I_F$ (A)	$I_{TSM}$ (A)	$U_T$ (V)	$I_R$ (mA)
2N6069A	50	4.0	30	2.5	5.0~10	
2N6070A	100	4.0	30	2.5	5.0~10	
2N6071A	200	4.0	30	2.5	5.0~10	
2N6072A	300	4.0	30	2.5	5.0~10	
2N6073A	400	4.0	30	2.5	5.0~10	
2N6074A	500	4.0	30	2.5	5.0~10	
2N6075A	600	4.0	30	2.5	5.0~10	

### 三、BTG 晶闸管

#### 1. BTG 晶闸管的基本结构、外形和电路符号

BTG 晶闸管是一种四层三端负阻型半导体器件，其内部基本结构和等效电路如图 1-80(a)、图 1-80(b)所示。BTG 晶闸管既可作为晶闸管使用，又可作为单结晶体管使用，因此它又称为程控单结晶体管(PUT)或可调式单结晶体管。常见 BTG 晶闸管的外形与小功率晶体管相似，如图 1-80(c)所示。它的电路符号如图 1-80(d)所示，其中 A 为阳极，G 为门极(控制极)，K 为阴极。

若从外观上识别 BTG 晶闸管引脚排列有疑问时，可用测量极间电阻方法来判别：将万用表置于  $R \times 1k$  挡，交换测量任意 2 个引脚之间的正、反向电阻，当测得某对引脚的电阻为最低值时，则所测的为门极(G)和阳极(A)之间的正向电阻，此时黑表笔所接的是阳极(A)，红表笔所接的是门极(G)，另一个引脚是阴极(K)。(从图 1-80 所示的内部结构可知，A、K 极之间及 G、K 极之间都含有互为反串联的 PN 结，正、反向电阻  $\approx \infty$ ，而 G、A 极之间只有一个 PN 结，反向电阻  $\approx \infty$ ，但正向电阻为低阻值，所以很容易区别)。



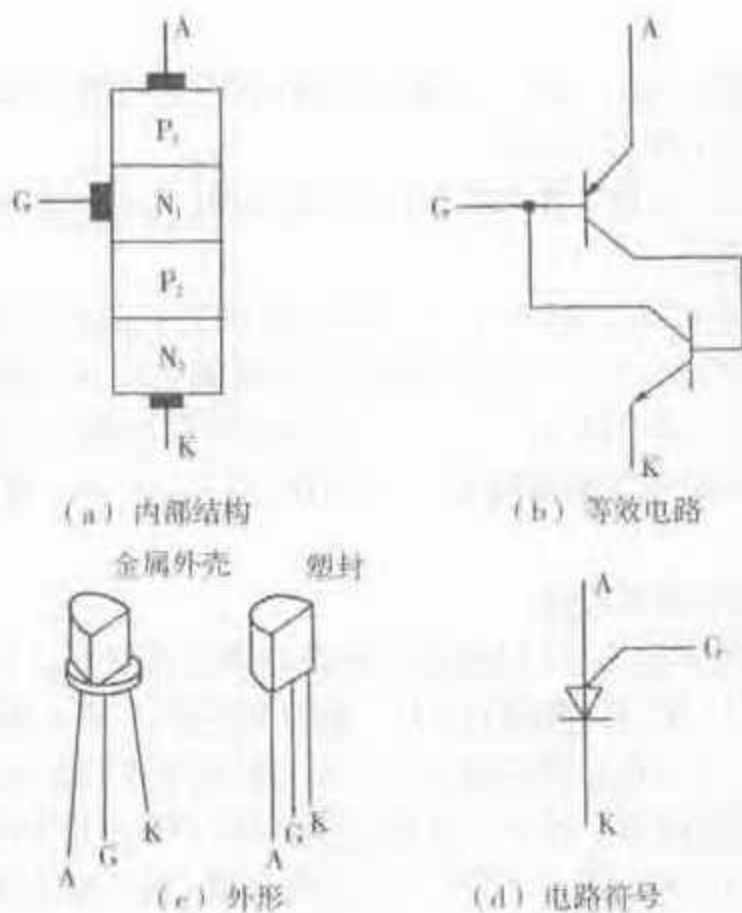


图 1-80 BTG 晶闸管的结构、外形和电路符号

## 2. BTG 晶闸管的基本特性和主要参数

BTG 晶闸管的基本特性可由它的伏安特性曲线来表示,如图 1-81 所示。图中  $U_p$ 、 $I_p$ 、 $U_V$ 、 $I_V$  为 BTG 晶闸管的主要参数。

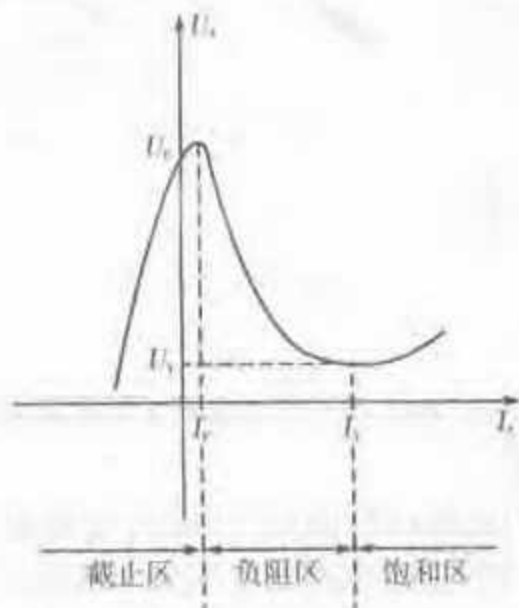


图 1-81 BTG 晶闸管的伏安特性曲线

由图可见,这 4 个主要参数的意义是:

- ①  $U_p$ ——为峰点电压。指 BTG 晶闸管开始出现负阻特性时阳极(A)与阴极



(K)之间的电压。

②  $I_p$ ——为峰点电流。指 A、K 极之间的电压达到峰点电压  $U_p$  时的阳极电流。 $I_p$  值很小,通常仅为  $1\sim 2\mu\text{A}$ 。

③  $U_v$ ——为谷点电压。指 BTG 晶闸管由负阻区开始进入饱和区时阳极(A)和阴极(K)之间的电压。

④  $I_v$ ——为谷点电流。指 A、K 极之间电压达到  $U_v$  时的阳极电流。

由图 1-81 所示可见,BTG 晶闸管的伏安特性曲线和单结晶体管类似。此外,它的内部结构采用 N 型门极(图 1-80),因此它既可作为单结晶体管又可作为小功率晶闸管使用,并具有触发灵敏度高、上升时间短( $\approx 60\text{ns}$ )、漏电流小、输出功率大的优点。

### 3. 触发能力测试简单方法

用简单方法即可判断 BTG 晶闸管的触发性能是否良好。将万用表置于  $R\times 1$  挡,黑表笔接阳极(A),红表笔接阴极(K),此时器件处于截止状态,仪表电阻读数应近似无穷大( $\infty$ ),为了防止感应触发,可用一根短导线先接在 A 极后再与 G 极短路一下,强行关断晶闸管。然后用手指触摸门极(G),由于人体感应电压将使晶闸管导通,于是万用表指针从  $\infty$  偏转到几欧姆位置,表明该晶闸管能正常触发导通,如图 1-82 所示。为了防止误判,应重复测试几次。如果按上述方法测试晶闸管不能在截止、导通之间转换,说明该晶闸管已损坏。(常见 BTG 晶闸管有 XG901D 型、BT40 型、2N6027 型、2N6028 型等多种。)

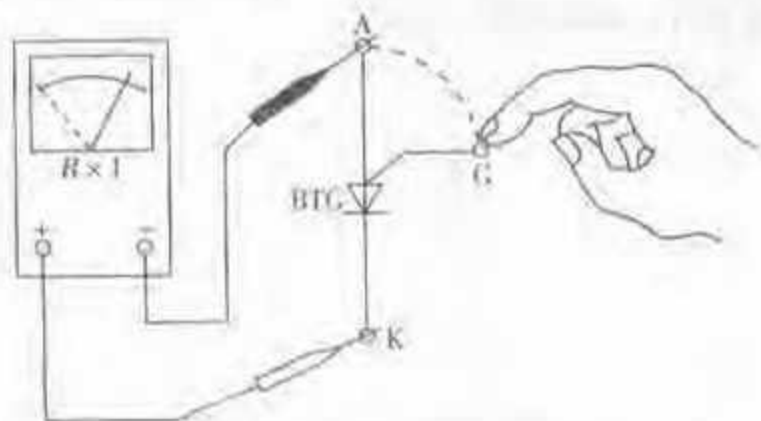
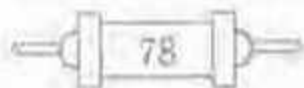


图 1-82 BTG 晶闸管触发能力测试简单方法

## 四、可关断晶闸管

可关断晶闸管(GTO)也称门控晶闸管,除具有普通晶闸管的优点外,还具有门控关断能力,使用极其方便,是理想的大电流开关器件。它的几种常见外形和电路符号如图 1-83 所示。

可关断晶闸管的关断原理、方式与普通(单向)晶闸管不同,它导通后只是达到临界饱和状态而不是像单向晶闸管那样处于深度饱和状态,所以在它的门极(G)输入一个负触发脉冲即可使之由导通状态变为阻断状态。



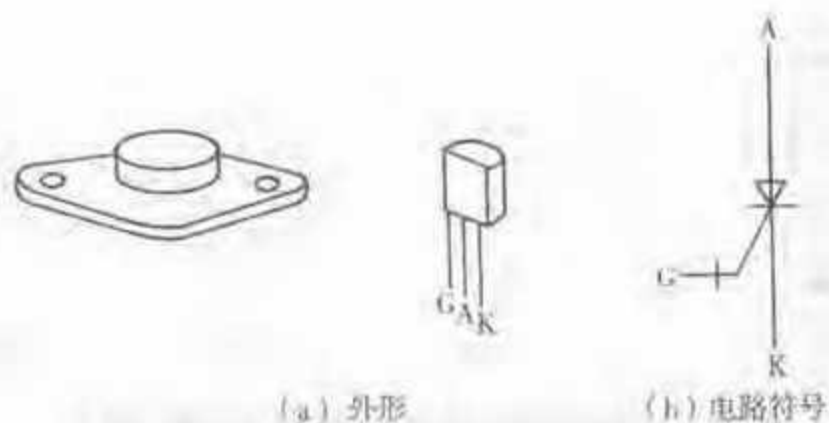


图 1-83 常见可关断晶闸管外形和电路符号

几种国产大功率可关断晶闸管的主要参数见表 1-49。表中,  $U_{DRM}$  为断态重复峰值电压, 指在阳极(A)和阴极(K)之间的断态电压最高瞬时值;  $I_{ATM}$  为最大可关断电流;  $U_{RCM}$  为门极(控制极)反向峰值电压;  $U_{TM}$  为通态电压。

表 1-49 几种国产大功率可关断晶闸管主要参数

参数值 型号	参数 $U_{DRM}$ (V)	$I_{ATM}$ (A)	$U_{RCM}$ (V)	$U_{TM}$ (V)	阳极面热阻 $R_{TM}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )
DGT304SE08	800	600	16	2.2	0.12
DG386SE31	2100	1000	16	2.8	0.089
DG606SH25	2500	2000	16	2.8	0.033
DG758SX46	4500	2500	16	3.4	0.03

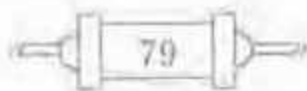
对于可关断晶闸管引脚排列的识别, 若有疑问, 也可用万用表测量其各引脚间电阻的方法来判断。具体做法是: 将万用表置于  $R \times 10$  挡或  $R \times 100$  挡, 轮换测量晶闸管 3 个引脚间的电阻, 电阻比较小的这一对引脚则是门极(G)和阴极(K); 再测量 G、K 极间的正、反向电阻, 当电阻示值较小时红表笔所接的引脚为阴极(K), 黑表笔所接的引脚为门极(控制极)(G), 剩下的引脚就是阳极(A)。

另外, 在正常情况下, A、K 极之间及 A、G 极之间的正、反向电阻应近似无穷大( $\infty$ ), 而 G、K 极之间的阻值不是很大。因此, 通过测量极间电阻的方法, 也能判别可关断晶闸管的好坏。

## 五、四极晶闸管

### 1. 四极晶闸管的基本结构和电路符号

四极晶闸管是一种多功能半导体器件, 它有 4 个电极: 阳极(A)、阴极(K)、阳极控制极( $G_A$ )、阴极控制极( $G_K$ )。其内部基本结构、管脚排列和电路符号如图 1-84 所示。



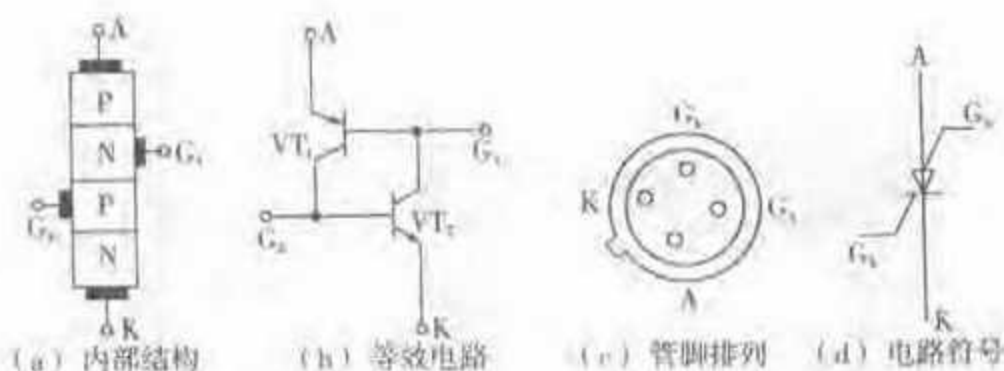


图 1-84 四极晶闸管的结构、管脚排列和电路符号

小功率四极晶闸管大多采用金属管壳封装,管壳直径约 8mm,管脚排列底视图如图 1-84(c)所示。常见型号有 3N38、3N81、3SF11、MA32 等。工作电压一般为 50V,导通电流一般为 0.5A。用万用表  $R \times 1k$  挡测量四极晶闸管的极间电阻,一般是:A、 $G_A$ 极间正向电阻为  $4 \sim 12k\Omega$ ,反向电阻为无穷大( $\infty$ )。 $G_A$ 、 $G_R$ 极间正向电阻为  $2 \sim 20k\Omega$ ,反向电阻为无穷大( $\infty$ )。K、 $G_R$ 极间正向电阻为  $4 \sim 12k\Omega$ ,反向电阻为无穷大( $\infty$ )。

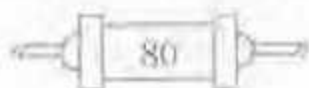
## 2. 四极晶闸管的性能特点

由图 1-84(b)所示的等效电路可见,四极晶闸管相当于由一只 PNP 三极管  $VT_1$  和一只 NPN 三极管  $VT_2$  组成。因此,四极晶闸管的灵敏度很高,门极触发电流仅需几微安,并且开关时间也很短。除此以外,它具有多用性的特点,例如,将它的  $G_A$  极空着不用时,它就可以作为单向晶闸管或门极关断晶闸管使用;若将其  $G_R$  极空着不用,就可作为 BTG 晶闸管或门极关断晶闸管使用;若将它的  $G_A$  极与 A 极短接,则可作为逆导晶闸管或 NPN 型硅三极管使用;若将  $G_R$  极与 K 极短接,则可作为 PNP 型硅三极管使用;若将 A、K 极空着不用,则可作为硅稳压二极管使用(典型稳压值为 80V)。

## 六、光控晶闸管

光控晶闸管是一种利用光信号控制的半导体开关器件,它的伏安特性与单向晶闸管相似,只是用光触发代替了电触发。因此,光控晶闸管只有阳极(A)和阴极(K)2个引脚,门极(G)则成为受光窗口或光导纤维、光缆等。光控晶闸管的内部结构、外形和电路符号如图 1-85 所示。

由图可见,光控晶闸管内部结构也是由  $P_1N_1P_2N_2$  四层半导体叠合而成,与单向晶闸管基本相同。但光控晶闸管的  $N_1$  层和  $P_2$  层之间形成的 PN 结相当于一个光电二极管 VD,如图 1-85(b)所示等效电路,在无光照的情况下,VD 处于截止状态,此时三极管  $VT_1$ 、 $VT_2$  都无基极电流,光控晶闸管两端加正向电压后仍然不导通,处于阻断状态。一旦有光信号照射到光电二极管 VD 时,就在光控晶闸管内部电路形成强烈正反馈,在极短时间内使三极管  $VT_1$ 、 $VT_2$  饱和导通,从而光控晶闸管就迅速从阻断状态转入导通状态。此时就是去掉光信号,由于内部电路正反



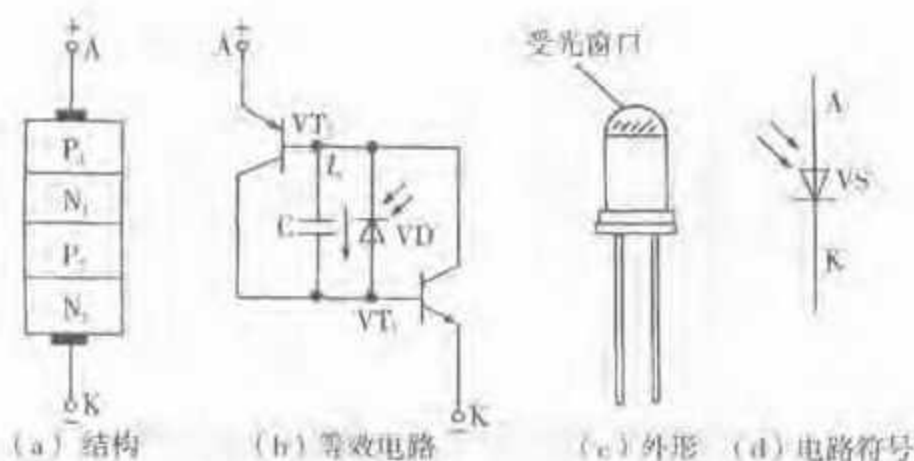


图 1-85 光控晶闸管的结构、外形和电路符号

馈已经形成,光控晶闸管仍然维持导通状态,只有断开电源后才会重新变成阻断状态,类似单向晶闸管那样。光控晶闸管也具有整流特性。

图 1-86 所示为光控、电控两用晶闸管的结构、外形和电路符号。它是在上述光控晶闸管中再引出一个控制极(门极)而成为功能更全的三端器件。

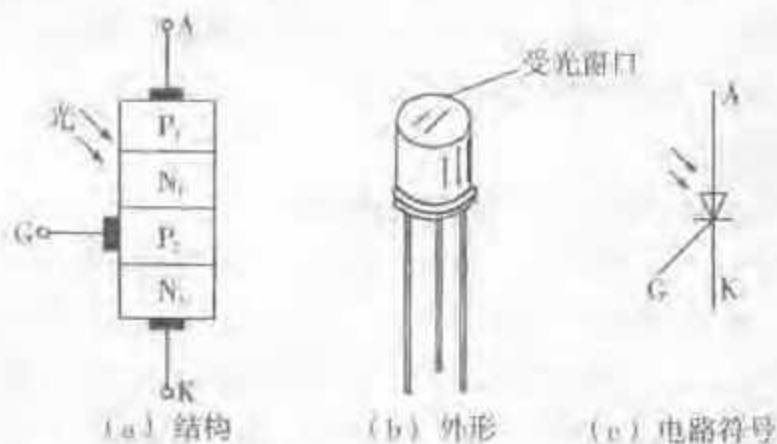


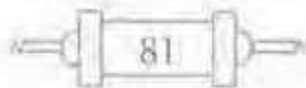
图 1-86 光控、电控两用晶闸管的结构、外形和电路符号

测试小功率光控晶闸管触发特性的一种最简单方法是:将万用表置于  $R \times 1$  挡,在黑表笔上正向串联 3V 电源(如 2 节 5 号干电池),测量光控晶闸管 A、K 极之间的正、反向电阻均应为无穷大( $\infty$ )。当用小手电筒照射光控晶闸管的受光窗口时,晶闸管的正向电阻立即由无穷大降为低阻值,并且去掉光照后仍保持低阻(导通)状态,说明光控触发特性正常。

## 七、逆导晶闸管

逆导晶闸管(RCT)的管芯中制有一只单向晶闸管以及与之反向并联的二极管,它的等效电路如图 1-87(a)所示。其内部二极管的正极与晶闸管阴极(K)相接,负极与阳极(A)相接。逆导晶闸管的电路符号如图 1-87(b)所示。

逆导晶闸管具有比单向晶闸管工作频率高、关断时间短和误动作少的显著优点,因此逆导晶闸管在开关电源、超声波电路、电子整流器和电磁灶电路等方面已被广泛应用。





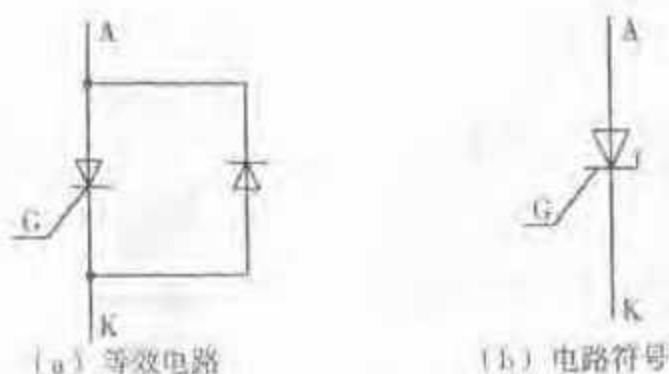


图 1-87 逆导晶闸管的等效电路及电路符号

根据逆导晶闸管的等效电路,可以用万用表  $R \times 100$  挡测量各引脚之间电阻的方法来判别电极 A、K、G。

对于小功率逆导晶闸管,还可用一种最简单的方法来测试其触发能力。将万用表置于  $R \times 1$  挡或  $R \times 10$  挡,黑表笔接阳极(A),红表笔接阴极(K),然后将阳极(A)与门极(G)之间作瞬间短路,逆导晶闸管即被触发导通,于是可以看到万用表的指针由无穷大( $\infty$ )位置偏转到低电阻位置后维持不变,说明被测管触发能力正常。如果不能由无穷大( $\infty$ )偏转到低电阻,或偏转到低电阻后不能维持,则说明该逆导晶闸管的门极已损坏或触发性能不好。

## 八、单晶体管

### 1. 单晶体管的基本结构、外形和电路符号

单晶体管(UJT)也称双基二极管,它有 2 个基极( $B_1$ 、 $B_2$ )和一个发射极(E),却无集电极。其内部结构如图 1-88(a)所示,在一块 N 型硅半导体材料的两端引出 2 个基极,而在另一侧制成一个 PN 结引出电极作为发射极。

单晶体管的等效电路如图 1-88(b)所示。 $R_{B1}$  为基极  $B_1$  至二极管 PN 结负极的电阻, $R_{B2}$  为基极  $B_2$  至 PN 结负极的电阻,因此两基极之间的电阻  $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$ 。一般  $R_{BB}$  阻值在  $2 \sim 15 \text{k}\Omega$  之间。

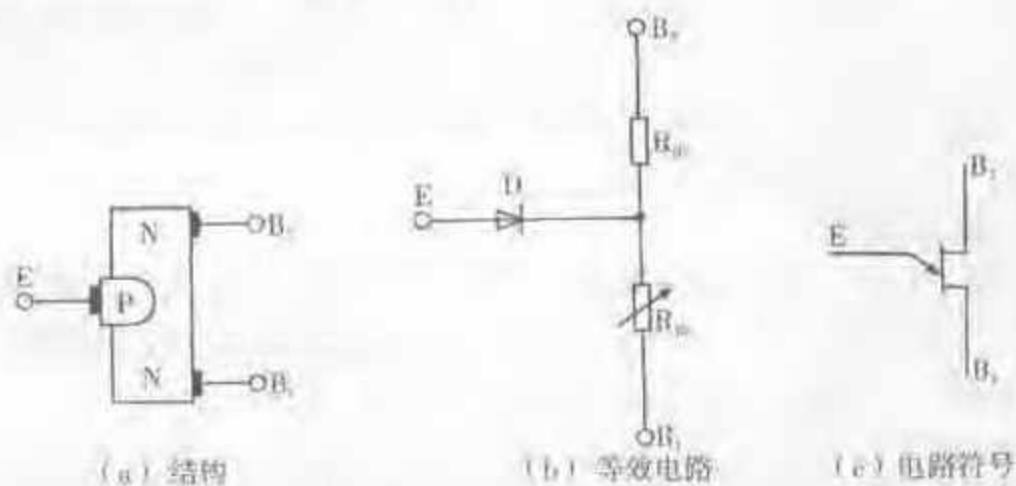
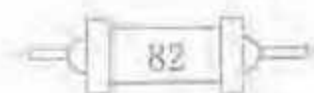


图 1-88 单晶体管结构、等效电路和电路符号





单晶体管的电路符号如图 1-88(c) 所示。常见单晶体管外形及其引脚排列如图 1-89 所示。

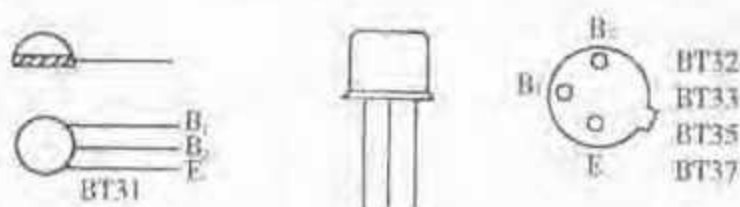


图 1-89 单晶体管的外形及其引脚排列

## 2. 单晶体管的基本特性和主要参数

单晶体管的伏安特性曲线如图 1-90 所示。可见,其特性曲线可分为 3 个区域:截止区、负阻区及饱和区。当单晶体管发射极 E 至第一基极  $B_1$  之间的电压  $U_E$  小于峰点电压  $U_F$  时,发射极电流很小很小,这时单晶体管处于截止状态。当  $U_E > U_F$  时,发射极电流  $I_E$  很快上升,使  $U_E$  降到谷点电压  $U_V$ ,  $I_E$  仍有一个相当大的谷点电流  $I_V$ ,此时器件处于负阻区,其动态电阻为负值。如果继续增加发射极电压  $U_E$ ,则  $I_E$  将随  $U_E$  的升高而增加,此时单晶体管进入饱和区。因此,单晶体管的 PN 结是具有负阻特性的。

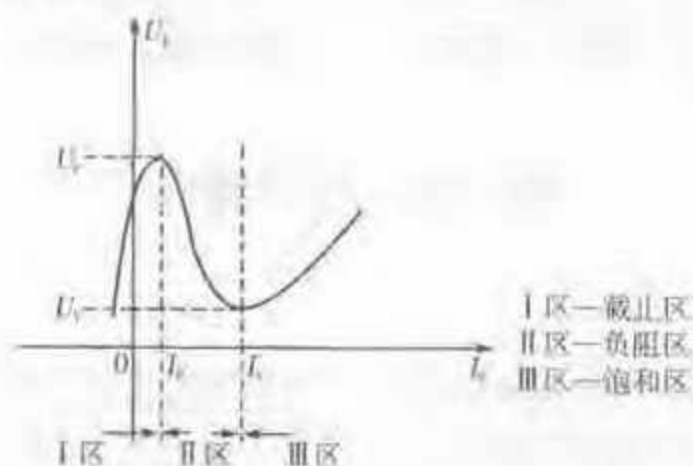


图 1-90 单晶体管的伏安特性曲线

单晶体管的主要参数有基极间电阻  $R_{B1}$ 、分压比  $\eta$ 、峰点电压  $U_F$ 、峰点电流  $I_F$ 、谷点电压  $U_V$ 、谷点电流  $I_V$ 、饱和压降  $U_{SE}$  等。其中  $R_{B1}$  和  $\eta$  一般被认为是其最重要的两个参数。

常用单晶体管的主要参数见表 1-50。

表 1-50 常见单结晶体管的主要参数

型 号	参 数	分压比	基极间电阻	峰点电流	谷点电流
	符 号	$\eta$	$R_{bb}(\text{k}\Omega)$	$I_p(\mu\text{A})$	$I_v(\text{mA})$
BT33G		0.55~0.75	10~15	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT33H		0.55~0.75	5~10	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT35A		0.3~0.4	$\geq 2$	$\leq 4$	$\geq 1.5$
BT35B		0.4~0.5	$\geq 2$	$\leq 4$	$\geq 1.5$
BT35C		$>0.5\sim 0.65$	$\geq 2$	$\leq 4$	$\geq 1.5$
BT35D		$>0.65$	$\geq 2$	$\leq 4$	$\geq 1.5$
BT37E		0.65~0.9	3~6	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT37F		0.65~0.9	5~12	$\leq 2$	$\geq 1.5$
测试条件		$U_{bb}=20\text{V}$	$U_b=20\text{V}$ $I_E=0$	$U_{bb}=20\text{V}$	$U_{bb}=20\text{V}$

单晶体管的PN结具有负阻特性,由它构成定时电路或振荡电路是相当方便的,因此单晶体管在脉冲电路和数字电路中得到广泛应用。

## 第八节 电声器件

### 一、扬声器

扬声器是一种电—声转换器,它的作用是将音频电信号转换成声音振动并在空气中辐射传播。扬声器的种类很多,常见的有电动式、压电式、电磁式和电容式等。目前,使用最多的是永磁动圈式(电动式)。扬声器的外形和电路符号如图 1-91所示。

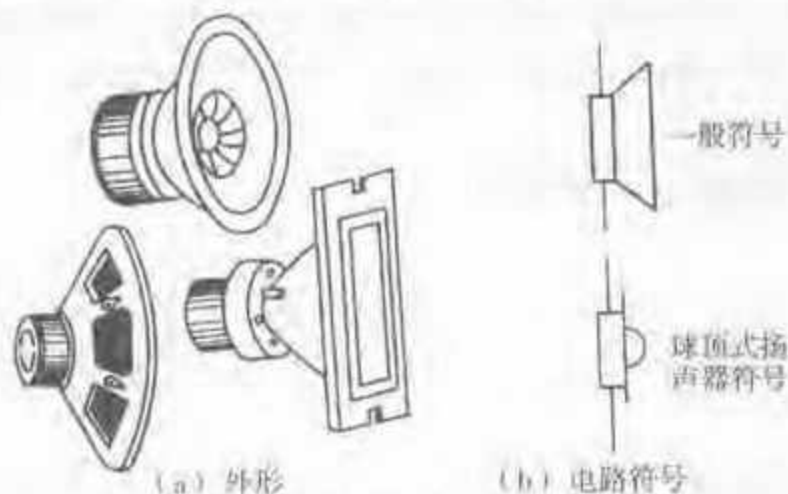


图 1-91 扬声器的外形和电路符号



永磁动圈式扬声器按永磁体形状和所处位置的不同分为内磁式和外磁式,内磁式重量较轻、漏磁较小,一般采用铝镍钴或钕铁硼永磁材料作为内部磁体,外磁式相对来讲比较重、漏磁大,通常用铁氧体永磁材料作为外部磁体,制造成本较低。

永磁动圈式扬声器的发声原理:当音圈中有音频电流流过时,音圈因受永磁体磁场的作用而运动,带动音膜或纸盆振动而发声。

在电视机、音响和收录机中,一般使用电动纸盆式扬声器。在公共场合及广场播音时,一般使用电动号筒式扬声器(俗称高音喇叭)。使用扬声器时要注意它的阻抗和功率,应与音频功率放大器的输出阻抗和功率相匹配。在同时配接多个扬声器时,除要求功率、阻抗匹配外,还要求极性一致,以保证扬声器纸盆振动的相位相同。

扬声器的主要参数有标称功率、额定阻抗、频率特性(有效频率范围)、谐振频率等。

国产动圈式扬声器上都标明主要技术参数。例如, YD0.5-100-8 $\Omega$ , Y代表扬声器, D代表动圈式, 0.5代表标称功率为0.5W, 100代表扬声器口径为100mm, 8 $\Omega$ 代表扬声器的额定阻抗。常用扬声器的额定阻抗有4 $\Omega$ 、8 $\Omega$ 、16 $\Omega$ 、25 $\Omega$ 、32 $\Omega$ 等。

扬声器的额定阻抗是指扬声器工作在一定信号频率下的交流阻抗。通常对于口径大于90mm的扬声器,指信号频率为400Hz;口径小于90mm的扬声器,则指信号频率为1000Hz。当信号源的输出阻抗与扬声器的额定阻抗相等时,扬声器可获得最大输出功率。

扬声器的频率范围越宽,说明频率失真越小。一般低音扬声器频率范围为20Hz~3kHz,中音扬声器为500Hz~5kHz,高音扬声器则为2~20kHz。

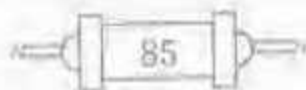
一般讲,扬声器的谐振频率随其口径的增大而降低。例如,口径为152mm的低音扬声器谐振频率约为50Hz;口径为203mm的低音扬声器的谐振频率约为40Hz;口径为254mm的低音扬声器的谐振频率约为30Hz。

## 二、蜂鸣器和压电蜂鸣片

### 1. 蜂鸣器

常见蜂鸣器有电磁式和压电式两类,它是一种一体化结构的小型电子讯响器,在电子产品中作为定时或报警等发声器件而被广泛应用。常见蜂鸣器的外形如图1-92(a)所示,其电路符号如图1-92(b)所示。

(1) 电磁式蜂鸣器。由振荡器、电磁线圈、磁铁、振动膜和外壳组成。接通直流电源后(一般为1.5~5V),其内部振荡器产生的音频电流流过电磁线圈,使电磁线圈产生交变磁场,振动膜在电磁线圈和磁铁的相互作用下振动而发声。



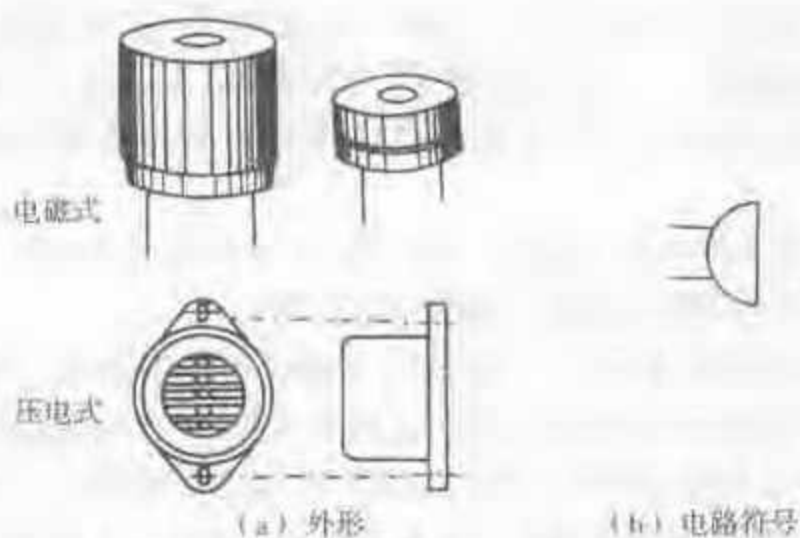


图 1-92 蜂鸣器的外形和电路符号

(2) 压电式蜂鸣器。主要由多谐振荡器、压电蜂鸣片、阻抗匹配器及共鸣箱、外壳等构成,有的压电式蜂鸣器外壳上还装有发光二极管。压电式蜂鸣器的直流工作电压一般为 1.5~15V,发声频率一般在 1.5~2.5kHz 之间。

### 2. 压电蜂鸣片

压电蜂鸣片由压电陶瓷材料(锆钛酸铅或铌镁酸铅固体)制成,在陶瓷片的两面镀上银电极,并经老化和极化后粘在黄铜或不锈钢片上。常见压电蜂鸣片的外形和电路符号如图 1-93 所示。

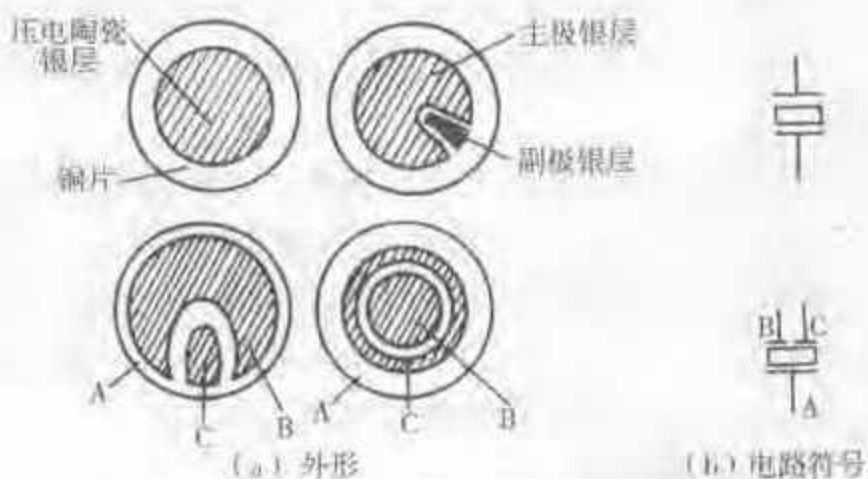


图 1-93 压电蜂鸣片的外形和电路符号

当压电蜂鸣片的两面电极之间接上音频电信号时(通常频率选在人耳敏感范围:1~4kHz),压电蜂鸣片因压电效应产生相应频率的机械振动而发声,加上共鸣箱(腔)后能使音量显著增加。

### 三、传声器

传声器(话筒)是将声音转变为电信号的传感器。传声器的种类很多,常见的有电容式、动圈式、晶体式和铝带式等。目前,使用最多的是动圈式传声器和驻极体电容式传声器。一些常用传声器(话筒)的外形和电路符号如图 1-94 所示。



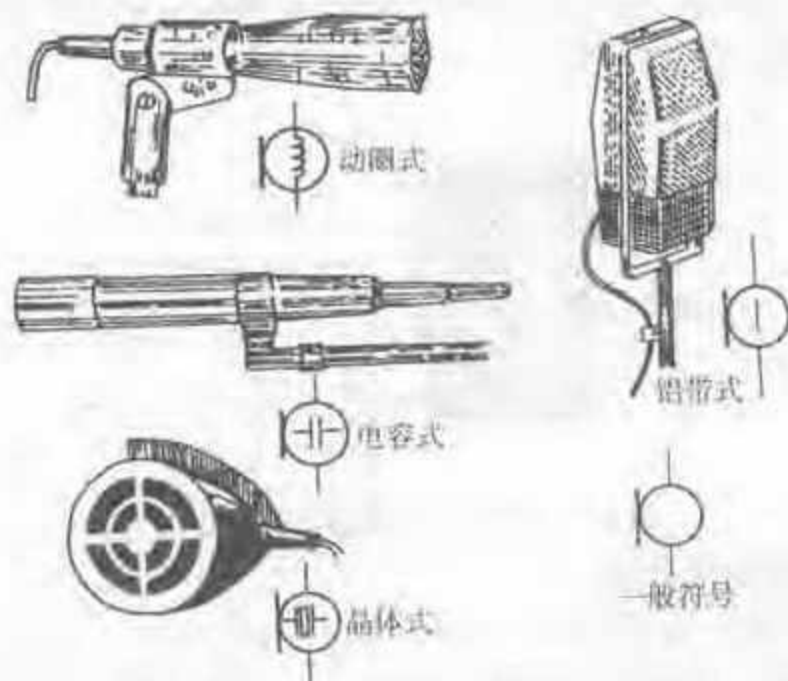


图 1-94 传声器(话筒)的外形和电路符号

### 1. 动圈式传声器

动圈式传声器也称电动式传声器,其结构如图 1-95 所示。它的结构原理与动圈式扬声器类似,但体积要小得多。动圈式传声器的工作原理:声音引起传声器内的音膜振动从而带动音圈一起振动,而音圈处在由永磁体产生的磁场中,音圈振动时因切割磁力线而产生感应电流,经内置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为  $150 \sim 5000\text{Hz}$ ,不及电容式传声器性能优良。但它的灵敏度是比较高的,且结构简单、坚固耐用,很适合一般语言传声用。

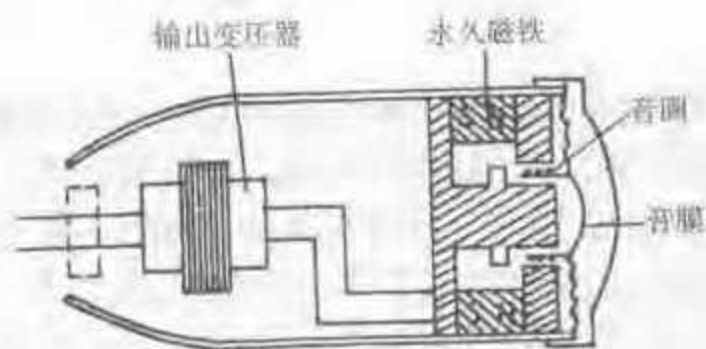


图 1-95 动圈式传声器结构示意图

### 2. 电容式传声器

电容式传声器有良好的频率响应,具有比较理想的线性度和大动态声压测量范围。其典型结构示意图如图 1-96 所示,金属膜片安装在传声器壳体内(前方),相当靠近刚性、固定不变的背极板,在金属膜片和背极板之间形成电容。使用时应在此电容的两极间加上直流电压。声波引起膜片振动,金属膜片与背极板之间

的距离随之变化,从而产生电容量的变化,由电容量变化引起的充放电过程而使输出信号电压的大小与声压成正比。

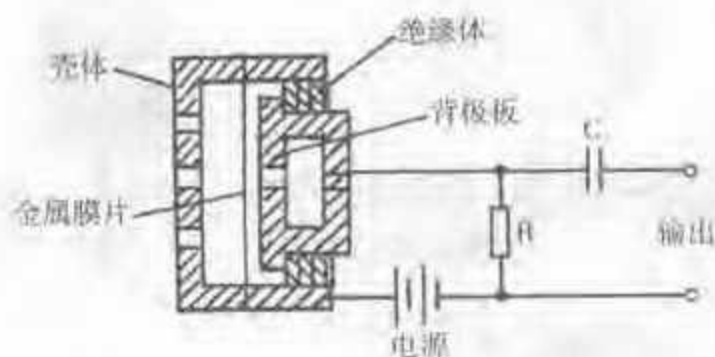


图 1-96 电容式传声器结构示意图

### 3. 驻极体电容式传声器

驻极体电容式传声器(话筒)体积小、重量轻,成本低,它的频率响应,动态范围和线性度都比较好。因而,普及型收录机中的内置话筒以及一般无线话筒都普遍采用它。驻极体电容式传声器的结构原理、外形及电路符号如图 1-97 所示。

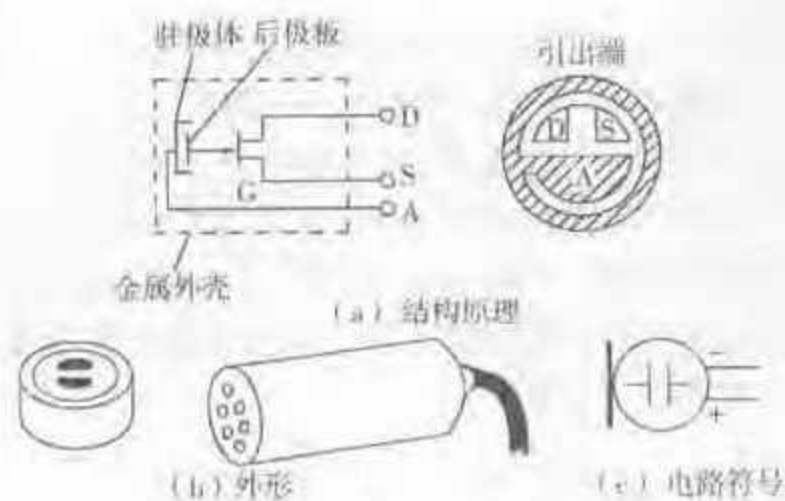


图 1-97 驻极体电容式传声器的结构原理、外形及电路符号

驻极体电容式传声器工作原理:传声器中塑料振动膜的一面镀有金属薄膜层,与后极板之间形成电容,生产厂用高压电场驻极后就成为驻极体电容。当在声波作用下驻极体膜片发生振动时,膜片与后极板之间的距离将随振动变化,于是电容量也随之而变化,但驻极体电容表面电荷保持不变,因而电容两端的电压就会随着振动而变化,输出与声波相对应的音频电压。其输出阻抗很高( $\geq 10^6 \Omega$ ),因此应用场效应晶体管源极跟随器作为阻抗变换器,以降低输出电阻(需在 S、A 极间外接匹配电阻,有的驻极体电容式传声器已内接此电阻)。

常用的三类传声器特点比较见表 1-51。可见,这三类传声器中以电容式传声器性能最佳。实际应用中,基本测声仪器(如声级计)就采用电容式传声器作为声电变换传感器。虽然它的成本较高,但它的频率响应平坦,传声质量非常好,适合





于专业场合使用。

表 1-51 三类传声器特点比较

特点	动圈式	压电式	电容式
频率响应	不满意	尚满意	良好
灵敏度	良好	不满意	尚满意
动态范围	尚满意	良好	良好
线性度	不满意	尚满意	良好

## 四、耳机

### 1. 耳机

普通耳机是由磁铁、线圈和振动膜片构成的电磁式耳机,阻抗一般为 $1\sim 4\text{k}\Omega$ 。近年来生产的一种平膜动圈耳机,其音圈和音膜连为一体,具有频率响应宽( $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ )、失真小和重量轻的优点,阻抗约为 $20\Omega$ ,属低阻型耳机,广泛应用于立体声收音系统。

### 2. 耳塞机

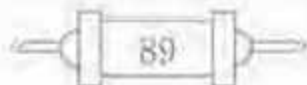
耳塞机也称耳塞,是一种可直接塞在耳孔中的小型耳机。高阻型耳塞外形稍大些,一般阻抗为 $800\Omega$ 或 $1\ 500\Omega$ 。低阻型耳塞外形较小,其阻抗一般为 $8\Omega$ 或 $10\Omega$ 。耳塞的外形及电路符号如图 1-98 所示。

使用耳塞时应注意阻抗匹配,高阻型耳塞应连接在音频放大输出阻抗较高的端点,如接在收音机低放管的集电极输出端;低阻型耳塞应接在音频放大输出阻抗较低的端点,如取代 $8\Omega$ 扬声器,接在收录机功放级的发射极输出端。



图 1-98 耳塞的外形及电路符号

一般说,袖珍收录机、小型影碟机、MP3 播放器等设备使用的耳塞,应选用头戴式或高保真立体声动圈式耳塞。助听器用耳塞一般应选用高灵敏度、重放语音清晰







的单声道动圈式耳塞或电容式耳塞,录音棚内可选用护耳式抗干扰高保真耳塞。

## 第九节 数码显示器件

### 一、常用数码显示器件简介

现在常见的数码显示器件有荧光数码管、发光二极管数码管、液晶数字显示器等。

#### 1. 荧光数码管

荧光数码管的内部构造与真空三极管相似,它是依靠被通电加热的灯丝(兼作阴极)在真空中发射电子,当阳极加上正电压时,可由栅极来控制这些电子是否打在敷有荧光质层的阳极上,从而决定阳极是否发光。当栅极加正电压时,如果有选择地给某几个阳极加上正电压,则可以组成一个数字。如果所有阳极都不加正电压,荧光数码管就不显示任何数字。

常见荧光数码管中的数字分六段、七段、八段和九段等多种形式。八段式荧光数码管的电路符号和字形如图 1-99 所示。

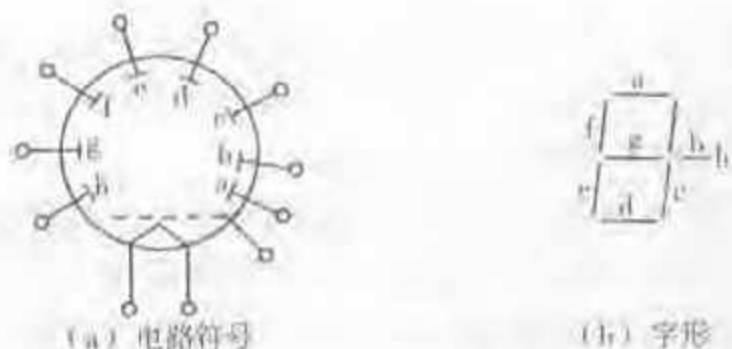


图 1-99 八段式荧光数码管的电路符号和字形

例如,当选择笔段 a、f、g、c、d 发光时就显示数字“5”,只选择 b、c 笔段发光时显示数字“1”。

荧光数码管的灯丝电压为 1.2V,灯丝电流一般为 35~80mA,阳极电压为 15~20V,阳极电流约 2mA(发光)。荧光数码管显示字形清晰,工作电压较低、驱动电流小,在电子秤、收款机等电子设备中应用相当普遍。它的主要缺点是灯丝耗电较大且易老化,因而影响使用寿命。

#### 2. 液晶数字显示器

液晶数字显示器本身不发光(透射式辅助光源除外),只能反射或透射外部光线。器件中的液晶层既具有液体流动性又具有晶体光学特性。当显示器的公共极(背电极)和透明电极之间加 2~10V 交流电压(一般用 30~100Hz 方波电压)时,就会使透明电极(笔段)的亮度发生显著的变化,从而显示出数字或符号。这里要强调,液晶数字显示器不宜在直流电压下或较高频率的电压信号下工作。





一种液晶数字显示器的基本结构和引脚排列如图 1-100 所示。

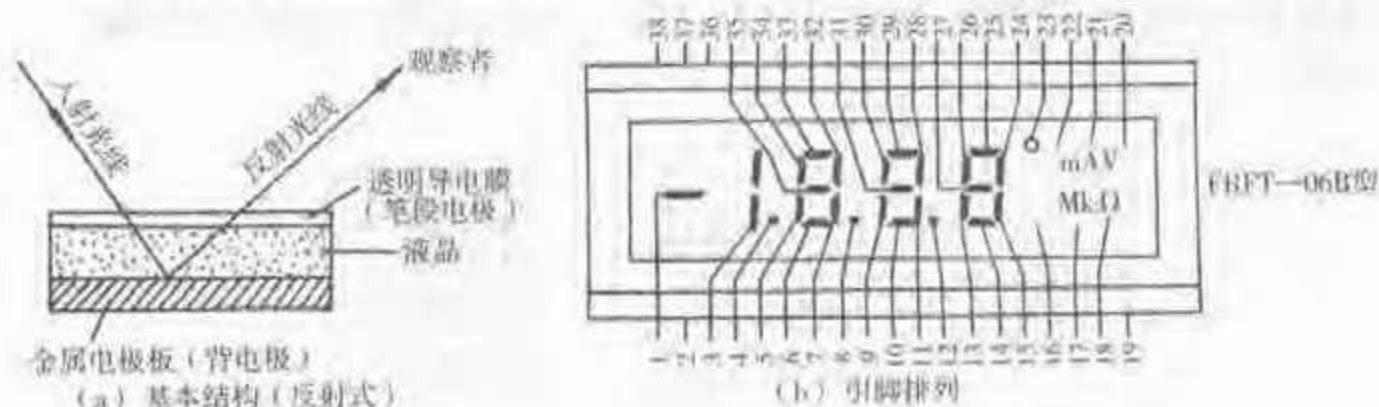


图 1-100 液晶数字显示器的基本结构和引脚排列

1-负号;2,19,36,37,38-背电极;3-千位笔段;4,8,12-小数点;15~18,20~23-单位符号;其他为数字笔段

完好的液晶数字显示器在外观上不应有局部变色、气泡或液晶泄漏等现象,工作时液晶数字显示清晰完整。

使用液晶数字显示器时,如果对引脚排列有疑问,可利用万用表电阻挡进行识别。操作方法:将万用表置于  $R \times 1k$  或  $R \times 10k$  挡,任一表笔与显示器的公共电极固定相接,用另一表笔依次移动接触透明电极引出线,应当能显示出相对应的数字笔段。特别强调:对于阈值电压小于  $1.5V$  的液晶数字显示器,如电子手表中的液晶显示器,则应采用  $R \times 1k$  或  $R \times 100$  挡去检测。无论是何种液晶数字显示器,检测时都不宜长时间加直流电压,万用表检测时其中一表笔应采取短时间触碰方式进行。

### 3. 发光二极管数码管

发光二极管数码管的每个发光段由 1 只或 2 只发光二极管制成,其中七段式数码显示字形组成如图 1-101 所示。

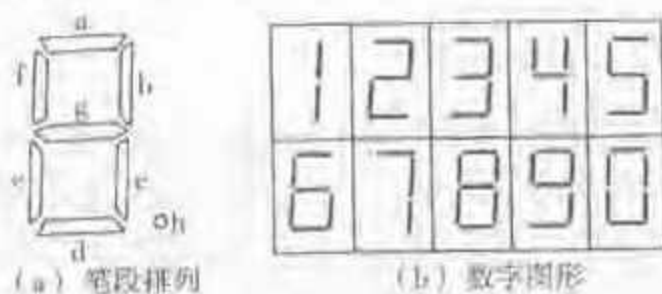
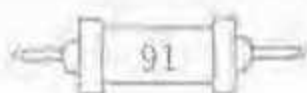


图 1-101 七段式数码显示字形组成

数码显示器中的发光线段,通常以  $a, b, c, d, e, f, g$  表示。例如,除  $g$  段外,其余各段均发光时构成数字“0”;只有  $b, c$  段发光时构成数字“1”;七段全部发光时构成数字“8”;只有  $e$  段不发光时构成数字“9”。另外,在这种七段式数码显示器中,笔段(圆斑) $h$  用来显示小数点。

发光二极管(LED)数码管的型号很多,下面介绍共阴极型的几种 LED 数码管外形及内部构造。

(1) BS201 LED 数码管。BS201 是微小型红色共阴极七段式 LED 数码管,其





外形和内部结构如图 1-102 所示,工作时应将负极(公共端)接地。其直流工作电流为 40mA,极限值为 100mA,字形高为 3.2mm,宽为 1.8mm,采用扁平式封装。

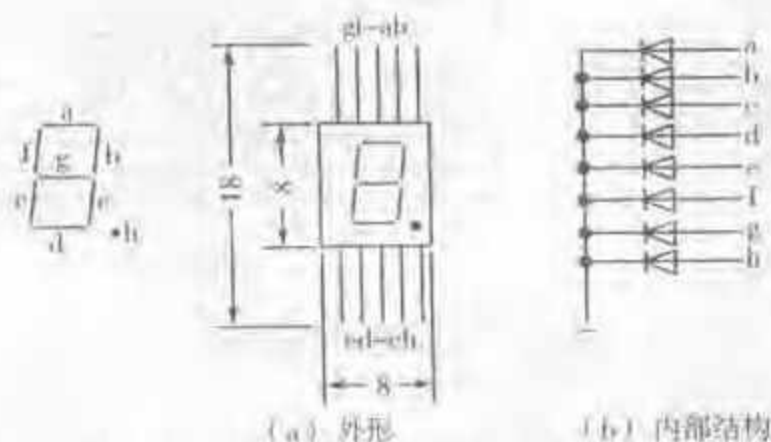


图 1-102 BS201 LED 数码管外形及内部结构

(2) BS207 LED 数码管。BS207 是红色共阴极七段式 LED 数码管,其外形及内部结构如图 1-103 所示,工作时应将负极作为公共端(接地)。每段工作电流为 5mA 时正向压降为 3.6V,包括小数点显示在内总直流工作电流为 60mA,极限值为 200mA,直流反向耐压为 10V,字形高为 12.5mm、宽为 7.6mm。

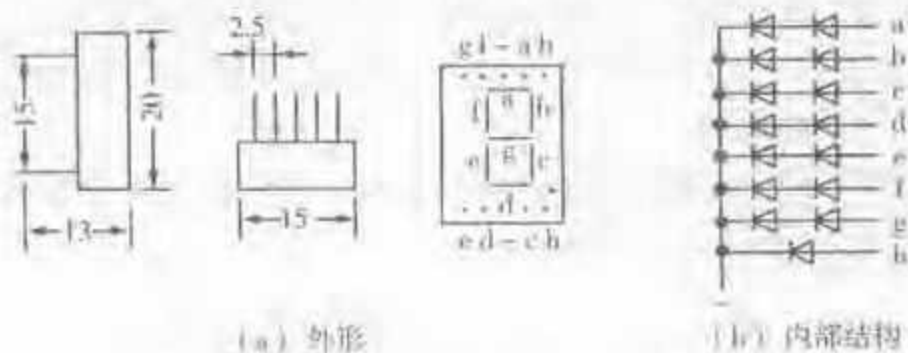


图 1-103 BS207 LED 数码管外形及内部结构

(3) BS5042 LED 数码管。BS5042 是红色共阴极七段式 LED 数码管,实际上它是将 2 只数码管封装在一起,引脚各自独立,其外形及内部结构如图 1-104 所示。它的字形大小与 BS207 LED 数码管相同。

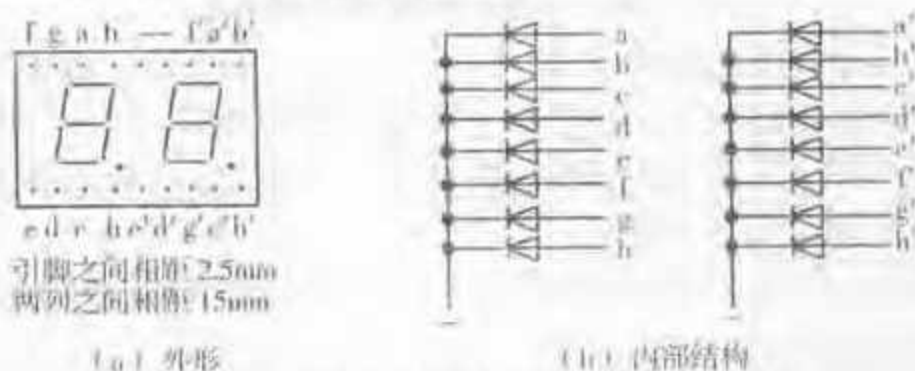


图 1-104 BS5042 LED 数码管外形及内部结构



(4) LED点阵显示器。一种常见的单色LED点阵显示器,如P2057A型采用 $5 \times 7$ 点阵结构,共35个像素,双列直插式封装,内部共有35只发光二极管,为共阴极型结构,其外形和内部电路如图1-105所示。LED点阵显示器所显示的数字或符号由外部电路控制,图形变化更灵活。

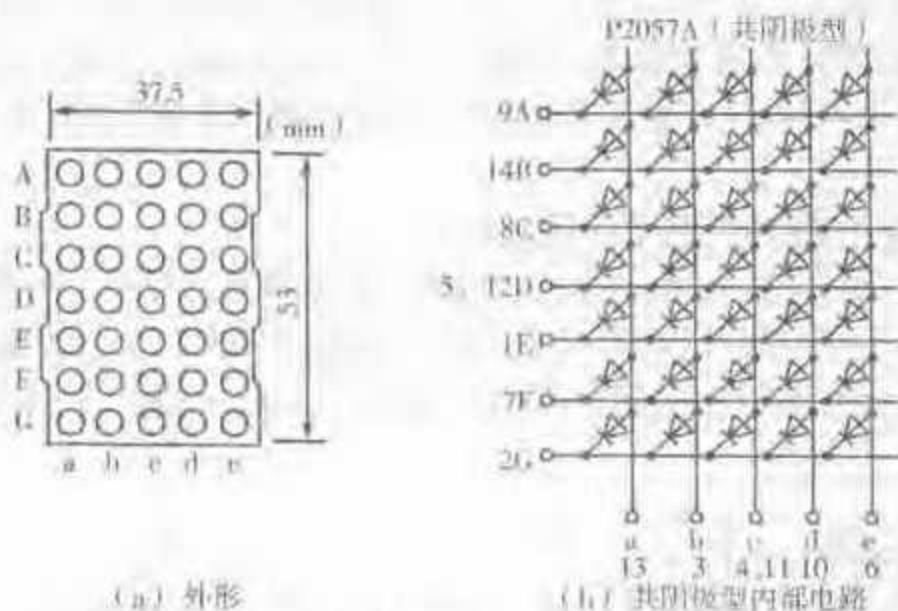


图 1-105 LED  $5 \times 7$  点阵显示器外形和内部电路

## 第十节 集成电路

集成电路(IC)是采用半导体制作工艺在一小块单晶硅片上制成含有许多元器件(晶体管、电阻器、电容器等)的电子电路,然后再经封装而成的电路块,常称为集成电路块。

一般讲,在小规模集成电路中有 $10 \sim 100$ 个元器件,在中规模集成电路中有 $100 \sim 1000$ 个元器件,在大规模集成电路中有 $10^4 \sim 10^5$ 个元器件,而在超大规模集成电路中含有 $10^5$ 个以上元器件。

### 一、集成电路的种类

在电子工程技术上,通常按功能结构和用途对集成电路分类。

#### 1. 按功能结构分类

集成电路按其功能结构的不同可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。模拟集成电路是用来产生、放大和处理各种模拟信号(指幅度随时间而连续变化的信号)。数字集成电路是用来产生、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)。

#### 2. 按用途分类

集成电路按用途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、电脑(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、其他专用集成电路。

上述每类集成电路又可分为多种不同功能和用途的集成电路。例如,音响用集成电路包括 AM/FM 中高频集成电路、立体声解码集成电路、音频前置放大集成电路、音频运算放大集成电路、音频功率放大集成电路、环绕声处理集成电路、电平驱动集成电路、电子音量控制集成电路、延时混响集成电路、电子开关集成电路等。

## 二、集成电路的外形和引脚排列

集成电路的外形是多种多样的,如常见的有双列直插式、单列直插式、扁平式、圆形外壳式、三端式、黑膏软封装式等。根据材料不同可分为金属外壳封装、塑料及陶瓷外壳封装,并按用途不同有多种不同数量的引脚。一些常见集成电路的外形如图 1-106 所示。

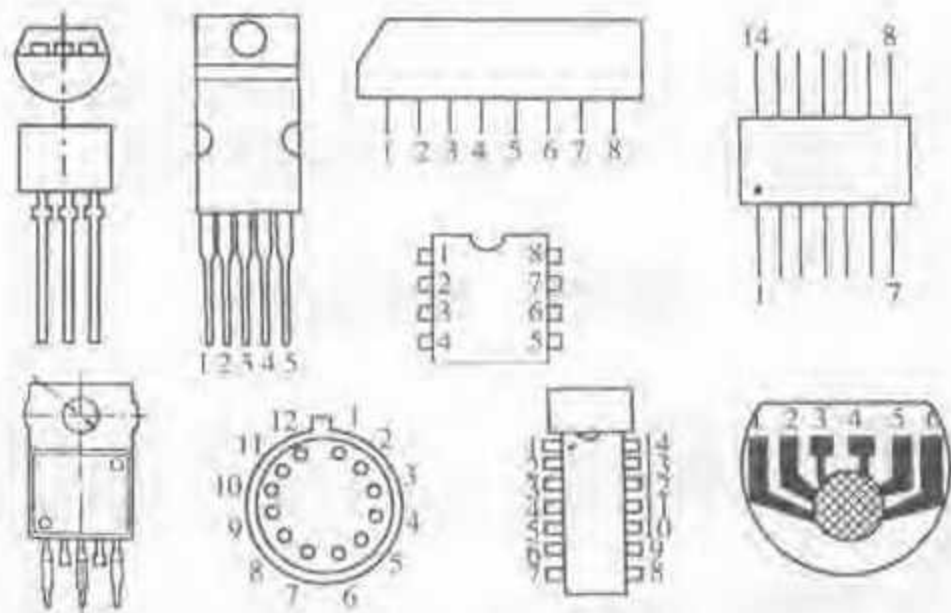
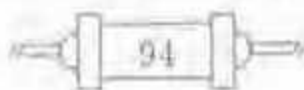


图 1-106 一些常见集成电路的外形

无论是模拟集成电路块还是数字集成电路块,其引脚排列都有一定的规律。例如,金属圆形外壳封装集成电路块引脚排列的规律是:以管键为识别标记,面对管底从管键开始按顺时针方向的引脚顺序为 1 脚、2 脚、3 脚……又如,单列直插式集成电路块则以倒角或标记色点面向自己且引脚朝下时,从左至右的引脚为 1 脚、2 脚、3 脚……双列直插式集成电路块引脚排列规律是:面对印字面(顶面)且凹槽朝上时,第 1 引脚是在左上方(对应标记点),按逆时针方向的引脚顺序为 1 脚、2 脚、3 脚……扁平双列式封装集成电路块引脚排列的规律是:面对集成块的印字面,引脚排列从标记色点开始按逆时针方向的引脚顺序为 1 脚、2 脚、3 脚……

除此以外,单列或双列直插式集成电路块每个引脚的宽度和厚度,相邻引脚





之间的距离、两列引脚之间的距离都有统一的规定,其标称尺寸不随引脚多少而改变。2种直插式集成电路的外形结构如图 1-107 所示。

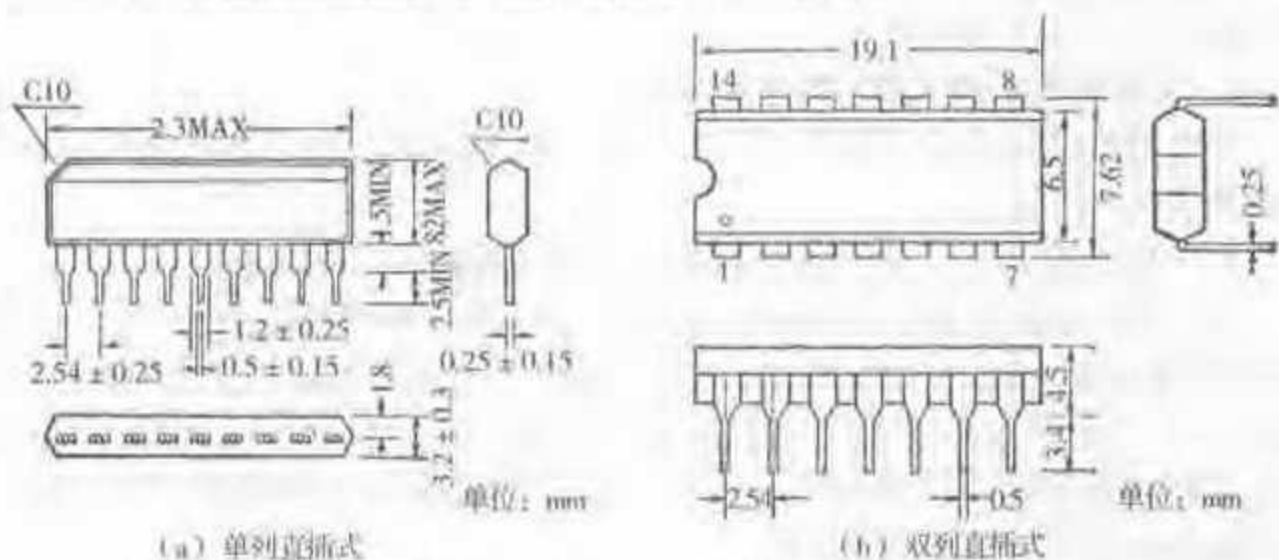


图 1-107 直插式集成电路的外形结构

### 三、集成电路的主要参数

集成电路的主要参数有电源电压、输入电压、耗散功率、工作环境温度、储存温度和焊接温度等。对于某一种具体型号的集成电路,还应再分别规定其静态参数和动态参数及推荐工作条件等。

#### 1. 电源电压

电源电压是指集成电路正常工作时所需的工作电压。在手册中可以查阅到该集成电路电源电压极限值和推荐值。使用集成电路时,工作电压不应超过其极限值,应在推荐值范围之内为宜。

#### 2. 输入电压

输入电压是指集成电路正常工作时所需的输入电压范围。使用集成电路时,输入电压应在其推荐值范围之内,不应超过其输入电压的极限值。

#### 3. 耗散功率

耗散功率是指集成电路在标称的电源电压及允许的工作环境温度范围内,正常工作时所允许的最大消耗功率。

#### 4. 工作环境温度

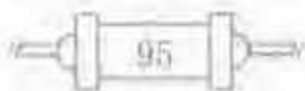
工作环境温度是指集成电路能正常工作的环境温度范围或极限值。

#### 5. 储存温度

储存温度是指安全保存集成电路所允许的温度范围。一般储存温度许可范围比工作环境温度许可范围稍宽一些。

#### 6. 焊接温度

焊接温度是指集成电路在规定时间内允许焊接的最高温度。例如,CMOS CC4000 系列集成电路的焊接温度为  $265^{\circ}\text{C}$ ,焊接时间为  $10\text{s}$ 。





#### 四、集成电路型号命名方法

集成电路的种类很多,国内外型号命名方法也有多种,当标记识别有疑问时可查阅手册或产品说明书。

##### 1. 国家标准集成电路型号命名方法

国家标准简称国标。国标(GB3430—89)集成电路型号命名由五部分组成,各部分的含义如下:

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。如B表示非线性电路;C表示CMOS电路;D表示音响、电视电路;E表示ECL电路;F表示线性放大器;H表示HTL电路;J表示接口电路;M表示存储器;W表示稳压器;T表示TTL电路; $\mu$ 表示微型机电路;AD表示A/D转换器;DA表示D/A转换器;SC表示通信专用电路;SS表示敏感电路;SW表示钟表电路。

第三部分用数字或数字与字母混合表示集成电路系列和品种代号。

第四部分用字母表示电路的工作温度范围。如C表示 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ ;G表示 $-25\sim 70^{\circ}\text{C}$ ;L表示 $-25\sim 85^{\circ}\text{C}$ ;E表示 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ ;R表示 $-55\sim 85^{\circ}\text{C}$ ;M表示 $-55\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

第五部分用字母表示集成电路的封装形式。如B表示塑料扁平封装;C表示陶瓷芯片载体封装;D表示多层陶瓷双列直插封装;E表示塑料芯片载体封装;F表示多层陶瓷扁平封装;G表示网络阵列封装;H表示黑瓷扁平封装;J表示黑瓷双列直插封装;K表示金属菱形封装;P表示塑料双列直插封装;S表示塑料单列直插封装;T表示金属圆形封装。

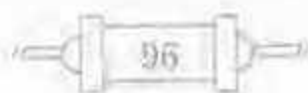
##### 2. 日本东芝集成电路型号命名方法

日本东芝(TOSHIBA)集成电路型号命名由三部分组成,各部分的含义如下:

第一部分用字母表示电路类型。如TA表示双极线性集成电路;TC表示CMOS集成电路;TD表示双极数字集成电路;TH表示混合型集成电路;TM表示MOS集成电路。

第二部分用数字表示电路型号系列。如 $1\times\times\times$ 表示CMOS 4000系列; $7\times\times\times$ 表示视听系列。

第三部分用字母表示电路封装形式。如A表示改进型封装;C表示陶瓷封装;M表示金属封装;P表示塑料封装;P.L.B表示塑料单列直插弯折式封装;D,F表示扁平封装。





## 第十一节 其他电子元器件

### 一、声表面波滤波器

声表面波滤波器(SAWF)是一种换能式无源带通滤波器。它的基本构造如图 1-108 所示,在一块具有压电效应的固体材料(陶瓷、铌酸锂、石英等)基片上,采用蒸发镀膜和光刻工艺在其两端各制成一对梳子状电极,分别作为输入换能器和输出换能器而构成。

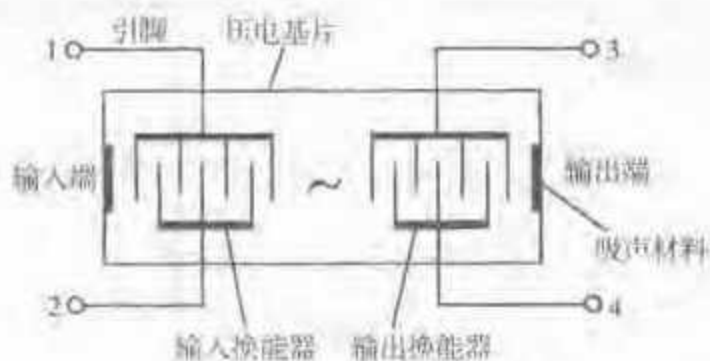


图 1-108 声表面波滤波器基本构造示意图

当输入换能器两端(1脚、2脚)加上交流电信号后,因压电效应在基片表面将产生与电信号同频率的机械振动波,此振动波沿基片表面以声速传播至输出换能器,又因逆压电效应输出换能器随即将机械振动波转换为交流电信号从输出端(3脚、4脚)输出。它的一个重要特性是:通过这个转换过程,器件能按设计要求选取输入信号中 useful 频率信号,衰减和滤去无用频率信号,从而成为一个性能良好的无源带通滤波器。

声表面波滤波器有很多种型号,其图像、色度、伴音等衰减各不相同,但标称中心频率一般只分为 37MHz 和 38MHz 2 种。在彩色电视机上常用的有 LBN38T1~LBN38T6、LBN37-1、LBN37-4A、LBN37-1B 型等 100 种以上可供选配。声表面波滤波器的外形和电路符号如图 1-109 所示。

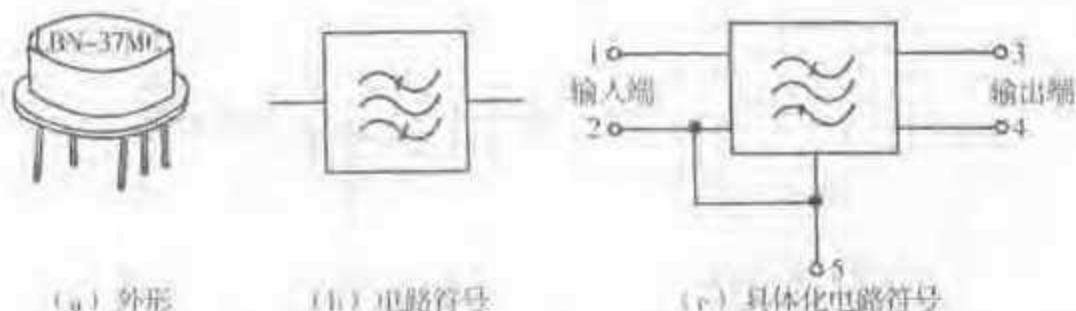
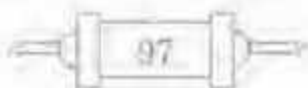


图 1-109 声表面波滤波器的外形和电路符号





用万用表  $R \times 10k$  挡可以检测声表面波滤波器输入、输出 4 个引脚之间是否存在漏电,但不能判断声表面波滤波器内部是否存在其他故障。对声表面波滤波器的进一步检测,需要用扫频仪才行。

## 二、延迟线

延迟线是一种能在电路中将电信号延迟或储存一定时间的器件。按其工作原理可分为电感电容参数型和超声换能型等。如彩色电视机中使用的亮度延迟线属于电感电容参数型,色度延迟线属于超声换能型,它们是 2 种不同工作原理的延迟线。

### 1. 电感电容参数型延迟线

电感电容参数型延迟线一般又分为集中参数型和分布参数型 2 种,其等效电路如图 1-110 所示,其中图 1-110(a)所示为 T 型结构的等效电路,图 1-110(b)所示为  $\pi$  型结构的等效电路。

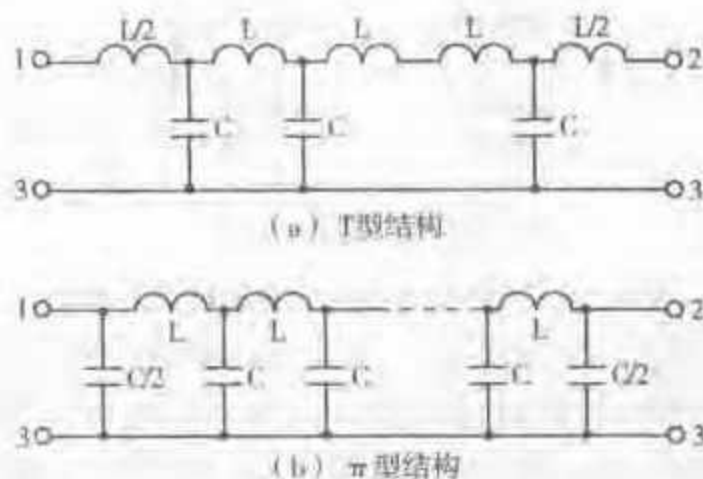


图 1-110 电感电容参数型延迟线的等效电路

在彩色电视机的亮度通道中接入的亮度延迟线属电感电容参数型延迟线,用作延时补偿,其目的是为了使亮度信号与色度信号同时到达显像管,避免彩色镶边图像的出现。目前,常用的亮度延迟线有多种规格,按延迟时间分别为  $0.33\mu s$ 、 $0.4\mu s$ 、 $0.5\mu s$ 、 $0.6\mu s$ 、 $0.78\mu s$  等,其特性阻抗分别为  $1.0k\Omega$ 、 $1.2k\Omega$ 、 $1.5k\Omega$ 、 $1.6k\Omega$ 、 $1.8k\Omega$  等。例如, YBL55A18、YBL60C16X 的延迟时间分别为  $0.55\mu s$ 、 $0.6\mu s$ ,特性阻抗分别为  $1.5k\Omega$ 、 $1.6k\Omega$ 。亮度延迟线的外形和电路符号如图 1-111 所示。

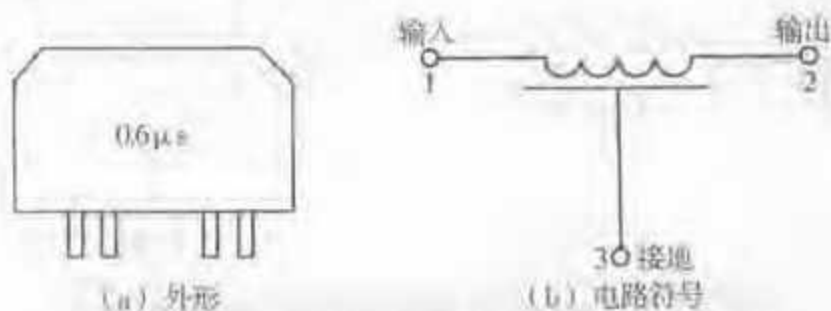
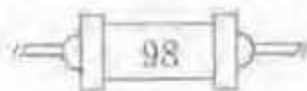


图 1-111 亮度延迟线的外形和电路符号





## 2. 超声换能型延迟线

超声换能型延迟线是利用压电陶瓷换能器和玻璃延迟介质,以超声波束的多次反射来达到特定的延时效果。如在彩色电视机中所用的色度延迟线就属于超声换能型延迟线。色度延迟线的内部结构和电路符号如图 1-112 所示。

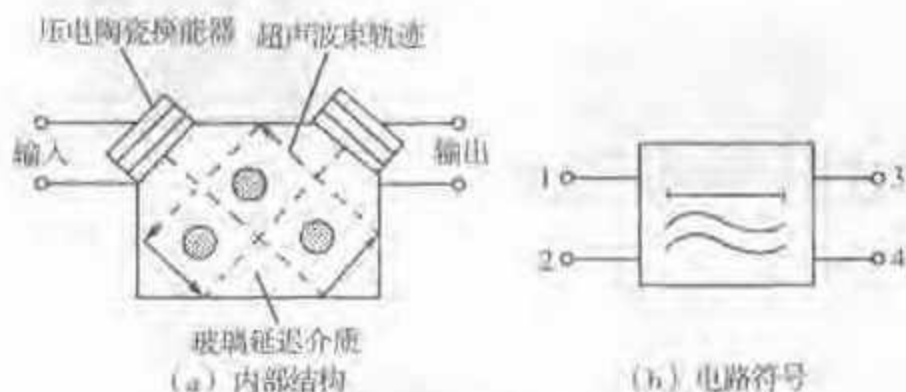


图 1-112 色度延迟线的内部结构和电路符号

色度延迟线能将中心频率为 4.433 618 17MHz、带宽为 2MHz 左右的电信号延迟 63.943 $\mu$ s。例如, YTS-8A 型色度延迟线的延迟时间为 63.943 $\pm$ 0.005 $\mu$ s, 频带宽度(-3dB)为 3.43~5.23MHz, 匹配电阻为 390 $\Omega$ , 插入损耗为 9 $\pm$ 3dB, 输入电感为 5.6 $\mu$ H, 输出电感为 8.5 $\mu$ H。

色度延迟线的任 2 个引脚之间电阻均为无穷大( $\infty$ )。如果用万用表 R $\times$ 10k 挡测量其引脚电阻不是 $\infty$ 而为 0, 说明该 2 个引脚之间有漏电或有短路故障, 但不能判断器件内部引脚是否有断路故障。当需要检测色度延迟线内部是否有断路故障时, 一般可应用高频信号发生器作为色度延迟线的输入信号源, 用通用示波器观测色度延迟线的输出信号。将信号源工作频率调到延迟线的中心频率 4.43MHz 时, 正常情况下在示波器上能看到器件输出的同频率信号。

## 三、光电开关

光电开关的种类很多。图 1-113 所示是供近距离使用的槽式透射型光电开关和反射型光电开关的基本结构。

光电开关的输入级一般是由一只砷化镓(GaAs)红外发光二极管构成, 而输出级则有不同的结构, 分为光电三极管输出型、达林顿(复合管)输出型和集成电路输出型。一般讲, 光电三极管输出型输出电流较小, 约 0.5~5mA, 达林顿输出型的输出电流可达 20~30mA, 能直接驱动继电器; 集成电路输出型的输出波形较好, 输出电流较大。

国产 GK-310~GK-410 系列光电开关的主要特性如下:

(1) 输入特性。最大正向电流为 50mA, 正向压降 $<$ 1.5V, 反向耐压 $>$ 5V, 反向漏电流 $\leq$ 50 $\mu$ A。



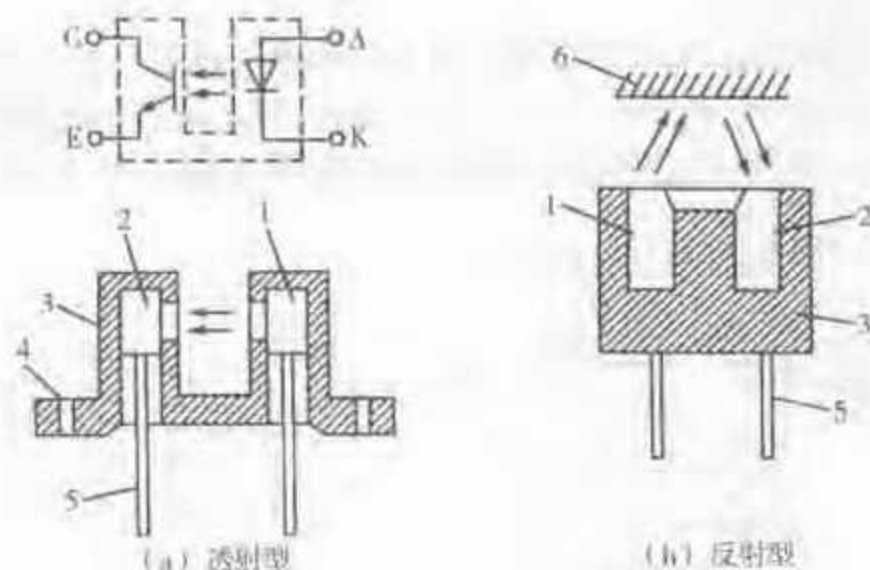


图 1-113 光电开关的基本结构

1-红外发光二极管;2-光电三极管;3-黑色塑料外壳;  
4-安装孔;5-引脚(C、E、A、K);6-反射体

#### (2) 输出特性。

①透射型 GK-310A、GK-310B、GK-310C、GK-320A、GK-320B、GK-320C 的光电流为  $0.5 \sim 3\text{mA}$ ，响应时间  $< 4\mu\text{s}$ 。

②反射型 GK-410A、GK-410B、GK-430A、GK-430B 的光电流为  $50 \sim 100\mu\text{A}$ ，响应时间  $< 10\mu\text{s}$ 。

透射型和反射型的暗电流均不大于  $0.1\mu\text{A}$ ，反向耐压均大于  $20\text{V}$ 。

可用万用表  $R \times 1\text{k}$  挡检测光电开关中红外发光二极管的单向导电性，即当正向电阻比反向电阻小很多时说明是正常的（注意不允许用  $R \times 10\text{k}$  挡测量，因为此挡内置电池电压  $\geq 15\text{V}$ ，超过红外发光二极管的反向耐压的典型值  $5 \sim 6\text{V}$ ）。可用万用表  $R \times 10\text{k}$  挡估测光电开关的灵敏度，此时应将红表笔接光敏三极管的发射极(E)，黑表笔接集电极(C)，输入级与  $3\text{V}$  电池及  $510\Omega$  电阻正向串联后驱动，然后用黑纸片往复进出光电开关的凹槽时，则可看到万用表指针将随之往复摆动，摆动幅度较大，相对说光电开关的灵敏度也较高。

### 四、光电耦合器

光电耦合器在强/弱电接口和微机系统的输入、输出电路中广泛应用。它是利用电/光/电耦合原理来传递信号的。由于输入和输出电路在电学上相互隔离，因此它能有效地抑制系统噪声，消除接地回路的干扰，且响应速度较快。

通用光电耦合器也有多种类型，其发光器件一般为红外发光二极管，可分为单管、双管、串联、对接等不同方式。受光器件一般为硅光敏三极管或光敏双向晶闸管或复合光敏三极管等。

图 1-114 所示为通用单光电耦合器同轴型封装和双列直插式封装的外形。

部分通用单光电耦合器主要参数见表 1-52，双向晶闸管输出的单光电耦合器





主要参数见表 1-53, 它们的外形均为 6 脚双列直插式封装。

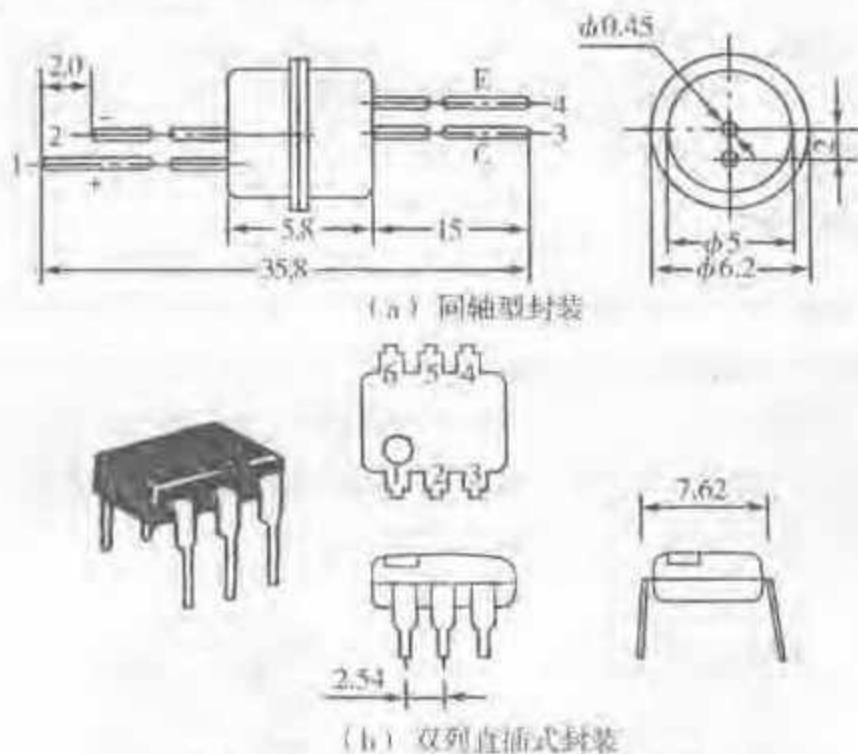


图 1-114 通用单光电耦合器的外形

表 1-52 部分通用单光电耦合器主要参数

型号	结构	参数	正向压降 (V)	反向击穿电压 (V)	饱和压降 (V)	电流传输比 (%)	输入、输出绝缘电压 (V)	上升、下降时间 ( $\mu\text{s}$ )
T1L114	晶体管输出		1.4	30	0.4	8.0	2 500	5.0
T1L124			1.4	30	0.4	10	5 000	2.0
T1L116			1.5	30	0.4	20	2 500	5.0
4N27			1.5	30	0.5	10	1 500	2.0
T1L118	无基极引脚 晶体管输出		1.5	20	0.5	10	1 500	2.0
T1L113	复合管输出		1.5	30	1.0	300	1 500	300
4N33			1.5	30	1.0	500	1 500	2.0
T1L119	无基极引脚 复合管输出		1.5	30	1.0	300	1 500	300
T1L128			1.5	30	1.0	300	5 000	300
H11AA1	交流输入、晶 体管输出		1.5	30	0.4	20	2 500	—
H11AA2			1.5	30	0.4	10	2 500	—



表 1-53 双向晶闸管输出的单光电耦合器主要参数

型号	参数 结构	LED 触发电流 (mA)	LED 正向压降 (V)	晶闸管 通态电流 (A)	晶闸管 功率 (W)	断态 输出端电压 (V)	输出、输入 绝缘电压 (V)
MOC633A	双向晶闸管输出	30	1.2	100	0.3	400	7 500
MOC634A		15	1.2	100	0.3	400	7 500

根据光电耦合器的内部电路结构(图 1-115),可用万用表的  $R \times 1k$  挡检测输入级红外发光二极管的好坏;用  $R \times 100$  挡检测接收级光电三极管的好坏,红表笔接发射极(E)、黑表笔接集电极(C),暗阻与亮阻的比值越大说明其放大能力越强,当然这是指红外发光二极管工作正常的条件下而言。

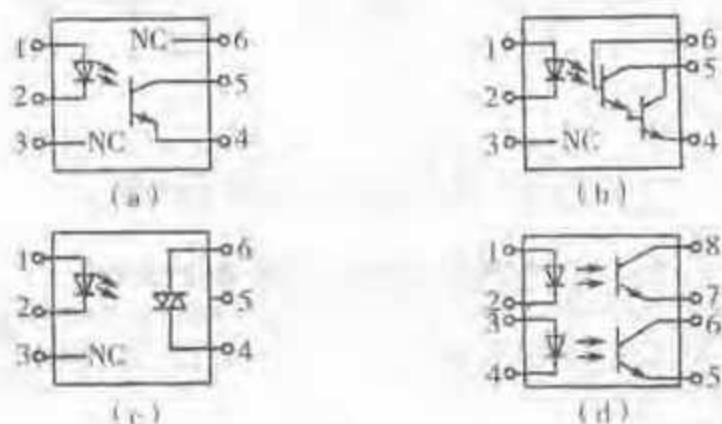


图 1-115 几种光电耦合器的内部电路结构

a-硅光敏三极管输出(无基极引脚);b-达林顿型(有基极引脚);  
c-光敏双向晶闸管型;d-双光电耦合型



## 第二章 电子线路识图基本知识

### 第一节 电子线路图的种类

#### 一、电子线路原理图

##### 1. 原理图的重要特征

电子线路原理图的重要特征是：用标准化的图形符号画出各个电子元器件在电路中的连接方式，并适当标注元器件代号及主要参数。

图 2-1 所示为简易定时提醒器电路原理图，图 2-2 所示为多量程电阻测量电路原理图（数字万用表中常用）。这 2 个电子线路图虽然是明显不一样的，但它们的共同特征是：对电路中所用的各种电子元器件（电阻器、电位器、热敏电阻器、电容器、半导体二极管、晶体三极管、单结晶体管、晶闸管、集成电路块、液晶显示器、蜂鸣器）以及接插件（单刀开关、波段开关）等都用标准化的图形符号来表示，并在旁标注文字符号和主要参数。

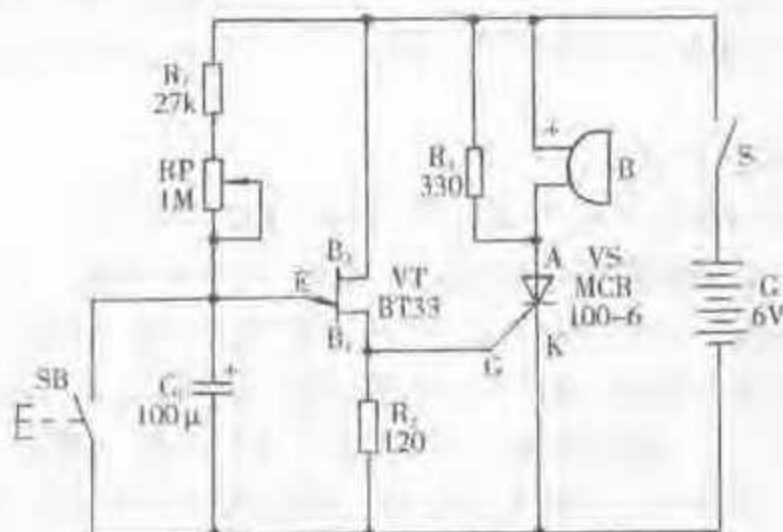


图 2-1 简易定时提醒器电路原理图

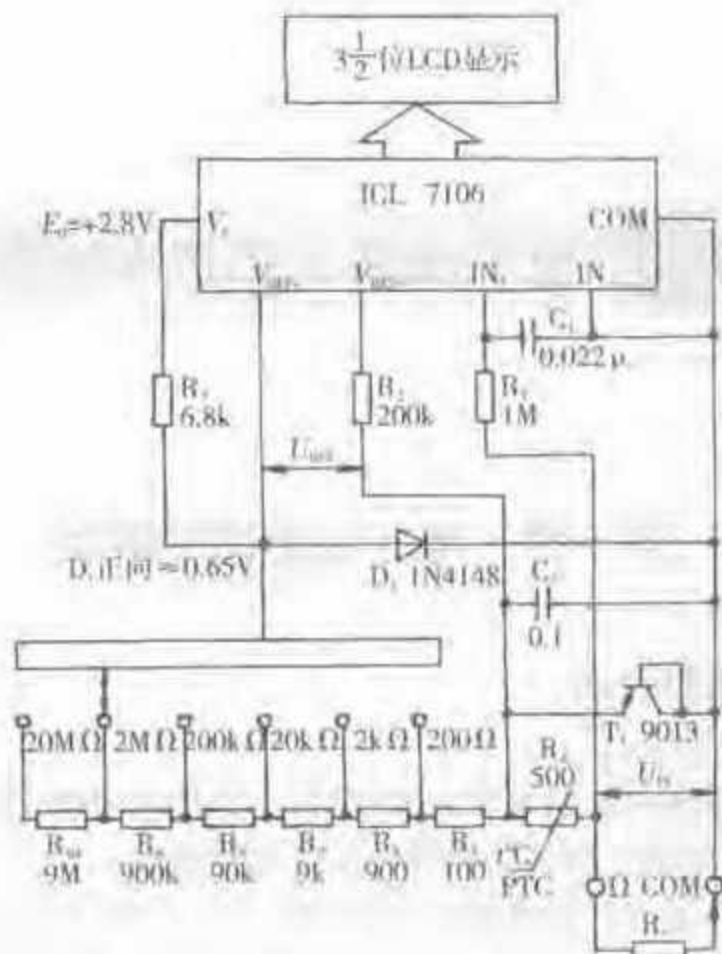


图 2-2 多量程电阻测量电路原理图

图 2-1 所示标注的“VT BT33”表示该单晶体管 VT 为 BT33 型,标注的“VS MCR100-6”表示该单向晶闸管 VS 为 MCR100-6 型。图 2-2 所示标注的“D<sub>1</sub> 1N4148”表示该半导体二极管 D<sub>1</sub> 为 1N4148 型,标注的“R<sub>11</sub> 500Ω/PTC”表示 R<sub>11</sub> 不是普通的电阻器,而是属于正温度系数(PTC)的热敏电阻器,其标称阻值(25℃)为 500Ω。在集成电路块的图形符号上标注“ICL 7106”,则表示该集成电路块的型号为 ICL 7106。

## 2. 原理图的表示方法

电子元器件在线路图中既可采用分开表示,也可采用集中表示或混合表示。图 2-3 所示为单元电路的集中表示和分开表示,实际上是同一个电路的 2 种不同表示方式,集成电路 IC 为 CC4011 型(CMOS 类四—二输入与非门)。该集成块共有 4 个完全相同的单元电路,每个单元都是二输入端的与非门电路。如第一个与非门的输入端为 A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>,输出端为 Y<sub>1</sub>;第四个与非门的输入端为 A<sub>4</sub>、B<sub>4</sub>,输出端为 Y<sub>4</sub>。V<sub>DD</sub> 为接电源正端,V<sub>SS</sub> 为接电源负端。根据实际应用需要,通过外部电路可以将它接成多种其他组合的门电路或双稳态电路、单稳态电路、脉冲发生器电路等。

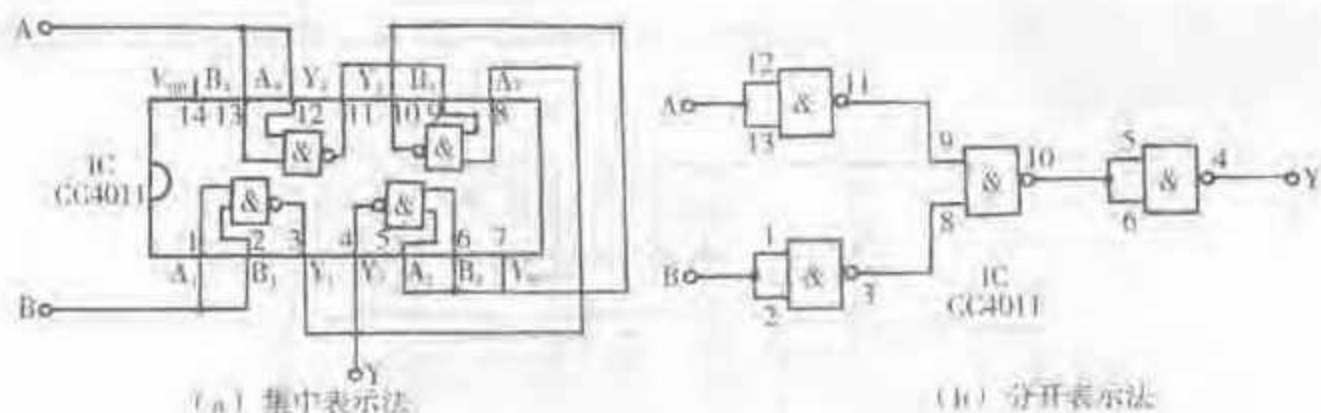


图 2-3 单元电路的集中表示法和分开表示法

又如采用一块 CD4069 型集成电路(六反相器)构成小型闪烁彩灯电路是用分开表示法,如图 2-4 所示。同一个电路,也可采用集中表示法,如图 2-5 所示。由图可见,反相器  $G_1$ 、 $G_2$  与电阻器  $R_1$ 、电容器  $C_1$  组成低频振荡器,其余 4 个反相器  $G_3 \sim G_6$  都是作为整形并驱动发光二极管闪烁发光用的。

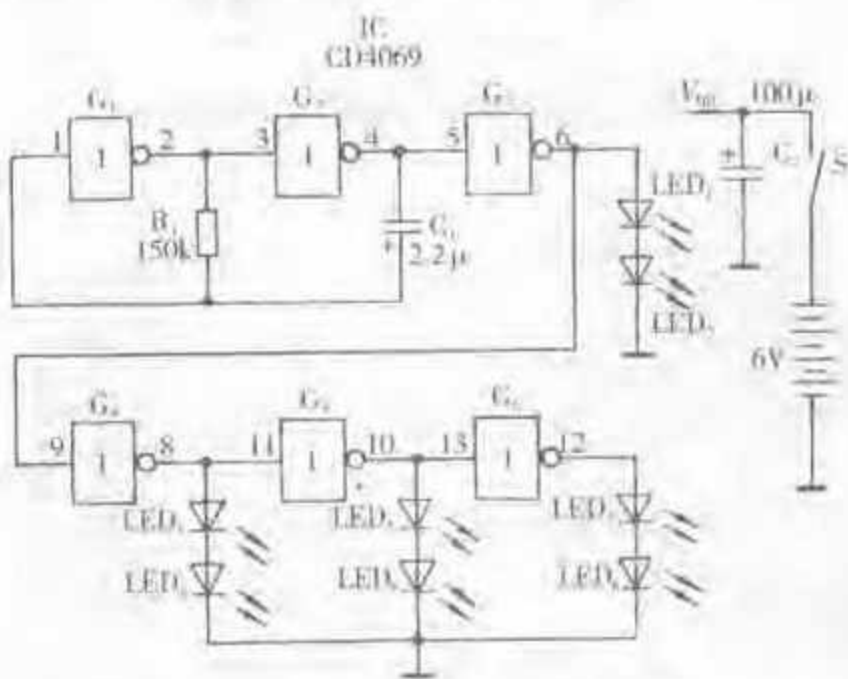


图 2-4 小型闪烁彩灯电路(分开表示法)

一般说,分开表示法使电路工作原理更容易看得清楚,集中表示法在电路制作时读图较方便。在实际应用中,还是普遍采用更为灵活实用的混合表示法。例如,图 2-6 所示的电子转盘电路,只要接通电源,10 只发光二极管  $LED_1 \sim LED_{10}$  就会按一定节奏依次轮流发光。其中集成六反相器 MC14069 用分开表示法画出其应用电路: $G_1$ 、 $G_2$  构成低频多谐振荡器, $G_3$  用于整形, $G_4$ 、 $G_5$  作为末级三极管 3DG6 的脉冲放大输入电路,以驱动讯响器 B 发声。对集成十进计数器/脉冲分配器 MC14017 则采用集中表示法画出其应用电路,但引脚排列作了适当变动,对于不用的引脚省略不画,使电路显得更加清楚。(注:10 只发光二极管可以排列成一个圆圈,电路工作时如果按下按键 SB,即立即停止轮流发光,最终是哪一个发光二极



管亮着,则完全是随机的,故该电路也可供游戏用;调节电位器 RP 可以改变低频振荡器的振荡频率。)

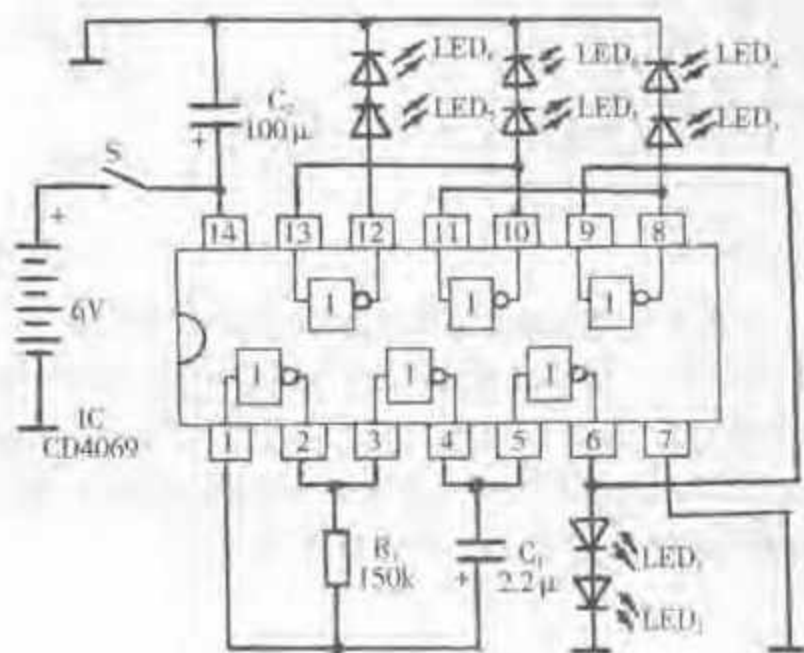


图 2-5 小型闪烁彩灯电路(集中表示法)

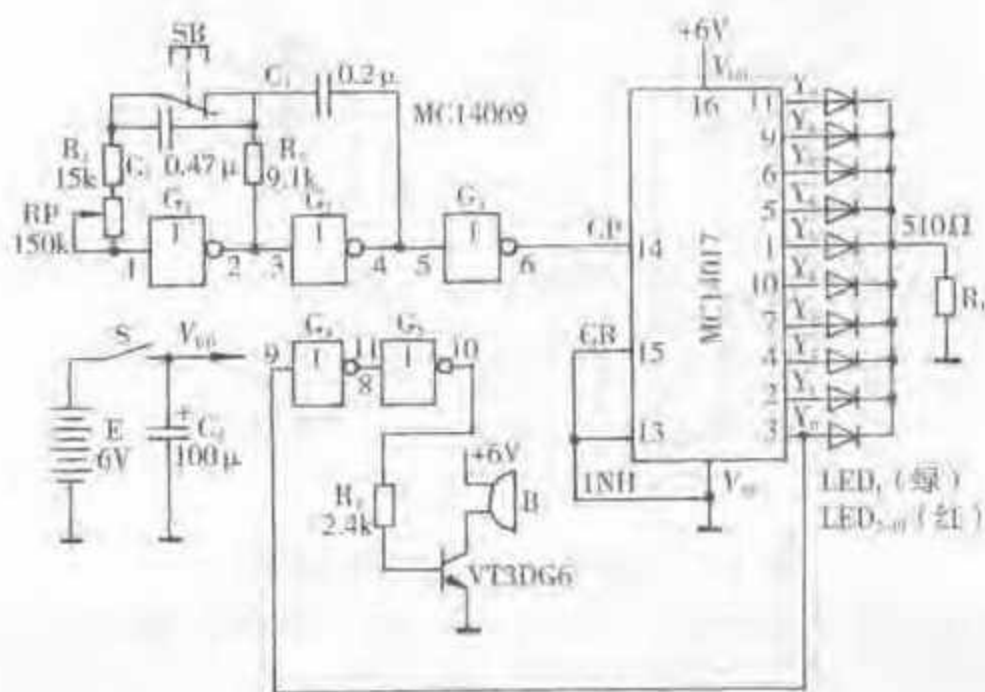


图 2-6 电子转盘电路(混合表示法)

## 二、电子线路框图

电子线路框图是采用带符号或文字注释的一些框来表示电子线路原理的一种概略图,它能表示出各部分电路的功能关系,而不是具体的关系。常见框图主要由正方形、矩形、标准化符号及文字组成,也称方框图。框图中带箭头的单线表示信号的走向,因此框图也起信号流程图的作用。

例如,调频立体声收音机电原理框图如图 2-7 所示。它主要由八部分组成,各



部分电路的功能及关系为:由天线接收到的调频(FM)信号输至高频放大电路(简称高放),放大后的高频信号送到混频电路与本机振荡(简称本振)进行混频,混频后输出中频信号送到中频放大器(简称中放),经中频放大后的调频信号再经过鉴频器后送到立体声解码器,通过解码得到左、右2路音频信号,它们分别经过低频功率放大后各自去驱动左(L)、右(R)2个扬声器发声,从而获得调频立体声收音播放效果。

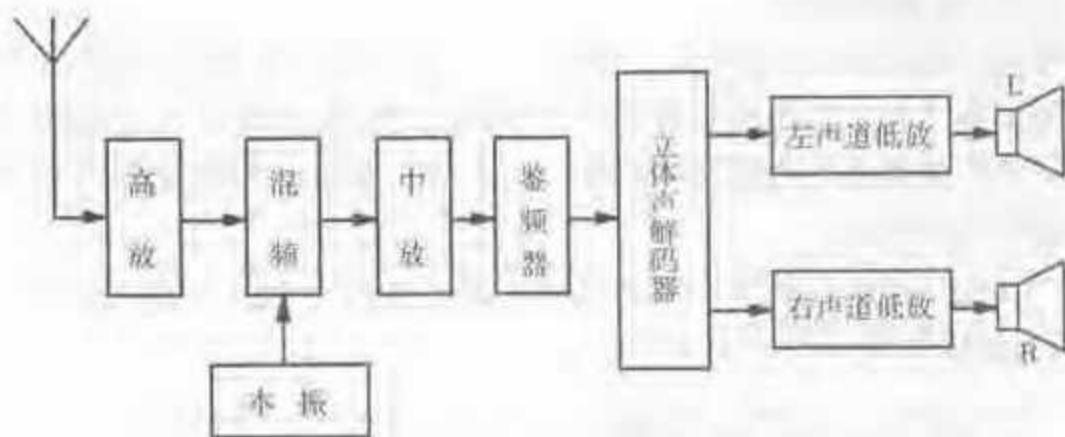


图 2-7 调频立体声收音机电原理框图

电路框图也常被用来表示集成块内部电路基本原理。例如,调幅单片收音机 TA7641BP 原理框图如图 2-8 所示。

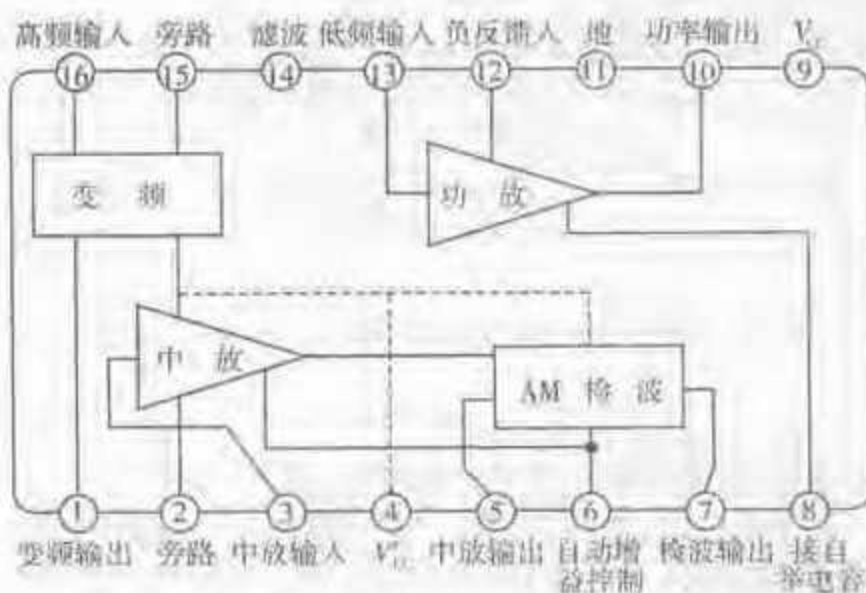


图 2-8 调幅单片收音机 TA7641BP 原理框图

该集成电路块包括变频、中放、调幅(AM)检波和功放电路。从 16 脚输入调幅高频信号与本机振荡信号进行混频后,所产生的调幅中频信号从 1 脚输出,经外接中频变压器后由 3 脚输入到中放级放大,被放大的中频信号送 AM 检波器进行检波,检出的音频信号从 7 脚输出,经外接音量调节电位器等后由 13 脚输入功放级进行放大,放大后的音频信号从 10 脚输出,驱动扬声器放音。



实际上,该集成电路块内部还设置了自动增益控制(AGC)电路,以便控制中放级增益。为了使电路工作稳定,功放级电源与中放检波级电源分开设置(并外接 RC 去耦电路)。该集成电路块内部包含了 12 只半导体二极管、31 只晶体三极管和 24 只电阻器、1 只电容器,需详细了解可查阅有关产品手册。电路框图只给出各部分电路的功能关系,而不是具体的关系。一般说,使用集成电路块时不必去追究其内部具体电路,只要了解其功能和主要电参数就可以了。

### 三、印制电路板图

电子线路的印制电路板是用于连接各电子元器件的电路板(把电子元器件焊接在印制电路板上)。它由敷铜板经丝印或手工描图、腐蚀等工艺而制成。为了便于识别印制电路板图(简称印制电路),在印制电路板的背面用符号或数字标注出焊盘(焊接点)的位置。

图 2-9 所示的印制电路是供调频立体声解码集成电路 LA3301 典型应用设计的,该印制电路接线图如图 2-10 所示。

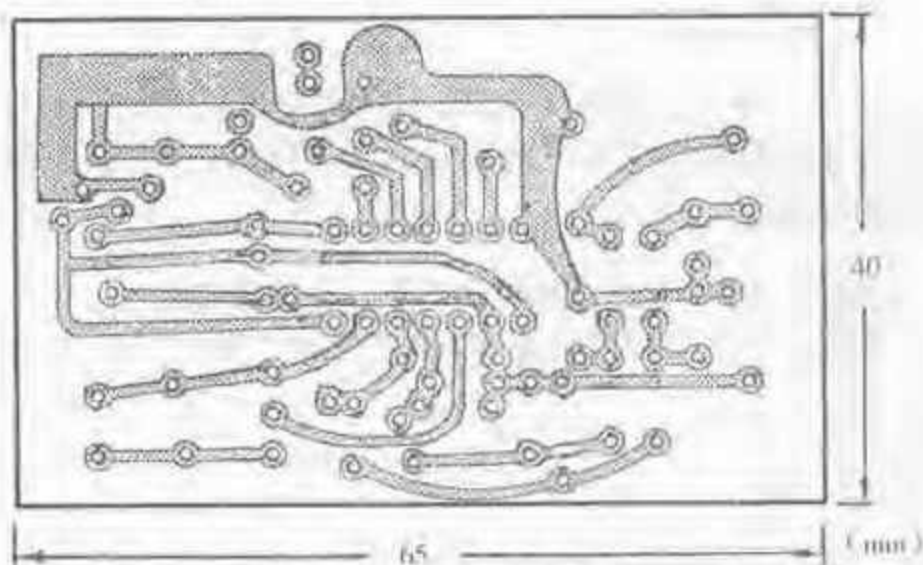


图 2-9 调频立体声解码集成电路 LA3301 印制电路

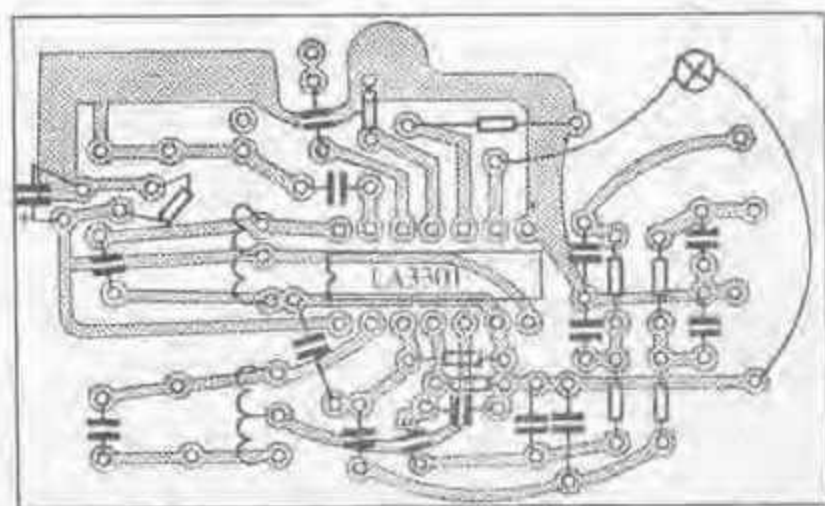
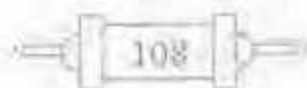


图 2-10 调频立体声解码集成电路 LA3301 印制电路接线图





一般说,设计比较合理的印制电路具有以下特点:

①走线尽可能短,交叉线尽可能少。

②印制导线避免急转弯和尖角,转弯与过渡部分以半径不小于 2mm 的圆弧连接。

③印制导线与印制电路板边缘留有 1~2mm 以上距离,便于安装和加工,以提高绝缘性能。

④印制电路上每一级的接地元器件均就近接地。公共地线一般布置在印制电路板的最边缘,便于装机连接。

⑤采用双面印制电路时,两面的印制线路尽可能避免相互平行,而采用垂直或斜交布置,以减小导线间的寄生耦合。

⑥高频元器件及走线尽可能布置在印制电路中间位置,以减小它们对地线和机壳的分布电容。直流和低频元器件及走线靠边缘布置。

⑦印制导线宽度一般不小于 0.5mm,地线和电源线应放宽至 1.5~2.5mm,周边地线甚至放宽至 5mm 以上。焊盘外径一般不小于 2mm。焊盘、印制导线之间距离应大于 0.5~1mm,对微弱信号或大电流的印制导线最好取 1.5~2mm 以上间隔。焊盘形状可以是圆形、椭圆形、矩形等。

另外,市售多种通用印制电路板,可供电子线路实验使用。尺寸较小的通用印制电路板如 100mm×50mm,尺寸较大的如 160mm×100mm。印制电路虽互不相同,但其共同的特点是整齐而重复。通用印制电路板的一部分(照片)如图 2-11 所示。

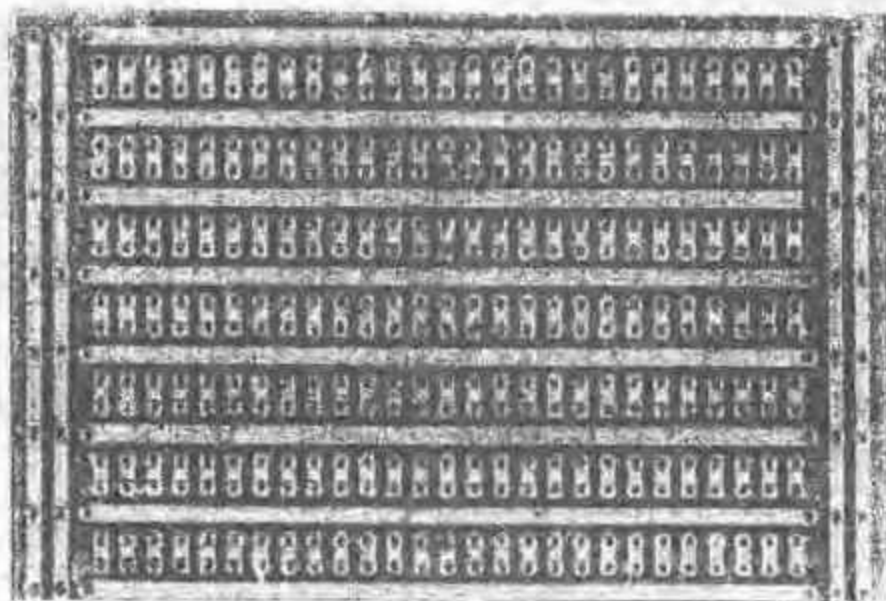


图 2-11 通用印制电路板的一部分(照片)

由图 2-11 所示可见,印制电路板上每横排短线焊盘中心间距均为 2.5mm,这正好与常用双列直插式封装的集成块引脚间距相等。此外,有的通用印制电路板每条短线长 8mm,5 个焊盘,也有全由中心间距为 2.5mm、互不连接的焊盘构成方阵。



## 四、元器件布置示意图和布线示意图

### 1. 元器件布置示意图

元器件布置示意图表示出电子元器件如何装在机壳内和印制电路上,在不致产生混淆的情况下,顶视图和侧视图可以同时使用,但通常都采用更为直观的透视图来表示。例如,图 2-12 所示为某台机子的电子元器件布置示意图。

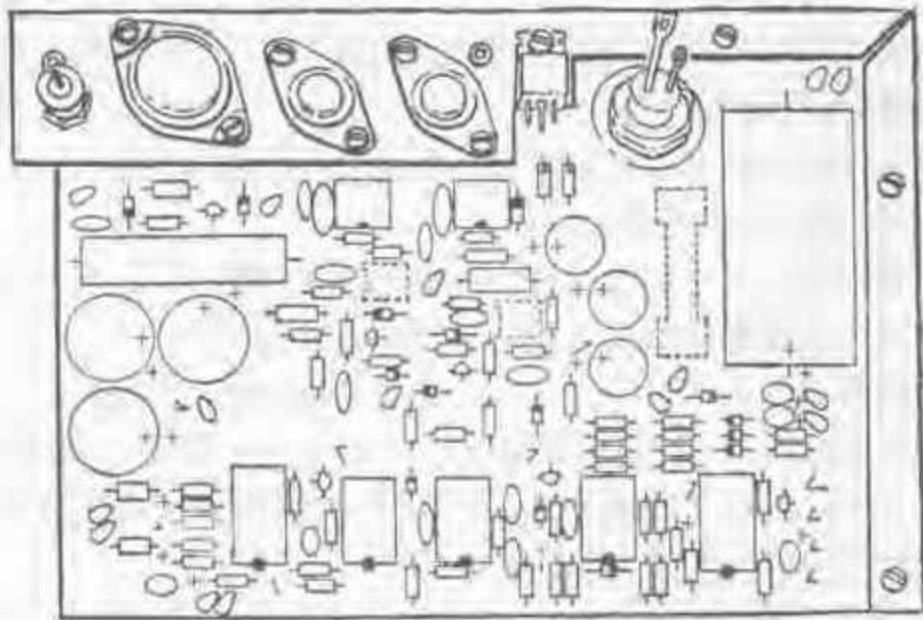


图 2-12 某台机子的电子元器件布置示意图

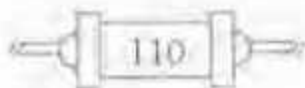
为了便于与电路原理图对照查阅,在元器件布置示意图上的各电子元器件及其引脚可以用数字、字母或文字标注在图纸上(图 2-12 所示此部分标注省略)。

### 2. 布线示意图

一台整机的电子元器件除由印制电路互相连接外,通常可能有若干块印制电路板组成,且有的电子元器件不宜直接安装在印制电路板上。因此,为了节约空间、美观以及容易区别,若干根导线如何布置并分组捆扎也需要精心设计。实际上,只有提供布线示意图之后才能进行装配。

布线示意图是一种详细的直观示意图,它包括导线的颜色、每根导线与什么元器件的引出端连接都表达得很清楚。部分布线示意图如图 2-13 所示。

这类图一般不采用技术上的简化符号,而直接用文字标注。但它们有一定的局限性,通常还需要用其他类型的示图加以补充。



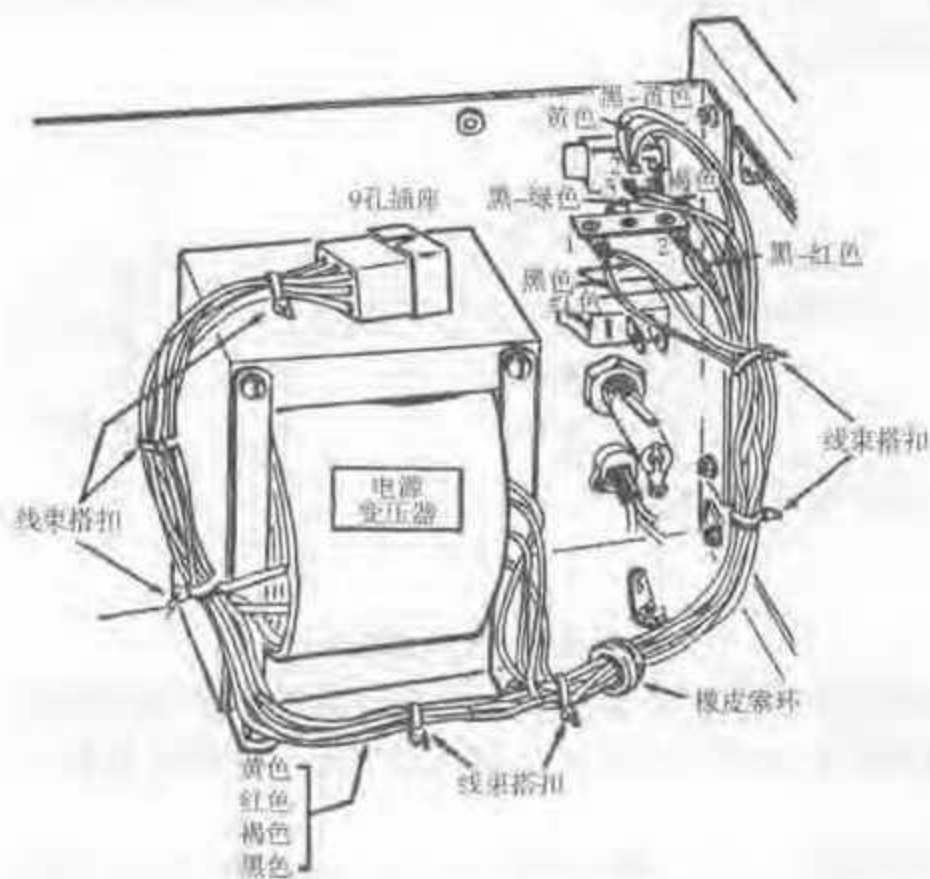


图 2-13 部分布线示意图

### 3. 线束图

当需要批量正规生产整机时,为保证质量、减少错误并提高生产效率,常采用“集中布线”方式,事先将导线捆扎成线束(线把、线扎)后布线。线束一般有硬线束和软线束 2 种,线束外观示例如图 2-14 所示。

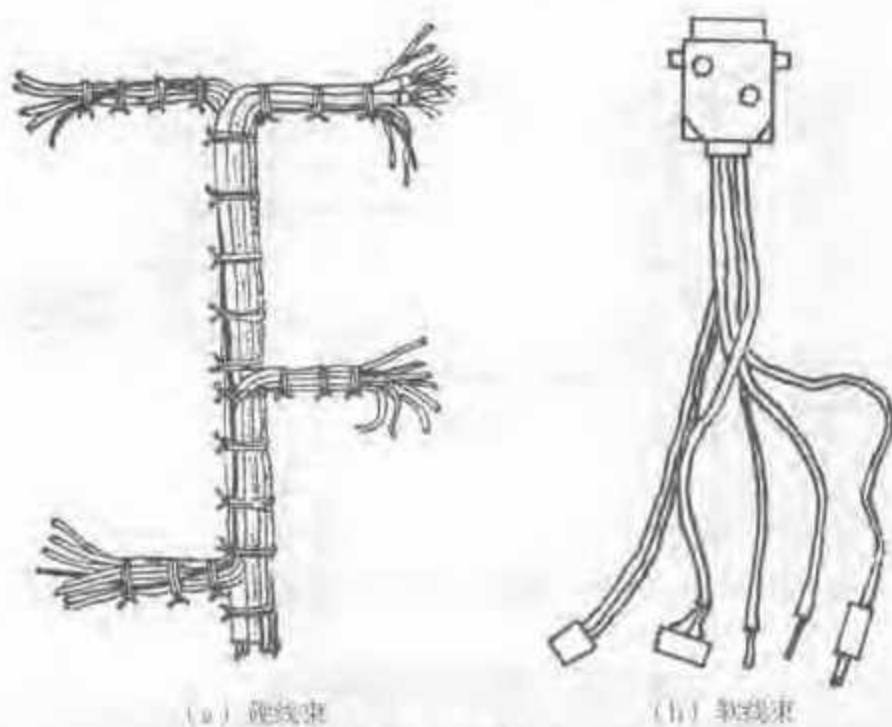


图 2-14 线束外观示例



线束图是用来表示将若干根一定规格的导线按图示要求捆扎成固定形状线束的示意图,如图 2-15 所示。

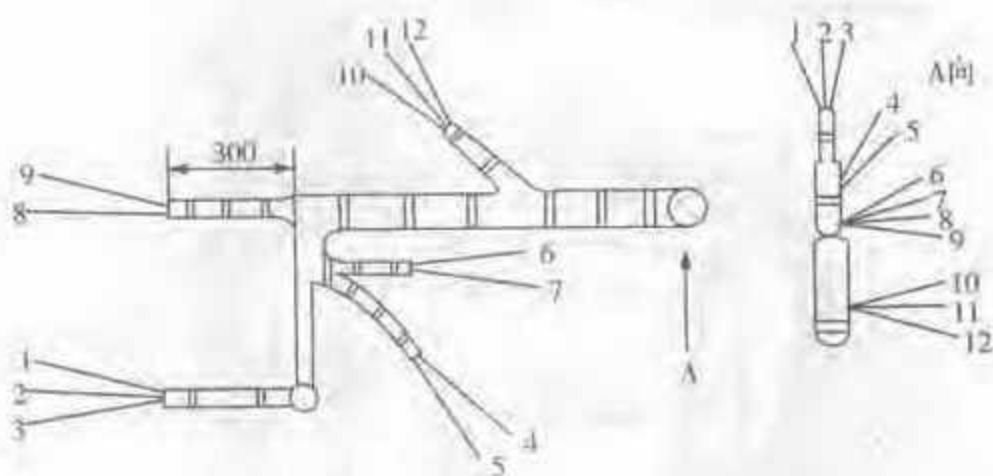


图 2-15 线束图示例

线束图一般还附有导线数据表,按图示编号说明每根导线的型号、规格、颜色和长度。若无特殊要求,则导线两端所留长度相等。线束的立体方位一般用视图加文字说明。

图 2-15 所示数字 1~12 为该线束所用的 12 根导线编号,编号为 1、2、3 这三根导线的一端在线束的左下方端引出,另一端则在线束的右上方端引出。

为了便于装配,线束的各导线端用数字号码或色码标记,标记字符应与线束图纸相符。

软线束一般由多股导线、屏蔽线、套管及接线端子组成,通常无需捆扎,按导线功能分组。一般用接线图和接线表即可说明线束的所有参数。图 2-16 所示为

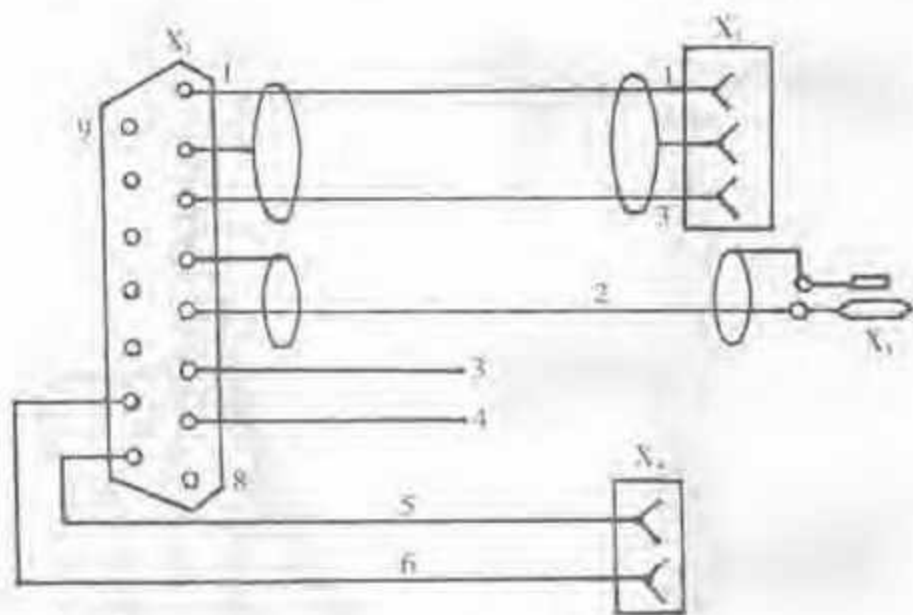


图 2-16 软线束接线图示例

$X_1$ —15 芯端子;  $X_2$ —1 芯插座(接 2 芯屏蔽线);  $X_3$ —2 芯插头(接单芯屏蔽线);  $X_4$ —2 芯插座





软线束接线图示例,  $X_1$  为起始端,  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  为终止端。由图可知,  $X_1$  为 15 芯端子,  $X_2$  为 3 芯插座(接 2 芯屏蔽线),  $X_3$  为 2 芯插头(接单芯屏蔽式),  $X_4$  为 2 芯插座(可接 2 芯扁平线)。

软线束接线图一般都附有接线表(除列出连接点号码外), 还列出所用线材的型号、规格、长度、颜色和名称等。

## 第二节 分立元件在电路中的作用

### 一、电阻器的主要作用

电阻器在电路中的主要作用是限流、分压和分流, 如图 2-17 所示。



图 2-17 电阻器的主要作用

#### 1. 电阻器的限流作用

当电阻器串联到电路中时, 根据欧姆定律可知, 无论对于交流或直流都起限流作用, 阻值越大, 限流作用越明显。当然, 应根据电路的具体要求, 选定适当大小的阻值, 以便起到一定程度的限流作用。

#### 2. 串联电阻器的分压作用

当 2 只或 2 只以上电阻器串联后再与电源或信号源并联时, 其中任一只电阻器两端的电压都必将低于电源或信号源的电压, 故可起分压作用。如图 2-17(b) 所示的分压电路, 电阻器两端电压  $U_1$ 、 $U_2$  必低于电源电压  $U$ , 它们之间的关系为:  $U_1 = UR_1 / (R_1 + R_2)$ ,  $U_2 = UR_2 / (R_1 + R_2)$ , 所以  $U_1 / U_2 = R_1 / R_2$ 。

#### 3. 并联电阻器的分流作用

在电路中, 当一电阻器与另一电阻器或等效电阻(如电流表)并联时, 流过另



—电阻器或等效电阻的电流将低于电路总电流,故起到分流作用(在仪表电路中称此电阻器为分流电阻或分流器)。分流电阻阻值越小,分流作用越强。

在图 2-17(c)所示的分流电路中,假设电流表 P 的内阻为  $R_0$ ,流过的电流为  $I_0$ ,并设流过电阻  $R_1$  的电流为  $I_1$ ,则它们之间的关系为:

$$I_1 = I_0 \frac{R_0 + R_2}{R_2} = m_1 I_0$$

$m_1$ 称为分流系数,它表示电流  $I_1$ 是电流  $I_0$ 的  $m_1$ 倍。

## 二、电容器的主要作用

电容器的主要作用是储能、滤波和隔直,如图 2-18 所示。

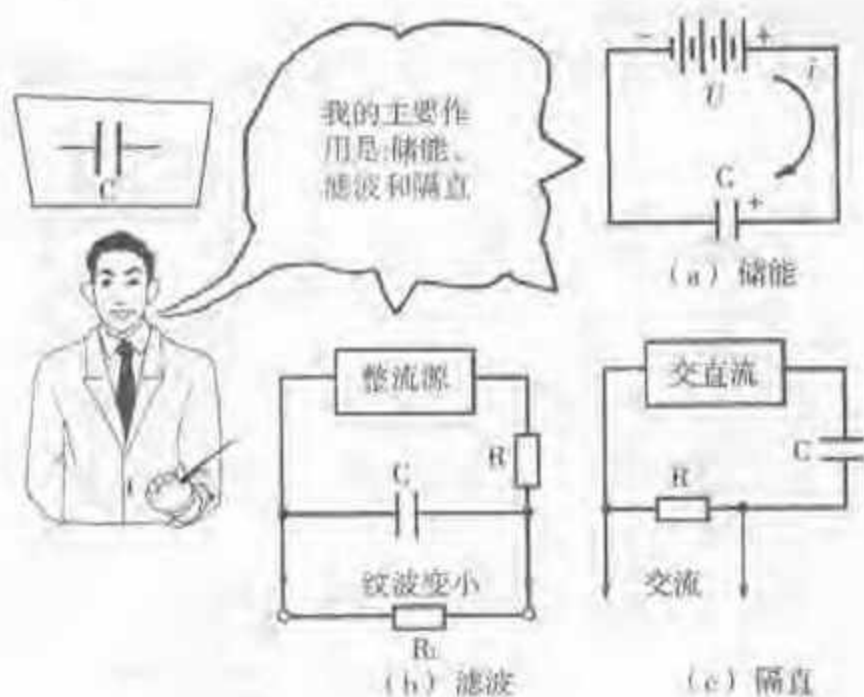


图 2-18 电容器的主要作用

### 1. 电容器的储能作用

已经放电的电容器  $C$  与电压为  $U$  的直流电源并联时,电源将对电容器进行充电,充电电流从开始时最大逐渐变小,电流从电源正极流出经电容器  $C$  后至电源负极,如图 2-18(a)电路所示。充电时电容器两端电压由低逐渐升高,直至等于电源电压  $U$  时,充电电流  $i$  才等于零。

电容器充电后储存的电能量可保持足够长的时间不消失,其保存期长短视电容器内部或外部漏电程度而定。采用向外部电阻器放电的方法可用于定时。

电能  $W$  (单位 J) 的数值可按公式  $W = \frac{1}{2} CU^2$  计算 ( $C$  单位 F、 $U$  单位 V)。

### 2. 电容器的滤波作用

当电源对电容器充电时(注意:实际电源内阻不为零)或电容器通过电阻器放电时,充电和放电都需要一定的时间,充电、放电回路中的电阻、电容越大,充电、放电时间越长。利用这一特性使波形趋向平滑,构成 RC 滤波电路,如图 2-18(b)



电路所示。此时整流源中的交流成分大部分降在电阻  $R$  上,从而使  $C$  两端(与负载电阻  $R_L$  并联)的纹波变小。当然,如果  $C$  的容量太小,则滤波作用不明显。当  $C$  的容量显著增加时,滤波作用随之增强。

在实际应用中常采用  $RC-\pi$  形滤波电路,即再在整流源输出两端并联一只同容量的电容器,以改善滤波效果。通常  $RC$  滤波器适用于负载电阻( $R_L$ )较高,负载电流较小的场合。否则,滤波效果不好。另一方面值得注意的是:在电子线路中,电容器的滤波、旁路作用会随着信号频率的升高而增强。这是因为电容器的容抗与频率  $f$  成反比,容抗大小等于  $1/2\pi fC$ 。

### 3. 电容器的隔直作用

电容器的两极之间是互相绝缘的,电容器因而具有隔直流的作用。如图 2-18 (c) 电路所示,当电容器  $C$ 、电阻器  $R$  与交直流源串联成回路时,在电阻器  $R$  两端可以产生交流电压降,而直流成分被电容器  $C$  隔开,因此在  $R$  两端没有直流电压。

在交流多级放大器中,常采用电容器作为级间耦合元件,由于电容器的隔直作用,从而避免相邻放大级之间直流工作点漂移带来的影响,使各级的直流工作点保持稳定。

## 三、电感器的主要作用

电感器的主要作用是调谐、振荡、阻流滤波,如图 2-19 所示。

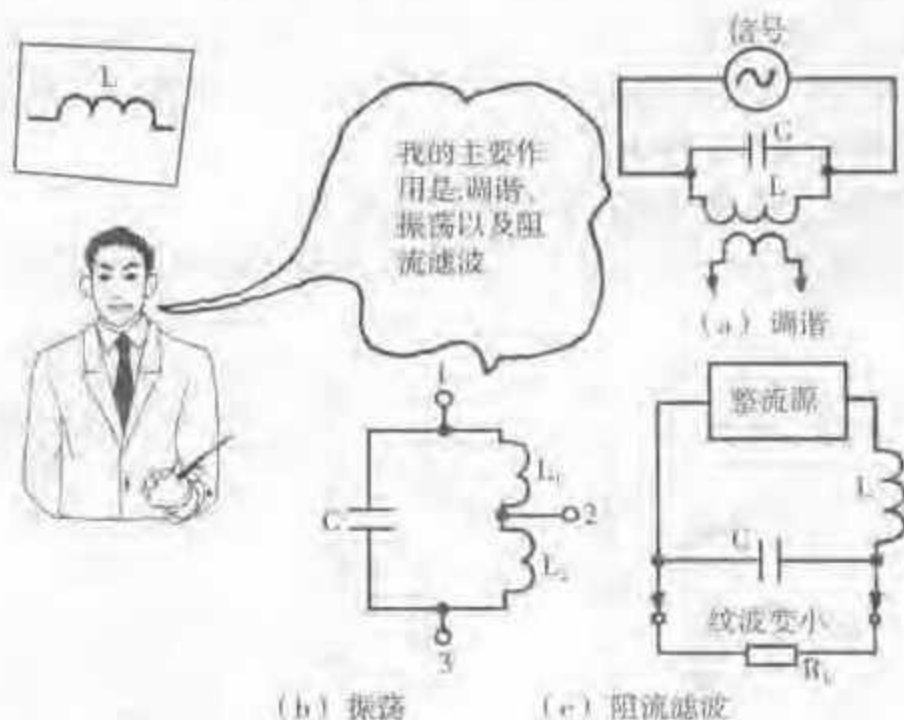


图 2-19 电感器的主要作用

### 1. 电感器的调谐作用

电感器  $L$  与电容器  $C$  并联就构成调谐回路,如图 2-19(a) 所示。这个调谐回路的谐振频率(也称固有频率)为  $f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC}$ 。当信号频率  $f = f_0$  时,  $LC$  调谐



回路的并联阻抗最大且呈现纯电阻性;当  $f > f_0$  时, LC 调谐回路的并联阻抗变小且呈现电容性,  $f$  越高, 阻抗越小; 当信号频率  $f < f_0$  时, LC 调谐回路的并联阻抗也变小且呈现电感性,  $f$  越低, 阻抗越小。因此, LC 调谐回路具有选频作用。

### 2. 电感器的振荡作用

电感器  $L_1$ 、 $L_2$  串联后再与电容器  $C$  并联, 构成一个电感三点式谐振回路, 如图 2-19(b) 所示。它常被用于电感三点式晶体管振荡器中。这种振荡电路的特点是起振容易、输出幅度大, 采用可变电容器调节振荡频率较方便; 缺点是振荡输出信号高次谐波较多。

由于  $L_1$ 、 $L_2$  之间存在互感(设互感系数为  $M$ ), 所以  $L_1$ 、 $L_2$  正向串联后的总电感  $L = L_1 + L_2 + M$ 。三点式谐振回路的固有频率  $f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC}$ 。

### 3. 电感器的阻流滤波作用

我们知道, 电感器  $L$  的感抗等于  $2\pi fL$ , 可见信号频率  $f$  越高, 电感器的阻流(也称抗流、扼流)作用越强。利用电感器的阻流作用, 与电容器  $C$  构成 LC 滤波电路, 如图 2-19(c) 所示。此时, 整流源输出的交流分量绝大部分降落在电感器  $L$  上,  $L$  上的直流电压降很小。  $L$  的输出端再通过电容器  $C$  滤波。实践证明 LC 滤波效果要比 RC 滤波好。在实际应用中常采用 LC- $\pi$  型滤波电路, 即在整流源两端再并联一只同样容量的电容器, 以进一步改善滤波效果。

在低频 LC 滤波电路中, 要求电感量相当大才行, 为此必须采用含有铁心(如硅钢片)的线圈作为电感器才能达到预期滤波效果。在高频 LC 滤波电路中, 则可采用无铁心线圈或含有铁氧体磁心线圈。

## 四、半导体二极管在电路中的主要作用

半导体二极管在电路中的主要作用是整流、续流、检波和限幅等, 如图 2-20 所示。

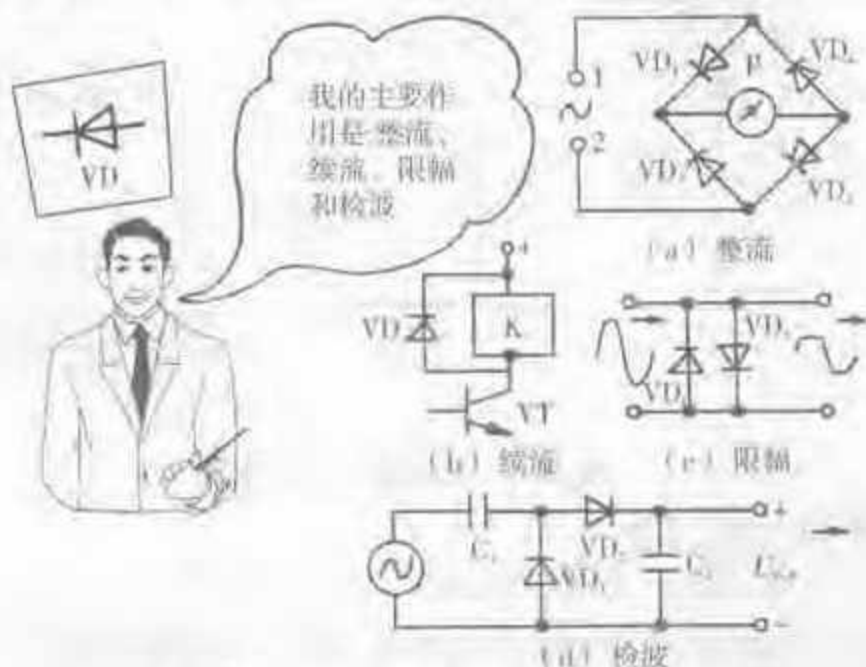


图 2-20 半导体二极管的主要作用



### 1. 二极管的整流作用

利用二极管的单向导电性,可构成多种形式的整流电路,将交流电压(电流)变成直流电压(电流)。

常用整流方式有半波整流、全波整流和倍压(多倍压)整流。全波整流又可分为桥式和变压器中心抽头式(详见第五章介绍)。

桥式整流电路由4只二极管组成,如图2-20(a)所示。设交流的正半周电流从 $VD_1$ 、P、 $VD_2$ 流过,则负半周电流从 $VD_3$ 、P、 $VD_4$ 流过。因此,流过桥中电流表P的电流始终是直流电流。桥式整流电路属全波整流,结构简单、效率高,是一种普遍应用的整流电路,如在整流式仪表中常被应用。

### 2. 二极管的续流作用

对于如直流继电器一类含有较大电感量的控制器件,当驱动电流由最大值跌落到最小值时,由于电感线圈产生的反向自感电动势较高,往往会对电路中的晶体管造成危害。为此,通常采取对继电器K反向并联一只二极管以起续流作用,来避免反向自感电动势带来的危害,如图2-20(b)所示。

### 3. 二极管的限幅作用

利用二极管正向压降小的特点,采用削波限幅电路可将输入信号的幅度被限制在比较小的范围内。图2-20(c)所示的限幅电路是将2只相同的二极管互为反向并联而成。于是,当输入信号幅度超过二极管的正向电压(普通硅管 $U_F \approx 0.7V$ )时将被削波;当输入信号幅度小于二极管的正向电压时则不受影响。因此,这种结构极为简单的限幅电路也可作为某些电压放大器输入端的保护电路使用。

除此以外,还可用多只二极管串联、并联构成限幅电压较高的对称或不对称的限幅电路。

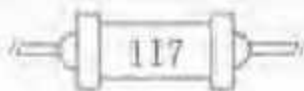
### 4. 二极管的检波作用

利用二极管的单向导电性和电容器的储能作用,可以构成多种不同响应的检波器。如为了能用直流电压表检测交流电压的峰-峰值,可以通过峰-峰值检波器实现。其电路如图2-20(d)所示,它实际上是一个倍压整流电路。

其工作原理是:当输入交流电压为负半周时, $VD_1$ 正向导通,对 $C_1$ 充电到接近负峰值电压。当输入交流电压为正半周时, $VD_1$ 反向截止而 $VD_2$ 正向导通,在 $C_1$ 上的电荷逐渐转移到 $C_2$ 上。于是,当电路工作稳定时, $C_2$ 两端电压等于输入交流电压的峰-峰值。当然, $C_1$ 、 $C_2$ 的容量应足够大,才能保证 $C_2$ 两端电压在输入电压的一个周期内不发生明显的变化,并且 $C_1$ 两端电压在 $C_2$ 重新充电的过程中也不发生明显变化,使峰-峰值检波效果比较理想。

### 5. 二极管的钳位作用

钳位就是钳制电位的意思。运用二极管钳位作用改善输出脉冲波形(缩短前沿时间)或构成门电路,在分立元件的脉冲数字电路中常见。





## 五、晶体三极管在电路中的主要作用

晶体三极管在电路中的主要作用是放大信号。它在电路中的基本连接方式通常有共发射极连接、共基极连接和共集电极连接 3 种方式,如图 2-21 所示。

共发射极连接方式是将晶体三极管(VT)的发射极(E)作为“地”端,基极(B)为输入端,集电极(C)为输出端,如图 2-21(a)所示。

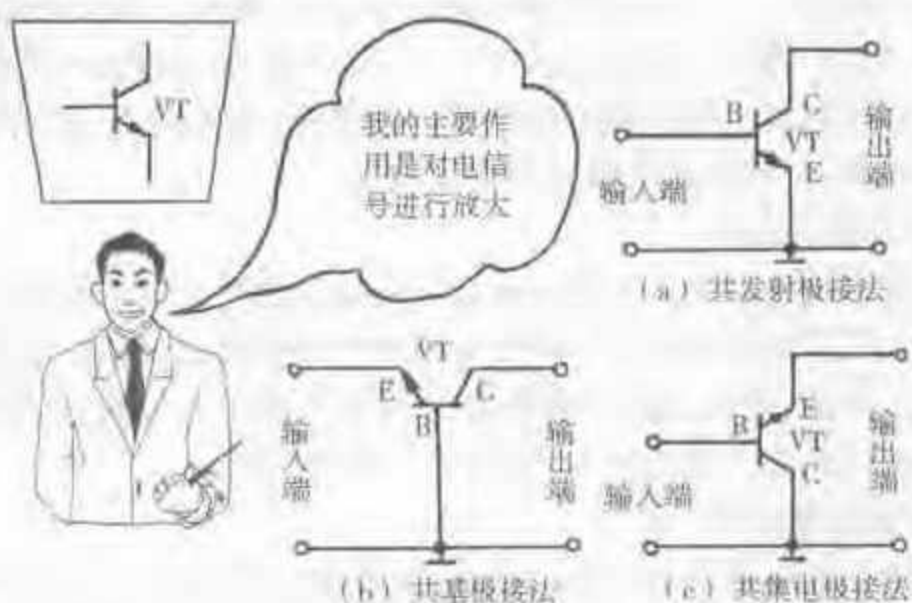


图 2-21 晶体三极管的连接方式

共基极连接方式是将晶体三极管的基极(B)作为“地”端(公共端),发射极(E)为输入端,集电极(C)为输出端,如图 2-21(b)所示。

共集电极连接方式是将晶体三极管的集电极(C)作为“地”端(公共端),基极(B)为输入端,发射极(E)为输出端,如图 2-21(c)所示。

需要指出的是,实际应用的电路是根据信号放大的具体要求,晶体三极管与外接电阻器、电容器、电感器等一起构成形式多样具有不同特性的放大电路,并需要适配直流电源。但是放大作用的关键仍然在晶体三极管。

上述图 2-21 所示为 NPN 型晶体三极管的 3 种基本连接方式,对 PNP 型晶体三极管同样适用,但外加电源的极性应与 NPN 型相反。

除此以外,晶体三极管还可以作为非线性电阻器使用,即当基极电流取某一确定值保持恒定不变时,集射电压  $U_{CE}$  与集电极电流  $I_C$  之间的关系是非线性的,并且,  $I_C$  呈现饱和现象,即当  $I_C$  达到饱和值后,  $U_{CE}$  的增加不会引起  $I_C$  多大的变化,此时也可以作为恒流器件使用。

## 六、场效应晶体管在电路中的主要作用

场效应晶体管(FET)在电路中的主要作用也是放大信号。图 2-22 所示为 N 沟道场效应晶体管共源极连接方式,源极(S)作为公共“地”端,栅极(G)为输入端,漏极(D)为输出端。

场效应晶体管有多种不同类型,图 2-22(a)所示为 N 沟道结型场效应晶体管

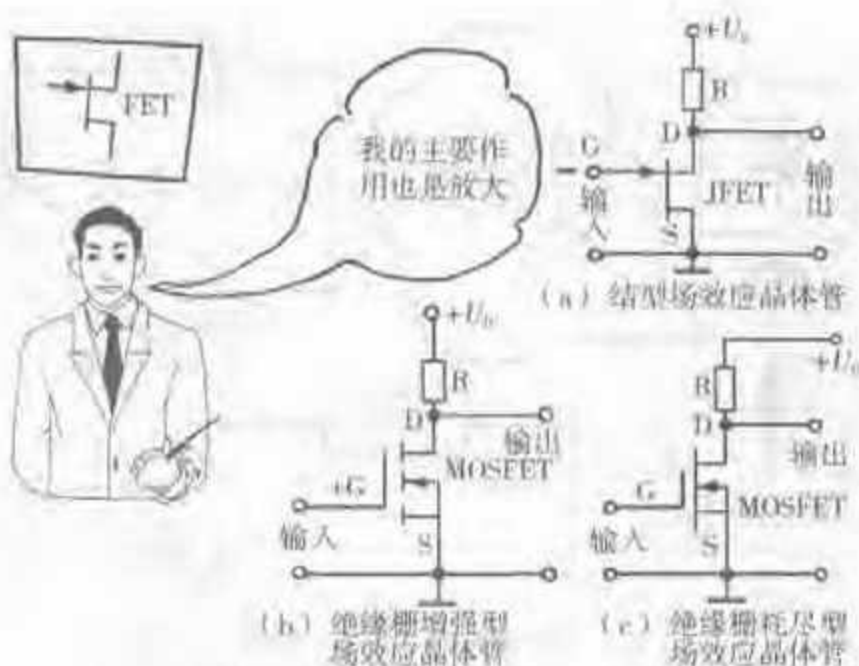


图 2-22 场效应晶体管共源晶体管连接方式

(JFET)连接方式,当栅极(G)输入电压为零时,漏极电流已达到饱和值;只有当栅极输入负电压时漏极电流才会变小,而当输入负电压等于“夹断电压”时,场效应晶体管工作才进入截止状态。为此,输入电压仅在“截止”到“饱和”范围内才能被放大。

图 2-22(b)所示为 N 沟道绝缘栅增强型场效应晶体管(MOSFET)连接方式,当栅极(G)输入为正电压且小于“开启电压”时,漏极电流始终为零,场效应晶体管工作处于截止状态;只有当输入电压大于“开启电压”时,漏极电流才会大于零,但输入电压太大将会使场效应晶体管击穿。所以,正常工作时应在输出特性曲线饱和区范围内。

图 2-22(c)所示为 N 沟道绝缘栅耗尽型场效应晶体管的连接方式,当栅极(G)输入电压为零时,漏极电流已达饱和值;当输入负电压等于“夹断电压”时,场效应晶体管工作才进入截止状态,这与 N 沟道结型场效应晶体管(JFET)类似。

场效应晶体管的特点是输入阻抗很大,输入电流极小,是理想的电压控制型电子器件。另外,它也可以作为非线性电阻器或作为恒流器件使用,效果很好。

## 七、晶闸管在电路中的主要作用

晶闸管在电路中的主要作用是可控整流和无触点开关。

单向晶闸管(普通晶闸管)也称可控整流器(SCR)或单向可控硅,它在电路中的主要作用是将整流电源变为可控输出。如图 2-23(a)所示,单向晶闸管(SCR)的阳极(A)接整流源的正极,阴极(K)串联负载电阻  $R_L$  后接整流源的负极。由触发电路产生的触发脉冲从控制极(G)输入,通过单向晶闸管控制整流输出电压的导通角,从而调节输出电压的大小。除此以外,也可由 2 只整流二极管和 2 只单向晶闸管将交流电源变成可控整流源。

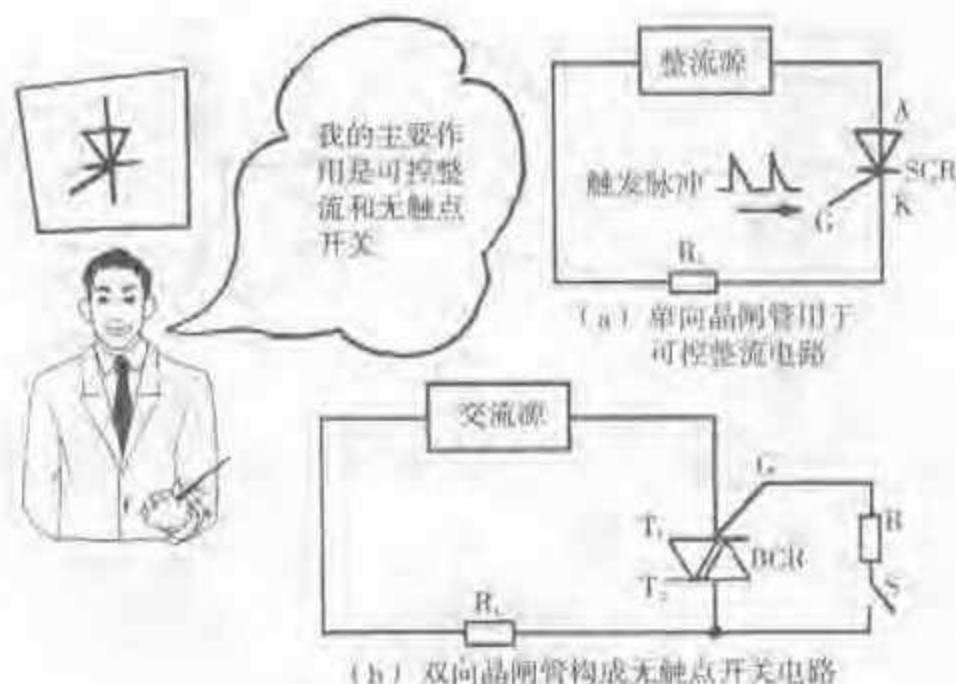


图 2-23 晶闸管的主要作用

双向晶闸管也称双向可控硅(BCR),它在电路中的主要作用是可作为无触点开关。我们知道,机械开关因其触点受电火花损害,从而大大缩短了开关的使用寿命。如果用晶闸管代替机械开关,就不会有这个问题。图 2-23(b)所示的电路尽管流过负载电阻  $R_L$  的交流电流可以相当大,但通过机械开关 S 的触发电流是相当小的,绝大部分的电流可以从双向晶闸管流过。在这里,双向晶闸管第一阳极( $T_1$ )与交流源的一端相接,第二阳极( $T_2$ )串联负载电阻  $R_L$  后与交流电源的另一端相接,串联在控制极(G)回路中的电阻 R 是用来限制触发电流不超过额定值(一般 $<50\text{mA}$ ),开关 S 用来控制双向晶闸管的导通和关断。

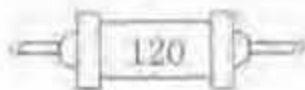
晶闸管也有多种不同类型,在第三章中将作进一步的介绍。

## 八、石英晶体在电路中的主要作用

石英晶体也称石英振子,它是将具有压电效应的石英单晶体沿一定取向切割成片,再配以电极而制成的电谐振元件。

石英晶体在电路中的主要作用是稳频或选频。如图 2-24(a)所示,将特定规格的石英晶体接入石英电子钟集成块的振荡器端( $\text{OSC}_1, \text{OSC}_2$ ),是为了使振荡频率有很高的稳定度( $10^{-8} \sim 10^{-9}$ ),从而保证石英钟走时准确。当然,该集成块内部具有分频电路,将石英振荡器的振荡频率加以分频后最终输出  $1\text{Hz}$  的电脉冲信号,推动外部的步进电动机一步一秒地转动。

用分立元件构成的石英晶体振荡器电路如图 2-24(b)所示。当然,振荡电路的具体形式也有多种多样。总之,石英晶体振荡器无论在低频段还是高频段,应用都相当广泛。



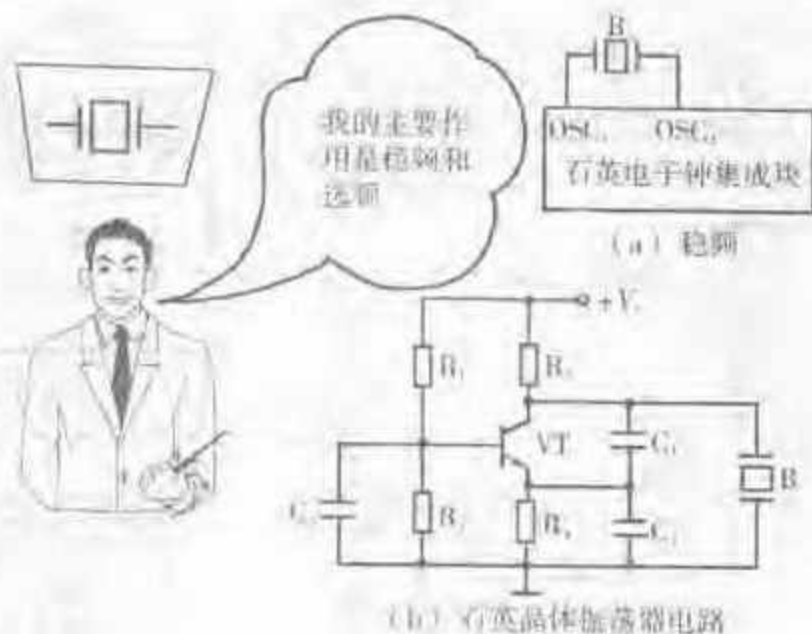


图 2-24 石英晶体的主要作用

### 九、变压器在电路中的主要作用

变压器在电路中的主要作用是改变交流电压的高低、阻抗匹配和隔离。

①变压器通过电磁互感作用,将电能变为磁能,再将磁能变为电能。其输入电压与输出电压之比等于输入(初级)绕组匝数与输出(次级)绕组匝数之比。常用的电源变压器有多种不同规格,它们是用来将 50Hz、220V 的交流电压变成电子设备所需要的多种不同等级的交流电压。如图 2-25(a)所示,初级输入 50Hz、220V 交流电压,通过变压器 T 变换后次级输出 50Hz 的 12V、24V 交流电压(中间抽头式)。

②变压器用于输入、输出电路,其主要作用是阻抗匹配。因为变压器绕组的阻抗是可以通过选择铁心尺寸、改变绕组匝数来确定的。在电子电路中,一般讲放大器的输入阻抗总是要比输出阻抗高,交流放大器也不例外。采用变压器耦合很容易做到多级放大时的阻抗匹配。除此以外,由于变压器的次级绕组和初级绕组是互相绝缘的,因而还能起到隔离直流的作用。如图 2-25(b)所示的电路,变压器 T 的初级(输入端)与晶体管 VT 在直流电路中是互不相通的,必要时还可保持非共“地”方式工作。

在脉冲放大电路中使用的变压器常称为脉冲变压器,因为传输平均功率小,所以它的体积要比电源变压器小。但需要有较快的脉冲响应特性,因而对铁心材料和变压器制作都有特殊要求。图 2-25(c)所示电路中的脉冲变压器 T 用黑圆点表示瞬时电压极性,用虚线表示铁心,铁心一般是用铁氧体软磁性材料。另外,脉冲变压器采用坡姆合金带作为铁心也是很普遍的。在输出端串联二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  是为了阻止反向脉冲输出(利用二极管的单向导电性)。



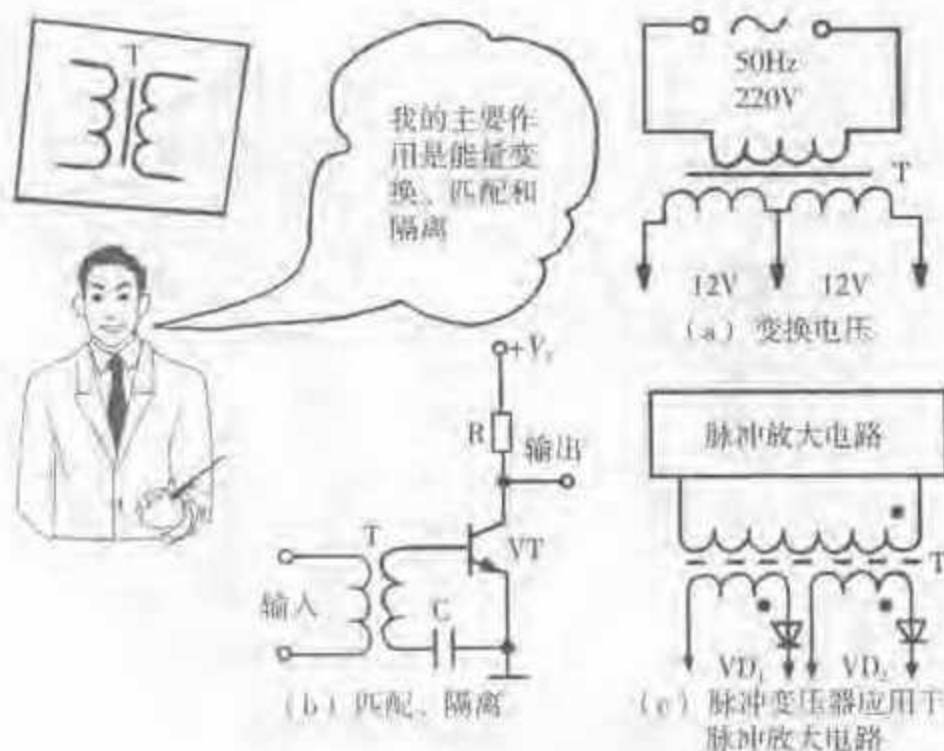


图 2-25 变压器在电路中的主要作用

需要指出的是,上述介绍的几种分立元器件虽然只是多种多样分立元器件中的一小部分,但它们却是普遍使用的也是最基本的一些分立元器件。这些分立元器件的不同组合将会在电路中起不同作用,我们将在后面电路识图部分再作介绍。

### 第三节 电子线路图中常用的图形符号

在电子线路图中可能出现的图形符号相当多,这里介绍的常用图形符号只是其中的一部分,为电子线路图中较常见的。以国家最新标准为依据(GB/T 4728—1996~2000),图形符号见表 2-1。

表 2-1 电子线路常用图形符号

图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
+	正极性	~50Hz	交流 50Hz
-	负极性	~100~600kHz	交流 100kHz 到 600kHz
≡	直流	⎓	具有交流分量的整流电流
~	交流	⎓	正脉冲



续表

图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
	负脉冲		穿心电容器
	交流脉冲		极性电容器
	锯齿波		可调(变)电容器
	正阶跃函数(上升沿)		预调电容器
	负阶跃函数(下降沿)		电感器,线圈,绕组,扼流圈
	电阻器一般符号		带磁心的电感器
	可调(变)电阻器		磁心有间隙的电感器
	带滑动触点的电阻器		带磁心连续可变电感器
	带滑动触点的电位器		有2个抽头的电感器
	带(2个)固定抽头的电阻器		可变电感器
	带滑动触点可预调的电位器		步进移动可变电感器
	压敏(电压敏感)电阻器		双绕组变压器
	热敏电阻器,β可用r代替		标出瞬时电压极性的双绕组变压器
	光敏电阻,也称光电导管,具有对称导电性的光电导器件		在一个绕组上有中心抽头的变压器
	接地一般符号		三绕组变压器
	接机壳或接底板		耦合可变的变压器
	等电位		
	屏蔽导线		
	电容器一般符号		



续表

图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
	自耦变压器		多位置开关(标出 5 个位置)
	电流互感器, 脉冲变压器		受话器一般符号
	天线一般符号		电池符号, 长线代表阳(正)极, 短线代表阴(负)极
	环形(或框形)天线		热电偶(1)
	灯和信号灯一般符号		热电偶(2), 负极用粗线表示
	闪光型信号灯		直流电动机一般符号
	蜂鸣器		步进电动机一般符号
	电喇叭		具有 2 个电极的压电晶体
	扬声器一般符号		具有 3 个电极的压电晶体
	传声器(话筒)一般符号		具有 4 个电极的压电晶体
	继电器线圈一般符号		半导体二极管一般符号
	开关的一般符号		热敏二极管
	具有动合触点且自动复位的按钮开关		变容二极管
	少数位置的多位开关(标出 4 个位置)		单向击穿二极管(电压调整二极管), 也称稳压二极管, 齐纳二极管



续表

图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
	隧道二极管,也称江崎二极管		P型沟道结型场效应晶体管
	双向击穿二极管		N型沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管
	双向二极管,交流开关二极管		P型沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管
	发光二极管(LED)一般符号		N型沟道增强型绝缘栅场效应晶体管
	光敏二极管,具有非对称导电性光电器件		P型沟道增强型绝缘栅场效应晶体管
	光电池		放大器一般符号(1)
	NPN型晶体三极管		放大器一般符号(2)
	PNP型晶体三极管		运算放大器一般符号
	反向阻断三极晶体闸流管(P型控制极,阴极侧受控)		运算放大器(如LM324一部分)
	反向阻断三极晶体闸流管(N型控制极,阳极侧受控)		整流器
	三端双向晶体闸流管		桥式全波整流器
	具有P型双基极的单结晶体管		逆变器
	具有N型双基极的单结晶体管		整流器/逆变器
	N型沟道结型场效应晶体管		信号发生器一般符号



续表

图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
	500Hz 正弦波发生器		减法器一般符号
	脉冲发生器		乘法器一般符号
	(n)倍频器		“或”单元(或门)通用符号
	(n)分频器		“与”单元(与门)通用符号
	检波器		只读存储器
	滤波器一般符号		RS 触发器, RS 锁存器
	调制器, 解调器或鉴别器一般符号		非门(反相器)
	数/模转换器一般符号		3 输入与非门
	模/数转换器一般符号		3 输入或非门
	加法器一般符号		



## 第四节 电子线路图中常用的文字符号

电子线路图中常用的文字符号见表 2-2。一般说,当用单字母符号表示不能满足要求时,才采用双字母符号来表示电子装置、部件和元器件。

表 2-2 电子线路图中常用的文字符号

名 称	字母符号		名 称	字母符号	
	单字母	双字母		单字母	双字母
放大器	A		电感器	L	
调节器	A		电抗器	L	
变换器	B		感应线圈	L	
石英晶体	B		模拟集成块	N	
送话器	B		运算放大器	N	
受话器	B		断路器	Q	
拾音器	B		隔离开关	Q	
耳塞(耳机)	B		电阻器	R	
扬声器	B		可变电阻器	R	
电容器	C		起动电阻器	R	RS
数字集成块	D		电位器	R	RP
存储器件	D		变阻器	R	
延迟器件	D		按钮开关	S	SB
照明灯	E	EL	控制开关	S	SA
熔断器	F	FU	选择开关	S	
避雷器	F		接近开关	S	SP
电 源	G		变压器	T	
振荡器	G		互感器	T	
蓄电池	G	GB	电流互感器	T	TA
指示灯	H	HL	电压互感器	T	TV
继电器	K		控制变压器	T	TC
接触器	K		升压变压器	T	TU



续表

名称	字母符号		名称	字母符号	
	单字母	双字母		单字母	双字母
降压变压器	T	TD	电子管	V	VE
自耦变压器	T	TA	气体放电管	V	
整流变压器	T	TR	天线	W	
整流器	U	UR	母线	W	
变流器	U		电缆	W	
逆变器	U		端子	X	
变频器	U		插头	X	XP
调制器	U		插座	X	XS
解调器	U		接线柱	X	
鉴频器	U		连接片	X	XB
编码器	U		电磁铁	Y	YA
晶体管	V	VT	电磁离合器	Y	YC
晶闸管	V	VS	滤波器	Z	
二极管	V	VD	限幅器	Z	
场效应晶体管	V	VF	终端设备	Z	

## 第五节 电子线路图中其他图形符号

电子线路图中可能出现的图形符号是很多的,除前面(表 2-1)介绍的一部分常用图形符号外,我们再介绍一部分较为常用的其他图形符号,以便读者查阅参考。

电子线路图中其他常用图形符号见表 2-3。



表 2-3 电子线路图常用的其他图形符号

图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
	双向放大二线电路		同轴延迟线(1)
	光电(光敏)晶体管,PNP型		同轴延迟线(2)
	光敏二极管型光耦合器		具有电极和连接的驻极体,较长的线表示正极
	光敏三极管型光耦合器		双向二极晶体整流管,双向开关二极管
	达林顿型光耦合器		可关断晶体整流管(未指定控制极板)
	霍尔发生器		NPN型雪崩晶体管
	单声写入磁头		磁敏二极管
	单声写入磁头简化形式		光电(光敏)发生器
	消磁磁头		先断后合的转换触点
	消磁磁头简化形式		动断(常闭)触点
	线性型磁敏电阻器		当操作器件被吸合时延时闭合的动合触点
	磁耦合器件		当操作器件被释放时延时断开的动合触点
	差动可调(变)电容器		一边有自动返回(左边),另一边无自动返回的中间断开的双向触点
	延迟线或延迟元件		检流计



续表

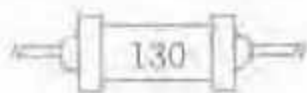
图形符号	表示意义	图形符号	表示意义
	温度计		电铃
	示波器		报警器
	电压表		测向天线(无线电测角或无线电信标)
	无功电流表		半导体激光器
	相位计		采用激光二极管的相干光发射机
	频率计		NPN型磁敏晶体管
	功率因数表		光控晶闸管
	波长表		冷阴极充气管,如稳压管
	转速表		对称的冷阴极充气管,如氖指示管

## 第六节 电子线路图中其他文字符号

在电气设备中常见到一些辅助文字符号出现在电子线路图中,为了便于读者查阅,现将这些常用辅助文字符号作一介绍,见表 2-4。

表 2-4 常用辅助文字符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
断开	OFF	紧急	EM	模拟	A
闭合	ON	延时(延迟)	D	差动	D





续表

名称	符号	名称	符号	名称	符号
输入	IN	自动	AUT	反馈	FB
输出	OUT	手动	M,MAN	反	R
电压	V	可调	ADJ	启动	ST
电流	A	顺时针	CW	停止	STP
交流	AC	逆时针	CCW	制动	B,BRK
直流	DC	辅助	AUX	步进	STE
中性线	N	记录	R	正,向前	FW
接地	E	高	H	向后	HW
保护	P	低	L	限制	L
保护接地	PE	左	L	备用	RES
保护接地与 中性共用	PEN	右	R	红	RD
不接地保护	PU	中	M	绿	GN
无噪声(防 干扰)接地	TE	中间线	M	黄	YE
感应	IND	复位	R,RST	蓝	BL
信号	S	置位	S,SET	白	WH
运转	RUN	同步	SYN	黑	BK
控制	C	异步	ASY	真空	V
主	M	闭锁	LA	温度	T
升	U	增	INC	时间	T
降	D	减	DEC	压力	P
快速	F	附加	ADD	速度	V
加速	ACC	数字	D	饱和	SAT



## 第一节 单管低频小信号放大电路

## 一、基本概念

放大微弱的电信号,并将其转换成较强电信号的电路称为放大电路,简称放大器。凡是放大器都能对电信号起功率放大作用,否则不能称为放大器。其实,作为放大器,无论是电压放大器还是电流放大器,它们都具有功率放大作用,但放大的程度和重点各有不同,如图 3-1 所示。

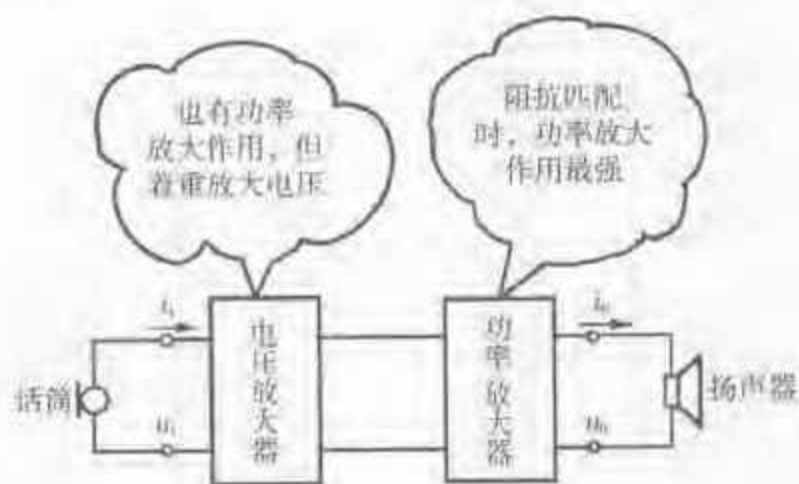


图 3-1 扩音机方框图

$u_i, i_i$  语音由话筒转换成微弱的电压和电流信号,送到电压放大器的输入端;

$u_o, i_o$  功率放大器输出较强的电压和电流信号,驱动扬声器放出更响的语音

通常用放大倍数  $A$  来表示放大器的放大能力。如果放大器的输入电压、电流、功率的有效值分别用  $U_i, I_i, P_i$  表示,输出电压、电流、功率有效值分别用  $U_o, I_o, P_o$  表示,那么 3 种不同的放大倍数及其相互关系如下:

电压放大倍数:  $A_V = U_o / U_i$

电流放大倍数:  $A_I = I_o / I_i$

功率放大倍数:  $A_P = P_o / P_i$



它们之间关系  $A_P = A_I \cdot A_V$

在电子工程技术中,为了简化电路的数字及运算,又常用对数来表示放大倍数,称为增益  $G$ ,单位为 dB(分贝),并对放大器的 3 种增益作如下规定:

功率增益:  $G_P = 10 \lg A_P$  (dB)

电压增益:  $G_V = 20 \lg A_V$  (dB)

电流增益:  $G_I = 20 \lg A_I$  (dB)

如图 3-2 所示,某电压放大器的电压放大倍数  $A_V = 10\,000$ ,如果用电压增益  $G_V$  来表示,则

$$G_V = 20 \lg A_V = 20 \lg 10\,000 = 80 \text{ (dB)}$$

又如,设某功率放大器的功率放大倍数为  $A_P = 10\,000$ ,若用功率增益  $G_P$  来表示,则

$$G_P = 10 \lg A_P = 10 \lg 10\,000 = 40 \text{ (dB)}$$



图 3-2 用增益来取代放大倍数可简化数字及运算

特别是电路设计或分析中需要计算时,多级放大器和衰减器的放大倍数、衰减倍数的乘、除运算在增益中就变成加、减运算,可以使数字运算得以简化(通常有现成的分贝换算表供查阅)。

## 二、晶体管共发射极放大电路

单管阻容耦合式晶体管共发射极放大电路如图 3-3 所示。

由图可见,晶体管 VT 的发射极是该放大电路的“地”端(⊥),即输入端与输出端中的公共端。在阻容耦合式晶体管共发射极放大电路中,输入信号  $u_i$  与放大电路之间以及放大电路与负载电阻  $R_L$  之间的耦合分别由电容器  $C_1$  和  $C_2$  实现的,电容器起隔离直流的作用。

图 3-4 所示为直接耦合式晶体管共发射极放大电路。在这个直接耦合式晶体管共发射极放大电路中,输入信号  $u_i$  与放大电路之间以及放大电路与负载电阻  $R_L$  之间均为直接连接,不用耦合电容。为了避免输入信号  $u_i$  为零时会使输入端短路,故在输入端串联电阻器  $R_{in}$ 。直接耦合式晶体管放大电路不仅会放大交流

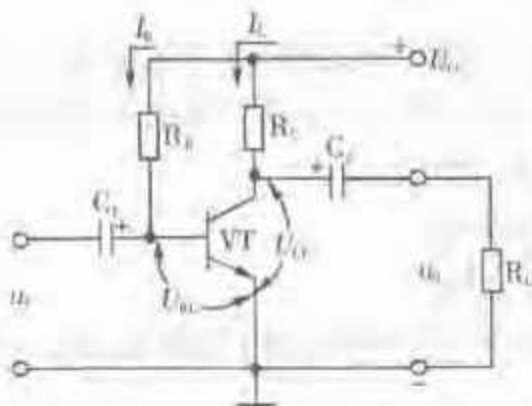


图 3-3 阻容耦合式晶体管共发射极放大电路

$u_i$ —输入电压信号;  $u_o$ —输出电压信号;  $U_{CC}$ —电源电压;  $U_{CE}$ —集、射间电压降;  $U_{BE}$ —基、射间电压降。信号, 同时也会放大直流信号。因此, 如果只希望放大交流信号而不要放大直流成分时, 就不能采用直接耦合式晶体管放大电路。

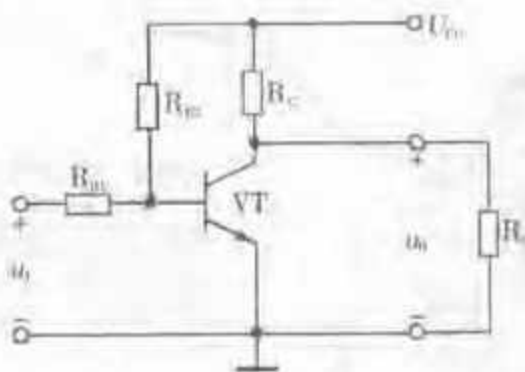


图 3-4 直接耦合式晶体管共发射极放大电路

### 1. 共发射极放大电路中各元器件的作用

现以图 3-3 所示的电路予以说明:

(1) 晶体管的作用。晶体管 VT 是放大电路中的核心器件, 它将输入信号  $u_i$  引起 VT 基极电流微小的变化量  $\Delta I_B$  放大成为较大的集电极电流变化量  $\Delta I_C$ 。晶体管的电流放大作用越强(放大系数  $\beta$  值越大), 则图 3-3 所示的  $\Delta I_C / \Delta I_B$  比值也就越大。

虽然在电子线路图中用一个简单的图形符号来表示晶体三极管, 实际上晶体三极管的型号、技术指标、外形是多种多样的, 而采用何种晶体三极管应根据电路的具体要求来选择, 常见晶体三极管的外形如图 1-56 所示。

(2) 阻容元件的作用。图 3-3 所示  $R_b$  一端接晶体管的基极, 另一端接电源正极, 它是偏置(偏流)电阻, 其作用是给晶体管 VT 建立静态工作点。通常是在电源电压  $U_{CC}$  保持不变的条件下, 通过调节  $R_b$  的阻值来改变偏流  $I_B$  的大小, 以便为 VT 建立合适的静态工作点, 这是放大电路正常工作的重要条件。当晶体管 VT 有基极电流  $I_B$  流过时, 就会在集电极上产生电流  $I_C$ , 此集电极电流要比基极电流大  $\beta$  倍, 即  $I_C = \beta I_B$ 。

连接在晶体管 VT 集电极和电源  $U_{CC}$  正极之间的电阻  $R_c$ , 其作用是将 VT 集



电极电流的变化量转换成集电极电压的变化量,同时对集电极电流的最大值起限制作用。通常取  $R_c \approx R_L$ ,  $R_L$  为放大电路的负载电阻。

$C_1, C_2$  分别为输入、输出耦合电容,它们起隔直流、通交流的作用。我们知道,电容器对直流电流呈现高阻抗,而对交流电流特别是高频电流呈现低阻抗,因此用电容器将放大电路的前级和后级之间的直流电流隔开而互不影响,让放大电路的交流输入、输出信号可顺利通过。

## 2. 共发射极放大电路工作原理

(1) 静态工作点。若将输入端短路,使放大电路处于无信号输入状态,则称为静态。静态时晶体管 VT 的  $U_{BE}, U_{CE}$  以及对应的  $I_B, I_C$  统称为放大电路的静态工作值或静态工作点,用  $Q$  表示。

放大电路的静态工作点  $Q$  在晶体管输入特性曲线和输出特性曲线上的情况如图 3-5 所示。

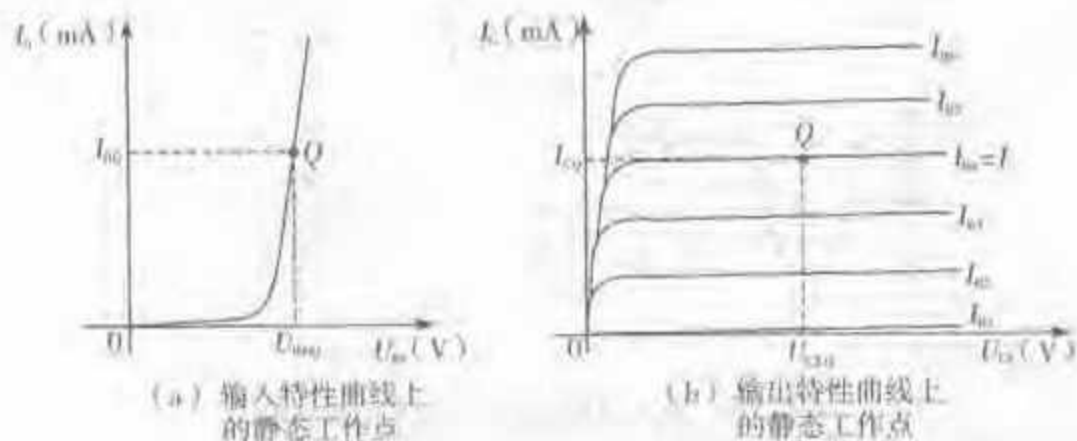


图 3-5 晶体管放大电路的静态工作点

$Q$  静态工作点;  $I_{BQ}$  静态时的基极电流;  $U_{BEQ}$  静态时基射极间电压;

$I_{CQ}$  静态时集电极电流;  $U_{CEQ}$  静态时集射极间电压

(2) 静态工作点与波形失真的关系。静态工作点选择不当,会使放大电路工作时产生信号波形的失真,如图 3-6 所示。其中,图 3-6(a)所示静态工作点选择正确,放大电路输入信号为正弦波,则输出信号也是正弦波;图 3-6(b)所示静态工作点选择不当(偏流  $I_B$  太大)引起放大电路输出信号波形产生饱和失真;图 3-6(c)所示偏流  $I_B$  太小时产生的截止失真;图 3-6(d)所示虽然放大电路的静态工作点选择恰当,由于输入信号幅度太大,也会引起非线性失真,通常称为切峰失真。

如果要进一步比较具体地了解静态工作点与波形失真的关系,应采取从晶体管的输出特性曲线上加交流负载线图解的方法,如图 3-7 所示。该图纵轴表示集电极电流瞬时值  $i_c$  (含交流和直流),横轴表示集电极与发射极(公共端)之间电压瞬时值  $u_{CE}$  (含交流和直流)。直线  $M'N'$  为交流负载线。静态工作点处在交流负载线上的  $Q$  点是恰当的,如果移到  $Q_A$  点位置将产生饱和失真,移到  $Q_B$  点位置将产生截止失真。针对具体的放大电路和晶体管输出特性曲线,用上述图解方法可

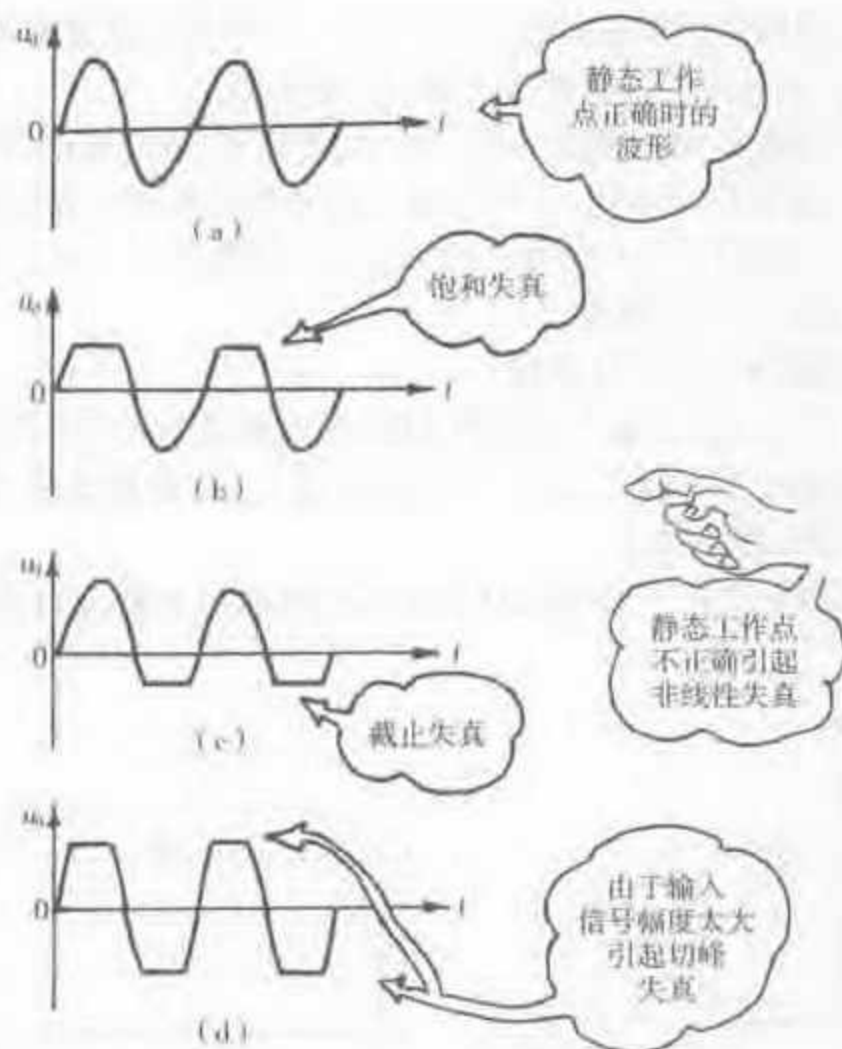


图 3-6 放大电路输出波形及失真原因

以得到有关波形失真的具体数据。

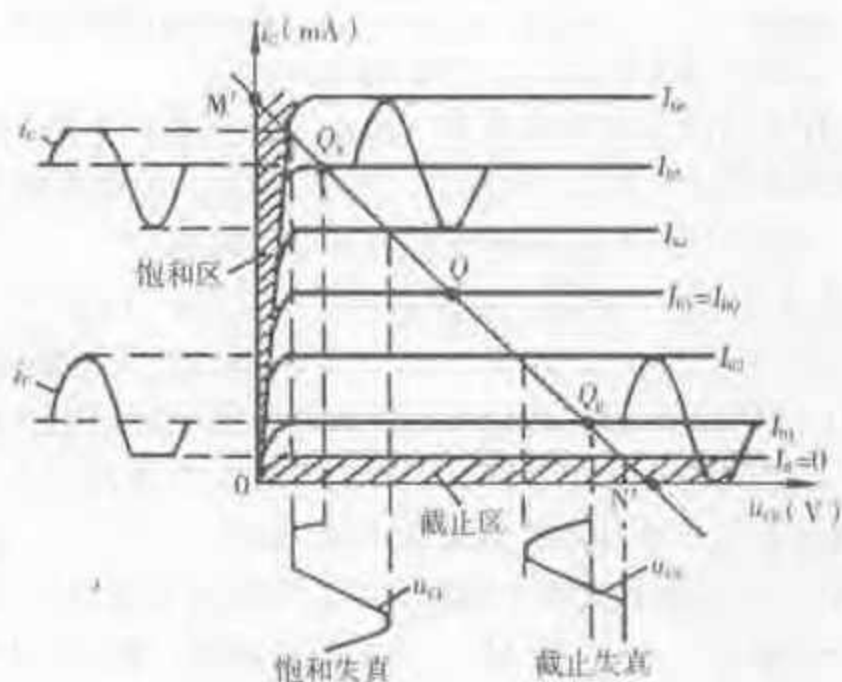


图 3-7 静态工作点与波形失真关系图解



(3) 放大电路工作原理。图 3-8 所示为图 3-3 所示放大电路各处电压和电流波形。波形图可使我们对放大电路的工作原理有进一步的了解。当在放大电路的输入端接交流信号电压  $u_i$  时,经电容器  $C_1$  送到晶体管 VT 的基极(B)和发射极(E)之间,引起基极电流的变化,基极总电流为  $i_{B1} = I_{BQ} + i_b$ 。基极电流的变化控制着集电极电流在静态电流  $I_{CQ}$  的基础上跟着变化,集电极总电流  $i_c = I_{CQ} + i_c$ ,是由静态电流  $I_{CQ}$  和交流电流  $i_c$  合成。

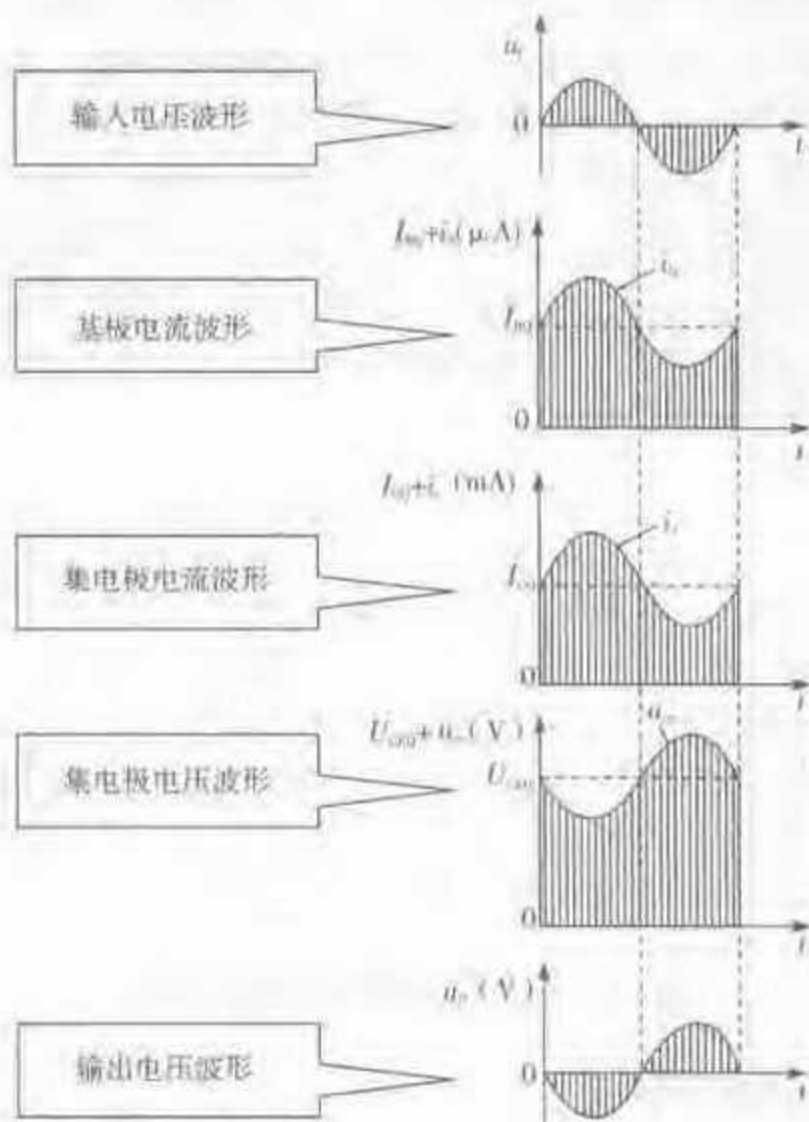


图 3-8 放大电路各处电压和电流波形

同理,集射极间电压  $u_{CE}$  是由静态电压  $U_{CEQ}$  和交流电压  $u_{ce}$  两部分合成,即

$$u_{CE} = U_{CEQ} + u_{ce}$$

( $u_{ce}$  脚标用小写字母,表示  $u_{ce}$  为交流分量)

因为集电极总电流  $i_c$  流过电阻  $R_c$  时会在  $R_c$  上产生压降  $i_c R_c$ ,故此压降也由直流电压和交流电压两部分合成。 $i_c R_c$ 、 $u_{CE}$  和电源电压  $U_{CC}$  的关系是: $u_{CE} + i_c R_c = U_{CC}$ 。

$u_{CE}$  通过电容器  $C_2$ ,由电容器起到隔离直流的作用,所以最终输出交流电压



$u_o$ 。输出电压  $u_o$  是输入电压  $u_i$  的放大,但相位与  $u_i$  相反。如果  $C_2$  的容量足够大(相对被放大信号的频率而言),容抗可以忽略,则输出交流电压  $u_o$  与交流电流  $i_c$  的关系是:

$$u_o = u_{ce} = -i_c R_c$$

式中负号表示集电极交流电流  $i_c$  与集电极交流电压  $u_{ce}$  反相,也与输出交流电压  $u_o$  反相。

(4) 未设基极偏置电流的放大电路。如图 3-9 所示,如果将图 3-3 所示放大电路中的基极偏置电阻  $R_B$  除去,成为未设偏置电流的放大电路,则  $I_{BQ} = 0$ 。于是在输入端加正弦信号电压  $u_i$  时,在信号的正半周,发射结因受正向偏压而导通,从而基极输入电流  $i_b$  随  $u_i$  而变化。但在信号的负半周,发射结受反向偏压而截止,此时  $i_b = 0$ ,即负半周信号不能输入基极。因此,晶体管 VT 只能对输入信号的正半周起放大作用。如果输入信号幅度较小,甚至小于发射结的开启电压,晶体管就只能部分地放大正半周信号,甚至不能起放大作用。这种不正常的工作状态,是由于未设置静态工作点而引起的。

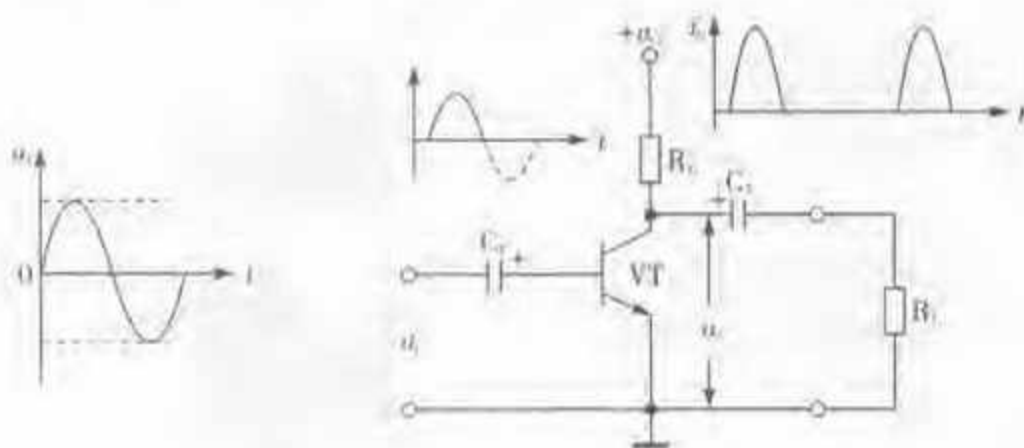


图 3-9 未设基极偏置电流的放大电路

### 三、静态工作点的调试

#### 1. 电压表法

共发射极放大电路静态工作点的电压表法调试如图 3-10 所示。

该放大电路电源电压  $U_{CC} = 12V$ ,集电极电阻  $R_c = 6k\Omega$ ,基极偏置电阻  $R_B = (R_1 + RP)$  在  $10 \sim 100k\Omega$  之间可调,VT 为 NPN 型晶体三极管。

调试静态工作点操作方法:将放大电路的两输入端用一根导线短接,这样就保证无信号输入,则放大电路处于静态。将电位器 RP 阻值大约调至  $50k\Omega$  左右,再将万用表置于直流电压量程为  $10V$  挡,红表笔接 VT 的集电极,黑表笔接公共“地”端。然后接通放大电路的电源  $U_{CC}$  ( $12V$ ),慢慢调节电位器,直至万用表指示直流电压为电源电压的一半左右( $6V$ )即可。

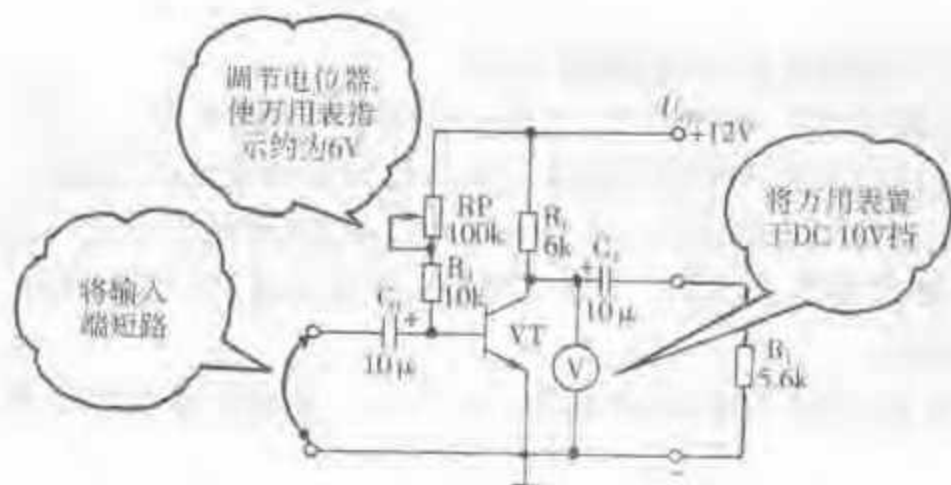


图 3-10 放大电路静态工作点的电压表法调试

## 2. 电流表法

采用电流表法来调整静态工作点如图 3-11 所示。其操作方法:将万用表置于直流电流 5mA 挡,集电极电阻  $R_C$  接电源一端断开,然后将万用表串入集电极回路中,即黑表笔接  $R_C$  断开的一端,红表笔接电源正极,缓慢调节电位器  $R_P$ ,使集电极电流达 1mA 左右即可。这是在忽略 VT 饱和压降时,该放大电路的集电极电流最大值  $I_{m1} \approx U_{CC}/R_C = 12V/6k\Omega = 2.0mA$ ,静态工作点设置对应于  $\frac{1}{2} I_{m1}$  是恰当的。

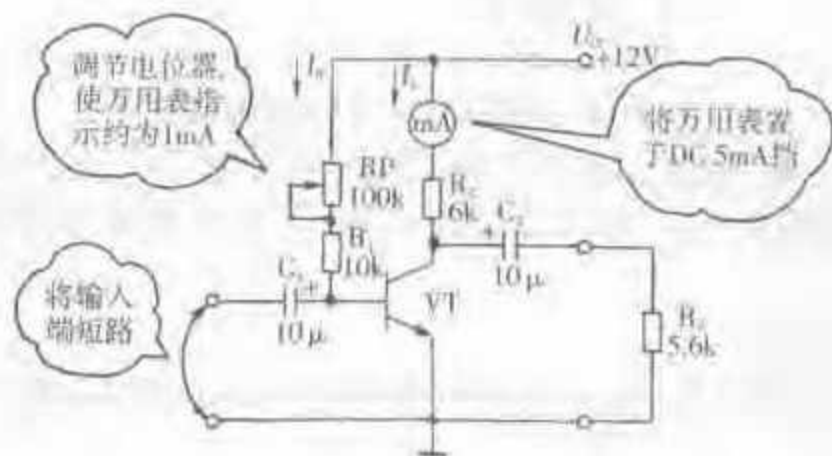


图 3-11 用电流法调整放大电路的静态工作点

## 3. 静态估算

作为近似计算,静态时放大电路基极电流  $I_{BQ}$ 、基极电阻  $R_B$ 、集电极电流  $I_{CQ}$ 、晶体管电流放大系数  $\beta$  以及电源电压  $U_{CC}$  之间的关系为:

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BEQ}}{R_B} \approx \frac{U_{CC}}{R_B}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} + I_{CEO} \approx \beta I_{BQ}$$

$I_{CEO}$  为晶体管的穿透电流,因 NPN 型硅管的  $I_{CEO}$  很小,可以忽略不计。



$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} R_C$$

#### 四、分压式稳定工作点偏置电路

上述介绍具有固定偏置的放大电路,它的静态基极电流  $I_{BQ}$  是通过偏置电阻  $R_B$  由电源提供的,由于晶体管的电流放大系数和穿透电流会随温度升高而增加,所以这种固定偏置电路的静态工作点是不稳定的,这种偏置方式只能用在环境温度变化不大、要求不高的场合。下面介绍稳定效果比较好的改进电路。

##### 1. 电路结构

分压式稳定工作点偏置电路如图 3-12 所示。该电路具有稳定静态工作点的作用。

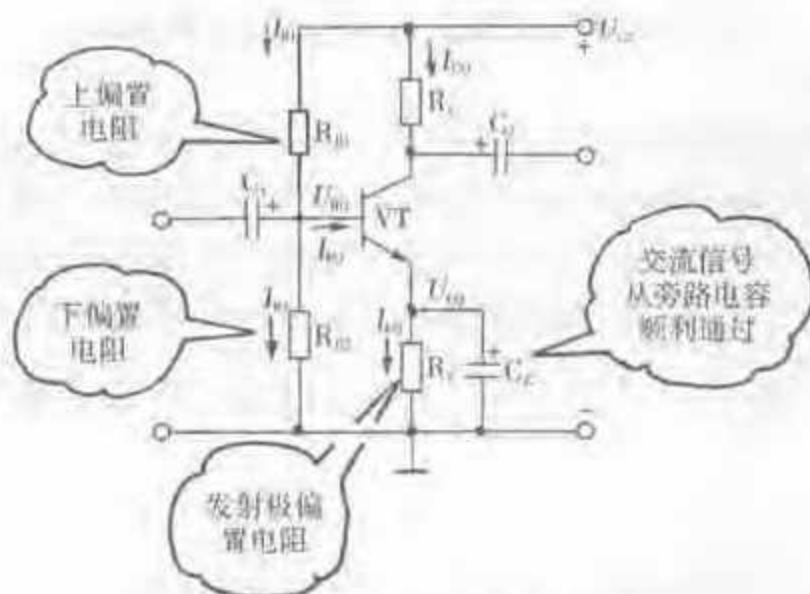


图 3-12 分压式稳定工作点偏置电路

图中  $R_{B1}$  为上偏置电阻,  $R_{B2}$  为下偏置电阻, 电源电压  $U_{CC}$  经分压后得到基极电压  $U_{BQ}$ , 提供基极偏流  $I_{BQ}$ 。  $R_E$  是发射极电阻,  $C_E$  是发射极电阻旁路电容,  $R_C$  是集电极电阻。

##### 2. 电路工作原理

图中基极对地电压为  $U_{BQ}$ , 发射极对地电压为  $U_{EQ}$ , 所以基极与发射极之间的电压为:

$$U_{BEQ} = U_{BQ} - U_{EQ} \quad (Q \text{ 表示静态})$$

当环境温度升高而引起晶体管的穿透电流  $I_{CBO}$  增大时, 集电极静态电流  $I_{CQ}$  也增大。因为发射极静态电流  $I_{EQ} = I_{BQ} + I_{CQ} \approx I_{CQ}$ , 所以可认为由于温度升高引起  $I_{CQ}$  的增加量也就等于  $I_{EQ}$  的增加量,  $I_{EQ}$  的增加导致  $U_{EQ} (= I_{EQ} R_E)$  的增大, 于是使  $U_{BEQ}$  减小, 也就使基极偏流  $I_{BQ}$  减小, 使集电极静态电流  $I_{CQ}$  的增加受到限制, 达到稳定工作点的目的。这一稳定工作点的过程可用符号式表示如下:

$$T(\text{温度}) \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow I_{EQ} \uparrow \rightarrow U_{EQ} \uparrow$$

$$I_{CQ} \downarrow \leftarrow I_{BQ} \downarrow \leftarrow U_{BEQ} \downarrow$$



分压式稳定工作点偏置电路是一种普遍应用的偏置电路,这种电路稳定静态工作点的效果是比较好的。

$C_E$  是偏置电路中  $R_E$  的交流旁路电容,其作用是给交流信号提供通道,减少交流信号放大过程中的损耗,不至于因  $R_E$  的存在而降低放大器对交流信号的放大能力。

图 3-13 所示为 PNP 型晶体管共发射极放大电路,由图可见它也是采用分压式稳定工作点偏置电路。只是由于晶体管类型不同,元器件在放大电路中的极性方向与 NPN 型晶体管不同。

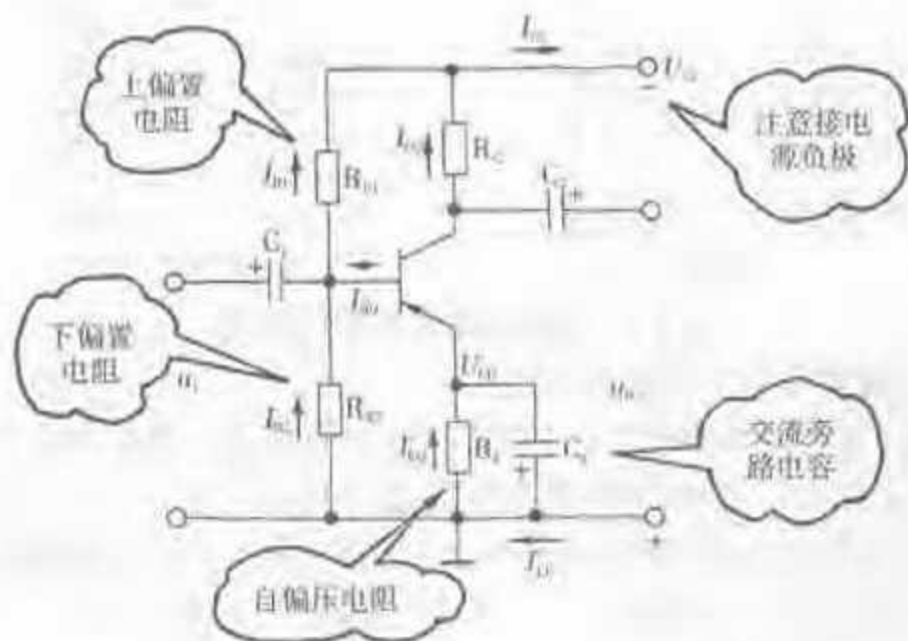


图 3-13 PNP 型晶体管共发射极放大电路

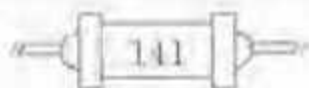
## 五、场效应晶体管放大电路

### 1. 场效应晶体管的特点和类型

场效应晶体管(FET)不同于普通晶体管,它属于电压控制型器件,而普通晶体管是电流控制型器件。场效应晶体管具有输入阻抗大、噪声小和功耗低等优点,在各种电子线路中的应用极其广泛。

场效应晶体管按结构可分为结型和绝缘栅型 2 类。结型场效应晶体管(JFET)按导电沟内导电类型的不同,又分为 N 沟道和 P 沟道 2 种场效应晶体管,均属于耗尽型。绝缘栅型场效应晶体管也称 MOS 场效应晶体管(MOSFET),它的栅极与导电沟之间是相互绝缘的,输入电阻极大。MOS 场效应晶体管分为耗尽型和增强型。它们又分 N 沟道型和 P 沟道型,2 种类型的区别在于栅极偏压的正、负极性相反,同时输出电流的方向也相反。另外,目前用得比较多的还有双栅 MOS 场效应晶体管,这类场效应晶体管有 2 个栅极( $G_1$ 、 $G_2$ )都能起控制作用。

场效应晶体管的电路符号如图 3-14 所示,部分场效应晶体管的外形如图



1-67、图 1-71 所示。

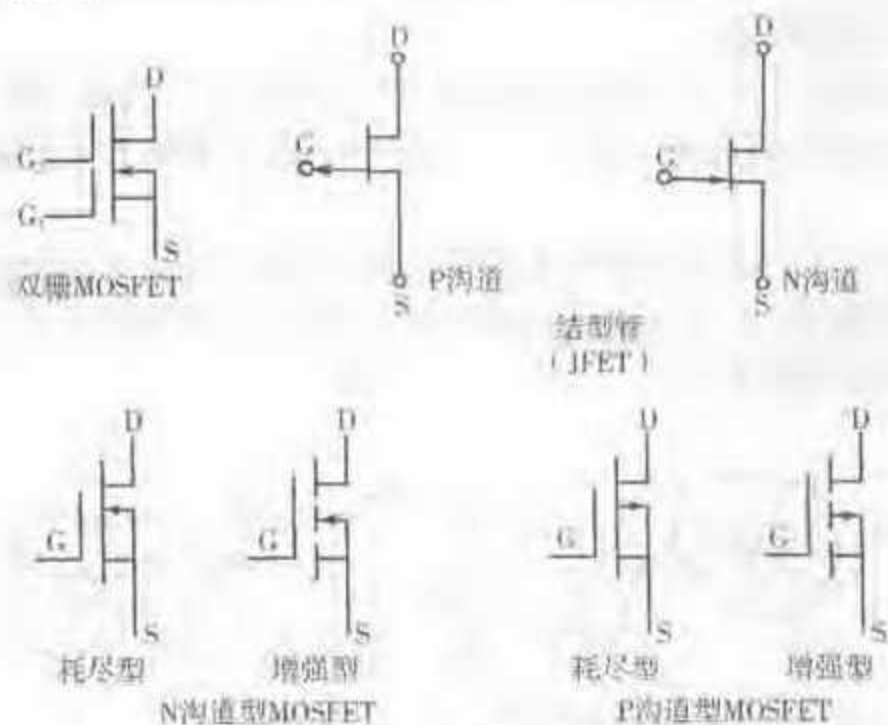


图 3-14 场效应晶体管的电路符号

## 2. 场效应晶体管放大器偏置电路

在场效应晶体管放大电路中,也需要根据各种场效应晶体管的特性设置不同的偏压来确定工作点。例如,对结型场效应晶体管(JFET)而言,N沟道场效应晶体管与P沟道场效应晶体管的转移特性是不同的(图 3-15),所以偏压的极性也是不同的。N沟道型管应加负偏压( $-3\text{V}$ ),P沟道型管需加正偏压( $+3\text{V}$ ),即要求栅源偏压极性与漏源电压极性相反。

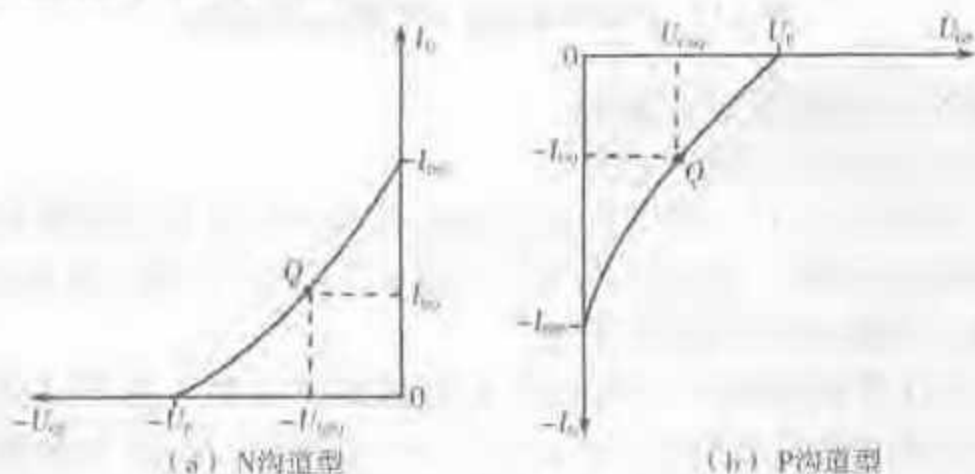


图 3-15 结型场效应晶体管的转移特性

$I_D$ —漏极电流;  $I_{DSS}$ —饱和漏极电流;  $U_{GS}$ —栅源电压;  $U_P$ —夹断电压(或记  $U_{GS(off)}$ );  $Q$ —静态工作点;  $U_{GSQ}$ 、 $I_{DQ}$ —对应工作点的偏压和偏流

另外,如增强型 MOS 场效应晶体管要求栅源偏压极性与漏源电压极性相同,其中 N 沟道型管的栅源偏压( $\approx 6\text{V}$ )与漏源电压的极性均应为正,而 P 沟道型管的栅源偏压( $\approx -6\text{V}$ )与漏源电压的极性均应为负。又如耗尽型 MOS 场效应晶



体管要求栅源偏压为零。

各种类型场效应晶体管特性曲线如图 3-16 所示。

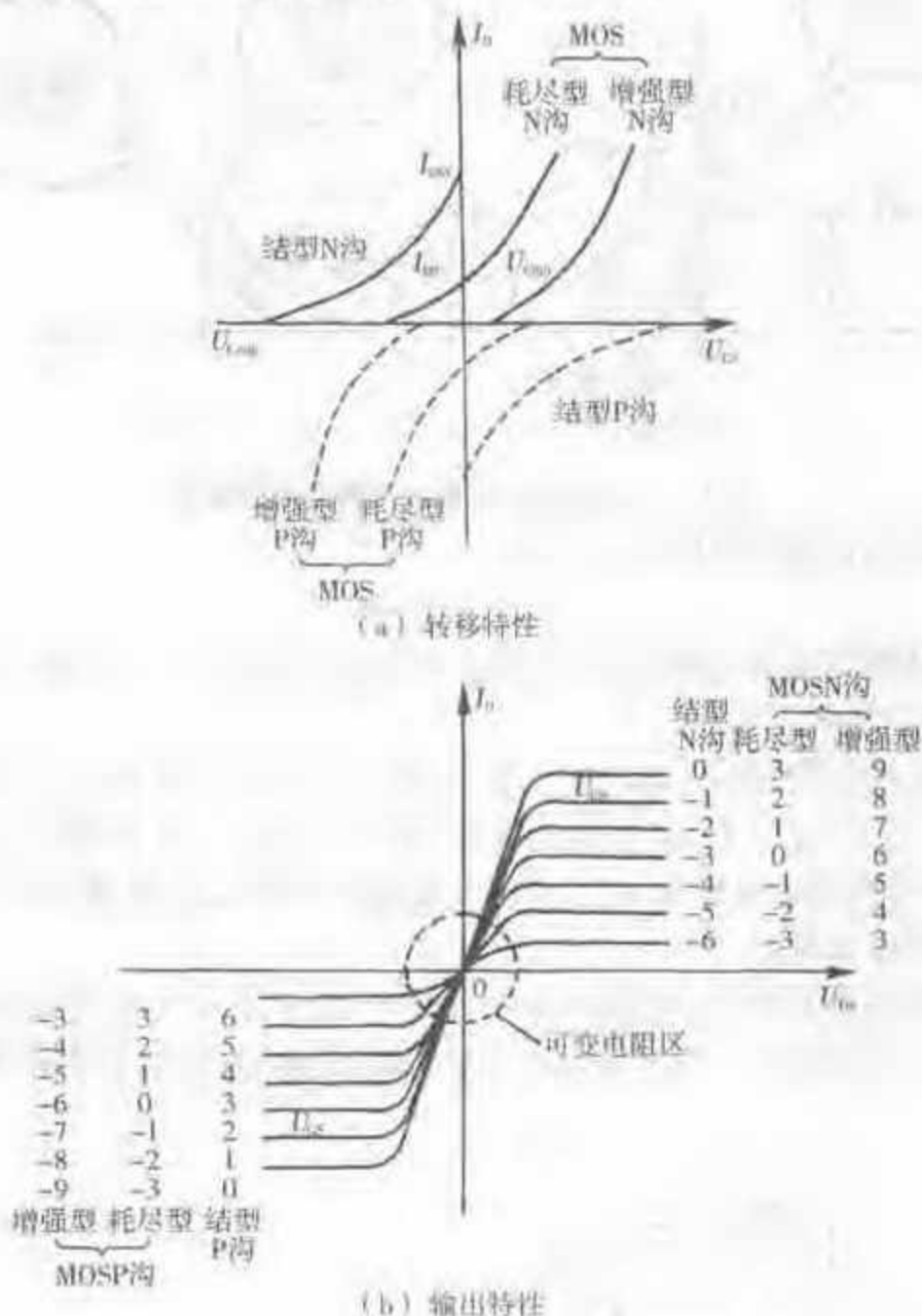


图 3-16 各种类型场效应晶体管特性曲线

$U_{GS}$ -栅源电压;  $U_{DS}$ -漏源电压;  $I_D$ -漏极电流;  $I_{DSS}$ -饱和漏极电流;  $I_{D0}$ -零偏压漏极电流;  $U_{GS(off)}$ -夹断电压(或记  $U_p$ );  $U_{GS(th)}$ -开启电压

(1) 自给偏压电路。自给偏压(简称自偏压)式电路仅适用于结型和耗尽型 MOS 场效应晶体管,如图 3-17(a)所示,对应静态工作点  $Q_1$ (结型 N 沟道场效应晶体管)、 $Q_2$ (耗尽型 N 沟道 MOS 场效应晶体管)如图 3-17(b)所示。

电路中接在结型场效应晶体管(JFET)的源极 S 与“地”(⊥)之间的  $R_S$  为自偏压电阻,与其并联的  $C_S$  为旁路电容(提供交流通路)。由于静态漏极电流  $I_{DQ}$  通过  $R_S$ ,所以在  $R_S$  上产生的压降为  $I_{DQ}R_S$ ,通过栅极电阻  $R_G$  将此压降加在栅极(G)和

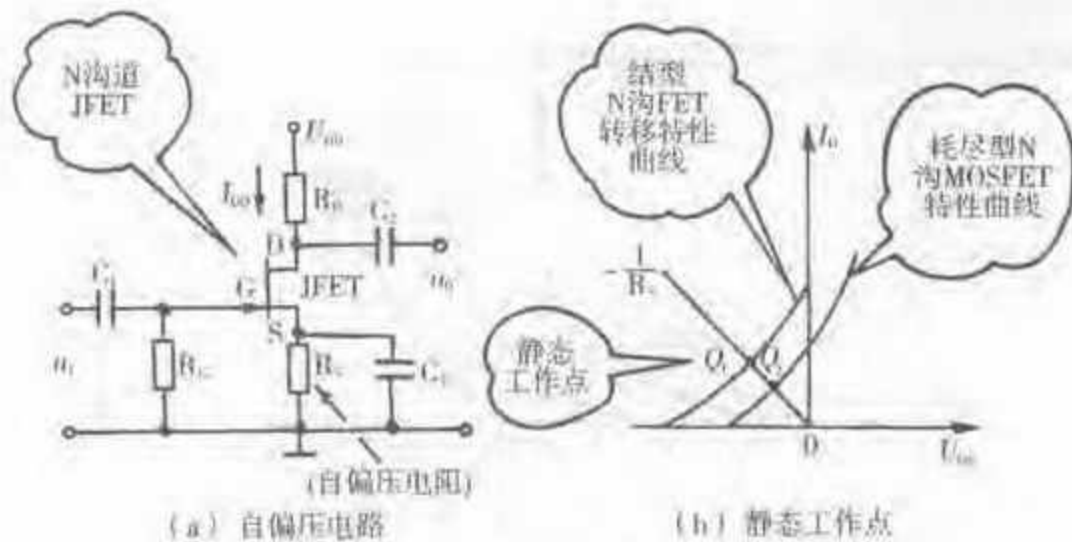


图 3-17 场效应晶体管放大器自偏压电路

源极(S)之间,所以静态时栅源电压为:

$$U_{GSQ} = -I_{DQ}R_S$$

因场效应晶体管是电压控制型器件,静态时栅极电阻  $R_G$  上无电流,  $R_G$  上压降为零,所以上述关系式成立。

自偏压电路还能起到自动稳定工作点的作用,如果由于温度上升而引起  $I_{DQ}$  增加,则从上述  $U_{GSQ}$  与  $I_{DQ}$  的关系式可知,将会引起  $U_{GSQ}$  负值增加;又从图 3-17 (b)所示转移特性曲线可推知,  $U_{GSQ}$  的负值增加将引起  $I_{DQ}$  值下降,因此  $I_{DQ}$  值的变化受到限制而保持稳定。

一个自偏压式共源放大电路的实例如图 3-18 所示。因  $R_1$  阻值很高,所以输入耦合电容  $C_1$  值可较小。但该电路并未选定结型场效应晶体管的具体型号,作为

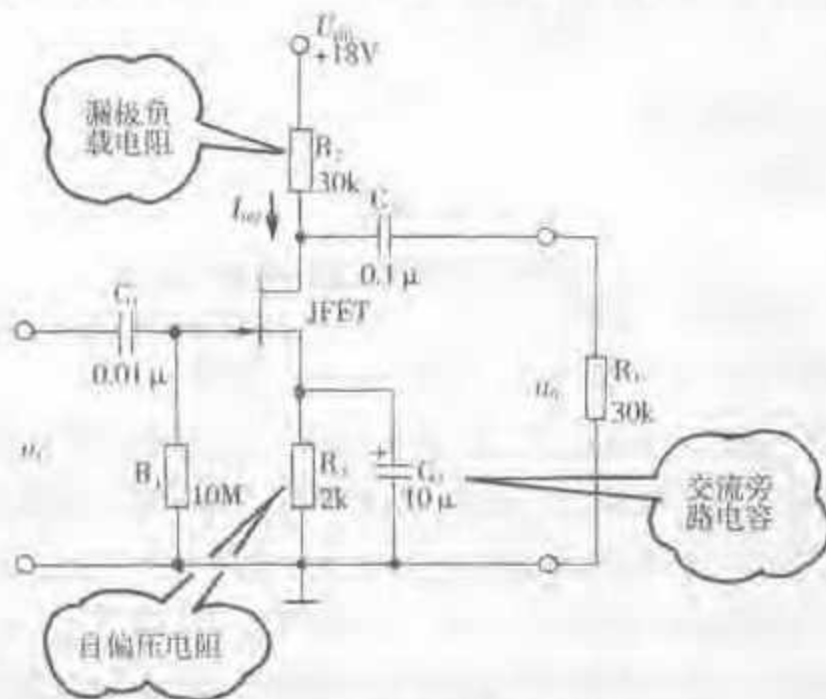


图 3-18 自偏压式共源放大电路实例



实用性电路在此仅供参考。该电路中  $R_3$  为自偏压电阻,  $C_2$  是  $R_3$  的交流旁路电容,  $R_2$  为漏极电阻,  $R_1$  为负载电阻, 图中选取  $R_2 = R_1$  是为了达到阻抗匹配的目的。

用场效应晶体管构成的话筒前置放大电路如图 3-19 所示。该电路中采用 3DJ 系列 N 沟道结型场效应晶体管, 有多种型号可供选用, 如 3DJ2D、3DJ4D、3DJ6H、3DJ7F、3DJ8K、3DJ9I 等。它们的主要参数(技术指标)可从电子元器件手册中查到。图中  $R_3$  ( $8.2\text{k}\Omega$ ) 为自偏压电阻,  $C_3$  ( $1\mu\text{F}$ ) 是  $R_3$  的交流旁路电容。

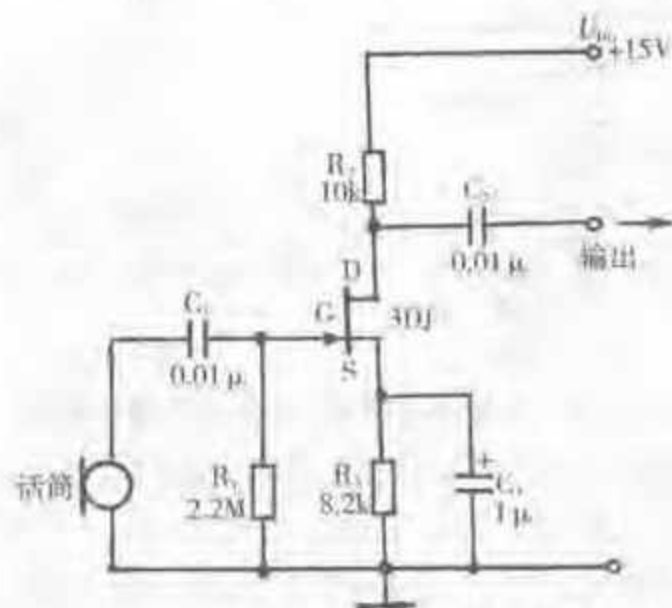


图 3-19 用场效应晶体管构成话筒前置放大电路

图 3-20 所示为场效应晶体管声控电路前置放大级, 该电路结构形式与图 3-19 所示电路完全相同, 只是阻容元件的标称值有所不同, 放大器件也是采用 N 沟道结型场效应晶体管, 但具体型号是选用 2N4868 型。  $R_3$  ( $5\text{k}\Omega$ ) 为自偏压电阻,  $C_3$  ( $50\mu\text{F}$ ) 是  $R_3$  的交流旁路电容。

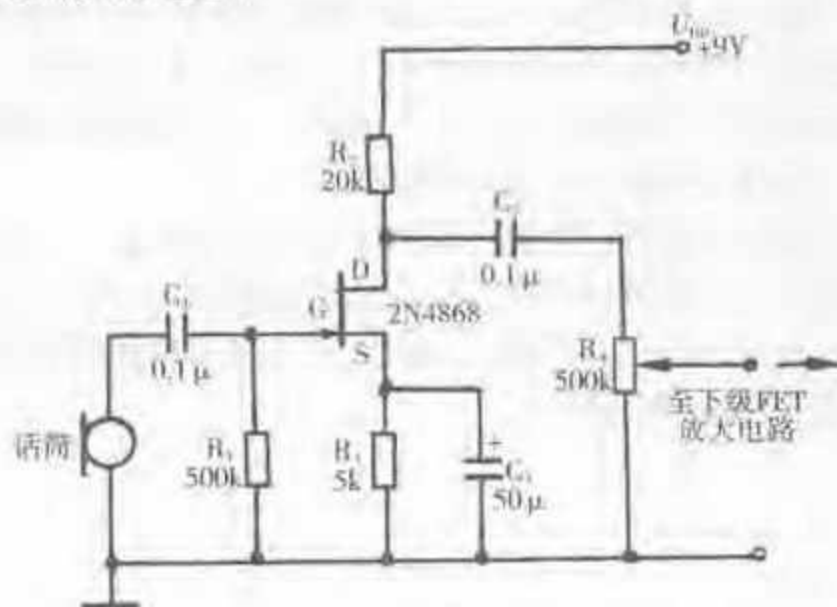


图 3-20 场效应晶体管声控电路前置放大级





(2) 混合偏压电路。混合偏压电路也称分压式稳定工作点偏置电路,它适用所有场效应晶体管。但必须注意,对N沟道结型场效应晶体管放大电路,采用混合偏压时,也须保证 $U_{GSQ} < 0$ 。

场效应晶体管放大器混合偏压电路如图3-21(a)所示,对应工作点 $Q_1'$ 、 $Q_2'$ 、 $Q_3'$ 如图3-21(b)所示。

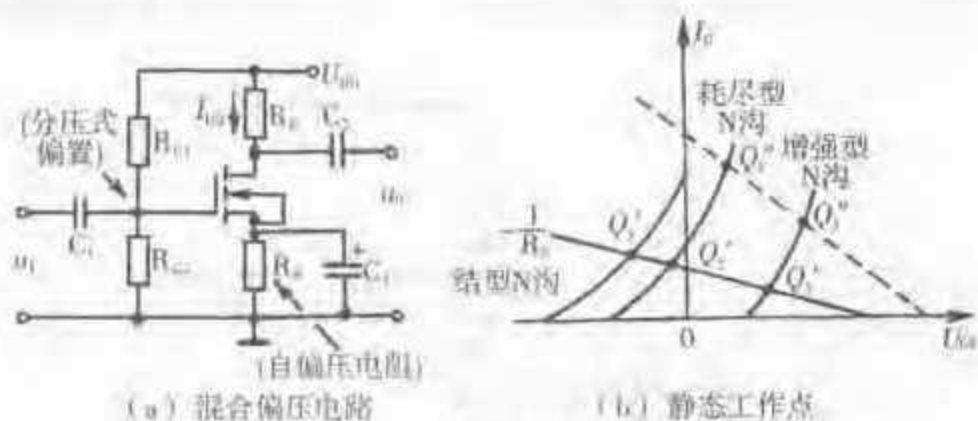


图3-21 场效应晶体管放大器混合偏压电路

在该混合偏压电路中 $R_{G1}$ 、 $R_{G2}$ 串联后与电源并联,分压点接至场效应晶体管栅极(G),G对地的电压为 $U_{GQ} = U_{DD} R_{G2} / (R_{G1} + R_{G2})$ ,可见栅极上电压极性为正。同时自偏压电阻 $R_S$ 上产生的压降为 $I_{DQ} R_S$ ,使场效应晶体管源极(S)对“地”的电压为 $U_{SQ} = I_{DQ} R_S$ ,可见源极上电压极性也为正。因为混合偏压 $U_{GSQ} = U_{GQ} - U_{SQ}$ ,所以当 $U_{GQ} > U_{SQ}$ 时, $U_{GSQ}$ 为正值;当 $U_{SQ} > U_{GQ}$ 时, $U_{GSQ}$ 为负值。综上所述,可得出混合偏压 $U_{GSQ}$ 的具体关系式为:

$$U_{GSQ} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} U_{DD} - I_{DQ} R_S$$

可见,上式若 $U_{DD}$ 保持不变,根据不同类型场效应晶体管放大电路偏压的要求,适当选取 $R_S$ 、 $R_{G1}$ 或 $R_{G2}$ 的阻值,就能使偏压 $U_{GSQ}$ 值可正、可负或为零。所以,混合偏压电路适用所有场效应晶体管构成的放大电路。由于混合偏压电路中包含自偏压电阻 $R_S$ ,因此也具有自动稳定工作点的作用。

图3-22所示为混合偏压场效应晶体管放大电路实例之一。其中 $R_{G1}$ 、 $R_{G2}$ (均为 $1.5\text{M}\Omega$ )构成分压式偏置电路, $R_S$ ( $10\text{k}\Omega$ )为自偏压电阻, $C_S$ ( $47\mu\text{F}$ )为 $R_S$ 的交流旁路电容。 $C_1$ 、 $C_2$ 分别为输入、输出耦合电容,可以通过交流信号而直流电压则被隔开。 $R_D$ ( $5.1\text{k}\Omega$ )为漏极负载电阻。

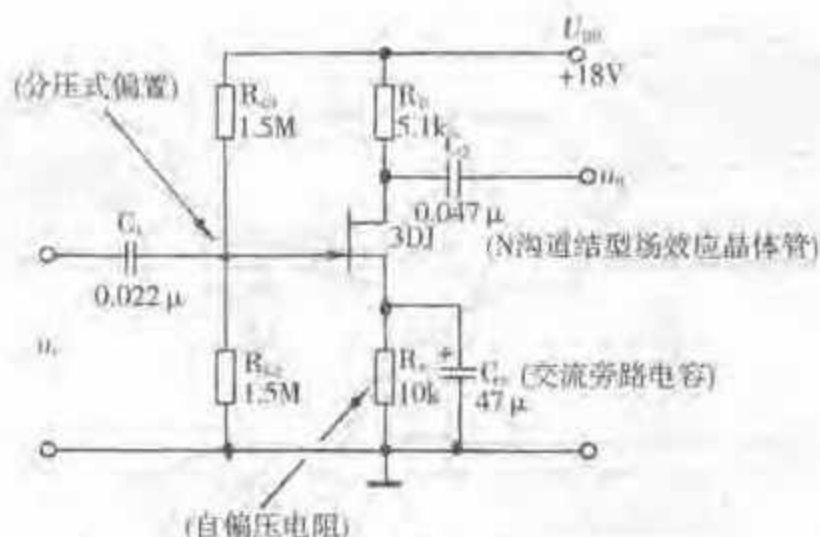


图 3-22 混合偏压场效应晶体管放大电路实例之一

混合偏压放大电路实例之二如图 3-23 所示。该电路为提高输入电阻,在分压点与栅极之间串入电阻器  $R_{G3}$  ( $10\text{M}\Omega$ ),其余部分的电路结构形式与图 3-22 所示完全相同。

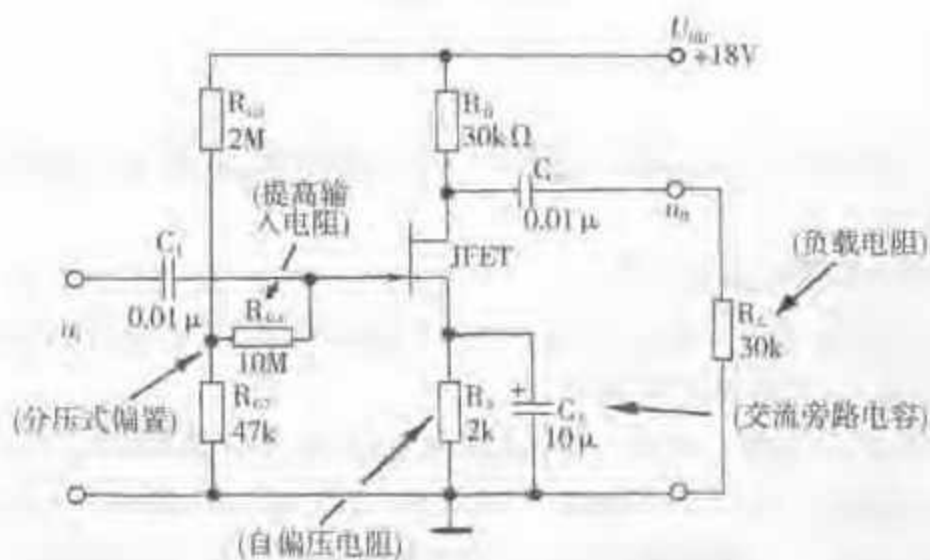


图 3-23 混合偏压放大电路实例之二

### 3. 场效应晶体管与晶体管混合放大电路

场效应晶体管与晶体管混合放大电路如图 3-24 所示。由图可见,  $V_1$  为 N 沟道结型场效应晶体管,  $V_2$  为 NPN 型普通晶体管,  $V_1$  的源极直接接到  $V_2$  的基极,  $V_2$  发射极设有自偏压电阻  $R_E$ , 自偏压通过  $R_G$  加至  $V_1$  的栅极。  $C_D$  为  $R_E$  的交流旁路电容,  $R_C$  为  $V_2$  的集电极负载电阻,  $R_G$  为  $V_1$  的栅极漏电阻(可防止栅极因感应电荷积累发生击穿),  $R_L$  为负载电阻, 通常  $R_C \approx R_L$ 。

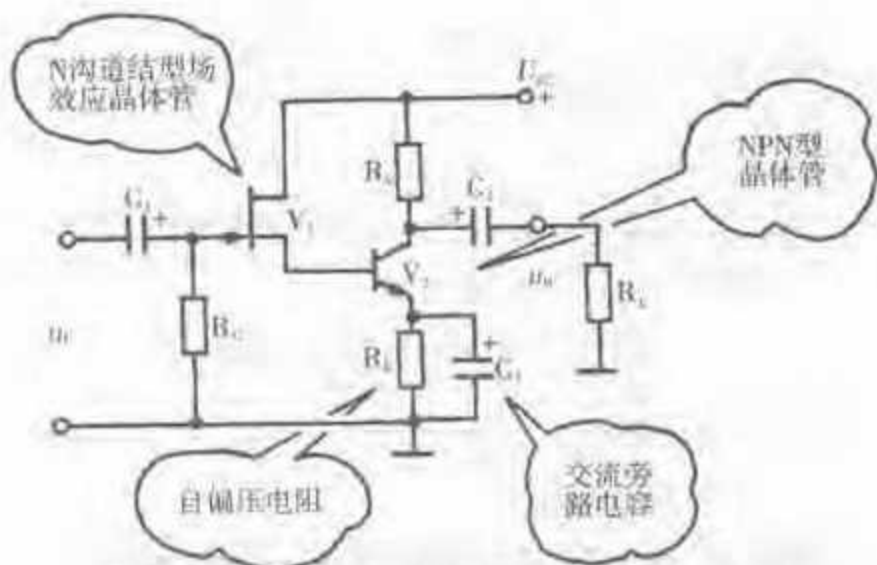


图 3-24 场效应晶体管与晶体管混合放大电路

设  $V_1$  构成第一级电路的电压放大倍数为  $A_{u1}$ , 由  $V_2$  构成第二级电路的放大倍数为  $A_{u2}$ , 则混合放大电路的电压放大倍数为:

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2}$$

输入电阻为:

$$R_i = R_1$$

输出电阻为:

$$R_o \approx R_C$$

这种混合电路的特点是: 输入电阻相当大而输出电阻较小, 电压放大倍数高, 电路结构简单。

#### 4. 共栅极和共漏极放大电路

作为场效应晶体管的 3 种基本状态放大电路, 除前面介绍过的共源极放大电路外, 还有共栅极和共漏极放大电路。

(1) 共栅极放大电路。场效应晶体管共栅极放大电路如图 3-25 所示。N 沟道结型场效应晶体管(JFET)的栅极(G)作为公共“地”端, 源极(S)通过耦合电容  $C_1$  作为输入端, 漏极(D)通过耦合电容  $C_2$  作为输出端。  $R_s$  为源极输入电阻,  $R_D$  为漏极负载电阻。静态漏电流从电源正极经  $R_D$ 、 $R_s$  至地, 因此自置偏压  $U_{GSQ} = -I_{DQ}R_s$ 。共栅放大电路的电压放大倍数  $A_u$  可用下式表示:

$$A_u \approx g_m \frac{R_D \cdot R_i}{R_D + R_i}$$

式中  $g_m$  为场效应晶体管的主要参数之一, 称为跨导。它表示漏源电压一定时, 栅源电压变化量与由此而引起的漏电流变化量之比, 即  $g_m = \Delta I_D / \Delta U_{GS}$ 。N 沟道结型场效应晶体管的  $g_m$  一般为  $2 \sim 4 \text{ mA/V}$ ,  $g_m$  越大, 表示该场效应晶体管的放大能力越强。

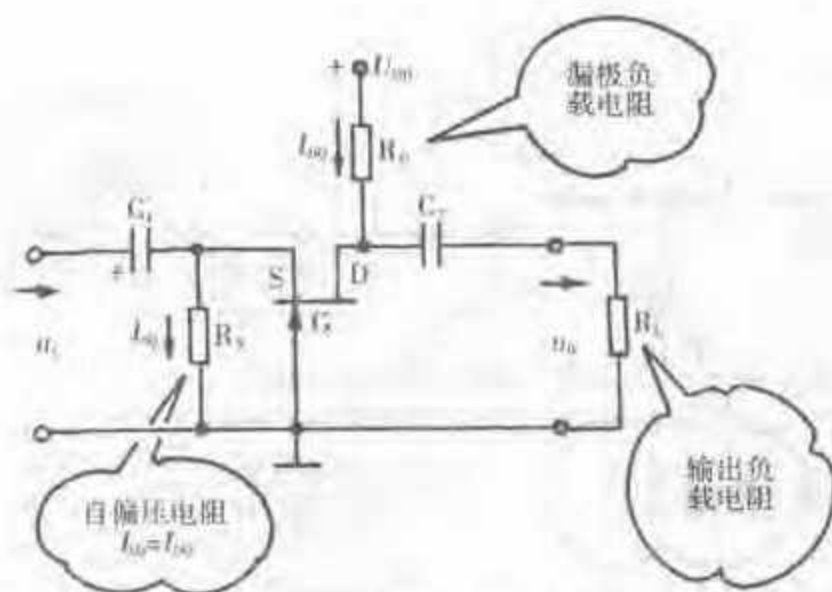


图 3-25 场效应晶体管共栅极放大电路

例如,若  $g_m = 3.5 \text{ mA/V}$ ,  $R_D = R_L = 20 \text{ k}\Omega$ ,则可算出该共栅极放大电路的电压放大倍数约为:

$$A_U \approx g_m \frac{R_D \cdot R_L}{R_D + R_L} \\ = 3.5 \times 10^{-3} \times 20 \times 20 \times 10^3 / (20 + 20) \times 10^3 = 35$$

共栅极放大电路的输入电阻小,近似等于场效应晶体管跨导的倒数,可用下式表示:

$$R_i \approx \frac{1}{g_m}$$

$$\text{例如,若 } g_m = 4.0 \text{ mA/V, 则 } R_i \approx \frac{1}{4 \times 10^{-3}} = 250 (\Omega)$$

共栅极放大电路的输出电阻与共源极放大电路的输出电阻相当,近似等于漏极电阻,即  $R_o \approx R_D$ 。共栅极放大电路输入、输出信号同相,常作为电流跟随器在高频放大电路中使用。

(2) 共漏极放大电路。场效应晶体管共漏极放大电路如图 3-26 所示。可见, N 沟道结型场效应晶体管的源极(S)要经过  $R_S$  至公共“地”端,而漏极(D)直接接到电源  $U_{DD}$  的正极,通过电源到公共“地”端(图中省去不画)。因为电源内阻通常很小,且实际电路总是在电源两端接上一只交流旁路电容,因此对交流放大电路而言,电源内阻可以忽略。于是在图 3-26 所示的电路中,场效应晶体管的漏极等效接地。而源极(S)接负载电阻  $R_S$ ,源极并不接地(请注意  $R_S$  无旁路电容)。静态漏极电流  $I_{DQ}$  流过  $R_S$  产生的压降成为该场效应晶体管的自置偏压,即  $U_{GSQ} = -I_{DQ}R_S$ ,这与共源极放大电路中的自置偏压一样。可见,这里  $R_S$  起双重作用,既作为源极负载电阻,又作为栅源自偏压电阻。

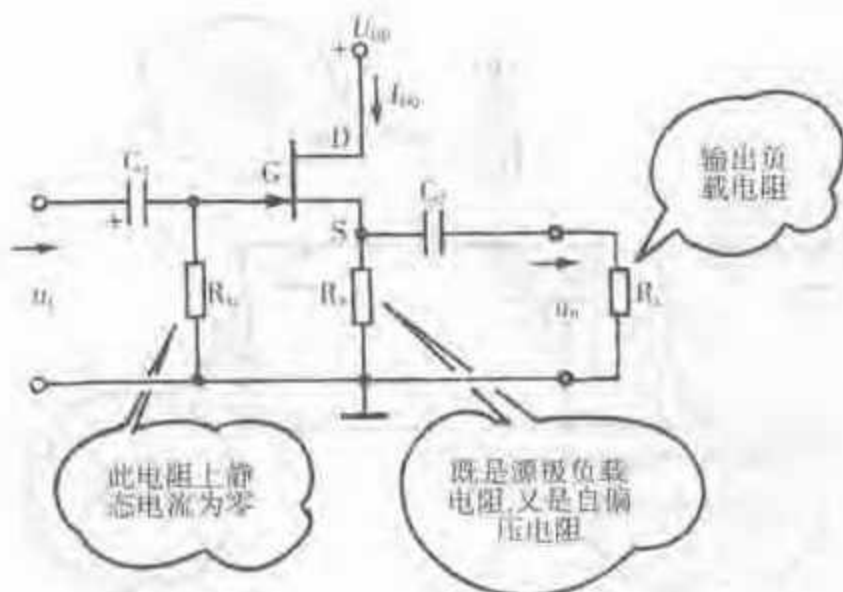


图 3-26 场效应晶体管共漏极放大电路

共漏极放大电路的电压放大倍数  $A_U < 1$ , 输入、输出信号同相。输入电阻  $R_i \approx R_G$  可以相当大, 而输出电阻  $R_o \approx 1/g_m$  是比较小的 (与共栅极放大电路的输入电阻相当),  $g_m$  为场效应晶体管的跨导。因 N 沟道结型场效应晶体管的  $g_m$  一般在  $2 \sim 4 \text{ mA/V}$  之间, 由此可见共漏输出电阻  $R_o$  约在  $250 \sim 500 \Omega$  之间。所以, 共漏极放大电路常作为电压跟随器使用。

## 六、多级放大电路

### 1. 晶体管多级低频放大电路

阻容耦合晶体管多级低频放大电路如图 3-27 所示。

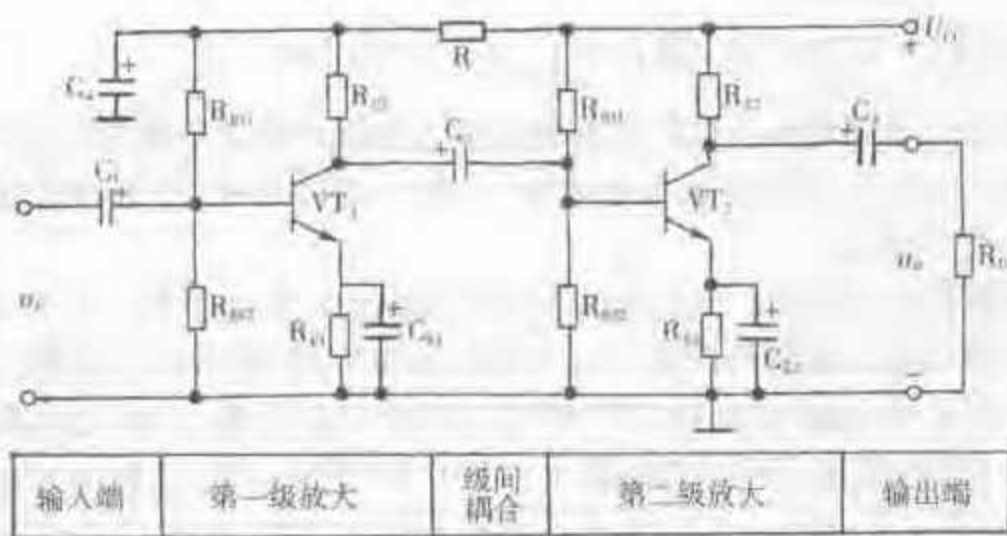


图 3-27 晶体管多级低频放大电路

可见由晶体管  $VT_1$ 、 $VT_2$  分别构成具有混合偏压的 2 个阻容耦合共射极放大电路,  $VT_1$  为第一级放大,  $VT_2$  为第二级放大。其基本工作原理是: 交流输入信号  $u_i$  通过耦合电容  $C_1$  加在第一级放大电路晶体管  $VT_1$  的基极, 经过第一级放大电路放大后, 从  $VT_1$  的集电极输出一级放大信号, 然后通过耦合电容  $C_2$  将此放大信号



加在第二级放大电路晶体管  $VT_2$  的基极上, 经过第二级放大电路放大后, 从  $VT_2$  的集电极输出二级放大信号, 并通过耦合电容  $C_2$  将输出信号加在负载  $R_L$  上。电阻器  $R$  和电容器  $C_1$  构成去耦电路, 防止多级放大电路因增益高可能通过电源引起寄生耦合, 从而产生自激振荡。

若第一级放大电路的电压放大倍数为  $A_{U1}$ , 第二级放大电路的电压放大倍数为  $A_{U2}$ , 那么两级放大电路的电压放大倍数为  $A_U = A_{U1} \cdot A_{U2}$ 。

## 2. 场效应晶体管多级低频放大电路

阻容耦合场效应晶体管多级低频放大电路如图 3-28 所示。可见, 由 N 沟道结型场效应晶体管 JFET<sub>1</sub> 和 JFET<sub>2</sub> 分别构成具有混合偏压的阻容耦合低频放大电路, 它们的电路结构形式完全一样, 通过耦合电容  $C_2$  将这 2 个放大电路串联起来, 构成场效应晶体管多级放大电路(这里仅两级)。其中电阻器  $R_1$  和电容器  $C_1$  构成去耦电路, 防止多级共源放大电路产生自激振荡。整个放大电路的工作原理与前面所述(图 3-27)晶体管多级放大电路类同, 但场效应晶体管具有高输入电阻及低功耗的突出优点。

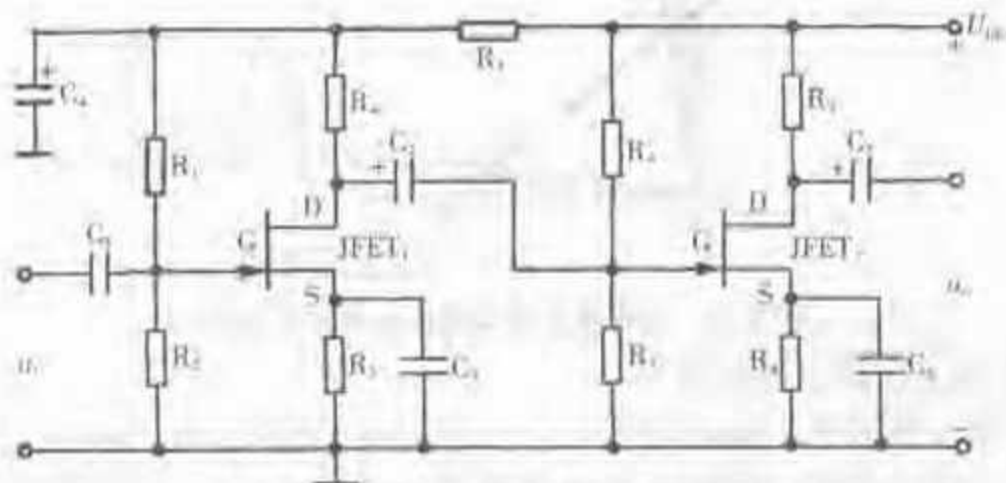


图 3-28 场效应晶体管多级低频放大电路

## 第二节 晶体管低频功率放大电路

功率放大器的主要任务是放大信号的功率, 它的输入、输出电压和电流都比较大, 是大信号放大器。

### 一、功率放大电路的工作状态

根据功率放大晶体管静态工作点  $Q$  在交流负载线上的位置不同, 功率放大可分为甲类、乙类和甲乙类 3 种不同的工作状态, 如图 3-29 所示。图中  $AB$  为交流负载线, 阴影部分为非放大区(饱和或截止), 放大区中输出特性曲线未画。

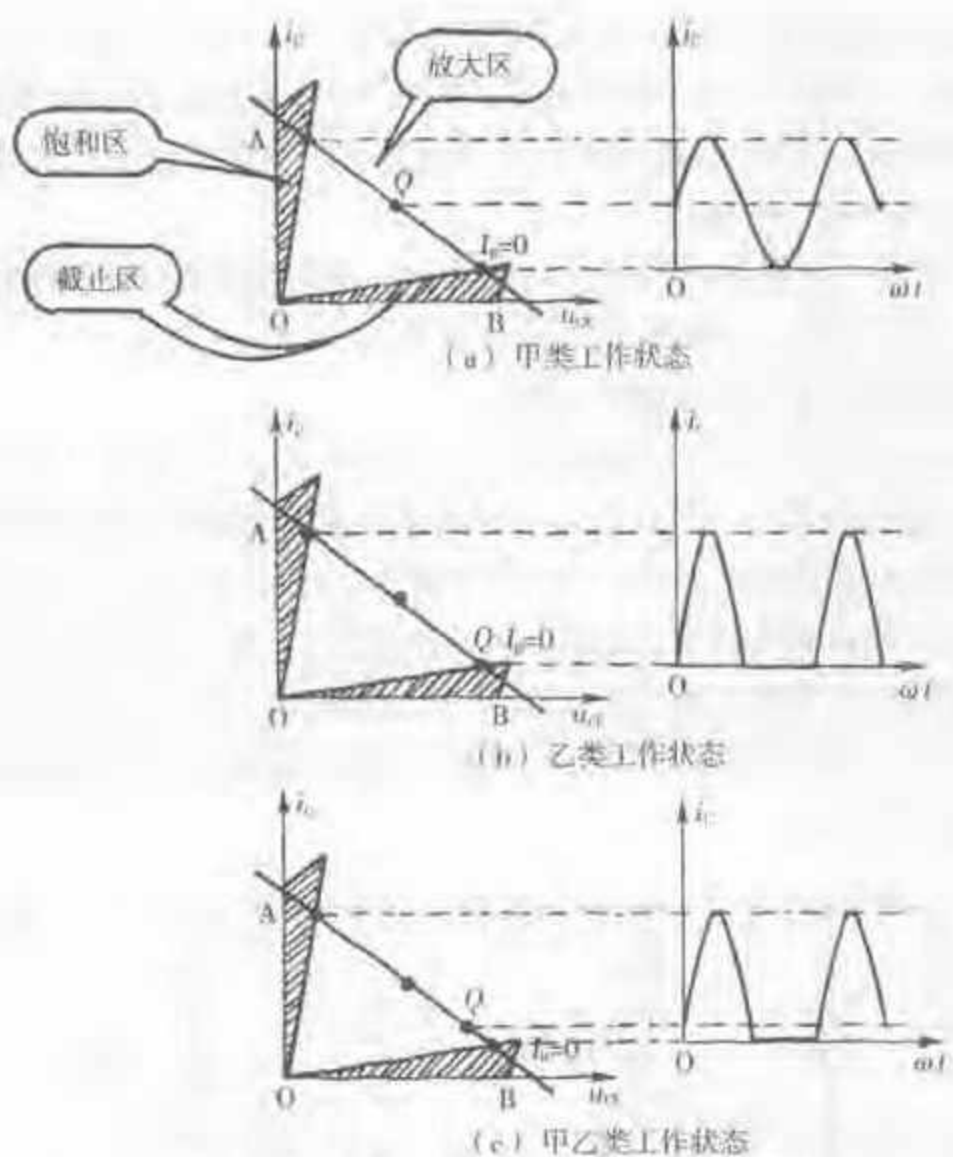


图 3-29 功率放大晶体管的三种工作状态

现对 3 种工作状态说明如下：

(1) 甲类工作状态。静态工作点  $Q$  在交流负载线的中点，如图 3-29(a) 所示。可见，在输入信号的整个周期内，晶体管都处于放大状态。其优点是输出信号失真小、波形完整、无削波现象。其缺点是静态电流大、效率低。

(2) 乙类工作状态。静态工作点  $Q$  在交流负载线和基极电流  $I_B=0$  时的输出特性曲线交界处(临界截止区)，如图 3-29(b) 所示。因此，在输入信号的整个周期内，晶体管只有半个周期在放大区工作，另半个周期在截止区，放大电路只有半波输出。如果由 2 只晶体管组合交替工作，则可放大完整的全波信号。这种放大电路的静态电流几乎为零，效率高。

(3) 甲乙类工作状态。静态工作点  $Q$  在交流负载线上略高于乙类工作点处，如图 3-29(c) 所示。可见，其输出波形比乙类放大输出的削波程度要小些(不是把整个半周期波形全削掉)。甲乙类放大电路的静态电流仍较小，效率仍较高。



## 二、单管变压器耦合功率放大电路

### 1. 电路结构

单管变压器耦合功率放大电路如图 3-30 所示。通常是将它设定为甲类工作状态。

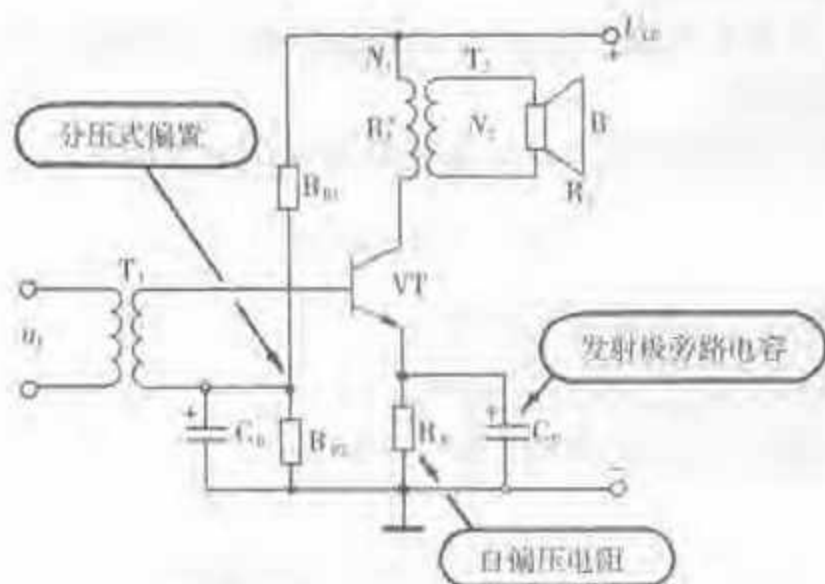


图 3-30 单管变压器耦合功率放大电路

图中  $T_1$ 、 $T_2$  为输入、输出变压器，它们起隔离直流和阻抗匹配的作用。NPN 型晶体管 VT 是唯一起功率放大作用的器件。B 为扬声器（负载电阻  $R_L$ ）。电阻器  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  和  $R_E$  构成分压式电流负反馈偏置电路，用来设置并稳定晶体管的静态工作点。 $C_E$  是负反馈偏置电阻（发射极电阻） $R_E$  的旁路电容， $C_B$  是分压式下偏置电阻  $R_{B2}$  的旁路电容，它们为交流信号提供通路，减小损耗，同时也使静态工作点不受动态工作影响。

### 2. 电路工作原理

当输入信号  $u_i$  为 0 时，电路处于静态，晶体管 VT 的集电极电流  $I_C = I_{CQ}$ （静态工作点 Q 对应的集电极电流），此时输出变压器  $T_2$  初级绕组只通过直流电流  $I_{CQ}$ ，所以次级绕组无输出，连接在次级绕组上的负载电阻  $R_L$  上没有电流流过。

当输入信号  $u_i$  不为 0 时， $u_i$  经过输入变压器  $T_1$  和发射极旁路电容  $C_E$ 、分压式偏置旁路电容  $C_B$  在 VT 的基极和发射极之间加上随时间而变化的电压，于是就产生变化的基极电流  $i_b$ ， $i_b$  经 VT 放大后就产生变化幅度较大的集电极电流  $i_c$ ， $i_c$  通过变压器  $T_2$  的初级绕组，使次级绕组得到感应电流以驱动负载  $R_L$  工作（扬声器 B 放音），在负载上消耗的功率要比电路的输入功率大若干倍，这是由于晶体管起功率放大作用的结果。当然，负载上消耗的能量是从电源  $U_{CC}$  吸取而非晶体管产生。

在一般情况下，负载电阻  $R_L$  小于变压器  $T_2$  初级等效电阻  $R'_L$ ，阻抗不匹配。但只要合理选择变压比  $n = N_1/N_2$ （初、次级匝数比），就可达到阻抗匹配。变压比  $n$  由下式选定：

$$n = \sqrt{R'_L/R_L}$$





### 3. 电路的输出功率及效率

(1) 输出功率。当输入信号  $u_i$  较小时, 电路的输出功率将随  $u_i$  增大而成倍地增大。但当输入信号再增大时, 晶体管集电极电流  $i_c$  的波形及集射极电压  $u_{ce}$  的波形会出现饱和失真或截止失真。

在保持输出不失真的条件下, 使电路满额使用状态时(图 3-31)的输出功率称为最大不失真输出功率。

甲类功率放大电路的最大不失真输出功率可由下式估算:

$$P_{om} = \frac{1}{2} I_{CQ} \cdot U_{CE}$$

式中  $P_{om}$ ——最大不失真输出功率, W;

$I_{CQ}$ ——晶体管集电极静态电流, A;

$U_{CE}$ ——功放电路的直流电源电压, V。

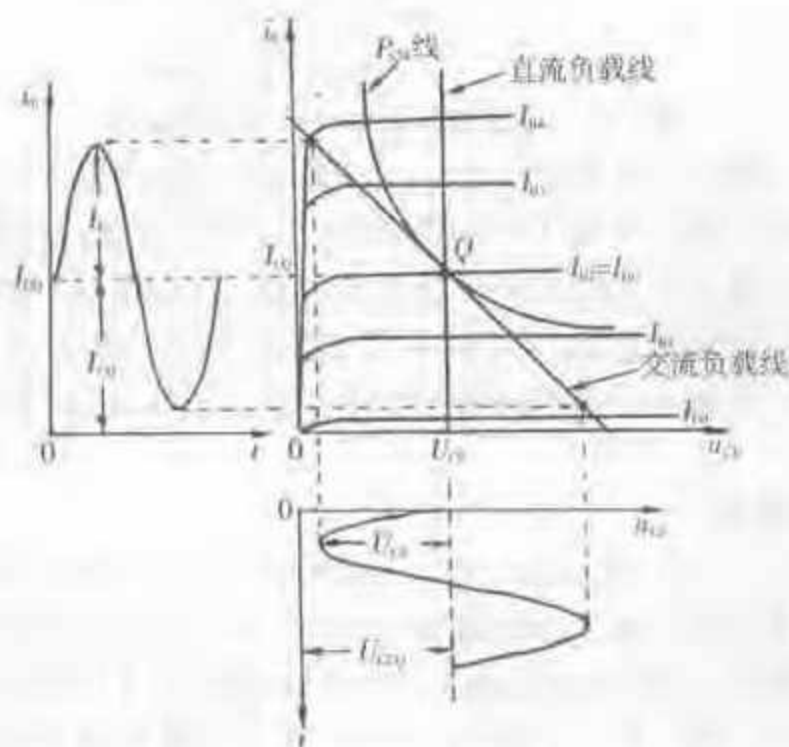


图 3-31 功放电路不失真满额工作状态图示

Q—静态工作点;  $I_{BQ}$ —基极静态电流;  $I_{CQ}$ —集电极静态电流;  $I_c$ —集电极瞬时电流峰值;  $u_{ce}$ —集射极瞬时电压;  $i_c$ —集电极瞬时电流;  $u_{ce}$ —集射极瞬时电压峰值;  $U_{CEQ}$ —集射极静态电压;  $P_{CM}$ —最大允许耗散功率

例如, 某个甲类功放电路的电源电压为 6V, 静态时功放管集电极电流为 25mA, 则该功放电路的输出最大不失真功率为:

$$P_{om} = \frac{1}{2} \times 25 \times 10^{-3} \times 6 = 75 \times 10^{-3} (\text{W}) = 75 \text{mW}$$

(2) 电路效率。因甲类功放电路从直流电源吸收的功率为  $P_{CC} = I_{CQ} \cdot U_{CC}$ , 它不随输入信号的有无或强弱而变化, 又因甲类功放电路的最大不失真输出功率为



$P_{om} = \frac{1}{2} I_{CQ} \cdot U_{CE}$ 。所以在理想情况下,甲类功放电路中的功放管集电极输出的最大效率为:

$$\eta_m = P_{om} / P_{CC} = \frac{1}{2} I_{CQ} U_{CE} / I_{CQ} U_{CE} = \frac{1}{2} = 50\%$$

但考虑到功放管及输出变压器的实际效率后,甲类功率放大电路的实际效率是比较低的,通常只有 30%~35% 左右。

因此,甲类功率放大工作状态通常仅在小功率放大电路中采用。

### 三、变压器耦合乙类功率放大电路

#### 1. 电路结构及工作原理

变压器耦合乙类推挽功率放大电路及工作波形如图 3-32 所示。

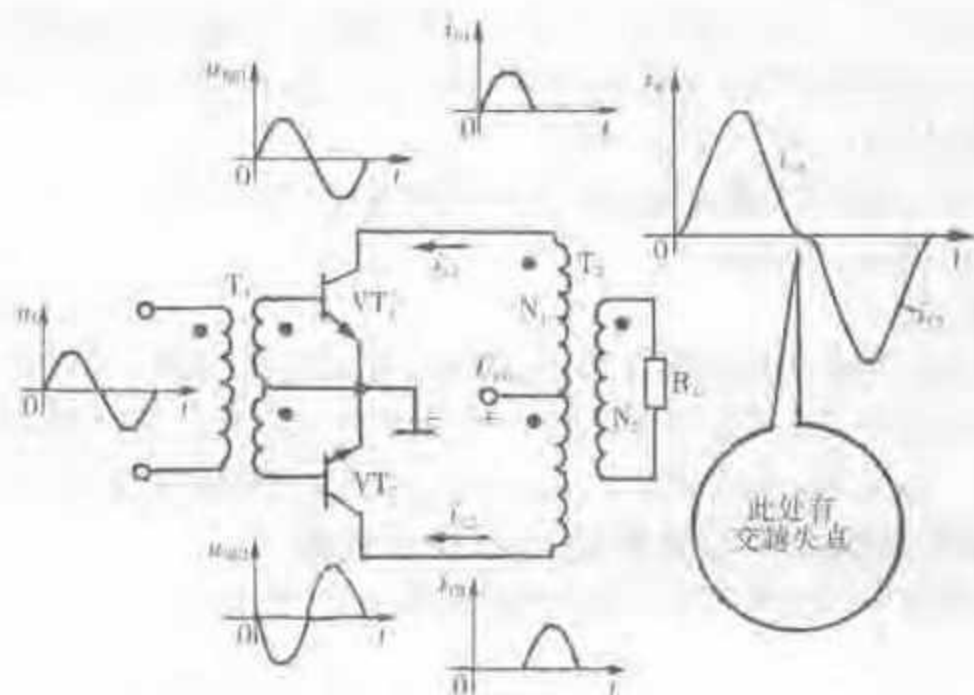


图 3-32 变压器耦合乙类推挽功率放大电路及工作波形

$u_1$ —输入交流信号; $u_{BE1}$ — $VT_1$ 的基极输入信号; $u_{BE2}$ — $VT_2$ 的基极输入信号; $i_{C1}$ — $VT_1$ 上的集电极放大半波电流; $i_{C2}$ — $VT_2$ 上的集电极放大半波电流; $i_L$ —负载  $R_L$  上的放大全波交流电流

图中  $VT_1$ 、 $VT_2$  为参数相同的一对 NPN 型功放晶体管,它们不加任何偏置电压,静态时基极和发射极之间的电压为 0,因此基极电流为 0,2 只晶体管均处于截止状态,集电极静态电流基本上也为 0。当交流信号  $u_1$  输入变压器  $T_1$  时,则在该变压器次级接基极的两端得到对“地”而言极性相反的 2 个交流信号,如图中  $u_{BE1}$ 、 $u_{BE2}$  所示。因此,晶体管  $VT_1$  导通时, $VT_2$  截止; $VT_2$  导通时, $VT_1$  截止。它们各自放大  $u_1$  中极性相反的半个周期信号,如图中  $i_{C1}$ 、 $i_{C2}$  所示。于是经变压器  $T_2$  输出,在负载上得到放大后的完整波形,如图 3-32 所示的  $i_L$ 。

#### 2. 电路输出功率和效率

(1) 输出功率。在理想状态下(不考虑晶体管的饱和压降和穿透电流),无切

峰失真,满额工作时,变压器耦合乙类推挽功率放大电路的最大输出功率可由以下公式来计算:

$$P_{om} = U_{CC}^2 / 2R'_L$$

$$R'_L = \left( \frac{N_1}{2N_2} \right)^2 R_L$$

式中  $P_{om}$ ——最大输出功率, W;

$R'_L$ ——每只功放管的等效交流负载电阻,  $\Omega$ ;

$U_{CC}$ ——功放电路的直流电源电压, V;

$N_1$ ——输出变压器初级绕组对应每只功放管的匝数;

$N_2$ ——输出变压器次级绕组匝数;

$R_L$ ——负载电阻,  $\Omega$ 。

(2) 电路效率。理论推导结果认为,乙类推挽功率放大电路的理想最大效率为 78%,但若考虑到功放晶体管的饱和压降及穿透电流等影响,实际上的效率有所下降,一般认为在 60%~70%之间。

前面讲过,甲类功率放大电路的实际效率通常只有 30%~35%,可见乙类推挽功率放大效率要比甲类高一倍左右。

### 3. 交越失真

乙类推挽功率放大电路输入为正弦波时,输出波形如图 3-32 中  $i_o$  所示,  $i_o$  在正半周与负半周交接处明显与正弦波不同,称为交越失真。其产生原因是由于功放管的静态工作点选在临界截止处 ( $I_{BQ} = 0$ ),由输入特性的非线性而造成的。

## 四、变压器耦合甲乙类推挽功率放大电路

变压器耦合甲乙类推挽功率放大电路如图 3-33 所示。

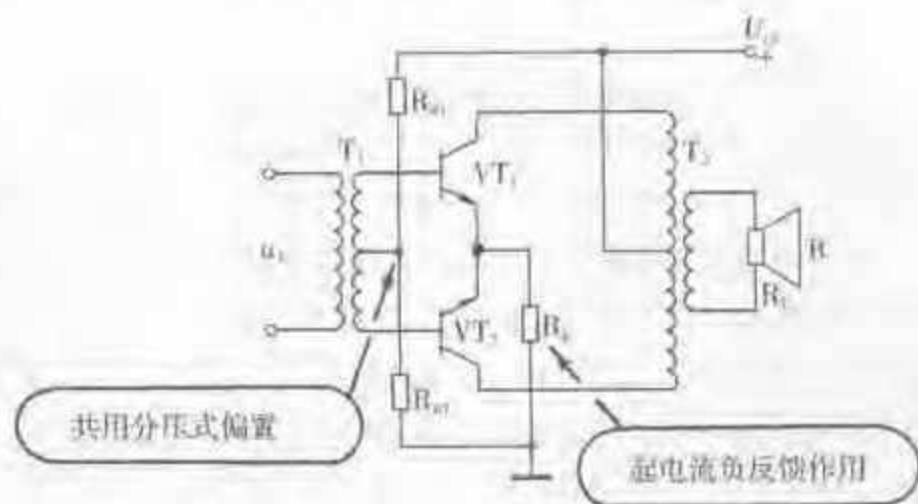


图 3-33 变压器耦合甲乙类推挽功率放大电路

图中  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  和  $R_E$  构成混合式偏置电路,为功放管  $VT_1$ 、 $VT_2$  提供小量的偏置电流  $I_{BQ}$ ,使它们的静态工作点介乎甲类和乙类放大之间,从而减少交越失真。



其中  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  构成分压式偏置电路,  $R_E$  为电流负反馈电阻。由于输入到功放管基极的交流信号流过  $R_{B2}$  至“地”时要损耗一部分, 因此  $R_{B2}$  的阻值应取小一些为宜。为了减少信号功率的消耗, 发射极电阻  $R_E$  的阻值需要取得更小一些, 一般小功率放大时取几欧姆, 大功率放大时取零点几欧姆。  $R_E$  不加旁路电容, 不仅对静态工作点起负反馈稳定作用, 也对交流信号放大起负反馈作用, 可以减少饱和失真。

功放管  $VT_1$ 、 $VT_2$  的参数应尽量一致, 适当调整  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  的比值, 可选定恰当的基极偏置电流  $I_{BQ}$  和集电极偏置电流  $I_{CQ}$ 。实际调整时, 通常取 2 只功放管的集电极静态电流之和为 2~4mA (将直流电流表串联到  $R_E$  与“地”之间)。

### 五、推挽 OTL 功放电路

OTL 电路是无输出变压器功放电路的简称。实际上, 用输出变压器的功放电路存在着体积大、传输损耗及频率失真显著等缺点, 采用 OTL 电路则可避免这些缺点。

#### 1. 倒相式推挽 OTL 功放电路

用输入变压器倒相的 OTL 推挽功放电路如图 3-34 所示。

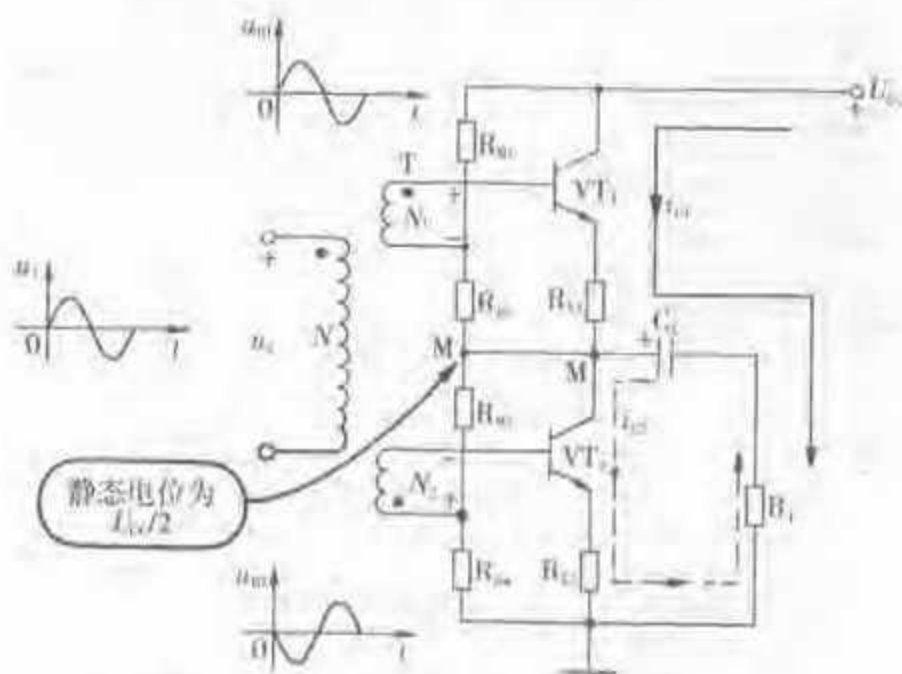


图 3-34 输入变压器倒相式推挽 OTL 功率放大电路

图中  $VT_1$ 、 $VT_2$  为特性参数一致的 NPN 型功放管。  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  及  $R_{E1}$  构成  $VT_1$  的偏置电路,  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  及  $R_{E2}$  构成  $VT_2$  的偏置电路, 它们应使这 2 只功放晶体管在静态时集电极电流  $I_{CQ}$  很小, 接近截止状态。发射极电阻  $R_{E1}$ 、 $R_{E2}$  起电流负反馈作用, 以稳定静态工作点并减少非线性失真。

输入变压器 T 具有 2 个次级绕组 ( $N_1$ 、 $N_2$ ), 将输入信号分别送到  $VT_1$  和  $VT_2$  的基极, 这 2 个信号的波形和幅度相同, 但相位是相反的, 如图中  $u_{B1}$ 、 $u_{B2}$  所示。

$C_c$  为输出耦合电容, 其容量一般取相当大 ( $100 \sim 3\,000 \mu\text{F}$ )。  $R_L$  为负载电阻。



其工作原理:静态时通过调节偏置电阻将 M 点的电位调整到  $U_{CC}/2$ ,即为电源电压的一半,于是  $C_1$  充电稳定后的电压也是电源电压的一半。由于  $C_1$  的隔直作用,静态时  $R_3$  上的电流为 0。当交流信号  $u_i$  输入时,在  $u_i$  的正半周期间, $u_{B1}$  为正半周而  $u_{B2}$  是负半周,所以  $VT_1$  导通而  $VT_2$  截止, $i_{E1} \approx i_{C1}$  流过负载  $R_L$  (图中实线所示),在  $R_L$  上得到放大的正半周信号。在  $u_i$  的负半周期间, $u_{B1}$  为负半周而  $u_{B2}$  为正半周,所以  $VT_1$  截止而  $VT_2$  导通,电流  $i_{E2} \approx i_{C2}$  流过负载  $R_L$  (图中虚线所示),在  $R_L$  上得到放大的另一个半周信号。 $VT_1$ 、 $VT_2$  如此轮流工作,负载  $R_L$  上就得到放大的完整信号。

OTL 功放电路的特点:因无输出变压器,所以整个电路的体积较小、重量较轻、频率失真及传输损耗均较小。其次,由于  $C_1$  容量大,对交流可视为短路,而  $R_{E1}$ 、 $R_{E2}$  的阻值又很小,对负载  $R_L$  而言, $VT_1$ 、 $VT_2$  输出电路是并联的。因此,总的输出电阻变得小,能使负载  $R_L$  上获得较理想的功率。

## 2. 互补对称式推挽 OTL 功放电路

互补对称式推挽 OTL 功放电路如图 3-35 所示。

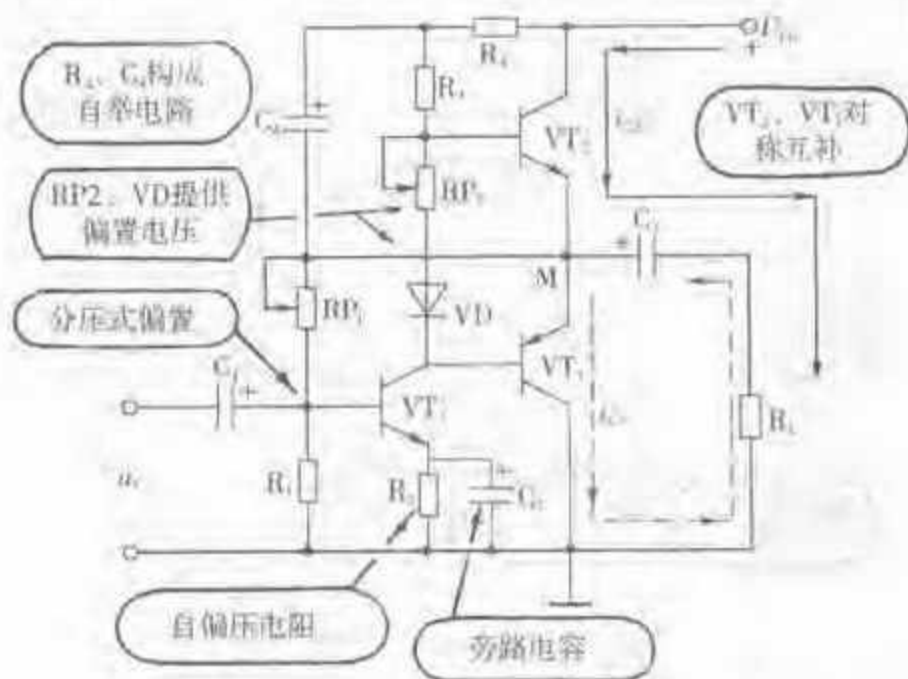


图 3-35 互补对称式推挽 OTL 功放电路

(1) 电路结构和工作原理。图中晶体管  $VT_1$  起放大、倒相作用。通过由  $RP_1$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  组成的混合式偏置电路来调整  $VT_1$  的静态工作点,将  $VT_1$  设定在甲类工作状态。 $VT_2$  和  $VT_1$  是 2 只互补对称晶体管,起推挽式功率放大作用,由  $RP_2$ 、 $VD$  提供偏置电压,通过调节  $RP_2$  来调整功放管  $VT_2$ 、 $VT_1$  的静态工作点,将  $VT_2$ 、 $VT_1$  设定在甲乙类工作状态。静态时功放管处于微导通状态,它们的发射极对地电位应为  $U_{CC}/2$  (电源电压的一半)。另外, $R_1$ 、 $R_2$ 、 $RP_2$  串联作为  $VT_1$  的集电极电阻(一般  $R_1 \gg R_2$  和  $RP_2$ )。 $R_L$  是负载电阻。

$C_1$  是信号输入耦合电容; $C_2$  是自偏压电阻交流旁路电容,可以减少信号的损



耗;  $C_2$  是输出耦合电容并充当  $VT_1$  回路直流电源(容量较大,一般在  $10^2 \sim 10^3 \mu\text{F}$ )。  $R_1$ 、 $C_2$  构成“自举电路”,它是为提高互补对称式推挽功放电路的功率增益而引入的。\*

工作原理:输入信号  $u_i$  经  $VT_1$  放大,倒相后主要降落在集电极电阻  $R_2$  的两端(因为  $R_2$  的阻值比  $R_1$  和  $RP_2$  大得多)。功放管  $VT_2$ 、 $VT_3$  的基极同时都得到由  $VT_1$  输出的正半周或负半周信号,当 NPN 型功放管  $VT_2$  基极得到正半周信号并进行功率放大时,其集电极电流  $i_{C2}$  (图中实线所示)是从  $VT_2$  经  $C_2$ 、 $R_1$ 、 $+U_{CC}$  回到  $VT_2$ ,同时对 PNP 型的功放管  $VT_3$  基极而言是反向偏置,所以  $VT_3$  处于截止状态;当功放管  $VT_2$  基极得负半周信号而处于截止状态时,功放管  $VT_3$  基极得负半周信号则属正向偏置,因此  $VT_3$  导通并对负半周信号作功率放大,其集电极电流  $i_{C3}$  (图中虚线所示)从  $VT_3$  经  $R_1$ 、 $C_2$  回到  $VT_3$ ,此时  $C_2$  上的充电电压  $U_{CC}/2$  兼作电源用。如此  $VT_2$ 、 $VT_3$  轮流工作,在负载  $R_L$  上得到完整的信号。由于无需输入、输出变压器,这种功放电路的频率特性是比较好的。

(2) 电路最大输出功率。考虑到互补对称 OTL 功放电路是工作在乙类推挽状态,每个功放管的电源电压为  $U_{CC}/2$ ,集电极负载为  $R_L$ ,则在忽略功放管的饱和压降和穿透电流的情况下,OTL 功放电路最大输出功率可由下式估算:

$$P_{om} = \frac{U_{CC}^2}{8R_L}$$

式中  $P_{om}$ ——OTL 功放电路最大输出功率, W;

$U_{CC}$ ——功放电路的直流电源电压, V;

$R_L$ ——负载电阻,  $\Omega$ 。

例如,在图 3-35 所示的互补对称式推挽 OTL 功放电路中,若电源电压  $U_{CC} = 9\text{V}$ ,负载电阻  $R_L = 8\Omega$ ,则估算出最大输出功率为:

$$P_{om} = \frac{U_{CC}^2}{8R_L} = \frac{9^2}{8 \times 8} \approx 1.27(\text{W})$$

## 六、推挽 OCL 功放电路

OCL 电路是无输出电容功放电路的简称。它是一种采取输出级与负载直接耦合方式的功放电路。它避免了由于输出电容呈现电感效应带来的附加失真(大容量电解电容器内铝箔卷绕圈数多而引起电感效应大,对不同频率的信号会产生不同的相位位移,引起输出信号的附加失真)。

### 1. 电路结构

OCL 功放输出级电路如图 3-36 所示。

\*  $C_2$  容量较大,对交流信号来讲相当于短路,于是互补功放管的共集电极接法被转换成共发射极接法,从而提高了功率放大增益。 $R_1$  称为隔离电阻,对交流信号而言,它将  $C_2$  正端电位和“地”点电位分开。

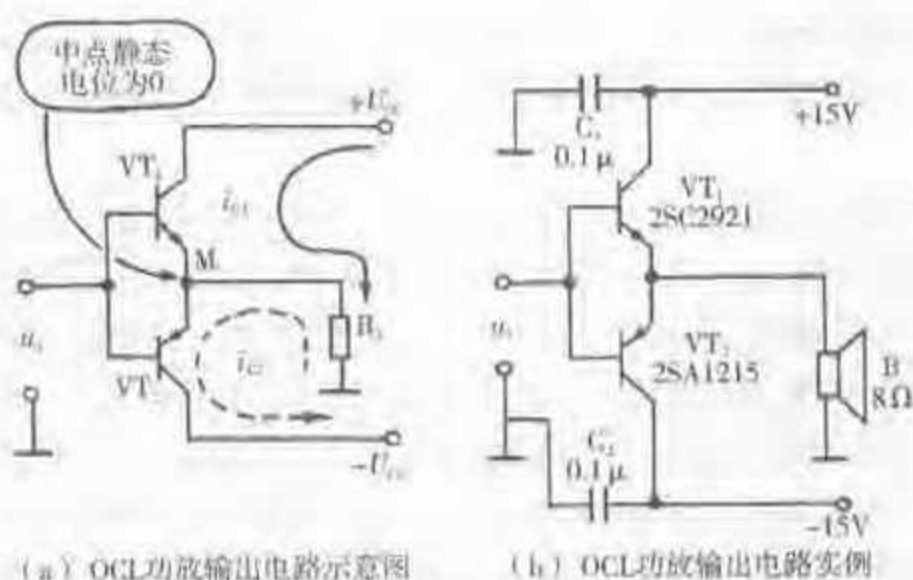


图 3-36 OCL 功放输出级电路

$u_i$ —输入交流信号电压;  $i_{c1}$ — $VT_1$  动态集电极电流;  $i_{c2}$ — $VT_2$  动态集电极电流

OCL 电路采用双电源供电(2 个电源电压大小相等,正负极性相反),静态时中点 M 的电位等于 0,保证负载  $R_L$  上没有直流电流流过。但实际上如此简单的电路难免会产生零点漂移,因此需要有防止零点漂移的差动放大电路(图中未画出)。显然,OCL 功放电路的 2 只互补对称晶体管  $VT_1$ 、 $VT_2$  均工作在乙类放大状态,若忽略器件的穿透电流,则静态时集电极电流  $I_{CQ1}$ 、 $I_{CQ2}$  均为 0。当输入信号  $u_i$  幅度在正常范围内时, $VT_1$ 、 $VT_2$  将轮流进行乙类放大, $i_{c1}$ 、 $i_{c2}$  将在不同期间内通过负载  $R_L$  成为一个射极输出器,从而在  $R_L$  上获得波形完整的信号,如图 3-36(a)所示。

OCL 功放输出电路实例如图 3-36(b)所示。该电路中的功放管  $VT_1$  为 2SC2921 型 NPN 晶体管, $VT_2$  为 2SA1215 型 PNP 晶体管,B 是阻抗为  $8\Omega$  的扬声器。该电路实际输出功率(有效值)为 5W。图中只画出 OCL 功放电路的输出级这一部分,前置放大级及负反馈部分均未画出。

## 2. 最大输出功率

OCL 电路中的 2 只互补功放管工作是在乙类放大状态,若忽略穿透电流及饱和压降,输出最大功率时集电极电压和电流峰值分别为  $U_{CEm} = U_{CC}$ 、 $I_{om} \approx U_{CC}/R_L$ 。考虑到正弦波峰值和有效值的关系,则输出最大功率(有效值)为:

$$P_{om} = \frac{U_{CC}^2}{2R_L}$$

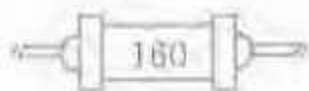
式中  $P_{om}$ ——OCL 电路输出最大功率,W;

$U_{CC}$ ——每只功放管的电源电压,V;

$R_L$ ——负载电阻, $\Omega$ 。

## 3. 加偏置的 OCL 功放电路

加偏置的 OCL 功放电路如图 3-37 所示,该电路的工作状态从乙类放大状态变为甲乙类放大状态,从而消除了交越失真。



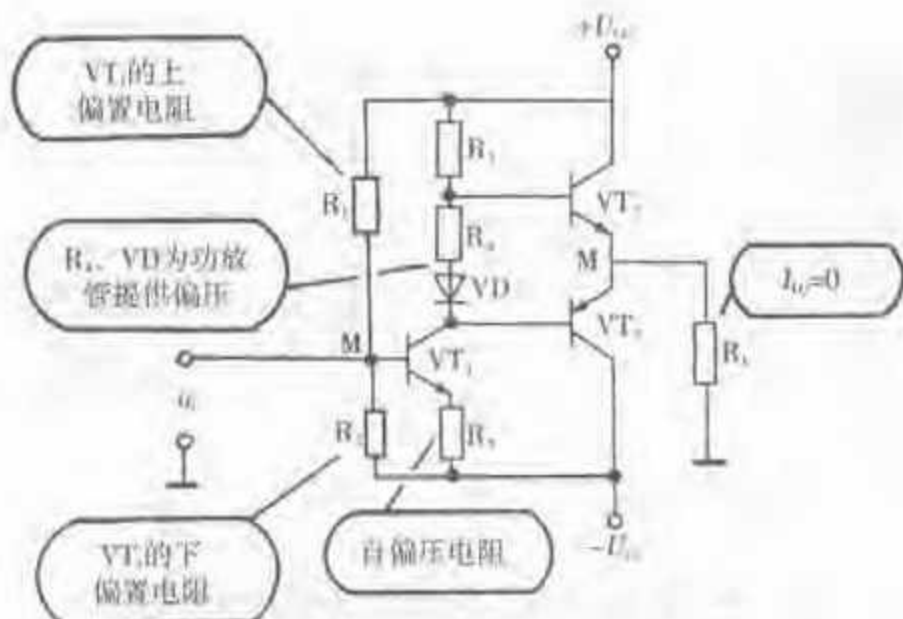


图 3-37 加偏置的 OCL 功放电路

图中晶体管  $VT_1$ 、二极管  $VD$  以及电阻器  $R_1 \sim R_6$  构成 OCL 功放的偏置电路, 功放管  $VT_2$ 、 $VT_1$  从  $R_1$ 、 $VD$  串联电路两端获得基极偏置电压 ( $VD$  正向压降起稳压作用)。静态时, 中点  $M$  对“地”电压为 0, 负载  $R_L$  没有电流流过, 集电极偏置电流  $I_{CQ} = I_{CQ}$ , 从电源以  $+U_{CE}$  端流出, 经  $VT_2$  的集电极、发射极, 再经  $VT_1$  的发射极、集电极后流入  $-U_{CE}$  端。如果  $R_L$  上有静态电流, 说明 OCL 电路中点  $M$  的电位不为 0, 产生零点漂移\*, 电路工作不正常, 这是不允许的。特别是在扬声器作为负载时, 直流电流会将其损坏。

为了抑制中点  $M$  电位因受温度等因素影响而产生的零点漂移, 在实际应用电路中常采用差动放大电路作为功放电路的末前级电路。

### 第三节 晶体管直流放大电路

直流放大电路是用直接耦合方式放大变化极其缓慢或极性固定不变的信号, 这类信号在工业自动控制系统或某些家用电器中经常出现。然而, 直流放大必须解决好前后级的电位配合和零点漂移问题。否则, 直流放大电路就没有实用意义。

#### 一、具有级间电位调节的直流放大电路

##### 1. 用二极管调节电位的直接耦合放大电路

图 3-38 所示是采用二极管调节级间电位的直接耦合放大电路的基本结构。

图中  $VT_1$ 、 $VT_2$  为 NPN 型晶体管, 采用直接耦合方式 ( $VT_1$  集电极输出直接连接  $VT_2$  基极输入)、共发射极接法构成二级放大电路。

\* 零点漂移是指输入信号为零时输出电压偏离其起始值的现象。



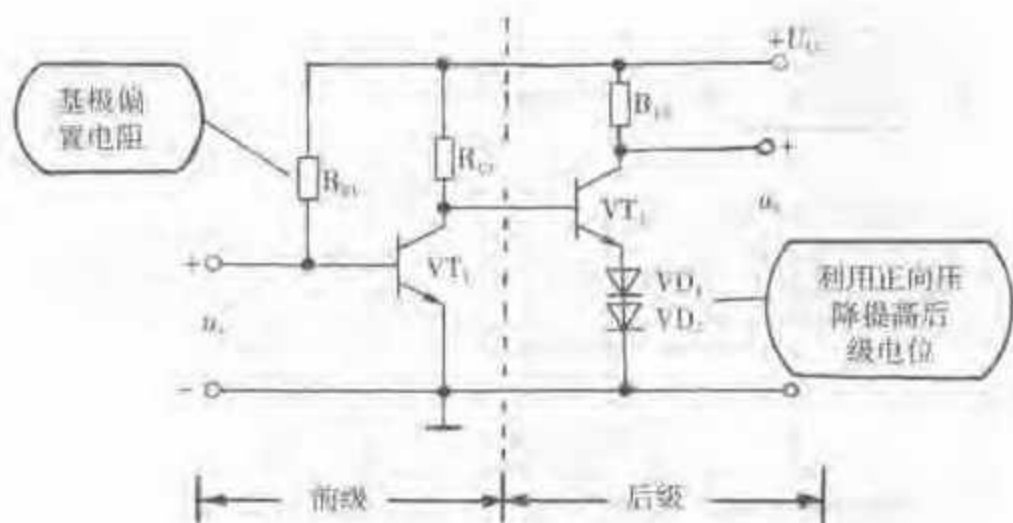


图 3-38 用二极管调节电位的直接耦合放大电路

$u_i$  输入信号电压,  $u_o$  输出信号电压

$VD_1, VD_2$  是 2 只互为串联的二极管, 利用它们的正向压降来提高后级电位, 以便与前级电位配合, 使  $VT_1, VT_2$  都工作在放大区, 并利用其动态电阻小的特性, 可降低交流信号在第二级放大中的损耗。

为提高前级输入电阻, 防止输入信号为 0 时基极与发射极之间短路, 可在输入端串联适当电阻  $R$ 。  $R_{B1}$  是  $VT_1$  的基极偏置电阻, 一般  $R_{B1}$  的阻值要比  $R$  大很多。  $R_{C1}$  既是  $VT_1$  的集电极负载电阻, 又是  $VT_2$  的基极偏置电阻。  $R_{C2}$  是  $VT_2$  的集电极负载电阻。

## 2. 用稳压二极管调节电位的直接耦合放大电路

图 3-39 所示是采用稳压二极管调节级间电位的直接耦合放大电路, 图中除稳压管取代普通二极管外, 其余部分结构形式完全与图 3-38 所示相同。该电路可根据晶体管  $VT_2$  发射极要求的电压来选择稳压二极管的稳压值, 可以避免  $VT_2$  发射极电压要求较高时串接二极管太多的麻烦(二极管的正向压降仅约 0.3~0.7V)。并且由于稳压二极管的动态电阻比普通二极管小得多, 就更有利降低交流信号在第二级放大中的损耗, 可以提高电压放大倍数。

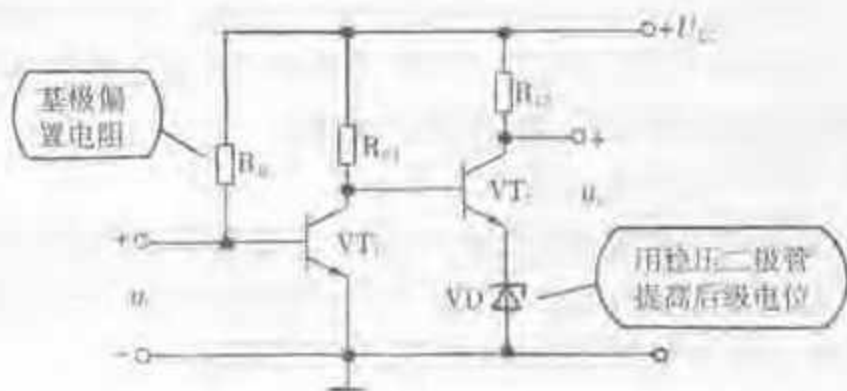


图 3-39 用稳压管调节电位的直接耦合放大电路



上述2种直接耦合放大电路虽然能够做到兼顾前后级电位配合又不降低放大倍数,但不能很好解决零点漂移问题。因此,在实际应用要求较高的直流放大场合,应当采用能够有效抑制零点漂移的差动放大电路。

## 二、差动放大基本电路

### 1. 电路结构

差动放大基本电路及其差模输入方式如图3-40所示,该基本电路由2个完全对称的单管直流放大器组成,其中 $R_{B11}=R_{B12}$ 、 $R_{B21}=R_{B22}$ 、 $R_{C1}=R_{C2}$ 、 $R_1=R_2$ ,并且2只晶体管 $VT_1$ 、 $VT_2$ 的特性相同。

由图可见,差动放大电路总输入信号 $U_i$ 和总输出信号电压 $U_o$ 都是浮地的(信号电压两端的任一端都不接“地”)。

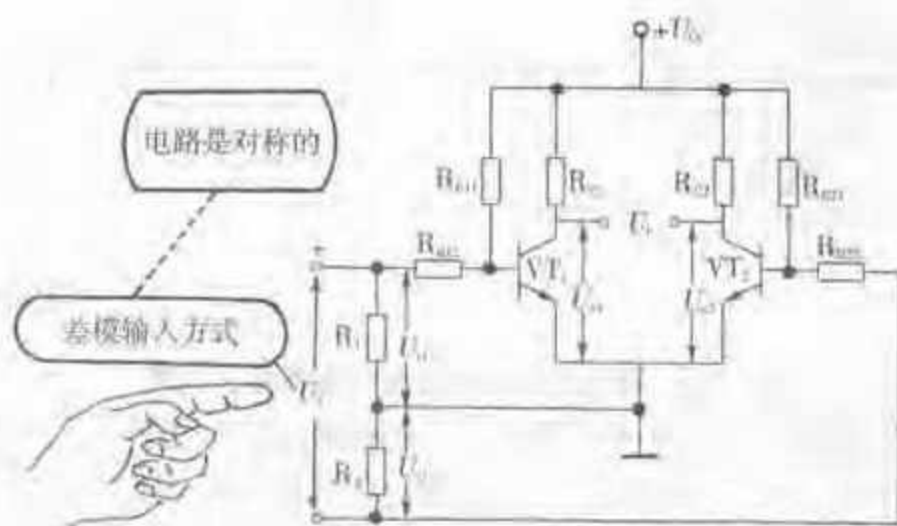


图3-40 差动放大基本电路及其差模输入方式

$U_i$ —总输入信号电压; $U_o$ —总输出信号电压; $U_{i1}$ — $VT_1$ 的输入信号电压; $U_{i2}$ — $VT_2$ 的输入信号电压; $U_{o1}$ — $VT_1$ 的输出信号电压; $U_{o2}$ — $VT_2$ 的输出信号电压

### 2. 工作原理

总输入信号电压 $U_i$ 经 $R_1$ 、 $R_2$ 分压为大小相等而极性相反的2个信号 $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ ,分别加到 $VT_1$ 、 $VT_2$ 的基极输入端(称为双端输入),于是总输出信号电压(双端输出)等于 $VT_1$ 、 $VT_2$ 输出电压之差,即 $U_o=U_{o1}-U_{o2}$ 。由于2个单管放大电路是完全对称的,所以当输入信号 $U_i$ 为0时,集电极电流 $I_{C1}=I_{C2}$ ,集电极电压 $U_{c1}=U_{c2}$ ,因此总输出电压 $U_o=U_{c1}-U_{c2}=0$ 。当温度变化引起晶体管 $VT_1$ 、 $VT_2$ 的零点漂移时,则可在总的双端输出中抵消,从而有效地消除整个放大电路输出端的零点漂移,这是差动放大电路的优点。

### 3. 差模放大倍数 $A_{VD}$

如图3-40所示,输入信号 $U_i$ 被 $R_1$ 、 $R_2$ 分为大小相等而极性相反的2个信号 $U_{i1}$ 和 $U_{i2}$ ,分别输入到2只晶体管的基极,这种输入信号的方式称为差模输入。这2个大小相等而极性相反的输入信号称为差模信号。



因为差动放大器以差模输入方式工作时,  $U_{i1} = -U_{i2}$ , 并且电路是完全对称的, 所以输出信号电压  $U_{o1} = -U_{o2}$ 。因此, 差模放大倍数等于每个单管放大电路的放大倍数, 即

$$A_{VD1} = A_{VD2} = A_{VD}$$

#### 4. 共模放大倍数 $A_{VC}$ 和共模抑制比 $K_{CMR}$

(1) 共模放大倍数  $A_{VC}$ 。输入信号  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$  若大小相等且极性相同, 就称它们为共模信号, 这种输入方式称为共模输入, 如图 3-41 所示。

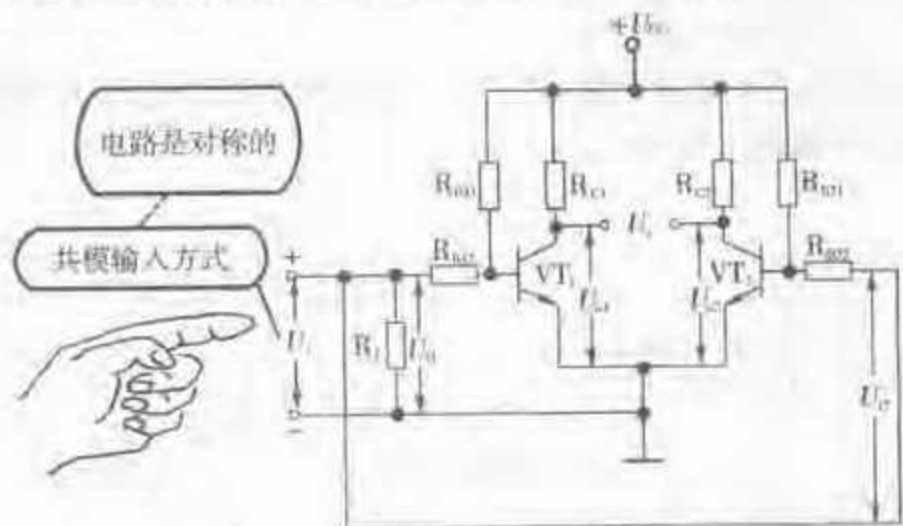


图 3-41 对称差动放大电路的共模输入方式

对一个完全对称的差动放大电路而言, 共模输出信号电压  $U_{o1} = U_{o2}$ , 所以总输出信号电压  $U_o = U_{o1} - U_{o2} = 0$ , 所以它的共模放大倍数  $A_{VC} = U_o / U_i = 0$ 。即  $A_{VC} = 0$ 。

实际上, 差动放大电路不可能达到完全对称, 共模放大倍数不等于 0, 通常为很小的一个数。

(2) 共模抑制比  $K_{CMR}$ 。共模抑制比  $K_{CMR}$  是用来全面衡量差动放大电路性能优劣的一个系数, 具体定义如下:

$$K_{CMR} = \frac{\text{差模放大倍数绝对值}}{\text{共模放大倍数绝对值}} = \left| \frac{A_{VD}}{A_{VC}} \right|$$

$K_{CMR}$  的值越大, 表示差模放大倍数  $A_{VD}$  越大或共模放大倍数越小, 说明该差动放大电路既具有更强的放大能力, 更能有效抑制零点漂移, 表示它的综合性能更好。

### 三、实用型差动放大电路

实用型差动放大电路如图 3-42 所示。它相当于在前面所述的(图 3-40)基本电路上增加调零电位器  $R_P$ 、公共发射极电阻  $R_E$  以及负的辅助电源  $U_{EE}$ , 从而使差动放大电路的零点漂移进一步减小。

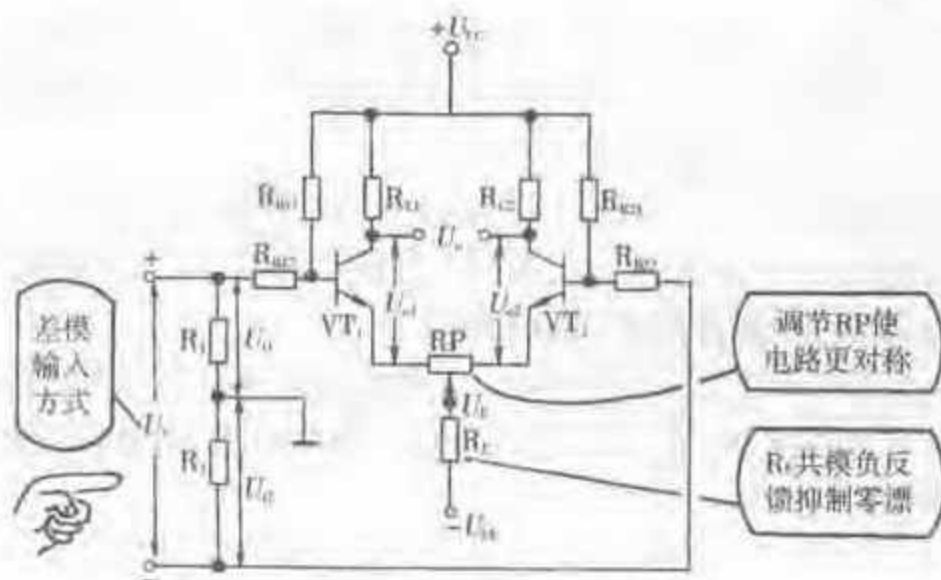


图 3-42 实用型差动放大电路

RP—调零电位器;  $R_E$ —公共发射极电阻;  $U_{EE}$ —辅助电源(正极接地)

电位器 RP 的作用是当输入信号  $U_i$  为 0 时, 由于电路不完全对称使输出电压  $U_o$  不一定为 0, 此时可通过调节 RP 使  $U_o$  等于 0。RP 值一般取  $100\Omega \sim 1k\Omega$  之间。

公共发射极电阻  $R_E$  的作用是引入共模负反馈, 能在共模输入工作时抑制集电极电流  $I_{C1}$ 、 $I_{C2}$  的增加, 从而进一步克服零点漂移。其优点还在于  $R_E$  的引入对差模信号放大没有影响。通常,  $R_E$  取值约  $10 \sim 50k\Omega$ 。

辅助电源  $U_{EE}$  的作用是对公共发射极电阻  $R_E$  引起  $VT_1$ 、 $VT_2$  基极、发射极之间电压下降作适当补偿 ( $R_E$  阻值较大时  $U_{EE}$  电压也应较大), 使信号不失真放大的动态范围不减小。

#### 四、具有恒流源的差动放大电路

具有恒流源的差动放大电路如图 3-43 所示。图中晶体管  $VT_3$  和分压电阻

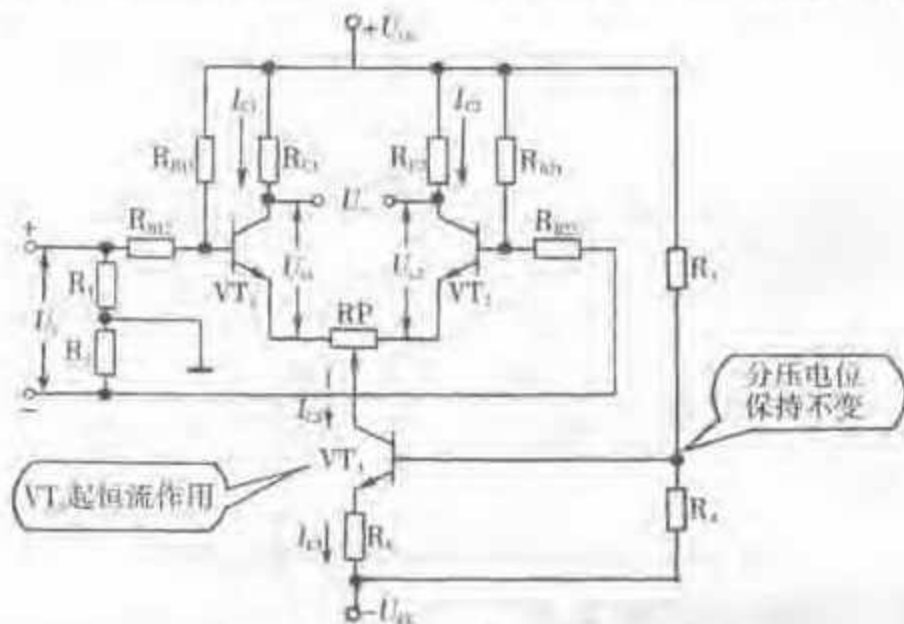


图 3-43 具有恒流源的差动放大电路

$R_3, R_4$  构成恒流电路。恒流电路使  $VT_3$  的集电极电流  $I_{C3}$  (近似等于发射极电流  $I_{E3}$ ) 保持不变,从而抑制了  $VT_1, VT_2$  的集电极电流  $I_{C1}, I_{C2}$  也不随着温度升高而增加,有效地抑制了差动放大电路的零点漂移。

图中的恒流电路和图 3-42 所示的  $R_E$  作用一样,能有效抑制零点漂移而不会影响差模信号的放大。引入恒流电路的优点是使补偿电压  $U_{BE}$  取值较低。

### 五、差动放大电路的其他几种连接

差动放大电路除前面介绍的双端输入、双端输出连接方式外,有时也采用单端输入、双端输出连接方式,或采用单端输入、单端输出方式,或双端输入、单端输出方式等,如图 3-44 所示。

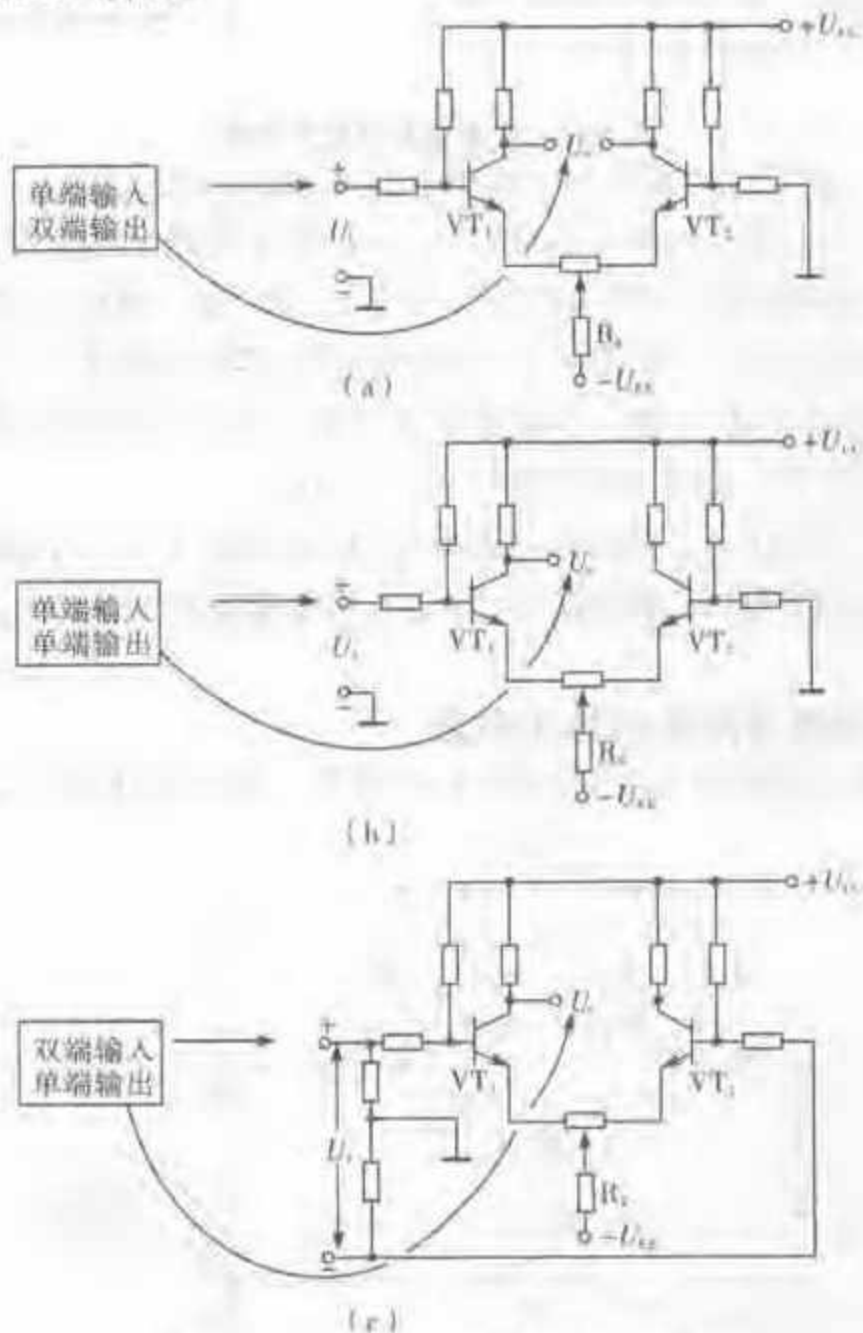


图 3-44 差动放大电路其他三种连接方式

#### 1. 单端输入、双端输出连接方式

单端输入、双端输出连接方式如图 3-44(a)所示,这种接法的特点是将单端输入



的信号转换成浮“地”的双端输出,可作为下一级的差动输入,以便更好地利用差动放大电路的特点。由单端输入转换为双端输出是公共发射极电阻  $R_E$  所起的作用。当  $R_E$  的阻值在足够大情况下,这种电路的放大倍数与双端输入、双端输出时相同。

### 2. 单端输入、单端输出连接方式

单端输入、单端输出连接方式如图 3-44(b) 所示,这种接法比单管直流放大基本电路具有较强的抑制零点漂移能力,而且输出端可以通过选择(接  $VT_1$  或  $VT_2$  的集电极)得到与输入同相或反相的输出信号(在这里也是  $R_E$  所起的作用)。

单端输入、单端输出接法的放大倍数等于单管( $VT_1$ )放大倍数的一半。

### 3. 双端输入、单端输出连接方式

双端输入、单端输出连接方式如图 3-44(c) 所示,这种接法的特点是将双端浮“地”的差模输入信号转换成单端输出的信号,以便与后面的单端输入放大电路一起处于共“地”状态。

由于这种电路的输出只用了一个输出端,而另一个输出端的电压变化没有用上,所以输出电压只有双端输出的一半,其电压放大倍数也只有双端输出时的一半。

## 第四节 集成运算放大器基本应用电路

### 一、集成运算放大器简介

集成运算放大器芯片内除含有一个高增益的直流差动放大电路用来对模拟信号进行运算和放大外,还有晶体管恒流源和射极输出电路,以便稳定工作电压和降低输出电阻。

图 3-45 所示是集成运算放大器的电路符号。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( $+U_{CC}$  或  $+U_{DD}$ )和负电源端( $-U_{EE}$  或  $-U_{SS}$ );有一个输出端( $U_o$ )。此外,很多集成运算放大器中还设有调零

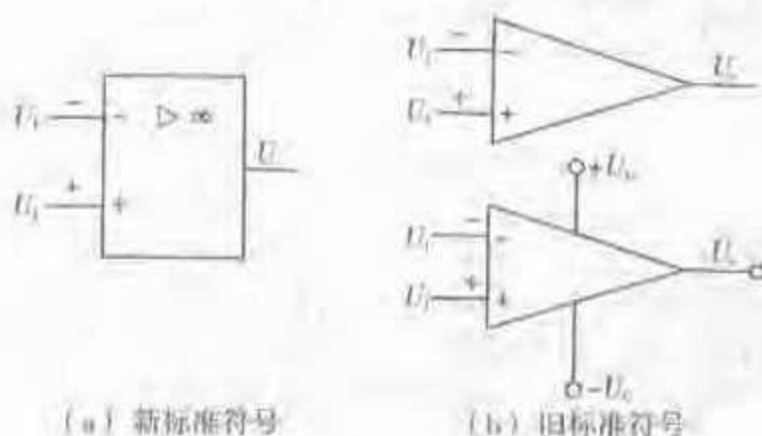
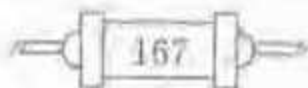


图 3-45 集成运算放大器的电路符号

$U_i^-$ —反相输入端( $U_i^+$ —同相输入端; $U_o$ —输出端





电位器端和消振电阻、电容端。但在集成运算放大器的应用电路中,除输入、输出端外的其余各端不一定都一一画出。

常见集成运算放大器的外形有圆管式、扁平式和双列直插式等,如图 3-46 所示。其内部电路有单运放、双运放和四运放等多种类型。

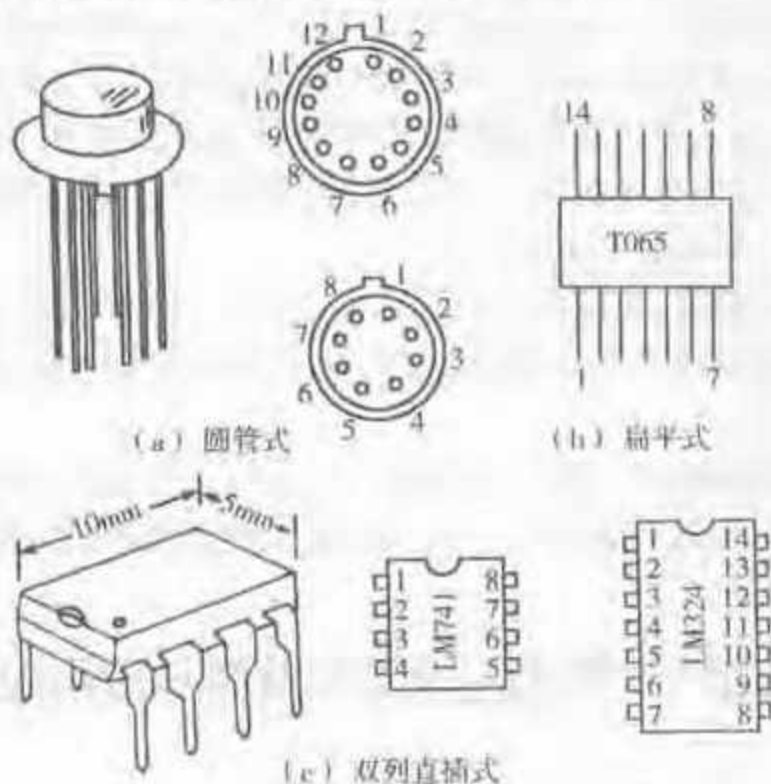
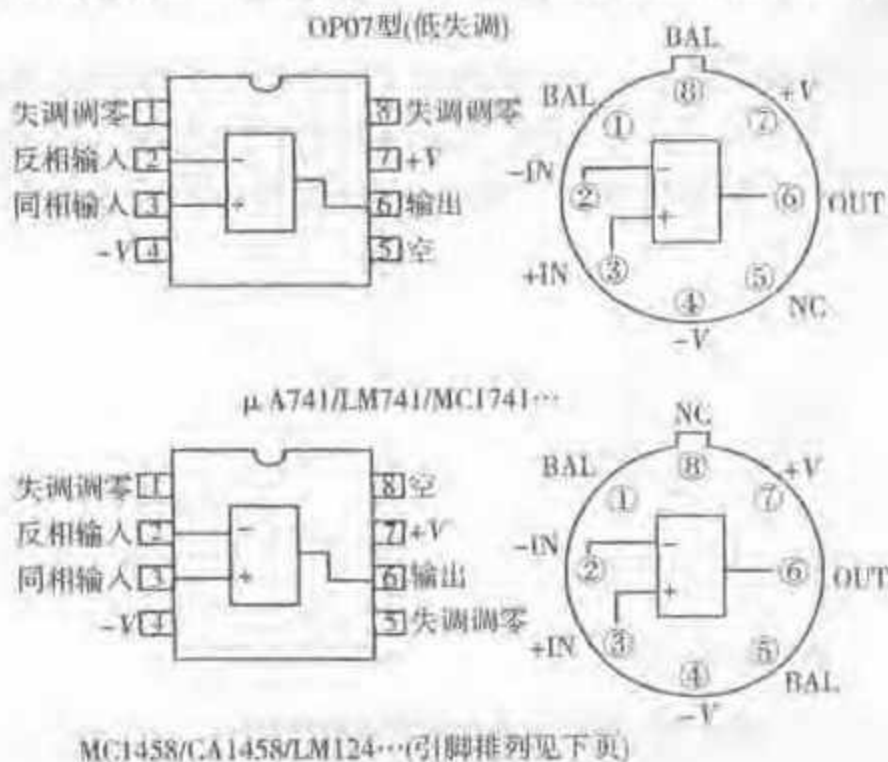


图 3-46 常见集成运算放大器的外形

常用集成运算放大器如  $\mu A741$ 、OP07、MC1458、LM324 及可代换型号的引脚排列如图 3-47 所示。其中 OP07 型为低失调集成运算放大器(输入失调电压典型值  $10\mu V$ )。



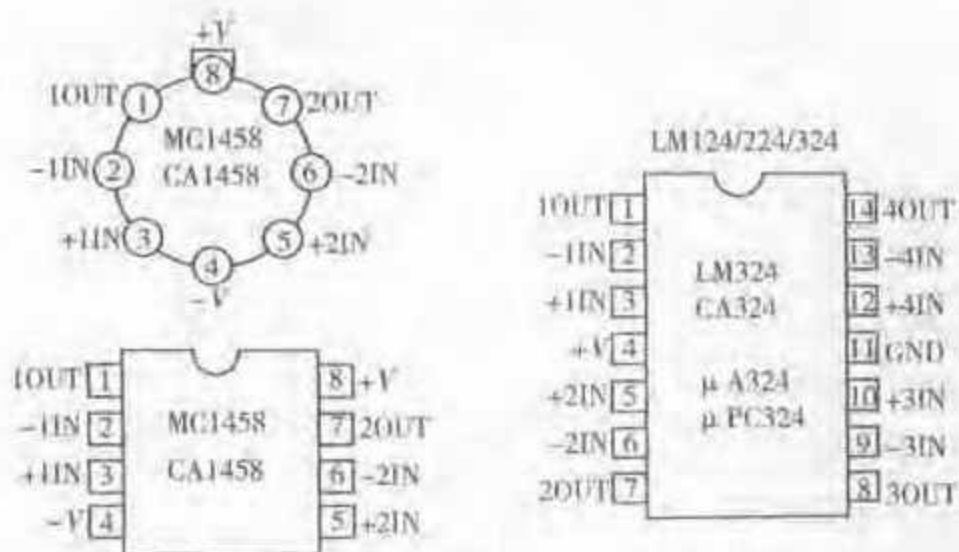


图 3-47 常用集成运算放大器的引脚排列

图 3-48 所示的集成运算放大器传输特性曲线是表示集成运算放大器输出电压  $U_o$  与输入电压  $U_i$  之间的关系。实际上在线性工作区输入电压的范围是很小的,器件的电压放大倍数越大,线性区输入电压范围越小。因此,输出电压  $U_o$  可表示为:

$$U_o = A_0(U_+ - U_-)$$

式中  $A_0$  是集成运算放大器的开环电压放大倍数,而  $U_o$  受到饱和值的限制。一般集成运算放大器,其线性工作区开环输入电压范围仅为几百微伏甚至更小。(注:开环是指输入端、输出端之间为开路状态)

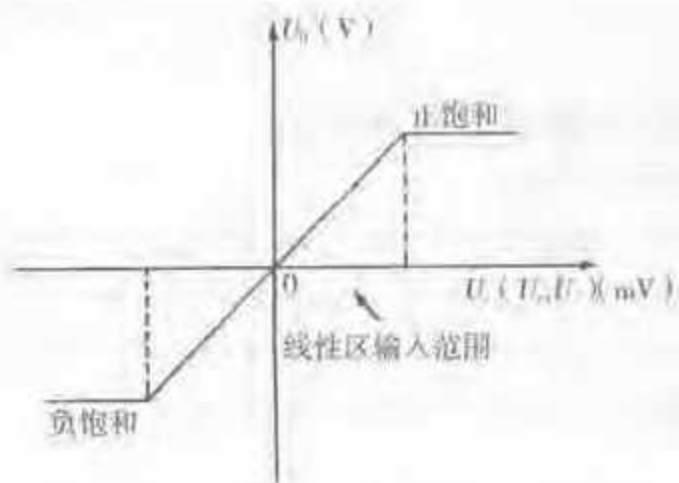


图 3-48 集成运算放大器的传输特性曲线

集成运算放大器的性能通常是用特性参数来表示的。通用集成运算放大器的主要参数有输入失调电压、输入失调电流、输入偏置电流、差模输入电阻、频带宽度、转换速率、开环差模增益等。部分常用集成运算放大器的主要参数见表 3-1。



表 3-1 部分常用集成运算放大器的主要参数

参 数	型 号	$\mu$ A741 (单运放)	MC1458 (双运放)	LM324 (四运放)
输入失调电压(mV)		2	1~2	2
输入失调电流(nA)		30	20	5
输入偏置电流(nA)		200	80	45
差模输入电阻(M $\Omega$ )		1	1	1
开环输出电阻( $\Omega$ )		$\leq 200$		
-3dB 频带宽度(kHz)		7~10	10	5
转换速率(V/ $\mu$ s)		0.5	0.5	0.5
开环差模增益(dB)		100		100
最大输出电压(V)		$\pm 8 \sim \pm 12$		$U_{CC} - 1.5$
最大电源电压(V)		$\pm 15$	$\pm 18$	$\pm 16$ 或 $\pm 32$

注:设  $A_{om}$  为开环电压放大倍数,则以 dB 为单位的开环增益为  $20\lg A_{om}$ 。

电压增益 100dB 相当电压放大倍数为  $10^5$ 。

单运放  $\mu$ A741 同类可代换型号有 LM741, AD741, CF741, MCI741, CA741,  $\mu$ PC741, RM741, NTN741, PM741, SG741, HA1771 型等。双运放 MC1458 同类可代换型号有  $\mu$ A1458, LM1458,  $\mu$ PC1458, RC1458, TA75458, HA17458, PM1458, CA1458, MC1458 型等。四运放 LM324 同类可代换型号有 CA324,  $\mu$ PC324,  $\mu$ A324, SF324, FX324, MB3614, F124 型等。

## 二、集成运算放大器基本应用电路

### 1. 反相比例运算放大电路

反相比例运算放大电路的一般连接方式如图 3-49(a)所示。在该集成块的输出端与输入端之间连接一个反馈电阻  $R_f$  形成闭环结构,成为一个反馈放大器,并将它的同相端(+)接地。输入信号  $U_i$  经过电阻  $R_1$  后送到反相输入端(-)。反相比例运算放大电路输出电压与输入电压的关系为:

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} U_i$$

可见,该电路的闭环电压放大倍数取决于  $R_f$  与  $R_1$  之比,与集成运算放大器的开环电压放大倍数  $A_{om}$  无关,式中负号表示  $U_o$  与  $U_i$  的相位相反。

为了使集成运算放大器输入级的差分放大器对称,以有利于抑制零点漂移,则在同相输入端接入一个平衡电阻  $R_2$ ,如图 3-49(b)所示。 $R_2$  取值一般为  $R_1$  与  $R_f$  的并联阻值,即  $R_2 = R_1 R_f / (R_1 + R_f)$ ,并联关系式也常用  $R_2 = R_1 // R_f$  表示。

如果取  $R_1 = R_f$ ,那么反相比例运算放大电路的电压放大倍数将等于 -1。此





时,反相比例运算放大器只起到一个反相器的作用,而无电压放大作用。

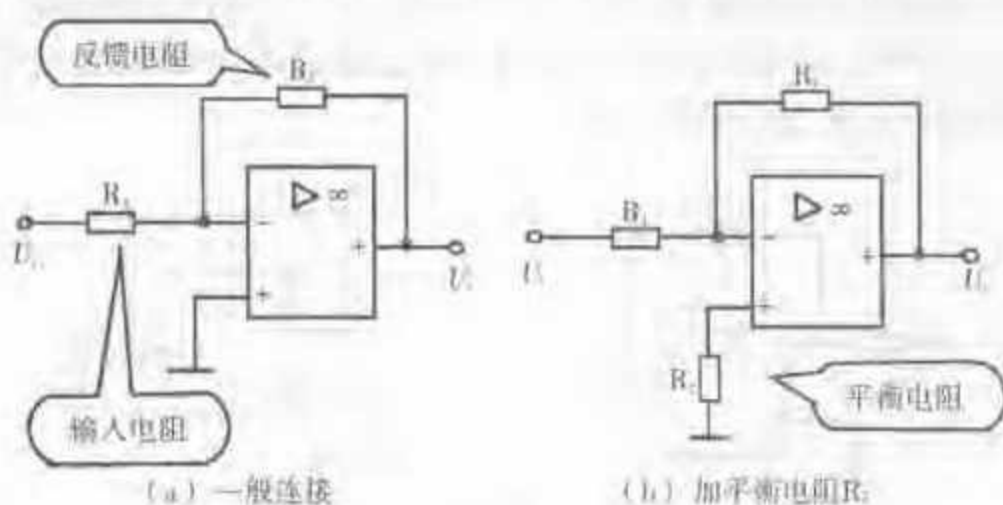


图 3-49 反相比例运算放大电路

## 2. 同相比例运算放大电路

同相比例运算放大电路的一般连接方式如图 3-50(a)所示。在该集成运放电路的输出端与反相输入端(-)之间连接反馈电阻  $R_f$ ,反相输入端通过电阻  $R_1$  接地,输入信号  $U_i$  输至同相输入端(+)。同相比例运算放大电路输出电压与输入电压的关系为:

$$\dot{U}_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_i$$

可见,同相比例运算放大电路的电压放大倍数只取决于  $R_f$  与  $R_1$  的比值,与开环电压放大倍数  $A_{om}$  无关。就是说,  $U_o$  与  $U_i$  成比例关系,比例系数为  $\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$ 。

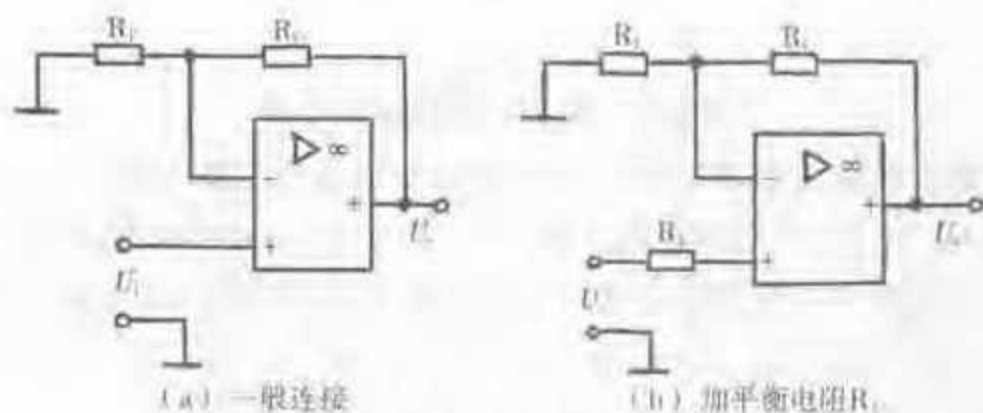


图 3-50 同相比例运算放大电路

为了使差分放大电路保持对称,以利于抑制零点漂移,在同相输入端接入电阻  $R_2$ ,如图 3-50(b)所示。 $R_2$  取值一般为  $R_2 = R_1 // R_f$ 。

## 3. 反相器和跟随器电路

当反相比例运算放大电路中的反馈电阻  $R_f$  取值与  $R_1$  相等时,即构成反相器电路,如图 3-51(a)所示。该电路只有反相作用而无电压放大作用。



当同相比例运算放大电路中的反馈电阻  $R_f$  的阻值等于 0, 输入电阻  $R_i$  的阻值为无穷大时, 即构成跟随器电路, 如图 3-51(b) 所示。该电路的同相电压放大倍数等于 1, 它的主要作用是阻抗变换, 利用该电路具有高输入电阻、低输出电阻的特点, 便于与前级及后级进行阻抗匹配。

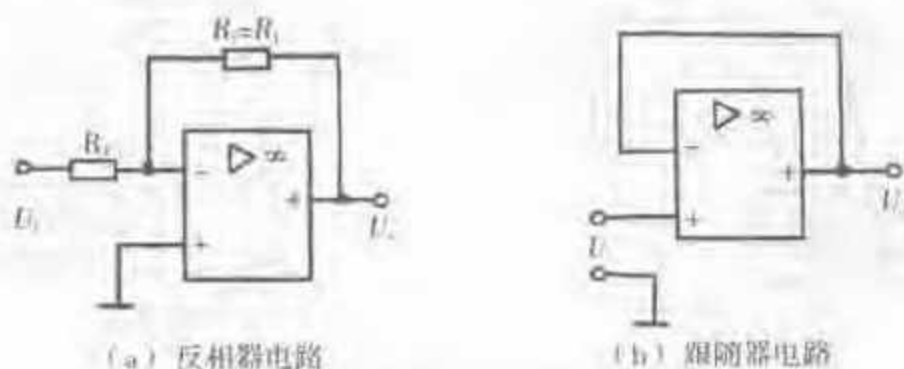


图 3-51 反相器和跟随器电路

#### 4. 加法比例运算放大电路

加法比例运算放大电路如图 3-52 所示。

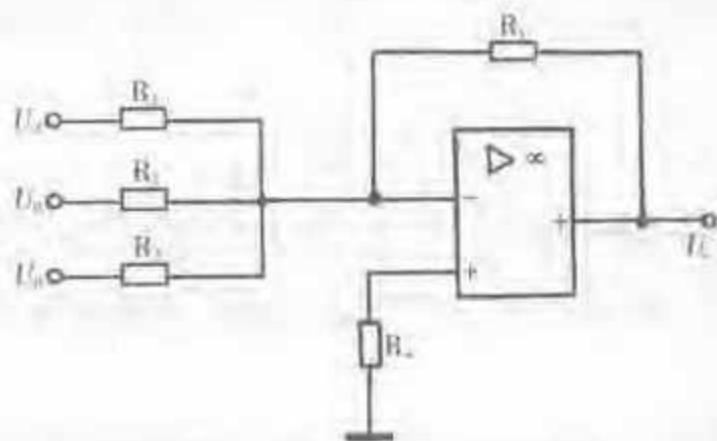


图 3-52 加法比例运算放大电路

电路的输出端通过反馈电阻  $R_f$  将反馈信号加到反相输入端(-), 反相输入端的输入电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  分别对应输入信号  $U_{i1}$ 、 $U_{i2}$ 、 $U_{i3}$ 。在同相输入端(+)与“地”之间接有平衡电阻  $R_4$ , 为使集成运算放大器输入电路对称, 以有利于抑制零点漂移, 通常  $R_4$  取值应等于  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  的并联阻值, 即  $R_4 = R_1 // R_2 // R_3$ 。

加法比例运算放大电路输出电压与输入电压的关系为:

$$U_o = -R_f \left( \frac{U_{i1}}{R_1} + \frac{U_{i2}}{R_2} + \frac{U_{i3}}{R_3} \right)$$

如果取  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ , 则上式可简化为:

$$U_o = -\frac{R_f}{R} (U_{i1} + U_{i2} + U_{i3})$$

由此可见, 输出电压正比于各输入电压之和, 故称该电路为加法比例运算放大器。



若取  $R_1=R$ , 则上式成为:

$$U_o = -(U_{i1} + U_{i2} + U_{i3})$$

这时的电路就称为“加法器”。

### 5. 减法比例运算放大电路

减法比例运算放大电路如图 3-53 所示。

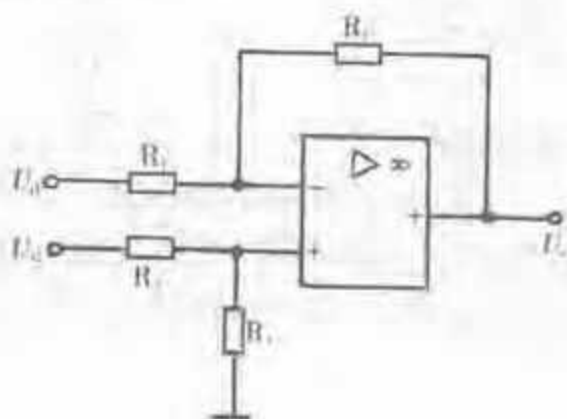


图 3-53 减法比例运算放大电路

输入信号  $U_{i1}$  通过电阻  $R_1$  加到反相输入端(-), 另一输入信号  $U_{i2}$  通过电阻  $R_2$  加到同相输入端(+), 反馈电阻  $R_f$  跨接在输出端与反相输入端之间。在同相输入端与“地”之间接有平衡电阻  $R_3$ 。为了使集成运算放大器两输入端的输入电阻对称, 通常取  $R_1=R_2$ ,  $R_3=R_f$ 。此时电路输出电压与输入电压的关系为:

$$U_o = \frac{R_f}{R_1}(U_{i2} - U_{i1})$$

可见, 输出电压与 2 个输入电压之差成正比, 故称该电路为减法比例运算放大器。如果取  $R_f=R_1$ , 上式简化为:

$$U_o = U_{i2} - U_{i1}$$

这时的电路就称为减法器。减法比例运算放大电路也称差动输入比例运算电路。

上述各种比例运算放大电路统称为运算器。

### 6. 积分运算器电路

将反相比例运算放大电路(图 3-49)中的反馈电阻  $R_f$  改为电容器  $C$ , 就构成反相积分运算器电路, 如图 3-54(a)所示。

反相积分运算器电路输出电压  $U_o$  与输入电压  $U_i$  的关系为:

$$U_o = -\frac{1}{RC} \int U_i dt$$

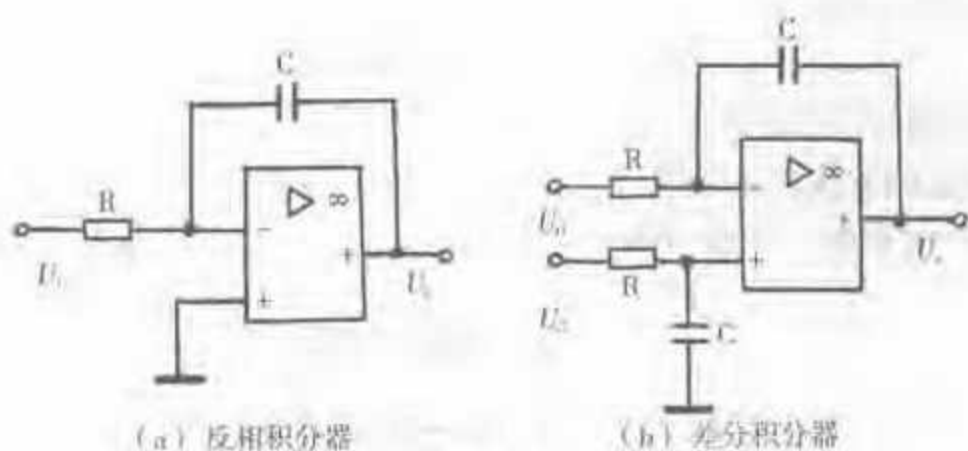


图 3-54 积分运算器电路

如图 3-55 所示,正弦波信号经过反相积分运算后变为余弦波,波形不变而相位落后  $90^\circ$ ;阶跃信号经过反相积分运算后则变成线性信号;方波信号经积分运算后变成三角波信号。

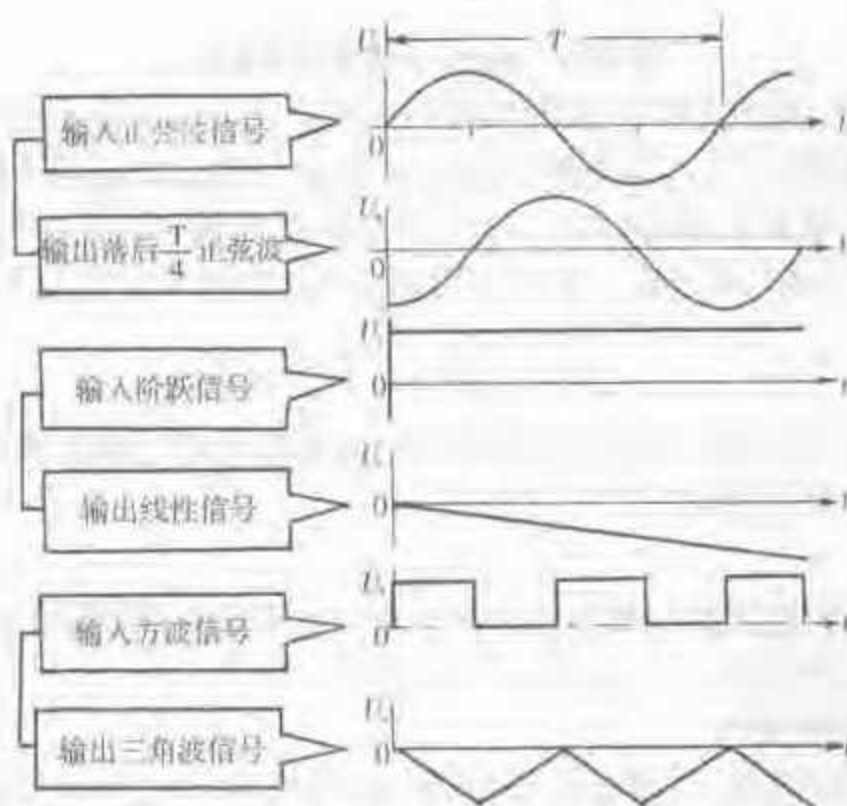


图 3-55 积分运算器电路输入、输出波形图

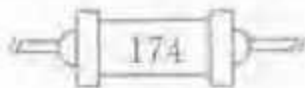
图 3-54(b)为差分积分器电路,其输出电压  $U_o$  与输入电压  $U_i$ 、 $U_c$  的关系为:

$$U_o = \frac{1}{RC} \int (U_c - U_i) dt$$

同理,差分积分器也能对某些信号起波形变换作用。

### 7. 集成运放具体应用接线图

现以  $\mu A741$  型集成运算放大器为例,将它作为反相比值运算器使用时,具体接线如图 3-56 所示。其中图 3-56(a)为反相比值运算器简易连接,失调调零功能





(1脚、5脚)没有利用,同相输入端(3脚)与“地”之间不接平衡电阻,这种连接方法只适用于要求不高的场合。图3-56(b)是 $\mu A741$ 型集成运算放大器作为反相比例运算器使用时的典型接线图,其中同相输入端(3脚)与“地”之间的 $R_2$ 是为了保持差分放大电路的对称性而引入的,一般 $R_2 = R_1 R_3 / (R_1 + R_3)$ 。为了进一步保持对称、抑制零点漂移,在 $\mu A741$ 型集成运算放大器的失调调零端(1脚、5脚)之间接入一只电位器 $RP$ (其阻值通常取 $10k\Omega$ ),可以用来调节失调电压到零(输入信号为零时输出电压应为零)。这样,就使 $\mu A741$ 型集成运算放大器的功能和性能得到充分地利用。

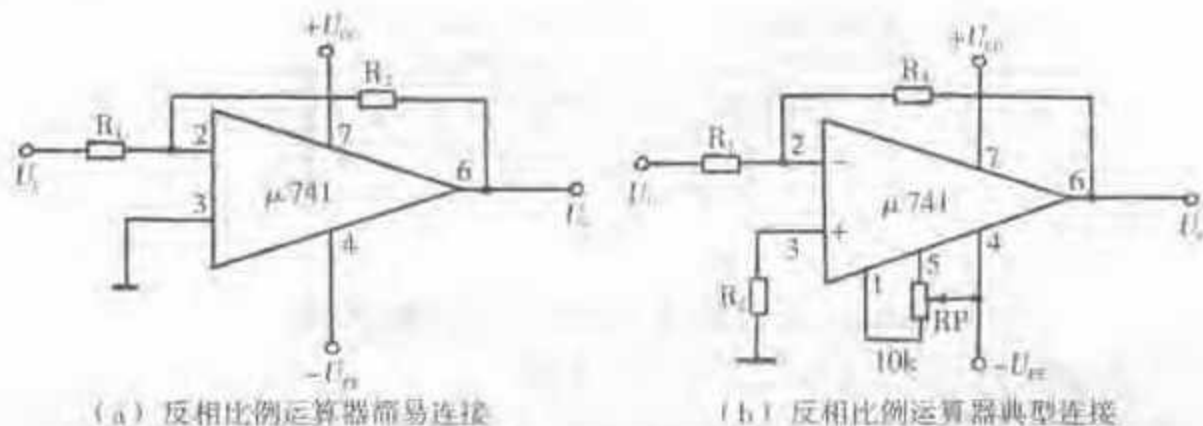


图 3-56  $\mu A741$  型集成运算放大器具体接线图

## 第五节 功率放大集成块应用电路

集成音频功率放大电路(或称音频功放集成块)能提供上百毫瓦至几百瓦的功率,其中有许多音频功放集成块不仅性能优良、功能齐全,而且附有保护电路。音频功放集成块外围电路简单,元件少,使用连接比较方便,在音响等家用电器和自动控制设备中广泛应用。

音频功放集成块的品种很多,以下仅选几种功放集成块的典型应用电路作简要介绍。

### 一、LA4100、LA4102、LA4112 型应用电路

#### 1. LA4100、LA4102、LA4112 型主要性能

最大电源电压:9V(LA4100),13V(LA4102),11V(LA4112)

允许耗散功率:1.2W,2.25W(附加 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 铜散热板使用)

输出功率(THD为10%):1.0W(LA4100),2.1W(LA4102),2.3W(LA4112, $R_L = 4\Omega$ )。(注:THD即全谐波失真度)

输入电阻:20 $\Omega$ (典型值)

工作温度:-20~+70 $^{\circ}\text{C}$

## 2. LA4100、LA4102、LA4112 型的外形

功放集成块 LA4100、LA4102、LA4112 型为双列直插式封装，共 14 个引脚，带有小型散热片，最大尺寸为  $25.6\text{mm} \times 7.62\text{mm} \times 7.74\text{mm}$ ，散热片上的安装孔  $\phi = 2.1\text{mm}$ ，外形如图 3-57 所示。

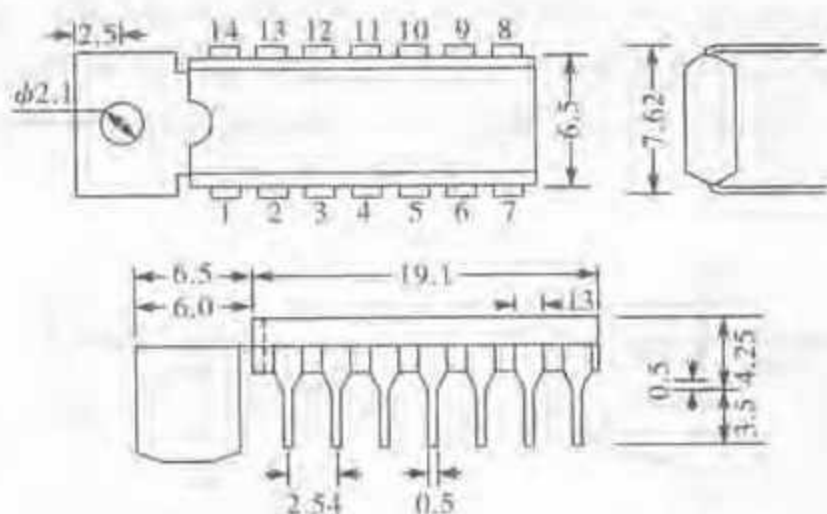


图 3-57 LA4100、LA4102、LA4112 型外形图

## 3. LA4100、LA4102、LA4112 型应用电路

功放集成块 LA4100 型、LA4102 型和 LA4112 型的典型应用电路如图 3-58 所示。

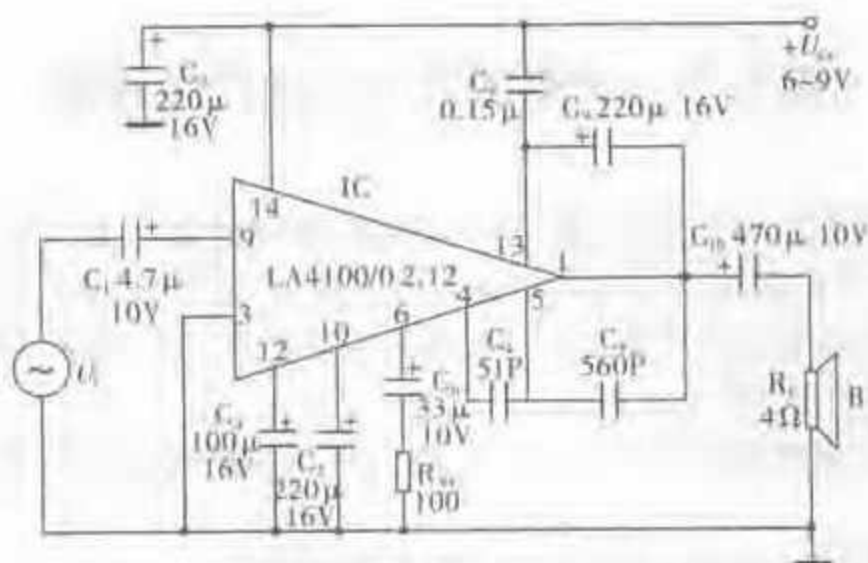
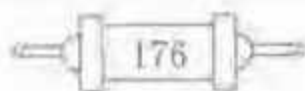


图 3-58 LA4100、LA4102、LA4112 型典型应用电路

应用电路的电源电压推荐值为  $6\text{V}$  (LA4100) 至  $9\text{V}$  (LA4102、LA4112)。外围电路除负载电阻  $R_L$  (阻抗  $4\Omega$  的电动扬声器 B) 外，只用 1 只电阻器和 10 只电容器。现对它们的作用说明如下：

$C_1$ ：输入耦合电容。 $C_1$  容量的选取是根据放大器的低端频响而定，通常取值为  $4.7 \sim 10\mu\text{F}$ 。

$C_2$ ：偏置电路滤波电容。 $C_2$  容量可取  $220\mu\text{F}$ 。





$C_3$ : 电源级间去耦电容(防止放大器因电源级间耦合产生的自激振荡或波形失真)。 $C_3$ 容量一般可取  $100\mu\text{F}$  左右。

$C_4$ : 相位补偿电容,其作用是防振。 $C_4$ 容量一般可取  $51\sim 220\text{pF}$ 。

$C_5$ : 抑制自激振荡电容。 $C_5$ 的容量可取  $560\text{pF}$ 。

$C_6$ : 负反馈隔直流及频响调整电容。 $C_6$ 的容量可取  $33\mu\text{F}$  左右。

$R_{\text{NF}}$ : 负反馈电阻。 $R_{\text{NF}}$ 阻值大小决定放大器的闭环增益,虽然  $R_{\text{NF}}$ 阻值越小,负反馈越强,抑制失真效果越显著,但负反馈不宜太强(应注意负反馈不宜超过  $30\text{dB}$ )。典型应用电路  $R_{\text{NF}}=100\Omega$ 。

$C_7$ : 电源旁路电容。 $C_7$ 具有交流旁路作用,可以使交流信号顺利通过电源回路,防止电源耦合引起放大信号失真或自激振荡。 $C_7$ 容量一般  $\geq 220\mu\text{F}$ 。

$C_8$ : 负反馈防振电容。此电容器要求频率特性和温度特性均应比较好,其容量可取  $0.15\mu\text{F}$  左右。

$C_9$ : 自举电容。 $C_9$ 容量一般取  $100\sim 220\mu\text{F}$ 。

$C_{10}$ : 输出耦合电容。它的容量选取取决于功率放大器的低频频率响应,通常选取容量为  $470\mu\text{F}$ 。

另一种应用电路如图 3-59 所示。它的不同之处是将负载(扬声器)的一端接到电源正极。

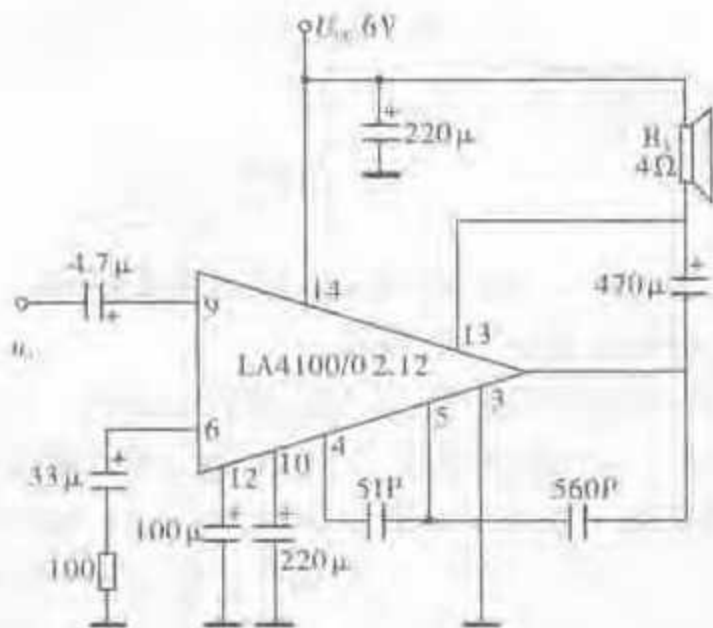


图 3-59 LA4100、LA4102、LA4112 另一种应用电路

## 二、LM12 型典型应用电路

LM12 型音频功放集成块是一种优质大功率音频运算放大器,具有功率大、谐波失真低、互调失真低、具有过压保护、过流限制及过热限制等特点。当电源电压不足  $14\text{V}(\pm 7\text{V})$  或温度超过  $150^\circ\text{C}$  时,输出会自动断开。因此,可作为高保真度(Hi-Fi)音响功率放大电路应用。





### 1. LM12 型主要性能

输出功率:典型值 150W(负载电阻 4Ω)

谐波失真:典型值 0.01%

互调失真:0.015%(60Hz 与 7kHz 信号按规定混合测试)

输入失调电压:2mV(典型值)

输入失调电流:150μA(典型值)

最大静态电流:80mA

连续的直流功率:90W(25℃时典型值)

电压增益:50V/mV(负载 4Ω时典型值)

频率响应:700kHz( $A_{v0}=1$ 时典型值)

### 2. LM12 型典型应用电路

大功率音频放大集成块 LM12 型的外形如图 3-60 所示。其一共有 5 个引出端:正电源端(1 脚)、负电源端(3 脚)、反相输入端(4 脚)、同相输入端(5 脚)和输出端(2 脚)。其中负电源端与外壳相通。

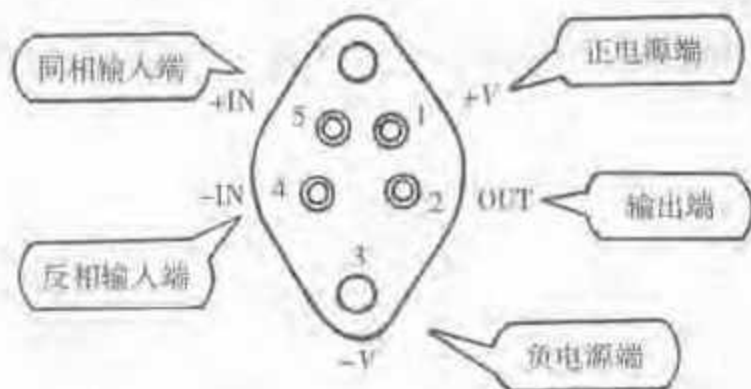


图 3-60 LM12 型大功率音频放大集成块外形

LM12 型典型应用电路如图 3-61 所示。

由图可见,该功放电路实际为同相比例运算放大电路。其中电阻器  $R_2$ 、 $R_1$  和电容器  $C_1$  以及电感器  $L$  一起构成 RCL 负反馈网络,用来减少放大失真和改善音频放大频率特性。反相输入端通过电阻  $R_1$  接地。功放电路的放大倍数主要取决于  $R_2$  和  $R_1$  的比值( $1+R_2/R_1$ ),与 LM12 型的开环电压放大倍数  $A_{v0}$  无关。

在同相输入端与“地”之间接入电阻器  $R_2$ ,是为了使差分放大电路保持对称,以利于抑制零点漂移。

$C_2$ 、 $C_3$  是电源旁路电容,容量相当大,以利交流信号顺利通过,与二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  一起构成电源去耦滤波电路。

特别提示,各种资料中出现的符号未必都一致,例如,图 3-60 所示用 +V 表示正电源端、-V 表示负电源端,相当于前面电路中所用的  $+U_{CC}$  和  $-U_{CC}$ 。类似的情况在识读电路时是经常会遇到的。

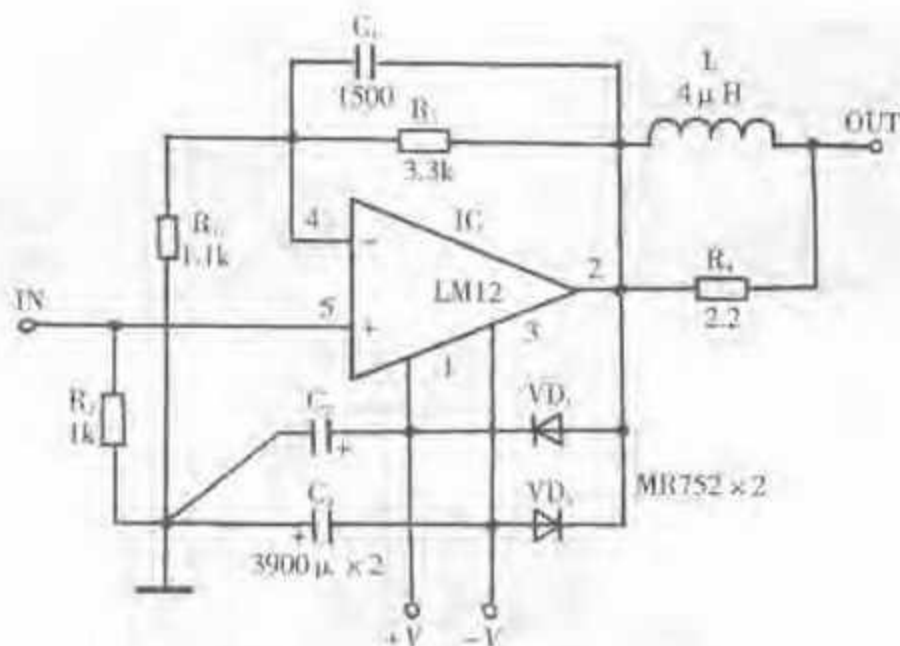


图 3-61 LM12 型典型应用电路

### 三、“傻瓜”功放集成块典型应用电路

傻瓜功放集成块(傻瓜 IC)是一种新型的音响功放集成电路,它与普通功放电路相比,除无需外接任何元器件、无需安装调试外,还具有内部电路先进(采用绝缘栅场效应晶体管作推动输出)、动态频响极宽、工作电压超标时能自动保护(自动停止输出,待电压正常时自动恢复工作)等特点。

#### 1. “傻瓜”1025 型功放集成块典型应用电路

“傻瓜”1025 型功放集成块的典型应用电路如图 3-62(a)所示。从图可以看出,傻瓜 1025 型功放集成块有 5 个引出端:1 个输入端(IN),2 个输出端(OUT),1 个电源正端(+),1 个电源负端(-)。它的外部接线十分简单,仅用 1 只  $1\,000\mu\text{F}$  的电容器作为外接元件,用来对直流电源作交流旁路滤波。只要具备合适的工作电源,输入信号后就能正常工作。

“傻瓜”1025 型功放集成块的主要性能:单电源(直流)工作电压为  $10\sim 18\text{V}$ (推荐工作电压为  $12\text{V}$ )、扬声器负载阻抗  $8\Omega$  时的额定输出功率为  $25\text{W}$ ,静态电流为  $40\text{mA}$ ,频率响应为  $10\text{Hz}\sim 60\text{kHz}$ ,增益为  $30\text{dB}$ ,输入阻抗为  $1\text{M}\Omega$ 。

#### 2. “傻瓜”175 型功放集成块典型应用电路

“傻瓜”175 型功放集成块的典型应用电路如图 3-62(b)所示。由图可见,它的 5 个引出端由左至右的排列是:正电源端(+)、信号输入端(IN)、地端( $\perp$ )、输出端(OUT)、负电源端(-)。它的外部接线也是十分简单,只要具备合适的电源( $\pm 32\text{V}$ ),输入信号后就能正常工作。

“傻瓜”175 型功放集成块的主要性能:工作电压范围为  $\pm 15\sim \pm 32\text{V}$ (极限值为  $\pm 34\text{V}$ ),截止保护电压为  $\pm 35\sim \pm 38\text{V}$ ,负载阻抗  $8\Omega$  时的额定输出功率为  $35\text{W}$ ,最大输出功率为  $75\text{W}$ ,静态电流为  $50\text{mA}$ ,输出失调电压为  $50\text{mV}$ ,频率响应

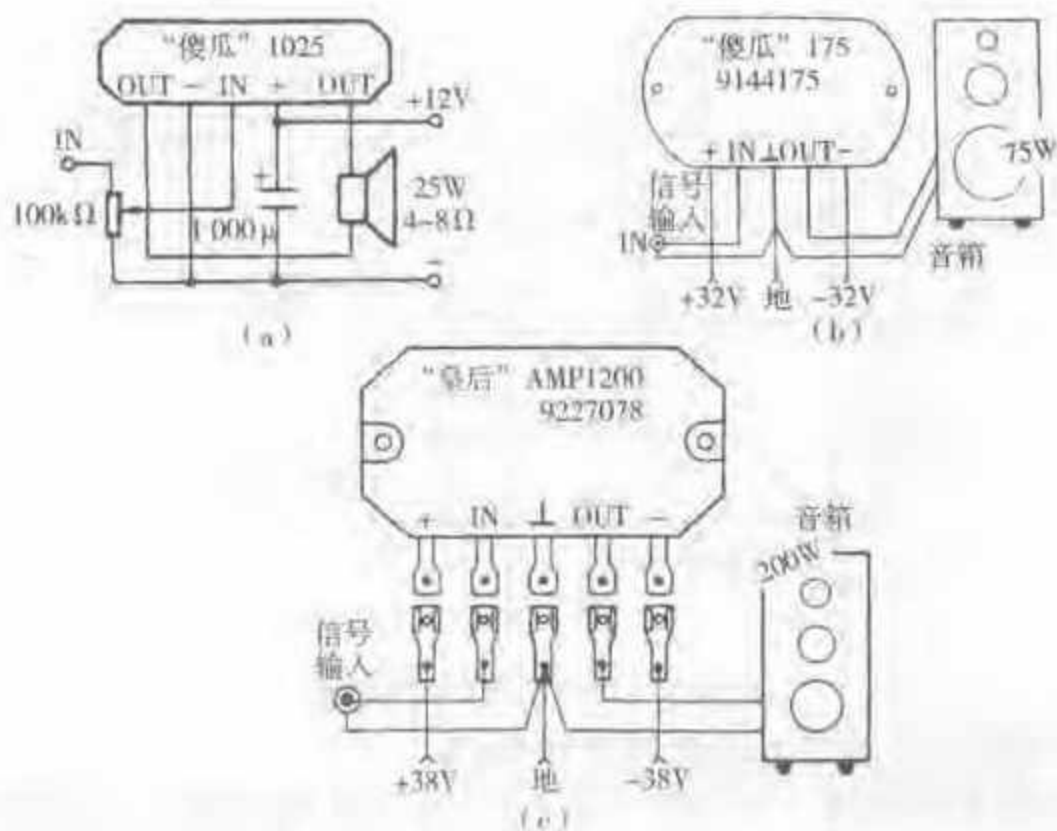


图 3-62 几种“傻瓜”功放集成块的典型应用电路

为 10Hz~50kHz, 失真度为 0.07%, 增益为 30dB, 输入阻抗为 47kΩ, 允许最高工作温度为 70℃, 散热器尺寸为 200mm×150mm×3mm。

### 3. “皇后”AMP1200 型功放集成块典型应用电路

“皇后”AMP1200 型功放集成块为大型功放集成电路, 它具有增益高、失真小、动态频响宽、功耗低、输出功率大的特点。它无需接任何外围元器件, 不用调试就能方便地制作出高质量、大功率的音频功放电路。它的典型应用电路如图 3-62(c) 所示。

由图可见, “皇后”AMP1200 型有 5 个引出端, 自左至右的排列是: 正电源端(+), 输入端(IN)、地端(⊥)、输出端(OUT)、负电源端(-)。

它的单声道功放电路的外部接线也是十分简单, 将外部接线焊接在配套的接插片上(注意: 严禁直接焊在引脚上), 通过接插片再与各个引脚连接。

需要注意的是, 功放电路必须安装散热器才能工作。散热器尺寸一般为 250mm×250mm×5mm。如果功放集成块经常处于满载工作条件下时, 散热器尺寸应尽可能大, 并应保证其本身的散热片(已和内部电路隔离)与外加的散热器接触良好(必须涂上一层硅脂), 以利导热。

“皇后”AMP1200 型的主要性能: 工作电压(直流)为 25~40V, 推荐电压(直流)为 38V, 额定功率为 100W, 最大功率为 200W, 静态电流 < 45mA, 失调电压 < 50mV, 频率响应为 10Hz~30kHz, 失真度为 0.3%, 增益为 30dB, 输入阻抗为 47kΩ, 输出阻抗为 8Ω, 外加散热器尺寸为 250mm×250mm×5mm。





#### 4. “傻瓜”275 型功放集成块典型应用电路

“傻瓜”275 型功放集成块的典型应用电路如图 3-63 所示。

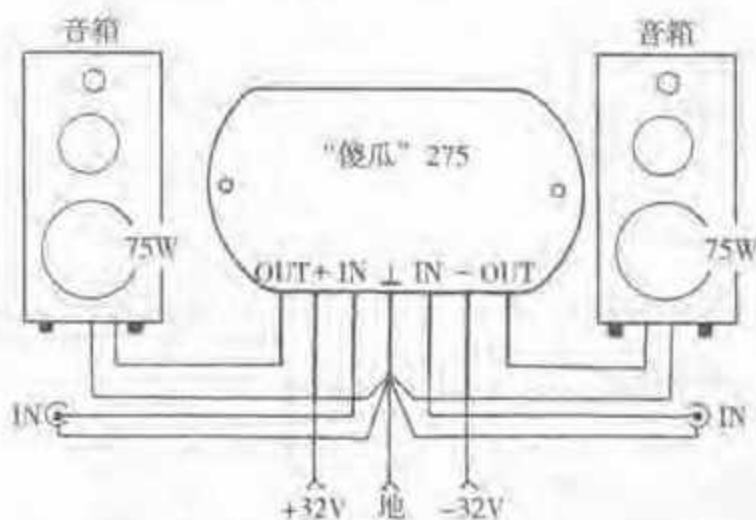


图 3-63 “傻瓜”275 型功放集成块的典型应用电路

由图可见,它有 2 个输入端(IN),2 个输出端(OUT),1 个正电源端(+),1 个负电源端(-),1 个接地端(⊥)。因此,构成双通道(立体声)音频功放电路,每个通道可输出的最大功率为 75W。它的外部电路极其简单,不必附加任何电子元件,只要接入合适的直流工作电源、输入音频信号后就能正常地进行音频功率放大,驱动音箱中的各个扬声器工作。

“傻瓜”275 型功放集成块的每个通道的主要性能与“傻瓜”175 型完全相同。由于 2 个通道电路合装在一块功放模块中,因此它的外加散热器尺寸应加大一倍,尺寸为  $400\text{mm} \times 150\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。

## 第六节 调谐放大电路

调谐放大电路也称选频放大电路。简单地说,它能从含有多种频率的信号群中选出某个频率的信号加以放大,而对其他频率的信号不予放大。它主要用于无线电通信发射和接收设备上的选频环节。

### 一、LC 并联电路及其频率特性

在调谐放大器中起选频作用的是 LC 并联电路,在 LC 并联电路中虽不接入电阻元件,但电感线圈本身有一定的电阻,电容器工作也难免会有一定的介质损耗,因此实际上 LC 并联电路的等效电路是含有等效电阻  $R$  的,如图 3-64(a)所示。

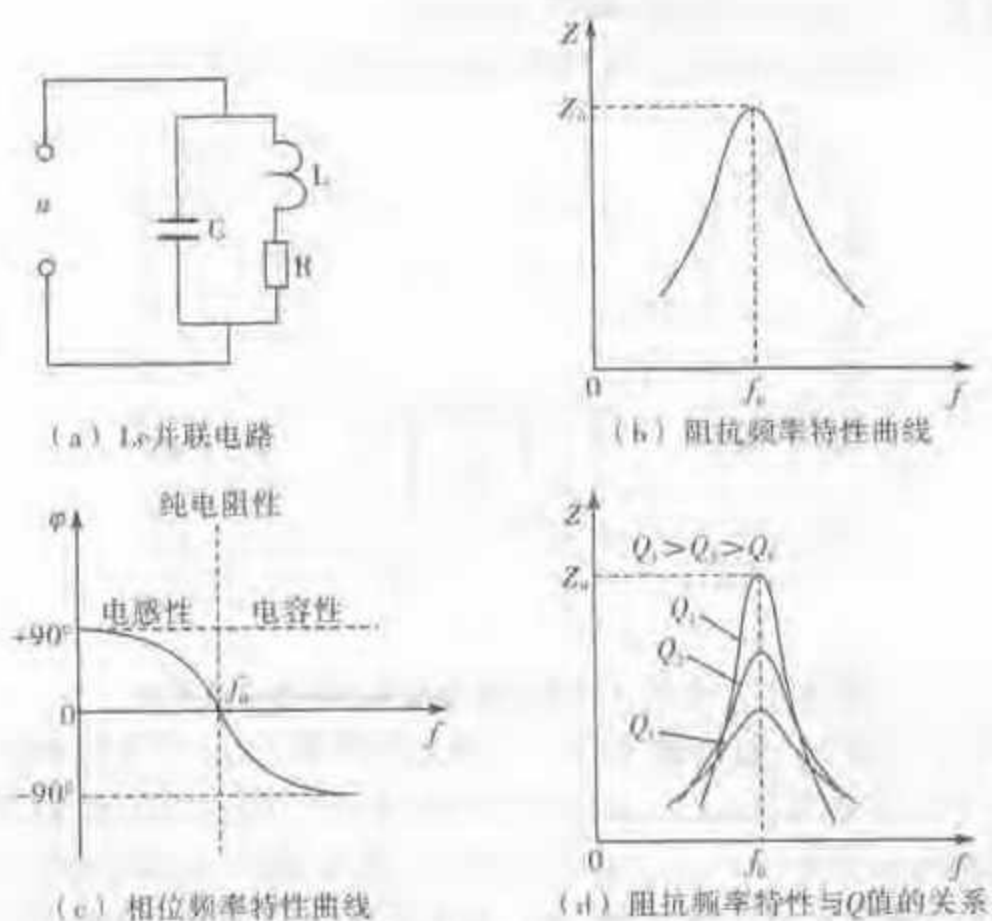


图 3-64 LC 并联电路及其频率特性

LC 并联电路的阻抗频率特性曲线如图 3-64(b) 所示。由图可见,当输入 LC 并联电路的信号频率  $f=f_0$  时,LC 并联电路的阻抗  $Z=Z_0$  为最大值;当信号频率  $f$  小于或大于  $f_0$  时,阻抗变小。 $f_0$  为 LC 并联电路的谐振频率(也称固有频率), $f_0$  的大小可由下式确定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

LC 并联电路的相位频率特性曲线如图 3-64(c) 所示。由图可见,当信号频率  $f < f_0$  时,电路呈电感性,LC 并联电路两端的电压与电流之间的相位差  $\varphi > 0$ ;当信号频率  $f = f_0$  时,电路呈纯电阻性且阻抗最大,LC 并联电路两端的电压与电流之间的相位差  $\varphi = 0$ ;当信号频率  $f > f_0$  时,电路呈电容性,LC 并联电路两端的电压与电流之间的相位差  $\varphi < 0$ 。

LC 并联电路的阻抗频率特性与 Q 值的关系如图 3-64(d) 所示。这里 Q 为 LC 并联谐振电路的品质因数,它是指电路谐振时感抗或容抗与等效损耗电阻的比值,Q 值越大,LC 并联电路的选频特性越强。(Q 值可用专用仪表测定)

## 二、输入端为电容耦合的调谐放大电路

图 3-65 所示为输入端为电容耦合的调谐放大电路。

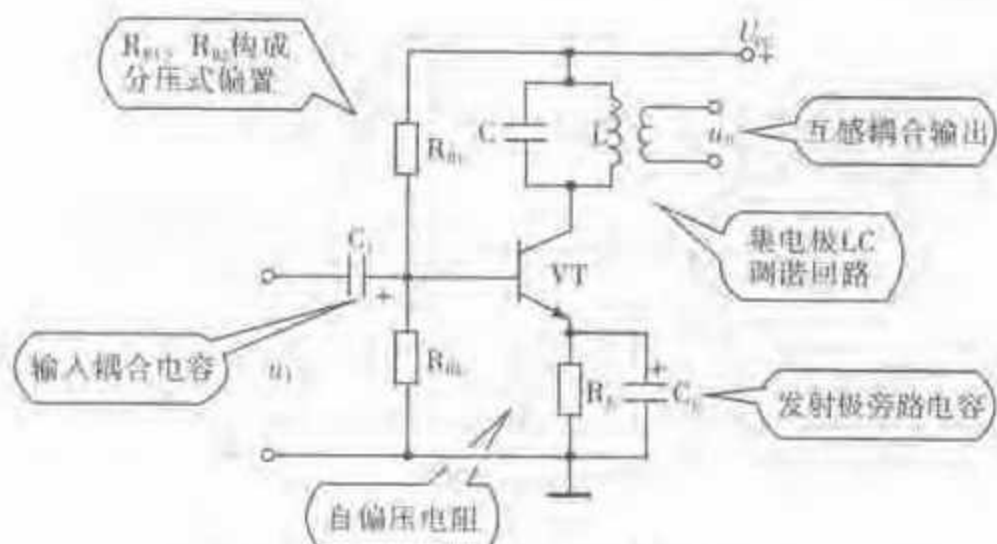


图 3-65 输入端为电容耦合的调谐放大电路

由图可见,起选频作用的 LC 并联调谐回路接入晶体管 VT 的集电极回路中,并采用互感耦合方式输出选频信号  $u_o$ 。接在发射极回路的自偏压电阻  $R_E$  提供自给偏压,射极旁路电容  $C_E$  对  $R_E$  两端起交流短路作用(相当于发射极接地)。 $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  构成分压式偏置电路,使晶体管 VT 建立合适的静态工作点,合理应用 VT 的放大作用。输入信号  $u_i$  是通过输入耦合电容  $C_i$  耦合送到 VT 的基极。

由于集电极 LC 调谐回路的选频作用,使图 3-65 所示的放大电路能做到只对一个特定频率的信号(确切地讲是一个相当窄的频带)起最有效的放大作用。其电压放大倍数与信号频率的关系如图 3-66 所示。可见,当信号频率  $f$  等于谐振频率  $f_0$  时,电路具有最大的放大倍数  $A_{i0}$ ,输出电压为最大。

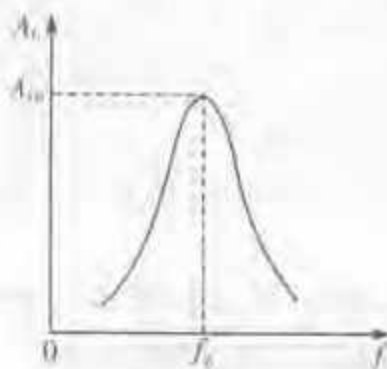


图 3-66 电压放大倍数与信号频率的关系(谐振曲线示意图)

$f_0$ -谐振频率;  $A_{i0}$ -信号频率为  $f_0$  时的放大倍数

### 三、输入端为变压器耦合的单回路调谐放大电路

输入端为变压器耦合的单回路调谐放大电路及其频率特性曲线如图 3-67 所示。可见,电路原理图除输入信号耦合方式不同外,与上述图 3-65 所示的电路基本相同。其输出电压频率特性曲线其实也与图 3-66 所示一致(这里都是示意图)。

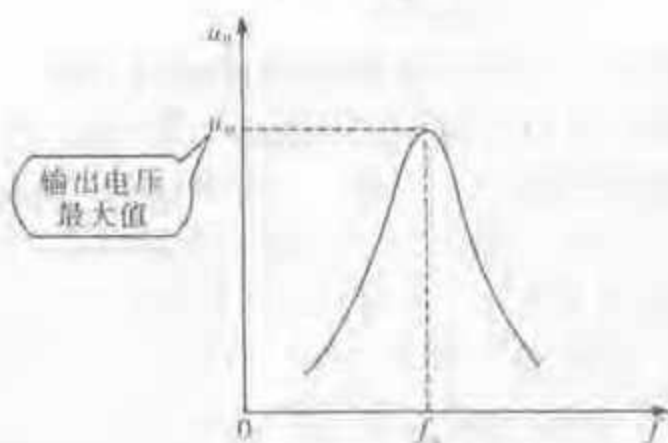
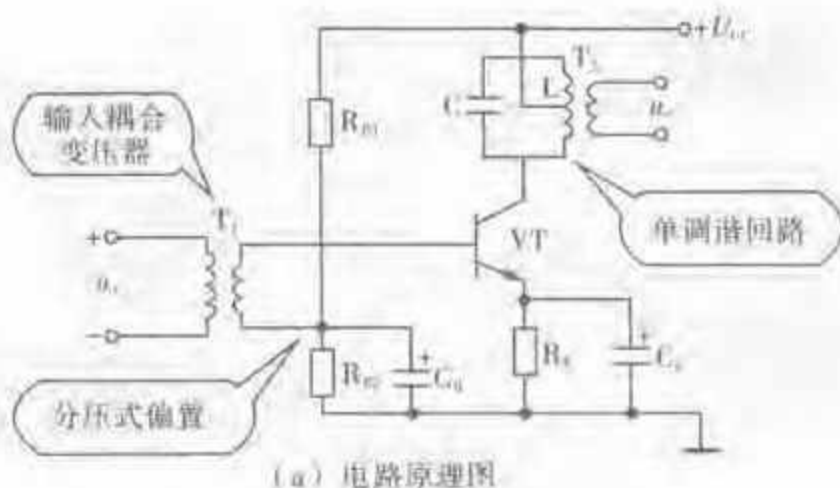


图 3-67 单回路调谐放大电路及其频率特性曲线

值得注意的是,在图 3-67(a)所示电路中,LC 并联谐振回路是用电感抽头方式接入晶体管集电极电路中,这是为了达到阻抗匹配的目的,以提高传输效率。因为 LC 并联电路的谐振阻抗大于晶体管共发射极放大电路的输出阻抗,而采用自耦变压器阻抗变换原理的抽头接入方式,就可调节 LC 并联回路接入晶体管输出电路的阻抗,通过阻抗匹配从而提高传输效率。阻抗匹配的程度,可由电感线圈 L 的抽头位置来调节。

这种单回路调谐放大器只能用于通频带和选择性要求不高的场合。其优点是电路简单、调整方便、易于制成比较稳定的电路。

#### 四、双回路调谐放大电路

双回路调谐放大电路一般是在同一级放大电路中具有 2 个调谐回路,它又可分为互感耦合式和电容耦合式。

##### 1. 互感耦合式双回路调谐放大电路

互感耦合式双回路调谐放大电路如图 3-68 所示。由图可见,它与单回路调谐放大电路不同之处,仅在于用  $L_2 C_2$  调谐电路来取代单调谐回路的次级耦合线圈。初次级之间仍用互感耦合方式。通过改变线圈  $L_1$  与  $L_2$  间的距离或磁心的位置,即可改变耦合程度,从而改变调谐放大电路的通频带与选择性等指标。

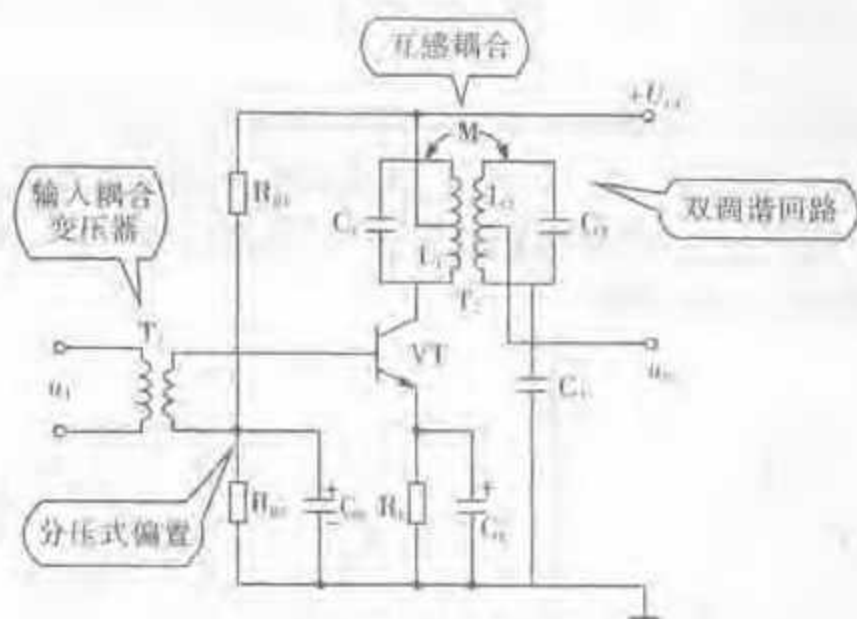


图 3-68 互感耦合式双回路调谐放大电路

其基本工作原理: 设  $L_1C_1$  和  $L_2C_2$  这 2 个回路都与信号频率谐振, 信号  $u_1$  通过变压器  $T_1$  输入耦合送到 VT 的基极与发射极 (旁路电容  $C_B$ 、 $C_E$  对输入交流信号而言可视为短路), 经 VT 放大后的交流信号在集电极的  $L_1C_1$  并联回路产生谐振。此时通过线圈  $L_1$  中的电流将产生互感耦合作用, 在次级线圈  $L_2$  上产生感应电压, 并在  $L_2C_2$  回路也产生谐振, 使回路电流达到最大值, 于是在  $L_2$  的抽头部分输出信号电压  $u_o$  也达到最大值。

## 2. 电容耦合式双回路调谐放大电路

电容耦合式双回路调谐放大电路如图 3-69 所示。

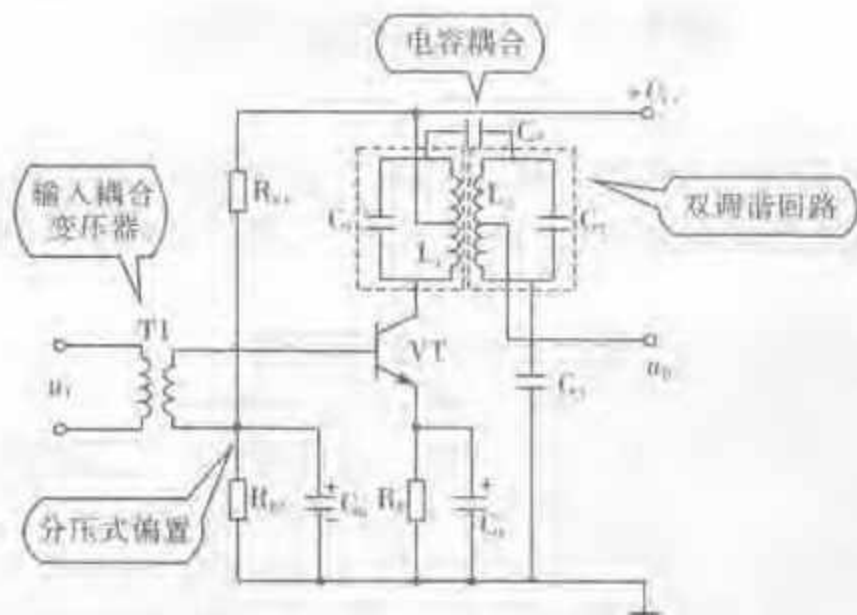


图 3-69 电容耦合式双回路调谐放大电路

由图可见, 该电路同样采用  $L_1C_1$  和  $L_2C_2$  2 个谐振电路, 但这 2 个谐振回路中的  $L_1$ 、 $L_2$  之间基本上不存在互感耦合 (不构成变压器那样的初次级关系), 而是依



靠电容器  $C_1$  来实现耦合。改变  $C_1$  的容量,即可改变谐振电路的耦合程度,从而改变通频带和选择性等指标。

无论是互感耦合式双回路调谐放大电路还是电容耦合式双回路调谐放大电路,都可通过正确选择  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  及  $C_3$  值或调整互感耦合程度,使放大器在所需的频带范围内的电压放大倍数达到最佳值。不同耦合程度下,双回路调谐放大电路的谐振曲线如图 3-70 所示。

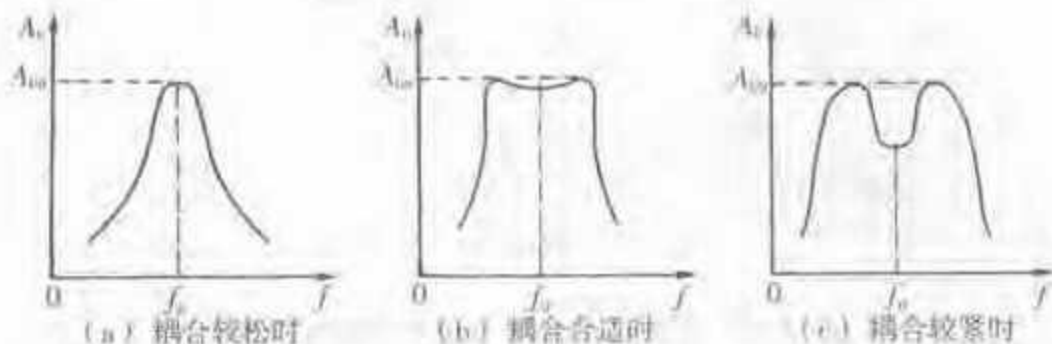


图 3-70 双回路调谐放大电路的谐振曲线

$f$ —输入信号频率;  $A_U$ —电压放大倍数;  $f_0$ —谐振频率;  $A_{U0}$ —信号频率为  $f_0$  时的放大倍数

当 2 个谐振回路之间的耦合较松时,谐振曲线为单峰,如图 3-70(a)所示;当耦合合适时,谐振曲线接近矩形,如图 3-70(b)所示;当耦合较紧时,谐振曲线为对称于中心频率  $f_0$  的双峰,如图 3-70(c)所示。因此,适当调节 2 个谐振回路之间的耦合程度,可以使放大电路具有接近矩形的谐振曲线,使双回路调谐放大电路在一定频宽内具有良好的选择性。

## 第七节 正弦波振荡电路

振荡电路按其产生的波形不同,可分为正弦波振荡电路和非正弦波振荡电路。正弦波振荡电路按其结构的不同,又分为 LC 振荡电路、RC 振荡电路和晶体振荡电路。

### 一、共发射极变压器耦合式 LC 振荡电路

共发射极变压器耦合式 LC 振荡电路如图 3-71 所示。

由图可见,该电路的静态工作点由  $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$  组成的分压式偏置和  $R_E$  的自偏压作用决定。线圈  $L$ 、 $L_1$ 、 $L_2$  之间存在如变压器那样的互感耦合作用。其中电感器  $L$  与电容器  $C$  并联构成 LC 振荡回路,次级线圈  $L_1$  两端提供正反馈电压  $u$  送至晶体管 VT 的基极(通过电容器  $C_1$  隔直和耦合),使 LC 回路中的振荡能维持下去。次级线圈  $L_2$  中感应出的正弦波交流电压作为共发射极 LC 振荡电路的输出,可直接与负载电阻  $R_L$  两端相接。

如果切断正反馈电路,LC 振荡就不能继续维持下去,这时电路就只能按 LC

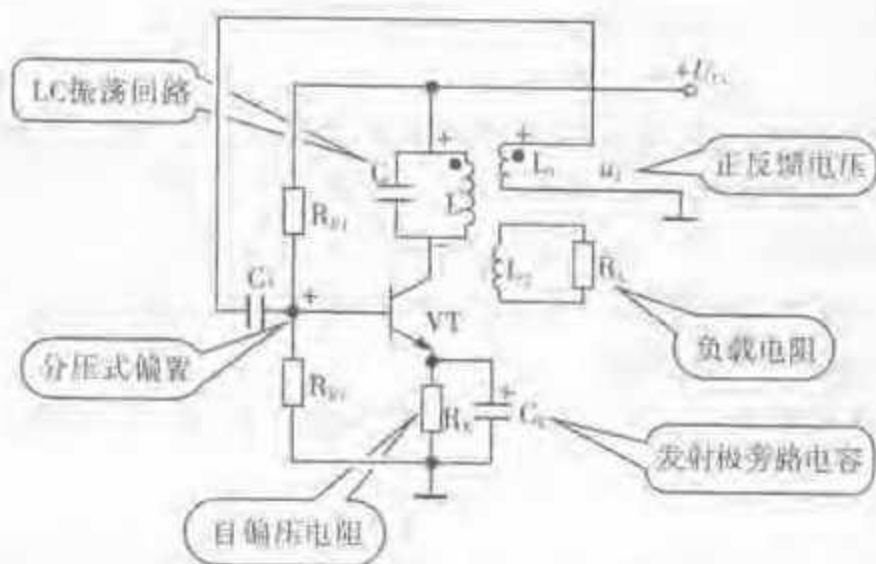


图 3-71 共发射极变压器耦合式 LC 振荡电路

调谐放大电路的原理工作。如果正反馈电压  $u_1$  太小, 电路也不能产生自激振荡。因此, 作为一个具体的 LC 振荡电路, 提供  $L_1$ 、 $L_2$  的实际数据及互感耦合程度是完全必要的。理论上指出, 只有当反馈电压  $u_1$  满足相位条件(正反馈)和振幅条件(电压放大倍数与反馈系数的乘积不能小于 1), 电路才能产生自激振荡。

图 3-71 所示共发射极变压器耦合式 LC 振荡电路的振荡频率  $f_0$  由下式决定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

由此可见, 当电感量  $L$  或电容量  $C$  改变时, 振荡频率  $f_0$  就会改变。一般是采用可变电容器与固定电感器配合, 通过调整可变电容器(或半可调电容器)的容量, 就可得到所需要的振荡频率。

## 二、共基极变压器耦合式 LC 振荡电路

共基极变压器耦合式 LC 振荡电路如图 3-72 所示。

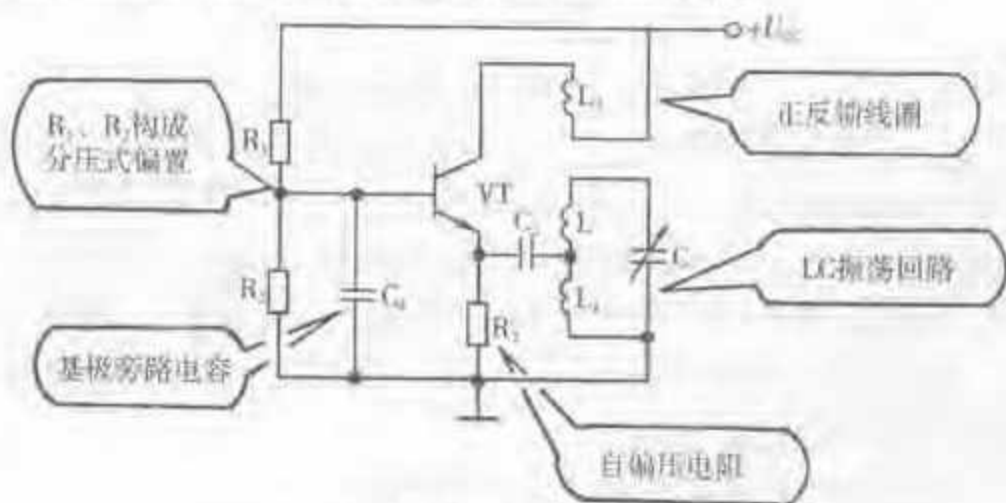


图 3-72 共基极变压器耦合式 LC 振荡电路

由图可见, 它用分压式( $R_1$ 、 $R_2$  组成)电流负反馈( $R_3$  的自偏压作用)偏置电路稳定静态工作点。电感器  $L_1$ 、 $L_2$  与电容器  $C$  串联组成选频回路, 电感器  $L_2$  为正反



馈线圈。电容器  $C_1$  为基极旁路电容,  $C_2$  为隔直流耦合电容。由于  $C_1$  的旁路作用, 对交流通路而言, VT 的基极是接“地”的。

其基本工作原理: 设电路电源接通的瞬间即在  $L_1, L_2, C$  组成的回路中开始产生振荡, 则从  $L_1$  两端取出一部分振荡电压加到 VT 的基极与发射极之间, 经 VT 放大后在正反馈线圈  $L_2$  中产生较大的交变电流, 于是通过  $L_2$  与  $L_1, L_2$  之间的互感耦合, 在  $L_1, L_2$  中产生感应电压。因此, 只要正确选择  $L_2$  的匝数和绕制方向, 就可以使电路保持稳定的等幅振荡。

共基极变压器耦合式 LC 振荡电路的振荡频率  $f_0$  由下式决定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

可见, 只要改变  $C$  的容量就能达到调节振荡频率  $f_0$  的目的。这种振荡电路产生的信号波形比较好, 改变频率容易, 调试也比较方便, 在收音机电路中常被采用。

### 三、电感三点式振荡电路

三点式振荡电路有电感三点式和电容三点式, 它们在结构上的共同点都是从 LC 振荡回路中引出 3 个端点分别和晶体管的三极相接。

电感三点式振荡电路如图 3-73 所示。

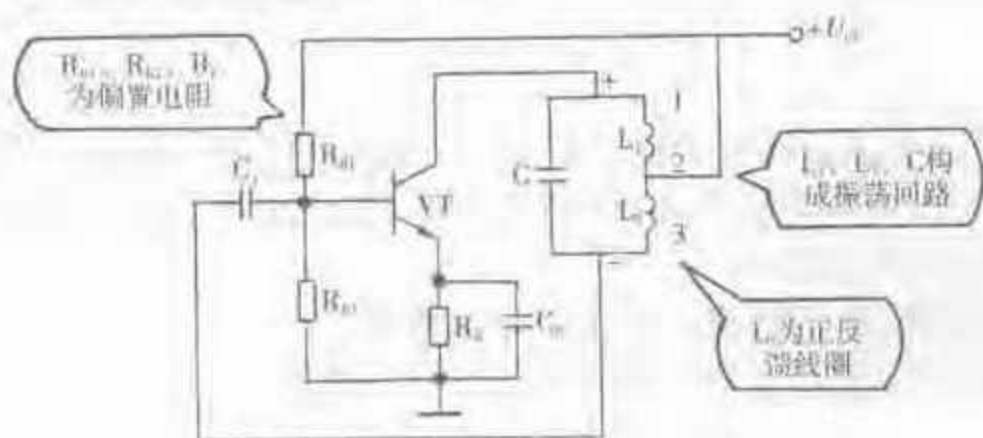


图 3-73 电感三点式振荡电路

图中  $L_1, L_2, C$  构成振荡回路, 决定了振荡电路的振荡频率。  $C_1$  为隔直流耦合电容,  $C_E$  为发射极旁路电容。  $R_{B1}, R_{B2}$  和  $R_{B3}$  构成分压式电流负反馈偏置电路, 稳定振荡电路的静态工作点。在振荡电路中的电感线圈  $L_2$  起正反馈作用, 在  $L_2$  两端取出的电压  $u_f$  加到晶体管 VT 的输入端 (3 端通过  $C_1$  接基极, 2 端通过电源和  $C_E$  接发射极)。适当选取反馈线圈的匝数, 从而得到适当大小的正反馈电压, 就可使振荡电路起振并维持稳定的振幅。

电感三点式振荡电路的振荡频率由下式决定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2MC)C}}$$

式中  $M$  是  $L_1$  与  $L_2$  之间的互感系数。



电感三点式振荡电路的优点是正反馈强,容易起振、振幅比较大。可采用可变电容器方便地调节振荡频率。其缺点是输出信号中高次谐波较多,波形失真较大,只能用于对波形要求不高的场合。

#### 四、电容三点式振荡电路

电容三点式振荡电路如图 3-74 所示。

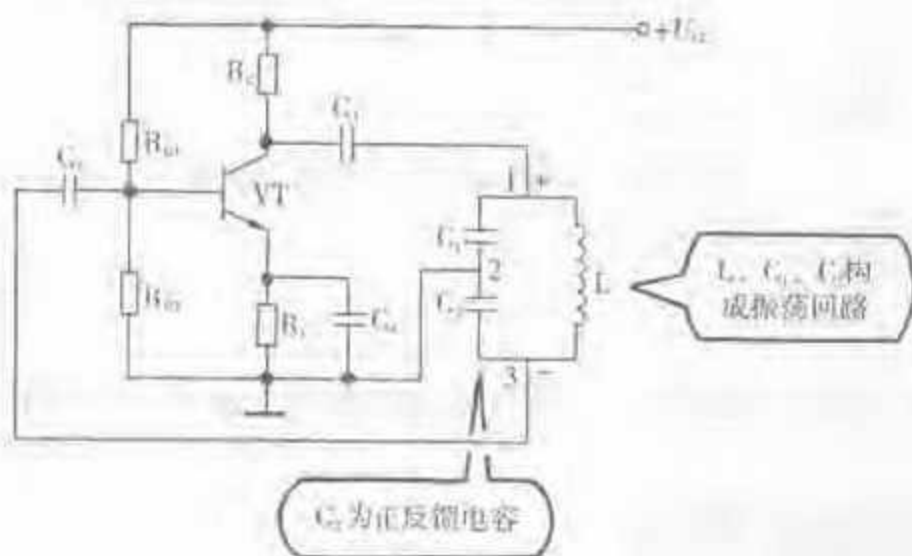


图 3-74 电容三点式振荡电路

图中,电感器  $L$  和电容器  $C_1$ 、 $C_2$  构成 LC 振荡回路。其中  $C_2$  一端接“地”,另一端通过  $C_1$  接晶体管的基极,它在放大电路中起正反馈作用,使电路产生自激振荡。如果切除  $L$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  回路,显然就是一个共发射极交流电压放大电路,其中  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ 、 $R_e$  为偏置电阻, $R_c$  为集电极电阻, $C_c$  为集电极输出隔直流耦合电容, $C_b$  为发射极交流旁路电容。

电容三点式振荡电路的振荡频率  $f_0$  由下式决定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

其中

$$C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$$

这种振荡电路的优点是  $C_1$ 、 $C_2$  的容量比较小,能得到较高的振荡频率 ( $\geq 100\text{MHz}$ )。由于反馈信号中高次谐波少,因此输出波形好。缺点是调节频率不方便(调节频率时必须同时改变  $C_1$  和  $C_2$  的容量,以保证有足够的正反馈电压)。这种振荡电路一般在电视机和广播发射机中应用较多。

一种改进型的电容三点式振荡电路如图 3-75 所示。电路的改进之处只是在 LC 回路中接入一个与电感器  $L$  串联的电容器  $C_3$ ,并规定 LC 回路中的另外 2 个电容器的容量都要比  $C_3$  大很多,即  $C_1 \gg C_3$ 、 $C_2 \gg C_3$ ,同时也要比晶体管本身的结电容  $C_{be}$  和  $C_{ce}$  的容量大很多,即  $C_1 \gg C_{be}$ 、 $C_2 \gg C_{ce}$ 。在这样的条件下,振荡频率主要由  $LC_3$  的串联谐振回路决定,并提高了它的稳定性。因此,改进型电容三点式

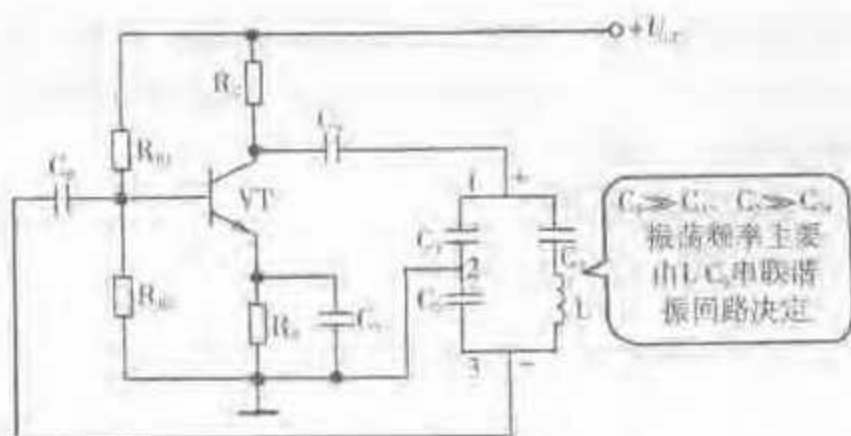


图 3-75 改进型电容三点式振荡电路

振荡电路的振荡频率可由下式来表示：

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_1}}$$

由此可见,这时只要改变  $C_1$  的容量就能改变振荡频率  $f_0$ ,对频率的调节就方便多了。

## 五、石英晶体振荡电路

### 1. 石英晶体简介

石英晶体也称石英振子,它是将具有压电效应的石英单晶体沿一定取向切割成片,再配以电极而制成。它作为电谐振元件,在电子钟表、通信设备、计算机、数字仪表和家用电器中被广泛应用。石英晶体的等效电感量很大而电容量很小,品质因数很高( $Q \approx 10^4 \sim 10^5$ ),选频作用很强。当串联谐振频率等于它的固有频率时,呈现的阻抗最小,而在其他频率时则为高阻抗。因此,石英晶体振荡电路的频率稳定度可以做得很高( $10^{-8} \sim 10^{-5}$ )。

石英晶体的种类很多,它的外形、等效电路和电路符号如图 3-76 所示。常用石英晶体的谐振电阻  $\leq 30 \sim 90 \Omega$ ,标称频率有很多种。

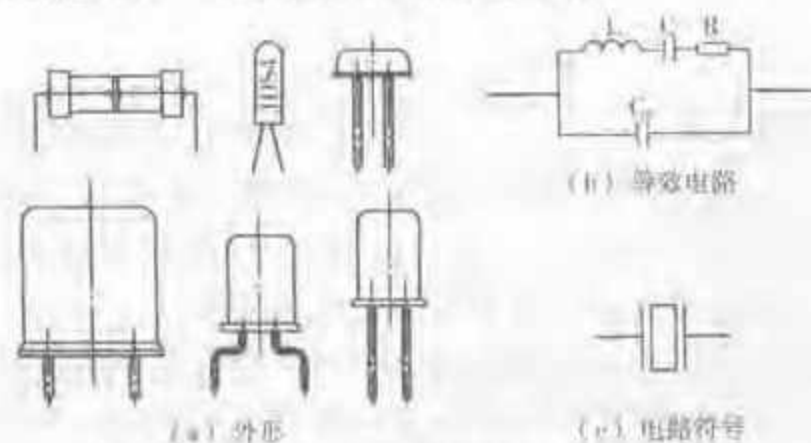
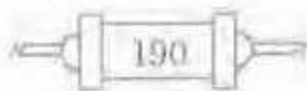


图 3-76 石英晶体的外形、等效电路和电路符号

### 2. 并联型晶体振荡电路

并联型晶体振荡电路如图 3-77 所示。



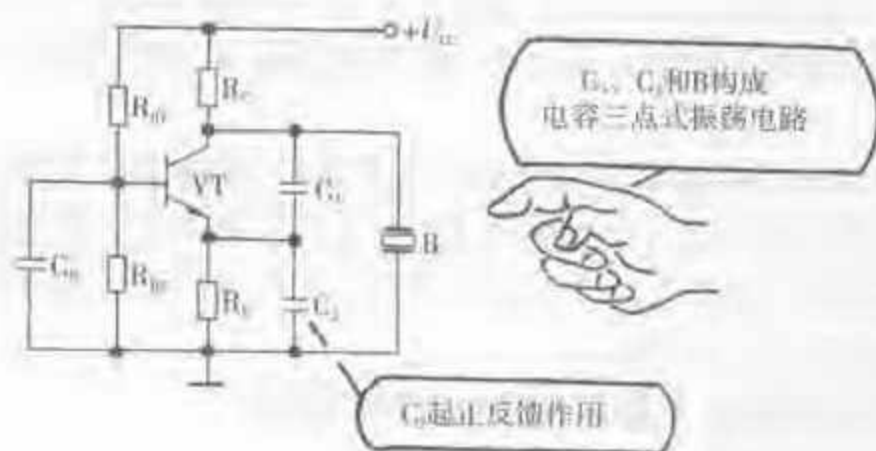


图 3-77 并联型晶体振荡电路

由图可见,电容器  $C_1$ 、 $C_2$  和石英晶体  $B$  组成了改进型电容三点式振荡电路。其中石英晶体  $B$  相当于起 LC 串联谐振回路作用( $C$  为石英晶体的弹性等效电容,  $L$  为石英晶体的等效电感)。因此,并联型晶体振荡电路的振荡频率非常接近石英晶体  $B$  的固有频率(标称频率)。

不同标称频率的石英晶体,从中频到高频有很多种可供选用。例如,EX005XD 型石英晶体的标称频率为 500kHz,主要用于彩电扫描电路所需的 500kHz 振荡信号;HU-49/U 型石英晶体的标称频率为 4 433.619kHz,主要用于彩电中产生 4.43MHz 副载波信号。

### 3. 串联型晶体振荡电路

串联型晶体振荡电路如图 3-78 所示。

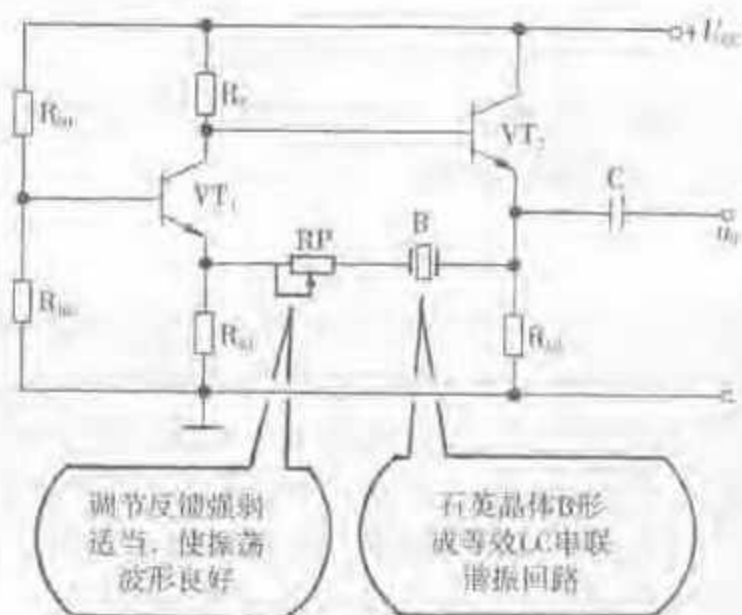


图 3-78 串联型晶体振荡电路

由图可见,石英晶体  $B$  接在由晶体管  $VT_1$ 、 $VT_2$  分别构成的 2 个放大电路的发射极之间,形成正反馈,与石英晶体  $B$  串联的电位器  $RP$  作为可变电阻用来调节



正反馈的强弱,以便得到良好的正弦波输出。如果正反馈太弱(RP 值过大),电路不能起振;如果正反馈太强(RP 值过小),输出振荡信号波形将严重失真(近似矩形波)。

通过对 RP 的调节使电路达到合适的反馈量时,电路满足自激振荡条件而振荡,这时石英晶体的阻抗最小且为纯电阻,于是振荡频率等于石英晶体的串联谐振频率,使振荡频率保持稳定。(在具体电路中,将在石英晶体元件符号旁写明该晶体的标称频率,或同时注明型号)

## 六、用集成运算放大器组成正弦波振荡器

### 1. RC 桥式振荡电路

利用电阻器、电容器(RC)构成的桥式选频网络接到集成运算放大器的正反馈电路中,从而构成 RC 桥式正弦波振荡电路,如图 3-79 所示。

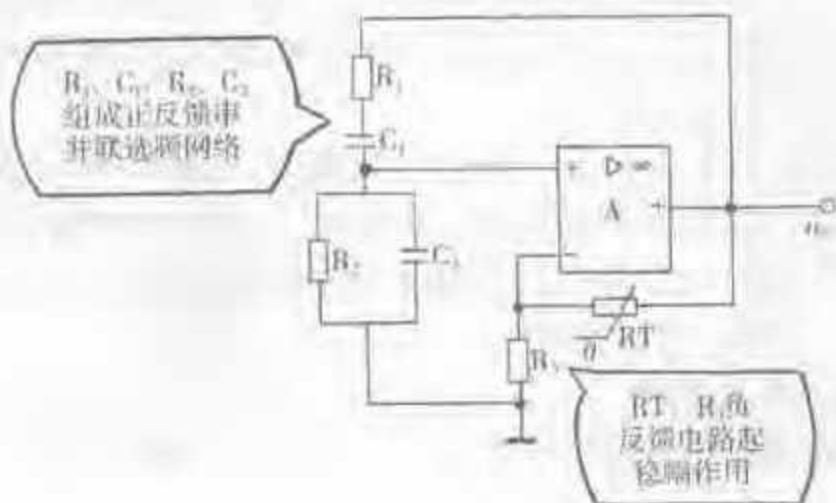


图 3-79 RC 桥式振荡电路

由图可见, $R_1$ 、 $C_1$  串联后再与  $R_2$ 、 $C_2$  并联电路串联,构成 RC 串并网络。如果  $R_1 = R_2 = R$ ,  $C_1 = C_2 = C$ ,则电路的谐振频率为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

将此 RC 选频网络的输出接入集成运算放大器 A 的同相输入端,并通过正反馈( $R_1$  的一端与 A 的输出端相接),使电路产生振荡,则振荡频率等于  $f_0$ 。为了减少波形失真、提高振荡的稳定性,由热敏电阻器 RT 和电阻器  $R_3$  构成负反馈电路。

图中 RT 是负温度系数的热敏电阻器,温度较低时阻值较大,使得引入的负反馈较小,从而电压放大倍数较大,电路就容易起振。随着电路工作时 RT 温度上升而阻值下降,负反馈作用加强,有利减少波形失真和振幅稳定。

### 2. 利用二极管稳幅的 RC 桥式振荡电路

利用二极管稳幅的 RC 桥式振荡电路如图 3-80 所示。

图中负反馈电路中与电阻器  $R_3$  并联的二极管 VD<sub>1</sub>、VD<sub>2</sub> 起自动稳幅作用。其作用原理是:由于二极管的正向电阻是非线性的(电压越小,电阻越大),所以当电

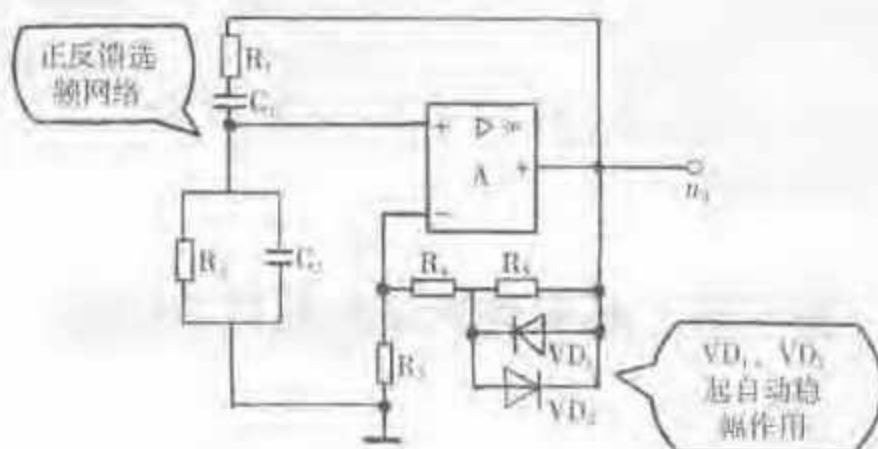


图 3-80 利用二极管稳幅的 RC 桥式振荡电路

路刚起振时(输出电压幅值小)二极管的正向电阻大,放大电路的负反馈电压就小,有利电路起振;当输出电压幅值增大时,二极管的正向电阻减小,放大电路的负反馈电压增大,使电路的放大倍数减小,从而对振荡输出电压起自动稳幅作用。

### 3. 利用场效应晶体管稳幅的 RC 桥式振荡电路

利用场效应晶体管稳幅的 RC 桥式振荡电路如图 3-81 所示。

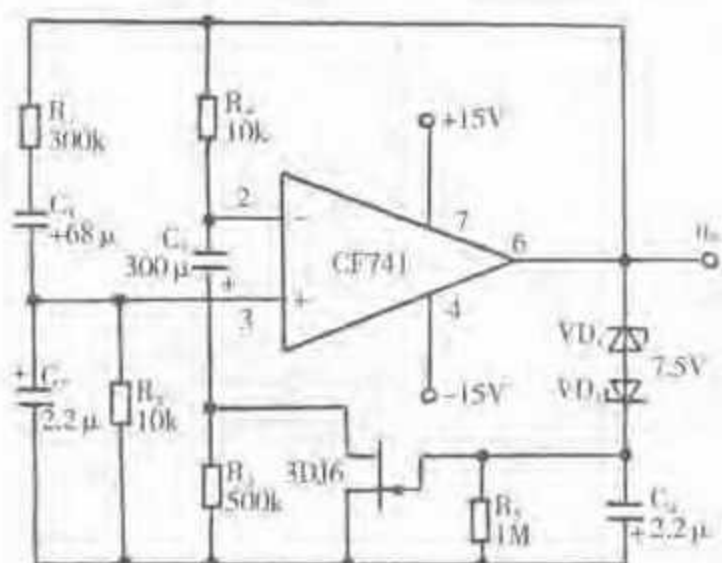


图 3-81 利用场效应晶体管稳幅的 RC 桥式振荡电路

由图可见,该电路由通用 CF741 型高增益集成运算放大器加上适当的反馈网络构成正弦波振荡电路。其中  $R_1$ 、 $C_1$ 、 $R_2$ 、 $C_2$  组成串并联正反馈选频网络,振荡频率由选频网络中的电阻、电容决定。 $R_3$ 、 $R_4$ 、3DJ6、 $VD_1$ 、 $VD_2$  等构成负反馈电路,起稳幅作用。

在负反馈电路中,结型场效应晶体管(3DJ6 型)作为可变电阻,使漏极和源极两端之间的等效电阻随栅极电压而变化,以控制负反馈通路的反馈系数,从而达到稳定增益的目的。放大倍数稳定了,振荡信号的振幅也就稳定了。该电路实际输出信号幅度约为 5V。





$VD_1$ 、 $VD_2$  为标称稳定电压  $7.5V$  的 2 只稳压二极管, 互为反向串联使用, 当其两端电压  $\ll 7.5V$  时, 等效电阻  $\approx \infty$ , 此时  $R_2$  两端电压  $\approx 0$ , 于是结型场效应晶体管 3DJ6 漏源之间的等效电阻  $\approx$  最小值, 从而使负反馈趋于最弱; 反之, 负反馈加强, 最终将使振幅达到稳定值。

## 第八节 晶闸管和单结晶体管电路

### 一、晶闸管简介

晶闸管也称可控硅, 它是一种用半导体硅材料制成的能起闸流作用的三端器件。

晶闸管按其特性不同, 有单向(普通)晶闸管(SCR)、双向晶闸管(BCR)和可关断晶闸管(GTO)等。

#### 1. 单向晶闸管的伏安特性

单向晶闸管的电路符号如图 1-76 所示, 其伏安特性曲线如图 3-82 所示。

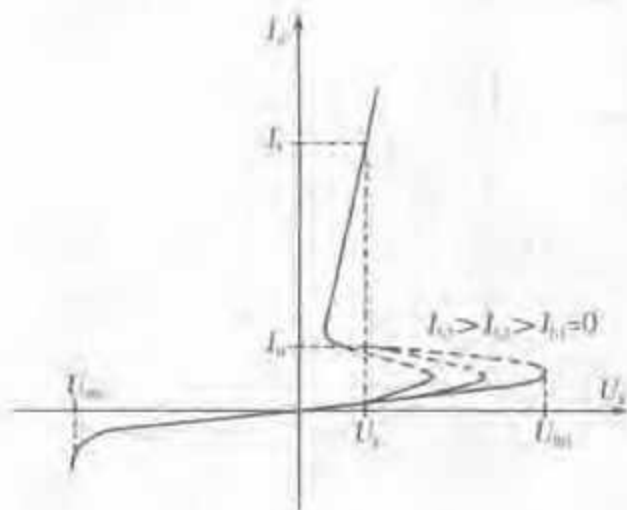


图 3-82 单向晶闸管的伏安特性曲线

伏安特性曲线上各个符号的含义是:

$U_{BO}$ ——正向转折电压。指在额定结温和控制极开路条件下, 阳、阴极之间加正弦半波正向电压, 使其由关断状态发生正向转折而变为导通状态时所对应的电压峰值。

$U_{BR}$ ——反向转折电压。单向晶闸管(控制极开路)正常使用时不允许达到此电压值。此电压值的 80% 称为反向峰值电压( $U_{RRM}$ )。

$I_T, U_T$ ——正向平均电流和平均压降。指在规定环境温度和标准散热条件下, 分别表示单向晶闸管允许通过的工频正弦半波电流的平均值(简称正向电流)以及电压平均值(简称正向压降)。





$I_H$ ——维持电流。指在室温下控制极开路时,维持晶闸管继续导通所必需的最小电流。

$I_G$ ——控制极触发电流。指在室温下,阳、阴极之间加正向电压为直流 6V 时,使晶闸管从阻断状态变为导通状态所需的控制极直流电流最小值。(  $I_G$  所对应的电压  $U_G$  称为控制极触发电压)

可见,在额定工作电压下,单向晶闸管的阳极(A)、阴极(K)之间外加负电压时(A 负、K 正),单向晶闸管不导通。如果在 A、K 之间加正电压(A 正、K 负),则当控制极(G)无触发电流或触发电流太小时,单向晶闸管的 A、K 极之间除产生漏电流外依然不导通。一旦触发电流加大到一定值时,单向晶闸管就导通,且导通之后即使触发电流变为零,它仍然不关断。只有当加在 A、K 极间电压下降使导通电流小于维持电流  $I_H$  时,晶闸管才会关断(成为不导通)。因此,单向晶闸管具有通、断可控的单向导电性。

## 2. 双向晶闸管的伏安特性

双向晶闸管的电路符号如图 1-78 所示,其伏安特性曲线如图 3-83 所示。在双向晶闸管的主电极( $T_1$ 、 $T_2$ )之间加上电压之后,若在控制极(门极 G)加正的或负的脉冲触发电压,则可实现对主电极之间的导通或关断控制。

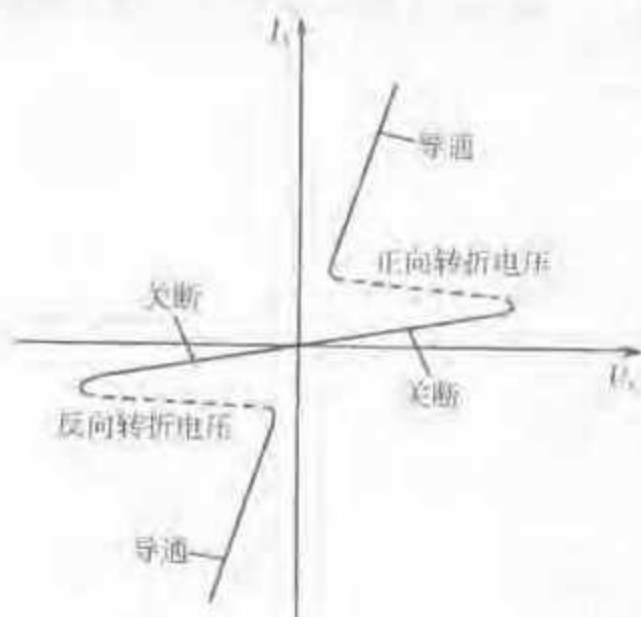


图 3-83 双向晶闸管的伏安特性曲线

## 3. 常见晶闸管外形和主要技术指标

常见部分单向晶闸管和双向晶闸管的外形分别如图 1-77、1-79 所示,部分塑封单向晶闸管主要参数见表 3-2,部分小功率塑封双向晶闸管主要参数见表 3-3。



表 3-2 部分塑封单向晶闸管主要参数

国外型号	参数 $U_{RM}$ 或 $U_{RMV}$ (V)	$I_H$ (mA)	$I_T$ (A)	$U_{CE}$ (V)	$I_C$ (mA)	可代用 国产型号
SFOR1	100~400	3	0.1	0.8	0.2	3CT021
CW12	100~200	5	0.2	0.8	1	3CT031
M21C	200~400	3	0.2	0.8	1	
SFOR3	100~600	1	0.3	0.8	0.2	3CT041
CR03AM	50~600	3	0.3	0.8	0.1	
2N6564	300	5	0.5	0.8	0.2	3CT051
MCR100	100~500	5	0.5	0.8	0.2	
CR2AM	50~600		2	0.8	0.1	3CT102
M23C	200~400	2	2	0.8	1	
SF2	100~600	3	2	0.8	0.2	
CSM2B	200~400	1.5	2	0.8	1	

表 3-3 部分小功率塑封双向晶闸管主要参数

国外型号	参数 $U_{TMS}$ (V)	$I_{TMS}$ (A)	$U_{CE}$ (V)	$I_C$ (mA)	$I_H$ (mA)	国产代 用型号
SMOR5	100~500	0.5	2.3	15~30	25	3CTS0
BCR1AM	200~600	1	2	5~10	25	3CTS1
AC03	200~600	3	1.5~2	15~45	10	3CTS3
SM3	100~600	3	2	30	25	
FSM3B	200~400	3	2	30~40	20	
BCR3AM	200~600	3	1.5	30		
BCR6AM	200~600	6	1.5	30		3CTS10
FSM6B	200~400	6	1.5	30	20	
BTA05	200~700	6		25~50	25	
BTA08	200~700	8		25~50	25	
SM8	200~600	8	3	50	50	
AC08	200~600	8	1.5~2	30~80	30	

## 二、晶闸管简单试验电路

### 1. 晶闸管导通特性测试电路

单向晶闸管导通特性测试电路如图 3-84 所示。这是一个相当安全和简单易行的晶闸管低压试验电路。6V 直流电源可用 4 节 1.5V 干电池串联而成,指示灯



H(6.3V 小电珠)作为负载电阻,控制极限流电阻 R(33Ω)省去不用也可以。

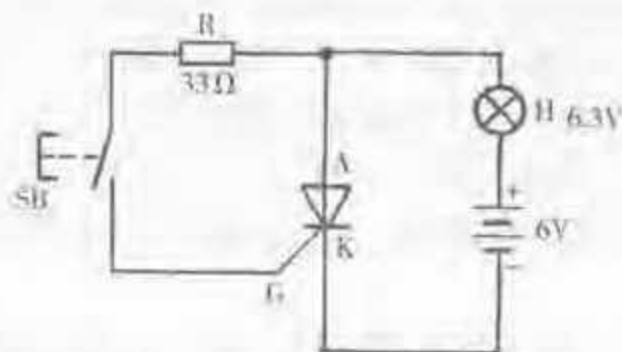


图 3-84 单向晶闸管导通特性测试电路

工作原理:当按钮开关 SB 断开时,晶闸管应处于阻断状态,此时指示灯 H 不亮。如果 SB 断开时小电珠 H 灯丝发红或正常发光,说明被测晶闸管漏电严重或击穿。当按钮开关 SB 按下再松开时,相当于给晶闸管的控制极 G 输入一个正向触发信号,将使原来处于阻断状态的晶闸管被触发而导通,这时小电珠 H 会很明亮,开关 SB 虽又处于断开状态,小电珠仍发亮说明晶闸管能维持导通。如果开关 SB 闭合时晶闸管导通,而 SB 断开时晶闸管不能维持导通,说明控制极(G)损坏。当然,如果由于电源电压太低或者负载电阻太大,导致晶闸管的阳极电流小于维持电流  $I_H$ ,从而使晶闸管处于阻断状态,则属于正常现象。

## 2. 单向晶闸管交流试验电路

单向晶闸管交流试验电路及工作波形如图 3-85 所示。

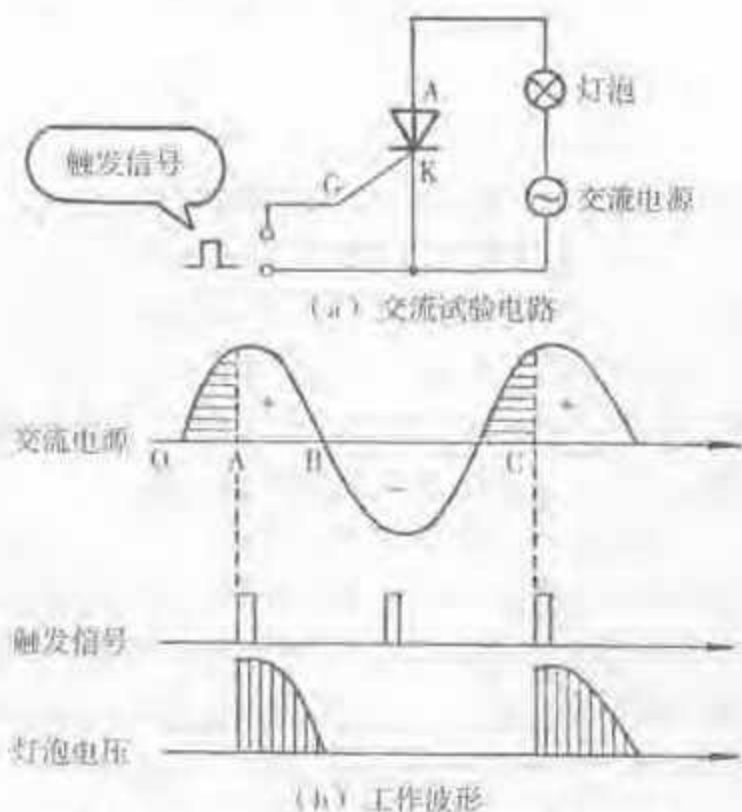


图 3-85 单向晶闸管交流试验电路及工作波形

由图可见,此时试验电路改用交流电源,在控制极(G)与阴极(K)之间加上触发信号。在交流电源波形对应的 OA 段期间,单向晶闸管虽处于正向电压下,但控制极未加触发信号,所以晶闸管不导通,灯泡电压为零。到达 A 时晶闸管被触发而开始导通,灯泡电压几乎等于电源电压(瞬时值)。到达 B 时由于电源电压很低,晶闸管导通电流小于维持电流,于是晶闸管变为不导通。在 BC 段期间,单向晶闸管虽有触发信号但仍不导通,因为单向晶闸管具有单向导电性,所以灯泡电压为零。

当适当改变触发信号与交流电源的相位差时,可使灯泡电压平均值改变,从而起调光作用。否则,说明该单向晶闸管有问题(注意应在器件额定值之内进行)。

### 3. 双向晶闸管交流测试电路

对于耐压 400V 以上的双向晶闸管,可以在 220V、50Hz 交流条件下进行测试,简单易行的测试电路如图 3-86 所示。在正常情况下,开关 S 闭合时双向晶闸管即被触发导通,白炽灯 H 正常发光;开关 S 断开时双向晶闸管关断,H 熄灭。

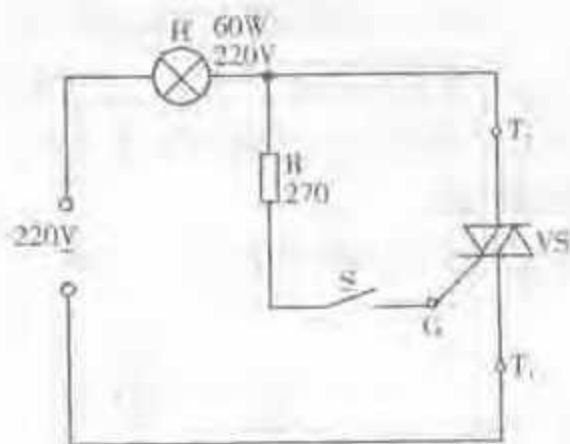


图 3-86 双向晶闸管交流测试电路

工作原理:在 220V 交流电压的正半周时,双向晶闸管的  $T_2$  极为正, $T_1$  极为负,S 闭合时 G 极通过 R(270 $\Omega$ ) 受到相对  $T_1$  极的正触发,则双向晶闸管沿  $T_2 \rightarrow T_1$  方向导通;在 220V 交流电压的负半周时, $T_1$  极为正, $T_2$  极为负,S 闭合时 G 极通过 R 受到相对  $T_1$  极的负触发,则双向晶闸管沿  $T_1 \rightarrow T_2$  方向导通。晶闸管如此交换方向导通的结果,使白炽灯 H 有交流电流流过而发光。

如果在接通 220V 交流电源且将开关 S 闭合后 H 不发光,说明被测双向晶闸管内部受损而断路,无触发导通能力。如果在开关 S 断开的情况下接入 220V 交流电源后 H 就正常发光,说明主电极  $T_2$ 、 $T_1$  之间已经击穿短路,该器件已彻底损坏。如果 H 轻微发光,说明主电极  $T_2$ 、 $T_1$  之间漏电过大,器件性能不好。如果 H 不发光,闭合 S 后就正常发光,说明该双向晶闸管 VS 是好的。



### 三、可控整流电路

#### 1. 单相桥式可控整流电路

单相桥式可控整流电路及工作波形如图 3-87 所示。

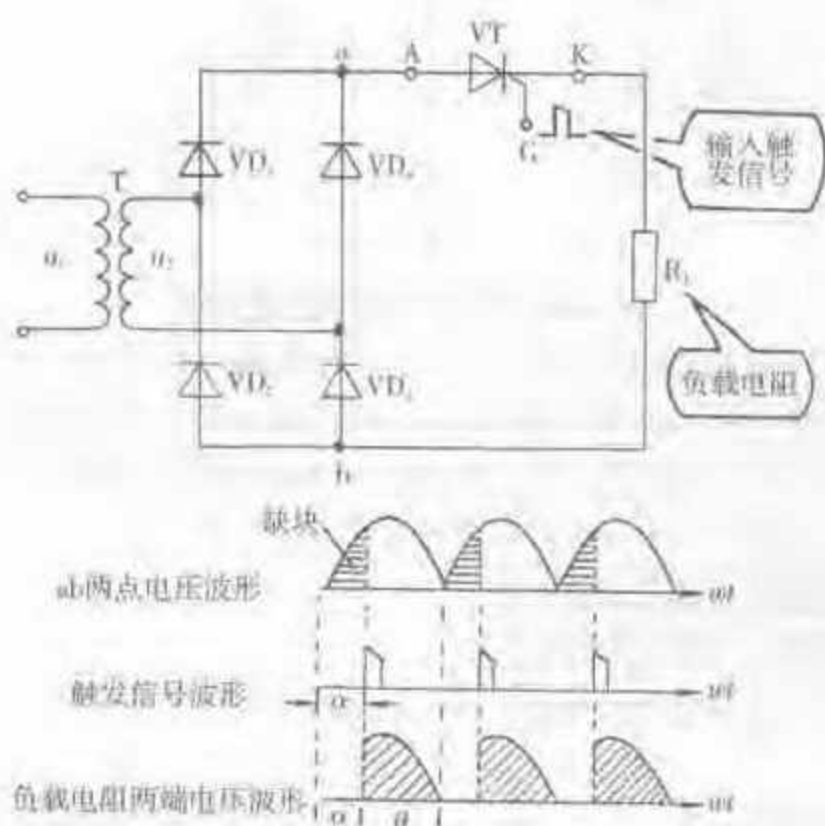


图 3-87 单相桥式可控整流电路及工作波形

由图可见,输入交流电压  $u_1$  经变压器 T 后将次级电压  $u_2$  加在由二极管  $VD_1 \sim VD_4$  组成的全波整流桥两端,全波整流输出经晶闸管 VT 控制输出的电压加在负载电阻  $R_L$  两端。

工作原理:桥式整流输出电压(ab 两点电压)对晶闸管 VT 而言是正向电压,因此只要触发信号到来,VT 即可导通。若忽略 VT 的正向压降,则负载电阻两端电压与 ab 两点电压(桥式整流输出电压)对应部分基本相等(其中水平线区域表示电压为零的缺块将随晶闸管的控制角  $\alpha$  大小而变)。

当桥式整流输出电压经过零值时,单向晶闸管 VT 将自行关断,在第二个半周期中,电路工作将重现第一个半周期的情况,如图 3-87 电路工作波形所示。因此,该电路也是通过调整触发信号出现的时间来改变晶闸管的控制角  $\alpha$  和导通角  $\theta$ ,从而达到控制输出直流电压平均值的目的。

#### 2. 单相半控桥式整流电路

单相半控桥式整流电路如图 3-88 所示。由图可见,该电路实际就是将单相全波桥式整流中的一对互为反向串联的二极管换为单向晶闸管,并在每个单向晶闸管的控制极加上同步触发信号,从而能够控制输出整流电压平均值的大小。

此电路的工作波形与图 3-87 所示的波形类似。即输出电压(平均值)的大小

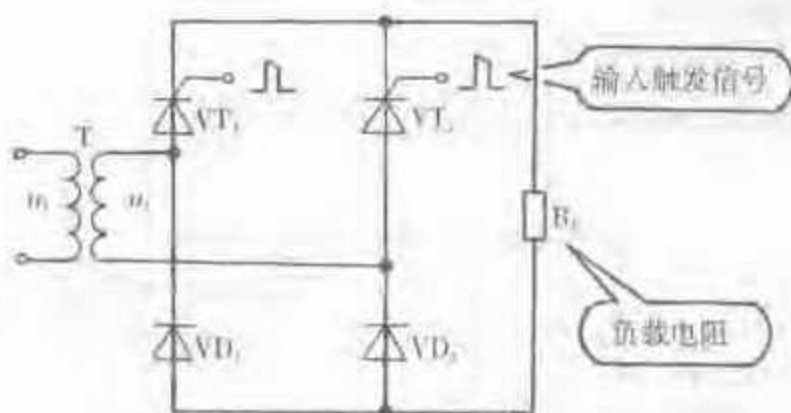


图 3-88 单相半控桥式整流电路

与单向晶闸管的控制角(也称触发延迟角) $\alpha$ 、导通角 $\theta$ 有关( $\alpha + \theta = 180^\circ$ )。而控制角 $\alpha$ 是由触发信号的延迟时间决定的, $\alpha$ 越大时 $\theta$ 越小,输出电压(平均值)也就越小。但实际上当单向晶闸管的导通电流小于该管的维持电流时,它将自动关断而不再受控了。(部分单向晶闸管的维持电流 $I_H$ 见表 3-2)

#### 四、晶闸管的其他应用电路

##### 1. 阻容触发单向晶闸管调压电路

阻容触发单向晶闸管调压电路如图 3-89 所示。

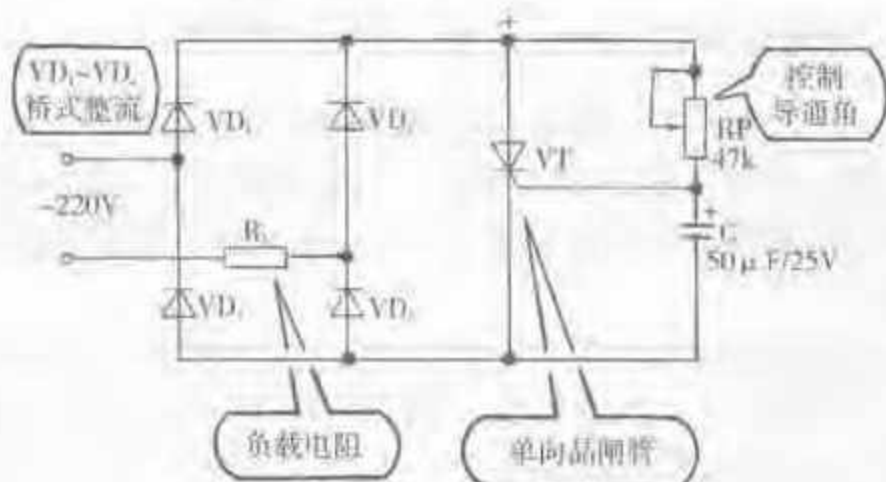


图 3-89 阻容触发单向晶闸管调压电路

由图可见,220V 交流电源经二极管  $VD_1 \sim VD_4$  构成的桥式全波整流后,将输出电压加在单向晶闸管 VT 两端(阳极接正、阴极接负),晶闸管的控制极接阻容(RP、C)触发电路的输出端。负载电阻  $R_L$  接在全波式整流的输入回路中。

工作原理:输入交流电源经过二极管桥式整流后,给单向晶闸管 VT 加上正向电压,同时经电位器 RP 向电容器 C 充电。当 C 上的电压上升到 VT 的控制极触发电压时,VT 导通,直至整流电源电压(瞬时值)过零时才自动关断。调节电位器 RP 的大小,就可调整电容器 C 上充电电压达到 VT 控制极最小触发电压所需的时间,即调整单向晶闸管的控制角 $\alpha$ 的大小,从而可调整负载电阻  $R_L$  上交流电



压的大小( $R_c$ 上为交流电压是由于  $R_i$  接在全波整流输入回路的缘故)。

## 2. 双向晶闸管调光电路

双向晶闸管调光电路如图 3-90 所示。

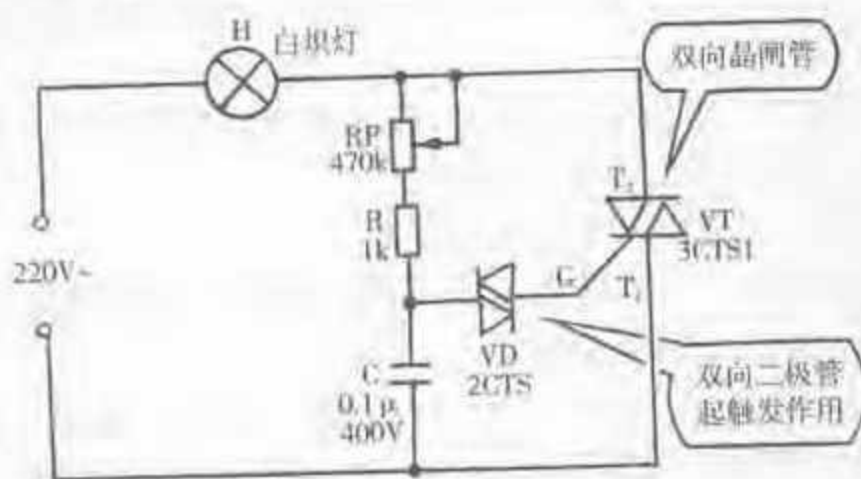


图 3-90 双向晶闸管调光电路

工作原理:220V 交流电压通过白炽灯 H 加在双向晶闸管 VT 的主电极  $T_1$ 、 $T_2$  之间,同时通过电阻器对电容器 C 作正向或反向充电,每当电容器 C 两端正向或反向电压超过双向二极管 VD 的转折电压时,双向二极管 VD 就正向或反向导通,于是就触发双向晶闸管 VT 正向或反向导通。调节电位器 RP 的阻值,可以使双向晶闸管的导通角改变,从而改变通过白炽灯 H 的平均电流,起到灯光调节作用。

在图 3-90 所示的电路中,如果白炽灯 H 调换为电热毯,则通过调节 RP 的阻值,也可以对电热毯的温度起调节作用。

附注:双向触发二极管(简称双向二极管)有 2 个对称的正反转折电压,可用作双向交流开关,为双向晶闸管提供触发电流。另外,它在定时电路、移相电路及过压保护电路方面的应用也相当普遍。几种常用双向触发二极管的主要参数见表 3-4。

表 3-4 几种常用双向触发二极管的主要参数

参 数 型 号	峰值电流 $I_T$ (A)	转折电压 $U_{W1}$ (V)	转折电压偏差 $\Delta U_{W1}$ (V)	转折电流 $I_{W1}$ ( $\mu$ A)
2CTS2	2	26~40	3	50
PDA30	2	28~36	3	100
PDA40	2	35~45	3	100
PDA60	1.5	50~70	4	100





## 五、单结晶体管电路

### 1. 单结晶体管简介

单结晶体管也称双基二极管,它一共有3个电极,一个发射极(E)和2个基极( $B_1$ 、 $B_2$ )。它也有N型和P型2种结构(下面以N型为例介绍)。它的电路符号如图1-88(c)所示。

单结晶体管的PN结具有负阻特性,其伏安特性曲线如图1-90所示。因此,由它构成定时电路或振荡电路是很方便的。

单结晶体管的2个较重要的直流参数为:

①基极间电阻  $R_{bb}$ ——指发射极(E)开路时基极( $B_1$ )和基极( $B_2$ )之间的电阻,一般为3~12k $\Omega$ ,温度上升时阻值增大。

②分压比  $\eta$ ——指单结晶体管工作时发射极(E)至第一基极( $B_1$ )之间的电压  $U_E$  和第二基极( $B_2$ )到第一基极( $B_1$ )之间的电压  $U_{bb}$  之比,即  $\eta = U_E / U_{bb}$ 。它是取决于器件内部结构的一个参数,其比值一般为0.3~0.85,最高不超过0.90。

国产BT33型单结晶体管的主要参数见表3-5。

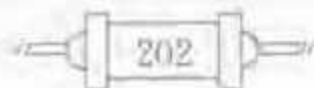
表3-5 国产BT33型单结晶体管主要参数

参数名称 符 号	分压比	基极间 电阻	发射极与第一 基极反向电流	饱和压降	峰值电流	谷点电流
	$\eta$	$R_{bb}$ (k $\Omega$ )	$I_{B_{10}}$ ( $\mu$ A)	$V_{\infty}$ (V)	$I_P$ ( $\mu$ A)	$I_V$ (mA)
BT33A	0.3~0.55	3~6	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT33B	0.3~0.55	5~12	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT33C	0.45~0.75	3~6	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT33D	0.45~0.75	5~12	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT33E	0.65~0.9	3~6	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\geq 1.5$
BT33F	0.65~0.9	5~12	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\geq 1.5$
测试 条件	$V_{bb} = 20V$	$V_{bb} = 20V$ $I_E = 0$	$V_{B_{10}} = 60V$	$I_E = 50mA$ $V_{bb} = 20V$	$V_{bb} = 20V$	

几种常用单结晶体管的引脚排列如图1-89所示。

### 2. 单结晶体管脉冲发生器电路

单结晶体管脉冲发生器电路和波形图如图3-91所示。由图可见,该电路结构十分简单,所用元器件为:1只单结晶体管(BT33A型)、2只基极电阻  $R_1$  和  $R_2$ 、1只定时电阻  $R_T$ 、1只定时电容  $C_T$ 。该脉冲发生器输出脉冲频率约3Hz,调整  $R_T$  或  $C_T$  的值,可在相当宽范围内改变输出脉冲频率。在电路各点输出的脉冲波形是不同的,从基极( $B_1$ )输出的脉冲较窄且幅度较大,有较强的耐负载能力;从基极( $B_2$ )





输出的反相脉冲也较窄但幅度较小;从发射极(E)输出的脉冲呈锯齿波状,一般不宜作为信号源使用。

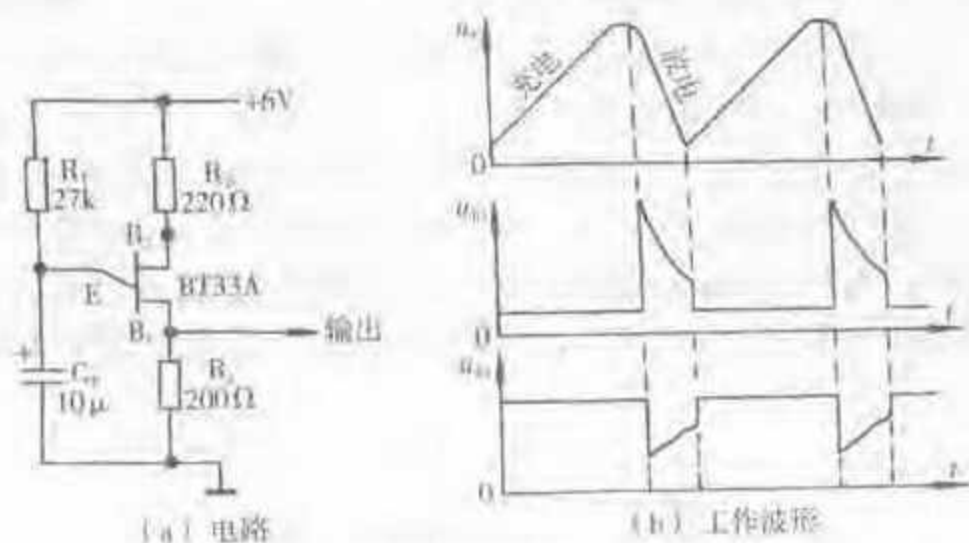


图 3-91 单结晶体管脉冲发生器电路和波形图

理论和实验指出,电路中的定时电阻  $R_T$  的值在一定范围内时,电路才能起振。起振条件是:

$$\frac{U_{BB} - U_V}{I_V} < R_T < \frac{U_{BB} - U_P}{I_P}$$

式中,  $U_{BB}$  为双基极之间电压,近似等于电源电压;  $U_P$  为峰值电压;  $U_V$  为谷点电压;  $I_P$  为峰值电流;  $I_V$  为谷点电流。

脉冲周期可按下式估算:

$$T \approx C_T R_T \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

式中,  $C_T$  的单位为 F,  $R_T$  的单位为  $\Omega$ ,  $T$  的单位为 s。由此可见,脉冲周期主要由外接电阻器、电容器和单结晶体管的分压比决定,和电源电压基本上无关。

工作原理:接通电源后的 2 路电流:一路从电源正极开始流经  $R_2$ 、 $R_{BB}$  (单结晶体管的 2 个基极之间的等效电阻)、 $R_1$  至地,并在发射极(E)产生分压;另一路流经  $R_T$  向  $C_T$  充电,使  $C_T$  两端电压逐渐升高。当  $C_T$  两端电压上升至峰值电压  $U_P$  时,发射极导通、发射极电流  $I_E$  迅速增加,单结晶体管导通,此时电容  $C_T$  通过 E 极、 $B_1$  极和  $R_1$  快速放电,使电容器  $C_T$  两端电压迅速下降;当  $C_T$  两端电压下降到谷点电压  $U_V$  时,单结晶体管又重新处于负偏压状态,发射极截止,电源重新开始对电容器  $C_T$  充电,于是重复发生上述过程。

反馈电阻  $R_2$  对  $U_P$ 、 $U_V$  起温度补偿作用,能提高振荡电路脉冲周期和幅度的稳定性。

### 3. 单结晶体管定时提醒器电路

单结晶体管定时提醒器电路如图 3-92 所示。该电路能在 10~180s 之间设定



定时间间隔,并由蜂鸣器发声提醒。其工作过程是:未接通电源时首先按一下开关 SB,使电容器  $C_1$  短路放电。然后接通电源开关 S(此时单结晶体管仍处于截止状态),于是电源通过电阻器  $R_1$  和电位器 RP 对电容器  $C_1$  充电, $C_1$  两端电压  $U_c$  逐渐升高。当  $U_c$  大于或等于单结晶体管  $VT_1$  (BT33 型) 的峰值电压  $U_p$  时, $VT_1$  的发射极(E)与第一基极( $B_1$ )的电阻迅速减小( $VT_1$  进入负阻区),电容器  $C_1$  通过 E、 $B_1$  极和电阻器  $R_2$  放电,从而在  $B_2$  端输出一个正脉冲电压,送到单向晶闸管  $VT_2$  (MCR100-6 型) 的控制极(G),触发  $VT_2$  进入导通状态,蜂鸣器 B 立即持续发声。并联在蜂鸣器 B 两端的电阻器  $R_3$  ( $330\Omega$ ) 取值适当,既可保证晶闸管  $VT_2$  被触发导通后的阳极电流始终大于  $VT_2$  的维持电流,又可起限流作用避免过载。

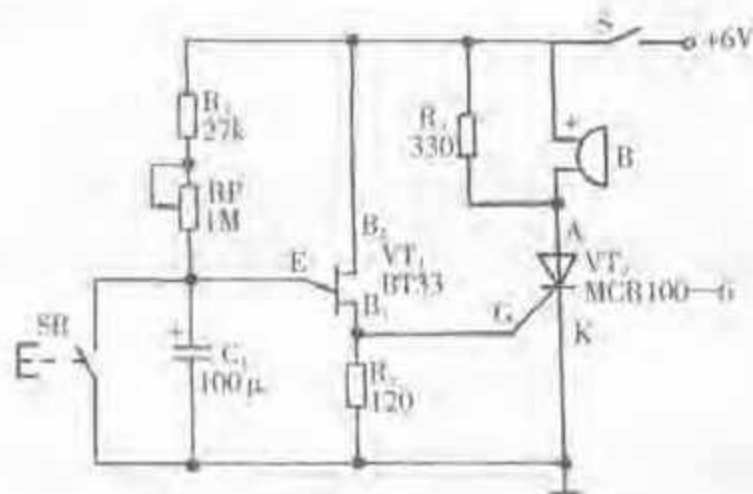


图 3-92 单结晶体管定时提醒器电路

通过调节电位器 RP( $1M\Omega$ ) 可以设定定时时间。若想延长定时时间,可将电容器  $C_1$  的容量增加 1 倍以上。实际上,该电路中的单结晶体管  $VT_1$ 、电阻器  $R_1$  和  $R_2$ 、电位器 RP、电容器  $C_1$  所构成的脉冲发生器,其脉冲信号的重复周期就是定时器的定时时间。

#### 1. 单结晶体管触发电路

另一种常用形式的单结晶体管触发电路及波形图如图 3-93 所示。从该电路可见,单结晶体管 VT(BT33 型)与外接电阻器  $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  及电位器 RP、电容器 C 构成脉冲发生器,调节 RP 可改变脉冲重复频率。这与前面介绍过的单结晶体管振荡电路或定时电路结构类同。

变压器 T 的次级为中心抽头式( $2 \times 50V$ ),与二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  构成全波整流电路,其输出电压  $u_0$  经限流电阻  $R_1$  后加在稳压二极管  $VD_3$  的两端,因此稳压二极管两端的电压  $u_N$  是整流电压  $u_0$  被削波后成为幅度稳定的梯形波电压,此电压就作为单结晶体管 VT 的电源电压。电压  $u_N$  通过  $R_4$ 、RP 对 C 进行充电,从而使单结晶体管 VT 的发射极电压随之上升。在  $\alpha$  时刻,当电容器 C 上的电压上升到单结晶体管 VT 的峰值电压  $u_p$  时,VT 导通使发射极电流迅速增加,从而在  $R_3$  上产

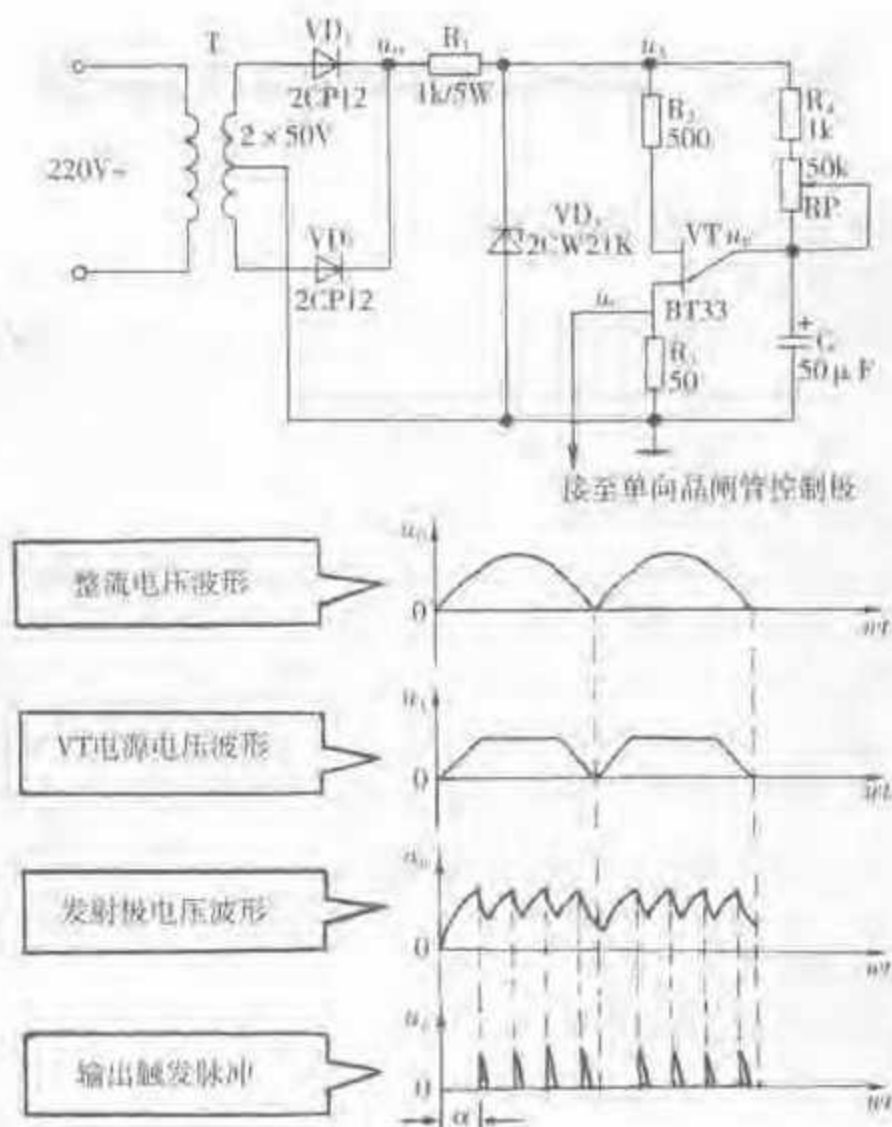


图 3-93 单结晶体管触发电路及波形图

生一个尖脉冲触发信号,可作为单向晶闸管的触发脉冲使用。同时,电容器  $C$  通过单结晶体管  $VT$  的发射结向电阻器  $R_3$  放电,使  $C$  上的电压迅速下降,当下降到  $VT$  的谷点电压  $u_v$  时,  $VT$  截止,电源又通过  $R_1$ 、 $RP$  对  $C$  充电,当  $C$  上的电压上升到  $VT$  的峰值电压时,  $VT$  导通从而在  $R_3$  上又产生一个尖脉冲触发信号。如此反复进行,直到整流电压瞬时值为零,如图  $u_2$  波形(发射极电压波形)所示。因为根据单向晶闸管导通特性,在电源的一个半周内,只有第一个触发脉冲是有效的,后面的触发脉冲是无效的。所以,对于图 3-93 所示的触发电路,通过调节电位器  $RP$  来改变充电快慢,就可以改变单向晶闸管的控制角  $\alpha$ ,从而达到调节其导通角  $\theta$  的目的。(单向晶闸管接在可控整流电路中未画出)



## 第九节 部分敏感器件基本应用电路

### 一、热敏电阻器的基本应用电路

#### 1. 热敏电阻器简介

常见热敏电阻器外形和电路符号如图 1-9 所示。根据热敏电阻器的基本特性分为正温度系数(PTC)热敏电阻器和负温度系数(NTC)热敏电阻器 2 类,其特性曲线如图 1-10 所示。其中,图 1-10(a)所示曲线 1 为突变型,曲线 2 为缓变型;图 1-10(b)所示曲线 1 为缓变型,曲线 2 为开关型。

热敏电阻器的主要参数有标称阻值(也称常温阻值)、实际阻值、温度系数、最高工作温度、使用温度范围、额定功率、热时间常数等。热时间常数是指在无功耗状态下,当环境温度由一个特定温度向另一个特定温度改变时,元器件温度变化达到这 2 个特定温度之差的 63.2% 所需的时间。通常这 2 个特定温度分别选为 85℃ 和 25℃ 或者 100℃ 和 0℃。热时间常数越小,表明热敏电阻器的热惯性越小。

例如, MF12-1 型热敏电阻器的标称阻值在 1~1 000kΩ 可选,温度系数为  $-(4.7\sim 6.94)\%/^{\circ}\text{C}$ ,最高工作温度 120℃,额定功率 0.25W,热时间常数  $\leq 15\text{s}$ 。

#### 2. 热敏电阻器基本应用电路

热敏电阻器基本应用电路如图 3-94 所示。

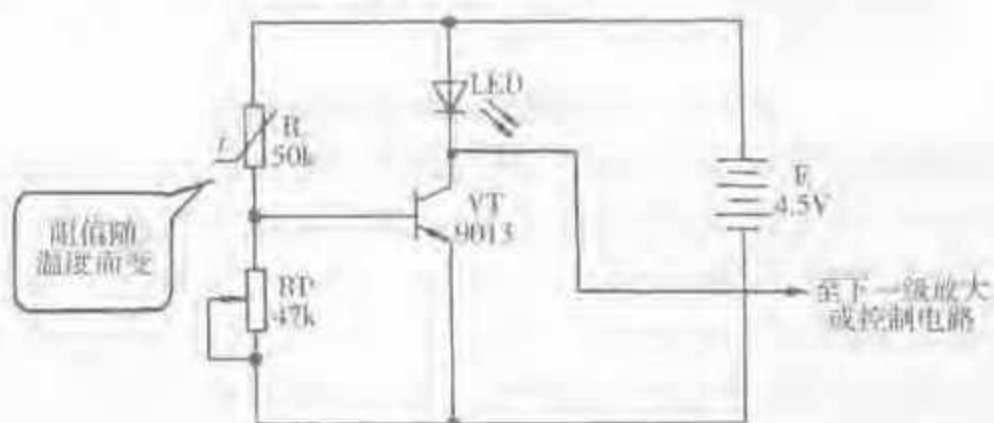
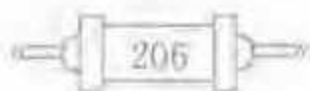


图 3-94 热敏电阻器基本应用电路

由图可见,热敏电阻器 R 与电位器 RP 组成分压电路。当温度较低时,若调节电位器 RP 使发光二极管(LED)发光,然后缓慢调小 RP 的阻值使 LED 不发光时就停止调节。则此时从分压电路输入晶体管 VT(9013 型)基极的电压较低,VT 处于截止状态。于是当热敏电阻器 R 处于较高的温度下时,其阻值下降,从分压电路输至 VT 基极的电压较高。当分压电路输出电压等于或大于 VT 的导通阈值时,VT 导通,LED 发光。由此可见,发光指示电路显示温度某个临界点可通过调节 RP 来设定。





从晶体管 VT 集电极输出,可接至下一级放大电路或控制电路,这时 LED 也可用 3~5kΩ 电阻器代替。

## 二、集成温度传感器应用电路

### 1. SL134M 型集成温度传感器及应用电路

集成温度传感器具有线性度好、精度适中、灵敏度高、体积小、使用简便等优点。国产 SL134M 型(国外 LMI34 型)集成温度传感器是一种电流型三端器件,有塑封和金属封装 2 种,其引脚排列和电路符号如图 3-95 所示。

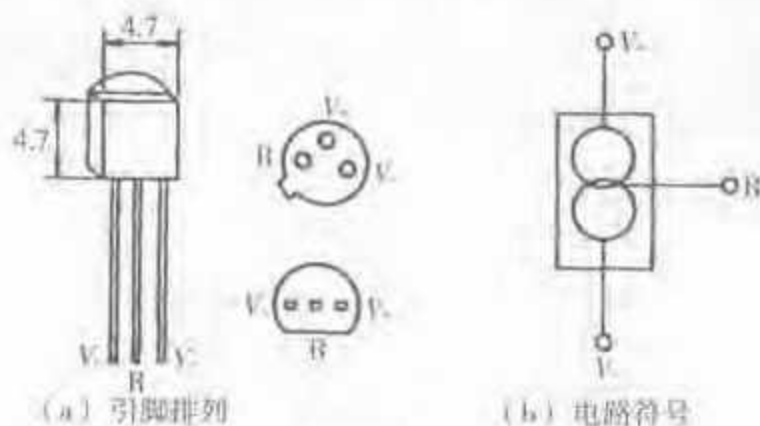


图 3-95 SL134M 型集成温度传感器引脚排列和电路符号

$V_+$ —电源正极; $V_-$ —电源负极; $R$ —外接电阻端

在传感器的 R 脚与  $V_-$  脚之间外接一调整电阻器  $R_{SET}$ ,可以调整传感器的恒定电流,接线图如图 3-96 所示。当  $R_{SET}$  的阻值不变时,恒定电流仅随温度变化而变化。

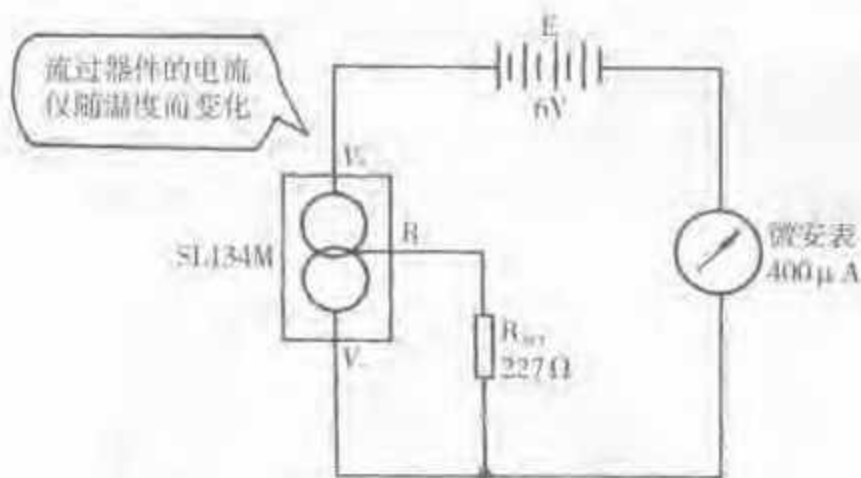


图 3-96 SL134M 型集成温度传感器应用接线图

恒定电流  $I_{SET}$  与外接电阻器  $R_{SET}$  及工作温度  $T$  的关系为:

$$I_{SET} = CT/R_{SET}$$

式中  $I_{SET}$ ——流进  $V_+$  端的电流,  $\mu A$ ;

$R_{SET}$ ——外接电阻器阻值,  $\Omega$ ;

$T$ ——工作热力学温度,  $K$ ;

$C$ ——系数,等于  $227\mu V/K$ 。



由此可见,可以通过调整外接电阻器  $R_{SET}$  的阻值,就能实现应用电路与适当量程的指示仪表配套。例如,当选取  $R_{SET} = 227\Omega$  时,则  $I_{SET}$  与热力学温度  $T$  的关系可表示为:

$$I_{SET} = T(\mu A/K)$$

上式说明恒流源的微安级电流数值直接等于热力学温度数值。 $I_{SET}$  与摄氏温度  $t$  的关系则可表示为:

$$I_{SET} = (273.15 + t)\mu A$$

由此式可算出,当  $t$  从  $-55^\circ C$  变到  $125^\circ C$  时,  $I_{SET}$  将从  $218.15\mu A$  变到  $398.15\mu A$ ,如图 3-97 所示。因此,在图 3-96 所示的应用电路中,可配用量程为  $400\mu A$  的直流电流表,重新刻度后就成为摄氏温度计了。

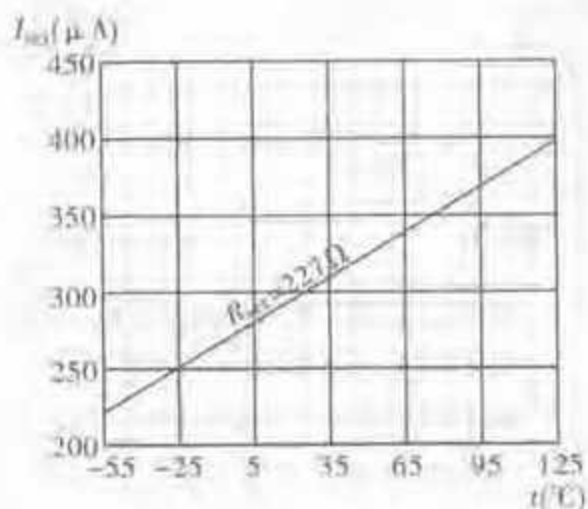


图 3-97 SL134M 型集成温度传感器特性

## 2. 数字式摄氏温度计电路

这里介绍采用集成温度传感器自制的摄氏温度计,可作为袖珍数字万用表的扩展装置,测温范围为  $-55 \sim +125^\circ C$ ,其电路如图 3-98 所示。

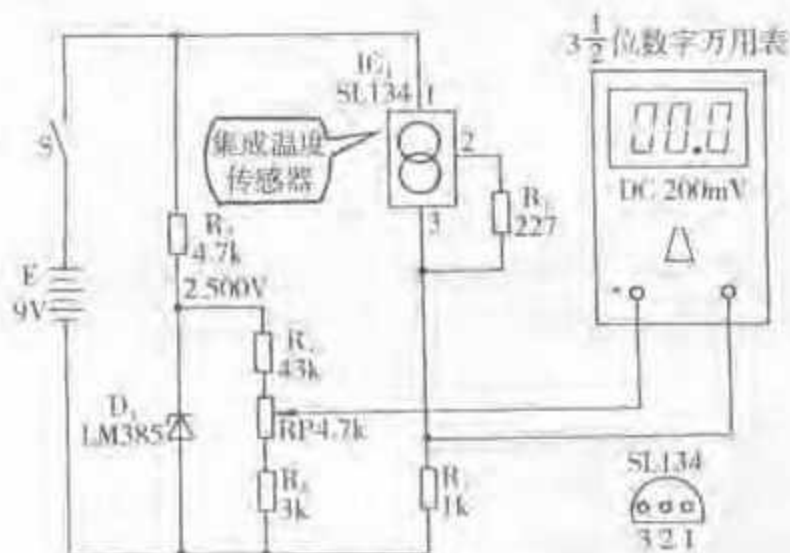
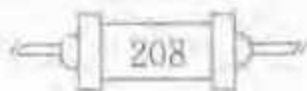


图 3-98 摄氏温度计电路





该电路工作原理:根据集成温度传感器  $IC_1$  (SL134 型)的工作特性,当外接电阻器  $R_1$  为  $227\Omega$  时,流过  $IC_1$  的总电流  $I_{SET}$  的微安级电流数值将等于  $IC_1$  的热力学温度数值,而与电源电压变化无关。

由于电阻器  $R_2$  与  $IC_1$  串联,所以温度变化所引起  $I_{SET}$  的变化将反映为  $R_2$  两端的电压变化。

$$\begin{aligned} \text{因} \quad I_{SET} &= (273.15 + t) \mu\text{A} \\ \text{故} \quad U_{R_2} &= R_2 I_{SET} = 1\text{k}\Omega \times (273.15 + t) \mu\text{A} \\ \text{即} \quad U_{R_2} &= (273.15 + t) \text{mV} \\ \Delta U_{R_2} &= \Delta t / \text{mV} \end{aligned}$$

式中,  $t$  为摄氏温度。可见,当  $t$  为零时,  $R_2$  两端电压  $U_{R_2}$  等于  $273.15\text{mV}$ , 而  $R_2$  两端电压变化量  $\Delta U_{R_2}$  的毫伏级电压数值等于温度变化量  $\Delta t$  的摄氏温度数值。

为了取得一个与摄氏温度对应的以毫伏为单位的电压,这里采用精密稳压二极管  $D_1$  和由  $R_1$ 、 $R_P$ 、 $R_2$  组成的分压电路,产生一个相对电源负极为  $+273.15\text{mV}$  的补偿电压,从  $R_P$  活动端输出接至数字万用表(置 DC  $200\text{mV}$  挡)的公共端(COM),于是数字万用表电压测量显示的毫伏级电压数值将与传感器的摄氏温度数值相同。

如果采用市售现成的  $3\frac{1}{2}$  位,量程为  $200\text{mV}$  (实际为  $199.9\text{mV}$ ) 的数显表头来代替图 3-98 所示的数字万用表的功能,那就成为独立的数字式温度计。

### 三、光敏传感器应用电路

#### 1. 硅光敏二极管的结构和特性

硅光敏二极管是以 N 型单晶硅片为衬底,通过扩散工艺在其表面形成 P 型区,从而产生 PN 结。它与普通二极管一样,也具有单向导电性。其基本构造如图 3-99 所示,外形如图 1-49(a)所示。



图 3-99 硅光敏二极管的基本构造

当光敏二极管的光敏区表面受到光照时,就将光的能量转变为电能,产生光电流,光电流随入射光的强度变化而变化。当它未受到光照时,只会是由环境温





度引起的微小暗电流及反向偏压产生的很小的漏电流。

硅光敏二极管的光谱响应范围一般为  $400\sim 1100\text{nm}$ ，其光谱特性曲线如图 3-100 所示。

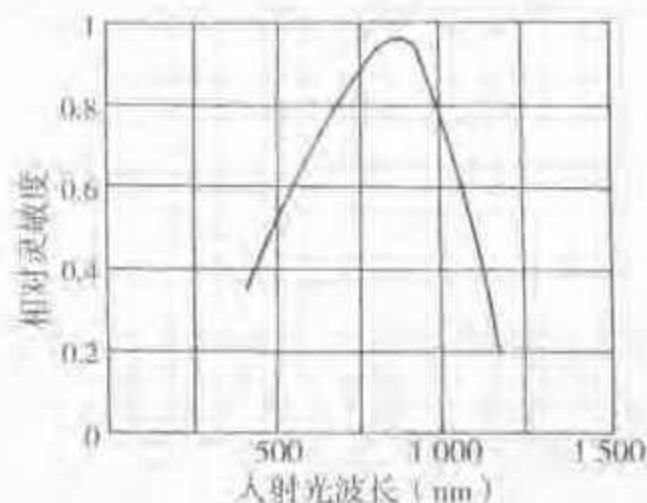


图 3-100 硅光敏二极管的光谱特性曲线

几种常用国产硅光敏二极管的主要技术参数见表 3-6。

表 3-6 几种常用国产硅光敏二极管主要技术参数

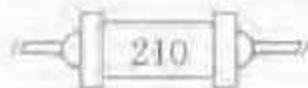
型号	反向耐压(V)					暗电流 ( $\mu\text{A}$ )	光电流 ( $\mu\text{A}$ )	灵敏度 ( $\mu\text{A}/\mu\text{W}$ )	峰值波长 (nm)
	A	B	C	D	E				
2CU1	10	20	30	40	50	$\leq 0.2$	$\geq 80$	$\geq 0.5$	880
2CU2	10	20	30	40	50	$\leq 0.1$	$\geq 30$	$\geq 0.5$	880
2CU3	10	20	30			$\leq 0.5$	$\geq 15$	$\geq 0.5$	900
2CU5	10	20	30			$\leq 0.1$	$\geq 10$	$\geq 0.5$	880

注：光电流测试条件为额定最高反向电压下照度  $1000\text{lx}$ 。

## 2. 硅光敏二极管光控电路

常见的硅光敏二极管光控电路如图 3-101 所示。其中图 3-101(a) 所示为亮通电路。当光敏二极管 D 不受光照时，极微小的反向漏电流不足以使晶体三极管 VT 导通，因此集电极输出电压  $U_o$  为高电平。一旦有足够强的光照射 D 时，部分增大的反向电流流入 VT 的基极，足以使 VT 饱和导通，所以输出  $U_o$  为低电平，这就说明  $U_o$  电平的高低完全可由入射光控制。

图 3-101(b) 所示为暗通电路。当光敏二极管 D 没有受到光照时，它的反向漏电流极小，D 的等效电阻比  $R_1$  大很多，通过  $R_1$  的电流全部流入三极管 VT 的基极，使 VT 饱和导通，其集电极输出电压  $U_o$  为低电平（等于 VT 的饱和电压降）。一旦有足够强的光照射 D 时，D 的等效电阻比无光照时小很多，于是通过  $R_1$  的电流大部分作为 D 的反向电流流至地端，流入 VT 基极的电流很小，从而使 VT 处



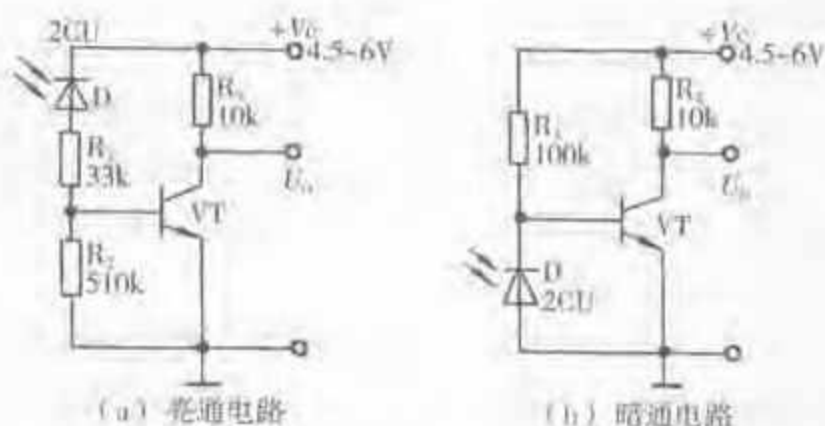


图 3-101 硅光敏二极管光控电路

于截止状态,于是 VT 集电极输出电压  $U_o$  为高电平(近似等于电源电压值),这说明  $U_o$  电平的高低也完全由入射光控制。

无论是亮通电路还是暗通电路,必要时都可将 VT 输出的电压信号进行功率放大,就能够用来控制继电器或晶闸管的开关状态。

### 3. 照度计电路

作为照度计中的光传感器,要求它的光谱响应峰值波长与人眼的明视觉光谱光视效率峰值波长(550nm)一致。在国产光敏器件中,如 TCC1087、TCC1133、2CR1133、2CR1226、2CR1227 型等硅光电池,很适合作为照度计的光传感器,它们的峰值波长  $\lambda_p$  典型值等于  $(550 \pm 20)\text{nm}$ 。

采用硅光电池作为光传感器的指针式照度计电路如图 3-102 所示。

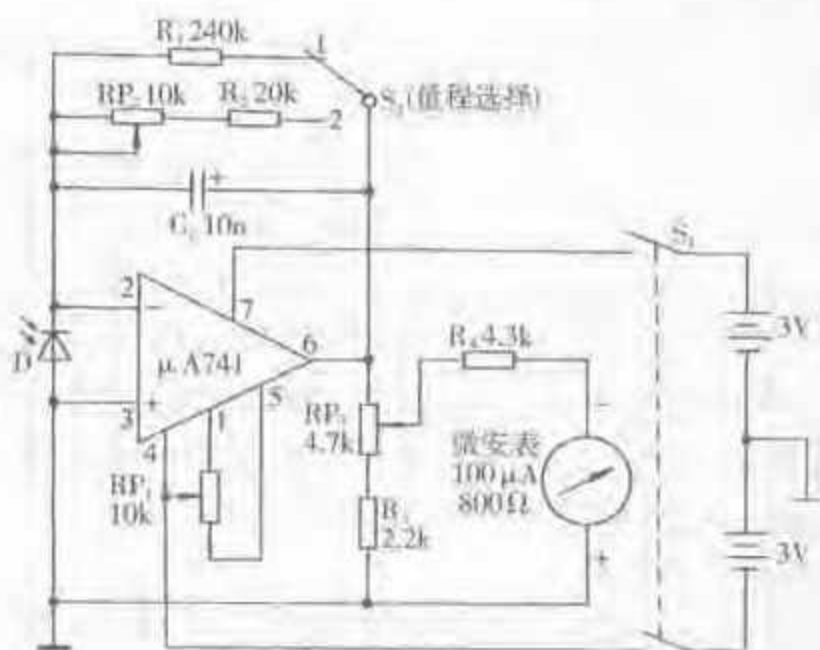


图 3-102 指针式照度计电路

此电路采用通用型高增益集成运算放大器  $\mu\text{A}741$  作电流放大,与硅光电池 D 组成光电变换放大电路,硅光电池接在  $\mu\text{A}741$  的两输入端。用指针式微安表作为



输出指示。在无光照条件下,硅光电池 D 输出电流为零,集成运算放大器  $\mu A741$  的输出(6脚)电压为零,微安表中没有电流流过,指示为零。当有一定强度的光照射到硅光电池 D 上时,因光敏区的光生电效应,使硅光电池两极之间产生电压,从而给集成运算放大器  $\mu A741$  输入一个微小的电流(3脚流进,2脚流出),经  $\mu A741$  线性放大和变换后输出一定的电压,于是有一定的电流流过指针式微安表,微安表的指示值与入射光的照度成正比。

在  $\mu A741$  的输出(6脚)与异相输入端(2脚)之间分别接电阻器  $R_1$ 、 $R_2$  和电位器  $RP_1$  构成的强负反馈电路,以确保  $\mu A741$  工作于线性区域。此负反馈电阻越小,电路的负反馈作用越强,增益越低。因此,可以通过量程选择开关  $S_2$  分别接负反馈电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和  $RP_1$  构成 2 个不同量程,比例为 1:10。电容器  $C_1$  与负反馈电阻并联起积分作用,共同构成低通滤波器,起消除跃变和干扰作用。

电位器  $RP_1$  两端与  $\mu A741$  的 1 脚、5 脚相接,活动端与 4 脚相接,用于失调调节。即当运算放大器  $\mu A741$  输入为零时,若输出端(6脚)电压不为零,则可适当调节  $RP_1$ ,使输出端电压为零。

电位器  $RP_2$ 、电阻器  $R_2$  和  $R_1$  与微安表构成输出指示回路,校准时通过调节  $RP_2$ ,使最大输出与微安表量程一致。

$S_2$  为量程选择开关,当  $S_2$  置于“1”挡时,输入光电流每变化  $0.1\mu A$ ,微安表指示相应变化  $5\mu A$ ;当  $S_2$  置于“2”挡时,光电流每变化  $1\mu A$  才会引起指示值变化  $5\mu A$ ,即照度量程扩大 10 倍(设光电流与照度成正比)。

指针式照度计电路的调试:

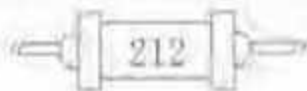
①首先调整好指针式微安表的机械零点,然后拨动开关  $S_1$  接通电源,在硅光电池 D 无光照的条件下调节  $RP_1$ ,使微安表指示为零。

②将量程开关  $S_2$  置于“1”挡即 100lx 挡,用标准照度计与本照度计作比较,当标准照度计示值为 100lx 时,调节  $RP_2$ ,使微安表指示恰好为满量程  $100\mu A$ 。

③保持  $RP_2$  不变,将量程开关  $S_2$  置于“2”挡即 1 000lx 挡,在标准照度计示值为 1 000lx 时,调节  $RP_2$ ,使微安表指示也是恰好为满量程  $100\mu A$  为止。调节时要注意光照条件应与标准照度计的光照相同。(特别提醒:在同样强度的光源照射下,各处的照度往往是不同的,其原因主要与光源的距离、光线的入射角有关。位置一定时,入射光线与光敏区平面垂直时照度最大。)

#### 4. 光敏电阻器的应用电路

(1) 光敏电阻器简介。光敏电阻器是利用多晶半导体的光致导电特性而制成的,属于一种无结的半导体器件。当光导体受光照时,它的电阻率会下降。因此,光照越强,光敏电阻器的阻值就越小。为了提高器件的光灵敏度,使其受光照后电阻变化更大,在结构上一般都是把电极做成互为镶嵌的梳状(或指状)并采取防潮措施。其外形结构的一种形式如图 1-11(a)所示。





光敏电阻器的响应时间是很慢的,其时间常数一般为 $1\sim 50\text{ms}$ 之间(光照从零跃变到 $100\text{lx}$ 开始,器件从暗电流达到稳定亮电流的 $63\%$ 所需的时间)。在可见光敏类中,目前以硫化镉(CdS)光敏电阻器使用最多。国产MG44、MG45型硫化镉光敏电阻器主要技术参数见表1-8。

(2) 光敏电阻器应用电路。光敏电阻器应用实例——自动照明灯电路如图3-103所示。

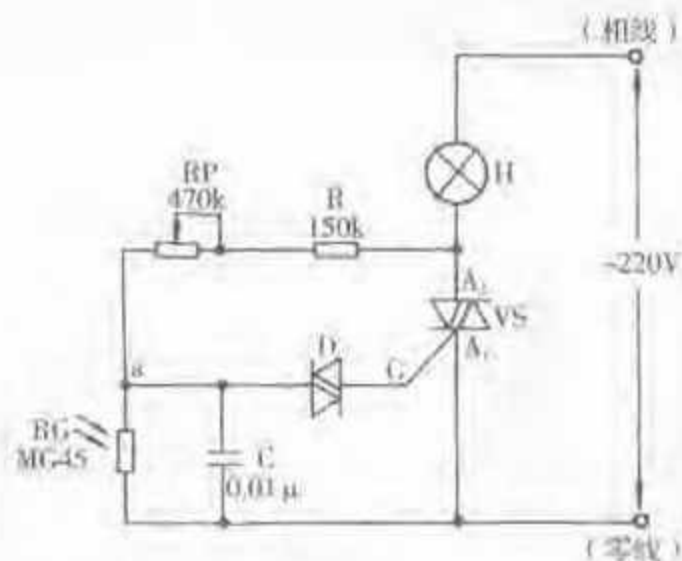


图 3-103 光敏电阻器应用实例——自动照明灯电路

此自动照明灯电路具有夜晚自动点亮、白天自动熄灭功能,电路结构比较简单。

由该电路可见,白炽灯 H 和双向晶闸管 VS 互相串联后直接与 220V 交流电源相接。双向晶闸管可视为接点  $A_1$ 、 $A_2$  的一个可控开关,当 VS 导通时( $A_1$ 、 $A_2$  接通),白炽灯 H 点亮;当 VS 为阻断状态时( $A_1$ 、 $A_2$  不通)H 熄灭。在一定条件下,VS 的工作状态由输入控制极 G(也称门极)的触发电流所控制。这里  $A_1$ 、 $A_2$  分别称为双向晶闸管的第一阳极、第二阳极,即第一主电极( $T_1$ )、第二主电极( $T_2$ ),它们可互换位置使用。

图中电位器 RP、电阻器 R、光敏电阻器 RG、电容器 C 以及双向触发二极管 D 组成触发电路。当加在双向触发二极管上的电压低于它的转折电压时,它处于截止状态;当外加电压高于它的转折电压时,双向触发二极管导通。本电路所用的双向触发二极管转折电压为 30V 左右。

在白天时,由于光敏电阻器 RG 的亮电阻比  $RP+R$  的值小很多,使得电容器 C 两端的电压总是小于双向触发二极管 D 的转折电压,于是 D 截止,双向晶闸管 VS 无触发电流,呈阻断状态( $A_1$ 、 $A_2$  之间断路),阳极电流等于零,白炽灯 H 熄灭。到了夜晚,光敏电阻器 RG 的阻值增加,使得电容器 C 两端的电压大于 D 的转折电压,D 导通,电容器 C 通过 D 向控制极 G 放电而产生的触发电流,使 VS 导通



( $A_1$ 、 $A_2$  接通), 于是白炽灯 H 点亮。

通过调节 RP 阻值可改变自动照明灯的开、关与环境光线强度的关系, 使之在适当亮度环境时灯会自动熄灭, 在环境光线不足时灯又会自动点亮。当然, 光敏电阻器 RG 应固定在灯光照不到的地方。

#### 四、集成霍尔传感器应用电路

##### 1. 集成线性霍尔传感器简介

现以 SL-N3501T 型霍尔传感器单片集成电路为例作一介绍, 它的内部电路是由稳压器、霍尔电势发生器 H 和信号放大器 A 组成。其外形及内部电路原理如图 3-104 所示。

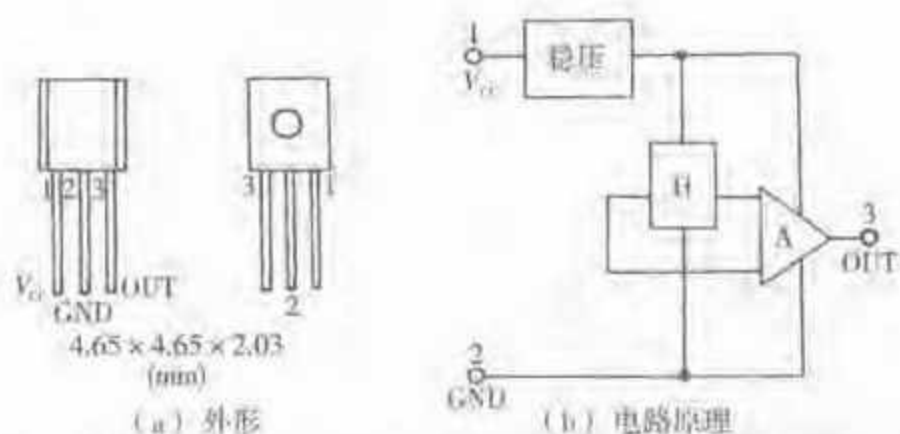


图 3-104 SL-N3501T 型集成霍尔传感器外形及内部电路原理

SL-N3501T 型霍尔传感器的输出电压与外加磁场  $B$  的垂直分量大小成线性比例变化。当电源电压  $V_{CC}$  为 12V、负载电阻  $R_L = 10k\Omega$ 、环境工作温度  $T_A = 25^\circ\text{C}$  时, 该集成霍尔传感器的磁感应强度和输出电压之间的关系如图 3-105 所示。其极限参数 ( $25^\circ\text{C}$ ) 为: 电源电压为 16V, 输出电流为 4mA, 磁感应强度不限, 工作环境温度为  $0 \sim +70^\circ\text{C}$ , 存放环境温度为  $-65 \sim +150^\circ\text{C}$ 。

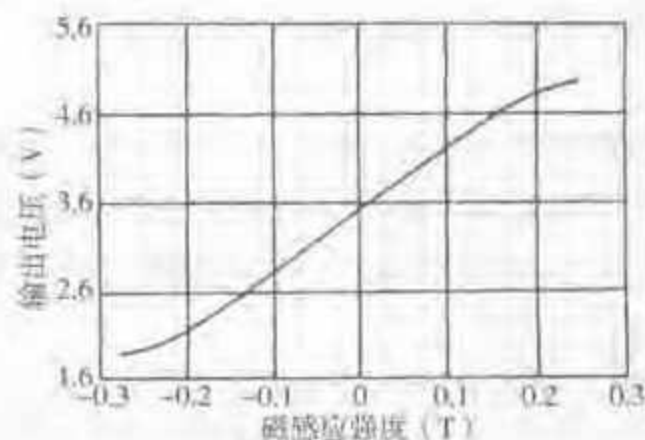
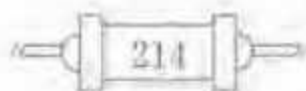


图 3-105 SL-N3501T 型霍尔传感器磁感应强度与输出电压关系

##### 2. 磁场探测器直流放大电路

采用集成霍尔传感器作为探头的磁场探测器, 它的直流放大电路如图 3-106





所示。

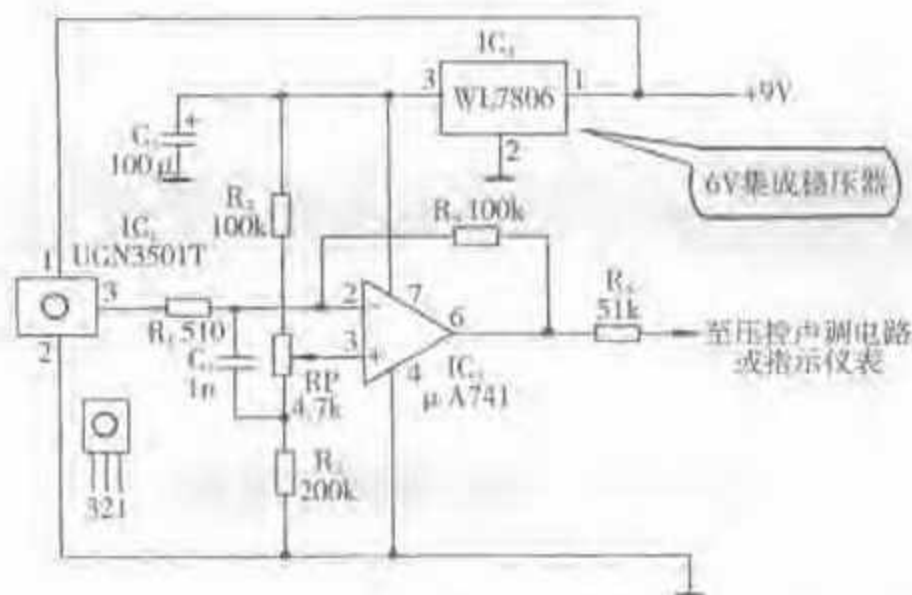


图 3-106 磁场探测器的直流放大电路

图中  $IC_1$  (UGN3501T 型) 为集成线性霍尔传感器(也可用国产 SL-N3501T 型), 它是一个 3 端器件, 其 1 脚接电源 (9V) 正端, 2 脚接地 (电源负端), 3 脚为输出端。当无磁场时,  $IC_1$  的输出电压约 3.6~3.9V (图 3-105)。随着磁场的增加输出电压也增加, 在线性区内, 两者的增量关系是互成比例的。如果磁场的方向相反,  $IC_1$  的输出电压将随磁场的增强而减小。UGN3501T 型霍尔传感器的灵敏度典型值为 7mV/mT, 在线性区内, 磁场每变化 1mT 将使输出电压变化 7mV。

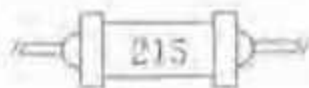
为了提高磁场探测的灵敏度, 需要对磁场传感器  $IC_1$  输出电压变化量进行放大, 为此采用集成运算放大器  $IC_2$  ( $\mu A741$  型) 与负反馈电阻  $R_4$  等构成差分电压放大电路。其同相输入端 (3 脚) 的参考电压从  $R_2$ 、 $RP$ 、 $R_3$  组成的分压电路输出取得, 通过调节  $RP$  可使参考电压稍微大于  $IC_1$  在磁场为零时的输出电压, 从而使  $IC_1$  输出电压变化量能由集成运算放大器  $IC_2$  进行放大。其电压放大倍数等于  $R_4/R_1$ 。

集成稳压器  $IC_1$  (WL7806 型) 是为了减少电源电压变化而引起  $IC_2$  构成的直流放大电路工作点漂移。虽然  $IC_1$  的引入会使  $IC_2$  的电源电压下降一些, 从而稍稍缩小放大电路的动态范围, 但对探测器工作而言, 是利大于弊的。对于集成霍尔传感器而言, 其内部具有恒流电路, 因此它的工作电源无需附加稳压器。

接在集成运算放大器  $IC_2$  反相输入端的电容器  $C_1$  是为了抑制寄生振荡。

考虑到加在探头  $IC_1$  的磁场可能是正方向, 也可能是负方向, 而对集成运算放大器  $IC_2$  又采用单电源工作方式, 所以磁场为零时应调节  $IC_2$  输出 (6 脚) 电压为电源电压的一半为宜。

集成运算放大器  $IC_2$  的输出端 (6 脚) 经电阻器  $R_4$  后接至压控声调电路或指示仪表 (未画出), 用来定性探测某处是否存在磁场时的报警或定量指示。





## 第一节 基本逻辑门电路

数字电路的特点是电路中大多数元器件工作于开关状态,基本工作信号只有“0”和“1”两种(图4-1),各种开关电路就成为它的基本电路。这些基本电路像门一样按一定条件开或关,即当逻辑条件满足时信号可以通过,否则信号就不能通过,因此又称它们为逻辑门电路,简称门电路。

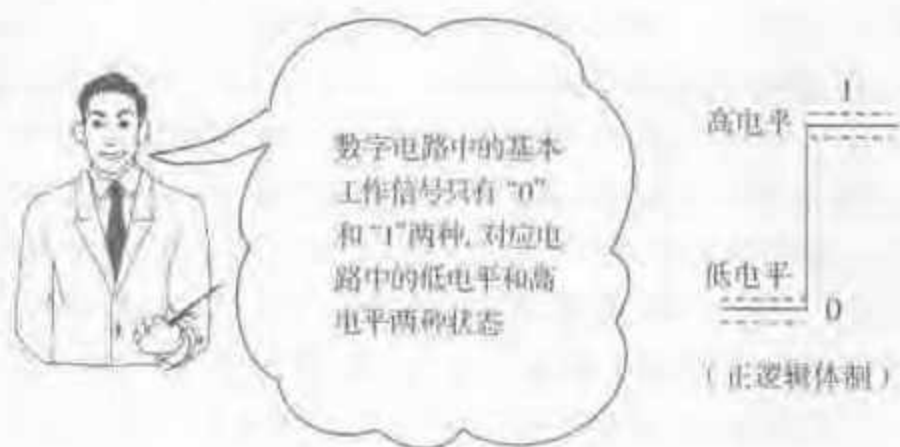


图4-1 数字电路中的基本工作信号

### 一、与门电路

最简单的一种与门电路如图4-2所示,它是具有2个输入端的二极管与门电路。当输入端A和B都接5V电压时(高电平,用1表示),二极管因反向连接而未导通,则输出端Y为5V(也是高电平),所以输入全是1,输出也是1。如果A为1,B为0(即A为5V,B为0V),则二极管 $D_2$ 导通且B相当于接“地”,于是Y成为低电平(小于1V)。这种输入和输出的因果关系是与逻辑关系,所以称这种电路为与门电路。

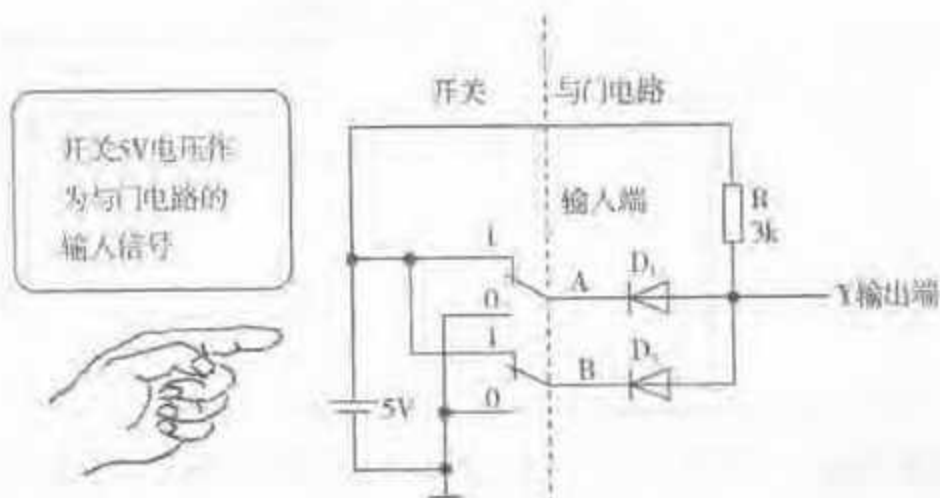


图 4-2 二极管与门电路

这种具有 2 个输入端的与门逻辑符号及波形图如图 4-3 所示。它的逻辑函数表示式为：

$$Y = A \cdot B$$

$$Y = B \cdot A$$

或

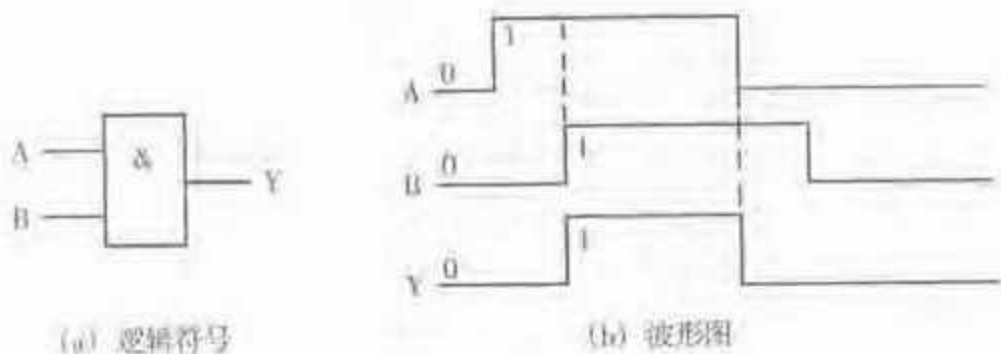


图 4-3 二输入与门逻辑符号及波形图

二输入与门电路的功能表和真值表见表 4-1 和表 4-2。功能表和真值表是一种表明逻辑门电路输入状态和输出状态逻辑对应关系表,它包括了全部可能的输入值组合及其对应的输出值。实际上我们只用其中的一种关系表就可以了。

表 4-1 二输入与门功能表

输 入		输 出
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

注: H 表示高电平, L 表示低电平。





表 4-2 二输入与门真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

与门电路的输入端可以不止 2 个,图 4-4 所示为具有 3 个输入端的与门电路及逻辑符号和波形图。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = A \cdot B \cdot C$$

因此,与门电路的逻辑功能可归结为一句话:“有 0 出 0,全 1 出 1。”就是说,只有各个输入端均为“1”时,输出端才为“1”;否则,输出端为“0”。

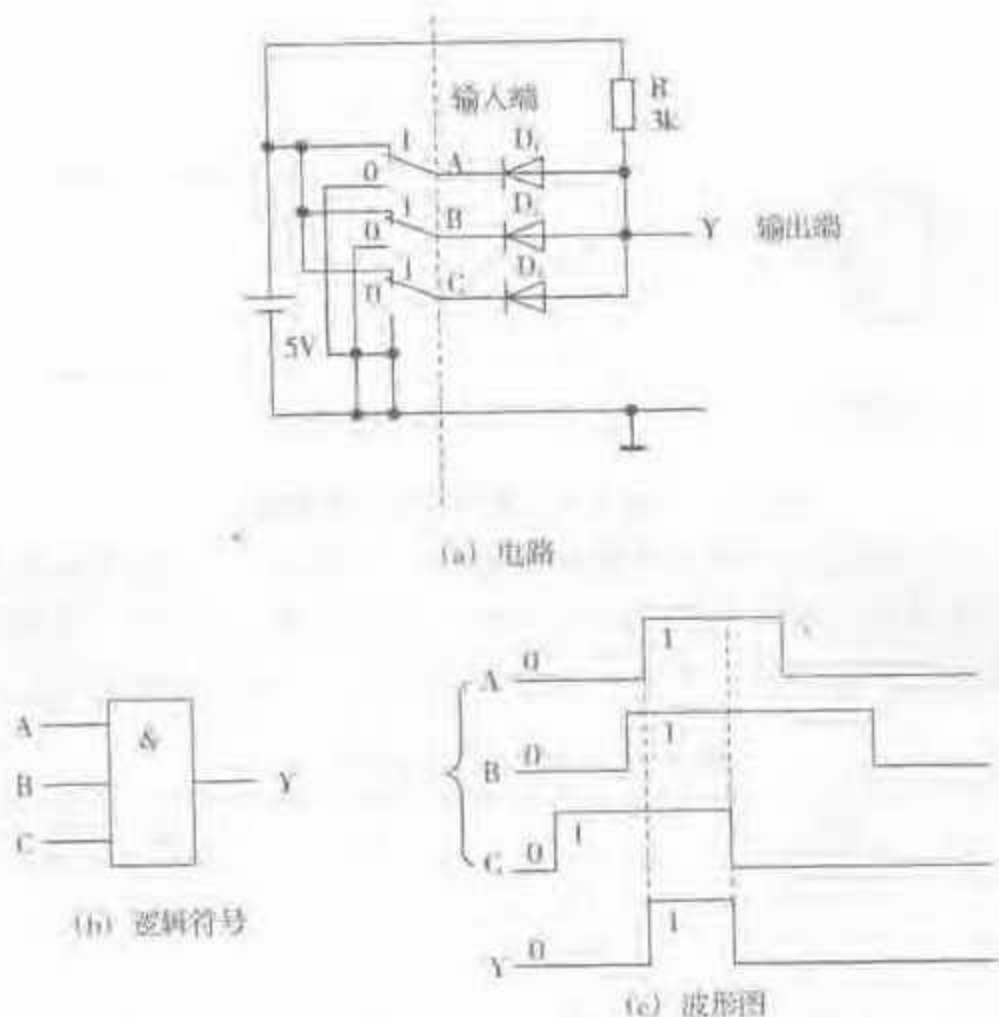


图 4-4 三输入与门电路、逻辑符号和波形图

集成与门电路有多种可供选用,例如,属于互补场效应管(CMOS)4000 系列数字集成电路中的四—二输入与门 CC4081 型,双四输入与门 CC4082 型,它们的



引脚排列和逻辑符号分别如图 4-5、图 4-6 所示。

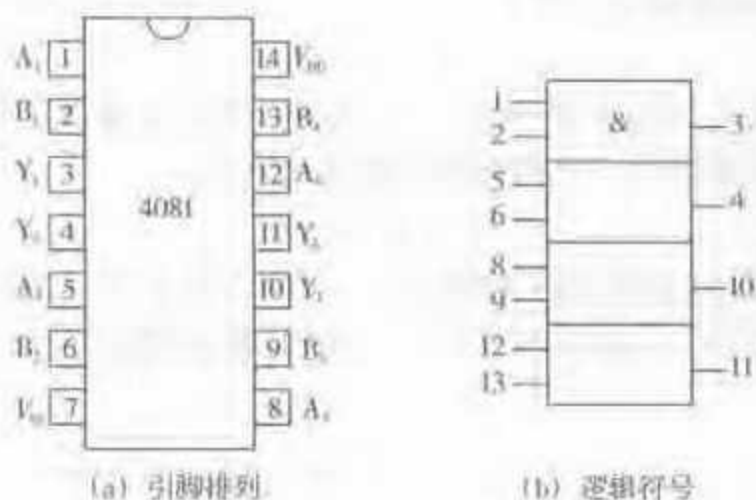


图 4-5 四—二输入与门 CC4081 型的引脚排列和逻辑符号

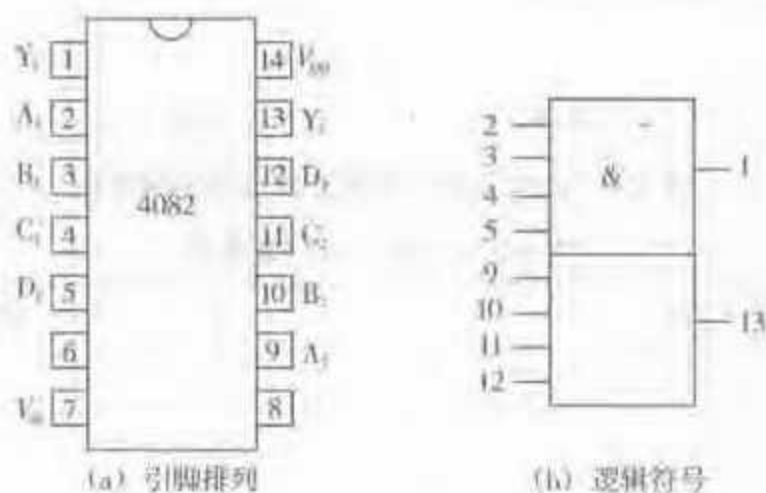


图 4-6 双四输入与门 CC4082 型的引脚排列和逻辑符号

## 二、或门电路

具有 2 个输入端的二极管或门电路如图 4-7 所示。由图可见,只要输入端有一个处于高电平(逻辑 1),那么与该输入相连的二极管就导通,使输出端 Y 也处于高电平。

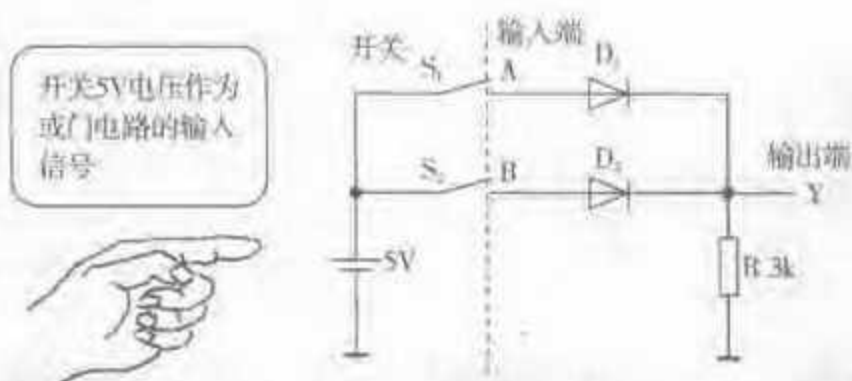
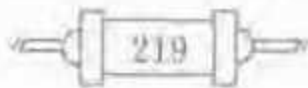


图 4-7 二极管或门电路





具有 2 个输入端的或门电路的逻辑符号和波形图如图 4-8 所示,其真值表见表 4-3。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = A + B$$

或门电路的输入端也可以不止 2 个,图 4-9 所示为具有 3 个输入端的或门电路及其逻辑符号和波形图。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = A + B + C$$

因此,或门电路的逻辑功能也可以归结为一句话:“有 1 出 1,全 0 出 0。”就是说,只有各个输入端均为“0”时,输出端才为“0”;否则,输出端为“1”。

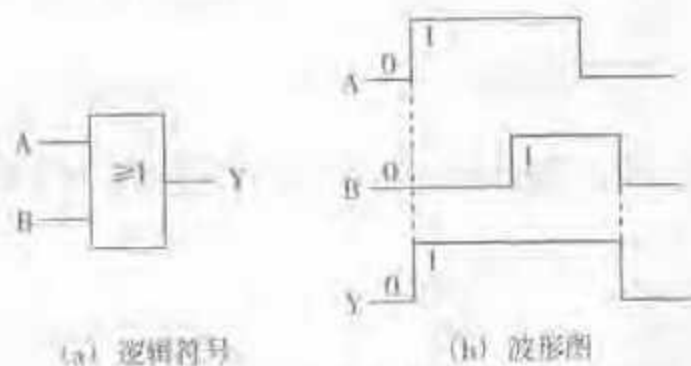


图 4-8 二输入或门电路逻辑符号和波形图

表 4-3 二输入或门真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

这里需要指出的是,同样一个电路,在正逻辑体制中是或门,在负逻辑体制中就是与门,一个电路是或门还是与门,是根据特定的条件(逻辑体制)确定的。本书采用正逻辑体制,即规定高电平是 1,低电平是 0。

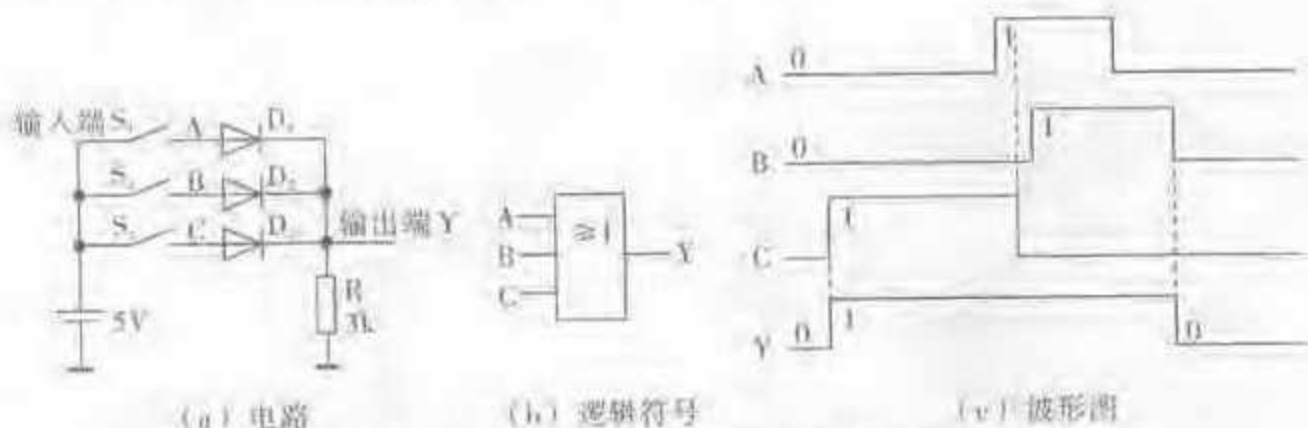
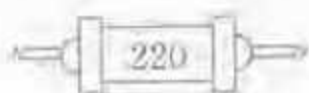


图 4-9 三输入或门电路及其逻辑符号和波形图





集成或门电路也有多种型号可供选用,如 CMOS4000 系列中的三—三输入或门 CC4075 型、双四输入或门 CC4072 型的引脚排列和逻辑符号分别如图 4-10、图 4-11 所示。

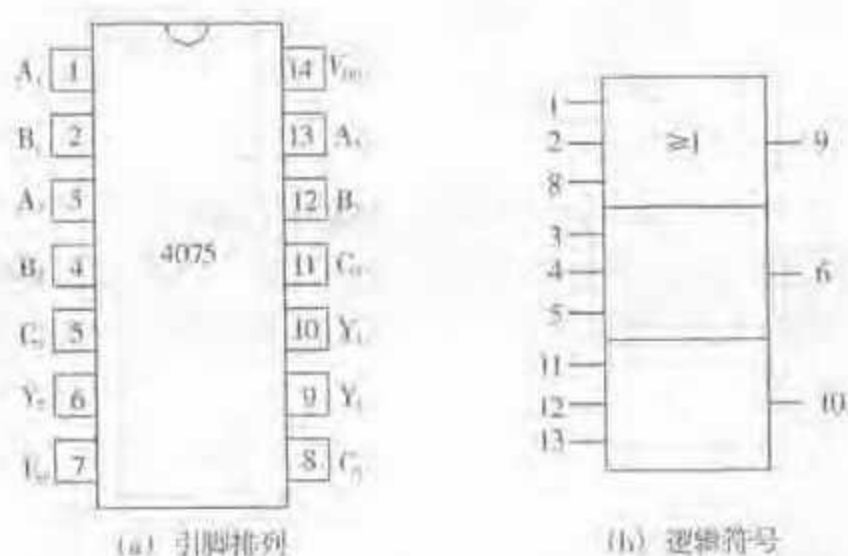


图 4-10 三—三输入或门 CC4075 型的引脚排列和逻辑符号

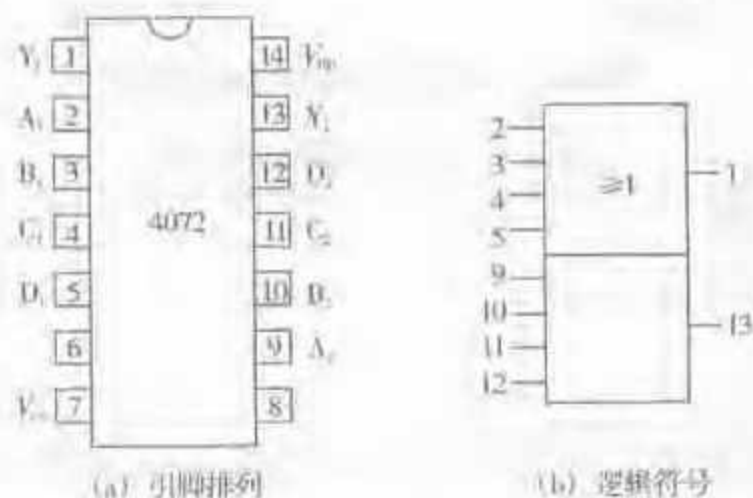


图 4-11 双四输入或门 CC4072 型的引脚排列和逻辑符号

### 三、非门电路

当某一事件的状态总是和条件的状态相反时,这种关系就称为非逻辑关系。图 4-12 所示为三极管反相器电路,其输出信号与输入信号存在反相位关系,这种电路就称为非门电路。当输入信号为低电平时,输出信号为高电平;当输入信号为高电平时,输出信号则为低电平。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = \bar{A}$$

非门电路工作原理:由图可见,当输入为 0(低电平)时,三极管 VT 处于截止状态,集电极电流为 0,所以输出为 1(高电平电压 $\approx$ 电源电压);当输入为 1(高电平)时,三极管 VT 处于饱和导通状态,集电极电流值近似等于电源电压除以电阻  $R_c$ ,因为 VT 的饱和压降很小,所以输出为 0(低电平)。



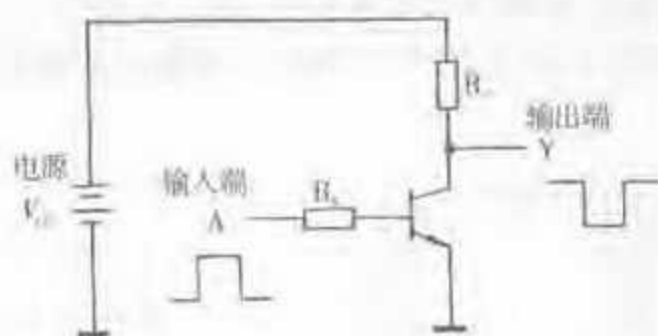


图 4-12 三极管反相器(非门)电路

非门电路(反相器)的逻辑符号和波形图如图 4-13 所示。逻辑符号方框内的“1”表示只有一个输入端,外边加一个小圆圈表示逻辑非。非门逻辑功能的真值表见表 4-4。

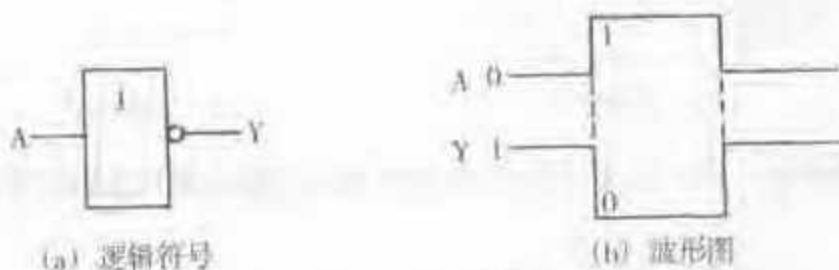


图 4-13 反相器的逻辑符号和波形图

表 4-4 非门(反相器)真值表

输 入	输 出
A	Y
0	1
1	0

含有 6 个相互独立非门(反相器)的集成电路 CC4069 型的引脚排列和逻辑符号如图 4-14 所示。

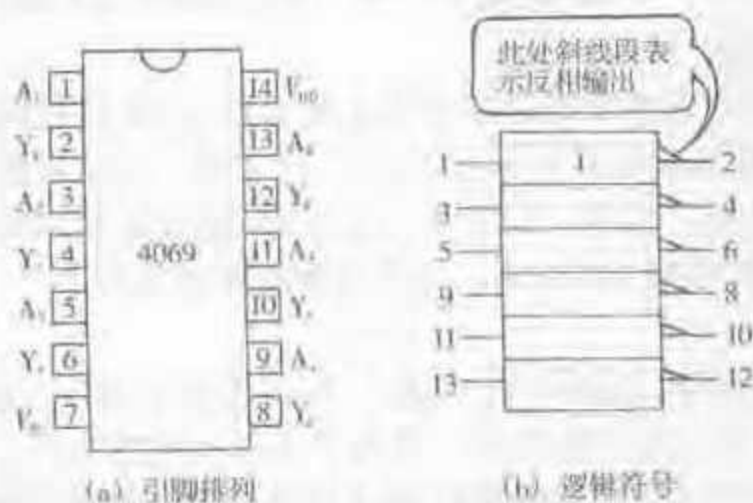


图 4-14 六反相器 CC4069 型的引脚排列和逻辑符号





## 四、缓冲器和三态缓冲器

### 1. 缓冲器

电子线路中的缓冲器,是指在输入、输出信号之间起缓冲作用或高到低逻辑摆幅变换的单元电路。如在一个非门后面接一个非门,那么这两个非门就构成一个缓冲器,其逻辑结构如图 4-15(a)所示,逻辑符号如图 4-15(b)所示。缓冲器的逻辑功能是输出等于输入,逻辑函数式为  $Y=A$ 。即输入为“1”时,输出也是“1”;输入为“0”时,输出也是“0”。



图 4-15 缓冲器的逻辑结构和逻辑符号

集成六缓冲器 CC4010 型的引脚排列和逻辑符号如图 4-16 所示。

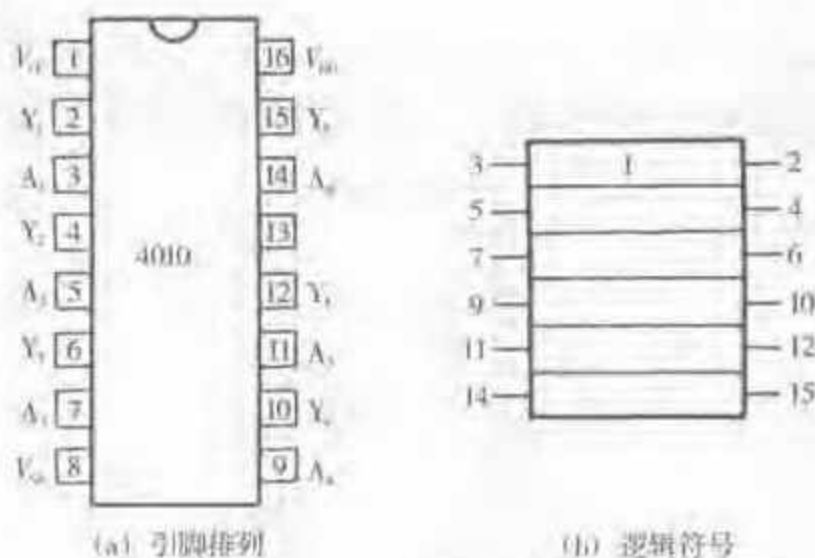


图 4-16 六缓冲器 CC4010 型的引脚排列和逻辑符号

### 2. 三态缓冲器

三态缓冲器的输出除 1 和 0 这两种状态外,还有一个“高阻”状态。“高阻”状态时相当于输出端不与其他电路连接,是无效的。

三态缓冲器的逻辑符号如图 4-17 所示,这两种逻辑符号是等效的,通常采用前一种符号。方框内“EN”是指“三态允许”(高电平有效),是控制信号输入端的标志(相当于 C 端)。当控制信号 EN 为 1 时,三态缓冲器起着普通缓冲器的作用,输出等于输入;当 EN 为 0 时,无论输入是 1 还是 0,输出都为高阻状态,即输出电路被切断,处于无效状态。

三态缓冲器真值表见表 4-5。

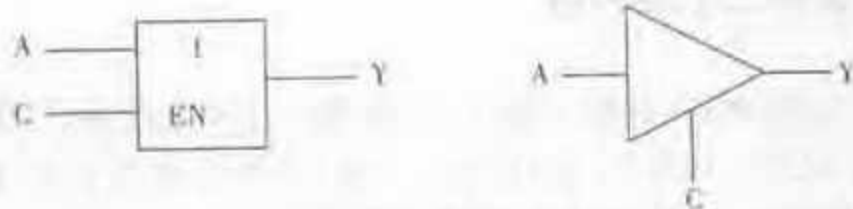


图 4-17 三态缓冲器的逻辑符号

A 输入端; Y 输出端; C 三态控制信号输入端

表 4-5 三态缓冲器真值表

输 入		输 出
A	C(EN)	Y
0	1	0
1	1	1
0	0	高阻
1	0	高阻

图 4-18 所示为具有 4 个单元的三态缓冲器集成电路 74126 型引脚排列。

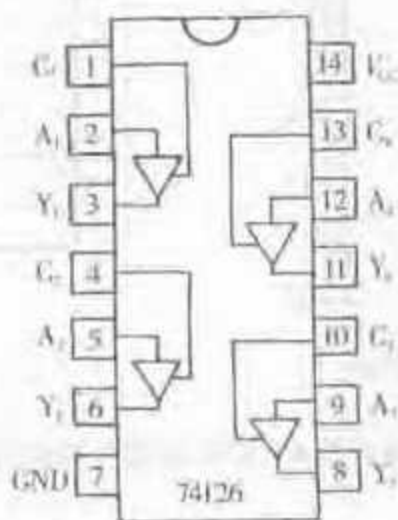


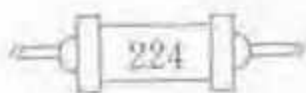
图 4-18 四单元三态缓冲器 74126 型的引脚排列

$V_{cc}$ —电源(+)端; GND—电源(-)端;  $A_1 \sim A_4$ —输入端;

$Y_1 \sim Y_4$ —输出端;  $C_1 \sim C_4$ —三态控制信号输入端

## 第二节 组合逻辑门电路

将基本逻辑门(与门、或门、非门)组合起来使用,就成为组合逻辑门电路。





## 一、与非门电路

在与门后面接一个非门,就构成了与非门电路。与非门的逻辑结构、符号和波形图如图 4-19 所示。

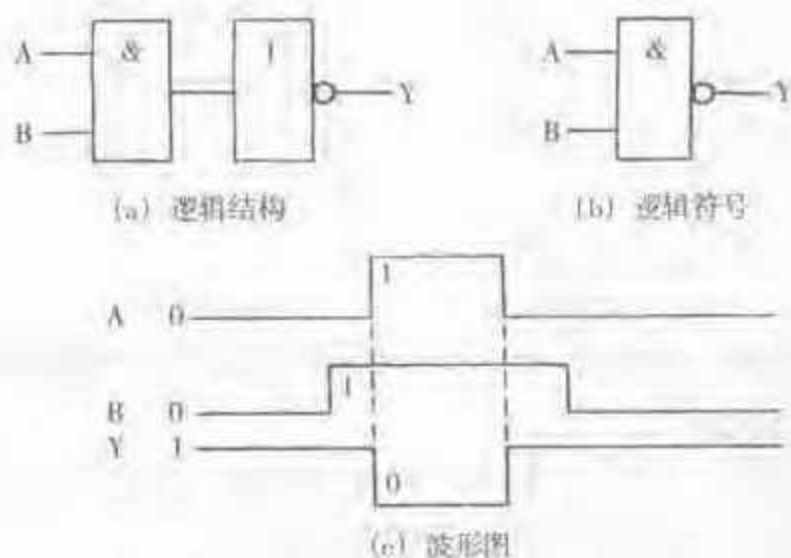


图 4-19 与非门逻辑结构、符号和波形图

与非门电路的真值表见表 4-6。我们从真值表可看出,与非门电路的输入端全为高电平(1)时,输出端为低电平(0);输入端中只要有一个端为低电平(0),输出端就为高电平(1)。因此,与非门的逻辑功能可以归结为简单的一句话是“全 1 出 0,有 0 出 1”。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = \overline{A \cdot B}$$

表 4-6 与非门真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

图 4-20 所示为具有一对四输入端的与非门集成电路 CC4012 型的引脚排列和逻辑符号。集成电路的逻辑符号表示输入、输出之间的逻辑关系,省略不画逻辑结构,以使其简洁明了。此集成电路的逻辑函数表达式(四输入与非门)为:

$$Y = \overline{A \cdot B \cdot C \cdot D}$$





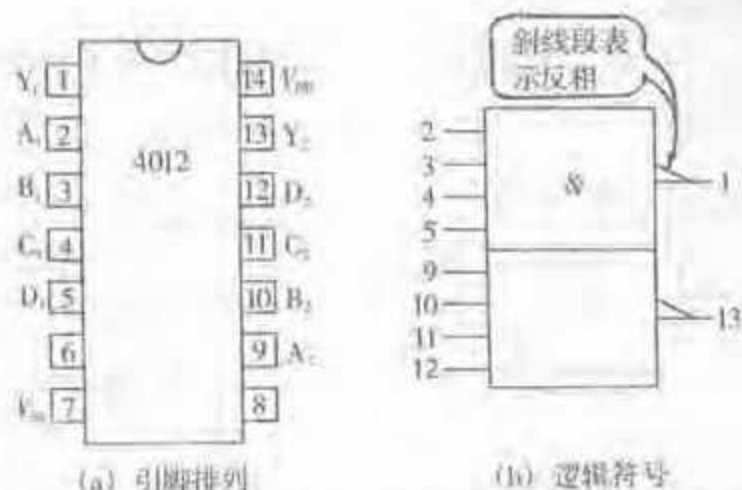


图 4-20 双四输入与非门 CC4012 型的引脚排列和逻辑符号

## 二、或非门电路

在或门后面接一个非门,就构成了或非门电路。或非门的逻辑结构、符号和波形图如图 4-21 所示,其逻辑功能的真值表见表 4-7。

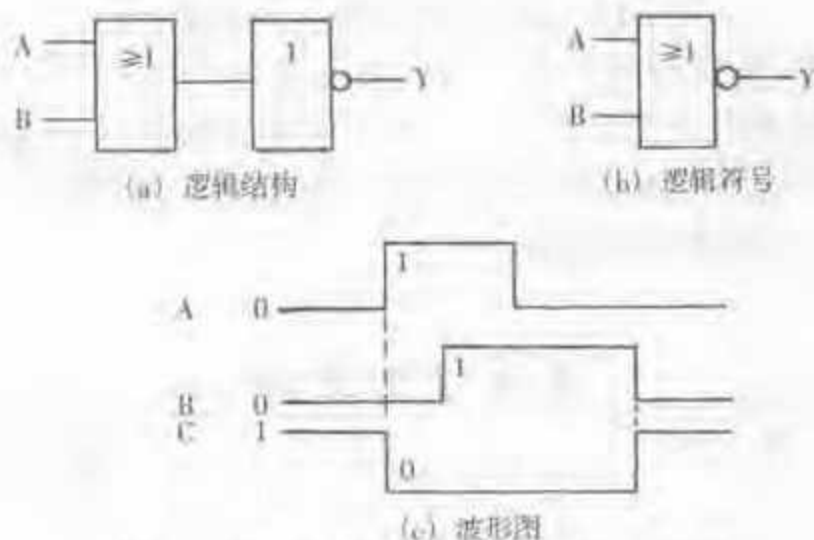


图 4-21 或非门的逻辑结构、符号和波形图

表 4-7 或非门真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

我们从或非门的真值表可以看出,它的输入端全为低电平(0)时,输出为高电平(1);输入端只要有一个是高电平(1),输出端即为低电平(0)。因此,或非门电



路的逻辑功能可以归结为“全0出1,有1出0”。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = \overline{A+B}$$

图4-22所示为四一二输入或非门CC4001型的引脚排列和逻辑符号。它的逻辑函数表达式为:

$$Y = \overline{A+B}$$

具体讲是:

$$Y_1 = \overline{A_1 + B_1}; Y_2 = \overline{A_2 + B_2}$$

$$Y_3 = \overline{A_3 + B_3}; Y_4 = \overline{A_4 + B_4}$$

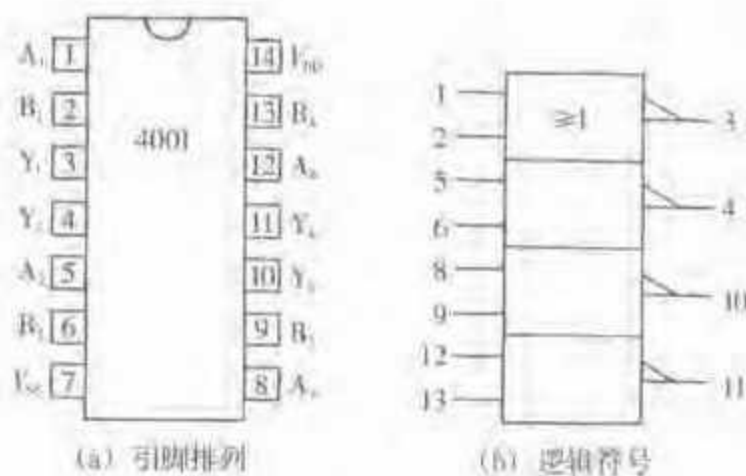


图4-22 四一二输入或非门CC4001型的引脚排列和逻辑符号

### 三、与或非门电路

将2个或者2个以上与门的输出端接到一个或门的各个输入端,就成为一个与或门,再在与或门的输出端接一个非门,就构成了与或非门电路。其逻辑结构和逻辑符号如图4-23所示。

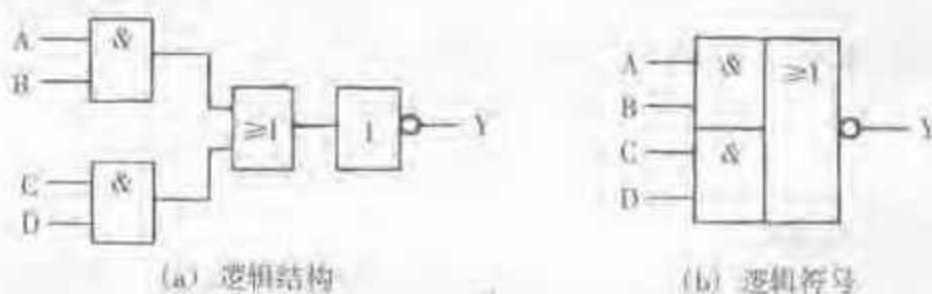


图4-23 与或非门逻辑结构和逻辑符号

由图可见,该与或非门电路的逻辑结构是:输入端分两组作“与”逻辑,然后这两组与门的输出作“或”逻辑,最后再加“非”逻辑。因此,我们可写出该与或非门电路的逻辑函数关系式为:

$$Y = \overline{A \cdot B + C \cdot D}$$

表4-8为与或非门逻辑功能的真值表。我们从逻辑函数式和真值表可看出,当与或非门的输入端中任何一组是1时,它的输出端即为0;只有当各组输入都至少有一个为0时,输出才等于1。





表 4-8 与或非门真值表

输 入				输 出
A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

图 4-24 所示为具有 2 个与或非门并带有或非输入端的集成电路 CC4085 型的引脚排列和逻辑符号、结构。其逻辑函数表达式为：

$$Y_1 = \overline{S_1 + A_1 \cdot B_1 + C_1 \cdot D_1}$$

$$Y_2 = \overline{S_2 + A_2 \cdot B_2 + C_2 \cdot D_2}$$

#### 四、异或门电路

用 2 个非门、2 个与门和 1 个或门可以组成异或门电路。其逻辑结构和符号如图 4-25 所示。异或门的逻辑函数表达式为：

$$Y = \overline{A}B + A\overline{B}$$

异或门电路的真值表见表 4-9。显然，根据它的逻辑函数表达式，读者自己也很容易得出这样的一张真值表。

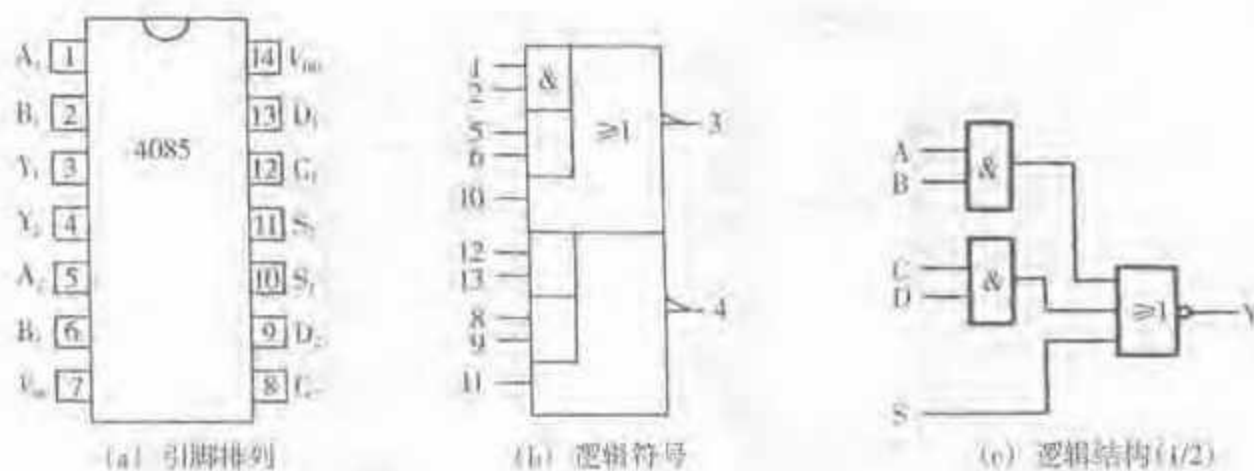


图 4-24 双二—二输入与或非门 CC4085 型的引脚排列、逻辑符号和结构



图 4-25 异或门的逻辑结构和逻辑符号

表 4-9 异或门真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

从异或门的逻辑函数表达式和真值表中我们可以看出异或门电路的逻辑功能,即当 2 个输入端的状态相同(全为 0 或全为 1)时输出为 0,相异时输出为 1,故名“异或门”。因此,异或门是用来判断 2 个输入信号是否相同的常用逻辑门电路。它的逻辑函数表达式往往也写为:

$$Y = A \oplus B$$

图 4-26 所示为四—二输入异或门集成电路 CCA070 型的引脚排列和逻辑符号。



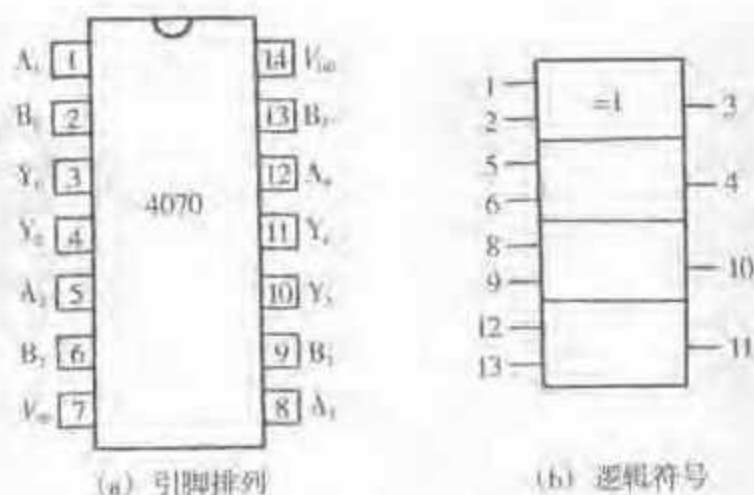


图 4-26 四一二输入异或门 CC4070 型的引脚排列和逻辑符号

### 第三节 逻辑代数及其应用

逻辑代数是认识和研究逻辑电路的数学工具,利用它可判定某个逻辑电路的功能,或者按需要的逻辑功能去设计和简化逻辑电路。

#### 一、逻辑代数的基本定律和定理

数字电路中的基本工作信号只有 0 和 1 这两种,逻辑变量也只有 0 和 1 这两个值。我们根据前面所述的与门、或门真值表(表 4-2 和表 4-3),可以写出逻辑代数的加法和乘法运算定律:

$$\begin{aligned} 0+0=0 & \quad 0+1=1 & \quad 1+0=1 & \quad 1+1=1 \\ 0 \cdot 0=0 & \quad 0 \cdot 1=0 & \quad 1 \cdot 0=0 & \quad 1 \cdot 1=1 \end{aligned}$$

并由此不难得出以下 2 组恒等式:

$$A+0=A$$

$$A+1=1$$

$$A+A=A$$

以及

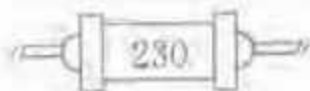
$$A \cdot 0=0$$

$$A \cdot 1=A$$

$$A \cdot A=A$$

这些恒等式构成逻辑代数的定理。

下面介绍常用的逻辑代数基本定律。根据定律和定理,可对逻辑变量进行运算。对逻辑函数进行恒等变换,这对于简化逻辑电路的结构设计是很有用处的。这里必须指出,我们不能随便利用普通代数的方法对待逻辑代数的运算,不可随便移项或消项,每一步运算都要考虑到是否满足逻辑代数的基本定律,否则就要出错。





常用的逻辑代数基本定律有:

(1)交换律:

$$A+B=B+A$$

$$A \cdot B=B \cdot A$$

(2)结合律:

$$A+(B+C)=(A+B)+C$$

$$A \cdot (B \cdot C)=(A \cdot B) \cdot C$$

(3)分配律:

$$A+B \cdot C=(A+B) \cdot (A+C)$$

$$A \cdot (B+C)=A \cdot B+A \cdot C$$

(4)互补律:

$$A+\bar{A}=1$$

$$A \cdot \bar{A}=0$$

(5)反演律(摩根定律):

$$\overline{A+B}=\bar{A} \cdot \bar{B}$$

或

$$\overline{A+B+C+\dots}=\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \dots$$

或

$$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$$

$$\overline{A \cdot B \cdot C \dots}=\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}+\dots$$

(6)吸收律:

$$A+A \cdot B=A$$

$$A \cdot (A+B)=A$$

$$A+\bar{A} \cdot B=A+B$$

若要对逻辑恒等式是否成立作证明,那么利用真值表进行检验是最有效的方法。例如,我们可以从表 4-10 看出  $\overline{A+B}$  等于  $\bar{A} \cdot \bar{B}$ ,从表 4-11 看出  $\overline{A \cdot B}$  等于  $\bar{A}+\bar{B}$ ,从而证明反演律是正确的。

表 4-10  $\overline{A+B}$ 和 $\bar{A} \cdot \bar{B}$ 真值表

A	B	$\overline{A+B}$	$\bar{A} \cdot \bar{B}$
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0

表 4-11  $\overline{A \cdot B}$  和  $\overline{A+B}$  真值表

A	B	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A+B}$
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	0

## 二、用逻辑代数化简逻辑电路的方法

显然,在达到同样逻辑功能的情况下,采用尽可能简单的电路,不但可以节省元器件、降低成本,还能提高电路工作的可靠性。要化简逻辑电路,首先要从化简逻辑表达式着手,而逻辑代数法是化简逻辑表达式的有效方法之一。通常采用的方法有以下几种:

(1) 并项法。利用  $A + \overline{A} = 1$  的关系,把二项合并为一项,并且消去了一个变量。

如 
$$\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot B \cdot \overline{C} = \overline{A} \cdot \overline{C} \cdot (\overline{B} + B) = \overline{A} \cdot \overline{C}$$

(2) 吸收法。利用  $A + A \cdot B = A$  的关系,消去多余的项。

如 
$$\overline{A} \cdot B + \overline{A} \cdot B \cdot C \cdot (D + E + F) = \overline{A} \cdot B$$
  

$$A \cdot \overline{C} \cdot D + \overline{C} = \overline{C}$$

(3) 消去法。利用  $A + \overline{A} \cdot B = A + B$  的关系,消去多余的因子。

如 
$$A \cdot B + \overline{A} \cdot C + \overline{B} \cdot C = A \cdot B + (\overline{A} + \overline{B}) \cdot C$$
  

$$= A \cdot B + \overline{A \cdot B} \cdot C$$
  

$$= A \cdot B + C$$

(4) 配项法。利用  $A = A \cdot (B + \overline{B})$  的关系,将它作为配项,然后消去多余的项。

如 
$$A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{C} + B \cdot \overline{C} = A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{C} + B \cdot \overline{C} \cdot (A + \overline{A})$$
  

$$= A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{C} + A \cdot B \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot B \cdot \overline{C}$$
  

$$= (A \cdot B + A \cdot B \cdot \overline{C}) + (\overline{A} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot B \cdot \overline{C})$$
  

$$= A \cdot B(1 + \overline{C}) + \overline{A} \cdot \overline{C}(1 + B)$$
  

$$= A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{C}$$

(5) 利用其他一些恒等式来化简逻辑表达式。常用的恒等式如下:

$$(A+B) \cdot (A+C) = A + B \cdot C$$

$$A \cdot B + \overline{A} \cdot C + B \cdot C \cdot D = A \cdot B + \overline{A} \cdot C$$

$$A \cdot B + \overline{A} \cdot C + B \cdot C = A \cdot B + \overline{A} \cdot C$$

$$\overline{A \cdot B} + \overline{A \cdot B} = A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}$$

$$\overline{A \cdot B} + \overline{A} \cdot C = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot C$$



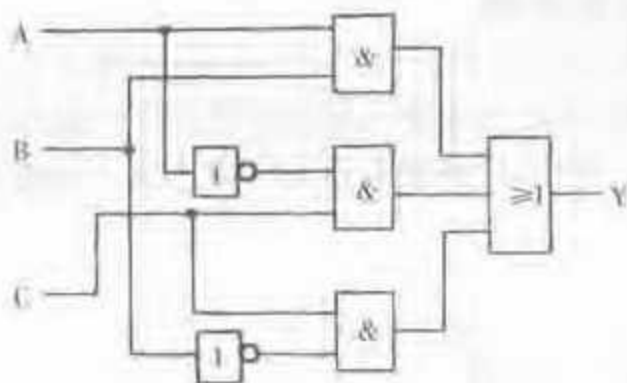


例如,未化简时为 $Y=A \cdot B+\bar{A} \cdot C+\bar{B} \cdot C$ ,化简后成为 $Y=A \cdot B+C$ ,其逻辑结构图分别如图 4-27(a)和 4-27(b)所示。显然,图 4-27(b)所示电路要比图 4-27(a)所示简单得多。

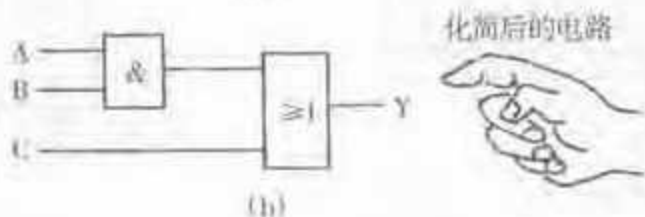
考虑到生产和使用中与非门集成电路较多,我们可以利用反演律把上述逻辑表达式变换成“与非—与非”表达式。

如

$$\begin{aligned}
 Y &= A \cdot B + C \\
 &= \overline{\overline{A \cdot B + C}} \\
 &= \overline{\overline{A \cdot B} \cdot \overline{C}}
 \end{aligned}$$



(a)



(b)

图 4-27 逻辑电路的化简

上述变换经真值表检验是正确的。其逻辑电路如图 4-28 所示,它和上述图 4-27所示的逻辑电路是等效的。由此可见,利用逻辑代数来化简逻辑电路的结构是相当有效的。

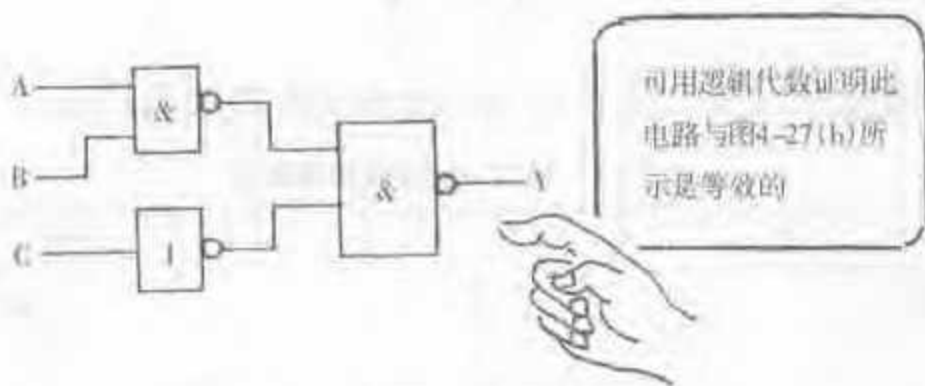


图 4-28 采用与非门构成的等效电路



## 第四节 触发器电路

触发器逻辑电路与组合逻辑门电路明显的不同之处是：凡是触发器，其输出和输入之间至少有一条反馈路径，而组合逻辑门则没有。在逻辑功能方面，触发器的输出状态不仅取决于输入状态，还和它原来的状态有关，即具有记忆功能，而组合逻辑门电路没有这种功能。

### 一、基本 RS 触发器电路

基本 RS 触发器的逻辑结构如图 4-29(a) 所示，它由 2 个二输入端与非门、输出交叉连接而构成。规定用 Q 代表触发器的状态，用 R 表示“复位”（也称置 0），S 表示“置位”（也称置 1）。因此，这种触发器又称置 1 置 0 触发器，或称置位复位触发器。

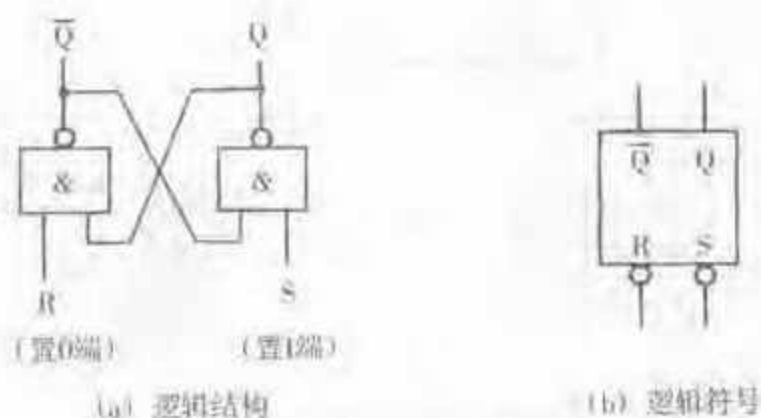


图 4-29 基本 RS 触发器的逻辑结构和逻辑符号

从基本 RS 触发器的逻辑结构图可看出（根据与非门的逻辑功能）该触发器的逻辑表达式为：

$$Q = \overline{S \cdot \overline{Q}}$$

$$\overline{Q} = \overline{R \cdot Q}$$

根据上述逻辑表达式，可列出基本 RS 触发器的真值表，见表 4-12。

表 4-12 基本 RS 触发器真值表

输 入		输 出
R	S	Q
1	0	1
0	1	0
1	1	不变
0	0	不定



由此可知,该触发器输出和输入之间的关系有 4 种情况:

①当  $R$  为 1、 $S$  为 0 时,则  $Q$  为 1,从而  $\bar{Q}$  为 0(真值表中无需列出)。这是因为当  $S$  为 0 时,从上述逻辑表达式可知,不论  $\bar{Q}$  为何种状态(是 1 还是 0), $Q$  都是等于 1,因而  $\bar{Q}$  为 0。在这里,使  $Q$  为 1 起决定作用的是  $S$  为 0(使  $S$  端从高电平下跳到低电平这一个触发信号),所以称  $S$  端为置 1 端或置位端。

②当  $R$  为 0、 $S$  为 1 时,则  $\bar{Q}$  为 1,从而  $Q$  为 0。这是因为当  $R$  为 0 时,从上述逻辑表达式可知,不论  $Q$  是 1 还是 0, $\bar{Q}$  都等于 1,从而  $Q$  为 0。这里使  $Q$  为 0 起决定条件的是  $R$  为 0( $R$  输入端从高电平下跳到低电平),所以称  $R$  端为置 0 端或复位端。

③ $R$ 、 $S$  均为 1 时,则根据上述逻辑表达式可知,此时触发器保持原来状态不变。这表明原来的状态被触发器保存着,体现了触发器的记忆功能。

④ $R$ 、 $S$  均为 0 时,根据触发器的逻辑表达式可知,这时 2 个与非门的输出端  $Q$  和  $\bar{Q}$  都等于 1,这破坏了触发器的逻辑关系。因为我们无法预见 2 个输入端的 0 信号(高电平下跳到低电平这一触发信号)同时撤除后,触发器将处于何种状态。因此, $R$  和  $S$  同时为 0 的情况应当避免。

图 4-29(b)所示为基本 RS 触发器的逻辑符号。方框边的小圆圈表示低电平触发(即下跳沿触发)有效。如果不加小圆圈,则表示高电平触发(即上跳沿触发)有效。

如果在置 0、置 1 的表示符号  $R$ 、 $S$  上加非号,即为  $\bar{R}$ 、 $\bar{S}$ ,则表示该输入端低电平触发有效。

## 二、钟控同步 RS 触发器

在基本 RS 触发器上增加时钟脉冲控制电路( $G_s$ 、 $G_r$ )就成为钟控同步 RS 触发器,如图 4-30(a)所示。其逻辑符号如图 4-30(b)所示,这里  $R$ 、 $S$  和  $CP$  端无小圆圈,表示此触发器为高电平触发(正跳沿触发)有效。 $\bar{R}_0$  和  $\bar{S}_0$  是直接置 0 端和直接置 1 端,一般只在时钟工作前使用,工作过程中不用,应将其接高电平(如果是 TTL 类电路,则输入端悬空等效高电平)。从图 4-30(a)所示可看出: $CP$  为 0 时,与门  $G_s$ 、 $G_r$  被封锁,即无论  $R$  和  $S$  的输入状态如何(是 0 还是 1),触发器仍维持原状态不变。只有当  $CP$  为 1 时,触发器的输出状态才由  $R$  和  $S$  的状态决定。因此,主控脉冲  $CP$  就像时钟那样,能提供触发器翻转或停止翻转的时刻,所以被称为“时钟脉冲”。

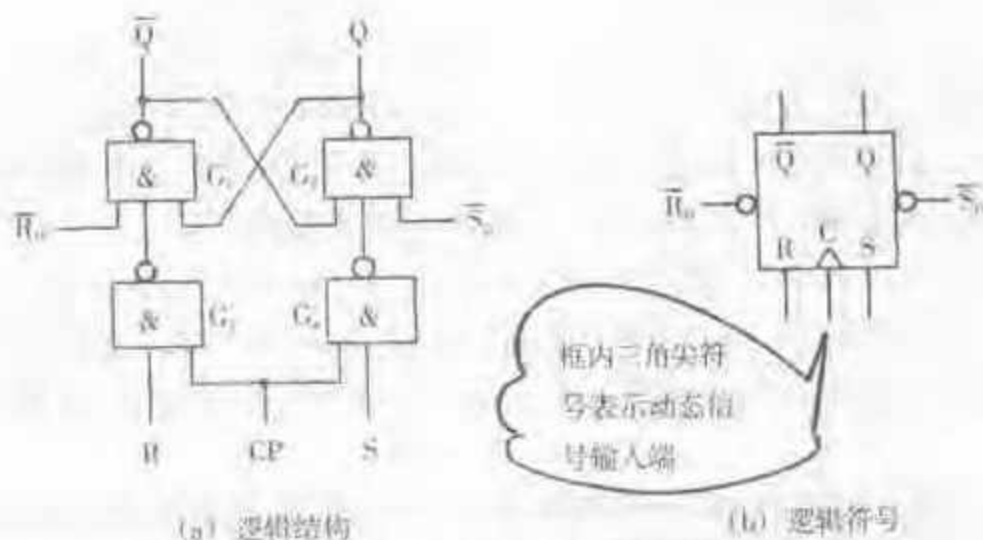


图 4-30 钟控同步 RS 触发器的逻辑结构和逻辑符号

钟控同步 RS 触发器的真值表见表 4-13。

表 4-13 钟控同步 RS 触发器真值表

输 入		输 出
$S_n$	$R_n$	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
1	0	1
0	1	0
1	1	不定

真值表中  $Q_n$  表示触发器在第  $n$  个时钟脉冲到达前的状态,  $Q_{n+1}$  表示第  $n$  个时钟脉冲到达后的状态。当  $Q_{n+1}$  等于  $Q_n$  时, 表示触发器状态保持原状不变。

从表 4-13 可见, 如果  $R_n$ 、 $S_n$  同时为 1, 则时钟脉冲到达后, 触发器输出状态不定, 这是应当避免的。也就是说, 钟控同步 RS 触发器应当满足  $R \cdot S = 0$  这一约束条件, 即 R 和 S 不同时为 1 时, 才能正常工作。

### 三、主从 RS 触发器

一种能防止空翻、工作更可靠的主从 RS 触发器逻辑电路如图 4-31 所示。由图可见, 主触发器由与非门  $G_2$ 、 $G_6$ 、 $G_7$ 、 $G_8$  组成, 从触发器由与非门  $G_1$ 、 $G_3$ 、 $G_4$ 、 $G_5$  组成。输到 CP 端的时钟脉冲被分成 2 路, 其中一路通过与非门  $G_9$  对时钟脉冲进行倒相, 于是使 2 个互补的(一个高电平 1, 一个低电平 0)时钟脉冲分别控制 2 个同步 RS 触发器。因此, CP 输入端无论是高电平还是低电平, 主触发器和从触发器总是一个被封锁而另一个被打开, R 和 S 的状态不会直接影响整个电路的输出状态, 输出状态的翻转与 CP 时钟脉冲的宽度无关, 从而防止了空翻现象。

图中  $\bar{R}_0$  和  $\bar{S}_0$  这两个输入端, 可用来对触发器的输出直接复位(也称置 0)和直接置位(也称置 1)。显然,  $\bar{R}_0$  为 0 时, 与非门  $G_1$  的输出端  $\bar{Q}$  为 1, 从而 Q 为 0;  $\bar{S}_0$  为

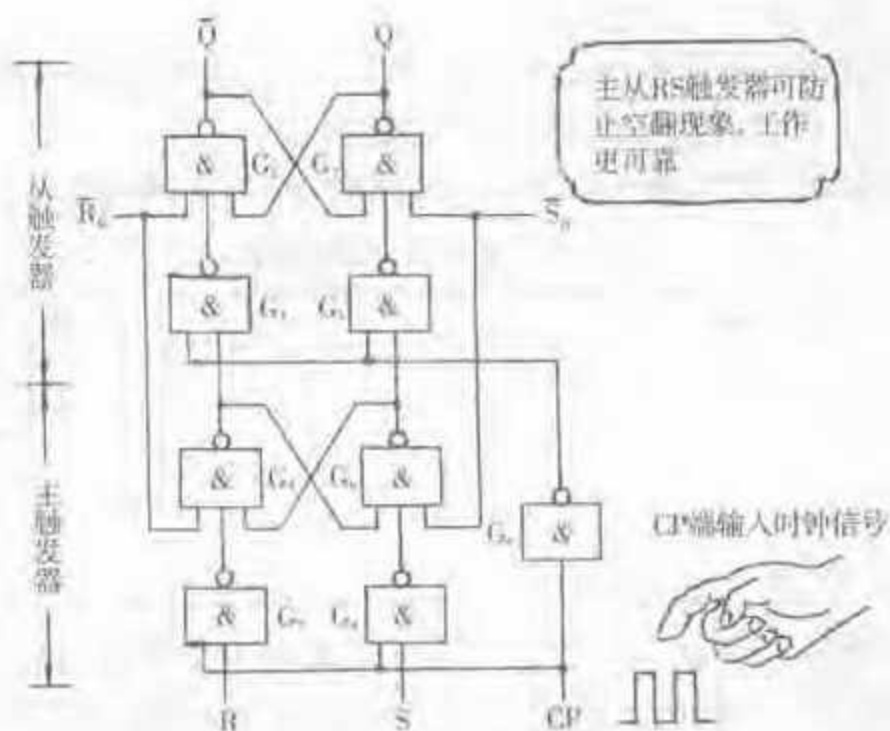


图 4-31 主从 RS 触发器的逻辑电路

0 时, 与非门  $G_2$  的输出  $Q$  为 1 (注意: 运用与非门和触发器的逻辑关系分析即可得此结果)。

#### 四、主从 JK 触发器

主从 JK 触发器的逻辑结构和逻辑符号如图 4-32 所示。

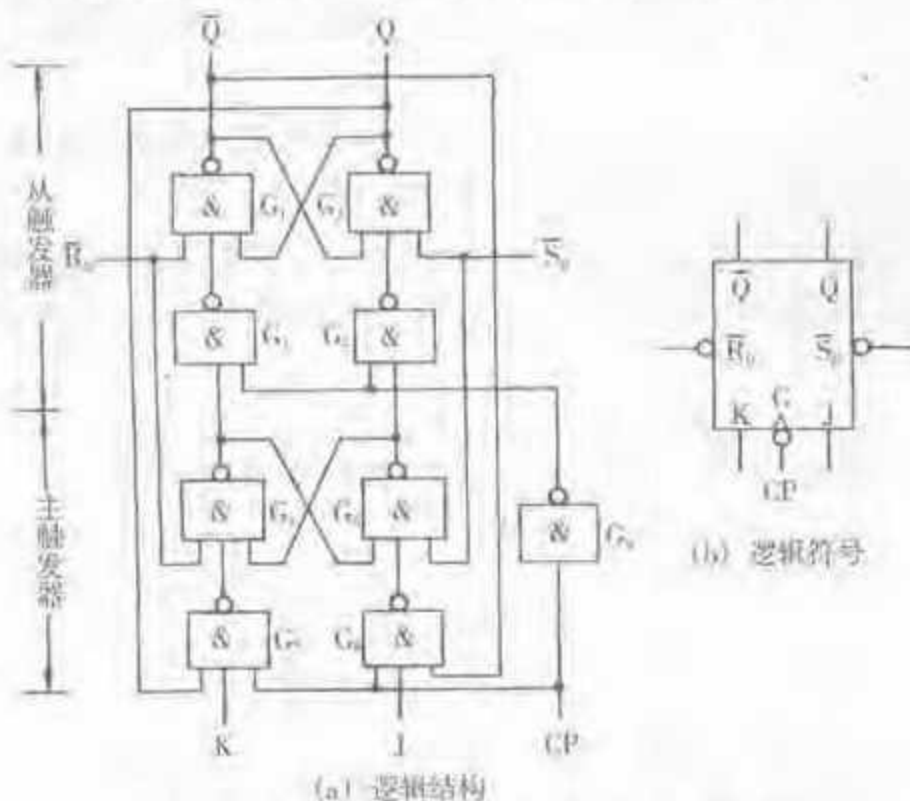


图 4-32 主从 JK 触发器的逻辑结构和逻辑符号

由逻辑结构图可见, 它是将前面所述的主从 RS 触发器中与非门  $G_7$ 、 $G_8$  各增加一个输入端, 并分别与从触发器的  $Q$  和  $\bar{Q}$  端相接, 将  $R$  改称  $K$ ,  $S$  改称  $J$ , 从而构





成主从 JK 触发器,简称 JK 型触发器。

JK 型触发器的逻辑符号如图 4-32(b)所示。应注意到时钟脉冲输入端 CP 有一个小圆圈,表示低电平触发(下跳沿触发)有效。

JK 型触发器的逻辑功能可以从它的真值表(表 4-14)来说明。

表 4-14 JK 型触发器真值表

输 入		输 出
J	K	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
1	1	$\bar{Q}_n$
0	1	0
1	0	1

①当 J、K 均为 0 时,  $Q_{n+1}$  等于  $Q_n$ 。因为 J、K 的状态均为 0,  $G_1$ 、 $G_2$  这 2 个与非门始终被封锁, 从 CP 端输入的时钟脉冲不能使触发器翻转, 所以  $Q_{n+1}$  等于  $Q_n$ 。这表示触发器原有状态保持不变。

②当 J、K 均为 1 时,  $Q_{n+1}$  等于  $\bar{Q}_n$ 。这说明当 J 和 K 均为高电平状态时(同时设  $\bar{R}_0$  和  $\bar{S}_0$  也是高电平), 则每来一个时钟脉冲, 触发器就翻转一次(由  $Q_n$  变为  $\bar{Q}_n$ ), 说明在这条件下触发器具有计数功能。

③当 J 为 0、K 为 1 时,  $Q_{n+1}$  等于 0。如果触发器的原有状态(即 Q 的状态)为 0, 则当 J 为 0、K 为 1 时, 时钟脉冲到达后 Q 仍保持 0。否则, 翻转一次后 Q 为 0, 所以  $Q_{n+1}$  等于 0。

④当 J 为 1、K 为 0 时,  $Q_{n+1}$  等于 1。无论触发器的原有状态如何, 当 J 为 1、K 为 0 时, 时钟脉冲到达后 Q 的状态为 1, 即  $Q_{n+1}$  等于 1。

主从 JK 触发器的工作波形如图 4-33 所示。它所表示的输入、输出关系和上述真值表所表示的逻辑功能是完全一致的。由波形图可见, CP 脉冲的下跳沿触发有效。

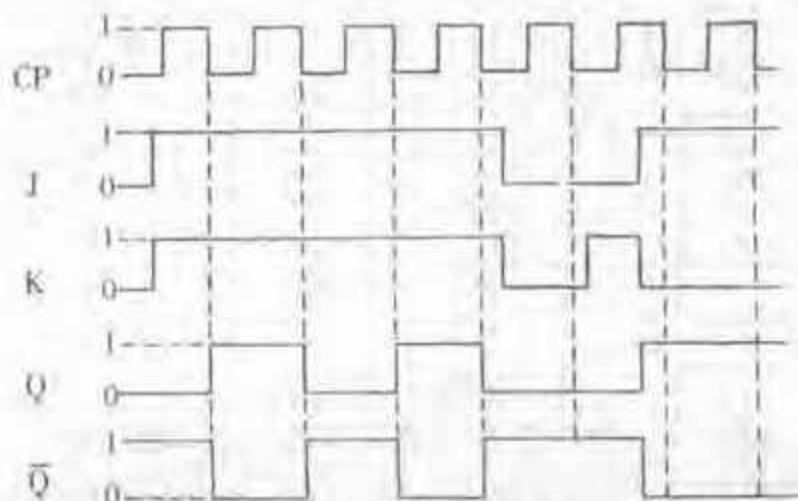


图 4-33 主从 JK 触发器工作波形





## 五、T型触发器

T型触发器的逻辑结构和逻辑符号如图4-34所示。它是将主从JK触发器的J端和K端相接为一端作为控制端T,就构成T型触发器。其逻辑符号如图4-34(b)所示。同样,逻辑符号方框内的三角尖符号表示动态输入端,方框外的小圆圈表示低电平触发(下跳沿触发)有效。

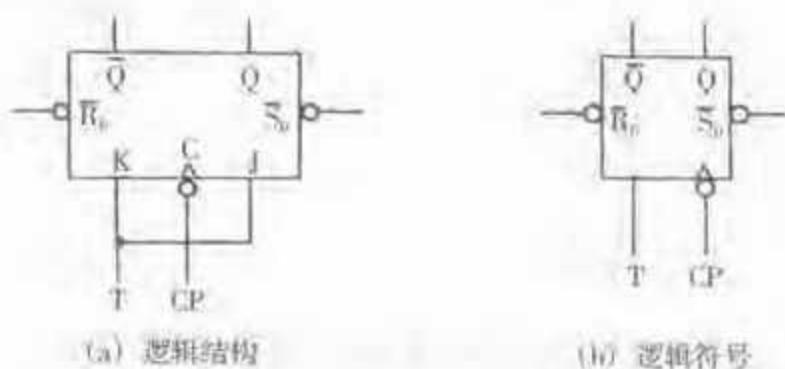


图4-34 T型触发器的逻辑结构和逻辑符号

T型触发器的逻辑功能也可从它的真值表看出(表4-15)。从真值表可见,当 $T_n$ 等于0(低电平)时, $Q_{n+1}$ 等于 $Q_n$ ,在计数脉冲(CP)到达前和到达后触发器状态不变,此时触发器不能计数;当 $T_n$ 等于1时, $Q_{n+1}$ 等于 $\bar{Q}_n$ ,说明触发器具有计数功能,每个CP触发脉冲的下跳沿都会引起T型触发器翻转一次。因此,T型触发器是一种可控计数器。

表4-15 T型触发器真值表

$T_n$	$Q_{n+1}$
0	$Q_n$
1	$\bar{Q}_n$

T型触发器的工作波形如图4-35所示。

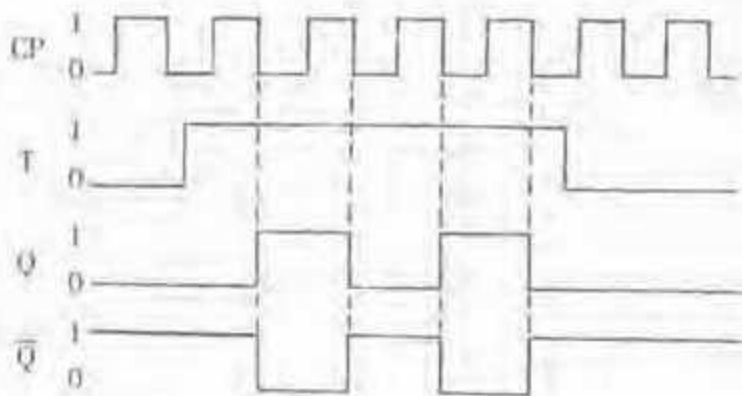


图4-35 T型触发器的工作波形

## 六、D型触发器

D型触发器的逻辑结构和逻辑符号如图4-36所示。它是将主从JK触发器的

K 端串联一个反相器后再接到 J 端, 并引出一个控制端 D, 就构成了 D 型触发器。

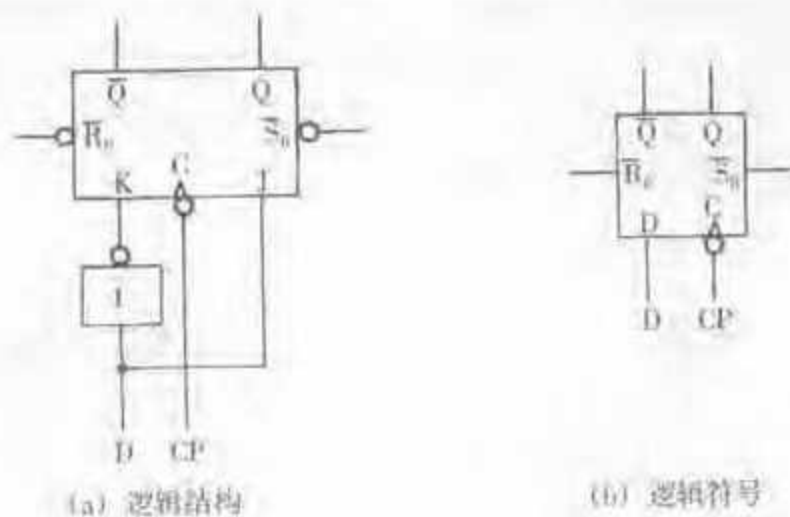


图 4-36 D 型触发器的逻辑结构和逻辑符号

D 型触发器的真值表见表 4-16。由真值表可见, 当 D 等于 1 时, 无论触发器原来状态如何, 时钟脉冲 CP 到达后, Q 总是等于 1。这是因为 D 为高电平时, 相当于 JK 型触发器的 J 为 1、K 为 0 的条件, 参见表 4-14, 因而时钟脉冲到达后, Q 总为高电平。当 D 等于 0 时, 则相当于 JK 型触发器的 J 为 0、K 为 1 的条件, 于是无论触发器的原来状态如何, 时钟脉冲到达后, Q 总是等于 0 (低电平)。

表 4-16 D 型触发器真值表

D	Q
1	1
0	0

D 型触发器的工作波形如图 4-37 所示。可见波形图所表示的逻辑功能与真值表是完全一致的。从波形图还可看出该 D 型触发器的时钟脉冲输入端 CP 是低电平触发(下跳沿触发)有效。

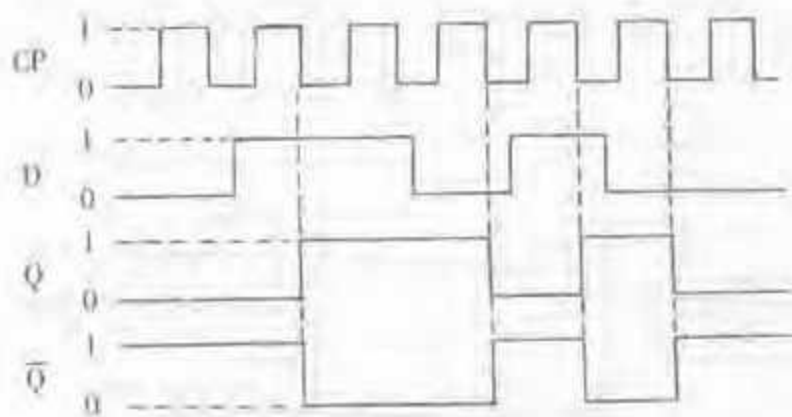


图 4-37 D 型触发器工作波形



## 七、集成 JK 型触发器及其应用

### 1. 双 JK 型触发器的功能和引脚识别

双 JK 型触发器有多种型号,实际使用时应查明其逻辑功能和引脚排列。现以 CMOS4000 系列中的 CC4027 型为例,它的引脚排列和逻辑符号如图 4-38 所示,逻辑功能见表 4-17。

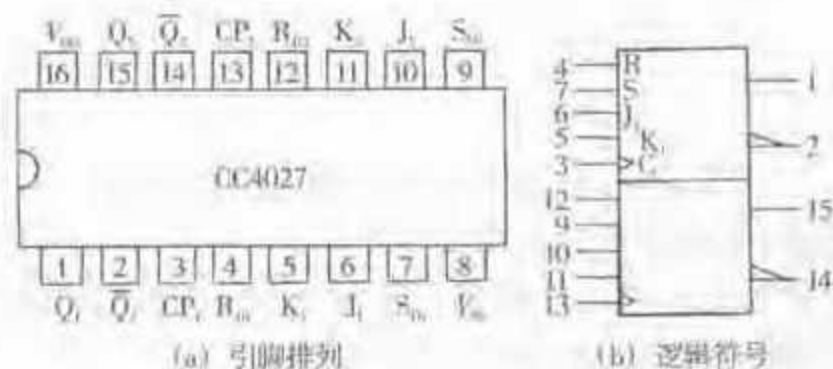


图 4-38 双 JK 型正沿触发器 CC4027 型的引脚排列和逻辑符号

表 4-17 CC4027 型逻辑功能表

输 入					输 出		
CP	J	K	$S_0$	$R_0$	$Q_n$	$Q_{n+1}$	$\overline{Q}_{n+1}$
↑	H	×	L	L	L	H	L
↑	×	L	L	L	H	H	L
↑	L	×	L	L	L	L	H
↑	×	H	L	L	H	L	H
↓	×	×	L	L	×	$Q_n$	$\overline{Q}_n$
×	×	×	H	L	×	H	L
×	×	×	L	H	×	L	H
×	×	×	H	H	×	H	H

在表中,↑表示由低电平到高电平的跳变(也称正跳沿,简称正沿);H表示高电平;L表示低电平;×表示不定。

### 2. 双 JK 型触发器构成的多路分频器

利用一块双 JK 型正沿触发器 CC4027 无需外接任何电子元件,就能方便地连接成具有二分频和四分频功能的分频器,其连接如图 4-39 所示。如果用 2 块 CC4027 型集成电路,就可构成具有二、四、八、十六分频功能的分频器。

多路分频器的工作原理可以从图 4-39(b)所示的工作波形图得到说明。





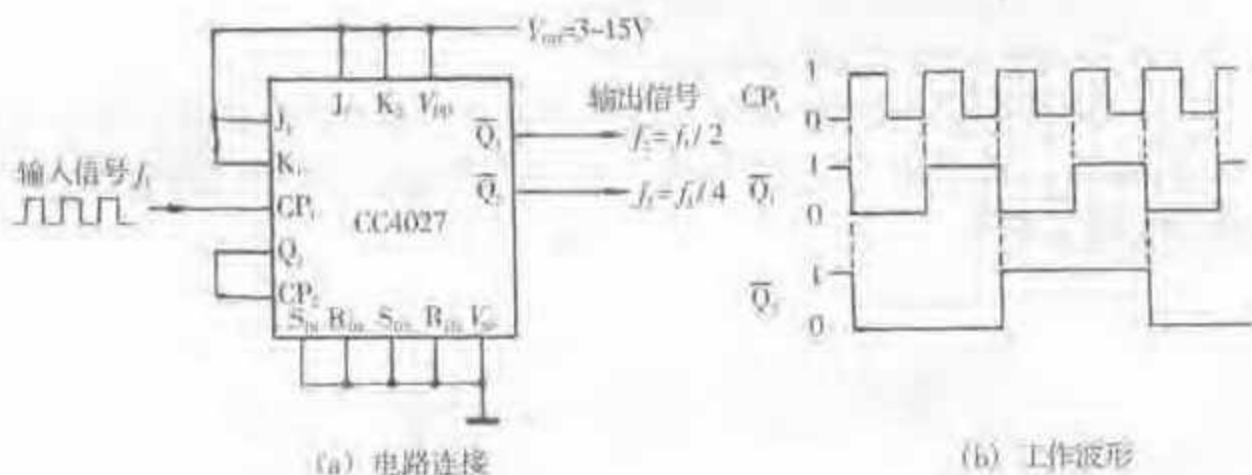


图 4-39 用 JK 型触发器构成的多路分频器

### 3. 用 JK 型触发器组成的三分频电路

三分频电路也称除三加法计数器。同理,一个  $n$  分频器称为除  $n$  加法计数器。三分频电路输出脉冲的频率是输入脉冲频率的  $1/3$ 。

采用 JK 型触发器组成的三分频电路如图 4-40 所示。这里用到 2 只 CMOS 类 JK 型触发器,电源电压为  $V_{CC}$ ,没有外加任何元器件;2 个时钟频率输入端 CP 并联为一个输入端,  $Q_1$ 、 $Q_2$  为不同相位的 2 个输出端。

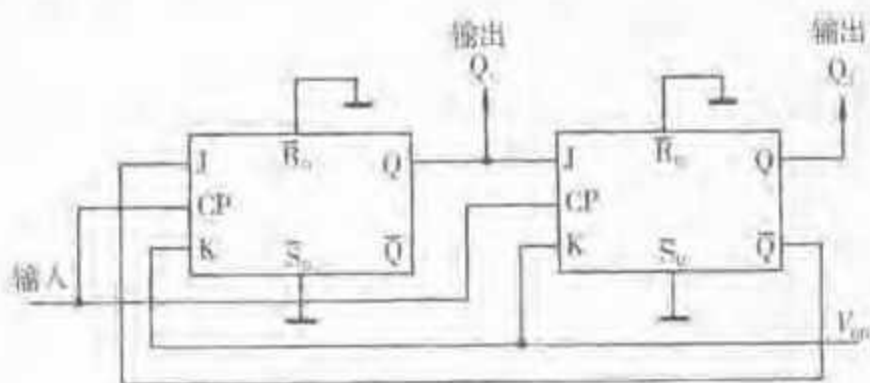


图 4-40 用 JK 型触发器组成三分频电路

因为一块 CC4027 型集成电路中含有 2 个上升沿触发有效的 JK 型触发器,所以只要按图 4-41 所示连接各个引脚,就可组成三分频电路。电路在电源电压在  $3.8 \sim 15V$  之间均能正常工作,最高时钟频率分别为  $3.5MHz$ 、 $8MHz$ 、 $15MHz$  (对应电源电压为  $5V$ 、 $10V$ 、 $15V$ )。如果时钟频率降低到只有  $1Hz$  左右,那就可以用发光二极管(串联  $120 \sim 510\Omega$  电阻器)来显示电路的输入和输出状态(高电平时亮、低电平时不亮),并且由于输入和输出脉冲频率都很低,三分频功能就显得十分直观。

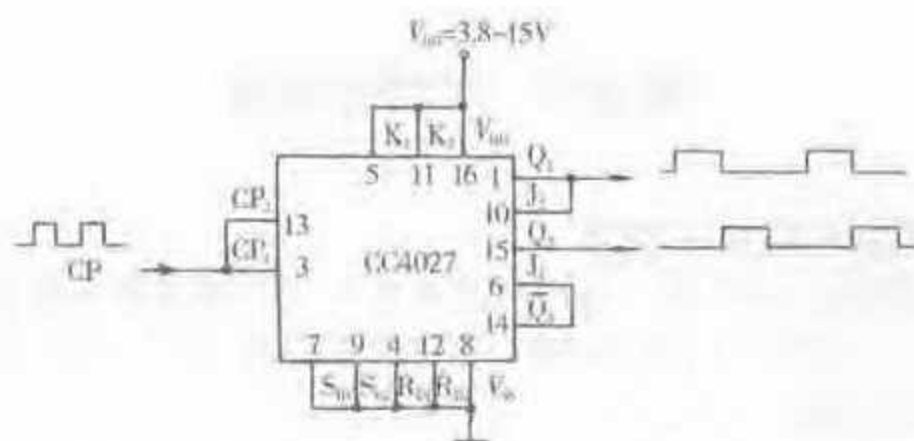


图 4-41 由单片 CC4027 型集成电路构成三分频电路

图 4-41 所示三分频电路的逻辑功能见表 4-18, 其工作波形如图 4-42 所示(在多踪示波器上可以显示出)。其实, 我们根据表 4-18 所示三分频电路输入和输出关系(并已知 CP 脉冲上升沿触发有效), 也能画出它的正常工作波形图。

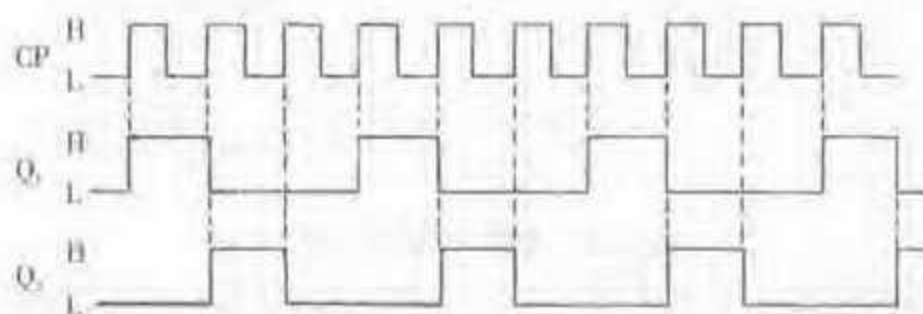


图 4-42 三分频电路的工作波形

CP-时钟脉冲信号;  $Q_1$ -第一个触发器输出信号;  
 $Q_2$ -第二个触发器输出信号; H-高电平; L-低电平

表 4-18 三分频电路输入和输出关系

输 入	输 出	
CP	$Q_1$	$Q_2$
0	L	L
1	L	H
2	H	L
3	L	L
4	L	H
5	H	L
6	L	L
7	L	H
⋮	⋮	⋮



## 第五节 单稳态电路

### 一、单稳态电路基本概念

单稳态电路的工作特点是：电路接受触发后，它的输出状态将从稳态跳变到暂稳态，延迟一定时间后，又会自动跳回到原来的稳定状态。因为只有一个稳态，所以称为单稳态，如图 4-43 所示。



图 4-43 单稳态电路工作特点

单稳态与双稳态这 2 种电路工作特点和区别可用图 4-44 所示的工作波形来表示。在数字电路中，单稳态电路广泛应用延时和脉冲整形等方面。在自动控制电路中，也常以单稳态电路作为定时器使用。

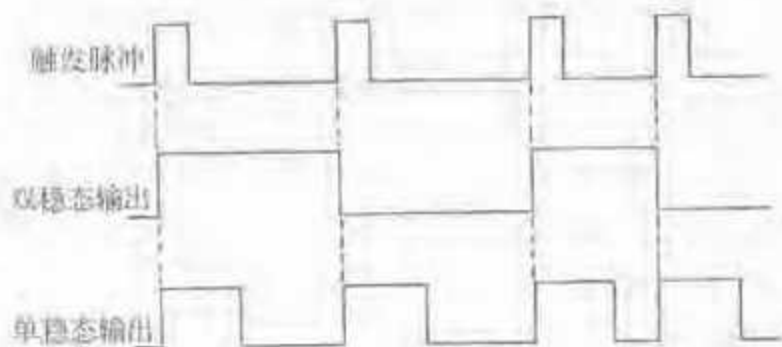


图 4-44 单稳态触发器和双稳态触发器输出波形比较

### 二、用与非门组成的单稳态电路

#### 1. 由与非门组成的负沿触发单稳态电路

由与非门组成的负沿触发单稳态电路如图 4-45 所示。由图可见，该单稳态电路由 2 个非门  $G_1$ 、 $G_2$  和 2 个二输入端与非门  $G_3$ 、 $G_4$  组成，只用了 2 个附加元件电阻器  $R$  和电容器  $C$ ，电路连接相当简单。

工作原理：设单稳态电路的触发脉冲在暂稳态未结束时就已经消失，即  $G_1$  的信号输入端由低电平返回到高电平时，由于  $G_3$  的输出端因  $RC$  积分延迟仍为低电

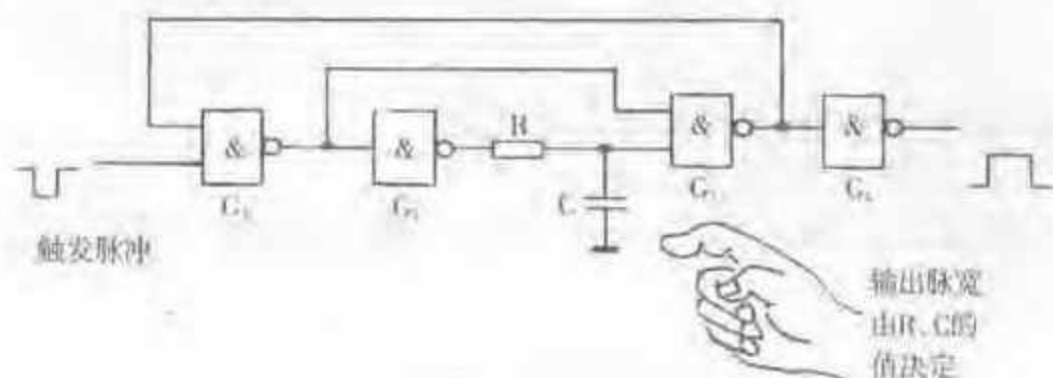


图 4-45 由与非门组成的负沿触发单稳态电路

平,通过反馈使  $G_3$  关闭,于是  $G_2$  输出端仍为高电平,从而防止了  $G_2$  提前关闭,消除了输出脉冲对输入触发脉冲宽度的依赖关系。电路中与非门  $G_3$  起隔离负载影响和脉冲整形作用。

单稳态输出脉冲宽度近似值(单位为 s)可按  $1.4RC$  计算(单位为  $\Omega$  和 F)。

## 2. 单稳态定时电路

根据上述原理电路,采用一片 TTL 类集成与非门 74LS00 型,一只电容器、一只电阻器和一只手动按钮开关就能组成如图 4-46 所示的单稳态定时电路。此电路也很适宜于单稳态演示。

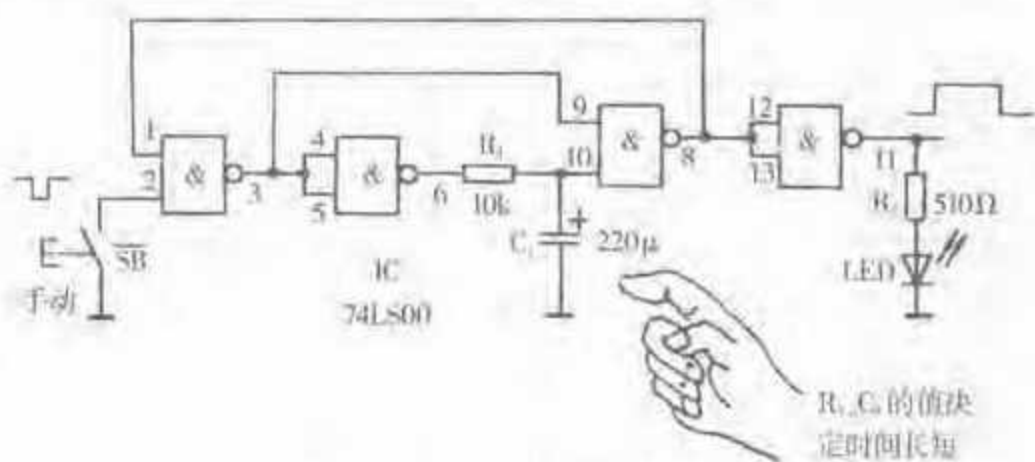


图 4-46 单稳态定时电路

图中  $R_1 = 10\text{k}\Omega$ 、 $C_1 = 220\mu\text{F}$ ,因此单稳态电路输出脉冲宽度(定时时间)约为  $1.4R_1C_1 = 1.4 \times 10 \times 10^3 \times 220 \times 10^{-6} = 3.1(\text{s})$ 。所以,可用发光二极管(LED)来显示输出脉冲的高电平状态。触发脉冲由按钮 SB 手动产生,此按钮平时为开路状态,单稳态电路的输入端为高电平(对 TTL 类集成与非门而言输入端开路时为高电平)。按下按钮(接地)即产生一个负脉冲,触发电路进入暂稳态,发光二极管亮,经过一定时间后当电路自动返回到稳态时,发光二极管由亮变为暗。

根据实际需要可重新设计和估算定时时间,并能通过试验加以调整。对于暂稳态时间相当短促的输出脉冲,可用电子示波器测定脉冲宽度。



需要注意的是,用 TTL 类集成与非门构成上述单稳态电路,电阻器  $R_1$  的阻值不宜太大,建议不超过  $10\text{k}\Omega$ 。电源电压规定: $V_{CC}=+5\text{V}$ ,电源负端接地(GND)。

### 三、集成单稳态触发器基本应用电路

#### 1. 74L121 型集成单稳态触发器

TTL 类集成单稳态触发器 74L121 型的引脚排列如图 4-47 所示,其逻辑功能见表 4-19。

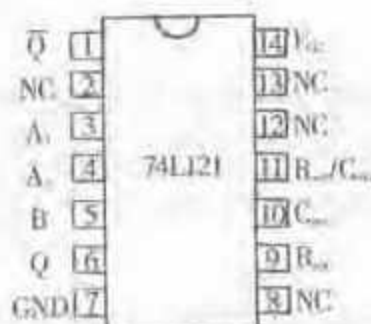


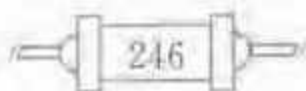
图 4-47 集成单稳态触发器 74L121 型引脚排列

表 4-19 74L121 型逻辑功能表

输 入			输 出		说 明
$A_1$	$A_2$	B	Q	$\bar{Q}$	
L	×	H	L	H	稳态
×	L	H	L	H	
×	×	L	L	H	
H	H	×	L	H	
H	↓	H	⊥	⊥	暂稳态
↓	H	H	⊥	⊥	
↓	↓	H	⊥	⊥	
L	×	↑	⊥	⊥	
×	L	↑	⊥	⊥	

其中  $A_1$  (3 脚) 和  $A_2$  (4 脚) 是 2 个负触发输入端; B (5 脚) 是正触发输入端; Q (6 脚) 和  $\bar{Q}$  (1 脚) 是 2 个互为反相的输出端;  $R_{int}$  (9 脚) 为内部电阻端;  $C_{ext}$  (10 脚) 是外接电容器端;  $R_{ext}/C_{ext}$  (11 脚) 是外接电阻器和电容器公共端; NC (2 脚、8 脚、12 脚、13 脚) 为空脚, 在有的手册中空脚不注任何字符;  $V_{CC}$  (14 脚) 是电源正端; GND (7 脚) 是“地”端(接电源负端)。另外, 与上述功能和引脚排列完全相同的还有 74L21 型。

集成单稳态触发器 74L121 型外围电阻器和电容器的 2 种接法如图 4-48 所示。



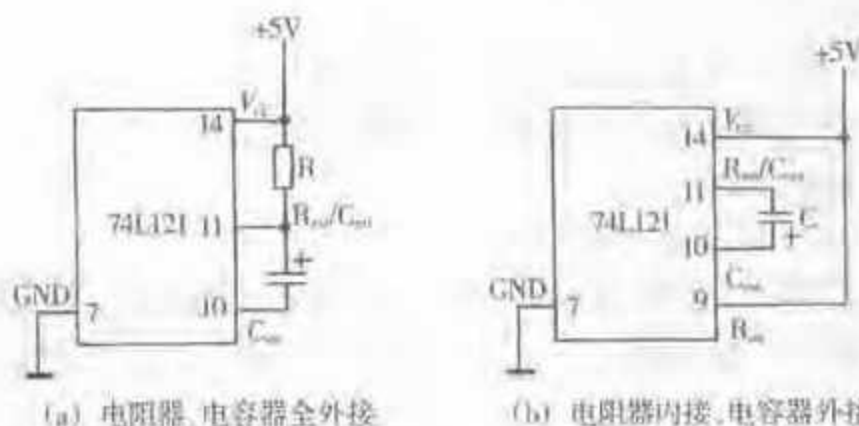


图 4-48 集成单稳态触发器 74L121 型电阻器和电容器的 2 种接法

由图可见,外接电容器  $C$  接在 10 脚和 11 脚之间,使用内部电阻时应将 9 脚接 14 脚。为了提高脉冲宽度的精度和重复性,可在 11 脚和 14 脚之间接电阻器,同时将 9 脚开路。通常,外接电阻器  $R$  为  $2\sim 30\text{k}\Omega$ ,外接电容器  $C$  为  $10\text{pF}\sim 10\mu\text{F}$ ,输出脉冲宽度为  $20\text{ns}\sim 200\text{ms}$ 。这里输出脉冲宽度可按  $0.7RC$  估算。例如,设  $R=12\text{k}\Omega$ ,  $C=50\text{pF}$ ,则脉冲宽度为:

$$\begin{aligned} 0.7RC &= 0.7 \times 12 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-12} \\ &= 4.2 \times 10^{-7} (\text{s}) \\ &= 0.42 (\mu\text{s}) \end{aligned}$$

## 2. CC4098 型双可重触发单稳态触发器

CC4098 型单稳态触发器属于 CMOS4000 系列集成电路。在 CC4098 型的芯片中含有 2 个单稳态电路,每个单稳态电路都可以连续被触发(重触发),并设有直接清除端,分别设有上跳沿触发端和下跳沿触发端。输出脉冲宽度可由外接电阻器和电容器决定。其引脚排列和逻辑符号如图 4-49 所示。

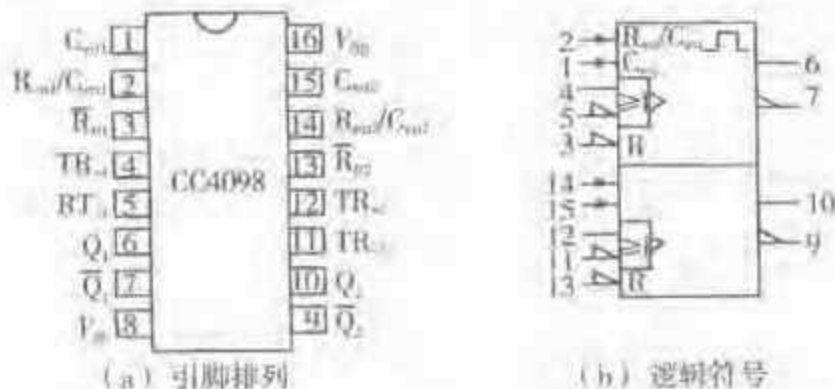


图 4-49 集成单稳态触发器 CC4098 型的引脚排列和逻辑符号

引脚功能文字符号分别为:

$C_{\text{ext}}$ ——外接电容器端。

$R_{\text{int}}/C_{\text{ext}}$ ——外接电阻器和电容器公共端。

$TR_{\pm}$ ——输入脉冲上跳沿触发端。

TR<sub>-</sub>——输入脉冲下跳沿触发端。

$\bar{R}_0$ ——直接复位(置零)输入端,低电平有效。

Q 和  $\bar{Q}$ ——单稳态电路互为反相的 2 个输出端。

$V_{DD}$ ——接电源正极。

$V_{SS}$ ——接“地”(接电源负极)。

CC4098 型的逻辑功能见表 4-20。表中 H 表示高电平, L 表示低电平;  $\uparrow$  表示上跳沿触发,  $\downarrow$  表示下跳沿触发;  $\times$  表示任意态(H 或 L);  $\pi$  表示输出正脉冲,  $\bar{\pi}$  表示输出负脉冲。

表 4-20 CC4098 逻辑功能表

输 入			输 出		说 明
TR <sub>-</sub>	TR <sub>+</sub>	$\bar{R}_0$	Q	$\bar{Q}$	
H	$\uparrow$	H	$\pi$	$\bar{\pi}$	单稳
L	$\uparrow$	H	L	H	禁止
$\downarrow$	H	H	L	H	禁止
$\downarrow$	L	H	$\pi$	$\bar{\pi}$	单稳
$\times$	$\times$	L	L	H	清除

CMOS 类集成单稳态触发器 CC4098 型外接电阻器的阻值为 5~1 000k $\Omega$ , 比 TTL 类集成单稳态触发器的外接电阻器范围大得多。图 4-50 所示为 CC4098 型外接电阻器和电容器的接法。请注意: 如果采用带有极性的电容器, 应把正极接至“ $R_{ext}/C_{ext}$ ”引脚。

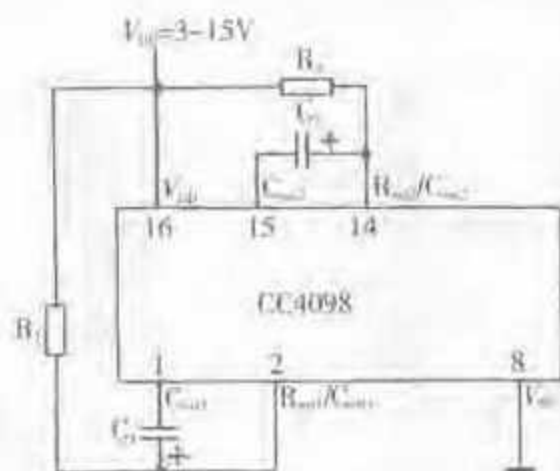


图 4-50 双可重触发单稳态触发器 CC4098 型外接电阻器和电容器的接法

图 4-50 所示电路在一定的电源电压下, 输出脉冲宽度取决于外接电阻器和电容器, 脉宽值可按  $0.5RC$  估算, 并应通过实验测定为妥。

我们从表 4-20 可知, 采用下跳沿触发时, 应将 TR<sub>-</sub> 端(4 脚)接低电平(或接



地), 触发信号从  $TR_1$  端(5脚)输入。采用上跳沿触发时, 应将  $TR_1$  端(5脚)接高电平, 触发信号从  $TR_2$  端(4脚)输入。直接复位端  $\bar{R}_D$  (3脚) 应接高电平。第二个单稳态电路也类似。

如果单稳态输出期间在直接复位输入端( $\bar{R}_D$ )输入低电平脉冲(或接地), 便可提前终止输出脉冲, 迫使脉冲宽度变窄, 如图 4-51 所示。

集成单稳态触发器 CC4098 型还具有可重复触发的功能(简称“可重触发”), 即在其输出高电平期间可以被输入脉冲重新触发, 从而加宽输出脉冲, 如图 4-52 所示。

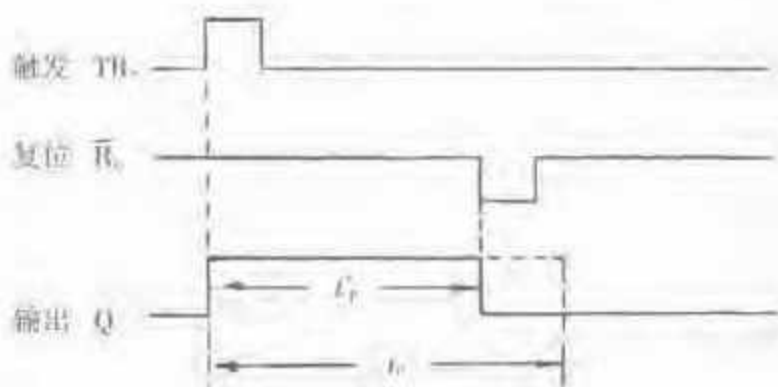


图 4-51 在  $\bar{R}_D$  加负脉冲提前终止输出脉冲

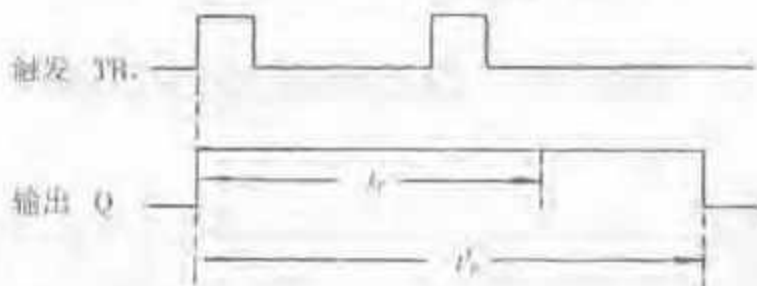


图 4-52 可重触发加大输出脉冲宽度

利用一片 CC4098 型集成单稳态触发器组成一个二级单稳态定时电路如图 4-53 所示。

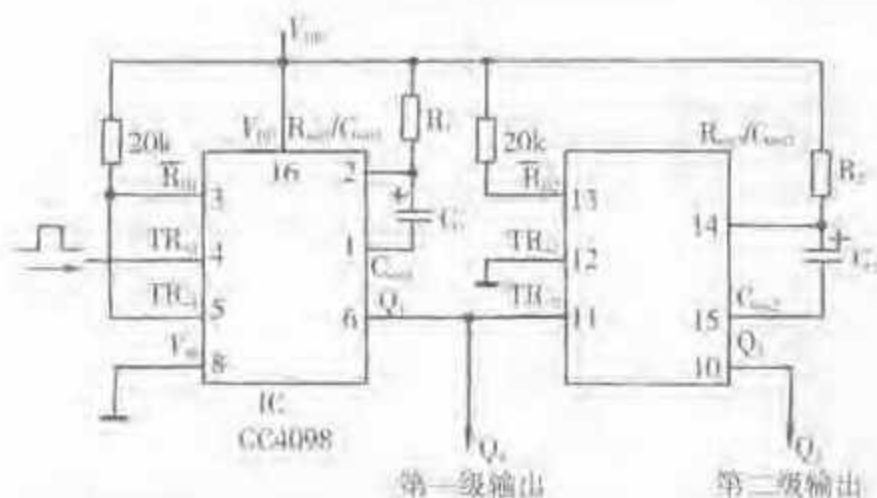


图 4-53 由 CC4098 型组成二级单稳态定时电路



由图可见,正触发脉冲从  $TR_1$  端(4脚)输入,当上跳沿到达时该级单稳态触发器受触发而翻转时,从  $Q_1$  端(6脚)输出脉宽为  $t_{p1}$  的矩形正脉冲;当  $Q_1$  输出脉冲的下跳沿到达并输入第二级的  $TR_2$  端(11脚)时,第二级单稳态触发器翻转,于是从  $Q_2$  端(10脚)输出脉宽为  $t_{p2}$  的矩形正脉冲,它的工作波形如图 4-54 所示。由此可知,该电路在触发脉冲作用下,按照先  $Q_1$  后  $Q_2$  的顺序输出宽度不同的正脉冲,并且可以事先通过  $R_1, C_1$  和  $R_2, C_2$  进行调整。显然,如果用多片 CC4098 型,则可组成多级单稳态定时电路,也能用于控制各段生产工序中的加工时间。

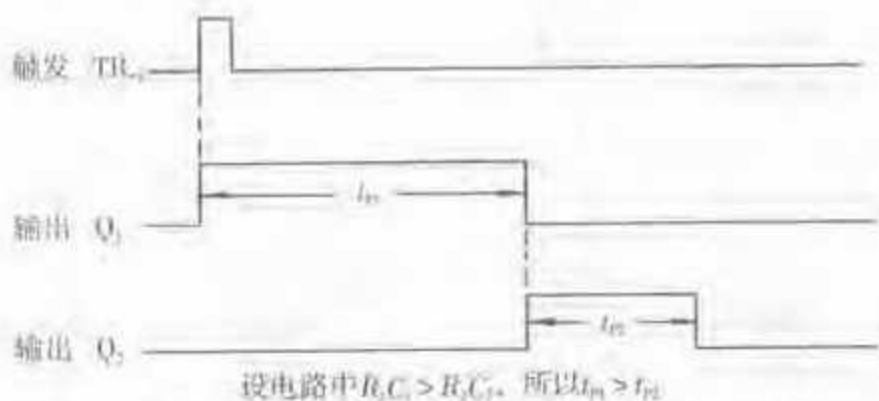


图 4-54 由 CC4098 型组成二级单稳态定时电路的工作波形

## 第六节 施密特触发器电路

施密特触发器是一种依靠输入信号电平来维持的双稳态电路。当输入信号电平大于触发阈值电压时,电路将处于一个稳定态;当输入信号电平小于触发阈值电压时,电路将处于另一个稳定态,如图 4-55 所示。因此,它不像一般双稳态电路那样具有记忆功能。并且,当它由低电平触发返回到高电平触发时,存在“回差”现象。因此,施密特触发器其实是一个具有滞回特性的反相器。它的主要用途是波形变换、脉冲整形、电压比较和幅度鉴别等。

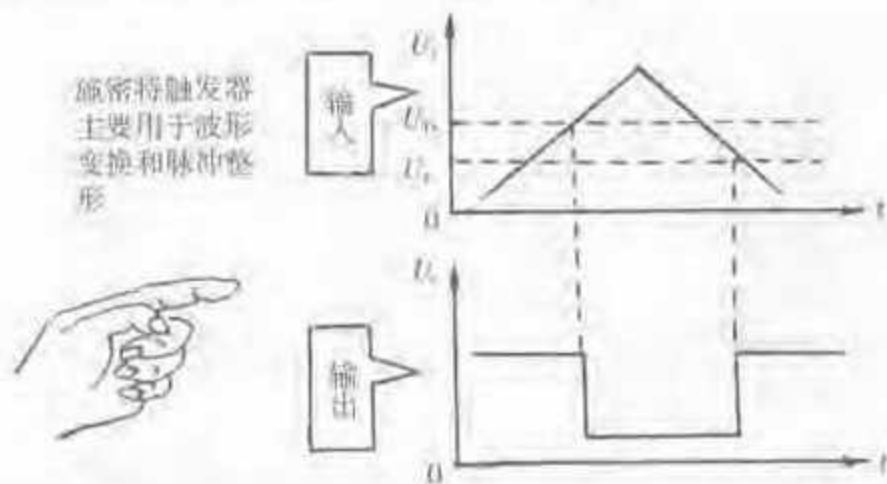
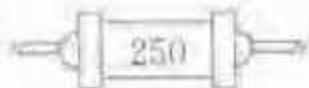


图 4-55 施密特触发器的特点和功用





## 一、用与非门组成施密特触发器

用与非门组成施密特触发器电路如图 4-56 所示。

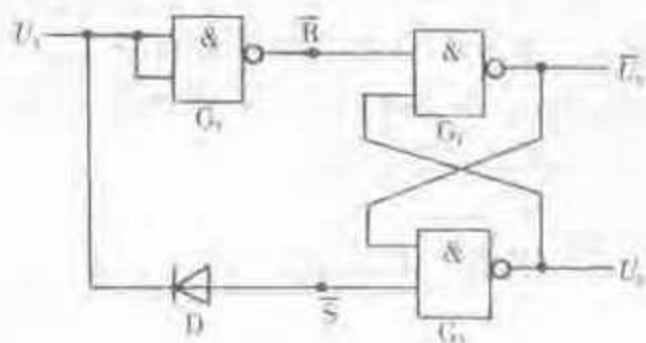


图 4-56 由与非门组成施密特触发器电路

由图可见,该电路用 3 个与非门  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  和 1 只二极管  $D$  组成。其中  $G_1$ 、 $G_2$  构成一个基本 RS 触发器; $G_3$  的 2 个输入端并接为一个输入端,作为反相器使用;用二极管  $D$  (正向压降  $0.7\text{V}$ ) 制造施密特触发器的滞回特性。

工作原理:设输入信号为三角波,如图 4-57 所示。当输入电平上升且等于或大于  $1.4\text{V}$  (阈值电压) 而成为高电平时, $G_1$  开通, $\bar{R}$  为低电平,从而  $G_2$  关闭,其输出  $\bar{U}_1$  为高电平。同时  $\bar{S}$  也为高电平, $G_3$  开通,于是其输出  $U_1$  为低电平。此时电路处于第一稳态。随着输入信号电平下降, $G_1$  和  $G_2$  的输入电平降低,但只要大于  $1.4\text{V}$ ,电路仍处于第一稳态。当输入电平降低小于  $1.4\text{V}$  时(大于  $0.7\text{V}$ ), $G_1$  关闭, $\bar{R}$  为高电平。由于二极管  $D$  正向压降 ( $0.7\text{V}$ ) 作用,此时  $\bar{S}$  的电位仍高于  $1.4\text{V}$ ,只有当输入电平下降到等于或小于  $0.7\text{V}$  时, $G_2$  才关闭,其输出为高电平,从而使基本 RS 触发器翻转, $G_1$  开通, $\bar{U}_1$  为低电平, $U_1$  为高电平,电路进入第二稳态。当输入电平继续下降时,电路保持第二稳态不变。当输入电平重新上升且等于或大于  $1.4\text{V}$  时,电路又回到“第一稳态”。从工作波形可以看出,施密特触发器存在“回差”现象,滞后电压  $\Delta V_T$  约等于  $0.7\text{V}$ 。显然,输入信号电压在  $\Delta V_T$  范围内变动时对输出没有影响,因此可以防止输入端噪声电压引起电路输出误脉冲,提高电路工作可靠性。

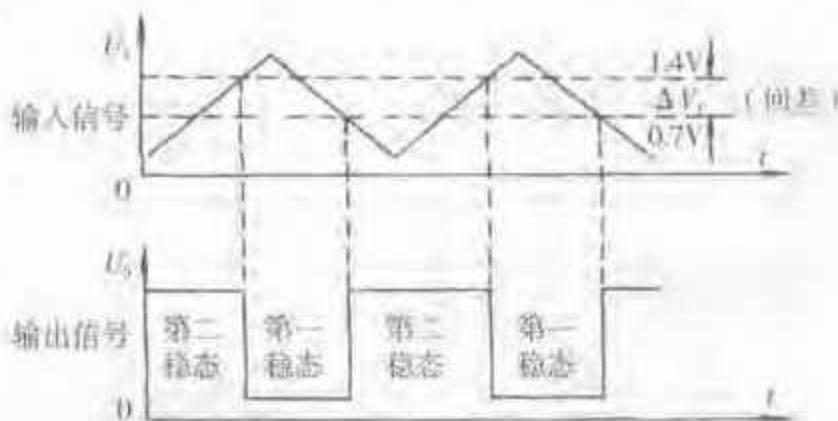


图 4-57 施密特触发器的工作波形





## 二、集成施密特触发器

### 1. 74LS14 型六施密特反相器

TTL 类通用数字集成电路 74LS14 型含有 6 个施密特反相器。每个反相器的正触发阈值电压( $V_{T+}$ )为 1.6V, 负触发阈值电压( $V_{T-}$ )为 0.8V。它的引脚排列和逻辑符号如图 4-58 所示。A 为施密特反相器的输入端, Y 为输出端,  $V_{CC}$  为电源端(+5V), GND 为接地端(接电源负端)。

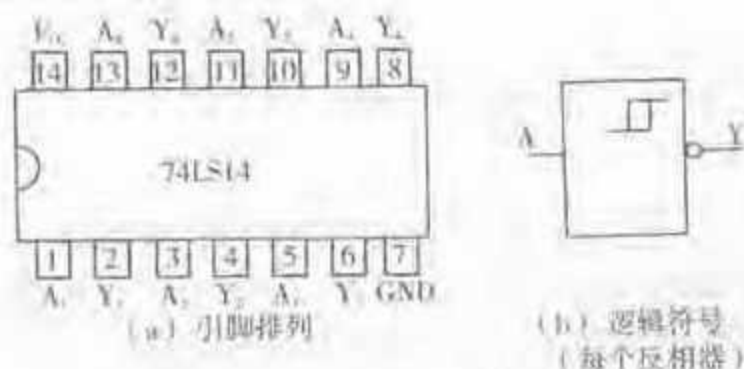


图 4-58 74LS14 型引脚排列和逻辑符号

由图可见, 施密特反相器的逻辑符号中有“滞回特性”的标志, 以便区别于一般反相器。但其逻辑表达式与一般反相器相同, 即

$$Y = \bar{A}$$

具体讲是:  $Y_1 = \bar{A}_1, Y_2 = \bar{A}_2, \dots, Y_6 = \bar{A}_6$ 。说明 74LS14 型集成电路中一共有 6 个(施密特)反相器。

### 2. 74LS132 型四—二输入与非施密特触发器

TTL 类通用数字集成电路 74LS132 型含有 4 个二输入端与非门施密特触发器。每个与非施密特触发器的负触发阈值电压( $V_{T-}$ )为 0.9V, 正触发阈值电压( $V_{T+}$ )为 1.7V。其引脚排列和逻辑符号如图 4-59 所示。A 和 B 为与非门的 2 个输入端, Y 为施密特触发器的输出端, 其逻辑表达式为:

$$Y = \overline{A \cdot B}$$

具体讲是:

$$Y_1 = \overline{A_1 \cdot B_1}; Y_2 = \overline{A_2 \cdot B_2};$$

$$Y_3 = \overline{A_3 \cdot B_3}; Y_4 = \overline{A_4 \cdot B_4}$$

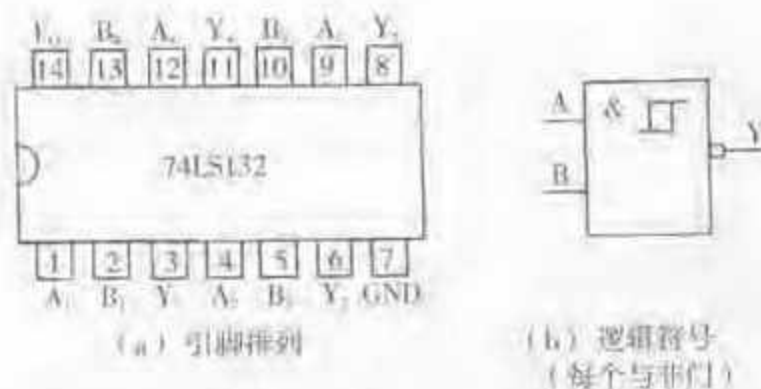
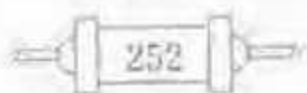


图 4-59 74LS132 型引脚排列和逻辑符号





### 3. CC40106 型六施密特反相器

CMOS 类通用数字集成电路 CC40106 型含有 6 个施密特反相器, 每个反相器的触发阈值电压见表 4-21。它的引脚排列和逻辑符号如图 4-60 所示, 其中 A 表示反相器的输入端, Y 表示输出端,  $V_{DD}$  为电源正端,  $V_{SS}$  为电源负端, 推荐工作电源电压为 3~15V。其逻辑表达式为:

$$Y = \bar{A}$$

表 4-21 CC40106 型六施密特反相器不同电源电压下的触发阈值电压

参 数 电 源 电 压(V)	$V_{T+}$ (V)		$V_{T-}$ (V)	
	最小值	最大值	最小值	最大值
5	2.2	3.6	0.9	2.8
10	4.8	7.1	2.5	5.2
15	6.8	10.8	4	7.4

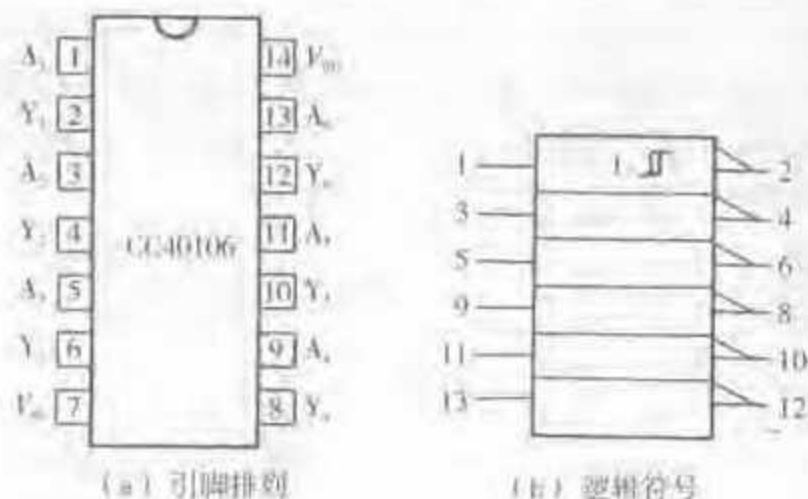


图 4-60 CC40106 型引脚排列和逻辑符号

### 4. CC4093 型四—二输入与非施密特触发器

CMOS 类通用数字集成电路 CC4093 型含有 4 个二输入与非门施密特触发器。每个与非门施密特触发器的 A 输入端触发阈值电压与前面所述(表 4-21)相同, B 输入端的触发阈值电压与 A 端相差 0.4~1.8V。CC4093 型的滞后电压 ( $\Delta V_T$ ) 随电源电压变大, 见表 4-22。

表 4-22 CC4093 型施密特触发器的滞后电压(最大值)

电源电压(V)	滞后电压 $\Delta V_T$ (V)
5	1.6
10	3.4
15	5

CC4093 型的引脚排列和逻辑符号如图 4-61 所示。其逻辑表达式为:





$$Y = \overline{A \cdot B}$$

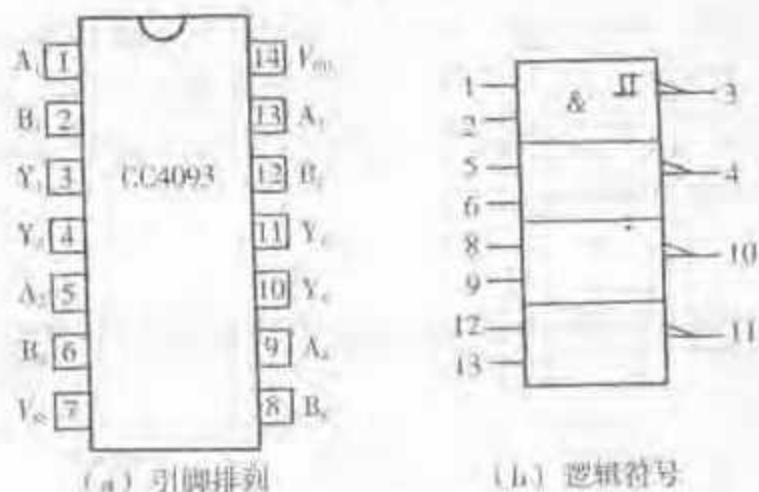


图 4-61 CC4093 型的引脚排列和逻辑符号

### 三、施密特触发器的基本应用

#### 1. 用施密特触发器将非矩形波变为矩形波

在数字电路中,常需要将某些非矩形波(如正弦波、三角波或不规则波等)变换成矩形波。如果采用施密特触发器,那么这种变换就变得轻而易举,如图 4-62 所示。若不要求输出与输入同相位,则末级反相器即可省去,电路将更为简单。

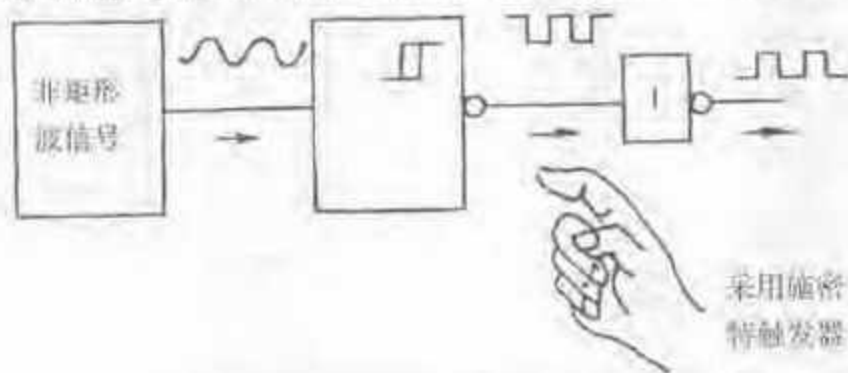


图 4-62 非矩形波变换成矩形波的方法

采用施密特触发器实现波形变换的原理可用图 4-63 来说明。当然,如果输入信号幅度很小,未能达到施密特触发器的触发阈值电压,或者输入信号中的直流分量电压总是高于正触发阈值电压( $V_{T+}$ ),而不符合施密特触发器的输入要求,那么就需要对输入信号进行适当放大或衰减等处理。

#### 2. 用施密特触发器对矩形波整形

在某些场合下,矩形波信号在传输过程中难免发生波形畸变,使其上升和下降时间显著增加,不符合数字电路可靠工作的要求。这时可采用施密特触发器将前、后沿变坏的矩形波整形为前、后沿陡直的矩形波,如图 4-64 所示,其电路连接方法与图 4-62 所示相同,也很简单。

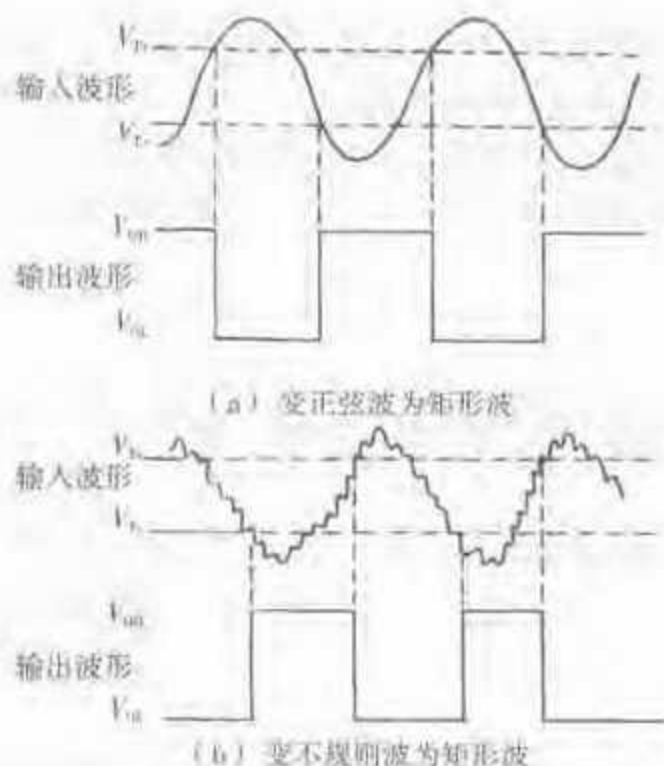


图 4-63 施密特触发器的波形变换原理

$V_{T+}$ —正触发阈值电压; $V_{T-}$ —负触发阈值电压; $V_{OH}$ —输出高电平电压; $V_{OL}$ —输出低电平电压

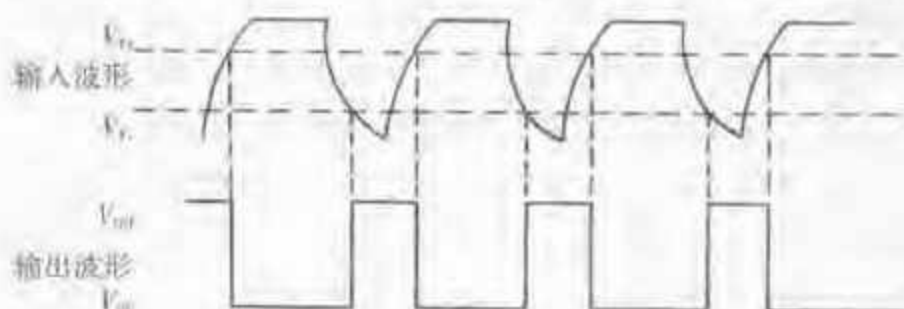


图 4-64 施密特触发器对矩形波的整形

$V_{T+}$ —正触发阈值电压; $V_{T-}$ —负触发阈值电压; $V_{OH}$ —输出高电平电压; $V_{OL}$ —输出低电平电压

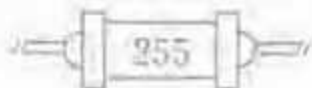
## 第七节 多谐振荡器电路

多谐振荡器是一种非正弦波振荡器或脉冲振荡器,通常能自动输出周期性矩形脉冲,因为矩形波中含有丰富的多次谐波,所以称这种振荡器为多谐振荡器。

### 一、用集成反相器组成多谐振荡器

#### 1. 用 TTL 类集成反相器(非门)组成多谐振荡器电路

由集成六反相器 74LS14(施密特触发)组成多谐振荡器电路如图 4-65 所示。由图可见,仅用 74LS14 型中的 4 个反相器  $G_1 \sim G_3$ 、外接 1 只电容器  $C$  和 2 只电阻器  $R_1$ 、 $R_2$  就构成一个电路简单而实用的多谐振荡器。实验表明,当  $R$  的阻值



不超过  $1\text{k}\Omega$ ,  $R_1$  的阻值约为  $0.5R$  左右时, 电路容易正常起振。当电容量  $C$  在  $560\text{pF} \sim 470\mu\text{F}$  范围内改变时, 振荡频率可在  $0.8\text{Hz} \sim 630\text{kHz}$  范围内变化。当电容量  $C$  仅为  $50\text{pF}$  时, 该电路也能正常起振, 此时振荡频率约为  $4\text{MHz}$ 。经示波器观察表明, 此多谐振荡器的振荡频率低于  $1\text{MHz}$  时能输出相当好的矩形波。

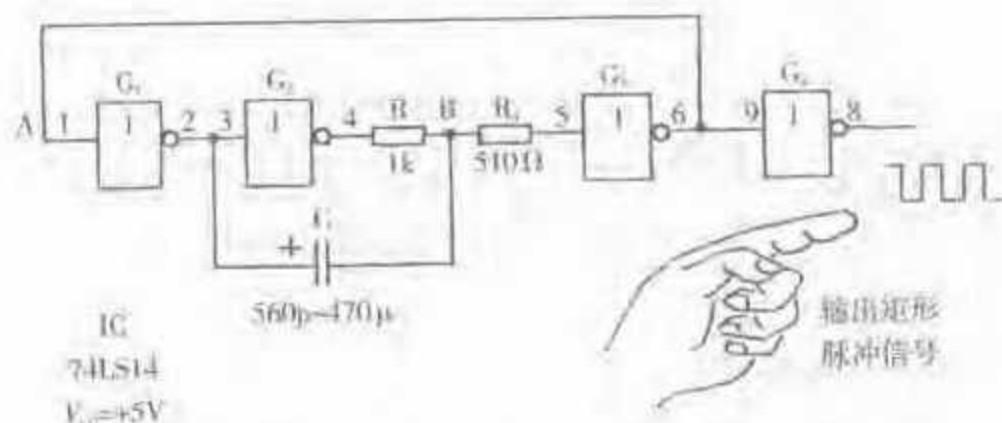


图 4-65 由集成六反相器 74LS14 型组成多谐振荡器电路

工作原理: 设  $G_1$  输入端(1脚)初始为低电平, 则  $G_1$  输出为高电平,  $G_2$  开通, 输出(4脚)为低电平, 但通过电容器  $C$  耦合, 使  $G_2$  的输入端(5脚)为高电平, 从而  $G_2$  开通, 输出为低电平, 使  $G_1$  关闭, 输出为高电平。由于  $G_2$  输出低电平的同时又通过反馈接至  $G_1$  的输入端, 与 1 脚的初始状态(低电平)一致, 所以能保持这种状态暂时不变, 但这只是一个暂稳态。因为随着  $G_1$  输出为高电平, 当 B 点的电位逐渐下降到  $G_2$  的关门电平时,  $G_2$  关闭, 输出为高电平,  $G_1$  开通, 输出由高电平变为低电平, 于是电路又处于另一个暂稳态。  $G_2$  输出变为高电平后, 通过反馈使  $G_1$  开通, 输出为低电平,  $G_2$  关闭, 输出为高电平, 从而使电容器  $C$  反向充电, B 点的电位逐渐上升, 当达到  $G_1$  的开通电平时,  $G_1$  开通,  $G_2$  关闭, 输出又翻转为高电平, 电路恢复到第一暂稳态。如此反复翻转, 就形成具有矩形波输出的多谐振荡器工作电路。

## 2. 用 CMOS 类集成反相器(非门)组成多谐振荡器电路

由集成六反相器 CD4069 型或 CC4069 型(施密特触发)组成多谐振荡器电路如图 4-66 所示。

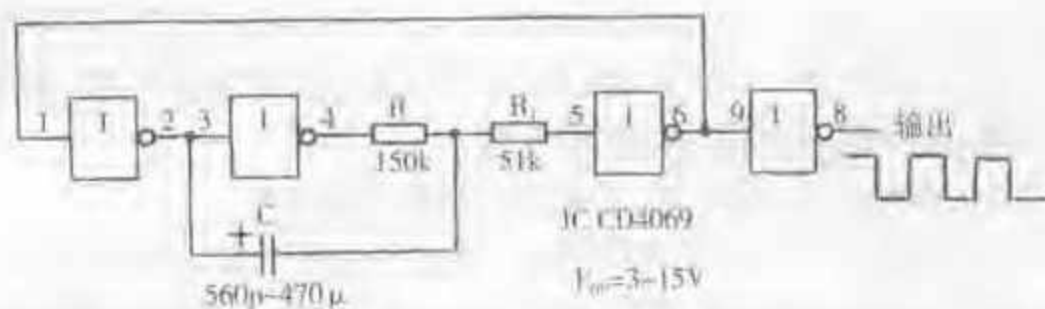


图 4-66 由集成六反相器 CD4069 型组成多谐振荡器电路



由图可见,多谐振荡器电路的逻辑结构形式完全与前面所述的图 4-65 所示电路相同,但振荡电路中的电阻器  $R$  和  $R_1$  的阻值可以取得比较大,因此更适用于需要频率较低的多谐振荡的场合。与前面所述电路相比,在同样的振荡频率下,电容器  $C$  的容量可以较小。除此以外,电源电压( $V_{DD}$ )适用范围相当宽(3~15V),电路的效率更高,这是由 CMOS 类集成电路本身的特点决定的。

CD4069 型与 74LS14 型的引脚排列相同,如图 4-67 所示。但这并不意味着它们可以直接互换使用,因为它们是属于两类特性不同的数字集成电路,混合使用时应附加适当的接口电路才行。

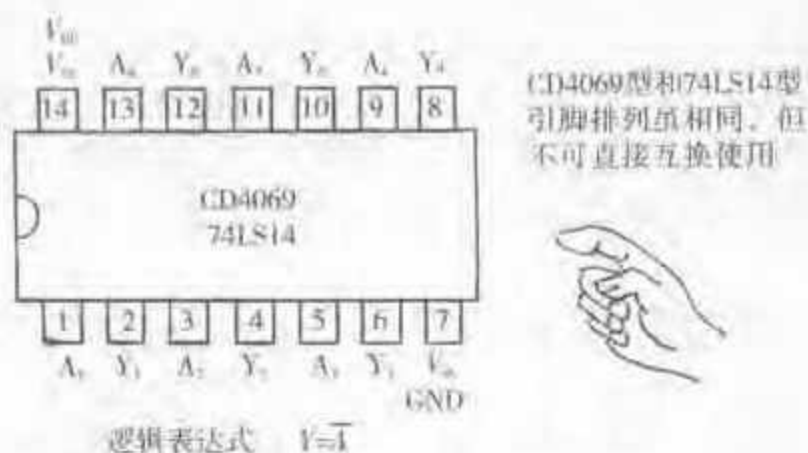


图 4-67 CD4069、74LS14 型的引脚排列

### 3. 只用一个施密特反相器构成的多谐振荡器电路

只用一个施密特反相器和一只外接电阻器、一只外接电容器就构成了多谐振荡器电路,如图 4-68 所示。

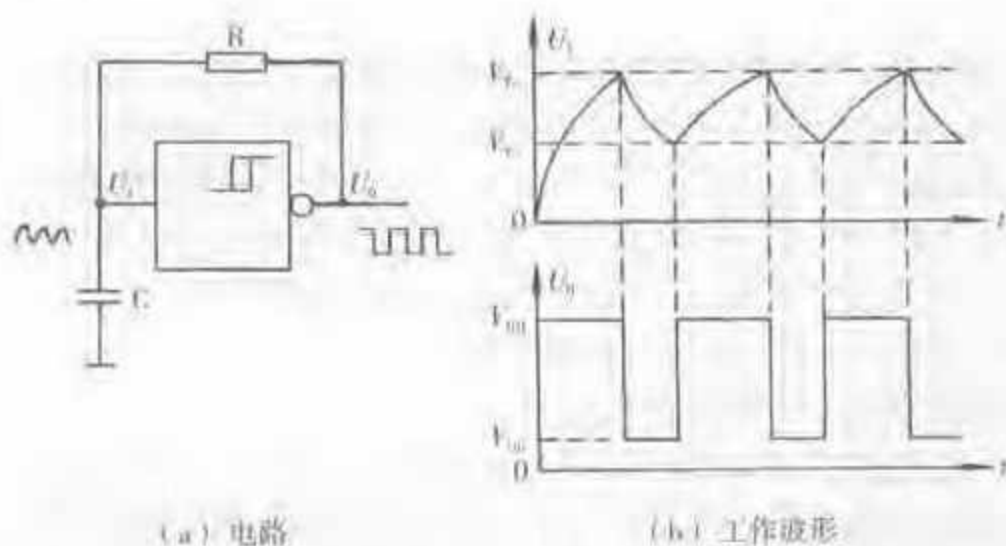


图 4-68 只用一个施密特反相器构成的多谐振荡器电路及其工作波形

$V_{T+}$ —正触发阈值电压; $V_{T-}$ —负触发阈值电压; $V_{OH}$ —输出高电平电压; $V_{OL}$ —输出低电平电压

由图可见,外接电阻器  $R$  与施密特反相器的输入端、输出端并联,外接电容器



C 接在输入端和接地端之间,外接电路确实是十分简单。

工作原理:设电容器 C 两端初始电压为零,则电源接通时刻施密特反相器输出为高电平,这时输出端通过电阻器 R 向电容器 C 充电。当电容器两端电压逐渐上升到施密特反相器的正触发阈值电压( $V_{T+}$ )时,反相器迅速翻转,输出端变为低电平,于是电容器 C 通过电阻器 R 向输出端放电,当电容器两端电压逐渐下降到反相器的负触发阈值电压( $V_{T-}$ )时,反相器再次迅速翻转。如此周而复始不停地振荡,就输出矩形波信号。施密特反相器输入端和输出端的工作波形如图 4-68 (b)所示。

用施密特反相器构成多谐振荡器最简单电路的 2 个实例如图 4-69 所示。其中图 4-69(a)所示是用 74LS14 型施密特六反相器集成块中的一个反相器,外接 R 为  $110\Omega$ 、C 为  $3.3\text{nF}$ ,即可产生高于  $1.5\text{MHz}$  的多谐振荡。当 R 为  $4.7\text{k}\Omega$ 、C 为  $470\mu\text{F}$  时,可产生周期约为  $2.5\text{s}$  的多谐振荡。实测表明,振荡周期 T 可按  $1.2\sim 1.5RC$  估算(R 的单位为  $\Omega$ ,C 的单位为 F,T 的单位为 s)。

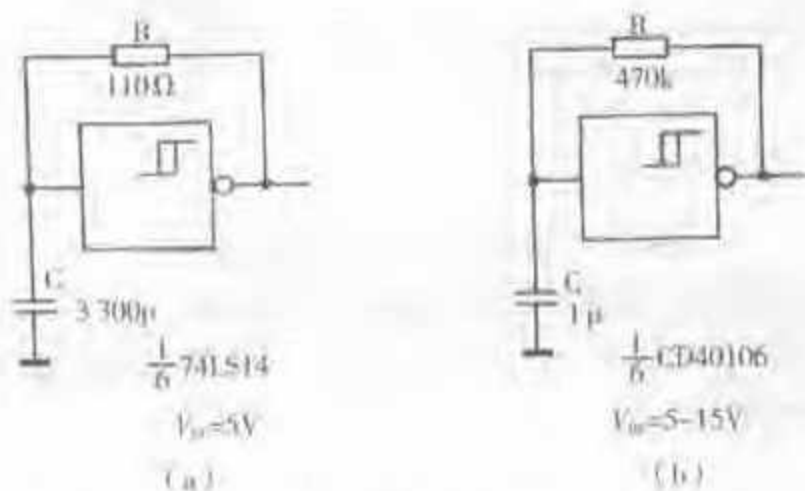


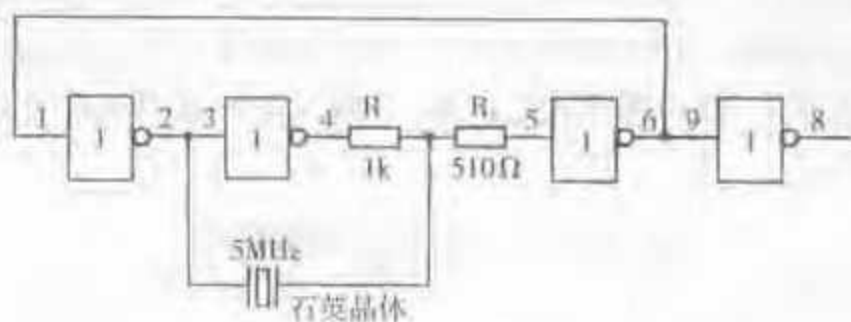
图 4-69 用施密特反相器构成多谐振荡器最简单电路的 2 个实例

图 4-69(b)所示是用 CD40106 型施密特六反相器集成块中的一个反相器而构成的超低频多谐振荡器。如果  $R=470\text{k}\Omega$ 、 $C=1\mu\text{F}$ ,那么实测振荡周期  $T\approx 0.55\text{s}$ ;如果  $R=470\text{k}\Omega$ 、 $C=470\mu\text{F}$ ,则实测表明此时振荡周期很长, $T\approx 270\text{s}$ 。这里振荡周期  $T\approx 1.2RC$ (R 的单位为  $\Omega$ ,C 的单位为 F,T 的单位为 s)。

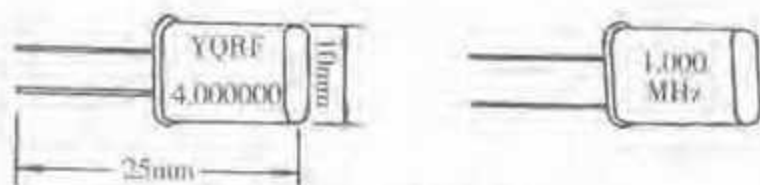
实验表明上述 2 个振荡电路工作很可靠。

#### 4. 带石英晶体的多谐振荡器电路

带  $5\text{MHz}$  石英晶体的多谐振荡器电路如图 4-70 所示。由图可见,此电路的逻辑结构与前面所述的图 4-65 或图 4-66 所示完全相同,只是用石英晶体取代了电容器 C。利用石英晶体的压电效应来控制多谐振荡,使振荡电路工作在一个高精度的固定频率上(石英晶体外壳上有标称值)。这是因为石英晶体在串联谐振时阻抗最小,而在其他频率时为高阻抗,所以石英晶体的串联谐振频率就决定了电路输出的工作频率。



(a) 石英晶体振荡电路



(b) 石英晶体外形

图 4-70 带石英晶体的多谐振荡器电路

图中 4 个反相器直接采用集成六反相器(施密特触发)74LS14 型。实际上,电路调整需要借助数字频率计,通过调节 R 校准振荡频率至石英晶体的固有频率(5MHz),才能使多谐振荡器精确地工作在 5MHz 的重复频率上。石英晶体的外形如图 4-70(b)所示。

## 二、用时基集成电路构成多谐振荡器

时基集成电路也称定时器集成电路,常用的 TTL 类定时器型号有 555(单 555)和 556(双 555)。CMOS 类定时器型号有 7555(单 555)和 7556(双 555)。它们是一种将模拟电路和数字电路巧妙结合构成的器件,电路功能灵活,适用范围广,用于构成多谐振荡器也很简便。

### 1. 555 定时器的基本功能和引脚排列

555 时基(定时器)集成电路的引脚排列(双列直插式)如图 4-71 所示。目前国内外许多厂家都有同类产品,而且在型号上都有 555 的标志,很容易识别。

555 时基集成电路各引脚的名称为:接地端 1 脚(GND);触发输入端 2 脚( $\overline{\text{TRIG}}$ ),下跳沿(负脉冲)触发有效;输出端 3 脚(Q);复位端 4 脚( $\overline{\text{RESET}}$ ),低电平有效;电压控制端 5 脚( $C_v$ );阈值输入端 6 脚(TH);放电端(DIS);电源端 8 脚( $V_{CC}$ )。

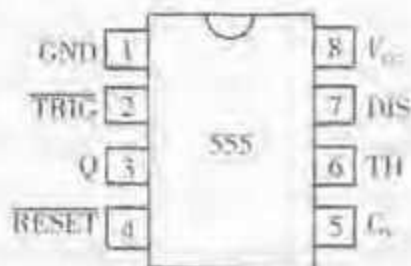


图 4-71 555 时基集成电路的引脚排列



555 定时器的基本功能见表 4-23。表中  $V_{CC}$  为定时器的电源电压(对地电压为正值),  $\times$  表示任意值, H 表示高电平, L 表示低电平。T<sub>1</sub> 是定时器内部的一个 NPN 型晶体三极管, 其集电极就是放电端(7 脚), 发射极内部接地, 基极接内部触发器  $\bar{Q}$  输出端。

表 4-23 555 定时器电路功能表

输 入			输 出	
阈值输入	触发输入	复 位	输 出	三极管 T <sub>1</sub>
$\times$	$\times$	L	L	导通
$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	H	H	截止
$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	H	L	导通
$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	H	不变	不变

## 2. 由 555 定时器构成多谐振荡器电路

用一片 555 定时器外接少量电阻器、电容器元件, 即可构成多谐振荡器, 如图 4-72 所示。

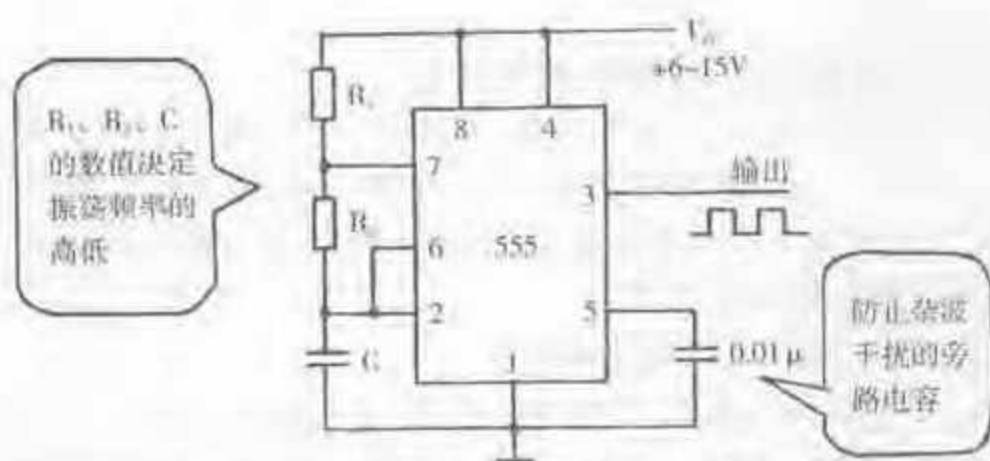


图 4-72 由 555 定时器构成多谐振荡器电路

由图可见, 定时器 555 的复位端(4 脚)接电源  $V_{CC}$  而处于高电平(H), 使复位无效。电压控制端(5 脚)与地端(1 脚)之间外接  $0.01 \mu\text{F}$  旁路电容, 是为了防止杂波干扰。在电源端(8 脚)与放电端(7 脚)之间外接电阻器  $R_1$ , 放电端与触发输入端、阈值输入端之间(7 脚与 2 脚、6 脚之间)外接电阻器  $R_2$ ,  $R_2$  的另一端串联电容器 C 后接地。于是,  $R_1$ 、 $R_2$  和 C 决定了多谐振荡器的振荡频率。

工作原理: 接通电源后, 通过电阻器  $R_1$ 、 $R_2$  对电容器 C 充电, 当 C 两端电压上升到  $> \frac{2}{3} V_{CC}$  时, 定时器输出端(3 脚)为低电平(L)状态, 于是内部三极管 T<sub>1</sub> 导通, 从而电容器 C 放电, 随着放电的继续使 C 两端电压下降到  $< \frac{2}{3} V_{CC}$ , 但只要触发输入电压  $> \frac{1}{3} V_{CC}$  时, 定时器输出低电平(L)保持不变。随着继续放电, 当 C 两



端电压下降使触发输入电压  $< 1/3V_{CC}$  时, 则电路发生翻转, 输出端(3脚)由低电平变为高电平(H), 内部三极管  $T_1$  由导通变为截止(见表 4-23)。此后电容器  $C$  又充电, 当其两端电压上升到  $> 2/3V_{CC}$  时, 定时器又发生翻转, 输出端由高电平转为低电平。如此周而复始形成多谐振荡, 输出矩形波信号。其工作波形如图 4-73 所示。

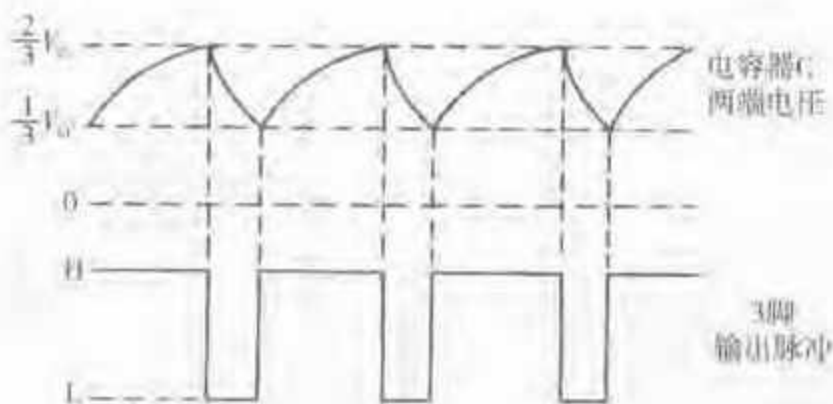


图 4-73 多谐振荡器工作波形

输出脉冲宽度( $t_{PH}$ )可按  $0.7(R_1 + R_2)C$  估算, 占空宽度( $t_{PL}$ )可按  $0.7R_2C$  估算。振荡频率近似为:

$$f \approx \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

当  $R_1 = R_2 = R$ , 则为:

$$f \approx \frac{0.48}{RC}$$

假若  $R_1 = R_2 = 4.7k\Omega$ ,  $C = 220\mu F$ , 实测输出脉冲宽度为 1.5s, 振荡频率为 0.48Hz。

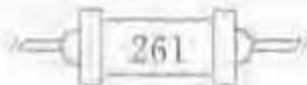
## 第八节 编码器和译码器电路

利用数字电路来传输信息, 通常需要将某一信息变换为特定的代码, 有时又需要在特定条件下把代码翻译出来作为控制信号, 具有上述功能的电路, 分别称为编码器和译码器。

### 1. 编码器电路

下面以键控 8421BCD 码编码器电路为例, 对编码器作一简要介绍。

(1) BCD 码简介。BCD 码就是二进制编码的十进制码, 称为二—十进制码, 这种编码方式是用 4 位二进制数来表示十进制数中的 0~9 这 10 个数码。但 4 位二进制数共有 16 种组合, 8421BCD 码是指定为二进制数的 0000(0)至 1111(15) 这 16 种组合中的前 10 种组合, 即 0000(0)至 1001(9)为有效, 其余 6 种组合是无



效的。

(2) 8421BCD码编码器电路。图4-74所示是用10个按键和6个简单的逻辑门电路组成的8421BCD码编码器电路。其中,  $S_0 \sim S_9$  代表10个按键, 同时也作为逻辑变量; A、B、C、D为代码输出(A为最高位); S为控制使用标志, 是为了区别在按下  $S_0$  时代码输出0000与不按键时的输出0000不同。此编码器的真值表见表4-24。

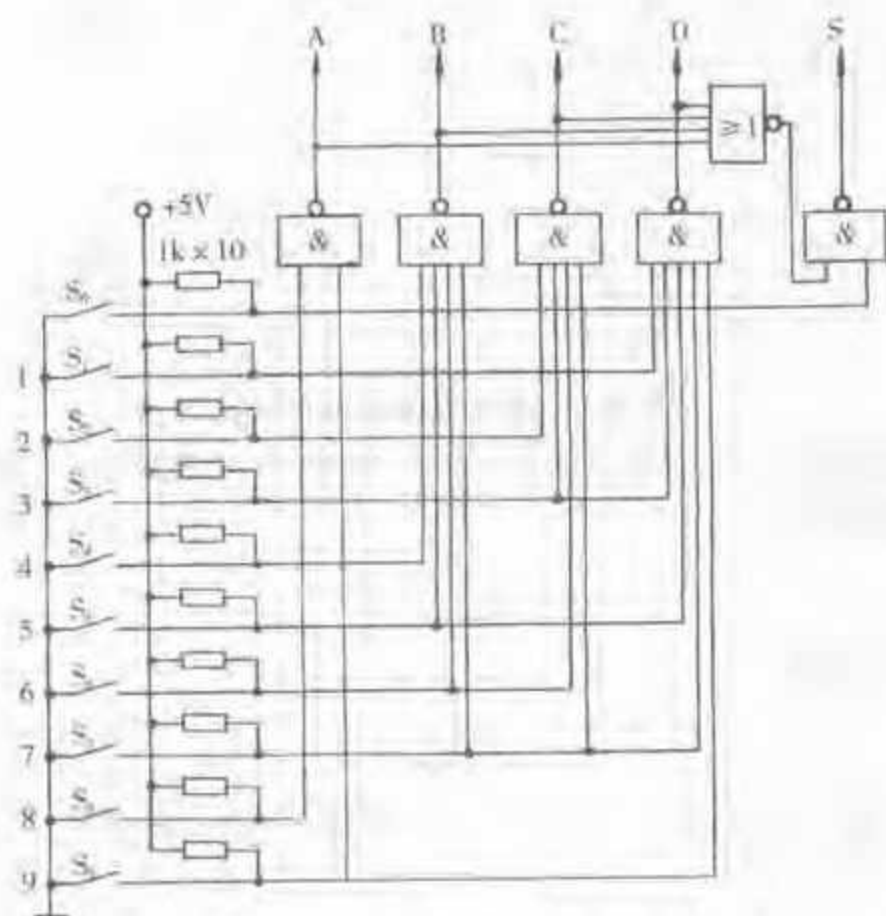


图4-74 键控8421BCD码编码器的逻辑电路

表4-24 键控8421BCD码编码器真值表

输 入										输 出				
$S_9$	$S_8$	$S_7$	$S_6$	$S_5$	$S_4$	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$	A	B	C	D	S
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1



续表

输 入										输 出				
$S_9$	$S_8$	$S_7$	$S_6$	$S_5$	$S_4$	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$	A	B	C	D	S
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1

## 2. 译码器电路

上述8421BCD码编码器输出的10个数(对应十进制数0~9)是用4位二进制数来表示的。但人们不习惯直接识别二进制数,从而设计了二—十进制译码器,可以把二进制数译成十进制数。可想而知,这种译码器应该有4个输入端和10个输出端。

图4-75所示是CC4028型二—十进制译码器集成块内部的逻辑结构图。此译码器的引脚排列和逻辑符号如图4-76所示。其中电源电压 $V_{DD}$ 为3~15V,当电源电压为5V时,输入低电平电压为0~1.5V,输入高电平电压为3.5~5V,输出高、低电平电压分别为4.95V和0.05V。这些数据可从有关集成电路手册查到。

CC4028型二—十进制译码器功能表见表4-25。

表4-25 CC4028型二—十进制译码器功能表

序 号	输 入				输 出									
	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	$Y_0$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$
0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L
1	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L
2	L	L	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L
3	L	L	H	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L
4	L	H	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L
5	L	H	L	H	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L
6	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L
7	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L
8	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L
9	H	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H
无 效	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	H	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	H	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L

注:表中L表示低电平,H表示高电平。

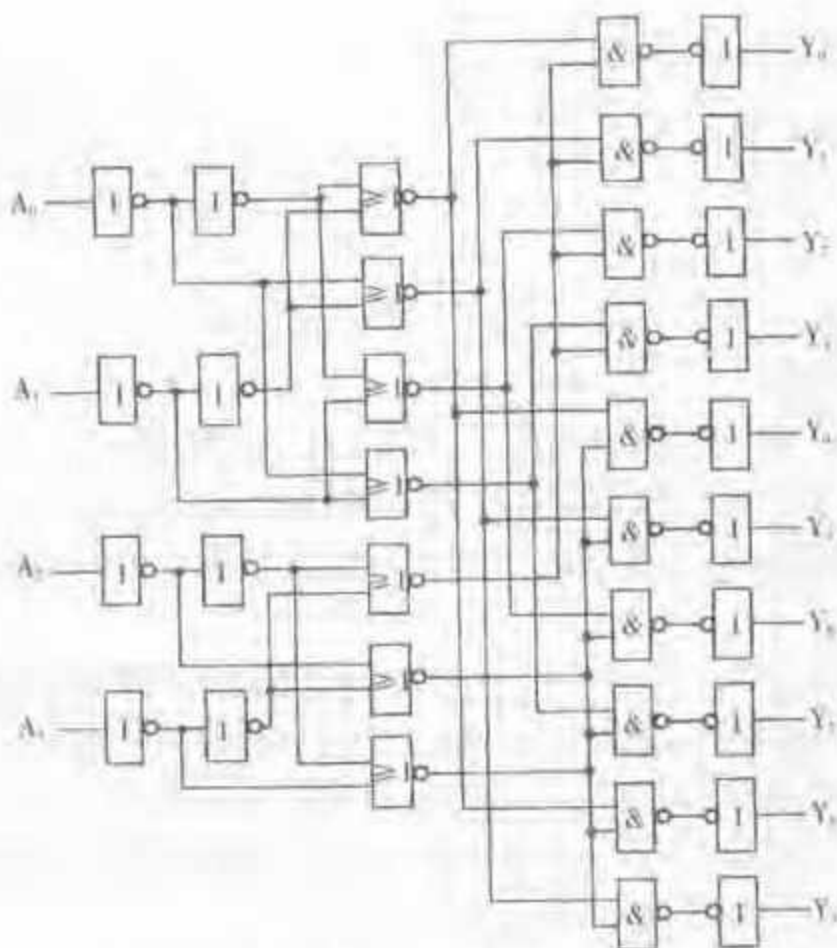


图 4-75 CC4028 型二—十进制译码器逻辑结构图

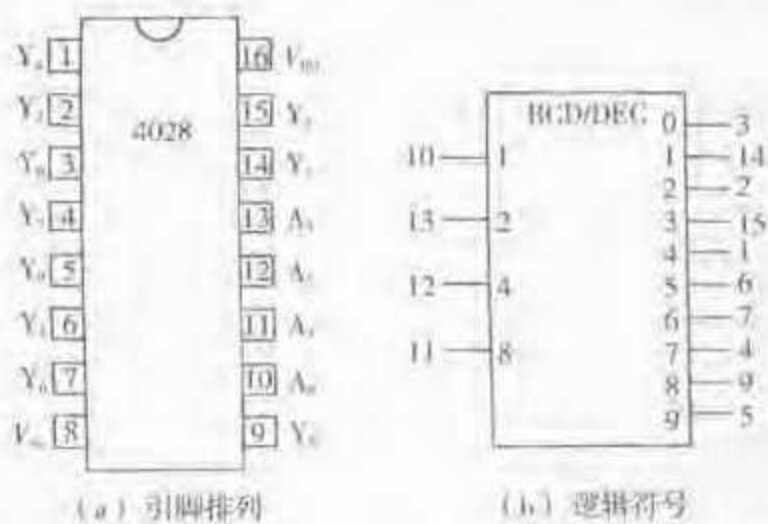


图 4-76 二—十进制译码器 CC4028 型的引脚排列和逻辑符号

## 第九节 计数器电路

具有对输入脉冲进行计数功能的电路,称为计数器。计数器的种类很多,这里对几种基本的和最常用的计数器的功能和逻辑图作简要介绍。





## 一、二进制加法计数器的基本功能

计数器按计数增减分为加法计数器和减法计数器。现以 4 位二进制加法计数器为例,它的加法计数功能见表 4-26。

表 4-26 4 位二进制加法计数器状态表

计数脉冲序号	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0
权	8	4	2	1

表中  $Q_3$ 、 $Q_2$ 、 $Q_1$ 、 $Q_0$  分别表示计数器的 4 个输出端,对应的“权”为 8、4、2、1 的二进制“数位”。由此可见,一个 4 位二进制加法计数器的最大计数为 15,当第 16 个计数脉冲到达时,4 个输出端因全部进位而又复零,即开始“溢出”。虽然增加位数可以加大计数器的最大计数,但任何一个加法计数器都有一个溢出约束,这是我们应当注意的。

## 二、二进制异步加法计数器电路

二进制加法计数器的逻辑电路多种多样,其中用 JK 型触发器组成的 4 位二进制异步加法计数器逻辑电路如图 4-77 所示。



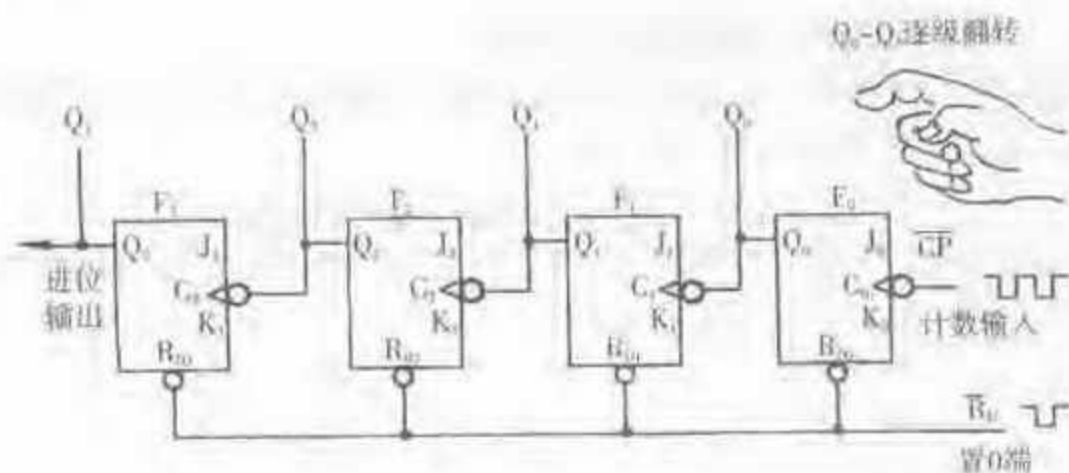


图 4-77 4 位二进制异步加法计数器逻辑电路

由图可见,这里有 4 个 JK 型触发器的输出对应 4 位二进制数,计数脉冲从第一个触发器  $F_0$  的时钟脉冲输入端 ( $\overline{CP}$ ) 输入。计数前应在置零端 ( $\overline{R_0}$ ) 加一个低电平脉冲,使所有触发器都处于零态,即  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  为 0000,当第一个计数脉冲输入后,第一个触发器  $F_0$  的输出端  $Q_0$  的状态由 0 变为 1,于是  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  为 0001;当第二个计数脉冲输入后, $Q_0$  的状态由 1 变为 0,从而产生一低电平脉冲,并输送到第二个触发器  $F_1$  的时钟脉冲输入端  $C_1$ ,使  $F_1$  的输出状态  $Q_1$  由 0 变为 1,于是  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  为 0011,其余依次类推。当第 15 个计数脉冲输入后,4 个触发器的状态  $Q_3Q_2Q_1Q_0$  为 1111,此时再输入一个计数脉冲,4 个触发器便复位 ( $F_0$  输出一个进位脉冲)。于是,其工作过程与前面表 4-26 所述是完全一致的。

如上所述,当二进制异步加法计数器进位时,各个触发器是逐级翻转的,因此在逐级触发延迟时间差,使处在“高位数”触发器的翻转与计数脉冲 ( $\overline{CP}$ ) 不同步。

### 三、二进制同步加法计数器电路

二进制同步加法计数器比较好,采用与计数脉冲“同步”传送进位信号的方法,消除了异步加法计数器进位信号逐级传送而影响计数速度的缺点。它是目前普遍使用的一种加法计数器,其逻辑电路如图 4-78 所示。

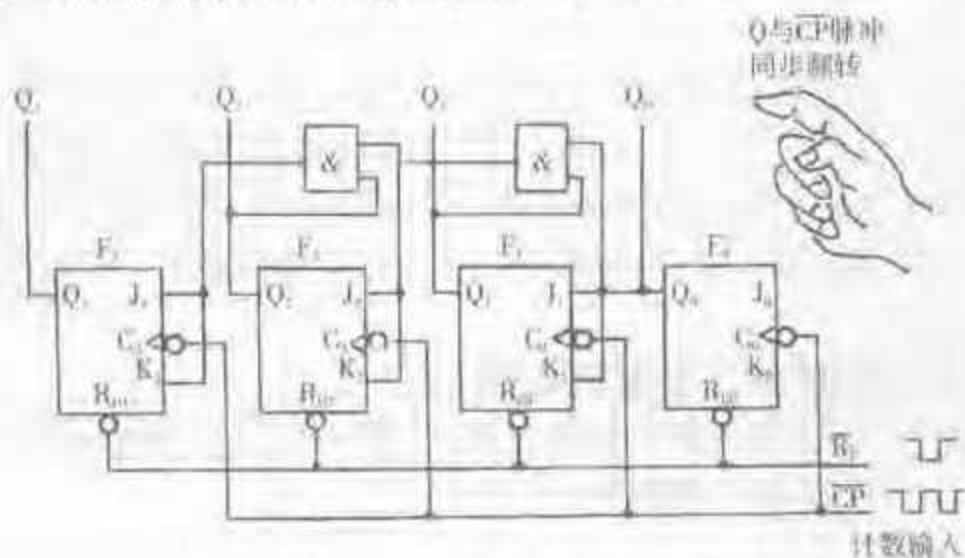


图 4-78 4 位二进制同步加法计数器逻辑电路





由图可见,同步加法计数器是将计数脉冲(CP)同时送到各个触发器的时钟脉冲输入端( $C_0, C_1, C_2, C_3$ ),因此计数器的状态转换时间等于一个触发器的延迟时间加几个控制门电路的传输时间,这要比异步加法计数器多个触发器逐级延迟时间之和小得多,所以其计数速度可以显著提高。

对于图 4-78 所示的逻辑电路,还可用表 4-27 的逻辑关系式来表示,由此也可以得出与表 4-26 一样的结果。

表 4-27 4 位二进制同步加法计数器逻辑关系

触发器	翻转条件	逻辑关系
$F_0$	每输入一个计数脉冲翻转一次	$J_0 = K_0 = 1$
$F_1$	$Q_0$ 为 1	$J_1 = K_1 = Q_0$
$F_2$	$Q_0, Q_1$ 为 1	$J_2 = K_2 = Q_0 Q_1$
$F_3$	$Q_0, Q_1, Q_2$ 为 1	$J_3 = K_3 = Q_0 Q_1 Q_2$

#### 四、集成二进制计数器

集成二进制计数器可供选用的型号也有很多种,这里仅介绍 CMOS 类中 2 种常用的二进制计数器的功能、波形图和引脚排列。

##### 1. 12 位二进制串行计数器 CC4040 型

CC4040 型是 12 位二进制串行计数器,属于 CMOS 类数字集成电路。它的最大计数可达 4095(即 4096-1);最高工作频率随电源电压而异,在 5V、10V、15V 时分别为 3.5MHz、8MHz 和 12MHz。12 位二进制串行计数器 CC4040 型的引脚排列如图 4-79 所示,逻辑功能见表 4-28,波形图(反映出逻辑关系)如图 4-80 所示。



图 4-79 12 位二进制串行计数器 CC4040 型的引脚排列

表 4-28 12 位二进制串行计数器 CC4040 型功能表

输 入		输 出 状 态
CP	CR	
↑	L	不变
↓	L	进入下一状态
×	H	全部输出为 1



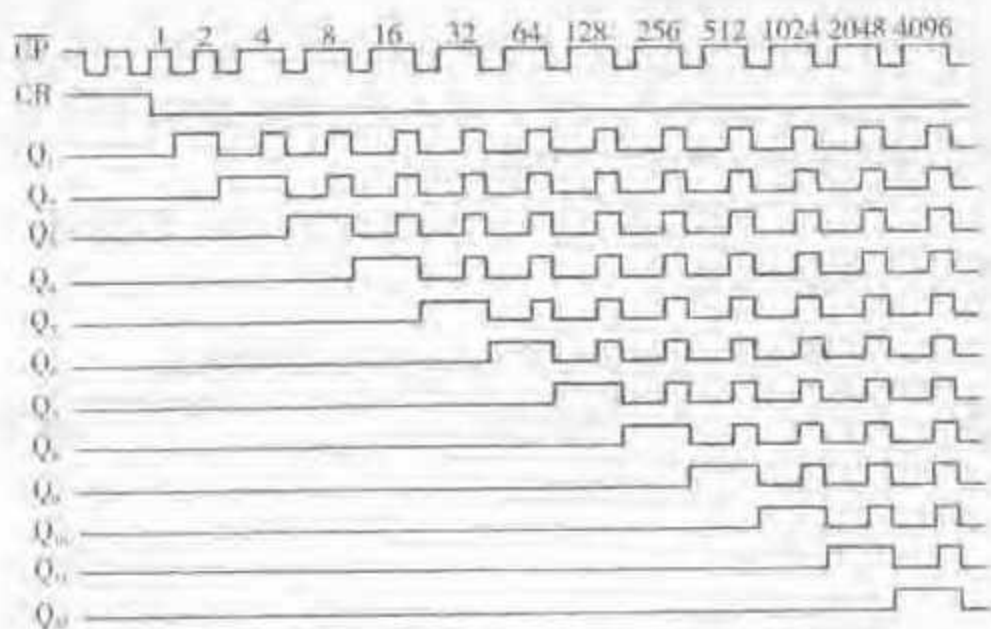


图 4-80 12 位二进制串行计数器 CC4040 型波形图

在上述图表中,  $\overline{CP}$  表示输入计数脉冲, 低电平(下跳沿)有效; CR 表示清除(置零)信号, 高电平有效;  $Q_0 \sim Q_{11}$  表示 12 位二进制数(从最低位到最高位)输出端;  $\uparrow$  表示由低电平到高电平的跳变(上跳沿);  $\downarrow$  表示由高电平到低电平的跳变(下跳沿);  $\times$  表示任意态; L 表示低电平; H 表示高电平;  $V_{DD}$  为电源正端;  $V_{SS}$  为电源负端。

### 2. 4 位二进制同步加/减计数器 CC4516 型

CC4516 型是具有预置端的 4 位二进制同步加/减法计数器, 属于 CMOS 类数字集成电路。它的最高时钟频率为 5.5MHz(电源 15V)、4MHz(电源 10V)、2MHz(电源 5V)。CC4516 型具有“并行输入—并行输出”、“加计数”、“减计数”等功能, 所以也称为可逆计数器, 使用很方便。

4 位二进制同步加/减计数器 CC4516 型的引脚排列如图 4-81 所示, 逻辑功能见表 4-29。其可直接代换型号有 CD4516、MC14516 等。

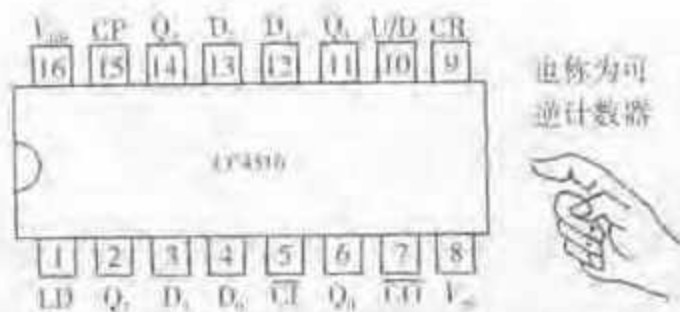


图 4-81 4 位二进制同步加/减计数器 CC4516 型的引脚排列

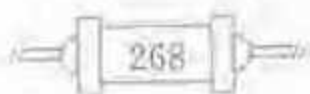




表 4-29 4 位二进制同步加/减计数器 CC4516 型功能表

输 入									输 出			
CP	$\overline{\text{CI}}$	U/D	LD	CR	$D_0$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
X	X	X	H	L	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$
X	X	X	X	H	X	X	X	X	L	L	L	L
X	H	X	L	L	X	X	X	X	保 持			
$\uparrow$	L	H	L	L	X	X	X	X	加计数			
$\uparrow$	L	L	L	L	X	X	X	X	减计数			

上述图表中各符号的意义为:

$V_{DD}, V_{SS}$ ——分别表示 CMOS 数字集成电路的电源正端和负端(也用  $U_{DD}, U_{SS}$  表示)。

CP——时钟脉冲输入,高电平有效。

$\overline{\text{CI}}$ ——进位输入,低电平有效。

$\overline{\text{CO}}$ ——进位输出,低电平有效。

U/D——加/减选择,高电平有效。

LD——置入控制,高电平有效。

CR——清除输入,高电平有效。

$D_0 \sim D_3$ ——4 位二进制数并行输入端,高电平为“1”,低电平为“0”。

$Q_0 \sim Q_3$ ——4 位二进制数并行输出端,高电平为“1”,低电平为“0”。

X——表示任意态(无论是高电平 H 或低电平 L)。

我们从表 4-29 的 CC4516 型功能可知:当计数器的 CR 端为高电平(H)时,计数器为清除状态(也称置零),它的 4 个输出端  $Q_0 \sim Q_3$  全为低电平(L),即全为零;当计数器的 CR 端为低电平(L)时,计数器的输出状态与 LD、 $\overline{\text{CI}}$ 、U/D 和 CP 的状态有关。

①当 LD 为高电平(H)时,由数据输入端  $D_0 \sim D_3$  直接控制输入预置数。

②当 LD 为低电平(L)且  $\overline{\text{CI}}$  为高电平(H)时,计数器所有输出状态保持不变。

③当 U/D 为高电平(H)且  $\overline{\text{CI}}$  和 LD 均为低电平(L)时,计数器对 CP 输入的计数脉冲的上跳沿( $\uparrow$ )作加法计数。

④当 U/D 为低电平(L)且  $\overline{\text{CI}}$  和 LD 也是低电平(L)时,计数器对 CP 输入的计数脉冲的上跳沿( $\uparrow$ )作减法计数。

### 五、十进制加法计数器基本电路

在实际中,人们习惯使用十进制计数,而不是二进制计数。因此,许多场合下需要把二进制计数电路转换成具有十进制计数功能的电路,这就需要用到二进制数表示十进制数的编码方法,即二-十进制编码,简称 BCD 码。

表 4-30 为 8421BCD 码编码表。它的 4 位数码定义为二进制,即第四位的权



是 8, 第三位的权是 4, 第二位的权是 2, 第一位的权是 1。所以称这种二—十进制编码为 8421 码。

表 4-30 8421BCD 码编码表

计数脉冲顺序	二进制数				对应的十进制数
	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	2
3	0	0	1	1	3
4	0	1	0	0	4
5	0	1	0	1	5
6	0	1	1	0	6
7	0	1	1	1	7
8	1	0	0	0	8
9	1	0	0	1	9
权	8	4	2	1	

采用 4 个 JK 型触发器组成 8421BCD 码十进制加法计数器电路如图 4-82 所示。

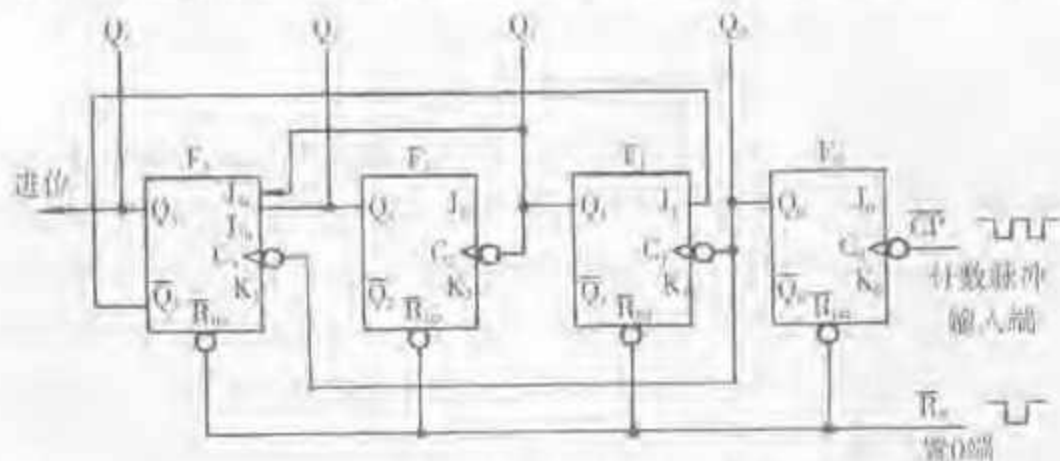


图 4-82 由 4 个 JK 型触发器组成 8421BCD 码十进制加法计数器电路

工作原理: 计数器工作时先置零(在  $\bar{R}_0$  端输入一个负脉冲), 此时计数器状态  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  为 0000。当第一个计数脉冲负跳沿到达时,  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  为 0001; 当第二个计数脉冲到达时,  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  为 0010, 依次类推, 其输出状态随着计数脉冲的顺序而改变, 与表 4-30 完全一致。

显然, 上述一个十进制计数器只是解决了一位十进制数的计数问题, 如果有几位十进制数, 就需要几个这样的计数器。此外, 还必须配有译码显示电路, 才能把二进制数转换为十进制数显示。目前, 十进制计数器集成电路品种很多, 价





格也较便宜,因此一般不再采用由多块 JK 型触发器来组成十进制计数器。

## 六、集成十进制计数器

### 1. 集成十进制 CC4017 型计数器

CC4017 型既是十进制计数器,又是脉冲分配器(有译码输出端),属于 CMOS 类数字集成电路。其最高时钟频率为 5.5MHz(电源 15V)、5MHz(电源 10V)、2.5MHz(电源 5V),允许时钟脉冲宽度最小值为 0.2 $\mu$ s(电源 5V)、0.09 $\mu$ s(电源 10V)。

十进制计数器/脉冲分配器 CC4017 型的引脚排列如图 4-83 所示。

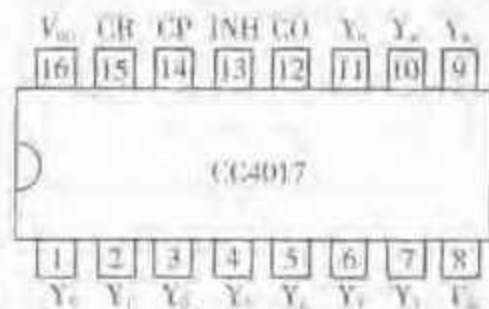


图 4-83 十进制计数器/脉冲分配器 CC4017 型的引脚排列

图中引脚功能的文字符号含义为:

CP——计数脉冲输入端,高电平有效。

INH——禁止信号输入端,高电平有效。

CR——清除信号输入端,高电平有效。

$Y_0 \sim Y_9$ ——译码输出端,输出高电平。

CO——进位输出端,计数为 10 时电平上跳(↑)。

$V_{DD}, V_{SS}$ ——分别为电源正端和负端。

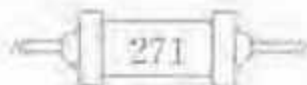
可直接代换使用的型号有 CD4017、CH4017、MC14017、 $\mu$ PD4017 等。

CC4017 型的逻辑功能见表 4-31。

表 4-31 十进制计数器/脉冲分配器 CC4017 型功能表

输 入			输 出	$m < 5$ 时, CO 为 H; $m \geq 5$ 时, CO 为 L
CP	INH	CR	$Y_0 \sim Y_9$	
×	×	H	$Y_m$	
↑	L	L	$Y_{m+1}$	
H	↓	L	$Y_{m-1}$	
L	×	L	$Y_m$	
×	H	L	$Y_m$	
↓	×	L	$Y_m$	
×	↑	L	$Y_m$	

注:  $Y_0$  表示零态,  $Y_m$  表示原来的输出状态,  $Y_{m+1}$  表示计数脉冲上跳沿到达后的输出状态, H 表示高电平, L 表示低电平, × 表示任意态。



由功能表可见,当计数器的清除信号输入端为高电平(H)时,无论有否计数脉冲(CP),输出各端不发生变化,均等于  $Y_0$ 。只有当 CR 端和 INH 端均为低电平(L)时,计数脉冲的上跳沿( $\uparrow$ )才会使计数器的输出状态发生改变。

CC4017 型的工作波形如图 4-84 所示。

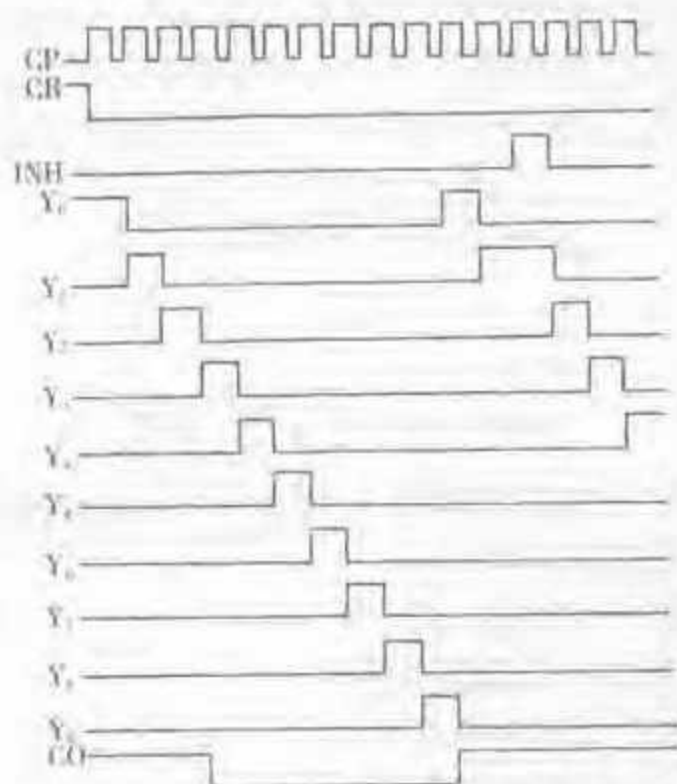


图 4-84 十进制计数器/脉冲分配器 CC4017 型波形图

从波形图可以看出,经过“清除”后,CP 端每输入一个计数脉冲,译码输出端  $Y_0 \sim Y_9$  依次轮流分配输出一个脉冲信号,其脉冲宽度等于计数脉冲的重复周期,但有禁止信号(INH)时除外(例如,在波形图中  $Y_0$  输出的第二个脉冲)。当第十个计数脉冲上升沿( $\uparrow$ )到达后,进位输出端 CO 的状态由低电平变为高电平。因此,由多个这样的十进计数器串接,就可以轻而易举地组成多位十进计数、脉冲分配译码输出电路。

## 2. 集成十进制 CC4026 型计数器

CC4026 型是七段译码输出/十进制计数器,属于 CMOS 类数字集成电路。其最高时钟频率为 8MHz(电源 15V),2.5MHz(电源 5~10V),允许时钟脉冲宽度最小值为  $0.22\mu\text{s}$ (电源 5V)或  $0.08 \sim 0.1\mu\text{s}$ (电源 10~15V)。CC4026 型除了用于十进制计数外,还可用于组成除以 12 和除以 60 的计时电路。

七段译码输出/十进制计数器 CC4026 型的引脚排列如图 4-85 所示。



图 4-85 七段译码输出/十进制计数器 CC4026 型的引脚排列

在图中引脚功能的文字符号含义为:

CP——计数脉冲输入端,高电平有效。

INH——禁止信号输入端,高电平有效。

BO——显示允许输出端,允许时输出高电平。

BI——显示允许输入端,高电平有效。

CO——进位输出端,进位时由低电平变为高电平(↑)。

$Y_0$ 、 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_4$ 、 $Y_5$ 、 $Y_6$ ——七段译码输出端。

$Y'$ ——非控 c 段输出端,七段译码为“2”时输出低电平。

CR——置零(清除)信号输入端,高电平有效。

$V_{DD}$ 、 $V_{SS}$ ——分别电源正端和负端。

与 CC4026 型可直接互换使用的型号有 CD4026、CH4026 等。七段译码输出/十进制计数器 CC4026 型的波形图如图 4-86 所示。

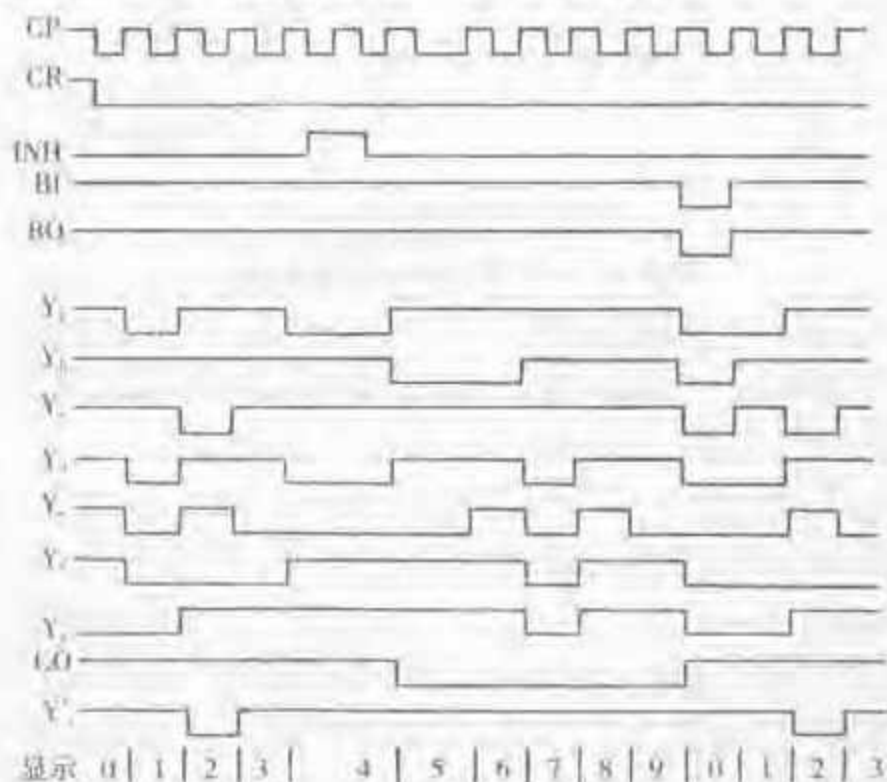


图 4-86 七段译码输出/十进制计数器 CC4026 型的波形图





从波形图可见,当 CR(清除)为高电平时,虽然 CP(计数脉冲)已跳至高电平,译码输出显示却为“0”,说明 CR 信号的“清除”作用。当 CP 脉冲的数目从 0 开始到达第五个脉冲时,由于第四个脉冲被 INH 信号(高电平有效)禁止而不作计数,所以计数器的译码输出显示为“4”(注:CC4026 本身不带数码显示器);当计数到第十个脉冲时,进位输出端 CO 由低电平跳到高电平,输出一个进位信号(↑),计数器开始“溢出”,显示为“0”,说明该计数器的最大计数是“9”。

## 第十节 寄存器电路

### 一、数码寄存器的基本功能和逻辑电路

一个双稳态触发器有“0”和“1”两种稳态状态,因此可用来寄存一位二进制数,几个双稳态触发器就可以寄存几位二进制数,如果再配备控制电路,就可以按指令寄存数码和信息,这样的一种电路就称为寄存器。图 4-87 所示为 4 位数码寄存器逻辑电路。

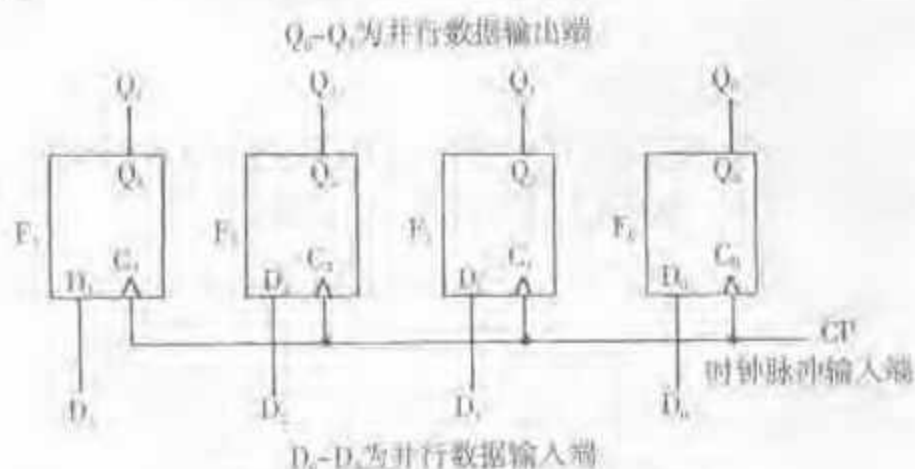


图 4-87 4 位数码寄存器逻辑电路

由图可见,它由 4 个 D 型触发器  $F_1 \sim F_4$  组成。这 4 个 D 型触发器的时钟脉冲输入端  $C_1 \sim C_4$  连接成一个输入端 CP,受时钟脉冲同步控制,被寄存的 4 位二进制数并行地从  $D_1 \sim D_4$  端输入,寄存以后从  $Q_1 \sim Q_4$  端输出。

例如,把 4 位二进制数 1011 输入寄存器,即令  $D_3$  为 1,  $D_2$  为 0,  $D_1$  为 1,  $D_0$  为 1 (高电平为 1,低电平为 0),当时钟脉冲(CP)上升沿(↑)到达时,4 个触发器的输出端状态  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  为  $D_3 D_2 D_1 D_0$ ,即为 1011,这表明 4 位二进制数已存入寄存器中。当外部电路需要这组数时,就可以从这个寄存器的 4 个输出端读出。这种类型的数码寄存器属于并行输入—并行输出数码寄存器,有 CMOS 类数字集成电路 CC4042 型、CC4076 型等,TTL 类数字集成电路 74LS75 型、74LS173 型等。



## 二、移位寄存器的基本功能和逻辑电路

### 1. 单向移位寄存器电路

单向移位寄存器分左移寄存器和右移寄存器两种,其电路完全相同,只是数据传输的方向不同而已。

(1) 左移寄存器电路。图 4-88 所示是由 4 个 D 型触发器组成的 4 位左移寄存器逻辑电路。

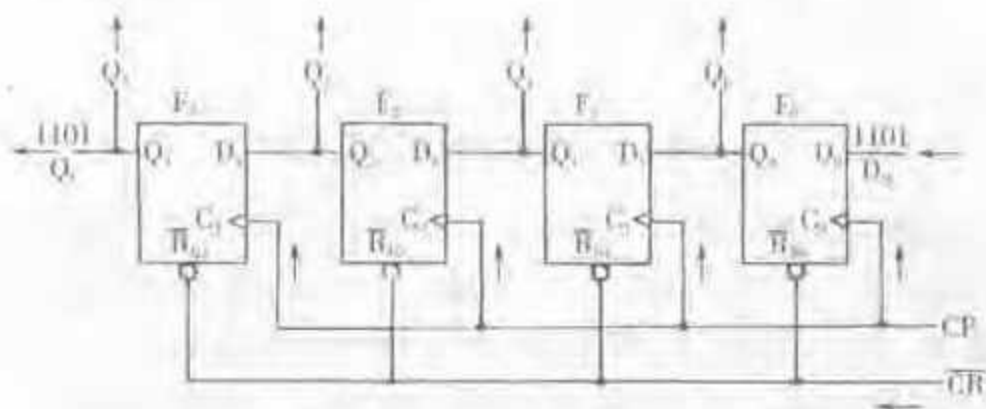


图 4-88 4 位左移寄存器逻辑电路

由图可见,4 个 D 型触发器  $F_0 \sim F_3$  的时钟输入端  $C_0 \sim C_3$  相接,共同接受时钟脉冲(CP)的控制。清零端  $\bar{R}_{D_0} \sim \bar{R}_{D_3}$  也都连接在一起,以便接受统一的清零信号。从右到左各个触发器输出端 Q 接到相邻触发器的数据输入端 D。因此,从右边起第一个触发器的数据输入端  $D_0$  (即  $D_{SR}$ ) 输入的任何一位二进制数,都会随着时钟脉冲顺序向左边的触发器移位。

例如,经过清零后从  $D_0$  ( $D_{SR}$ ) 串行输入 1101,则从 CP 输入 4 个时钟脉冲后,才能实现使  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  为 1101,其移位过程见表 4-32。

表 4-32 4 位左移寄存器状态表

时钟脉冲 (CP)顺序	输入	输出	移位过程
	$D_{SR}(D_0)$	$Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$	
0	0	0 0 0 0	清零
1	1	0 0 0 1	左移 1 位
2	1	0 0 1 1	左移 2 位
3	0	0 1 1 0	左移 3 位
4	1	1 1 0 1	左移 4 位

此时,外部电路可从移位寄存器的 4 个并行输出端  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  读出数据 1101,再经过 4 个时钟脉冲,1101 就通过  $Q_s$  ( $Q_{SR}$ ) 串行输出到外部电路。因此,这种移位寄存器具有“串行输入—并行输出”以及“串行输入—串行输出”这两种数据传输方式。

(2) 右移寄存器电路。图 4-89 所示是由 4 个 D 型触发器组成的 4 位右移寄

存器逻辑电路。由图可见,除输入顺序与左移寄存器相反外,其逻辑电路与左移寄存器(图 4-88)完全相同。因此,它的工作原理也与左移寄存器相同。

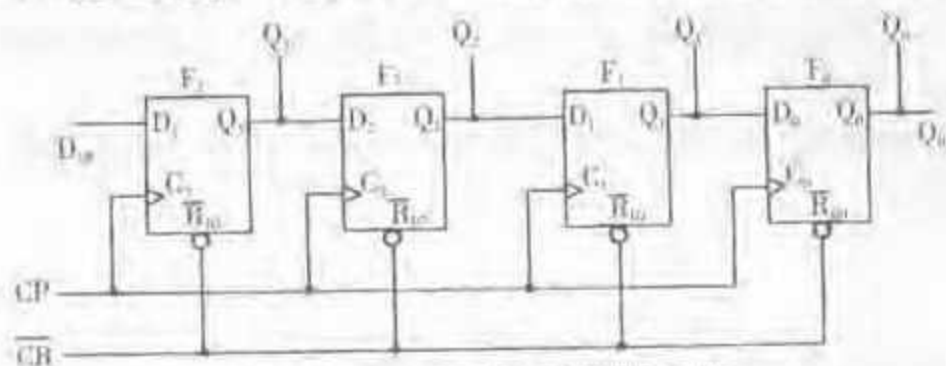


图 4-89 4 位右移寄存器逻辑电路

(3) 集成通用移位寄存器 CC40195 型。属于 CMOS 类数字集成电路的 4 位通用移位寄存器,可实现“串行输入—串行输出”、“串行输入—并行输出”、“并行输入—并行输出”和“并行输入—串行输出”4 种传送数据方式。它的最高时钟 (CP) 频率为 10MHz(电源 15V)、9MHz(电源 10V)和 4.5MHz(电源 5V)。对应不同电源电压,其最大时钟脉冲宽度分别为 48ns、60ns 和 100ns。

4 位通用移位寄存器 CC40195 型的引脚排列如图 4-90 所示。

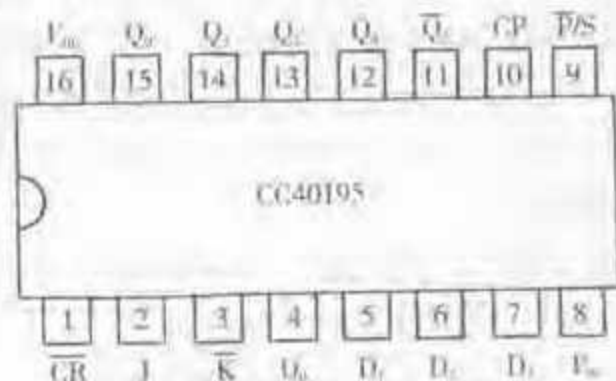


图 4-90 4 位通用移位寄存器 CC40195 型的引脚排列

图中的各引脚符号含义为:

$\overline{CR}$ ——清除(复位)信号输入端(1脚),低电平有效。

CP——时钟脉冲输入端(10脚),高电平有效。

$D_1, D_2, D_3, D_4$ ——4 位并行数据输入端(4脚、5脚、6脚、7脚),其中  $D_1$  为低位,  $D_4$  为高位。

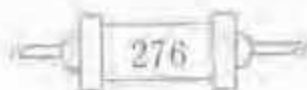
P/S——并行/串行控制端(9脚),低电平时为并行送数,高电平时为移位(串行送数)。

J、 $\overline{K}$ ——串行数据输入控制端, J(2脚)为高电平有效,  $\overline{K}$ (3脚)为低电平有效。

$\overline{Q}_1$ ——寄存器输出  $Q_1$  的反相输出端(11脚)。

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ——寄存器的 4 个输出端(15脚、14脚、13脚、12脚)。

$V_{cc}$ ——接电源正端(16脚)。





$V_{SS}$ ——接电源负端(8脚)。

## 2. 双向移位寄存器集成电路

集成双向移位寄存器也有多种型号,这里以常用的功能较强的 CMOS 类 4 位双向移位寄存器 CC40194 型为例作简要介绍。

(1) 4 位双向移位寄存器 CC40194 型的引脚排列和功能表。其引脚排列如图 4-91 所示,逻辑功能见表 4-33。



图 4-91 4 位双向移位寄存器 CC40194 型的引脚排列

图中的各引脚符号含义为:

- 1 脚——清除信号输入端( $\overline{CR}$ ),低电平有效。
- 2 脚——串行数据右移输入端( $D_{SR}$ )。
- 3 脚,4 脚,5 脚,6 脚——4 位并行数据输入端(分别对应  $D_0$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ )。
- 7 脚——串行数据左移位输入端( $D_{SL}$ )。
- 8 脚——电源负端(地端  $V_{SS}$ )。
- 9 脚——工作方式控制端( $M_0$ )。
- 10 脚——工作方式控制端( $M_1$ )。
- 11 脚——时钟脉冲输入端(CP),高电平有效。
- 15 脚,14 脚,13 脚,12 脚——4 位并行数据输出端(分别为  $Q_0$ 、 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ )。
- 16 脚——电源正端( $V_{DD}$ )。

表 4-33 4 位双向移位寄存器 CC40194 型功能表

输 入										输 出				工作方式
$\overline{CR}$	$M_1$	$M_0$	CP	$D_{SR}$	$D_{SL}$	$D_0$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	
L	×	×	×	×	×	×	×	×	×	L	L	L	L	清除
H	H	H	↑	×	×	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	并行送数
H	L	H	↑	×	H	×	×	×	×	H	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	右移
H	L	H	↑	×	L	×	×	×	×	L	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	
H	H	L	↑	H	×	×	×	×	×	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	H	左移
H	H	L	↑	L	×	×	×	×	×	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	L	
H	L	L	×	×	×	×	×	×	×	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	保持

注:L 为低电平,H 为高电平,× 为任意态,↑ 为上跳沿。



(2) 4 位双向移位寄存器 CC40194 型的工作方式。我们从表 4-33 可以看出, 其控制端  $M_1$ 、 $M_0$  输入电平的 4 种取值(HH、LH、HL、LL)决定了双向移位寄存器的 4 种工作方式, 即“并行送数”、“右移”、“左移”和“保持”。当  $\overline{CR}$  为低电平(L)时, 其余各端不管是何种状态( $\times$ 表示任意态), 寄存器的输出端全为低电平。

因此, 寄存器工作时应把  $\overline{CR}$  端接高电平(H), 对于“并行送数”工作方式( $M_1 M_0$  为 HH), 当时钟脉冲(CP)上升沿( $\uparrow$ )到达时, 就会把 4 位并行输入的数据( $d_0 d_1 d_2 d_3$ )传送到寄存器的并行输出端; 对于“右移”工作方式( $M_1 M_0$  为 LH), 串行数据从右移输入端  $D_{SR}$  输入(H 或 L), 每当时钟脉冲(CP)上升沿( $\uparrow$ )到达时, 数据就依次右移一位; 对于“左移”工作方式( $M_1 M_0$  为 HL), 串行数据从左移输入端  $D_{SL}$  输入(H 或 L), 每当时钟脉冲(CP)上升沿( $\uparrow$ )到达时, 数据就依次左移一位; 对于“保持”工作方式( $M_1 M_0$  为 LL), 无论时钟脉冲是否出现, 寄存器的数据总是保持不变。

(3) 4 位双向移位寄存器 CC40194 型的主要动态参数。其最高时钟频率为 8MHz(电源 15V)、6MHz(电源 10V)、3MHz(电源 5V)。对应不同的电源电压, 其最大时钟脉冲宽度分别为  $0.14\mu s$ 、 $0.2\mu s$ 、 $0.3\mu s$ 。从时钟脉冲端(CP)至输出端(Q)传输延迟时间最大值为  $0.44\mu s$ 。

特别提示: 品种相同而生产厂家不同的数字集成电路, 如 CC40194 型和 CD40194 型, 它们可以无条件地互换使用。另外, 对于逻辑功能和引脚排列与 CC40194 型相同的 TTL 类双向移位寄存器 74LS194 型, 在电源为 5V 且工作于低速的场合下, 它们也可以互换使用。(注: TTL 类数字集成电路的开关速度要比 CMOS 类电路快得多, 但 TTL 类电路功耗较大, 电源规定为 5V。)

(4) 4 位双向移位寄存器 CC40194 型应用实例。用 CC40194 型再外接几个元件即可方便地构成一个“环形脉冲分配器”, 也称“环形计数器”, 如图 4-92 所示。

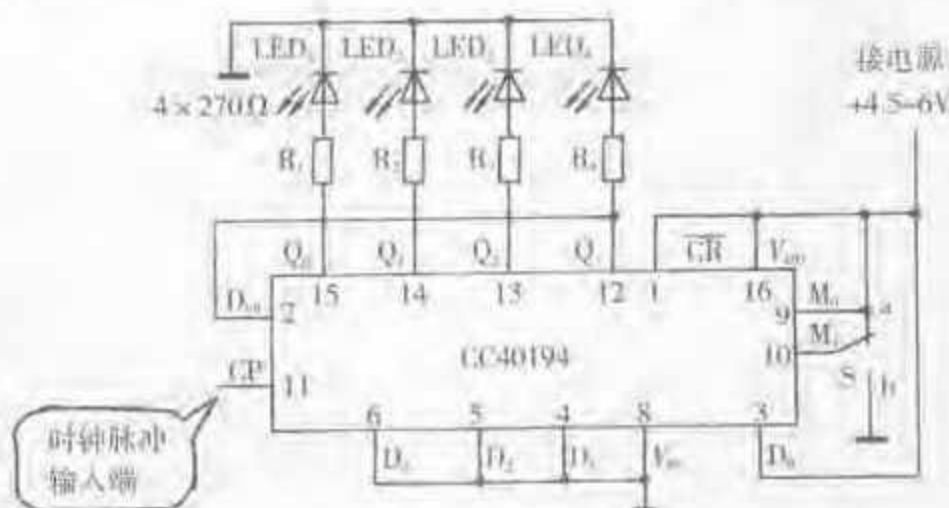
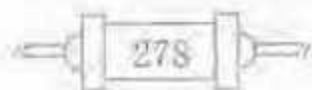


图 4-92 由 4 位双向移位寄存器 CC40194 型构成环形脉冲分配器电路

工作原理: 由图可见, 该移位寄存器的清除端  $\overline{CR}$  (1 脚) 接高电平(清除无效),





开关S置手“a”，即 $M_1M_0$ 为HH，为并行输入方式。当时钟脉冲(CP)到达时，数据输入端( $D_3D_2D_1D_0$ )HLLL为1000状态，即并行输入到寄存器中，使寄存器的输出端( $Q_3Q_2Q_1Q_0$ )HLLL为1000。需要进行“环形计数”工作时则把开关S接到“b”，则 $M_1M_0$ 取值LH为01，CC40194处于右移工作方式，因为串行数据输入端 $D_{sr}$ 与输出端 $Q_3$ 相接，所以输入数据将随 $Q_3$ 状态而串行变化。于是当第一个时钟脉冲(CP)到达时， $Q_3$ 输出L即为0，通过 $D_{sr}$ 使 $Q_2$ 输出L为0，而 $Q_1$ 原来的“1”同时也右移一位，使 $Q_3Q_2Q_1Q_0$ 为0100；当第二个时钟脉冲到达时， $Q_3Q_2Q_1Q_0$ 为0010，可见 $D_{sr}$ 为0；当第三个时钟脉冲到达时， $Q_3Q_2Q_1Q_0$ 为0001，可见 $D_{sr}$ 为1；当第四个时钟脉冲到达时， $Q_3Q_2Q_1Q_0$ 为1000，并且 $D_{sr}$ 为0，可见寄存器重新回到初始状态。因此，这样不断地输入时钟脉冲，寄存器的输出状态就循环变化，见表4-34。由此可见，电路的4个输出端中每次只有一个输出端为高电平输出，其工作波形如图4-93所示。

表 4-34 环形脉冲分配器状态表

时钟脉冲 (CP)顺序	工作方式 $M_1M_0$	串行输入 $D_{sr} = Q_3$	输出状态 $Q_3Q_2Q_1Q_0$
0	11	0	1000
1	01	0	0100
2	01	0	0010
3	01	1	0001
4	01	0	1000
5	01	0	0100
6	01	0	0010
7	01	1	0001
⋮	⋮	⋮	⋮

注： $M_1M_0$ 为11处于并行输入工作方式， $M_1M_0$ 为01处于右移工作方式。

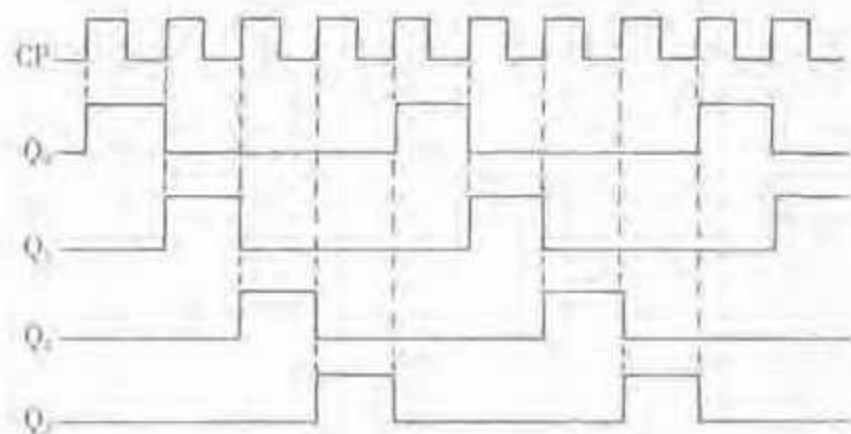


图 4-93 环形脉冲分配器工作波形图



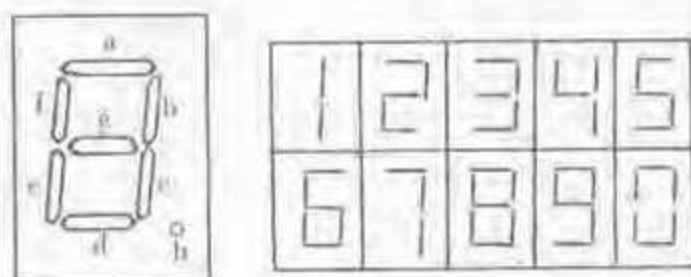
如果时钟脉冲(CP)频率很低,仅为1~4Hz,我们就可以直接看到4只发光二极管LED<sub>1</sub>~LED<sub>2</sub>从左到右按顺序轮流发光。当然,也可以用此电路来控制4组大功率彩灯,使4组彩灯按时钟脉冲的快慢轮流发光,这时应采用晶闸管作为彩灯的开关器件,而不能用图4-92电路来直接驱动。

## 第十一节 数字显示电路

### 一、分段式数码显示器构成原理

目前应用最广泛的分段式数码显示器,如半导体发光二极管数码管、液晶数码显示器和等离子显示器等,其数码显示是采用多根独立的发光线段,按一定方式组合而成。

现以七段数码显示器为例,其发光线段字形排列和数字图形组成如图4-94所示。



(a) 发光线段字形排列 (b) 发光线段数字图形组成

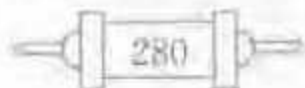
图4-94 七段数码显示器的字形安排和数字图形组成

数码显示器中的发光线段分别用a、b、c、d、e、f、g表示。用7个发光线段的10种组合,分别对应十进制的10个数字,见表4-35。

表4-35 七段数码显示组合与数字对照表

数 \ 段	a	b	c	d	e	f	g
0	H	H	H	H	H	H	L
1	L	H	H	L	L	L	L
2	H	H	L	H	H	L	H
3	H	H	H	H	L	L	H
4	L	H	H	L	L	H	H
5	H	L	H	H	L	H	H
6	H	L	H	H	H	H	H
7	H	H	H	L	L	L	L
8	H	H	H	H	H	H	H
9	H	H	H	H	L	H	H

注: H 为高电平,对应发光线段亮。L 为低电平,对应发光线段不亮。





发光二极管数码管是现在广泛使用的数码显示器之一,它的每根发光线段用1只或2只发光二极管(LED)制成。它有共阳极和共阴极2种类型,如图4-95所示,对于共阳极型,各只二极管的正极相连接高电平, $a\sim h$ 为各引脚,任一引脚接低电平时所对应的发光线段亮;对于共阴极型,各只二极管的负极相连接低电平, $a\sim h$ 为各引脚,任一引脚接高电平时对应发光线段亮。

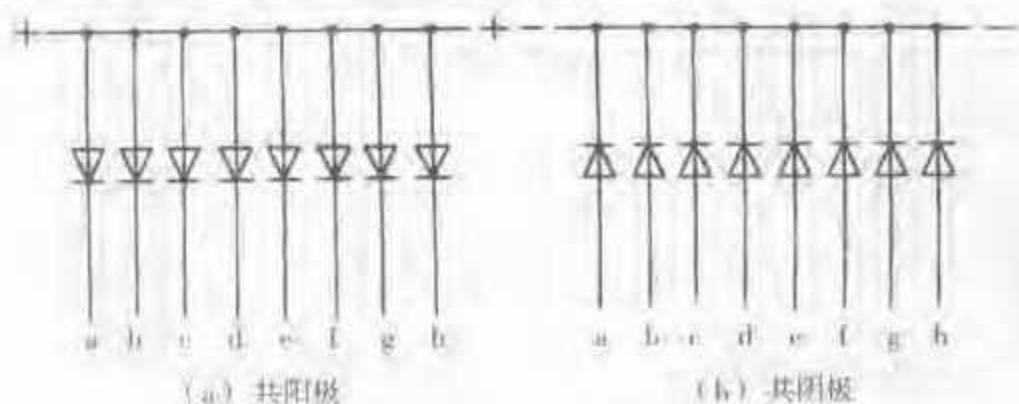


图4-95 共阳极和共阴极发光二极管数码管

例如,BS205型发光二极管数码管为红色共阴极型七段式数码管,含小数点显示。工作时负极(公共端)接地,每段工作电流为5mA时,正向压降为1.8V,总的直流工作电流为60mA,极限电流为200mA,直流反向电压为5V。字形高7.6mm,宽4.8mm,采用双列直插式封装,其外形和引脚排列如图4-96所示。

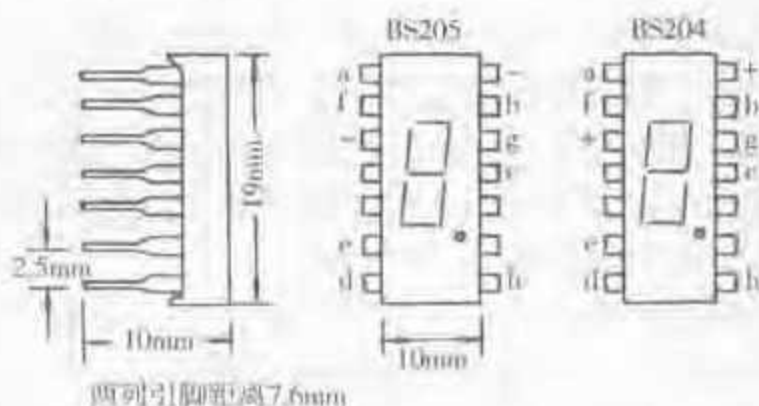


图4-96 BS204、BS205型发光二极管数码管的外形和引脚排列

在图4-96所示的BS204型发光二极管数码管为红色共阳极型七段式数码管。工作时应将其阳极(正极)接5V直流电源的正端,其余参数及引脚排列方式与BS205型相同。

除此以外,还有BS207型(正向压降为3.6V)、BS201型(字形微小)等多种产品。

## 二、十进制计数显示电路

CC4026型十进制计数译码集成电路,包含十进制计数器和七段译码器,并能驱动发光二极管数码管(其引脚排列和波形图在前面已作过介绍,见图4-85,图





4-86及相关正文)。因此,只要一片CC4026型数字集成电路和一只发光二极管数码管,就能很方便地构成十进制计数显示电路,如图4-97所示。

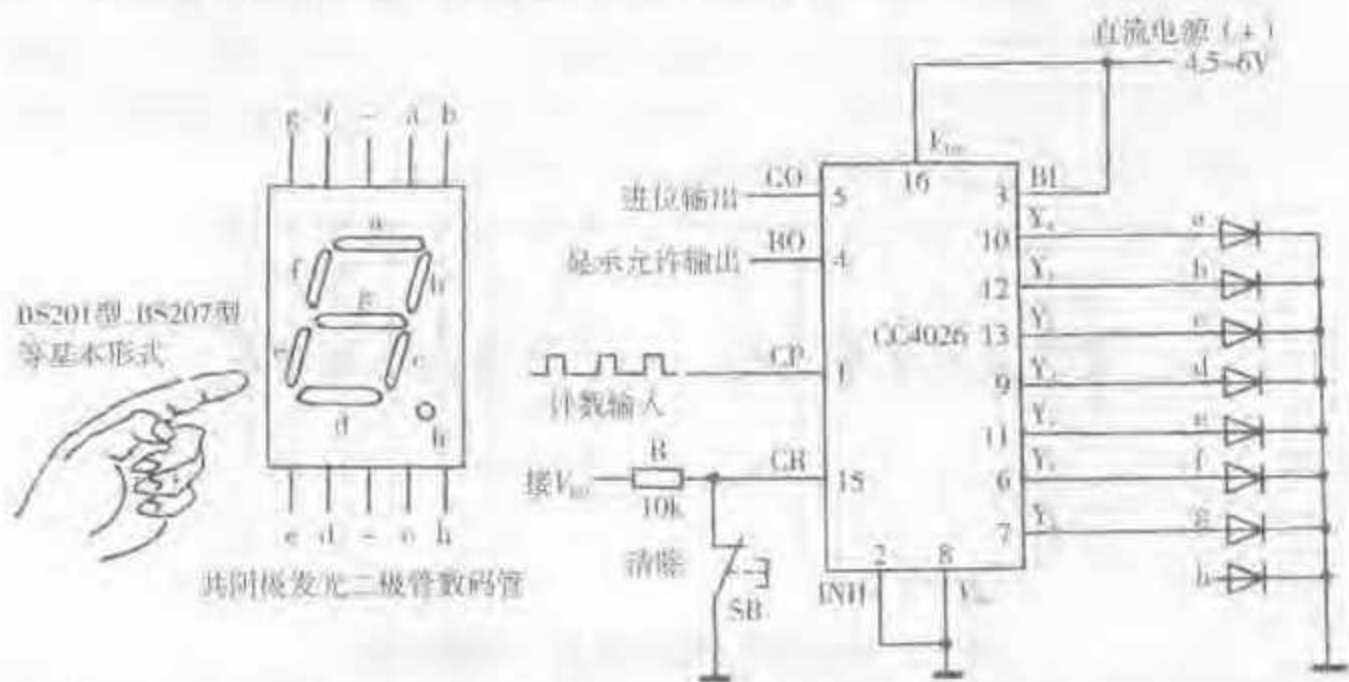


图 4-97 CC4026 型集成十进制计算器和共阴极发光二极管数码管组成的十进制计数显示电路

图中,集成十进制计数器 CC4026 型的 INH(2 脚)为计数禁止端,高电平有效,在接地(低电平)时允许计数。CR(15 脚)为清除端,高电平有效。此端串联  $10\text{k}\Omega$  电阻器后接电源正极( $V_{\text{cc}}$ ),同时此端与地之间外接按钮开关 SB,平时常闭接地,需要清除时可按动 SB。BI(3 脚)为显示允许控制端,高电平有效。此端可串联电阻器后接高电平或直接与电源正极( $V_{\text{cc}}$ )相接,此时允许显示。如果将 BI 端接低电平(或接地),则禁止显示;BO(4 脚)为显示允许输出端,允许显示时输出高电平,否则为低电平。CO(5 脚)为进位输出端,在计数过程中输出进位信号。CP(1 脚)为计数脉冲输入端,正跳沿( $\uparrow$ )有效。

集成十进制计数器 CC4026 型的  $Y_1$ (10 脚)、 $Y_2$ (12 脚)、 $Y_3$ (13 脚)、 $Y_4$ (9 脚)、 $Y_5$ (11 脚)、 $Y_6$ (6 脚)、 $Y_7$ (7 脚)分别接到数码管的 a、b、c、d、e、f、g 端。数码管的 h 端为小数点显示端,一般与量程选择开关相接(多位数字显示时用)。

在实际应用中,多数场合需要 2 位或 2 位以上十进制计数显示,即许多数字式仪器仪表,如数字万用表和数字频率计等常常需要 4 位甚至 8 位数字显示。

图 4-98 所示为 2 位十进制计数显示电路,依此类推可连接成多位十进制计数显示电路。当然,随着十进制计数显示位数的增加,电源的功率也需要相应增加,必要时还应附加电源去耦电路,以保证多位十进制计数显示电路正常工作。

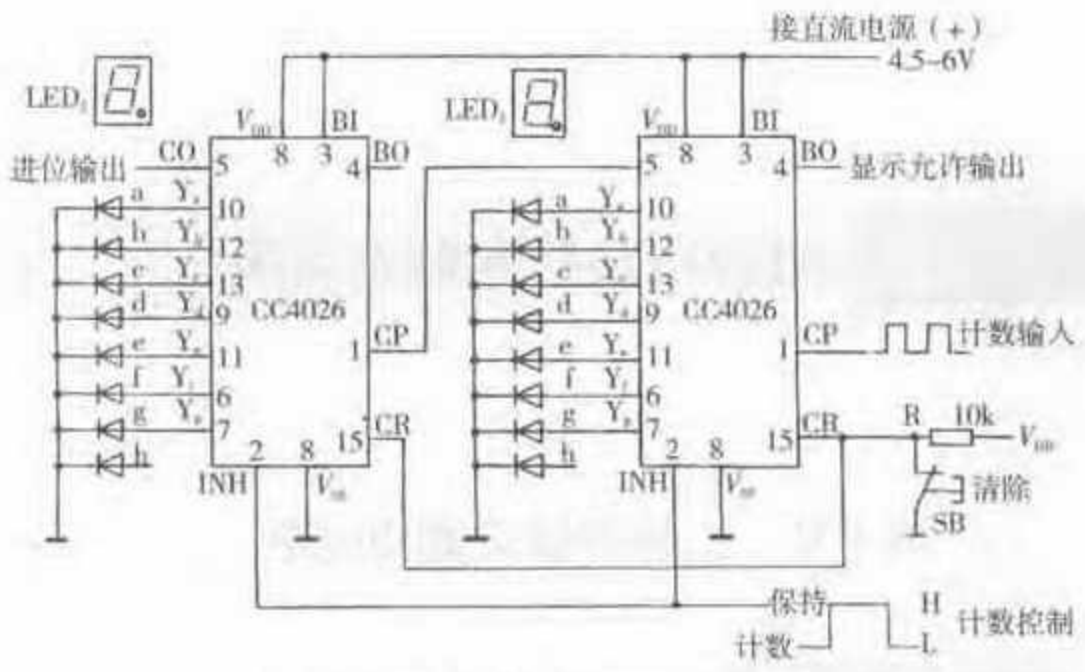


图 4-98 2 位十进制计数显示电路



## 第一节 二极管整流滤波电路

## 一、二极管半波整流电路

在各种整流电路中,二极管半波整流电路结构最简单,它的电路原理图如图 5-1 所示。可见,仅用 3 只电子元器件(变压器 T、二极管 VD、负载电阻  $R_L$ )就构成整流电路。

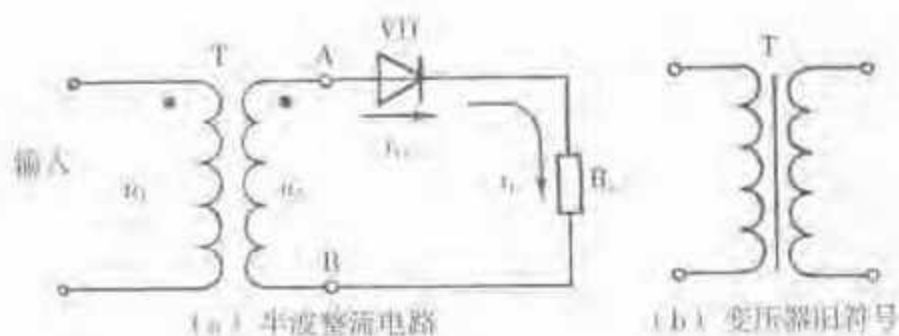


图 5-1 二极管半波整流电路

T: 变压器; VD: 半导体二极管;  $R_L$ : 负载电阻;  $u_1$ : 变压器初级瞬时电压;  
 $u_2$ : 变压器次级瞬时电压;  $i_D$ : VD 瞬时电流;  $i_{RL}$ :  $R_L$  瞬时电流

## 1. 变压器的作用

在整流电路中,变压器 T 一般多将电网提供的交流电压(如 AC 220V)降为电路所需的较低的交流电压并起隔离作用,这时 T 为降压变压器。但在要求高电压的场合,则需要通过升压变压器将电网提供的交流电源电压升高(如升高到 AC 700V 以上)。因此,变压器 T 的输出电压和输出功率是随着各种电路的实际需要而有所不同的。功率越大的变压器,它的尺寸也越大,且结构也不尽相同。但在电子线路图中,均采用比较抽象的变压器图形符号来表示(符号中的黑圆点表示瞬时电压极性)。

常见小型电源变压器外形如图 5-2 所示。



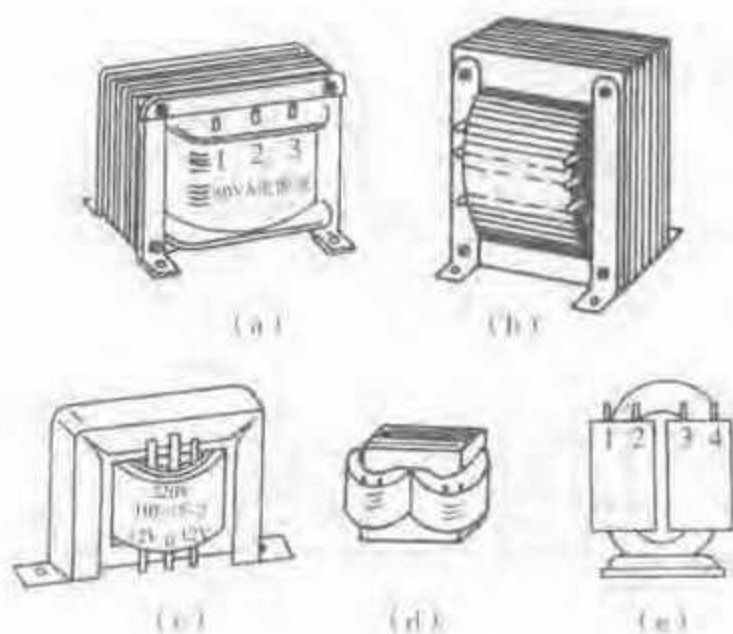


图 5-2 常见小型电源变压器外形

(a)(b)(c)-E型,也称“日”字型;(d)-“口”字型;(e)-C型

在比较理想的情况下(变压器质量好、输出负载小),正弦波电压通过变压器后所输出的交流电压波形仍然是正弦波,波形失真很小。否则,波形失真就会比较大。

在理想情况下,变压器输出交流电压瞬时值  $u_2$  可表示为:

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

式中  $u_2$ ——输出交流电压瞬时值, V;

$U_2$ ——输出交流电压有效值, V;

$\omega$ ——角频率, rad/s ( $\omega$  与频率  $f$  的关系为  $\omega = 2\pi f$ );

$t$ ——时间, s ( $\omega t$  即为相位角)。

由上式可见,输出瞬时电压  $u_2$  的最大值(幅值)等于  $\sqrt{2}U_2 \approx 1.41U_2$ 。例如,变压器次级输出电压有效值为 12V,则瞬时电压最大值  $\approx 16.92V$ 。

## 2. 二极管的作用

在图 5-1 所示的整流电路中,二极管 VD 是关键器件。整流电路正是利用二极管的单向导电性,将交流电压变为脉动直流电压。因为二极管 VD 的正极接变压器的输出端 A,其负极接负载电阻  $R_L$ ,  $R_L$  的另一端与变压器输出端 B 相接,从而形成一个回路。所以,当变压器输出瞬时电压的极性与二极管的极性一致时,二极管就正向导通,此时在  $R_L$  上有电流流过,其瞬时电流  $i_L = i_{VD}$  (二极管 VD 瞬时电流);当瞬时电压极性与二极管的极性相反时,二极管处于反向截止状态,流过  $R_L$  的电流为零。变压器输出电压以及整流电压、电流波形如图 5-3 所示。

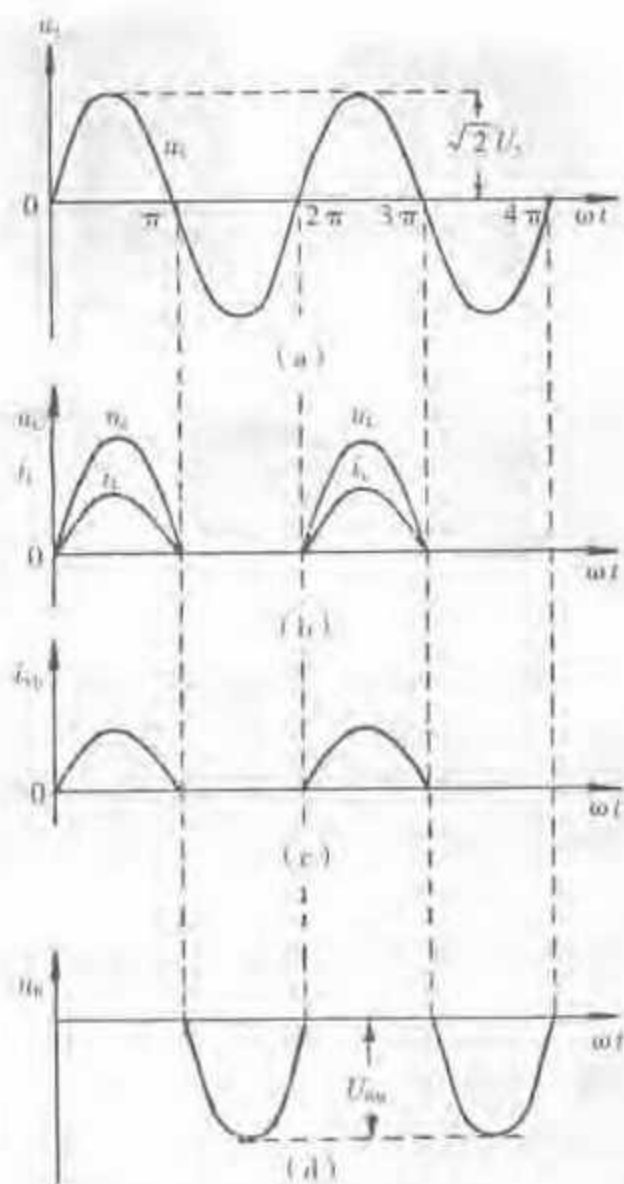


图 5-3 半波整流电路工作波形

(a) 变压器次级输出电压波形; (b) 负载电阻  $R_L$  两端电压、电流波形;  
(c) 二极管 VD 电流波形; (d) 二极管 VD 反向电压波形

如图 5-3(b) 所示, 在二极管 VD 导通时间内, 由于 VD 的正向电压降相对变压器的输出电压而言很小, 所以可认为在正半周期内的瞬时电压  $u_L \approx u_2$ , 瞬时电流  $i_L = u_L / R_L \approx u_2 / R_L$ 。

当然, 在负半周期内  $u_L$ 、 $i_L$  均等于零。

半波整流电路在选用二极管时需要注意: 二极管额定电流应大于电路的工作电流; 二极管额定电压应大于电路中二极管承受的反向峰值电压; 必要时还应考虑外加足够大的散热器。

### 3. 常用的关系式

二极管半波整流电路虽具有电路结构简单的优点, 但它的电源利用率低, 且输出直流电压脉动大, 从下述关系式中也能反映出来。

(1) 半波整流电路输入与输出电压有效值关系。





$$U_L = 0.45U_2$$

或

$$U_2 = 2.22U_L \text{ (工程上常用)}$$

式中  $U_L$ ——半波整流电路输出(负载两端)电压有效值, V;

$U_2$ ——半波整流电路输入(变压器输出)电压有效值, V。

例如,半波整流电路输入电压有效值为 12V,经半波整流后的输出电压有效值仅为  $0.45 \times 12 = 5.4$  (V),输出电压比输入电压下降了一半多。

(2) 半波整流电路负载电流与电压的关系。

$$I_L = U_L / R_L = 0.45U_2 / R_L$$

式中  $I_L$ ——流过负载( $R_L$ )电流有效值, A;

$U_L$ ——半波整流输出电压有效值, V;

$U_2$ ——半波整流输入电压有效值, V;

$R_L$ ——负载电阻,  $\Omega$ 。

(3) 半波整流电路中二极管承受的反向峰值电压。

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \approx 1.41U_2$$

式中  $U_{RM}$ ——二极管承受的反向峰值电压, V;

$U_2$ ——半波整流电路输入电压有效值, V。

常用整流二极管外形如图 5-4 所示。

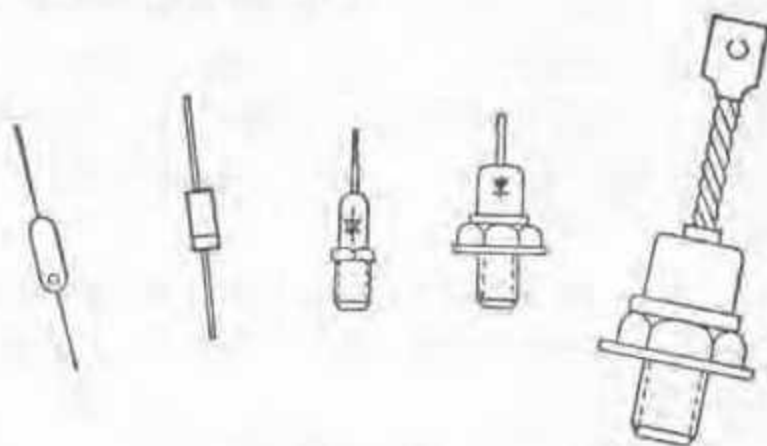


图 5-4 常用整流二极管外形

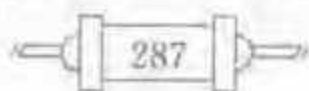
## 二、二极管全波整流电路

全波整流电路的电源利用率比半波整流电路高一倍,输出为全波脉动直流电压,该电压的平稳性也比较好一些。

### 1. 变压器中心抽头式单相全波整流电路

变压器中心抽头式单相全波整流电路如图 5-5 所示。现对电路中各元器件的作用及电路工作原理作一说明。

(1) 中心抽头式变压器的作用。中心抽头式变压器除起到降压(必要时也可采用升压变压器)以外,其特点是它的次级绕组按照中心抽头式绕制,即在变压器次级绕组的中心点再引出一个抽头 C,使该变压器的次级绕组一共有 3 个引出端:



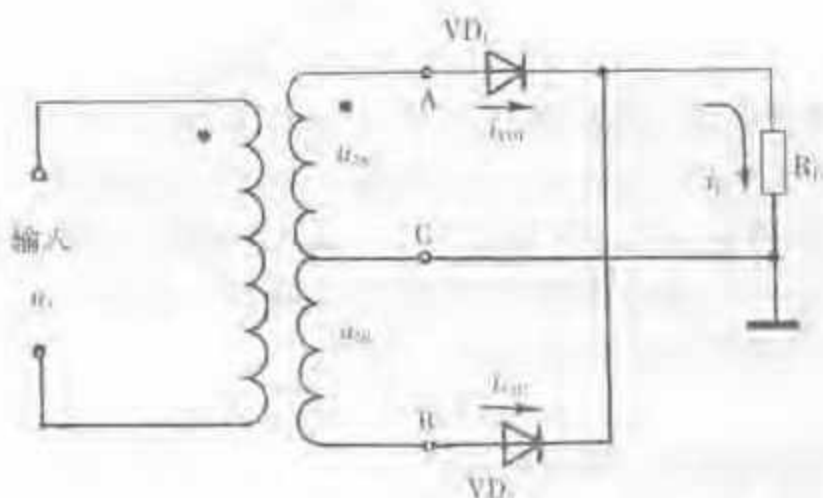


图 5-5 变压器中心抽头式单相全波整流电路

A、C、B,并以C端作为公共接地端。于是,在变压器的A、C两端输出瞬时电压 $u_{2A}$ 与B、C两端输出瞬时电压 $u_{2B}$ 大小相等而相位相反,即瞬时电压 $u_{2A} = -u_{2B}$ 。这样,为采用2只二极管构成全波整流电路提供了必要的条件。简单地讲,就是用2个工作相位相反的半波整流电路有机地结合在一起就构成了全波整流电路。

(2) 二极管的作用。在变压器中心抽头式全波整流电路中,也是利用二极管的单向导电性,2只二极管轮流导电,将交流电压变为直流脉动电压(整流电压),每只二极管所起的作用与半波整流电路中所起的作用完全相同。

(3) 变压器中心抽头式全波整流电路工作原理。当变压器T初级绕组输入交流电源电压 $u_1$ 后,在变压器的次级绕组A、C两端输出交流电压 $u_{2A}$ ,在BC两端输出交流电压 $u_{2B}$ ,这两个输出电压大小相等但相位相反,此时 $u_{2A}$ 、 $u_{2B}$ 之间的相位关系如图5-6(a)所示。

如图5-5所示,在 $0 \sim \pi$ 时间内,设 $u_1$ 为正半周,变压器初级绕组上端为正电位,下端为负电位,次级绕组A端为正电位、B端为负电位、C端为0电位。此时,二极管 $VD_1$ 正向导通, $VD_2$ 反向截止,电流 $i_{VD1}$ 从A点经二极管 $VD_1$ 、负载电阻 $R_L$ 回到C点。于是在 $R_L$ 两端产生一个脉动的直流电压(相当 $u_{2A}$ 的正半周)。

在 $\pi \sim 2\pi$ 时间内, $u_1$ 为负半周,变压器初级绕组上端为负电位,下端为正电位,次级绕组A端为负电位、B端为正电位、C端为0电位。此时,二极管 $VD_2$ 正向导通, $VD_1$ 反向截止,电流 $i_{VD2}$ 从B点经二极管 $VD_2$ 、负载电阻 $R_L$ 回到C点。于是在负载电阻 $R_L$ 两端也产生一个脉动的直流电压(相当 $u_{2B}$ 的正半周)。在 $2\pi$ 以后的各段时间内,电路重复以上工作过程。

由此可见,在全波整流电路中,无论在电源的正半周还是负半周,都可以在负载电阻两端产生脉动的直流电压,叠加之后就得到全波脉动电压 $u_L$ ,如图5-6(b)所示。从而在负载电阻 $R_L$ 上流过全波整流电流 $i_L$ (全波脉动直流电流),其波形如图5-6(b)所示。二极管正向电流波形和反向电压波形如图5-6(c)、(d)所示。

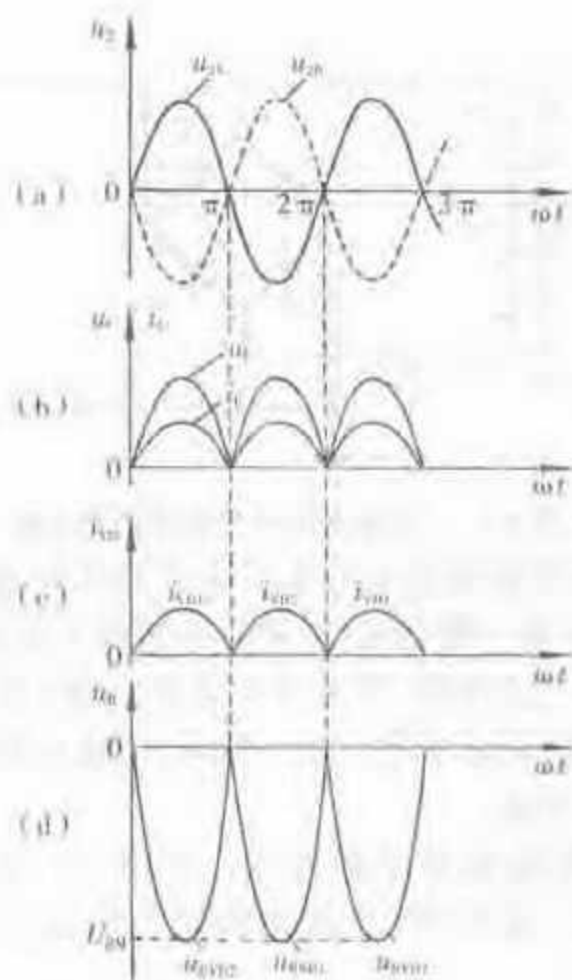


图 5-6 变压器中心抽头式全波整流电路工作波形

(4) 常用的关系式。变压器中心抽头式单相全波整流电路,输出电压有效值与输入电压有效值的关系为:

$$U_L = 0.9U_2$$

式中  $U_L$ ——全波整流电路负载电阻两端电压有效值, V;

$U_2$ ——整流电路每端输入交流电压有效值,  $U_2 = U_{2A} = U_{2B}$ , V。

全波整流电路流过负载电阻  $R_L$  的电流有效值为:

$$I_L = U_L / R_L = 0.9U_2 / R_L$$

流过每只二极管的电流有效值为负载电流有效值的一半, 它们的关系为:

$$I_{VM} = I_{VRE} = I_L / 2 = 0.45U_2 / R_L$$

在二极管截止期间所承受的反向峰值电压  $U_{RM}$  等于变压器次级绕组总电压的峰值, 即  $U_{RM} = 2\sqrt{2}U_2 \approx 2.82U_2$ 。

可见, 变压器中心抽头式全波整流电路中的二极管, 它所承受的反向峰值电压要比半波整流电路中的二极管高一倍, 说明对二极管的反向耐压值要求高。在选用二极管时, 这一点很值得注意。

## 2. 二极管桥式单相全波整流电路

二极管桥式单相全波整流电路如图 5-7 所示。



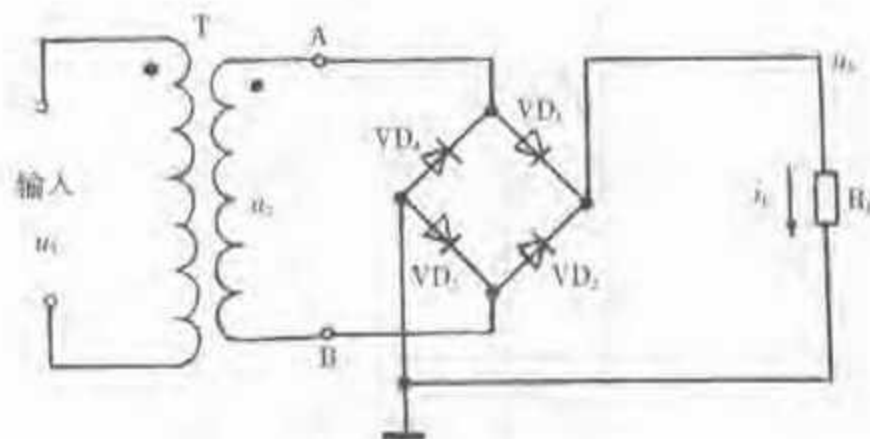
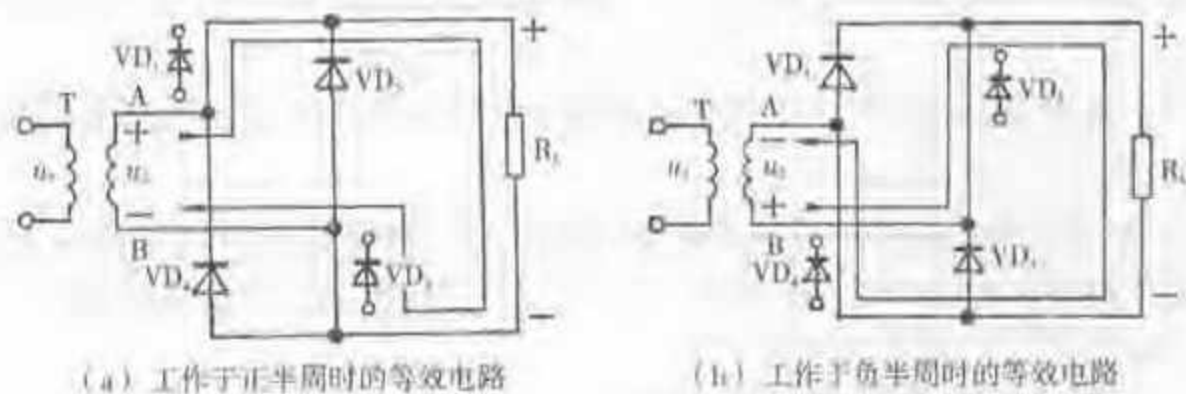


图 5-7 二极管桥式单相全波整流电路

由图可见,桥式全波整流电路中的变压器 T 的次级绕组不必抽头,只要一个绕组就行,从而可适当节省一部分线材,同时也简化了变压器绕组的绕制。桥式全波电路中虽然需用 4 只二极管,但与变压器中心抽头式全波整流电路相比,对整流二极管耐压值的要求可以下降一倍。实际上,现在单相全波整流电路中,桥式整流电路的应用更为普遍。

(1) 各元器件在整流电路中的作用。在图 5-7 所示电路中,除二极管  $VD_1 \sim VD_4$  为桥式整流二极管外,其他元器件与前面介绍过的整流电路中各元器件的作用相同。

(2) 二极管桥式单相全波整流电路工作原理。由图 5-7 所示可见,在交流电源的正半周时,变压器 T 次级绕组 A 端为正电位, B 端为负电位。此时,二极管  $VD_1$ 、 $VD_3$  正向导通,  $VD_2$ 、 $VD_4$  反向截止,电流从 A 端开始按顺序经  $VD_1$ 、 $R_L$ 、 $VD_3$  至 B 端,其等效电路如图 5-8(a) 所示。此时,在  $R_L$  上流过正半周的半波电流。在交流电源的负半周时,变压器 T 的次级绕组 B 端为正电位, A 端为负电位。此时,二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  正向导通,  $VD_1$ 、 $VD_3$  反向截止,电流从 B 端开始按顺序经  $VD_2$ 、 $R_L$ 、 $VD_4$  流至 A 端,其等效电路如图 5-8(b) 所示。此时,在  $R_L$  上流过负半周的半波电流。



(a) 工作于正半周时的等效电路

(b) 工作于负半周时的等效电路

图 5-8 桥式单相全波整流电路等效电路



因此,在二极管桥式整流电路中,流过负载电阻的电流  $i_L$  是全波整流电流,于是在  $R_L$  两端产生的电压  $u_L$  是全波整流电压。

二极管桥式单相全波整流电路工作波形如图 5-9 所示。

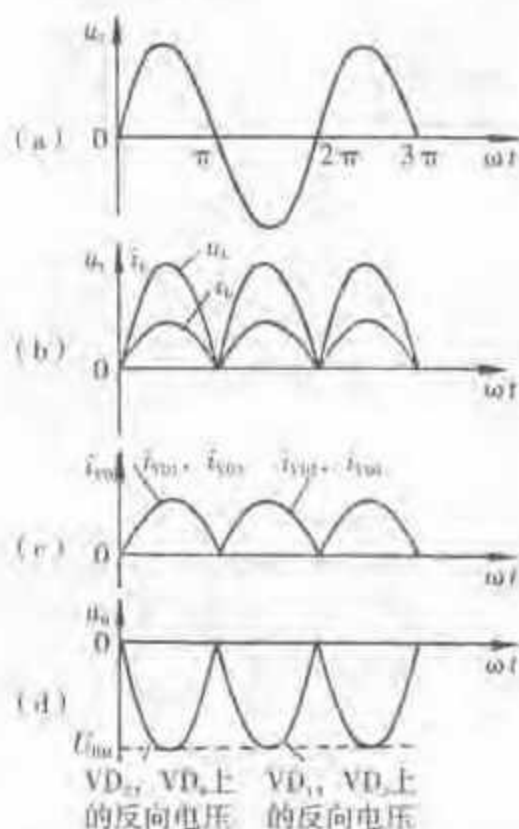


图 5-9 二极管桥式单相全波整流电路工作波形

(a)-变压器次级输出电压波形;(b)-负载电阻  $R_L$  两端电压和电流波形;(c)-流过二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  电流 ( $i_{VD1} = i_{VD2}$ ) 波形以及流过  $VD_3$ 、 $VD_4$  电流 ( $i_{VD3} = i_{VD4}$ ) 波形;(d)-二极管上的反向电压波形,反向电压的峰值为  $U_{2m}$

在二极管桥式全波整流电路图中,有时采用简单的画法来表示二极管全波整流桥(简称全桥),如图 5-10 所示。

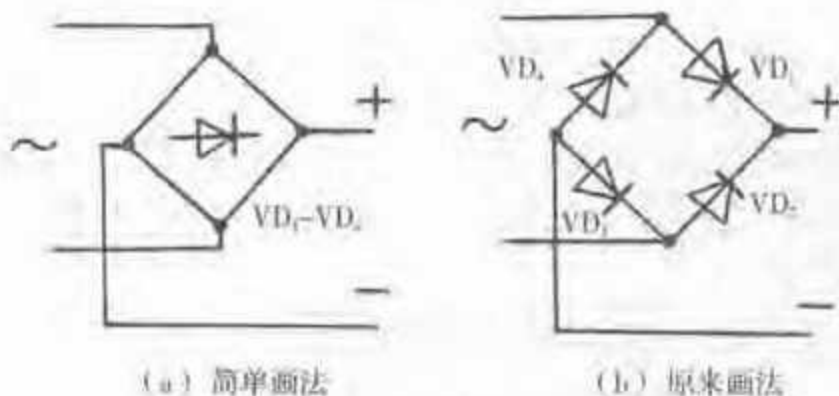
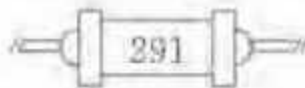


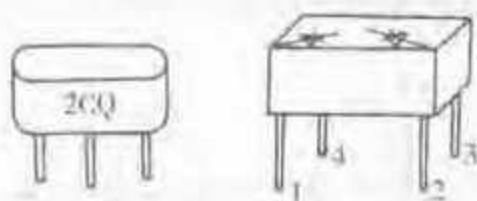
图 5-10 二极管全波整流桥的简单画法

(3) 整流组件。一些常用整流组件外形如图 5-11 所示。其中半桥整流组件由 2 只二极管组装在一起,共阳式或共阴式有 3 个引脚;独立式(2 只二极管互不

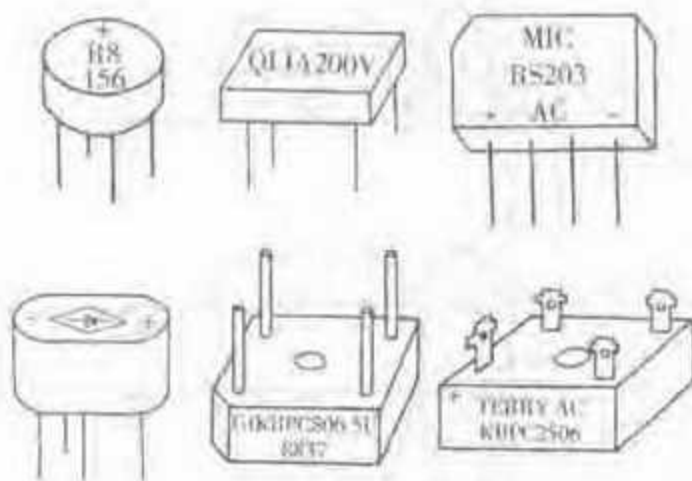




连接组装在一起)有4个引脚,它们也都可供变压器中心抽头式单相全波整流电路用,其外形如图5-11(a)所示。



(a) 半桥整流组件



(b) 全桥整流组件

图5-11 一些常用整流组件的外形

全桥整流组件由4只二极管组装在一起,其外形如图5-11(b)所示。从组件上的符号可以识别交流输入端和整流输出端。全桥整流组件用于桥式单相全波整流电路,将使整流部分结构变得较为紧凑,而且安装也更方便。

(4) 常用关系式。桥式单相全波整流电路负载电阻上电压和电流有效值的计算公式为:

$$U_L = 0.9U_2$$

$$I_L = 0.9U_2/R_L$$

式中  $U_L$  —— 负载电阻两端电压, V;

$I_L$  —— 流过负载电阻的电流, A;

$U_2$  —— 变压器次级输出交流电压, V;

$R_L$  —— 负载电阻,  $\Omega$ 。

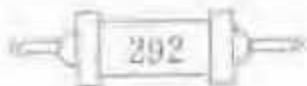
流过整流二极管  $VD_1 \sim VD_4$  的电流有效值为:

$$I_{VD1} = I_{VD2} = I_{VD3} = I_{VD4} = I_L/2$$

即流过二极管的电流等于负载电流的一半。

每只二极管在截止时承受的反向峰值电压为:

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \approx 1.41U_2$$





可见,桥式全波整流电路与变压器中心抽头式全波整流电路相比,二极管数目虽多一倍,使桥式整流源的内阻要稍大一些,但二极管的反向耐压可以降低一半。

### 三、倍压整流电路

在某些实际应用电子线路中,有时需要获得高于输入电压几倍或很多倍的直流电压,但负载电流很小,这时采用倍压或多倍压整流电路是很适宜的。

#### 1. 二倍压整流电路

二倍压整流电路如图 5-12 所示。

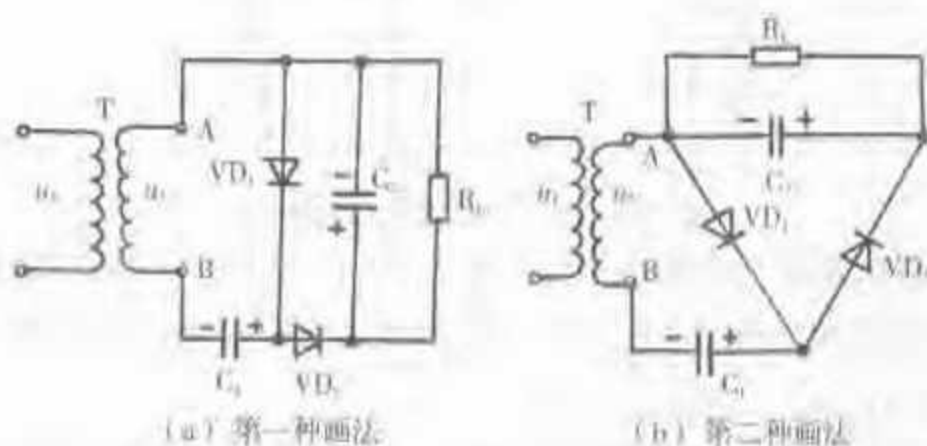


图 5-12 二倍压整流电路

(1) 元器件在倍压整流电路中的作用。在图 5-12 电路中,二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  单向导电性起整流作用;电容器  $C_1$ 、 $C_2$  充放电过程起储能和释能作用,其容量足够大;负载电阻  $R_L$  的阻值也很大,这样就会使充电速度远远大于放电速度。

(2) 倍压整流工作原理。如图 5-12 所示,在变压器 T 的次级输出交流电压  $u_2$  的正半周时,变压器次级 A 端为正电位、B 端为负电位,二极管  $VD_1$  导通、 $VD_2$  截止。于是充电电流从 A 端流出,经  $VD_1$ 、 $C_1$  至变压器次级的 B 端,并对  $C_1$  充电,使  $C_1$  上的电压达到  $u_2$  的峰值电压(等于  $\sqrt{2}U_2$ ,  $U_2$  为瞬时电压  $u_2$  的有效值)为止。在变压器次级输出交流电压  $u_2$  的负半周时,变压器次级 B 端为正电位、A 端为负电位,电容器  $C_1$  上所充的电压与变压器次级输出的负半周电压相叠加,此时二极管  $VD_1$  截止,  $VD_2$  导通。于是充电电流从 B 端流出,经  $VD_2$ 、 $C_2$  至变压器次级的 A 端,并对  $C_2$  充电,使  $C_2$  上的电压达到  $u_2$  的峰-峰值电压(等于  $2\sqrt{2}U_2$ ,  $U_2$  为瞬时电压  $u_2$  的有效值)为止。于是在负载电阻  $R_L$  两端得到二倍压整流的直流电压。必须指出,如果  $R_L$  的阻值比较小时,  $C_2$  通过  $R_L$  放电就不能忽略了,那么  $R_L$  两端电压将明显低于二倍压整流电压,倍压效果不佳。

(3) 另一种倍压整流电路。这种倍压整流电路如图 5-13 所示。电路中的电容器容量较大,且负载电阻  $R_L$  也很大。其倍压整流原理与前面所述基本相同。在  $u_2$  的正半周时,设变压器次级的 A 端极性为正电位, B 端极性为负电位,此时二极管  $VD_1$  导通、 $VD_2$  截止,可以认为经过  $VD_1$  对电容器  $C_1$  充上  $\sqrt{2}U_2$  的电压而基本保



持不变( $U_2$ 为瞬时电压  $u_2$  的有效值)。同样,在  $u_2$  的负半周时,B端极性正电位,A端极性负电位,此时  $VD_2$  导通, $VD_1$  截止,可以认为经过  $VD_2$  对  $C_2$  充上  $\sqrt{2}U_2$  的电压,因而在  $R_L$  两端的电压是  $C_1$  上电压加  $C_2$  上的电压,等于  $2\sqrt{2}U_2$  (V)。

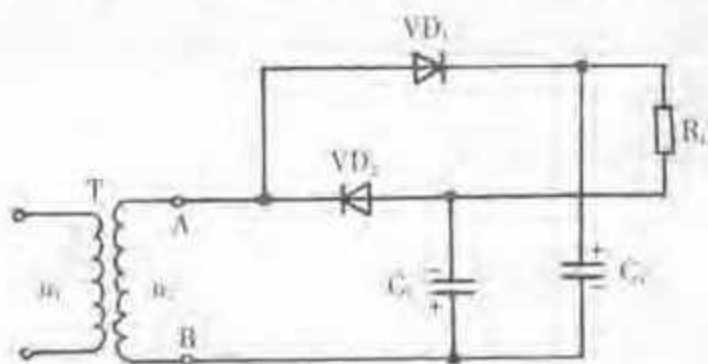


图 5-13 另一种二倍压整流电路

(4) 倍压整流电路中元器件承受的最大电压。在图 5-12 所示电路中二倍压整流的整流二极管承受的最大反向电压是  $2\sqrt{2}U_2 \approx 2.82U_2$ 。电容器  $C_1$  承受的电压是  $\sqrt{2}U_2 \approx 1.41U_2$ ,  $C_2$  上承受的电压是  $2\sqrt{2}U_2$ 。

在图 5-13 所示的二倍压整流电路中,每只整流二极管承受的最大反向电压也是  $2\sqrt{2}U_2$ ,但每只电容器所承受的电压都是  $\sqrt{2}U_2$ 。

## 2. 多倍压整流电路

根据前面所述二倍压整流电路的原理,可以构成多倍压整流电路,如图 5-14 所示。

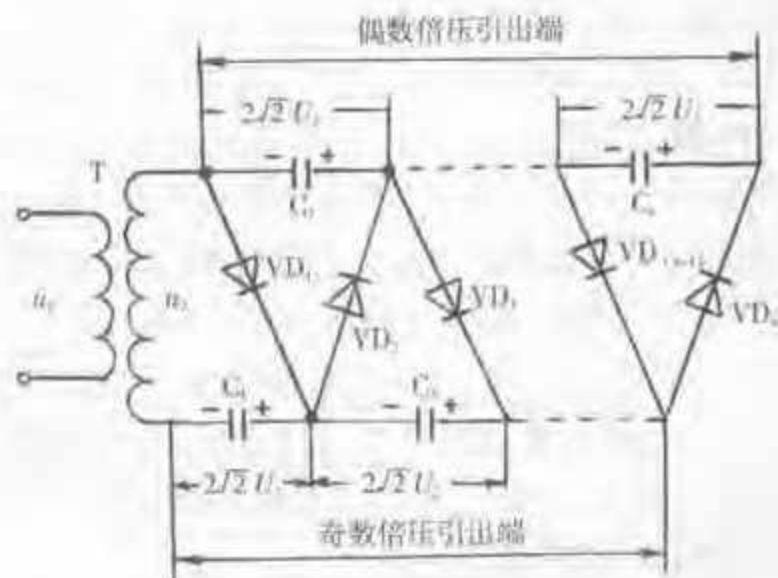


图 5-14 多倍压整流电路

虽然多倍压电路只能输出很小的负载电流,但可以输出更高的电压。多倍压整流电路每只电容器所承受的最高电压均为  $2\sqrt{2}U_2$ ,每只整流二极管承受的最大



反向电压也是  $2\sqrt{2}U_2$ ，对电容器和二极管并没有太苛刻的要求。因此，在需要电压高而负载电流很小的场合，多倍压整流电路被广泛采用。

图 5-14 所示的上侧为偶数倍压引出端，下侧为奇数倍压引出端。设多倍压整流电路中一共有  $n$  只二极管和  $n$  只电容器 ( $n$  为偶数)，则偶数倍压引出端输出的最高电压为  $2n\sqrt{2}U_2$ ；奇数倍压引出端输出的最高电压为  $(2n-1)\sqrt{2}U_2$ 。

例如，多倍压整流电路中一共有 8 只二极管和 8 只电容器，变压器次级输出电压有效值为 350V，则偶数倍压端输出的最高直流电压为：

$$2n\sqrt{2}U_2 = 2 \times 8\sqrt{2} \times 350 \approx 7\,920(\text{V})$$

奇数倍压端输出的最高直流电压为：

$$(2n-1)\sqrt{2}U_2 = (2 \times 8 - 1)\sqrt{2} \times 350 \approx 7\,420(\text{V})$$

每只二极管承受最大反向电压和电容器承受最高电压为：

$$2\sqrt{2}U_2 = 2\sqrt{2} \times 350 = 990(\text{V})$$

如果考虑  $U_2$  电压可能有 10% 起伏，则上述元器件的耐压应大于 1 089 (V)  $\approx 1\,100(\text{V})$ 。

实际上，常用硅整流二极管型号为 1N4007、1N5108、1N5208、1N5408、2CZ53M、2CZ54M、2CZ58M 等的反向峰值工作电压额定值为 1 000V，而 2CZ58N、2CZ58P、2CZ58Q 型的反向峰值工作电压额定值更高，分别为 1 200V、1 400V、1 600V。

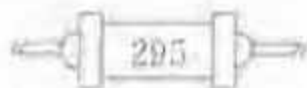
#### 四、滤波电路

我们知道，整流电路可以使交流电转换成直流电，但这种直流电是不平稳的（交流成分大），只能用于对直流电源平稳性要求不高的场合（如电镀用的电源）。为了滤去直流电中的交流成分，改善直流电的平稳程度，需要在整流电路的后面接上滤波电路。

常见滤波电路有电容滤波、电感滤波和组合滤波电路等，组合滤波一般又有电感电容型、电感电容  $\pi$  型、电阻电容  $\pi$  型等几种。

##### 1. 电容滤波电路

(1) 带有电容滤波的单相半波整流电路。如图 5-15(a) 所示，起滤波作用的电容器 C 接在整流二极管 VD 后面，由整流后的电压对电容器 C 充电，而当电压下降时电容器 C 对负载电阻  $R_L$  放电，从而使输出到负载电阻  $R_L$  上的直流电压比滤波前要平稳得多，如图 5-15(b) 所示。C 的电容量越大， $R_L$  的阻值越大，整流滤波后的直流电压平稳程度也越好。但随着  $R_L$  的变化，整流电压也会改变（这种情况也称外特性平直情况较差）。



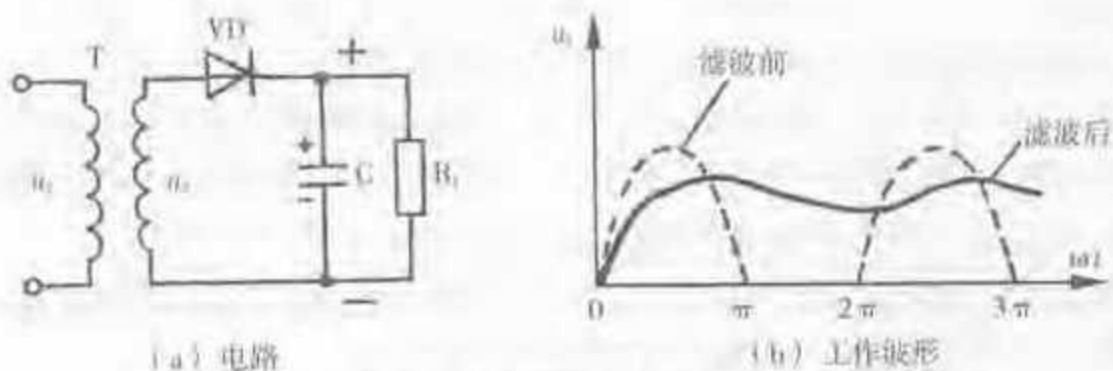


图 5-15 带有电容滤波的单相半波整流电路及其工作波形

(2) 带有电容滤波的变压器中心抽头式单相全波整流电路。其全波整流滤波电路如图 5-16(a)所示,全波整流滤波工作波形如图 5-16(b)所示。由此可见,全波整流滤波电路输出的直流电压平稳程度要比半波整流滤波电路好。

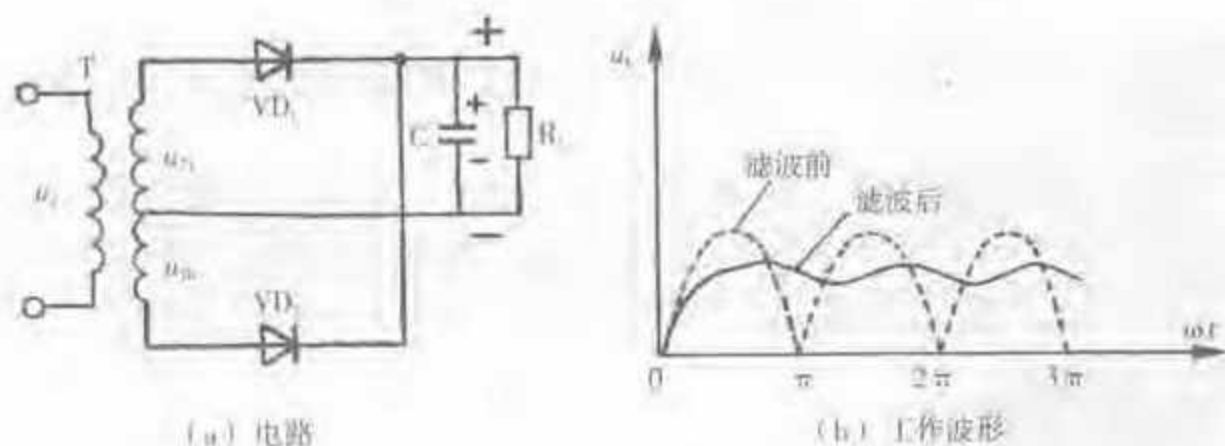


图 5-16 带有电容滤波的变压器中心抽头式单相全波整流电路及其工作波形

(3) 带有电容滤波的桥式单相全波整流电路。如图 5-17 所示,滤波电容  $C$  接在全波整流桥 ( $VD_1 \sim VD_4$ ) 后面,实际上是和负载电阻  $R_L$  并联,通过电容器  $C$  充放电作用,使负载电阻  $R_L$  上的直流电压平稳程度得到改善。其工作波形与图 5-16(b)所示相同。

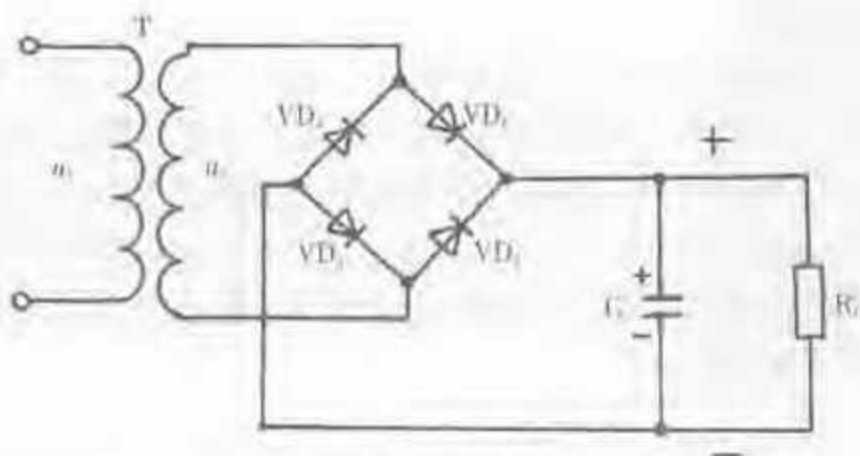


图 5-17 带有滤波电容的桥式单相全波整流电路



(4) 滤波电容容量的选择。电容滤波电路适用于负载电流小(负载电阻大)且负载电流比较稳定的场合,因为它的耐负载能力是比较差的。当负载电流较大时,滤波电容的容量也应较大。表 5-1 数据可供滤波电容容量选择的参考。

表 5-1 滤波电容容量选择

负载电流(A)	$\leq 0.05$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 2$
电容值( $\mu\text{F}$ )	200	500	1 000	2 000	4 000

## 2. 电感滤波电路

带有电感滤波的桥式单相全波整流电路及其工作波形如图 5-18 所示。

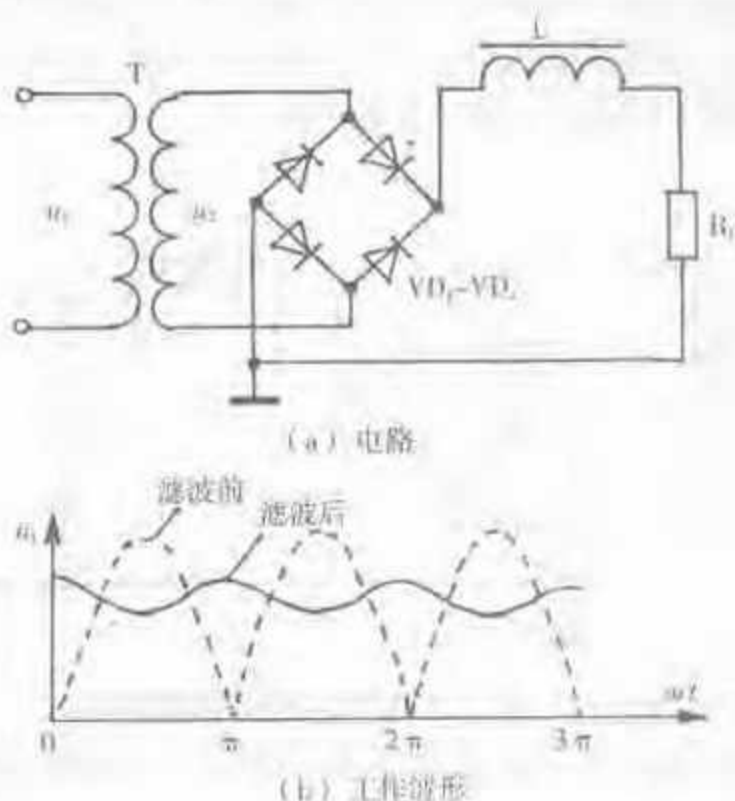


图 5-18 带有电感滤波的桥式单相全波整流电路及其工作波形

作为滤波元件的电感器  $L$  接在整流桥后面,并与负载电阻  $R_L$  构成串联回路。它是利用电感器的直流电阻小、交流阻抗大的特性进行滤波的。由于交流阻抗既与交流频率成正比,也与电感量成正比,因此当  $L$  的电感量足够大时(通常采用铁心线圈),则整流电路输出的交流成分将大部分降在电感器  $L$  上,而直流部分不受电感器阻碍降在负载电阻  $R_L$  上。此时,  $R_L$  上的直流电压波动小,我们说滤波效果好。但电感量大,不仅成本高,而且线圈匝数增加,导致直流电阻增加,从而引起直流能量损失。

电感滤波电路的外特性平直情况较好,即负载电阻  $R_L$  变动时,输出电压变动较小。但电感量大的线圈,体积大且较笨重,因此电感滤波方法一般用在功率较





大的整流电源中。

如果负载本身除有一定的直流电阻外,还有较大的电感量(如直流电动机绕组),相当在整流电源的输出回路中接入了一个电感滤波线圈一样,在这种情况下就不必另接滤波电路了。

电感滤波电路适用于负载电流较大,负载电阻较小的场合,滤波电感器的规格一般在几亨(H)至几十亨的范围内选取。

### 3. 组合滤波电路

将电阻器、电容器、电感器以一定方式组合构成的滤波器,其滤波效果要比单个元件的作用效果好。

(1) 电感、电容(LC)滤波电路。带有 LC 型滤波的全波整流电路如图 5-19 所示。它是在电感滤波电路上再增加一只与负载电阻  $R_L$  并联的电容器  $C$ ,使整流电源的输出电流经过电感器滤波后,再经电容器二次滤波,从而在负载电阻  $R_L$  上可以得到比单由电感滤波时更为平稳的直流电压。

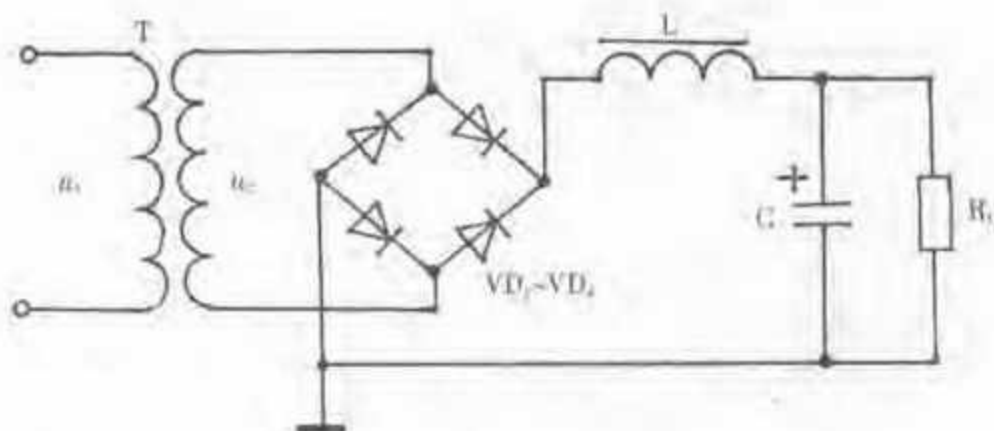


图 5-19 带有 LC 型滤波的全波整流电路

(2) 电感、电容  $\pi$  型(LC- $\pi$  型)滤波电路。带有 LC- $\pi$  型滤波的全波整流电路如图 5-20 所示。

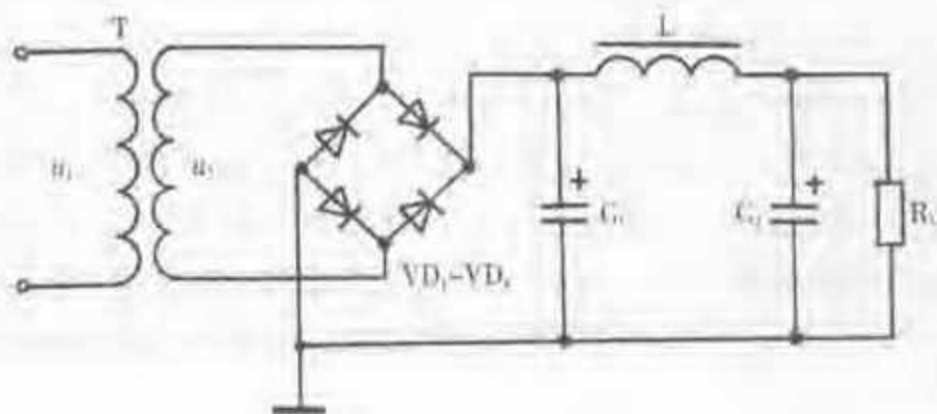


图 5-20 带有 LC- $\pi$  滤波的全波整流电路



由电感器  $L$  和电容器  $C_1$ 、 $C_2$  组成的 LC- $\pi$  型滤波电路接在全波整流桥后面, 全波整流桥输出的直流脉动电压经电容器  $C_1$  滤波后, 经电感器  $L$  二次滤波, 再经电容器  $C_2$  三次滤波, 使直流脉动程度更加降低, 于是在负载电阻  $R_L$  上得到较其他滤波电路更为平稳的直流电压。

这种 LC- $\pi$  型滤波电路, 在小功率整流源中以及直流电压平稳性要求较高的场合常被采用。但 LC- $\pi$  型滤波电路前面接有电容器  $C_1$ , 使该滤波器的外特性平直情况较差(整流电压会随  $R_L$  的变化而改变)。

(3) 电阻、电容  $\pi$  型(RC- $\pi$  型)滤波电路。带有 RC- $\pi$  型滤波的全波整流电路如图 5-21 所示。由电阻器  $R$  和电容器  $C_1$ 、 $C_2$  组成的 RC- $\pi$  型滤波电路接在全波整流桥( $VD_1 \sim VD_4$ )后面, 电路中  $R$  本身不起滤波作用, 只是与负载电阻  $R_L$  一起构成分压电路。然而因  $C_2$  与  $R$  串联而与  $R_L$  并联, 所以交流成分大部分降在  $R$  上。从这个角度看, 当  $C_1$ 、 $C_2$  一定时,  $R$  阻值大, 滤波效果好。实际上  $R$  的阻值不宜取得太大, 以免在  $R$  上功耗增加导致负载电阻  $R_L$  上的直流电压损失太大。因此, RC- $\pi$  型滤波电路一般只适用于负载电流较小的场合, 这正是该滤波器的缺点。

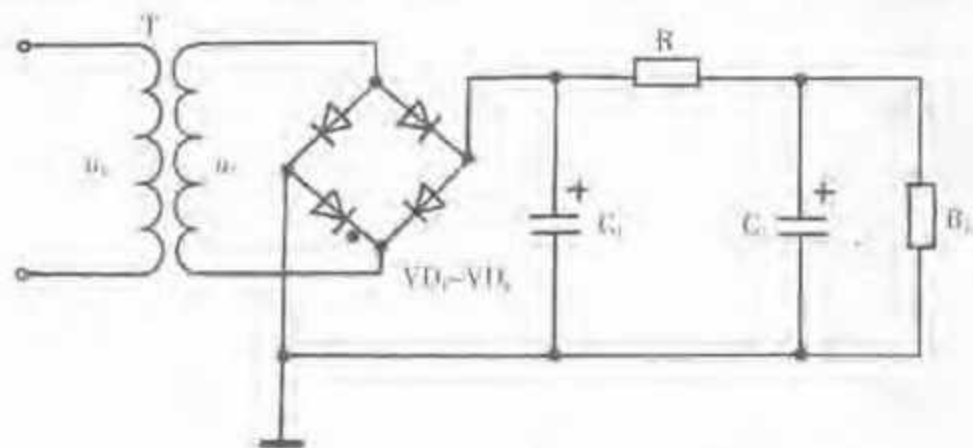


图 5-21 带有 RC- $\pi$  型滤波的全波整流电路

#### 4. 滤波电路的比较

(1) 滤波电路分析。滤波电路是用电感器、电容器、电阻器等元件组成。电感器的直流电阻很小, 而交流阻抗很大; 电容器不允许通过直流, 而允许通过交流, 把它们适当地组合起来, 就能达到预想的滤波效果。

(2) 滤波电路的比较。现将前面介绍过的 5 种滤波电路, 对其形式、特点及效果作一比较, 见表 5-2。



表 5-2 几种滤波电路的比较

滤波形式	滤波效果	输出电压	输出电流	外特性
<p>电容滤波</p>	较差	高	较小	差
<p>电感滤波</p>	较差	低	大	好
<p>LC 滤波</p>	较好	较低	大	较好*
<p>LC π 型滤波</p>	好	高	较小	差
<p>RC π 型滤波</p>	较好	较高	小	差

注：\* 在输出电流较大时外特性较好。

## 第二节 直流稳压电路

### 一、稳压二极管构成的并联型直流稳压电路

#### 1. 电路结构

采用稳压二极管构成的并联型直流稳压电路如图 5-22 所示。图中变压器 T、全波整流桥 U 和滤波电容 C 组成桥式全波整流、滤波电路。电阻 R、稳压二极管





VS 以及与 VS 并联的负载电阻  $R_L$  构成并联型直流稳压电路。整个电路的作用是：将交流电压整流为直流脉动电压，经滤波后成为比较平稳的直流电压，再经稳压后成为相对稳定的直流电压输出，使电网电压波动或整流电路负载变化时造成输出直流电压不稳定程度显著降低。

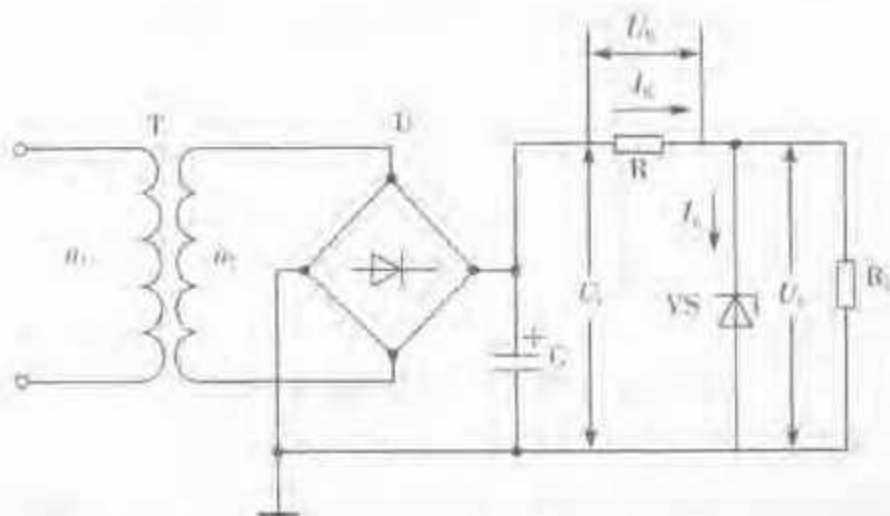


图 5-22 采用稳压二极管构成的并联型直流稳压电路

## 2. 电路工作原理

(1) 稳压二极管。并联型直流稳压电路中的关键元器件是稳压二极管。稳压二极管又称齐纳二极管，是工作于反向击穿区的一种特殊二极管。我们知道，普通二极管在电路中起整流作用，一般不能工作在反向击穿区，而稳压二极管恰恰相反，通常稳压二极管用硅半导体材料制成，热稳定性比较好。稳压二极管的基本结构和外形与普通二极管差不多，若不看标志，有时很难从外形上予以区别。常见稳压二极管外形和电路符号如图 1-31 所示，其中图 1-31(b)、(c) 所示的稳压二极管有 3 个引脚，它是将一对稳压二极管封装在一起，通常是作为标准稳压管使用的。

稳压二极管的伏安特性曲线如图 5-23 所示。其正向特性和普通二极管相似，但当反向电压增加到一定程度时，稳压二极管就进入了击穿区，这时反向电压很小的变化，就会使反向电流在很大范围内变化。稳压二极管正是利用反向击穿区内反向电压基本上不随反向电流变化这一特点进行稳压的。只要适当控制反向电流的大小，稳压管是不会损坏的。如从图 5-23 所示的 2CW54 型稳压二极管典型的伏安特性曲线中，可以看出该稳压管的稳定电压是 6V。其实际产品标称稳定电压为 5.5~6.5V，最大工作电流为 38mA。

(2) 稳压电路工作原理。在图 5-22 所示电路中，互为串联的 R、VS 组成稳压电路，电阻 R 对稳压二极管 VS 的反向电流起限制作用，使之不超过该型号规定的最大工作电流。与 VS 并联的负载电阻  $R_L$  又与 R 串联构成分压电路，若  $R_L$  太小，分压后在 VS 两端的反向电压小于 VS 的稳定电压，则 VS 将不起稳压作用。



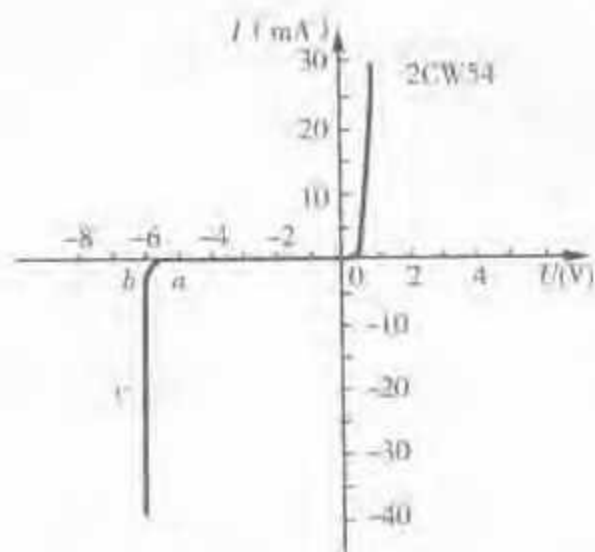


图 5-23 稳压二极管的伏安特性曲线

同样,如果输入直流电压  $U_1$  太小,VS 也将不起稳压作用。

稳压电路的作用过程是:当电网电压  $u_1$  或负载  $R_L$  变化时,设输出直流电压  $U_o$  下降,则稳压二极管内反向电流  $I_Z$  也减小,导致通过限流电阻  $R$  上的电流  $I_R$  也下降,于是  $R$  上的电压  $U_R$  下降,由  $U_o = U_1 - U_R$  这一关系式可知,此时输出直流电压  $U_o$  的下降受到限制,从而就保持  $U_o$  一定程度的稳定。这一负反馈过程可用符号表示为:

$$U_o \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I_R \downarrow \rightarrow U_R \downarrow \rightarrow U_o \uparrow$$

反之,当电网电压或负载变化引起输出直流电压  $U_o$  上升时,则稳压电路负反馈的结果将使  $U_o$  上升受到限制,这一过程也可用符号表示为:

$$U_o \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \rightarrow U_o \downarrow$$

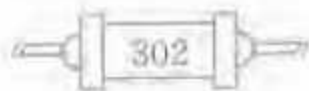
从而使输出直流电压保持稳定。

### 3. 稳压二极管直流稳压实用电路

简单而实用的稳压二极管直流稳压电路如图 5-24 所示。

在图 5-24(a)所示的电路中,变压器  $T$  的图形符号是旧的表示法(2 个绕组之间的一段直线表示变压器的铁心,虚线表示绕组之间的静电隔层)。变压器  $T$  初级输入为 50Hz、220V 交流电压,次级输出电压为交流 10V,功率为 3~4W。整流二极管  $VD_1 \sim VD_4$  可选用 1N4001 型或 2CZ54B 型等,反向峰值工作电压  $\geq 50V$ ,额定正向整流电流  $\geq 1A$ 。 $C_1, C_2$  用耐压  $\geq 16V$  的普通电解电容器。

图 5-24(b)所示为稳压二极管与普通二极管的串联使用。它将一只稳定电压为 5.3V 的稳压二极管与硅二极管串联得到稳定电压为 6V 的等效稳压管,因为硅二极管的正向压降为 0.7V。这个方法在稳压管的实际应用中很有效,即某个稳压管的稳定电压比我们需要的稳定电压略低时,我们就可以采用串联硅二极管的办法提高稳定电压。



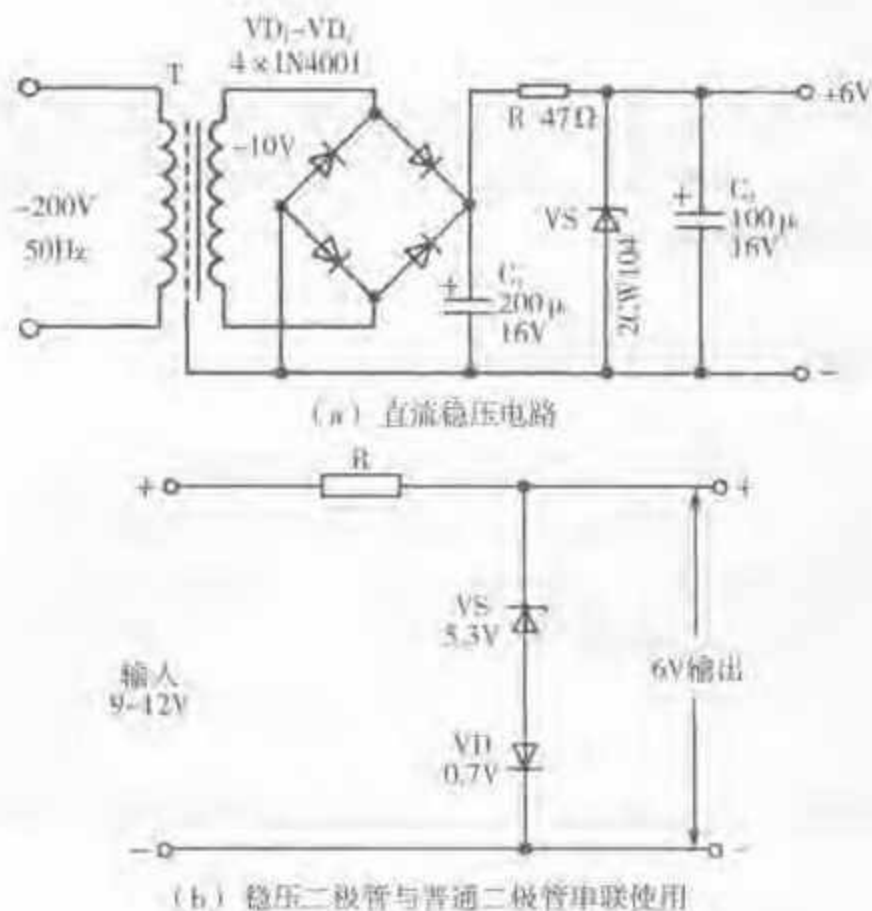


图 5-24 稳压二极管直流稳压实用电路

## 二、晶体三极管构成的串联型直流稳压电路

### 1. 电路结构

采用晶体三极管构成的串联型直流稳压电路如图 5-25 所示。

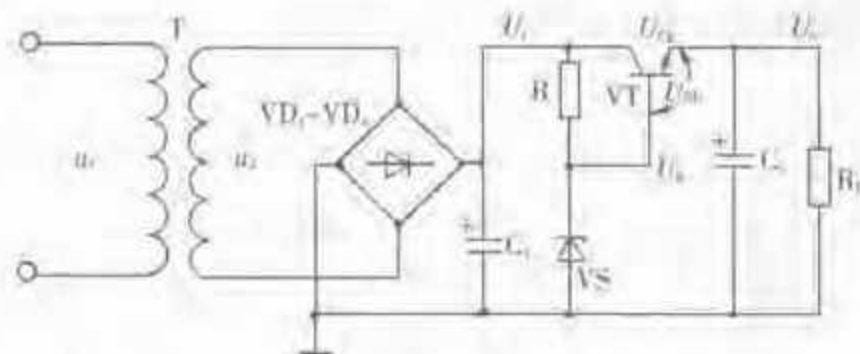
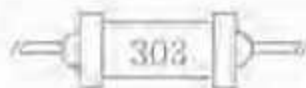


图 5-25 晶体三极管构成的串联型直流稳压电路

其中,整流滤波电路由变压器 T、二极管  $VD_1 \sim VD_4$ 、电容器  $C_1$  组成;稳压电路由晶体三极管 VT、电阻器 R、稳压二极管 VS 和电容器  $C_2$  组成; $R_L$  是负载电阻。三极管 VT 在稳压电路中起到调整电压的作用,称为调整管(也可将它视为能自动调整的可变电阻器)。它与负载电阻  $R_L$  是串联的,所以称该电路为串联型稳压电路。电阻器 R 与稳压管 VS 串联,与调整管 VT 的基极、集电极并联,所以 R 既是 VS 的限流电阻,又是 VT 的偏置电阻。稳压二极管 VS 稳定调整管 VT 的基



极电压  $U_B$ ，作为该稳压电路的基准电压。  $C_2$  主要起防振作用。

## 2. 稳压原理

从图 5-25 所示可见，整流滤波电路输入到稳压电路的直流电压为  $U_1$ ，稳压电路输出直流电压为  $U_0$ ，调整管 VT 集电极与发射极之间的压降为  $U_{CE}$ 。根据电路电压定律，它们之间的关系为：

$$U_0 = U_1 - U_{CE}$$

且调整管 VT 基极与发射极之间的电压  $U_{BE}$  为：

$$U_{BE} = U_B - U_0$$

我们知道，晶体三极管的  $U_{BE}$  和  $U_{CE}$  之间是关联的，对于图 5-25 所示的 NPN 型调整管 VT 而言， $U_{BE}$  增加则  $U_{CE}$  减小；反之， $U_{BE}$  减小则  $U_{CE}$  增加。

由此我们很容易解释稳压电路的工作原理：如果因某种原因（电网电压波动或负载电阻变化）引起稳压电路的输出电压  $U_0$  增加，由于基极电压  $U_B$  被稳压二极管稳住保持不变，因  $U_{BE} = U_B - U_0$ ，当  $U_0$  增加时会引起  $U_{BE}$  减小，而  $U_{BE}$  减小又会使  $U_{CE}$  增加，又因  $U_0 = U_1 - U_{CE}$ ， $U_{CE}$  的增加会使  $U_0$  减小，所以最终结果将使输出电压  $U_0$  上升受到限制，达到维持电压稳定的目的。此稳压过程用符号可表示为：

$$U_0 \uparrow \xrightarrow{U_B \text{ 不变}} U_{BE} \downarrow \rightarrow U_{CE} \uparrow \rightarrow U_0 \downarrow$$

相反，如果因某种原因引起稳压电路的输出电压  $U_0$  下降，则通过反馈的结果也必将使  $U_0$  下降受到限制，同样能保持输出电压的稳定。

当然，如果稳压电路的输入电压  $U_1$  太低或太高，以致超出调整管 VT 许可的工作电压，VT 不起调整作用，则输出电压  $U_0$  也就不能保持稳定了。

## 3. 应用实例

简单实用串联型直流稳压源电路如图 5-26 所示。

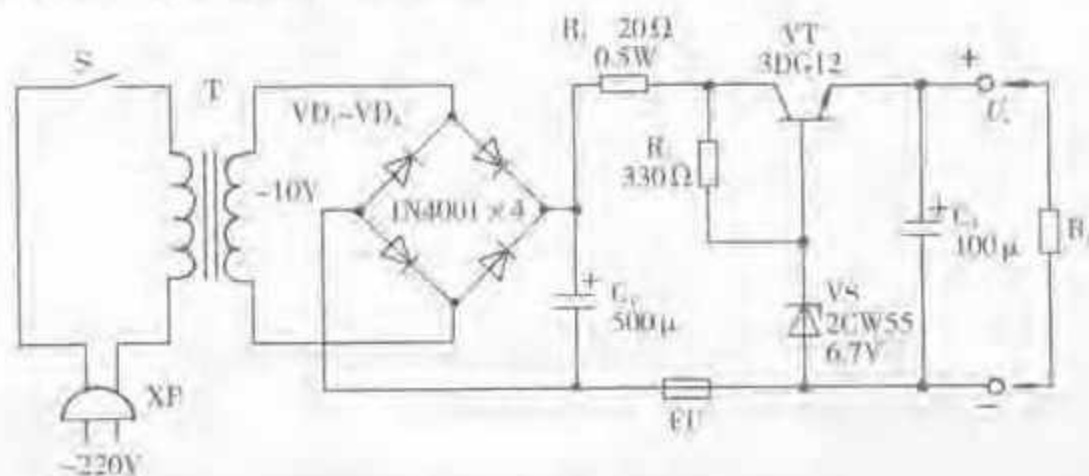


图 5-26 简单实用串联型直流稳压源电路

该稳压电源输出直流电压为 6V，最大输出电流为 100mA，可作为普通小型晶体管收音机的外接电源使用。  $C_1$ 、 $C_2$  为滤波和防振电容， $R_1$  为限流电阻，保险丝 FU 的作用是为了防止电源输出电流过大引起调整管 VT 过热而烧坏。其余各元



器件的作用与图 5-25 所示对应元器件的作用相同。

元器件选择:  $T$  用输入电压为 220V、输出电压为 10V、功率为 3~5W 的小型电源变压器;  $VD_1 \sim VD_2$  用 1N4001 型硅整流二极管(50V、1A), 也可用 2CZ53A 型整流二极管(25V、0.3A);  $VS$  用 2CW55(旧型号 2CW14)、稳定电压为 6.7V 的稳压二极管, 其最大功耗为 0.25W, 最大工作电流为 33mA, 稳定电压范围为 6.2~7.5V;  $R_1$  用 1/2W、20 $\Omega$  金属膜电阻器;  $R_2$  用 1/8W、330 $\Omega$  普通碳膜电阻器;  $C_1$  用耐压为 50V、电容量为 500 $\mu$ F 的普通电解电容器;  $C_2$  用耐压为 16V、电容量为 100 $\mu$ F 的电解电容器;  $FU$  用 125mA 直流保险丝;  $S$  用普通小型 1 $\times$ 1 电源开关。

### 三、带有放大环节的串联型直流稳压电路

#### 1. 电路结构

带有放大环节的串联型直流稳压电路如图 5-27 所示。

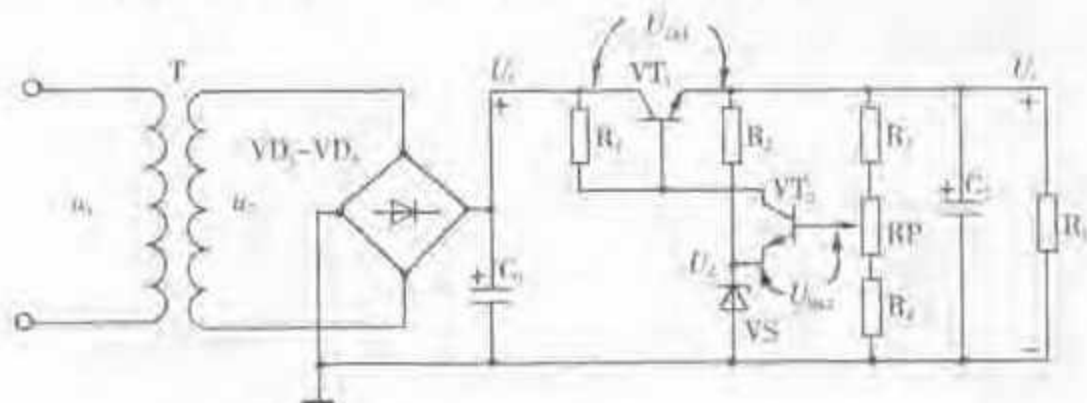


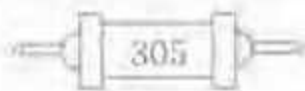
图 5-27 带有放大环节的串联型直流稳压电路

该电路由前面部分的变压器  $T$ 、二极管  $VD_1 \sim VD_4$ 、电容器  $C_1$  构成整流、滤波电路, 除负载电阻  $R_L$  外, 由后面部分的其余各元器件组成直流稳压电路。在稳压电路中, 晶体三极管  $VT_1$  为调整管, 它与负载电阻  $R_L$  串联, 通过它的集电极、发射极之间电压的变化来调整输出电压  $U_o$ , 使  $U_o$  保持稳定, 不受输入电压  $U_1$  或负载电阻  $R_L$  的变化而改变。稳压二极管  $VS$  及其限流电阻  $R_2$  构成基准电压, 成为比较放大管  $VT_2$  的发射极基准电压。 $R_3$ 、 $RP$ 、 $R_4$  构成分压器(在此也称取样电路), 它将输出电压的分压加到放大管  $VT_2$  的基极, 与发射极基准电压比较, 其电压差就是发射结电压  $U_{be2}$ , 经  $VT_2$  放大后输至调整管  $VT_1$  的基极, 用来控制调整管的工作。电阻器  $R_1$  既是放大管  $VT_2$  的集电极电阻, 又是调整管  $VT_1$  的基极偏置电阻。电位器  $RP$  可以用来调节输出电压  $U_o$  的大小。 $C_2$  为防振电容, 防止稳压电路自激振荡。

#### 2. 工作原理

从图 5-27 所示可见, 直流稳压电路的输出电压与输入电压  $U_1$  及调整管电压降  $U_{ce1}$  的关系是:

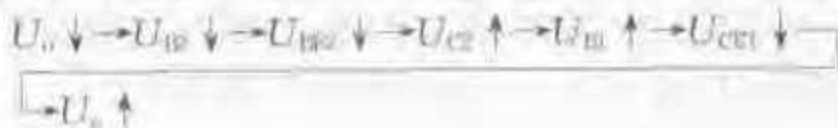
$$U_o = U_1 - U_{ce1}$$







电路在正常条件下工作时,如果电网电压波动或负载电阻的变化引起输出电压  $U_o$  下降,必将使电位器 RP 输至放大管  $VT_2$  的基极(对地)电压  $U_{B2}$  下降,于是发射结电压  $U_{BE2}$  下降,导致集电极电压  $U_{C2}$  上升。因  $VT_2$  集电极与  $VT_1$  基极连接,  $U_{C2}$  上升导致  $VT_1$  的基极电压  $U_{B1}$  上升,从而使调整管  $VT_1$  的集电极、发射极之间电压  $U_{CE1}$  下降,又因  $U_o = U_1 - U_{CE1}$ ,所以  $U_o$  上升。这一负反馈过程的结果使  $U_o$  的下降受到限制,保持  $U_o$  稳定。整个电路的稳压过程可用符号表示如下:



### 3. 实用电路

带有放大环节的可调直流稳压源电路如图 5-28 所示。该稳压源输出直流电压在 3~6V 之间可调,最大输出电流可达 480mA,可作为晶体管收音机,小功率扩音机及小型收录机等电子设备的电源。

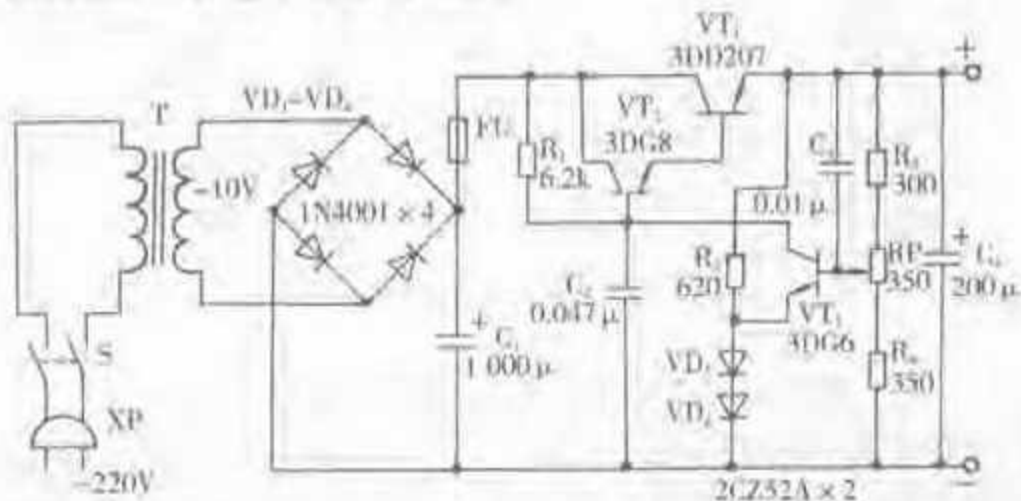


图 5-28 带有放大环节的 3~6V 可调直流稳压源电路

(1) 电路识读。从图 5-28 可知,交流 220V 电压经变压器 T 降压为交流 10V,再经二极管  $VD_1 \sim VD_4$  和电容器  $C_1$  构成桥式全波整流滤波电路后成为约 14V 的直流电压。此直流电压经保险丝 FU 加到三极管  $VT_1$ 、 $VT_2$  组成的复合调整管的集电极。三极管  $VT_1 \sim VT_2$ 、电阻器  $R_1 \sim R_5$ 、电位器 RP 和二极管  $VD_5$ 、 $VD_6$  构成带放大环节的串联型直流稳压电路。电容器  $C_2$  起防振作用并对输出稳定的直流电压再次滤波,减小直流电压输出中的纹波电压。

由  $VT_1$ 、 $VT_2$  组成复合调整管的电流放大倍数近似等于 2 只三极管电流放大倍数的乘积。调整管放大能力的增强,能有效地提高稳压电源输出的稳定度。

普通二极管  $VD_5$ 、 $VD_6$  正向串联相当于一个稳定电压为 1.4V 的稳压二极管,因为硅二极管在正常导通情况下,其正向压降为 0.7V,电流的变化对正向压降影响不大。此 1.4V 正向压降就作为稳压电路的基准电压。三极管  $VT_2$  起比较放大作用。电阻器  $R_2$ 、电位器 RP 和电阻器  $R_5$  串联组成取样电路获得误差电压,经  $VT_2$  放大,通过  $VT_1$ 、 $VT_2$  组成的复合调整管对输出电压进行调节。 $R_3$  为二极管  $VD_5$ 、 $VD_6$  的限流



电阻。R<sub>1</sub>既是复合调整管的基极偏置电阻,又是三极管VT<sub>1</sub>的集电极电阻。

通过电路分析可以知道,当电位器RP的动端滑至最上端时,稳压电源输出电压最小;当RP动端滑至最下端时,稳压电源输出电压最大。只要适当选择R<sub>2</sub>、RP、R<sub>3</sub>的阻值,就可以得到输出电压所需要的可调范围。

(2) 元器件选择。电源变压器T功率为10W,初级电压为220V,次级电压为10V(电流≥0.5A);VT<sub>1</sub>用3DD207型大功率三极管,要求电流放大系数 $h_{FE} \geq 20$ ;VT<sub>2</sub>用3DG8型小功率三极管,也可用9014型,要求 $h_{FE} \geq 100$ ;VT<sub>3</sub>用3DG6型小功率三极管,也可用9011型,要求 $h_{FE} \geq 100$ ;VD<sub>1</sub>~VD<sub>4</sub>用1N4001型硅整流二极管;VD<sub>5</sub>、VD<sub>6</sub>可用2CZ52A或2CP10型硅整流二极管;R<sub>1</sub>~R<sub>4</sub>用1/8W金属膜电阻器;RP用小型线绕电位器,也可采用小型有机实芯电位器;C<sub>1</sub>用耐压≥25V、电容量为1000 $\mu$ F的普通电解电容器;C<sub>2</sub>用耐压≥16V、电容量为200 $\mu$ F普通电解电容器;C<sub>3</sub>用0.047 $\mu$ F瓷介电容器;C<sub>4</sub>用0.01 $\mu$ F瓷介电容器;FU用0.5A直流保险丝;S用2A/250V的电源开关;XP用2A/250V电源插头。

(3) 加装散热器。在图5-28所示的直流稳压电源电路中没有给出加装散热器的要求及相关数据,但实际应用时必须考虑对该电路的大功率三极管VT<sub>1</sub>加装散热器。具体要求按稳压电源工作时VT<sub>1</sub>最大耗散功率而定。

设电网电压有10%的波动,所以图5-28所示的桥式整流滤波电路输出电压最大值为15.5V,当稳压电源输出电压调至最低为3V时,调整管VT<sub>1</sub>集电极电压将达到最大值为12.5V。因此,满载电流480mA时VT<sub>1</sub>最大耗散功率为 $12.5V \times 480mA = 6.0W$ 。建议用1.5mm厚铝板做成稳压电源的机壳,只要机壳总面积≥17000mm<sup>2</sup>,那么机壳就可兼作散热器使用。其安装方法如图5-29(a)所示,最好在薄膜绝缘层上涂少许硅油,减少调整管与金属机壳之间的热阻,便于更好地散热。

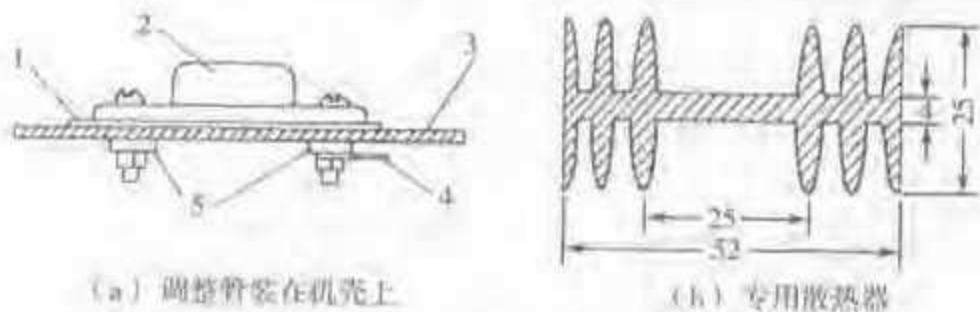


图 5-29 机壳兼作散热器和专用散热器

1-云母片或聚酯薄膜绝缘层;2-大功率三极管;3-金属机壳;4-焊片;5-绝缘垫套

也可采用如图5-29(b)所示专用散热器的一种(型材散热器XC766-1型),这种散热器的长度可按需要自由截取。对应于6W的耗散功率,建议散热器总体积应不小于25500mm<sup>3</sup>。

大功率晶体三极管加装散热器与否,其实际耐耗散功率相差可达10~30倍。





### 第三节 固定式集成稳压器应用电路

集成稳压器是将串联型直流稳压电路以及过热、过流等保护电路都集成在一块半导体硅基片上,具有体积小、稳压性能好、可靠性高、安装使用方便等优点,如图 5-30 所示。



图 5-30 集成稳压器的优点

#### 一、7800 系列三端固定式集成正稳压器应用电路

7800 系列(国产为 CW7800 系列)三端固定式集成正稳压器有 7805 型、7806 型、7809 型、7812 型、7815 型、7818 型、7824 型等,它们的标称稳定电压分别为 5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V。对允许偏差为  $\pm 5\%$  而言,如标称稳定电压为 5V,实际稳定电压在 4.8~5.2V 范围都认为合格;又如标称稳定电压为 24V,实际稳定电压在 22.8~25.2V 也都认为合格。

##### 1. 应用电路结构

7800 系列集成稳压器基本应用电路如图 5-31 所示。

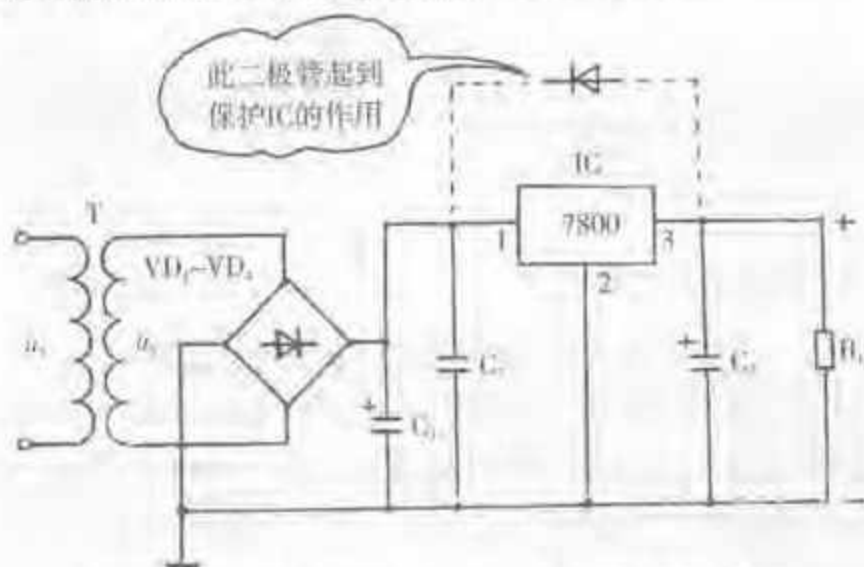
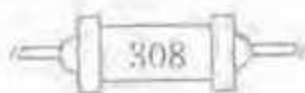


图 5-31 三端固定式集成正稳压器基本应用电路





由图可见,交流电网电压经变压器 T 降压后,再经二极管  $VD_1 \sim VD_4$  全波整流并经电容器  $C_1$  滤波、电容器  $C_2$  消振,将整流滤波电路输出的直流电压加到集成稳压器的输入端(1脚),集成稳压器的公共端(2脚)接地,其输出端(3脚)与“地”之间并接一只防振电容  $C_3$ 。

### 2. 元器件的选择

整流二极管  $VD_1 \sim VD_4$  可选用 1N5100 型(反向峰值电压为 50V,额定正向整流电流为 1.5A),如果实际工作电流不超过 1A,也可选用 1N4001 型(50V、1A)。

滤波电容  $C_1$  一般取 1 000~3 300 $\mu$ F,耐压为 50V 的电解电容器。消振电容  $C_2$  取 0.33 $\mu$ F,耐压 $\geq$ 50V 的瓷介电容器(无极性)。若集成稳压器的装配位置与滤波电容  $C_1$  相近,则  $C_2$  可省;倘若与  $C_1$  相距较远,如电子设备中含几个分机或多块印制电路板,且各分机由各自的集成稳压器供电,以防电源内阻造成的串扰,这时每块集成稳压器均应装接  $C_2$ ,且应装在集成稳压器附近。 $C_3$  也是消振电容,一般可取电容量为 0.1 $\mu$ F,耐压 $\geq$ 50V 的瓷介电容器。也有的电路选取  $C_3$  的电容量为 1~47 $\mu$ F,其优点是提高稳压电源的脉冲响应,可输出较大的脉冲电流,缺点是一旦集成稳压器的输入电压消失,电容量较大的  $C_3$  将从稳压器的输出端向稳压器放电,可能损坏稳压器。如图 5-31 的虚线所示,若在集成稳压器的输出、输入端之间跨接一只二极管,则可起到保护作用。

### 3. 变压器次级电压的选择

7800 系列集成稳压器要求输入、输出电压差不小于 2V,才能保证工作正常。换句话说讲,输入到稳压器的直流电压应比其输出电压至少高 2V。例如,CW7805 型的稳定电压为 5V(典型值),最小输入电压为  $5V+2V=7V$  才行,一般要求输入电压为 10V。因此,不同输出电压的集成稳压器,要求电源变压器次级电压也不同,见表 5-3。

表 5-3 7800 系列集成稳压器应用电路变压器次级电压

系 列	7800 系列(1.5A)						
型 号	7805	7806	7809	7812	7815	7818	7824
输出电压(V)	+5	+6	+9	+12	+15	+18	+24
变压器次级电压(V)	9	10	13	17	20	23	29

注:本表也可供 78L00 系列(100mA)及 78M00 系列(0.5A)集成稳压器应用电路参考。

7800、7900 系列三端固定式集成稳压器的外形如图 5-32 所示。



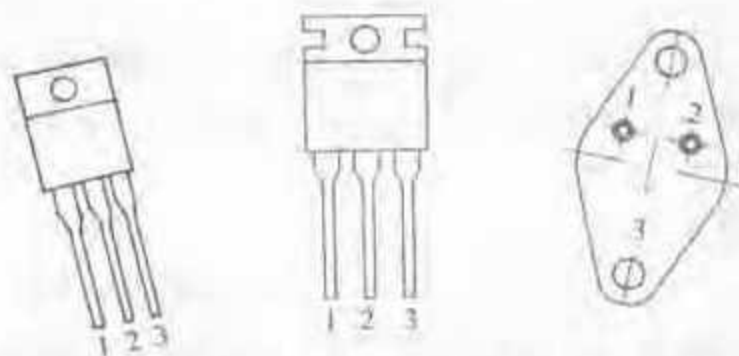


图 5-32 7800、7900 系列三端固定式集成稳压器的外形

## 二、7900 系列三端固定式集成负稳压器应用电路

7900 系列(国产为 CW7900 系列)三端固定式集成负稳压器有 7905 型、7906 型、7909 型、7912 型、7915 型、7918 型、7924 型等,它们的标称稳定电压分别为  $-5\text{V}$ 、 $-6\text{V}$ 、 $-9\text{V}$ 、 $-12\text{V}$ 、 $-15\text{V}$ 、 $-18\text{V}$ 、 $-24\text{V}$ 。对允许偏差为  $\pm 5\%$  的稳压器而言,如标称稳定电压为  $-6\text{V}$ ,实际稳定电压在  $-6.30\sim-5.70\text{V}$  范围都认为合格;又如标称电压为  $-18\text{V}$ ,实际稳定电压在  $-18.9\sim-17.1\text{V}$  范围也都认为合格。

7900 系列集成负稳压器基本应用电路如图 5-33 所示。由图可见,应用电路结构除电容极性和稳压器引脚连接有所不同外,其余都相同。需要注意的是:7900 系列集成稳压器的输入端是 2 脚,公共端是 1 脚,这与 7800 系列不同。其余元器件的选择可参照前面 7800 系列应用电路的介绍,这里不再重复说明。

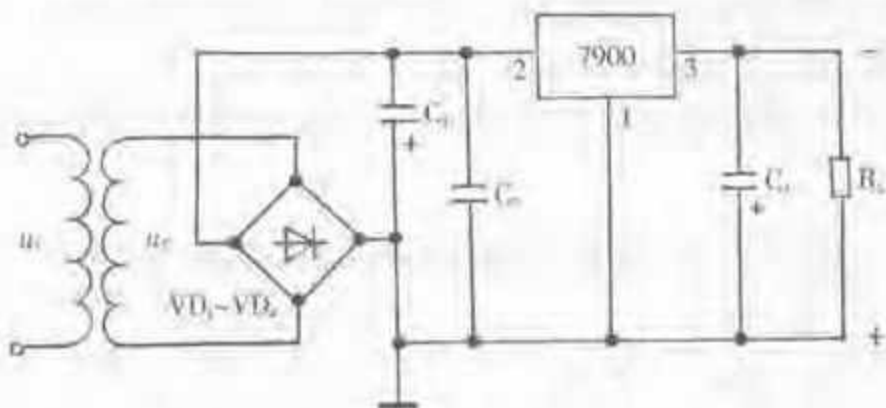


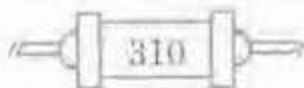
图 5-33 三端固定式集成负稳压器基本应用电路

7900 系列集成稳压器应用电路变压器次级电压的选取见表 5-4。

表 5-4 7900 系列集成稳压器应用电路变压器次级电压

系 列	7900 系列(1.5A)						
型 号	7905	7906	7909	7912	7915	7918	7924
输出电压(V)	-5	-6	-9	-12	-15	-18	-24
变压器次级电压(V)	9	10	13	17	20	23	29

注:本表也可供 79L00 系列(100mA)及 79M00 系列(0.5A)集成稳压器应用电路参考。





### 三、集成稳压器的组合应用

三端固定式集成正、负稳压器可以组合使用,构成多电压输出的稳压电路,如图 5-34 所示为 2 块集成稳压器的组合应用。

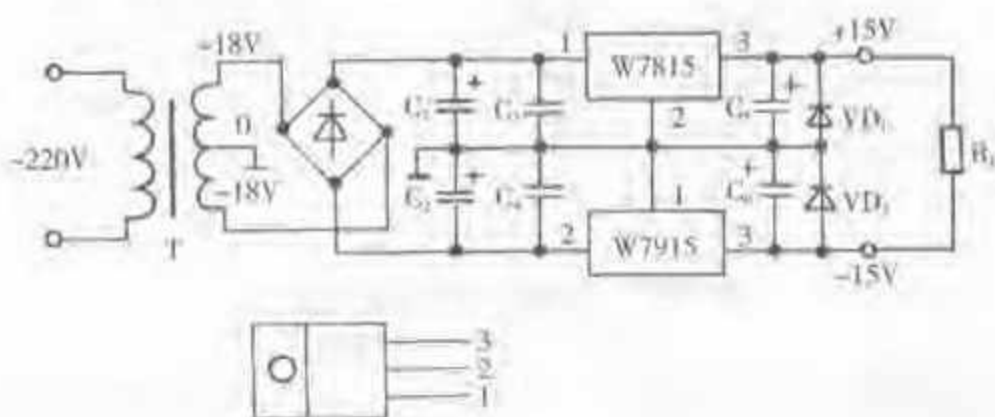


图 5-34 2 块集成稳压器的组合应用

它由 W7815 型和 W7915 型组合成输出为 +15V 和 -15V 的稳压电路。这种典型的用法对 W78(79)00 系列的其他型号也适合,但中心抽头式变压器次级电压应按型号不同而有所不同,见表 5-3、表 5-4。

作为全波桥式整流电路的滤波电容  $C_1$ 、 $C_2$  可用容量为 3 300 $\mu$ F、耐压为 50V 的普通电解电容器。起消振作用的电容器  $C_3$ 、 $C_4$  (应安装在集成稳压器附近) 一般可用耐压  $\geq 30$ V、容量为 0.33 $\mu$ F 的瓷介电容器(无极性)。 $C_1$ 、 $C_2$  可用耐压  $\geq 25$ V、容量为 0.1~1 $\mu$ F 的电容器。

必须强调,78(79)00 系列集成稳压器手册给出的最大输出电流为 1.5A,这是在足够的散热条件下测得的。若不加装散热器,该系列稳压器输出电流只能达到 0.35A 左右。

图中  $VD_1$ 、 $VD_2$  可选用 1N5100 型硅整流二极管(1.5A、50V),对集成稳压器起保护作用。在正常情况下, $VD_1$ 、 $VD_2$  均处在反向截止状态,不影响电路正常工作。如果其中某一个稳压器如 W7915 的输入电压未接入,这时 W7815 的输出电压将通过外接负载  $R_L$  接到 W7915 的输出端,使二极管  $VD_2$  正向导通,将 W7915 输出端电压钳位在 0.7V(硅二极管的正向压降),从而保证 W7915 不至于损坏。如果不接保护二极管,W7815 输出电压通过外接负载  $R_L$  加到 W7915 的输出端,将使 W7915 烧毁。

### 四、低压差集成稳压器应用电路

#### 1. 低压差集成稳压器简介

低压差集成稳压器优点显著,如图 5-35 所示。

我们知道,集成稳压器正常工作条件之一是输入电压必须高于输出电压,并要求其最小电压差达到规定值,否则不能保证稳压效果。如 7800、7900 系列集成稳压器输入、输出电压差最小为 2V,实际应用电路常取 4V 左右,以便电网电压下

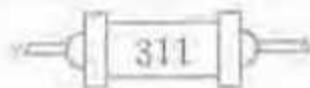




图 5-35 低压差集成稳压器的优点

1-输入端;2-接地端;3-输出端

降时仍能满足输入、输出电压差 $\geq 2\text{V}$ 的条件。但是当集成稳压器的电压差加大时,必然使其消耗功率增大,造成稳压电源效率下降。这不仅会使稳压电源成为一个大的热源,还会影响其他电路的稳定性。低压差集成稳压器的面市,解决了上述问题,其电压差最小值一般仅为 $0.3\sim 0.6\text{V}$ ,因此尤其适用于由电池供电的电子设备使用,可以延长电池的使用寿命。

## 2. 低压差集成稳压器应用电路

2930 型低压差集成稳压器基本应用电路如图 5-36 所示。

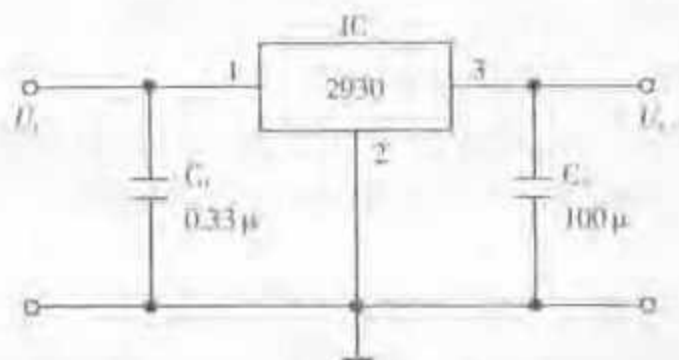
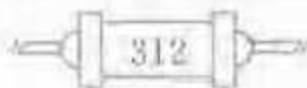


图 5-36 2930 型低压差集成稳压器基本应用电路

1-输入端;2-接地端;3-输出端

可见,其基本应用电路结构与 7800 系列三端固定式集成稳压器相同。图中表明稳压器的输出端并联  $100\mu\text{F}$  普通电解电容器,以保证稳压器工作更加稳定可靠。稳压器的最大输入电压不允许超过  $26\text{V}$ ,其中 2930-5 型输出电压为  $5\text{V}$ ,2930-8 型输出电压为  $8\text{V}$ 。它们的最大输出电流可达  $150\text{mA}$ ,最小输入、输出电压差为  $0.32\sim 0.6\text{V}$ ,器件内部还设有过流、过压和输入反接保护电路,因此使用相当安全可靠。

2935 型低压差集成稳压器基本应用电路如图 5-37 所示。它有 2 组电压输出:主路输出电压  $U_{o1}$  为  $5\text{V}$ ,输出电流可达  $750\text{mA}$ ,输入、输出电压差  $< 0.6\text{V}$ ,可保证输出电压的稳定性,芯片内部有过流、过热及输入电压保护电路;辅路输出电压





$U_o$  也是 5V, 但输出电流只有 10mA。利用 2935 型低压差集成稳压器具有控制端 (4 脚) 的特点, 可以手控或电路控制主路输出电压的有无。同时, 4 脚电平高低可作为主电路电压源工作状态的标志, 当主路工作正常时 4 脚为高电平 (5V); 当主路发生过流、过热或输入电压过低等故障时, 4 脚为低电平。

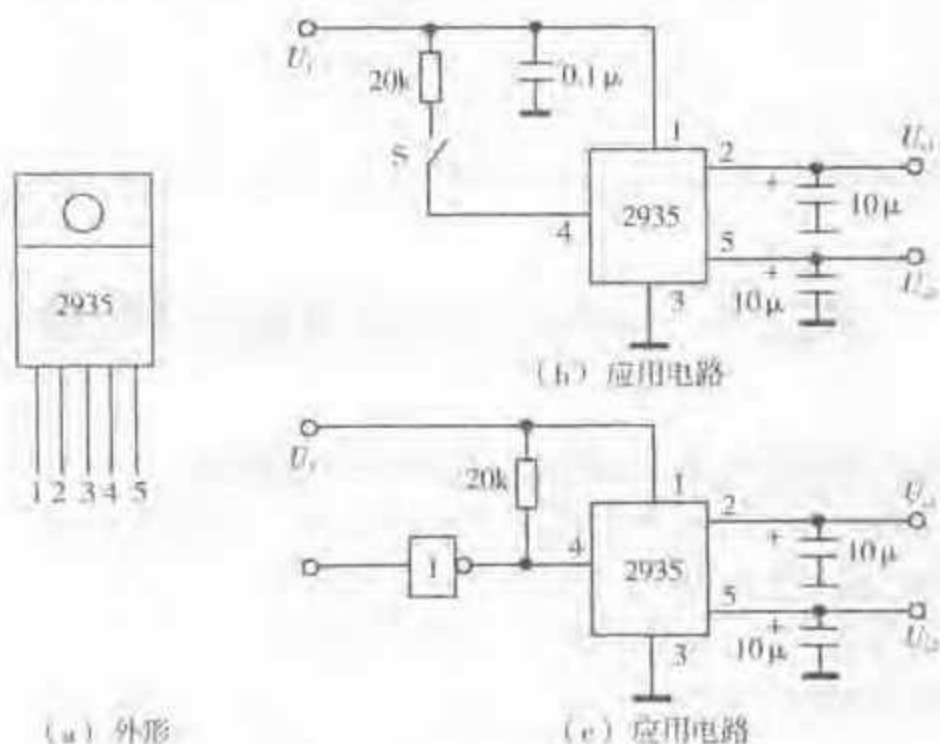


图 5-37 低压差双路集成稳压器 2935 型外形及应用电路

1—输入端; 2—主路输出端; 3—接地端; 4—控制端; 5—辅路输出端

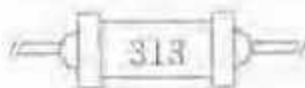
2935 型低压差双路集成稳压器的外形如图 5-37(a) 所示, 图 5-37(b) 所示为手控主电路输出电压的有无, 图 5-37(c) 所示为电路控制主电路输出电压的有无 (与 4 脚串联的反相器起阻抗变换作用)。由此可见, 低压差集成稳压器的实际使用也相当方便。

### 3. 低压差集成稳压器主要参数

部分固定式低压差集成稳压器的主要参数见表 5-5, 可供读者选用时参考。

表 5-5 部分固定式低压差集成稳压器主要参数

型号	参数	输出电压 (V)	最大输出电流 (mA)	电压差 (V)	最大输入电压 (V)	引脚数
2930-5		5	150	0.32~0.6	26	3
2930-8		8	150	0.32~0.6	26	3
2936		5	(1)750 (2)10	<0.6	26	5
LM330		5	150	<0.6	26	3







续表

型号	参数	输出电压 (V)	最大输出电流 (mA)	电压差 (V)	最大输入电压 (V)	引脚数
2940-5		5	1500	0.32	26	3
2940-8		8	4500	0.32	26	3
$\mu$ PC2405		5	1000	1.0	20	3
$\mu$ PC2418		18	1600	1.0	33	3

## 第四节 可调式集成稳压器应用电路

### 一、W317 型可调式三端集成稳压器应用电路

W317 为输出正电压可调式集成稳压器(民用),输出电压在 1.2~37V 之间连续可调,最大输出电流为 1.5A。另外有 317M 型(0.5A)、317L 型(0.1A),它们除最大输出电流不同外,其余特性与 W317 型相同。

W317 型可调集成稳压器外形及应用电路如图 5-38 所示。

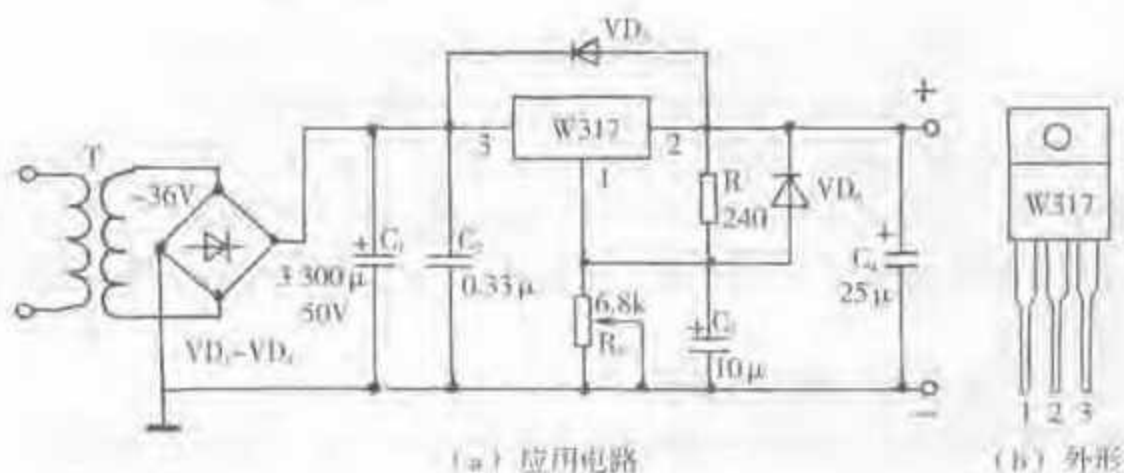


图 5-38 W317 型可调式集成稳压器外形及应用电路

图中整流滤波电路(变压器 T、二极管  $VD_1 \sim VD_4$  组成全桥以及滤波电容  $C_1$ 、消振电容  $C_2$ )的作用与前面介绍的 7800 系列三端固定式集成稳压器应用电路相同。明显不同之处是在 W317 型可调式集成稳压器的调整端(1 脚)与输出端及地之间分别接了一个电阻器 R 及电位器  $R_P$ ,用来调整集成稳压器的输出电压,使稳压器的输出电压连续可调。该电位器  $R_P$  可调节电阻  $R_1$ ,与电阻器 R 构成分压电路,可连续调节稳压器调整端对地之间的电位。输出电压  $U_0$  与  $R_1$  和 R 的关系为:

$$U_0 = 1.25(1 + R_1/R)$$





当  $R_P$  为零时,稳压器输出电压  $U_o$  为最低值,即等于基准电压  $1.25\text{V}$ ;当  $R_P$  为最大值( $6.8\text{k}\Omega$ )时,可知  $U_o = 1.25(1 + 6.8 \times 10^3 / 240) \approx 35(\text{V})$ 。显然,稳压器输出电压最低时它的输入、输出端之间的压降最大,因此在同样的负载电流下稳压器的功耗也最大,导致稳压器发热更严重。为此,在实用性可调稳压电路中,常采用输入、输出电压分挡的办法,即采用抽头式变压器和双联选择开关,使得最大输出电压较低时输入电压也较低,从而有效地降低集成稳压器本身的功耗,同时准许加装体积较小的散热器。

图中  $VD_3$ 、 $VD_4$  为稳压器的保护二极管,当稳压器的输入端断电时,电容器  $C_1$  会向稳压器放电,二极管  $VD_3$  起到短接稳压器输出、输入端的作用,防止稳压器因电容器  $C_1$  放电而损坏。二极管  $VD_4$  是为防止稳压器的输出端短路时因电容器  $C_2$  放电而损坏稳压器。

## 二、W337 型可调式三端集成稳压器应用电路

W337 为输出负电压可调式集成稳压器(民用),输出电压可调范围为  $-(1.2 \sim 37)\text{V}$ ,最大输出电流为  $1.5\text{A}$ 。另外有 337M 型( $0.5\text{A}$ )、337L 型( $0.1\text{A}$ ),它们除最大输出电流不同外,其余特性与 W337 型相同。

W337 型可调式集成稳压器外形及应用电路如图 5-39 所示。

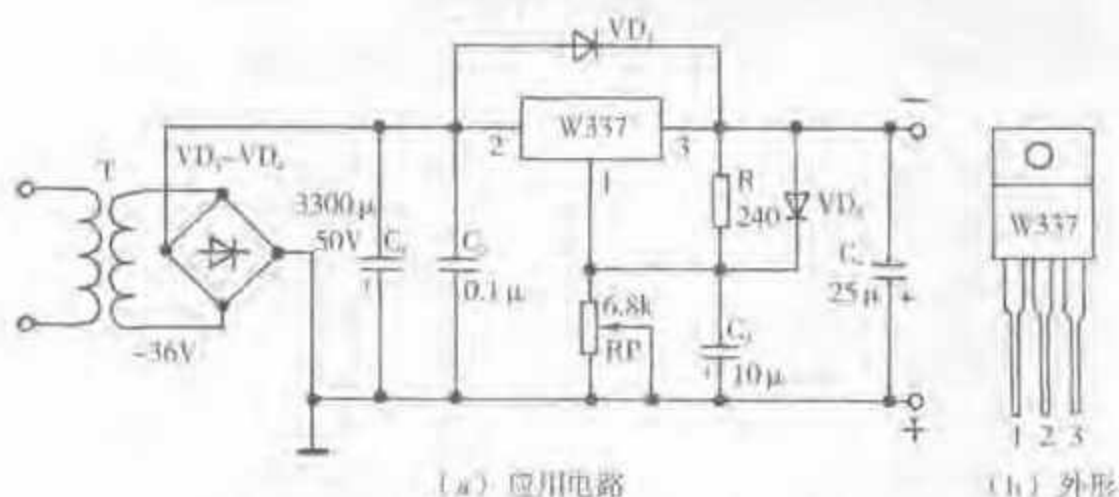


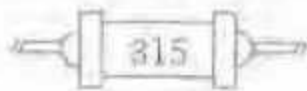
图 5-39 W337 型可调式集成稳压器外形及应用电路

由图可见,W337 的应用电路除引脚接法与 W317 有所不同,保护二极管及电容器极性接法有所不同外,图 5-39 与图 5-38 所示电路结构完全相同。因此,图 5-39 所示应用电路中各元器件的作用也与图 5-38 所示基本相同。

同理,为有效降低输出负电压可调在集成稳压器上的功耗,W337 的实用电路也常采用抽头式变压器和双联选择开关,将输入、输出电压同时分为好几挡(如每隔  $6\text{V}$  为一挡)。

## 三、可调式集成稳压器的组合应用

现以 W317 型和 W337 型可调式集成稳压器为例,它们的基本组合应用电路如图 5-40 所示。可见,它基本上是由图 5-38 和图 5-39 所示应用电路组合而成,但





电源变压器必须采用中心抽头式变压器。

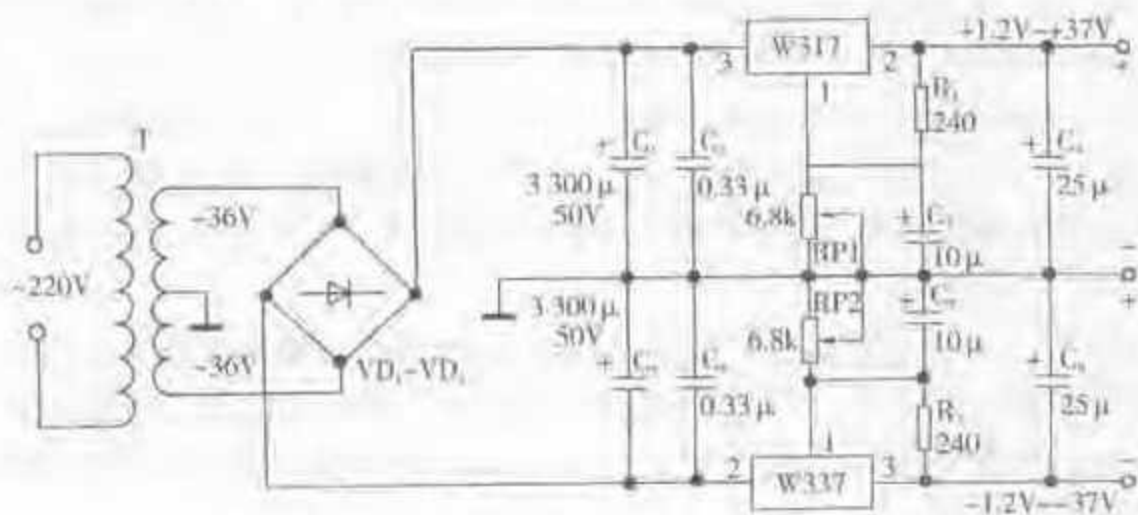


图 5-40 可调式集成稳压器组合应用电路

稳压器如要输出较大的电流,必须附加安装符合要求的散热器。为了降低在集成稳压器上的功耗,在实用组合式稳压电源中,常采用多抽头式电源变压器和多联选择开关,将输入、输出电压分为多挡(一般每升高 5~6V 加一档)。为便于学习识图,在图 5-38 至图 5-40 所示电路中都没有画出分挡电路。

#### 四、低压差可调式集成稳压器应用电路

现以 4920 型低压差可调式集成稳压器图 5-41 所示为例作一介绍。

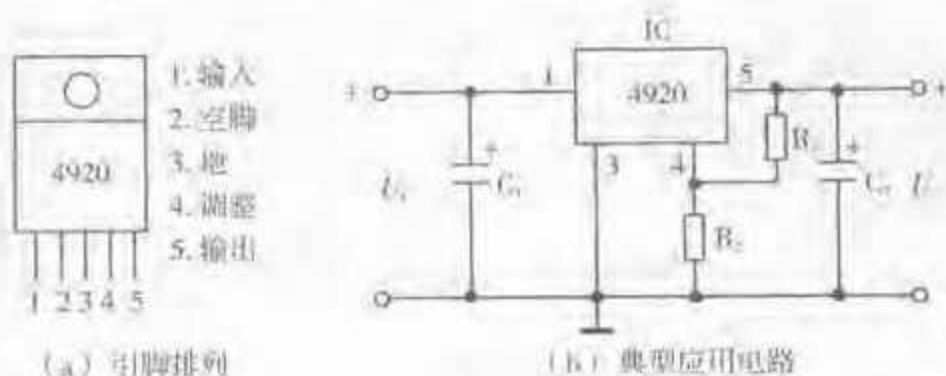


图 5-41 4920 型低压差可调式集成稳压器外形及应用电路

(a) 输入直流电压:  $U_1$ , 输出直流稳定电压:  $U_2$ ;  $U_1 - U_2$  输入、输出电压差

由图 5-41(a) 所示可知, 4920 型低压差可调式集成稳压器有 5 个引脚: 1 脚为输入端, 2 脚是空脚, 3 脚为公共地端, 4 脚为调整端, 5 脚为输出端。图 5-41(b) 所示为 4920 型低压差可调集成稳压器典型应用电路, 适当改变  $R_1$ 、 $R_2$  的阻值, 可使稳定电压输出在 1.25~25V 范围内调整, 最大输出电流可达 0.4A。当输出电流在 10mA~0.4A 时, 其输入、输出电压差仅为 0.05~0.4V, 且器件内部具有过流、过压、过热保护电路。因此, 4920 型低压差可调式稳压器有效地降低了器件本身的热损耗, 提高了电源效率和使用寿命, 尤其适用于由电池供电且需要稳压的设备。





低压差可调式集成稳压器的主要参数见表 5-6。

表 5-6 低压差可调式集成稳压器主要参数

型 号	参 数	输出电压 (V)	最大输出电流 (mA)	电压差 (V)	输入电压 (V)	引脚数
4920		1.25~20	400	0.2~0.4	5.2~26	5
7663		1.2~15	40	0.3	1.6~16	8

注:4920 型内部含有过压和反转保护、减流型过流保护、热保护电路。7663 型为 CMOS 类低功耗稳压器,静态电流小于  $1\mu\text{A}$ ,功耗为  $200\text{mW}$ ,有外接的逻辑控制和限流关闭端。

## 第五节 集成基准电压源应用电路

### 一、集成基准电压源简介

集成基准电压源目前已成为电源集成电路中的一个系列,品种也很多,其固定输出电压分为  $1.2\text{V}$ 、 $2.5\text{V}$ 、 $5\text{V}$ 、 $7\text{V}$ 、 $10\text{V}$  等。其中 LM199、LM299、LM399(国产为 CW199、CW299、CW399)的电压温度漂移小,性能佳,输出基准电压标称值为  $6.95\text{V}$ 。

部分集成基准电压源主要参数见表 5-7。

表 5-7 部分集成基准电压源主要参数

型 号	参 数	输出电压 (V)	输出 电压误差 (%)	温度漂移 (ppm/°C)	最大 输入电压 (V)	工作温度 (°C)	管脚数
AD589M		1.23		10	(最大工作 电流 $10\text{mA}$ )	$0\sim 70$	3
$\mu\text{PC}1060\text{D}$		2.5	$\pm 1$	40	40	$-20\sim +80$	3
LM368		2.5	$\pm 0.2$	11	35	$0\sim 70$	4
REF-02		5	$\pm 0.3$	3	33	$-55\sim +125$	5
LM199A		6.95	$\pm 2$	0.5	40	$-55\sim +125$	4
LM299A		6.95	$\pm 2$	0.5	40	$-25\sim +85$	4
LM399A		6.95	/	1	40	$0\sim +70$	4
REF-01		10	$\pm 0.3$	3	33	$-55\sim +125$	5
MAX672M		10	$\pm 0.05$	2	40	$-55\sim +125$	4

注:1.  $1\text{ppm}=1\times 10^{-6}$ ,即相当百万分之一。

2. LM199/299/399 内含温度稳定化电路。

3. 表中管脚数是指空脚(NC)除外而言。



部分集成基准电压源引脚排列如图 5-42 所示。

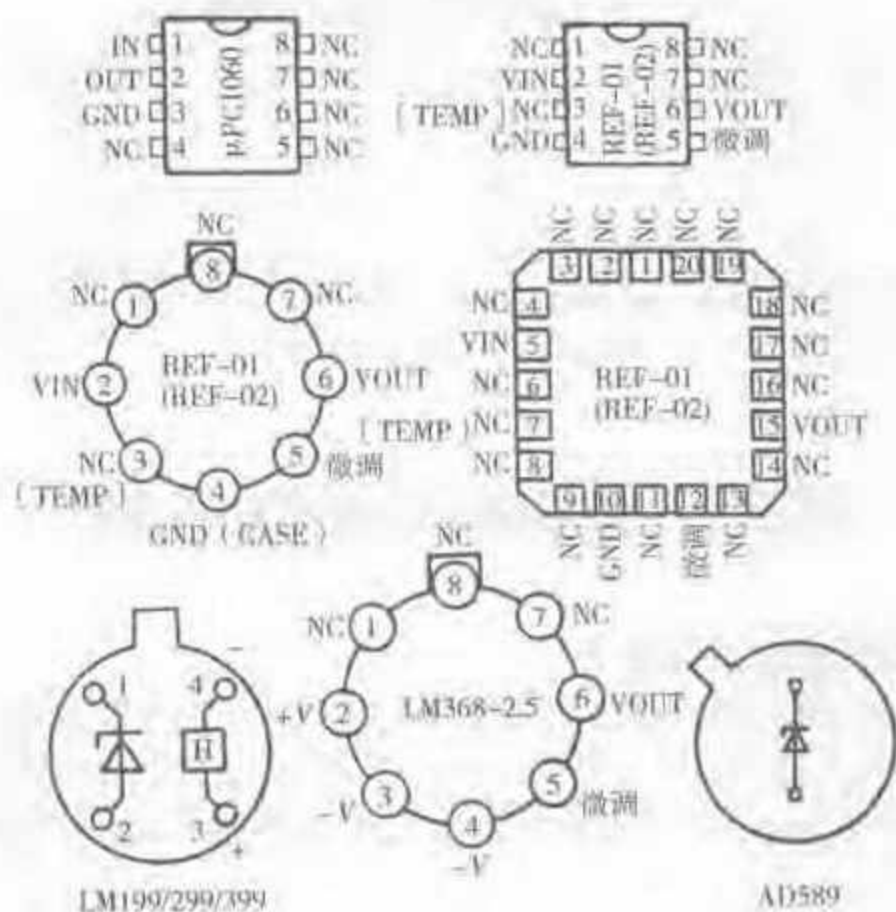


图 5-42 部分集成基准电压源引脚排列

VIN-电压输入端;VOUT-电压输出端;GND(CASE)-地(公共)端;IN-输入端;  
OUT-输出端;NC-空脚;TEMP-输出电压随温度线性变化的引出端

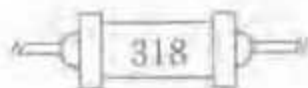
图中的 LM199/299/399 型集成基准电压源目前还有 LM199A/299A/399A 以及 LM199AH-20/299AH-20/399AH-50 型等,它们的参数略有不同,但引脚排列相同。

## 二、LM399 型集成基准电压源应用电路

### 1. LM399 型集成基准电压源的结构原理

LM399 型集成基准电压源的结构原理与 LM199、LM299 型相同,其内部电路可分为基准电压和恒温电路两部分,如图 5-43(a)所示,图中 H 表示恒温器。其引脚排列如图 5-43(b)所示,1 脚、2 脚分别为基准电压源的正、负极,3 脚、4 脚之间一般外接 9~14V 直流电压,3 脚接正极,4 脚接负极。

LM399 型集成基准电压源的基准电压是由新型隐埋式稳压管提供,它具有温度漂移小、噪声电压低、动态电阻小、寿命长等优点。动态电阻典型值为  $0.5\Omega$ ,工作电流范围为  $0.5\sim 10\text{mA}$ 。其内部的恒温电路能把芯片温度自动调节到  $90^\circ\text{C}$ ,原则上说,只要环境温度低于  $90^\circ\text{C}$ ,就能自动消除环境温度变化对基准电压的影响。



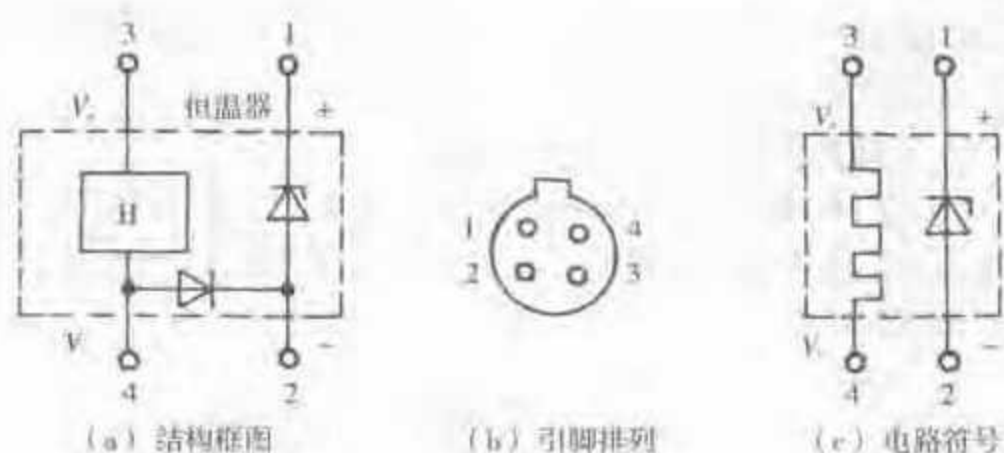


图 5-43 LM399 型集成基准电压源的结构、引脚排列和电路符号

LM399 型集成基准电压源的电压温度漂移  $\leq 2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , 长时间稳定性典型值为  $20 \times 10^{-6} / 1000\text{h}$ , 最大反向电流为  $20\text{mA}$ , 工作温度为  $0 \sim +70^\circ\text{C}$ , 输入、输出端最大电压差为  $40\text{V}$ 。

## 2. 由 LM399 型集成基准电压源构成的可调基准电压源电路

采用 LM399 型集成基准电压源外接少量元件就能构成  $0 \sim 6.95\text{V}$  范围可调的基准电压源电路, 如图 5-44 所示。

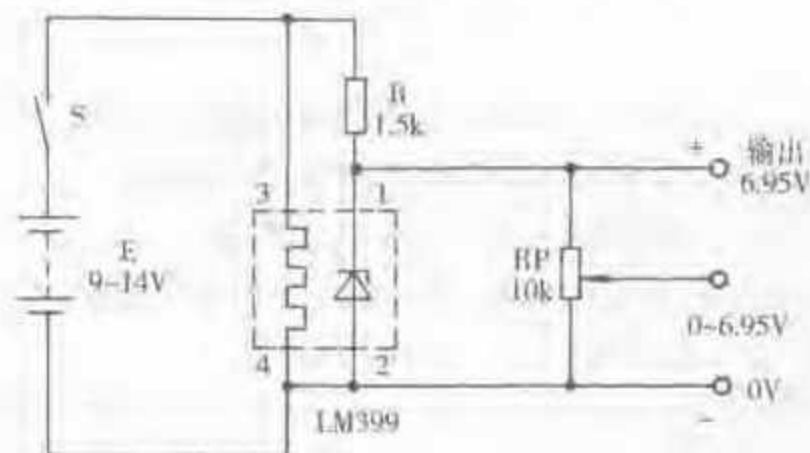


图 5-44 LM399 型集成基准电压源应用电路

从图可知, 基准电压由 LM399 型集成基准电压源产生。R ( $1.5\text{k}\Omega$ ) 为限流电阻, 限制工作电流不超过  $10\text{mA}$ 。LM399 的 3 脚、4 脚之间外接直流电压  $9 \sim 14\text{V}$ 。电位器 RP ( $10\text{k}\Omega$ ) 两端与 LM399 的 1 脚、2 脚并联, 标称阻值可取 R 阻值的 10 倍左右, 其滑动触头作为可调输出电压端。因此, 该电路除能输出固定值为  $6.95\text{V}$  的基准电压外, 调节电位器 RP 的滑动端, 即可获得  $0 \sim 6.95\text{V}$  范围内任意输出电压。

基准稳压源集成电路也可用 LM199 型、LM299 型或国产 SJ399、SW399 型。R 可用  $1/8\text{W}$  金属膜电阻器, RP 用  $10\text{k}\Omega$  精密多圈电位器。电源可用 8 节 5 号电池串联成  $12\text{V}$  使用, 或用 2 块 4F22 型叠层电池 ( $6\text{V}$ ) 串联为  $12\text{V}$ , 也可用  $12\text{V}$  的直流稳压电源 (要求该电源的纹波电压必须很小, 且接地线尽量短以防干扰)。



使用基准电压源时注意环境温度应在器件规定的工作温度范围之内(LM399 型为  $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ ),放置位置应尽量远离发热元器件。

### 3. LM399 型集成基准电压源的串联使用

用 2 个 LM399 型集成基准电压源电路串联,可以得到基准电压标称值为  $13.90\text{V}$  的输出,电路连接方法如图 5-45 所示。同理,LM399 型也可用国产 SW399、SJ399 型等取代。

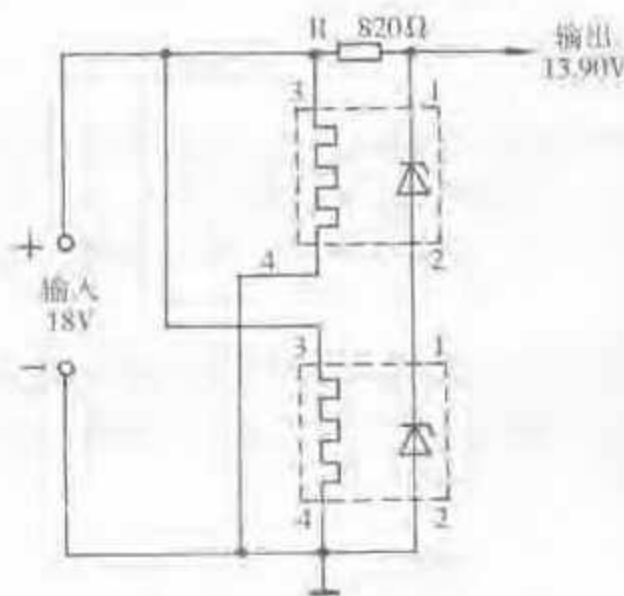


图 5-45 LM399 型基准电压源串联应用电路

## 三、CW1403/1503 型集成基准电压源应用电路

### 1. CW1403/1503 型集成基准电压源的主要性能

CW1403 型、CW1503 型为三端式基准源,它无需外部电路,应用时只要接上供电电源就可输出  $2.5\text{V}$  基准电压,使用更加方便。

其主要技术指标:输入电压范围为  $4\sim 40\text{V}$ ;工作电流为  $1\sim 2\text{mA}$ ,输出基准电压为  $2.5\text{V}$ ;电压温度系数为  $10\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  (CW1403 型);输入电压在  $4.5\sim 15\text{V}$  范围时电压调整率为  $0.6\text{mV}$ ,输入电压在  $15\sim 40\text{V}$  范围时电压调整率为  $1.2\text{mV}$ ;工作电流在  $0\sim 10\text{mA}$  时电流调整率为  $10\text{mV}$ ;CW1503 型的工作温度范围为  $0\sim +70^{\circ}\text{C}$ ,CW1403 型的工作温度范围为  $-55\sim +125^{\circ}\text{C}$ 。(注)

### 2. CW1403/1503 型集成基准电压源应用电路

CW1403 型、CW1503 型采用 8 脚双列直插式封装,如图 5-46(a)所示,1 脚为输入端,2 脚为输出端,3 脚为公共地端,其余为空脚(NC)。它的基本应用电路十分简单,如图 5-46(b)所示。只要在 1 脚(+),3 脚(-)间接上  $4.5\sim 15\text{V}$  的直流电压(纹波应很小),就可在 2 脚与 3 脚之间得到  $2.5\text{V}$  的基准电压。

注:一般讲,调整率大小应用相对值表示,从而可算出电压调整率为  $0.6\text{mV}/2.5\text{V}=2.4\times 10^{-4}$ ,电流调整率为  $10\text{mV}/2.5\text{V}=4.0\times 10^{-3}$ 。但不同技术资料中表示方法不尽相同。



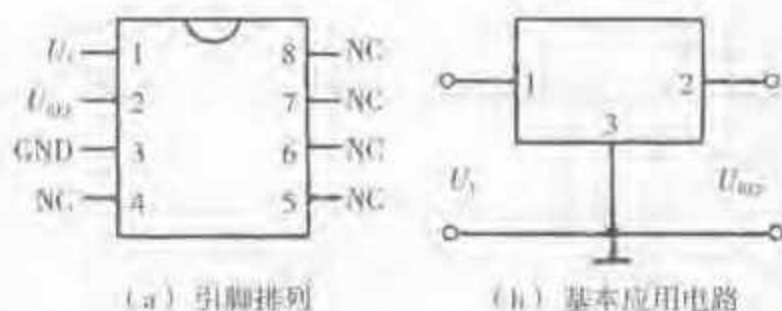


图 5-46 CW1043/1503 型引脚排列及基本应用电路  
 $U_i$  输入直流电压;  $U_{ref}$  输出基准电压; GND 公共地; NC 空脚

#### 四、CW580 型集成基准电压源应用电路

##### 1. CW580 型集成基准电压源的主要性能

CW580 型也是输出为 2.5V 的三端式基准电压源, 采用圆金属壳封装, 引脚排列如图 5-47(a) 所示。其主要技术指标和 CW1403/1503 类似。

##### 2. CW580 型集成基准电压源应用电路

CW580 型集成基准电压源的基本应用电路如图 5-47(b) 所示。可见, 其连接方法与 CW1403/1503 型相同。

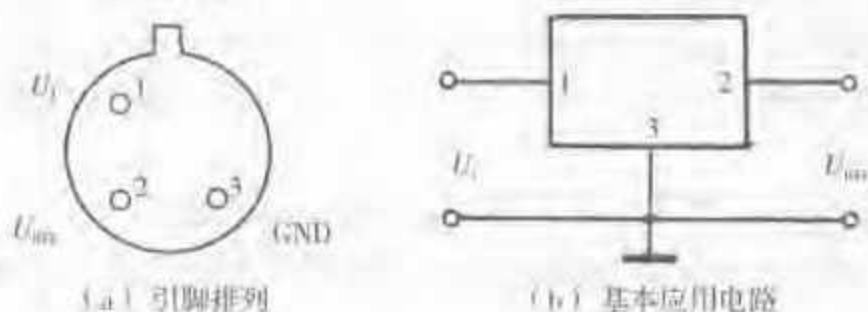


图 5-47 CW580 型引脚排列与基本应用电路

$U_i$  输入直流电压;  $U_{ref}$  输出基准电压; GND 公共地

#### 五、CW584 型可控集成基准电压源应用电路

##### 1. CW584 型可控集成基准电压源的主要性能

CW584 型是温度补偿、可控精密基准电压源集成电路, 它采用圆金属壳封装, 共有 8 个引脚, 引脚功能及排列方式如图 5-48 所示。

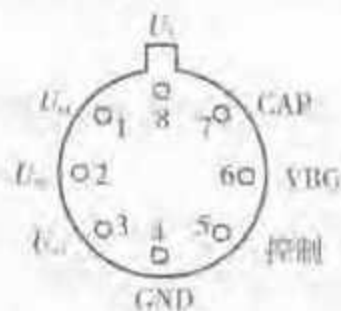
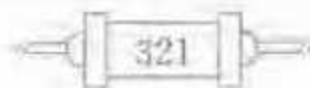


图 5-48 CW584/AD584 型引脚功能及排列方式

1 输出电压  $U_{o1} = 10V$ ; 2 输出电压  $U_{o2} = 5V$ ; 3 输出电压  $U_{o3} = 2.5V$ ; 4 公共地(GND); 5 选通控制; 6 基准检测(VBG); 7 补偿电容(CAP); 8 输入电压  $U_i$





CW584 型可控集成基准电压源有 3 个电压输出端： $U_{o1} = 10\text{V}$ ， $U_{o2} = 5\text{V}$ ， $U_{o3} = 2.5\text{V}$ 。该集成基准电压源的最大特点是具有一个控制端（5 脚），当此端为低电平时，各路输出电压均趋于零。

CW584 型可控集成基准电压源的主要技术指标：输入电压范围为  $(U_{\text{REF}} + 2.5\text{V}) \sim 40\text{V}$ ，静态工作电流为  $1\text{mA}$ ，输出基准电压为  $10.000\text{V}$ 、 $5.000\text{V}$ 、 $2.500\text{V}$ ，温度系数为  $5 \sim 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ （CW584L），电压调整率  $< 50\text{ppm}/\text{V}$ ，电流调整率为  $20\text{ppm}/\text{mA}$ （ $I_o = 0 \sim 5\text{mA}$ ），噪声电压为  $50\mu\text{V}$ （峰-峰值， $0.1 \sim 10\text{Hz}$ ），导通建立时间为  $200\mu\text{s}$ 。

## 2. AD584 型可控集成基准电压源的主要性能

AD584 是具有温度补偿的禁止带宽型基准电压集成电路，封装形式和性能与 CW584 类同（图 5-48）。

AD584 型输出基准电压可选择  $10\text{V}$ 、 $7.5\text{V}$ 、 $5\text{V}$ 、 $2.5\text{V}$ ，也可通过外加电阻器在  $2.5 \sim 10\text{V}$  范围设定。同样有选通控制端（5 脚），可实现导通和关断。其中 AD584L 的  $2.5\text{V}$  输出电压误差为  $\pm 2.5\text{mV}$ ， $10\text{V}$  输出电压误差为  $\pm 5\text{mV}$ ，在  $0 \sim +70^\circ\text{C}$  时电压温度漂移为  $5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。AD584T 型在  $-55 \sim +125^\circ\text{C}$  时电压温度漂移为  $15\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。它们的长期稳定性为  $25\text{ppm}/1000\text{h}$ ，输入电压范围为  $4.5 \sim 30\text{V}$ ，输出电流为  $10\text{mA}$ ，最大输入电压为  $40\text{V}$ ，环境温度  $< 25^\circ\text{C}$  时功耗为  $600\text{mW}$ 。

## 3. CW584/AD584 型可控集成基准电压源应用电路

CW584 型、AD584 型可控集成基准电压源应用电路如图 5-49 所示。

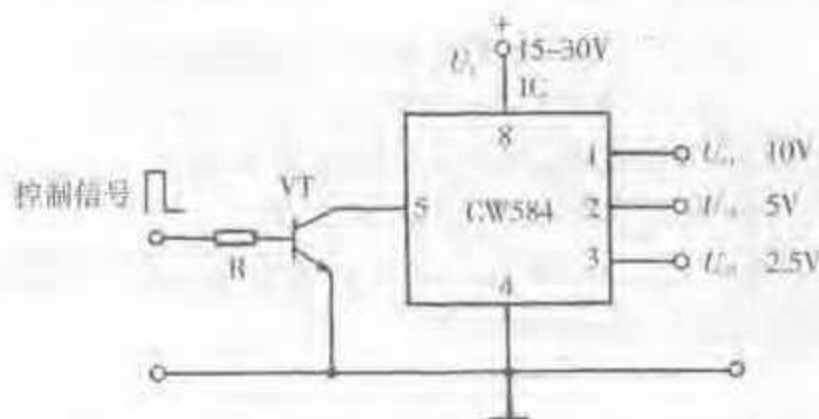


图 5-49 CW584/AD584 型可控集成基准电压源应用电路

由图可见，该应用电路连接十分简单，只要在集成电路的输入端（8 脚）接上  $+15 \sim 30\text{V}$  直流电压（纹波电压应很小），将选通控制端（5 脚）接脉冲放大三极管 VT 的集电极，则当控制信号为低电平时，三极管 VT 输出至基准电压源 IC 控制端（5 脚）为高电平，于是基准电压源的 3 个输出端（1 脚、2 脚、3 脚）将分别输出基准电压  $10\text{V}$ 、 $5\text{V}$ 、 $2.5\text{V}$ 。因 1 脚与 3 脚之间的电压差为  $7.5\text{V}$ ，所以实际上可获得 4 个不同的基准电压输出。



当控制信号为高电平时,驱动三极管 VT 饱和导通,于是 CW584 型的控制端(5 脚)为低电平,此时 CW584 型的各路输出电压趋于零。

显然,如果在 CW584 型的 10V 输出端(1 脚)与地端(4 脚)之间并联一只多圈式精密电位器作为直流分压器。则通过调整电位器的滑动端,可以获得 0~10V 范围内任意基准电压(应用数字电压表检测为妥)。上述应用电路对 AD584 型可控集成基准电压源同样适用。

基准电压集成电路品种很多,除上述举例介绍的三端、多端基准电压源外,还有多种二端式基准电压源,如 LM113/313、CW113、LM129/329、AD589、CW589 等,必要时读者可通过查阅《通用集成电路手册》了解其性能。

## 第六节 开关稳压器应用电路

### 一、开关稳压器简介

开关稳压器与线性稳压器的最大不同之处在于调整管工作于开关状态。我们知道,理想化的开关器件在饱和导通时可以忽略管压降,在截止状态时可以忽略漏电流。因此,调整管在理想开关工作状态下功耗极小,不需要设置大功率散热器。另外,开关电源的开关频率比工频(50Hz)高千倍至万倍,达到 50kHz 甚至 1MHz 以上,使得开关电源中的变压器可以相当小巧,不需要笨重的工频变压器。当然,这些都是采用高磁导率( $\mu$ )、高饱和磁通密度( $B$ )和低损耗磁性材料的结果。总之,在大电流、大功率、输出电压稳定要求不太高的固定负载、固定输出电压的场合,开关稳压器显示出极大的优越性,如图 5-50 所示。

但开关稳压器与线性稳压器相比,电路结构复杂,容易产生干扰,稳压精度不高。



图 5-50 开关稳压器的优点

#### 1. 基本结构方框图

开关稳压器的基本结构方框图如图 5-51 所示。各部分的主要作用如下:

(1) 整流输入。将工频(50Hz)交流电整流为直流电,这里采用的主要器件是



半导体二极管或晶闸管。

(2) 控制系统。用于控制稳压器中的调整管工作于开关状态。此控制系统电路比较复杂,有专用集成电路或高压控制专用集成电路可供选用。

(3) 开关变换。将直流电压变换为脉冲交流电压,其重复频率一般为 50kHz 甚至高达 MHz 级,通常用绝缘栅双极晶体管(IGBT)或功率 MOS 场效应管(VMOSFET)作为调整管。

(4) 整流输出。将脉冲交流电压由快恢复高压二极管或肖特基二极管整流为直流电压。



图 5-51 开关稳压器的基本结构方框图

## 2. 典型电路结构方框图

开关稳压器的类型很多,如果按调制方式不同分,可分为调宽(PWM 即脉冲宽度调整)型、调频(PFM 即脉冲频率调整)型和混合型。

调宽型开关稳压器典型电路结构方框图如图 5-52 所示。它主要由整流滤波电路、DC-DC 变换器、开关占空比控制电路和取样比较电路等模块构成。

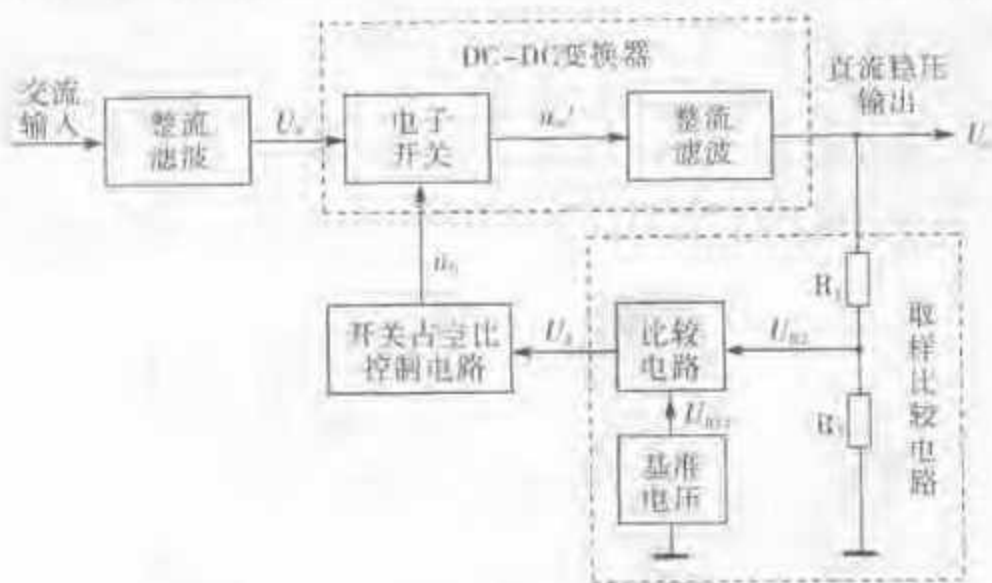


图 5-52 调宽型开关稳压器典型电路结构方框图

整个电路的基本工作原理:输入工频交流电压由整流滤波电路变为直流电压  $U_s$  加在由开关占空比控制电路所控制的电子开关上,将直流电压  $U_s$  变换成脉冲交流电压  $u'_s$ ,再经电感器、电容器等储能元件构成的整流滤波电路平滑后,成为直流电压  $U_o$  输出。 $U_o$  大小取决于  $u'_s$  有效值大小,而  $u'_s$  有效值取决于其脉冲波形的占空比(导通时间  $T_{on}$  与周期  $T$  之比)。换言之,最终的直流输出电压  $U_o$  大小



是由“开关占空比控制电路”控制的。另一方面,通过取样比较电路,使开关电源的输出电压稳定在一个恒定值上。也就是说,取样电阻  $R_1$ 、 $R_2$  对输出电压  $U_o$  取样,取样电压  $U_{RE}$  与基准电压  $U_{REF}$  进行比较,如果  $U_{RE} > U_{REF}$ ,则比较电路输出  $-U_E$  去控制“开关占空比控制电路”,使占空比减小,从而使  $U_o$  下降;反之,若  $U_{RE} < U_{REF}$ ,则输出  $+U_E$ ,使占空比增加,从而使  $U_o$  上升,这样就使  $U_o$  稳定在一个恒定值上。开关稳压器的的工作波形如图 5-53 所示。

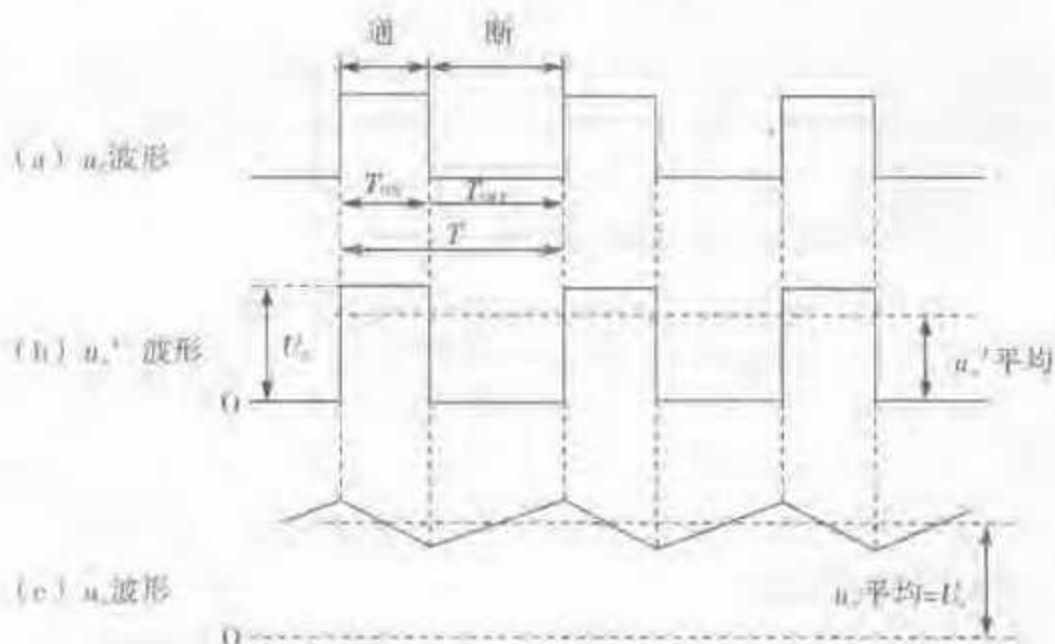


图 5-53 调宽式开关稳压器电路工作波形

$u_c$ —开关占空比控制电路输出脉冲信号;  $T$ —脉冲信号周期;  $T_{on}$ —开通时间;  $T_{off}$ —关断时间;  
 $u_c'$ —电子开关输出的功率脉冲信号;  $U_s$ —市电经整流滤波电压;  $u_o$ 、 $u_o'$ —经整流滤波后的电压。

### 3. 器件外形

集成开关稳压器的封装形式也有直列式、直弯式、双列直插式、表面安装型和金属圆外壳型等多种。

几种常用的单片开关稳压器外形如图 5-54 所示。

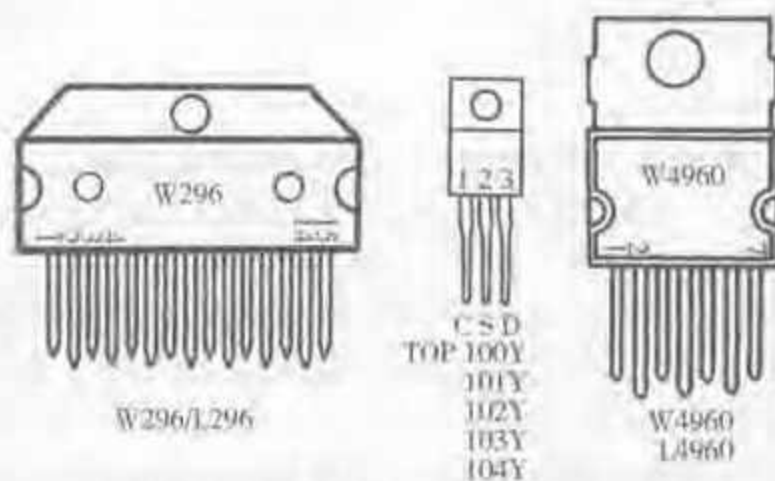


图 5-54 几种常用的单片开关稳压器外形





## 二、TOP100 型单片开关稳压器应用电路

### 1. TOP100 系列简介

TOP100 系列均采用标准的三端式封装,芯片内部含有功率开关管 VMOS-FET,并有过流和过热保护电路(极限为 0.88~4.60A,135℃)。受内部功率开关管耐压的限制, TOP100 系列的外接整流桥交流输入电压均规定为 100V/110V,允许交流电压范围为 85~132V。采用该器件制成单片开关电源的最大输出功率为 60W,内部 CMOS 控制器的静态功耗仅为 6mW。

芯片内部的功率 MOS 场效应管 (VMOSFET) 漏源极击穿电压  $\geq 350\text{V}$ , 虽不算高,但其导通电阻是比较低的,如 TOP104Y 型当芯片结温为 25℃ 时导通电阻为 1.7Ω,100℃ 时仅为 2.8Ω。开关频率典型值为 100kHz。

TOP100 系列产品过流保护极限电流见表 5-8。

表 5-8 TOP100 系列过流保护极限电流

型 号	TOP100Y	TOP101Y	TOP102Y	TOP103Y	TOP104Y
极限电流 (A)	0.88~1.25	1.5~2.15	2.10~3.10	2.85~4.00	3.30~4.60

### 2. TOP100Y 应用电路

用 TOP100Y 型构成 5V、1A 简易单片开关稳压电源电路如图 5-55 所示。

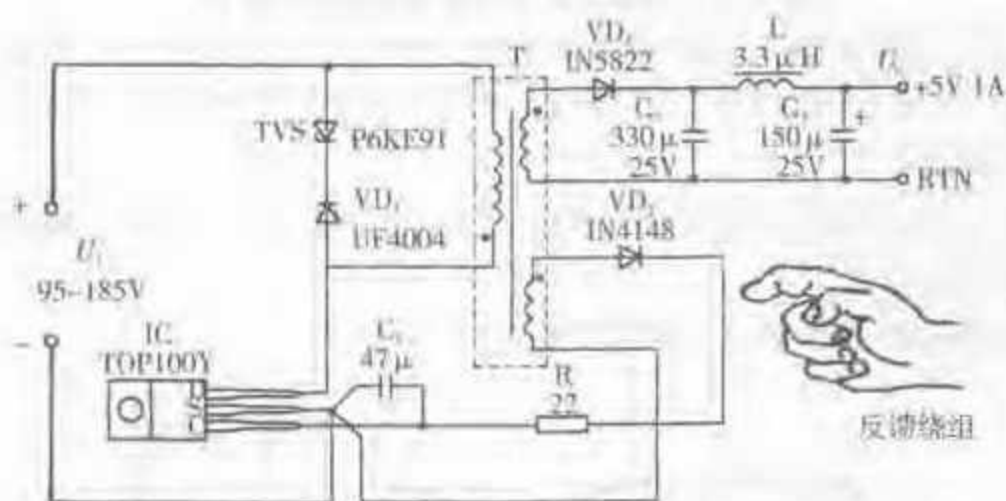


图 5-55 TOP100Y 型单片开关稳压器应用电路

$U_1$ —输入直流电压; $U_2$ —输出直流稳定电压;IC—集成电路;TVS—瞬态电压抑制二极管;T—变压器(这里为功率脉冲变压器);L—含磁心电感;RTN—返回端

该开关稳压电路只用一片 TOP100Y 型集成电路,外附元器件数量不多,电路结构简单、成本低廉,适用于需要隔离且负载较稳定的场合。图中由瞬态电压抑制二极管 TVS(P6KE91)和超快恢复二极管  $VD_1$ (UF4004)组成漏极(D)钳位电路。由二极管  $VD_2$ 、电阻器 R 和电容器  $C_1$ 组成的整流滤波电路,将变压器 T 反馈绕组输出的感应电压整流滤波为直流电压,加到集成电路块 IC(TOP100Y)的控





制端(C脚);电容器 $C_1$ 兼作控制环路的补偿电容,并决定自动重新启动频率。二极管 $VD_1$ 、电感器 $L$ 和电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 构成变压器 $T$ 次级电压的整流滤波电路,整流滤波后获得+5V直流稳定电压输出(最大负载电流可达1A)。直流输入电压 $U_1$ 允许变化范围为95~185V,可以说是相当宽的。

该开关稳压电源的直流输入电压 $U_1 = 95 \sim 185V$ 时,电压调整率 $S_v = \pm 1.25\%$ ;当负载电流相对变化 $10\% \sim 100\%$ 时,负载电流调整率 $S_i = \pm 4.5\%$ ,就这两项性能而言,开关稳压器不如线性稳压器好。因此,在不少情况下,开关稳压和线性稳压两种方案并存,可互相取长补短。

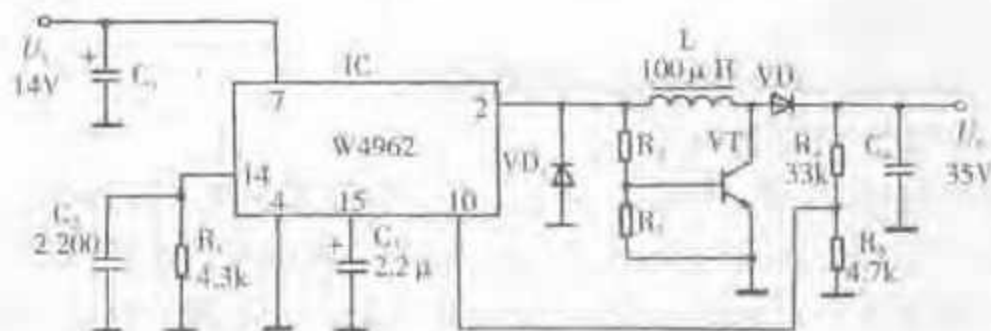
### 三、W4962型开关稳压器应用电路

#### 1. W4962型开关稳压器简介

(1) 外形和引脚功能。W4962型采用16脚双列直插式塑料封装,其外形如图5-56(a)所示。其中1、3、6、9、16脚均为空脚(NC),4、5、12、13脚均为地端(GND);2脚为输出端(OUT),7脚为输入端(IN),10脚为反馈输入端,11脚为补偿端,14脚为接振荡电阻与振荡电容端,15脚为软启动端。



(a) 引脚排列



(b) 应用电路

图 5-56 W4962型集成开关稳压器引脚排列与应用电路

(2) 内部基本结构。W4962型芯片上主要包括七部分:5.1V基准电压源、锯齿波振荡器、误差放大器、PWM(脉宽调制)比较器和功放输出级、软启动电路、输出限流保护电路、芯片过热保护电路。

(3) 主要技术参数。W4962型主要技术参数:最大输入电压为50V;输出电



压范围为  $5 \sim 40\text{V}$ ; 输出电流为  $1.5\text{A}$ ; 输出功率为  $60\text{W}$ ; 基准电压误差为  $\pm 4\%$ ; 占空比范围为  $0 \sim 100\%$ ; 电源效率为  $90\%$ ; 最大输入、输出电压差为  $50\text{V}$ ; 功耗为  $4.3\text{W}$ 。

## 2. W4962 型开关稳压器应用电路

W4962 型开关稳压器应用电路如图 5-56(b) 所示。W4962 型集成块与外接晶体管 VT 构成简单的并联式稳压电路。W4962 型原来是为降压式开关电源电路设计的, 但也可用于升压转换电路。如将输入为  $14\text{V}$  的直流电压  $U_i$  通过 W4962 与开关晶体管 VT 构成的升压转换电路, 最终使输出直流电压  $U_o = 35\text{V}$ 。

图中  $R_1$ 、 $R_2$  构成分压取样电路, 从输出电压  $U_o$  分压得到约  $4.4\text{V}$  的直流电压, 反馈回 IC(W4962) 的反馈电压输入端(10 脚), 送到内部(内部电路均未画出)误差放大器的反相输入端, 与加在同相输入端的  $5.1\text{V}$  内部基准电压进行比较, 得到误差电压  $U_E$ , 由  $U_i$  的幅度去控制脉宽调整(PWM)比较器输出脉冲的宽度, 产生脉宽调制信号  $U_{\text{PWM}}$ , 最后经过功率放大从 IC 的输出端(2 脚)输出大电流脉冲, 此大电流脉冲经电阻器  $R_3$ 、 $R_4$  分流出一小部分输至开关晶体管 VT 的基极, 驱动 VT 工作于开关状态, 与电感器 L 一起构成升压电路, 再经整流、滤波后获得稳定的直流电压  $U_o$ 。其中, 二极管  $\text{VD}_1$  起续流作用,  $\text{VD}_2$  起整流作用; 电容器  $C_1$ 、 $C_2$  起滤波作用, 如果直流电压取自桥式全波整流电路输出,  $C_1$  的容量应  $\geq 3\,300\mu\text{F}$  为宜, 但  $C_1 \geq 470\mu\text{F}$  即可。因为开关频率比市电整流脉动频率高很多, 所以允许  $C_1$  的电容量比  $C_2$  小很多。

W4962 型的振荡电阻与振荡电容  $R_T/C_T$  端(14 脚)并联有振荡电阻  $R_T$  ( $4.3\text{k}\Omega$ ) 和振荡电容  $C_T$  ( $2\,200\text{pF}$ ), 使 IC 内部的锯齿波振荡器在一个合适的频率振荡。 $C_3$  为软启动端(15 脚)外接电容, 通过  $C_3$  充电缓冲对 IC 起保护作用。IC 的 4、5、12、13 脚均为接地端, 安装电路时应将这 4 个脚一并焊在专门设计的敷铜板地线区域, 以代替散热器。

## 四、W4960 型开关稳压器应用电路

### 1. W4960 型开关稳压器简介

(1) 外形和引脚功能。W4960 型开关稳压器外形如图 5-54 所示, 共有 7 个引脚, 短引线表示前排弯脚, 长引线表示后排直脚(从正面看), 前后两排引脚是互相错开的, 这与普通单列直插式或双列直插式都不同。器件塑料外壳上面的小金属散热板通地端(4 脚), 板上圆孔供固定附加散热器用。各引脚的功能: 1 脚为输入端(IN); 2 脚为反馈端; 3 脚为补偿端; 4 脚为地端(GND); 5 脚为接振荡电阻与振荡电容端( $R_T/C_T$ , 也称定时电阻与定时电容); 6 脚为软启动端, 外接软启动电容, 对芯片起保护作用; 7 脚为输出端(OUT)。

(2) 内部基本结构。W4960 型开关稳压器内部电路结构与 W4962 型相同, 也是由七部分电路组成。





(3) 主要技术参数。W4960 型主要技术参数:最大输入电压为 50V;输出电压范围为 5~40V;输出电流为 2.5A;输出功率为 100W;基准电压误差为  $\pm 4\%$ ;电源效率为 90%;最大输入、输出电压差为 50V;功耗为 15W。

## 2. W4960 型开关稳压器应用电路

W4960 型开关稳压器应用电路如图 5-57 所示。

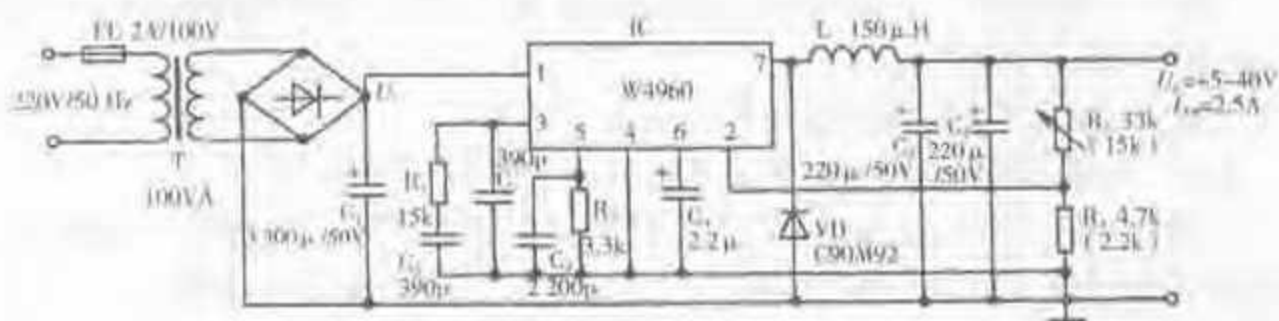


图 5-57 W4960 型开关稳压器应用电路

由图可见,除市电变压、全桥整流电路外,W4960 型共有 11 个外围元件。其中, $C_1$  为输入端(1 脚)滤波电容; $R_1$ 、 $C_3$  为误差放大器的频率补偿阻容元件(3 脚),根据需要在  $R_1$ 、 $C_3$  两端还可并联一只高频滤波电容  $C_2$ ;接在  $R_T/C_T$  端(5 脚)的电阻器  $R_2$  和电容器  $C_2$  决定 IC 内部锯齿波振荡频率(也就是开关频率  $f$ ),改变  $R_2$  值可调整  $f$  值;接在软启动端(6 脚)的  $C_4$  为软启动电容,通过软启动电路对 IC 起保护作用; $R_3$ 、 $R_4$  构成分压取样电路,改变  $R_3$  与  $R_4$  的比值即可调节输出电压  $U_o$ 。如果不采用分压电路,而是直接将反馈端(2 脚)接至  $U_o$  正端,则该稳压电路固定输出电压  $U_o = 5.1V$ 。

$L$  为储能电感, $C_6$ 、 $C_5$  为输出端滤波电容,VD 为续流二极管,它们一起构成降压式输出电路。当从 7 脚输出的功率脉冲调制信号为高电平时,除向负载供电之外还有一部分电能存储在  $L$  和  $C_5$ 、 $C_6$  中,此时 VD 截止;当功率脉冲调制信号为低电平时,VD 导通,于是存储在  $L$  中的电能经过由 VD 构成的回路继续向负载供电,从而维持输出电压  $U_o$  不变。在这里二极管 VD 起续流作用,它是与起整流作用的二极管有本质的区别:续流二极管是与负载并联且在输出信号负半周时导通,而整流二极管与负载串联且在输出信号正半周时导通,两者的作用不同。

W4960 型的基本稳压原理完全与 W4962 型相同,也是从输出电压  $U_o$  取样后送至反馈端,通过内部比较电路去控制输出功率脉冲的宽度,来起到稳定  $U_o$  的作用。

## 五、L296 型开关稳压器应用电路

### 1. L296 型开关稳压器简介

(1) 外形和引脚功能。L296 型开关稳压器的外形如图 5-54,它有 15 个引脚,现将各引脚功能说明如下:







1脚——过压保护电路输入端(也称撬棍输入端)。通常将此端接反馈输入端(10脚),当输出电压超过20%时,会触发外部晶闸管。若不用晶闸管,该引脚应接地。

2脚——稳压器输出端,输出功率调宽脉冲。

3脚——直流电压输入端。

4脚——限流端。此端开路时过载保护电流设定为5A,若对地接33k $\Omega$ 电阻器,过载保护电流即为2.5A。

5脚——软启动端,需外接软启动电容。

6脚——禁止输入端,当此端接高电平时L296型停止工作。

7脚——同步输入端,使用时与11脚短接。采用几片L296型作多路输出时为避免互相干扰,可将各片的7脚短接,公用其中一路的锯齿波振荡器,实现同步输出。

8脚——公共地端(与器件本身小散热片在内部接通)。

9脚——频率补偿端。此端应外接阻容电路,以补偿内部误差放大器的频率特性。

10脚——反馈输入端。与外部取样电路相接。

11脚——振荡器引出端。需外接阻容元件以决定振荡频率。

12脚——重置输入端。

13脚——重置延迟端。外接延时电容。

14脚——重置输出端(集电极开路输出)。在稳压器正常工作时此端输出高电平。

15脚——撬棍(crowbar)输出端。需接外部晶闸管的门极。

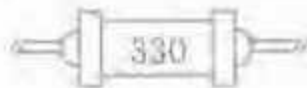
(2) 内部基本结构。L296型开关稳压器内部主要包括九部分:5.1V基准电压源、锯齿波振荡器,误差放大器、脉宽调制(PWM)比较器和功率输出级、软启动电路、输出限流保护电路、过压保护电路、芯片过热保护电路、重置电路。

(3) 主要技术参数。最大输入电压为50V;输出电压范围为5.1~40V;输出电流为4A;输出功率(最大值)为160W;基准电压误差为 $\pm 2\%$ ;效率为90%;最大输入、输出电压差为50V;功耗(壳温 $\leq 90^{\circ}\text{C}$ )为20W;开关频率可达200kHz。

## 2. L296型开关稳压器应用电路

(1) 采用L296型构成简单开关稳压电路。L296(或W296)型构成简单开关稳压电路如图5-58所示。

由图可见,L296型仅用7个外围元件便可构成最简单的5V、4A串联式开关稳压电源。这种串联式开关稳压电源的特点是输出电压 $U_o$ 最高不会高于输入电压 $U_i$ ,所以又称降压式电路。一般这种电路适用的脉冲宽度调制(PWM)集成块供电电压不超过40V。如图5-58所示电路输出电压 $U_o=5\text{V}$ ,可作为TTL数字电



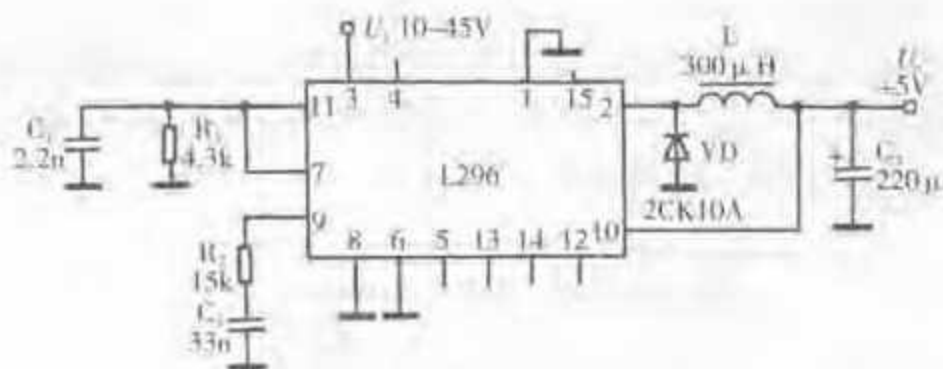


图 5-58 L296 型构成简单开关稳压源电路

路的电源。如果嫌电压稳定性不够,可以采用分压取样办法提高  $U_o$ ,然后再连接线性集成稳压器来解决。

输入端(3脚)接正 10~45V 直流电压,因为反馈端(10脚)直接与  $U_o$  正端相接,所以根据 L296 型内部电路的作用结果,此时输出电压  $U_o$  为最低值,即等于内部基准电压  $5.1\text{V} \approx 5\text{V}$ 。在 L296 型输出端(2脚)输出的功率调宽脉冲是经储能电感  $L$ 、滤波电容  $C_2$  和续流二极管 VD 的作用才将脉冲电压变换为直流电压的。

脉冲调宽调压稳压原理:在 L296 型芯片内部产生锯齿振荡波形,与反馈电压  $U_{FB}$ (经误差放大之后)在 PWM(脉冲宽度调制)比较器进行比较,然后输出一定宽度的脉冲电压,如图 5-59 所示。当反馈电压  $U_{FB}$  随输出电压  $U_o$  变化而改变时,输出脉冲的宽度也随之改变,使开关管的导通时间  $T_{ON}$  改变,从而反过来又使  $U_o$  改变。从波形图可看出,脉冲宽度增加时输出电压  $U_o$  增加,反之则  $U_o$  减小。如果由于供电或负载改变引起输出电压  $U_o$  上升,则反馈电压  $U_{FB}$  也上升,但  $U_{FB}$  上升的结果使输出脉宽度变小,从而使  $U_o$  下降。因此,反馈的最终结果是使  $U_o$  保持稳定不变。

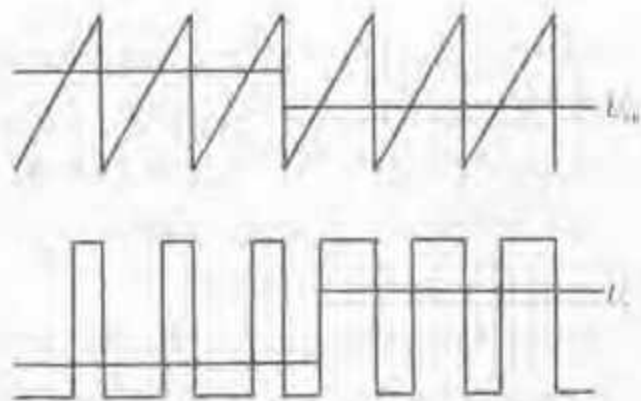


图 5-59 脉冲调宽调压原理波形图

$U_{FB}$ —反馈电压; $U_o$ —输出电压

$C_1$ 、 $R_1$  与 L296 型的振荡器引出端(11脚)相接,该端又与同步输入端(7脚)短接,以决定振荡频率。 $R_2$  和  $C_2$  串联后与频率补偿端(9脚)相接,用来补偿内部误差放大器的频率特性。禁止输入端(6脚)接地,经常保持低电平状态,使 L296 工





作不受禁止(若将此端接高电平,则 L296 停止工作)。1 脚是过压保护电路输入端,因该简单低压开关稳压电路中过压保护电路空着不用,故应将此端接地。

(2) 采用 L296 型构成 12V、10A 开关稳压电源。采用 L296 型外加射极跟随器构成 12V、10A 开关稳压电源如图 5-60 所示。

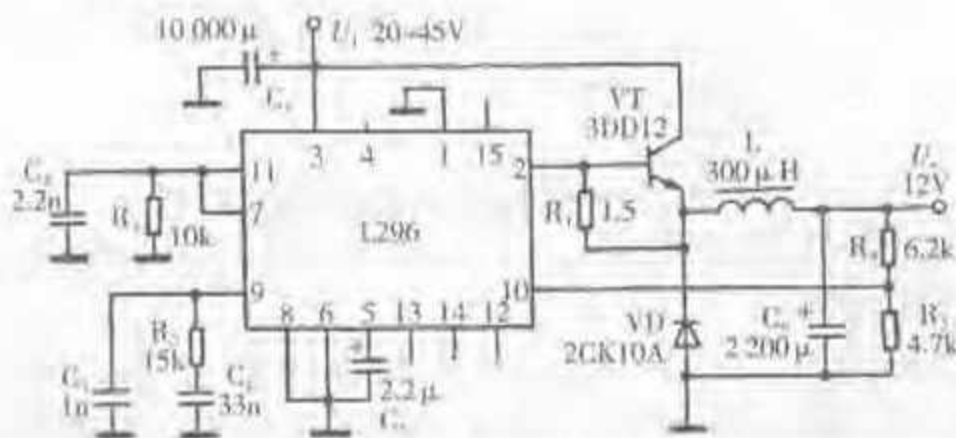


图 5-60 L296 型外加射极跟随器构成 12V、10A 开关稳压电源

由图可见,集成块 L296 型输出端(2 脚)与反馈端(10 脚)之间加接晶体管 VT(3DD12)射极跟随器、续流二极管 VD(2CK10A),滤波电容  $C_2$  以及由  $R_1$ 、 $R_2$  构成的取样电路,使输出电压、电流扩展。

图中  $C_1$  为输入电压滤波电容,  $R_3$ 、 $C_3$  为振荡器引出端(11 脚)外接阻容元件,决定 L296 型内部锯齿波振荡器的振荡频率。同步输入端(7 脚)直接与 11 脚相接)。 $R_4$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  构成的阻容电路接在频率补偿端(9 脚),以补偿 L296 型内部误差放大器的频率特性。除此以外,  $C_5$  是软启动端(5 脚)的外接电容。因降压输出电路不必用过压保护电路,因此将过压保护电路的输入端(1 脚)接地以免产生干扰。6 脚是禁止输入端(高电平有效),这里不用它而接地。8 脚是公共地端。其他各引脚悬空不用。

基本工作原理:电源电压  $U_1$  正端从 3 脚接入,从 2 脚输出脉冲,经 3DD12 射极跟随器的电流放大作用,再经续流滤波得到直流输出电压  $U_2$ 。 $U_2$  经分压电阻取样后反馈回到 10 脚,起脉冲调宽稳压作用。改变  $R_2$  的阻值,就能改变直流输出电压  $U_2$ 。(若要求  $U_2=5V$ ,则可将输出  $U_2$  正端直接反馈到 10 脚,  $R_1$ 、 $R_2$  可省略,实际上此时输出电压为 5.1V,与内部基准电压相等)。

关于脉冲调宽调压稳压原理请参见图 5-58、图 5-59 的说明,这里不重述了。

(3) 用 L296 型开关稳压器构成正 5.1~40V 可调式开关稳压电源。采用 L296 型开关稳压器构成典型正 5.1~40V 可调式开关稳压电源电路如图 5-61 所示。

由图可见,220V 交流电压经变压器 T、全桥(QBS6A100V)整流、电容器  $C_1$  (4700µF、63V)滤波后得到直流电压  $U_1=+46V$ ,  $U_1$  正端接集成块 L296 型输入端(8 脚),  $U_1$  负端接地。此输入直流电压经过 L296 型内部电路作用(脉冲宽度调制和



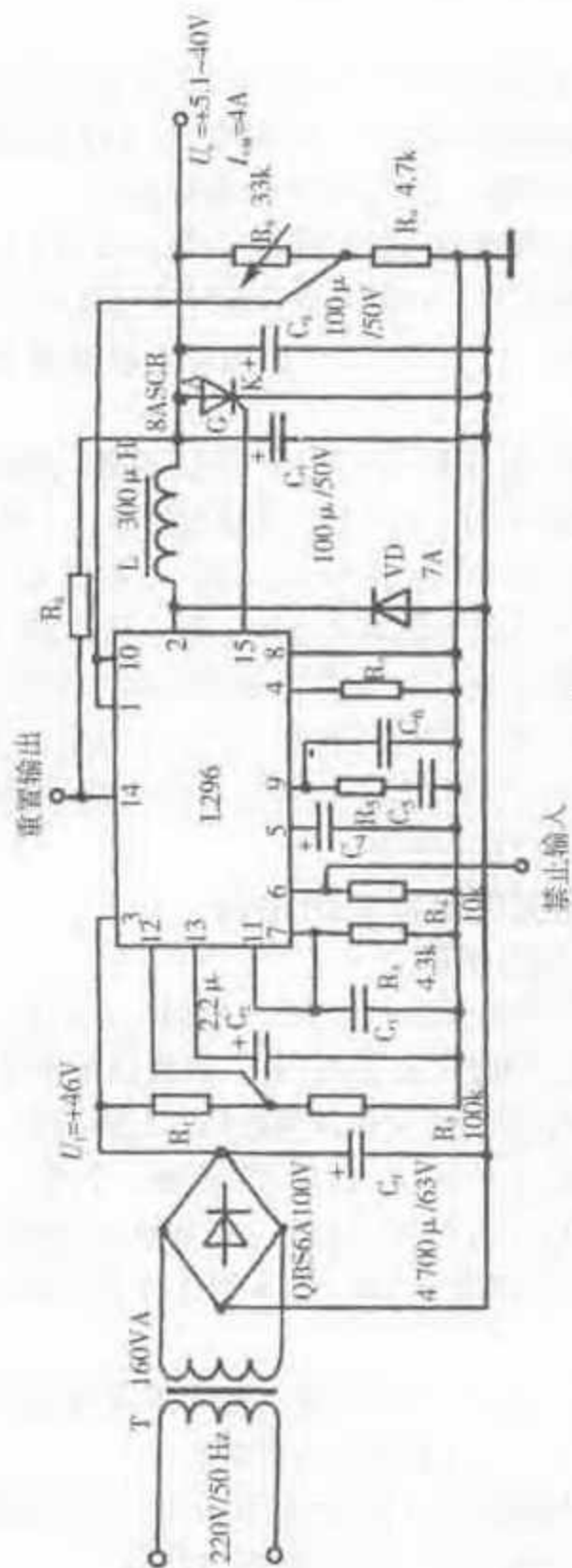


图5-61 L296型开关稳压器构成典型的正5.1~40V可调式开关稳电源电路



功率放大等),从2脚输出功率脉冲调宽信号,此功率脉冲再经过外接的储能电感 $L$ 、电容器 $C_1$ 、 $C_2$ 、续流二极管 $VD$ 以及取样分压电路 $R_4$ 、 $R_5$ 的反馈作用(至10脚反馈输入端),最终得到输出可调的直流电压 $U_o = +5.1 \sim 40V$ ,最大输出电流 $I_{oM} = 4A$ 。

在输出直流电压 $U_o$ 两端并联的晶闸管8ASCR起过压保护作用,它的门极(G)与L296型过压保护电路输出端(15脚)相接,过压保护电路的输入端(1脚)则直接与反馈输入端(10脚)相接,反馈信号来自取样电路。

接在L296型限流端(4脚)的对地电阻 $R_3$ 起限流设定作用,阻值为 $\infty$ 时(相当4脚悬空)过载保护电流设定为5A;阻值为 $33k\Omega$ 时则设定为2.5A。接在频率补偿端(9脚)的阻容网络 $R_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 对L296型内部的误差放大器频率特性起补偿作用。

$C_3$ 是软启动端(5脚)的外接电容。 $R_1$ 是禁止输入端(6脚)的外接电阻( $10k\Omega$ ),当此端输入为高电平时L296型开关稳压器停止工作。

接在L296型振荡器引出端(11脚)的电阻器、电容器 $R_3$ 、 $C_3$ 用以决定内部锯齿波振荡器的振荡频率,通常该引出端又与同步输入端(7脚)短接。

$R_1$ 和 $R_2$ 分别是重置输入端(12脚)和重置输出端(14脚)的外接电阻。在稳压器正常工作时,重置输出端(14脚)为高电平状态。如果重置输出端为低电平状态,说明开关稳压器工作不正常。因此,可通过对重置输出端电平高低的测试(或显示)来判断开关稳压器工作是否正常。

## 六、TNY253P型开关稳压器应用电路

### 1. TNY253P型开关稳压器简介

(1) 特点。TNY253P型是近年面市的一种高效、小功率( $\leq 10W$ )、低成本的四端单片开关电源专用集成电路,它用开/关控制器代替传统的PWM脉宽调制器,来对输出电压进行调制,控制方式和外围电路都比较简单。

TNY253P型另一特点是输入电压范围宽(交流85~265V或直流120~375V),可交直流两用。它的应用电路无须加反馈绕组及相关电路,且可省去交流输入端的电磁干扰滤波器(EMI),也不用工频变压器,从而使稳压电源更为轻巧。

(2) 引脚名称和功能。TNY253P型虽采取8脚双列直插式或表面安装式封装。但实际使用引脚只有4个,其名称和功能如下:

源极(S)——与芯片内部的功率MOS场效应管(VMOSFET)的源极相接。

漏极(D)——与芯片内部VMOSFET的漏极相接。

旁路端(BP)——此端与源极(S)之间需接一只 $0.1\mu F$ 的旁路电容。

使能端(EN)——此端可由外接光耦合器驱动(与光耦合器中的光电三极管的集电极相接),从而由光耦合器的反馈作用来决定TNY253P型内部VMOS-





FET的工作状态。在简单应用时,使能端允许悬空不用,改由稳压二极管来限定输出电压 $U_o$ 。

(3) 内部结构。TNY253P型内部结构与TNY253G/254P/254G/355P/255G型相同。该系列器件内部电路主要包括六部分:振荡器;5.8V稳压器;使能(EN)检测与逻辑电路;开/关控制器与功率输出级;上电/掉电功能电路;欠压、过流、过热保护电路。

使用该器件时我们不必详细了解内部电路结构,只要明白各引脚的功能及与外部电路的正确连接即可。

(4) 主要技术指标。TNY253P型开关稳压器的主要技术指标:最大输出功率为4W(交流输入电压230V/115V),2W(交流输入电压85~265V);开关频率为44kHz;功耗为:30mW(交流输入电压115V),60mW(交流输入230V),80mW(交流输入265V);输入电压范围为交流85~265V,直流120~375V。

## 2. TNY253P型开关稳压器应用电路

(1) 应用电路一。TNY253P型开关稳压器应用电路如图5-62所示。它实际上是利用TNY253P型开关稳压器设计成的9V、0.5W插头式AC/DC电源适配器电路。为简化电路和降低成本,将IC(TNY253P)的使能端(EN)悬空不用,IC工作在连续导通模式,输出恒定的功率。从变压器T次级输出的交流脉冲电压经二极管 $VD_1$ 整流,电容器 $C_1$ 滤波后成为平滑直流电压,再经稳压二极管 $VD_2$ 设定输出直流电压 $U_o$ 为9.1V(图中选用稳定电压为9.1V、功率为1.5W的IN5924B型稳压管,也可采用国产2CW106型稳压管)。

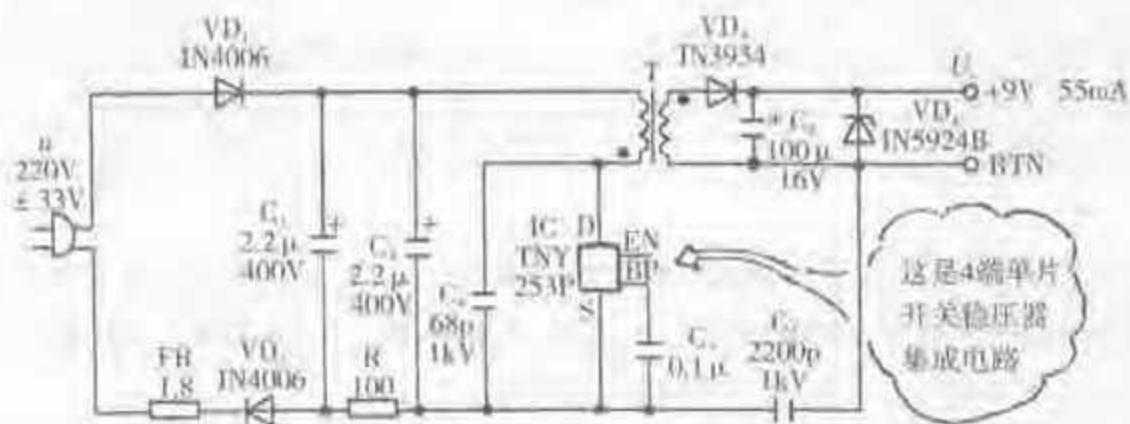


图 5-62 TNY253P型开关稳压器应用电路

$u$ —交流电压; $U_o$ —输出直流电压;FR—熔断电阻器(1.8Ω);RTN—返回端

在输入电路中,二极管 $VD_1$ 、 $VD_2$ 将输入交流电压 $u$ (220±33V)进行半波整流,其中串联在整流回路中的熔断电阻器FR(1.8Ω)取代保险丝的作用。整流电压经 $C_1$ 、 $R$ 、 $C_2$ 构成的 $\pi$ 型滤波器后变成比较平滑的直流电压,加在开关稳压器的输入端。并联在TNY253P型开关稳压器漏极(D)和源极(S)之间的电容器 $C_3$ 可





将漏极关断时在脉冲变压器 T 初级产生的尖峰电压限制到安全范围内,要求  $C_1$  的耐压  $\geq 1\text{kV}$ 。 $C_3$  是 TNY253P 型开关稳压器的旁路端(BP)外接电容,规定为  $0.1\mu\text{F}$ 。 $C_5$  为安全电容,耐压应  $\geq 1\text{kV}$ 。

图中脉冲变压器 T 的绕组引出端(小圆斑)为瞬时电压极性标志,安装电路时应予以注意,否则电路不能正常工作。

(2) 应用电路二。TNY253P 型开关稳压器带光耦隔离的应用电路如图 5-63 所示。

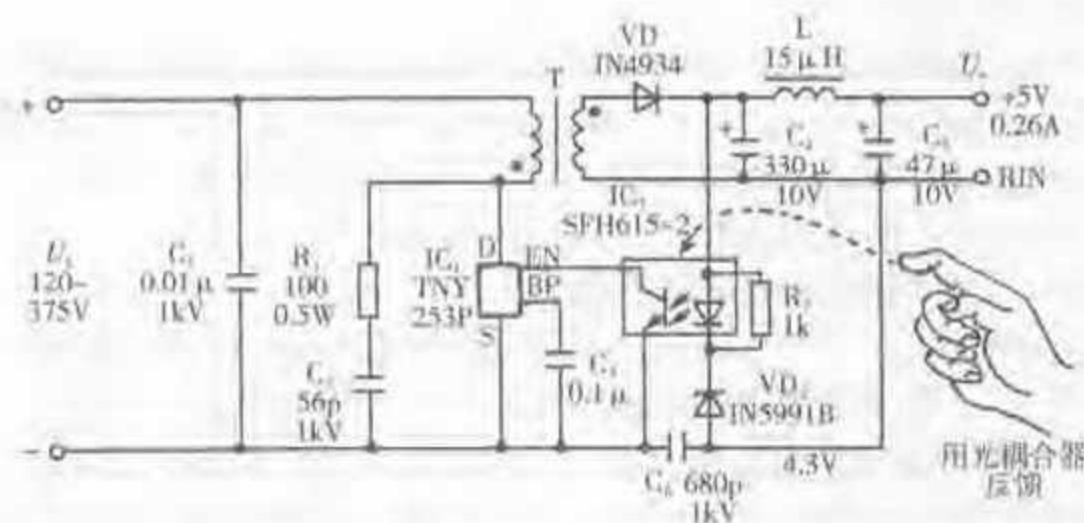


图 5-63 TNY253P 型开关稳压器带光耦隔离的应用电路

由图可见,该稳压源的输入直流电压  $U_1$  范围相当宽(直流  $120\sim 375\text{V}$ )。并联电容器  $C_1$  对输入回路中可能的高频干扰信号起旁路作用,其耐压为  $1\text{kV}$ 。如果  $U_1$  端接至本电路的引线比较短,则  $C_1$  也可省去。由于 TNY253P 型开关稳压器开关工作频率为  $44\text{kHz}$ ,因此可采用由  $R_1$ 、 $C_2$  构成的阻容吸收回路作为漏极保护电路( $C_2$  耐压应不低于  $1\text{kV}$ ),它不仅能将漏极关断时产生尖峰电压限制在安全范围内,而且还能降低电压上升速率,减少视频辐射噪声,这对视频设备正常工作很重要。

脉冲变压器 T 次级上的高频电压经快恢复二极管 VD(IN4934 型)和电容器  $C_3$  整流滤波后获得  $5\text{V}$  直流输出电压,经后级电感器 L 与电容器  $C_4$  组成的辅助滤波器可进一步减小  $5\text{V}$  直流电压中的纹波电压。

从图可见,负反馈信号由光耦器  $IC_2$ (SFH615-2 型)来提供,以稳定输出电压  $U_o$ 。 $IC_2$  中光敏三极管的集电极接  $IC_1$  的使能端(EN),正常工作时从 EN 端流出的电流  $I_{EN} < 40\mu\text{A}$ 。 $R_2$  是稳压管  $VD_2$  的限流电阻, $C_4$  是  $IC_1$  旁路端(BP)的外接旁路电容。 $C_5$  是安全电容(耐压  $1\text{kV}$ ),能滤掉由初、次级耦合引起的共模干扰。

本电路实际上是一种由 TNY253P 型开关稳压器构成的彩电待机电路( $5\text{V}$ 、 $1.3\text{W}$ ),其输入电压  $U_1$  是利用彩电主电源产生的直流高压,由于  $U_1$  的许可范围宽( $120\sim 375\text{V}$ ),故可在不同机型的彩电中使用。





## 第六章 电子线路综合识图实例

### 第一节 调频无线话筒电路

无线话筒与一般话筒不同,它是以无线电波方式发送语言或音乐,在一定距离范围内可用普通调频收音机接收。若按载波调制方式区分,无线话筒可分为调频式、调幅式、调频调幅式三类。由于无线话筒工作位置不像普通话筒那样会受到接线长度的限制,因此在舞台演出、教师讲课等场合使用就更为方便和自由。

下面介绍采用集成高频宽带放大器构成的调频无线话筒电路,可在88~108MHz调频波段内选定工作频率,用普通调频收音机接收,具有外围电路简单、工作稳定、性能可靠和调试简便的特点。

#### 一、调频无线话筒电路

采用集成高频宽带放大器构成的调频无线话筒电路如图6-1所示。

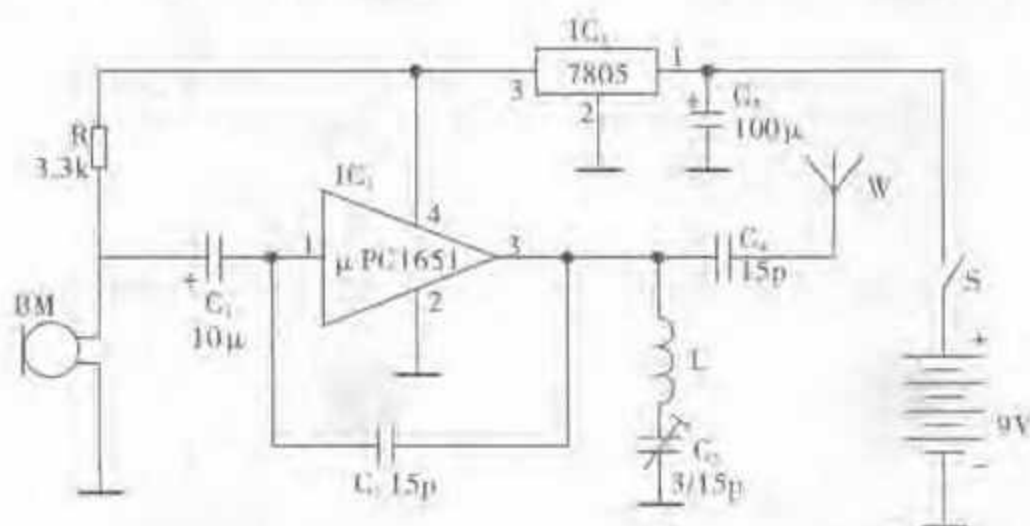


图6-1 采用集成高频宽带放大器构成的调频无线话筒电路

由图可见,整个电路实际上是由三部分组成的,具体是:传声器(话筒)电路、高频振荡和发射电路,电源电路。其中用来构成调频振荡电路的集成高频宽带放大器 IC<sub>1</sub> 是整个电路的核心器件。







### 1. 高频振荡和发射电路

图中所示集成块 IC<sub>1</sub> (μPC1651) 是全电路的核心, 在它的输出端(3脚)与地端(2脚)之间外接电感器 L 与电容器 C<sub>11</sub> (3~15pF 半可调电容器) 构成 LC 串联谐振回路。同时, IC<sub>1</sub> 的输出端(3脚)与输入端(1脚)之间通过外接电容 C<sub>2</sub> 构成高频正反馈通路(IC<sub>1</sub> 内部为 2 级高频放大电路), 从而为产生高频振荡准备好条件。

振荡频率可按  $f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC_1}$  估算, 因此当 L 不变时, 改变半可调电容 C<sub>2</sub> 的电容量, 即可达到调整 f<sub>0</sub> 的目的。

当对着驻极体话筒 BM 讲话或播放音乐时, BM 将声波转换成音频电信号输出, 经耦合电容 C<sub>1</sub> 将此音频信号加到集成块 IC<sub>1</sub> 的输入端(1脚), 从而对 IC<sub>1</sub> 的高频振荡信号进行频率调制, 调频信号通过电容器 C<sub>2</sub> 耦合至天线 W, 以调频电磁波方式发射出去。

### 2. 传声器(话筒)电路

图 6-1 所示的话筒电路部分是由驻极体话筒 BM、漏极输出电阻 R (3.3kΩ) 和隔直电容(也是作为耦合电容) C<sub>1</sub> 三元器件组成。

由图可见, R 的一端接稳压电源正极, 另一端接驻极体话筒正端[即话筒内场效应管的漏极(D), 而源极(S)接地作为话筒的负端]。这是对驻极体话筒采取漏极输出方式的接法, 只需 2 根引出线, 比源极输出方式时话筒灵敏度要高一些, 但电路工作动态范围略小。通过查阅资料, 可知驻极体话筒的 4 种具体接法如图 6-2 所示。了解这些接法, 对于我们更加深入地识读相关电路是必不可少的。

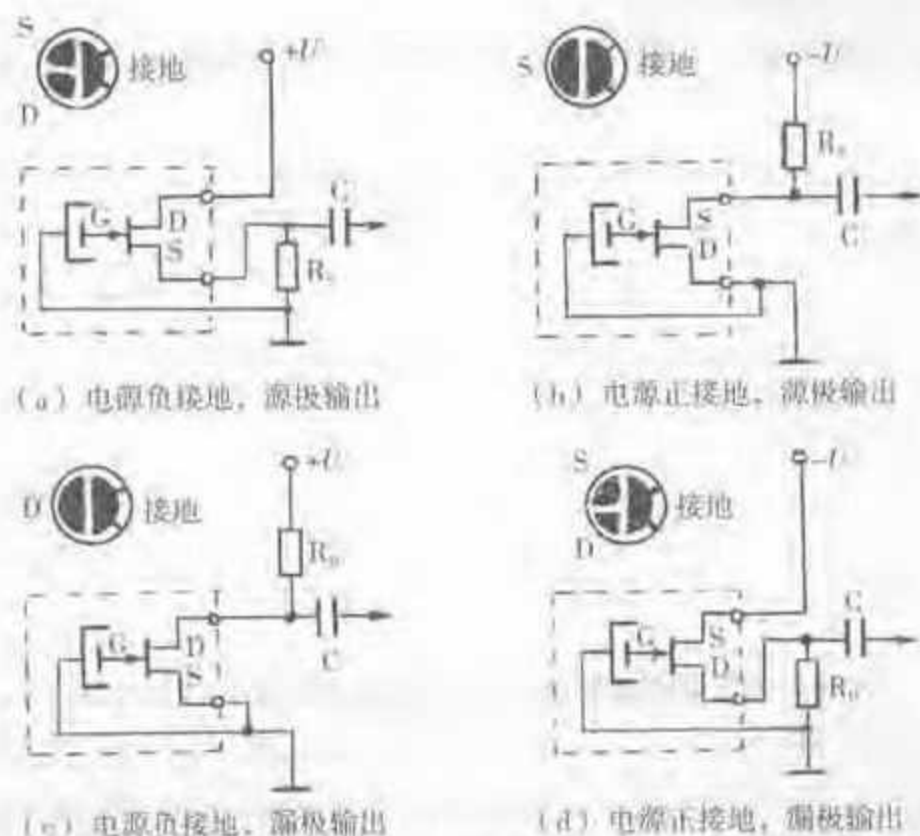


图 6-2 驻极体话筒输出的 4 种接法



通常,图 6-2(b)、(c)所示适用于 2 端式话筒连接,一般  $R_3$  取  $2.2 \sim 5.1 \text{k}\Omega$ ,  $R_4$  取  $1 \sim 2.7 \text{k}\Omega$ 。图的左上角画出驻极体话筒底视图。图 6-2(a)、(d)所示为 3 端式话筒底视图及输出的 2 种接法。

### 3. 电源电路

图 6-1 所示的电源电路部分主要由集成电路  $IC_2$  (W7805) 构成。W7805 是稳定电压为  $+5\text{V}$  的普通三端集成稳压块,它要求输入电压(指 1 脚与 2 脚之间的直流电压)要比输出电压(标称值为  $5\text{V}$ )至少大  $2\text{V}$ ,才能确保输出电压稳定性良好。因此,在本电路中电源电压选  $9\text{V}$  是合理的。这样就使集成块  $IC_1$  ( $\mu\text{PC1651}$ ) 能获得稳定的  $5\text{V}$  工作电压,对提高高频振荡电路的频率稳定性较有利。

$C_3$  ( $100\mu\text{F}$ ) 是电源旁路电容,当接通或关断电源时,  $C_3$  的充、放电过程对电路起缓冲作用。

由于  $IC_1$  工作电流最大值  $\leq 25\text{mA}$  (表 6-1), 驻极体话筒工作电流  $< 1.5\text{mA}$  (估算:  $5\text{V}/3.3\text{k}\Omega = 1.51\text{mA}$ ), 因此整个电路的工作电流不大,  $IC_2$  不必再附加散热片,可用  $9\text{V}$  叠层电池供电。

## 二、调频无线话筒印制电路和元器件布置图

调频无线话筒印制电路和元器件布置图如图 6-3 所示。

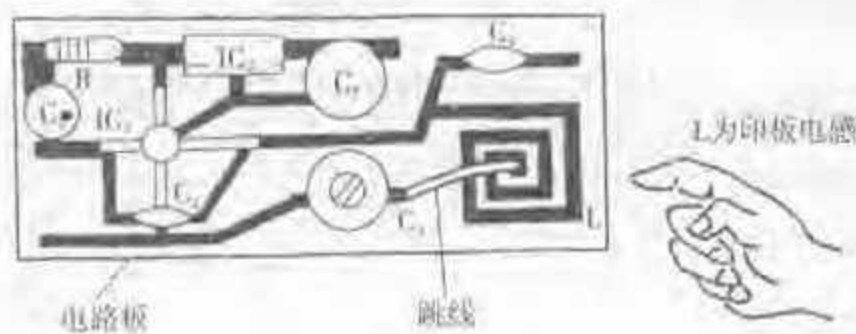


图 6-3 调频无线话筒印制电路板和元器件布置图

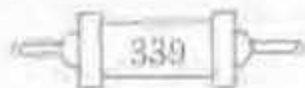
此图与实物尺寸比例为  $1:1$ 。由图可见,电子元器件直接搭焊在印制电路板的铜箔面上。谐振回路电感器  $L$  采用印板电感,即将它直接制作在印制电路板上,规格为  $12\text{mm} \times 12\text{mm}$ , 2.5 圈。印板电感的优点是不会变形,电感量很稳定,从而对保证振荡频率的稳定十分有利。

由图可见,印板电感  $L$  的中心端通过绝缘跳线与半可调电容器  $C_1$  连接。印板电感  $L$  的外端与集成块  $IC_1$  的输出端及天线耦合电容  $C_2$  连接,  $C_2$  的右端接发射天线  $W$  (可用一段约  $40\text{cm}$  长的绝缘导体来代替等长的拉杆天线,图中未画出)。

图 6-3 所示虽然没有直接指明与话筒  $BM$ 、开关  $S$  以及  $9\text{V}$  电池的焊接端位置,但只要对照图 6-1 所示电路识读就一目了然了。

## 三、主要电子元器件

在调频无线话筒电路中的主要电子元器件为集成高频宽带放大器,集成稳压



器和驻极体话筒。

$\mu$ PC1651G 型集成高频宽带放大器和 W7805 型集成稳压器的外形和引脚排列如图 6-4 所示。前者的实际尺寸要比图中所示的小很多。

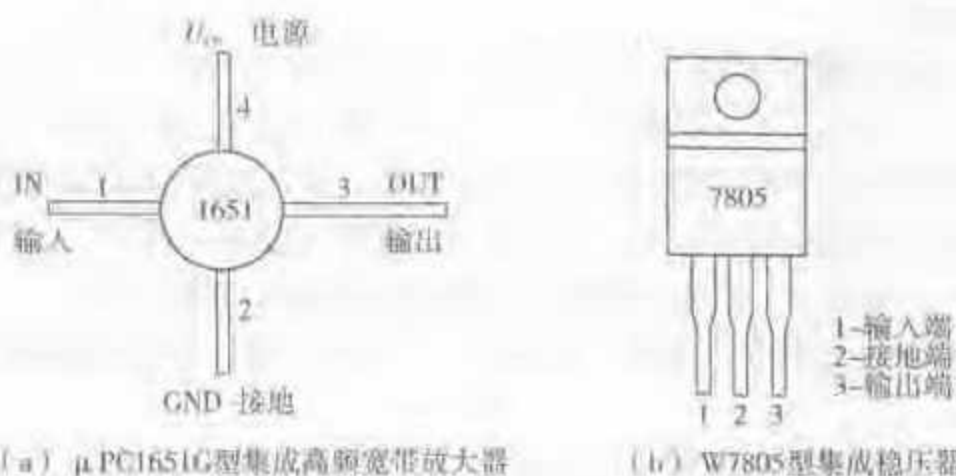


图 6-4  $\mu$ PC1651G、W7805 型的外形和引脚排列

### 1. $\mu$ PC1651G 型集成高频宽带放大的特点和主要技术参数

$\mu$ PC1651G 型是一种新型、高效、工作稳定的集成高频宽带放大器，它的线性度和抗交流调制性能良好。其输出端内部串有限流电阻，能保护器件免受过载。 $\mu$ PC1651G 型集成高频宽带放大器的主要技术参数见表 6-1。

表 6-1  $\mu$ PC1651G 型集成高频宽带放大器主要技术参数

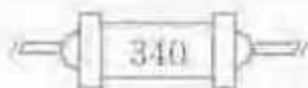
参 数	最小值	典型值	最大值	测试条件
工作电流(mA)	15	20	25	$U_{CC}=5V$ 静态
增益(dB)	16	19	25	$U_{CC}=5V$ $f=500MHz$
噪声系数(dB)		5.5	6.5	
带宽(MHz)	1 000		1 200	$U_{CC}=5V$ 3dB 衰减
工作温度范围( $^{\circ}C$ )	-20	25	75	

### 2. CW7805 型集成稳压器主要技术参数

CW7805 型集成稳压器主要技术参数：输出电压典型值为 5V，最小值为 4.75V，最大值为 5.25V（测试条件：输入电压为 10V，负载电流为 500mA，工作温度为 25 $^{\circ}C$ ）；最小输入电压为 7V；电压调整率在输入电压 8~12V 范围内变化时，输出电压增量最大值不超过 50mV。

### 3. 驻极体话筒的选用

国产驻极体话筒有 CZ、CRZ、CNZ 等系列产品，外形尺寸绝大多数为  $\phi(10\sim 12)mm \times 7mm$ ，主要技术特性相差不太大，通用互换性较好。其中有些品种用色点标记对灵敏度进行分档，从高到低通常分绿、红、蓝 3 档或红、黄、蓝、白 4 档。





绝大多数驻极体话筒工作电压范围为 3~6V,应用时不要超过最高工作电压(一般为 10~12V),最好在产品推荐电压下工作。

#### 四、电路调试

①用万用表 DC 50mA 挡测量 IC<sub>1</sub>( $\mu$ PC1651)的静态电流应在 15~25mA 之间(直流稳压为 5V),典型值为 20mA。

②用无感小螺丝刀细心调节半可调电容器 C<sub>2</sub>,即可改变发射频率,使调频收音机能在无广播电台信号处稳定、清晰地接收到无线话筒的信号即可。

## 第二节 集成简易家用防盗报警器电路

### 一、防盗报警器电路

集成简易家用防盗报警器电路如图 6-5 所示。它由断路报警线 L、单向晶闸管 VS、模拟声集成电路 IC、三极管 VT 和扬声器 B 等组成。

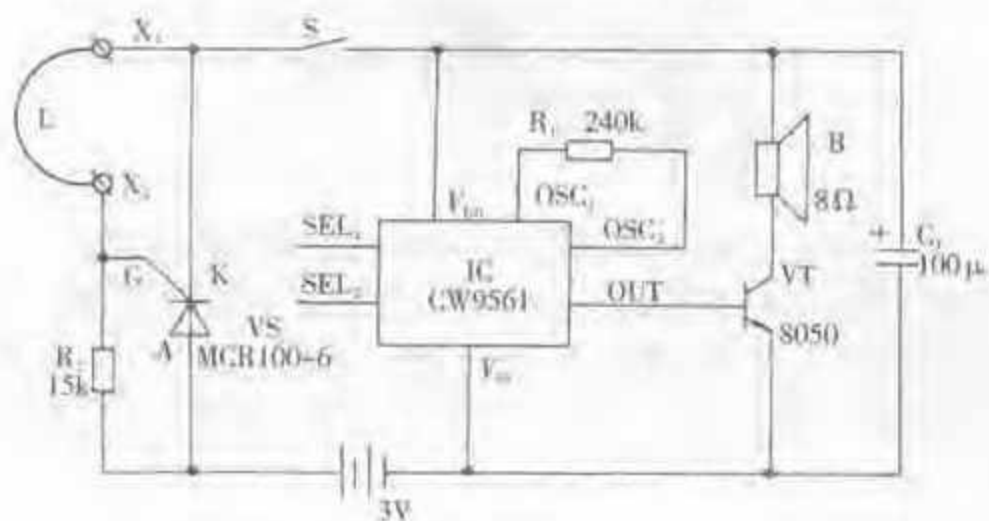


图 6-5 集成简易家用防盗报警器电路

工作原理:图中 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>为接线柱,供连接报警线 L(细漆包线)用。平时接通电源(开关 S 合上)后由于 X<sub>1</sub>与 X<sub>2</sub>之间有报警线 L 相接,单相晶闸管 VS 的触发电压为零(G、K 极之间的电压为零),所以 VS 处于阻断状态。此时模拟声集成电路不工作,晶体三极管 VT 处于截止状态,扬声器 B 不发声,整机功耗小于 0.6mW [电源电流小于  $3V/15k\Omega = 3/(15 \times 10^3) = 2 \times 10^{-4}$  (A) 即 0.2mA,即功耗小于  $3V \times 0.2mA = 0.6mW$ ]。一旦作为报警线的细漆包线被拉断,晶闸管 VS 的控制极 G 将通过电阻器 R<sub>2</sub>(15k $\Omega$ )从电源获得触发电流而导通,于是模拟声集成电路 IC (CW9561)立即开始工作,从 OUT 端输出模拟警车声电信号,经晶体三极管 VT 功率放大后驱动扬声器 B 连续发出报警声。图中对三极管 VT 不设任何偏置电路,它的偏置电流等于零,即 VT 处于乙类放大工作状态。



图中电容器  $C_1$  是为了减小电源、单向晶闸管的交流内阻,特别是当电池用得较久而引起电压下降时,如果没有  $C_1$  将会使报警声显著减弱和变样。

## 二、主要电子元器件

图中 CW9561 为四模拟声报警集成电路,它具有 2 个选择端  $SEL_1$ 、 $SEL_2$  供不同的选择连接,可以得出下面 4 种不同的模拟声信号:①  $SEL_1$ 、 $SEL_2$  均悬空时为警车声;②  $SEL_1$  接  $V_{DD}$ 、 $SEL_2$  悬空时为消防车声;③  $SEL_1$  接  $V_{SS}$ 、 $SEL_2$  悬空时为救护车声;④  $SEL_1$  悬空、 $SEL_2$  接  $V_{DD}$  时为冲锋枪声。图 6-5 所示为选择警车声,而因  $SEL_1$ 、 $SEL_2$  均悬空。

CW9561 型四模拟声报警集成电路印制电路板如图 6-6 所示。该集成电路采用软封装形式,尺寸为  $33\text{mm} \times 10\text{mm}$ ,将芯片用黑膏封装在一小块印制电路板上,其中焊盘 B、C、E 供焊接小功率放大三极管用。在  $OSC_1$ 、 $OSC_2$  两端跨接振荡电阻  $R_1$ ,可以调整模拟声的音调和重复速度,即当  $R_1$  阻值较小时模拟声音调较高,重复速度较快;反之,音调较低、重复速度较慢。 $R_1$  的典型值为  $240\text{k}\Omega$ 。

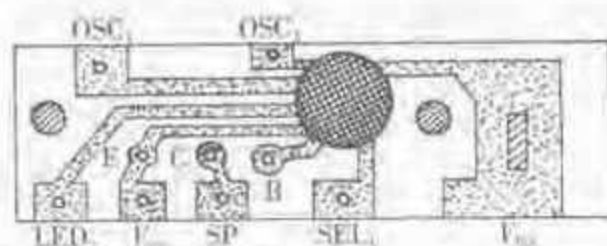


图 6-6 CW9561 型四模拟声报警集成电路印制电路板

图中 MCR100-6 为小型塑封单向晶闸管,外形和引脚排列如图 6-7 所示,其也可用 3CT041 型、3CT051 型等单向晶闸管代替。晶体三极管 VT 可用 9013 型或 3DG12、3DK4 等型号的硅 NPN 中功率三极管,最好采用功率为  $1\text{W}$  的 8050 型晶体三极管。

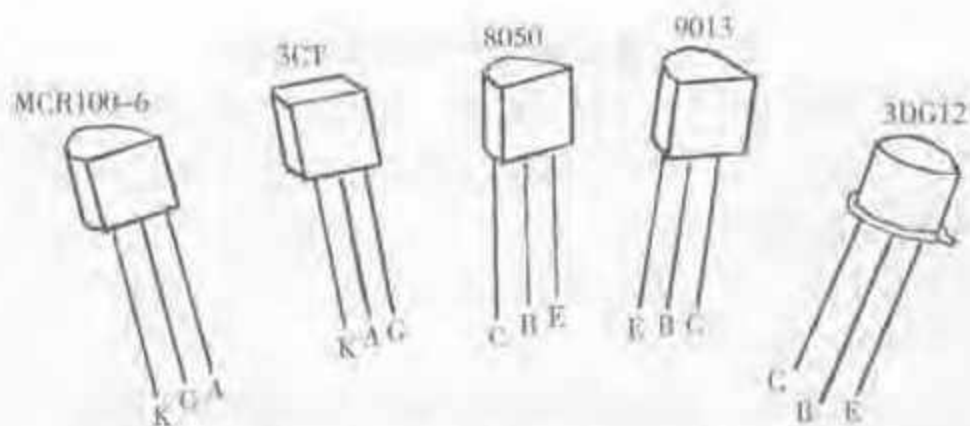
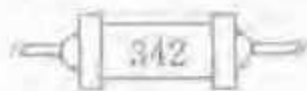


图 6-7 几种晶闸管、晶体三极管的外形和引脚排列

集成简易家用防盗报警器印制电路板图如图 6-3 所示。图 6-3(a)所示为自制的印制电路板,外形尺寸为  $35\text{mm} \times 30\text{mm}$ ,晶闸管 VS、电阻器  $R_2$ 、电容器  $C_1$  均直





接插入并焊接在该印制电路板上,接线柱  $X_1$ 、 $X_2$  以及开关  $S$ 、扬声器  $B$  等则通过软导线连接。图 6-8(b) 所示为 CW9561 型集成电路印制电路板,外接三极管  $VT$ 、振荡电阻  $R_1$  就直接插入并焊接在该印制电路板上。

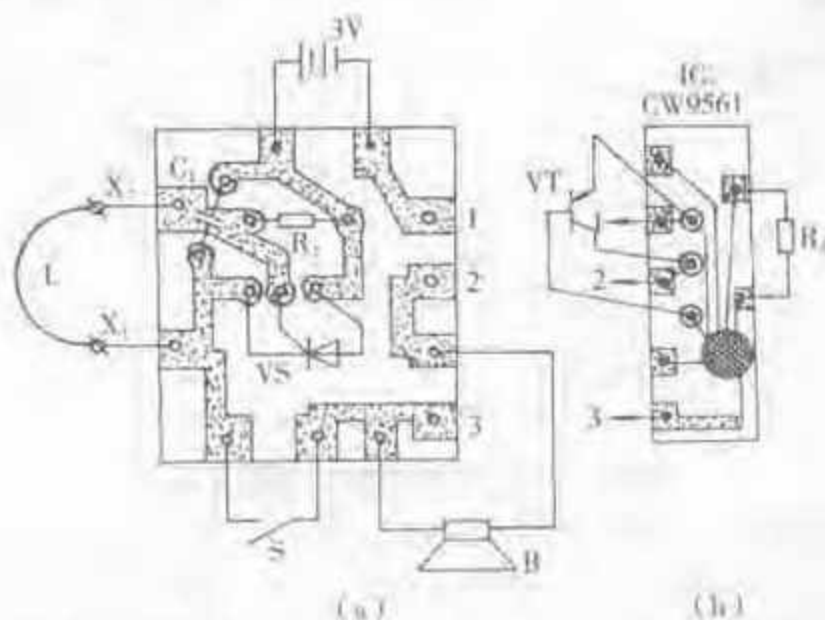


图 6-8 集成简易家用防盗报警器印制电路板图

### 三、电路调试

本报警器外部电路结构简单,只要元器件性能良好,焊接无误,一般来说整个电路接好后不必调整就能正常工作。接通电源,当接线柱  $X_1$ 、 $X_2$  之间开路时,报警器就会连续发出模拟警车声的报警声;当将接线柱  $X_1$ 、 $X_2$  之间用导线短路,则报警声就会立即消失,说明报警器电路工作完全正常。

如果因晶闸管  $VS$  的触发灵敏度较低导致报警器电路不能正常工作,则可适当减小  $R_2$  的阻值,可将其阻值降至  $10\text{k}\Omega$  左右。当然,使用报警器时采用细漆包线作为报警线,漆包线的两端应刮掉绝缘漆。使其与接线柱连接时接触良好,细漆包线的长度根据实际情况而定。

### 四、其他电路

一种贵重物品防盗报警器电路如图 6-9 所示。图中  $SB$  为常闭式小型微动开关,平时承受着放在它上面贵重物品的部分重力,其常闭触点断开,单向晶闸管  $VS$  控制极  $G$  与阴极  $K$  之间无触发信号, $VS$  处于阻断状态,模拟声集成电路  $IC$  因电源不通而无法工作,扬声器  $B$  不发声,报警器耗电近似为零。如果贵重物品一旦挪开,则微动开关  $SB$  的一对触点就会因失去压力作用而自动闭合,于是晶闸管  $VS$  的控制极  $G$  经电阻器  $R$  从电源正端获得触发电流,使  $VS$  导通,模拟声集成电路  $IC$  就输出警报声电信号,经三极管  $VT$  功率放大后从扬声器  $B$  播放出响亮的警报声。即使把物品放回原处或破坏微动开关  $SB$ ,警报声仍不会停止。因为单向晶闸管一经触发导通后仍维持导通状态,只有切断工作电源时报警才解除。



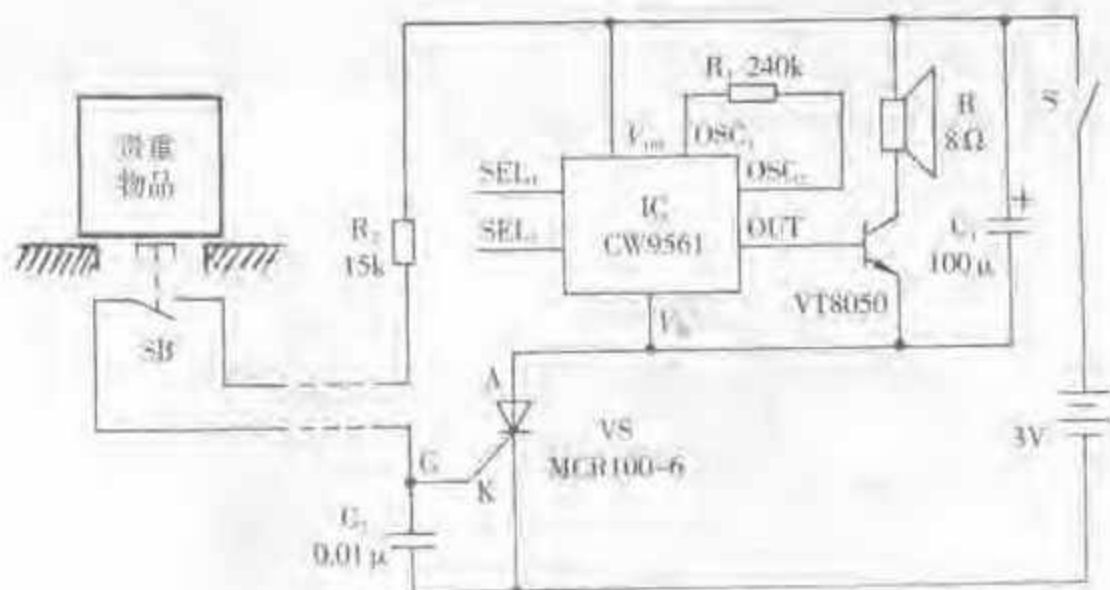


图 6-9 贵重物品防盗报警器电路

该报警器电路与图 6-5 所示的电路基本相同,其主要元器件也是采用四声模拟声集成电路 CW9561 以及单向晶闸管 MCR100-6 等。图中并联于 VS 的 G、K 极间电容器  $C_2$  是为了消除周围杂波信号对 VS 的误触发,使报警器更可靠地工作。

贵重物品防盗报警器印制电路板图如图 6-10 所示。图 6-10(a) 所示为自制印制电路板,其实际外形尺寸为  $35\text{mm} \times 30\text{mm}$ ,晶闸管 VS、电阻器  $R_1$ 、电容器  $C_1$  和  $C_2$  直接插入并焊接在印制电路板上,微动开关 SB、电源开关 S、扬声器 B 及电源通过软导线与印制电路板相接。图 6-10(b) 所示为四声模拟声集成电路 CW9561 型的印制电路板,电路芯片用黑膏封装在此基板上,一共有 10 个焊盘,外接三极管 VT 和振荡电阻 R,可直接插入并焊接在上面(简称插焊)。图 6-10(b) 所示的焊盘 1、2、3 分别对应图 6-10(a) 所示的焊盘 1、2、3,它们之间用软导线相接。

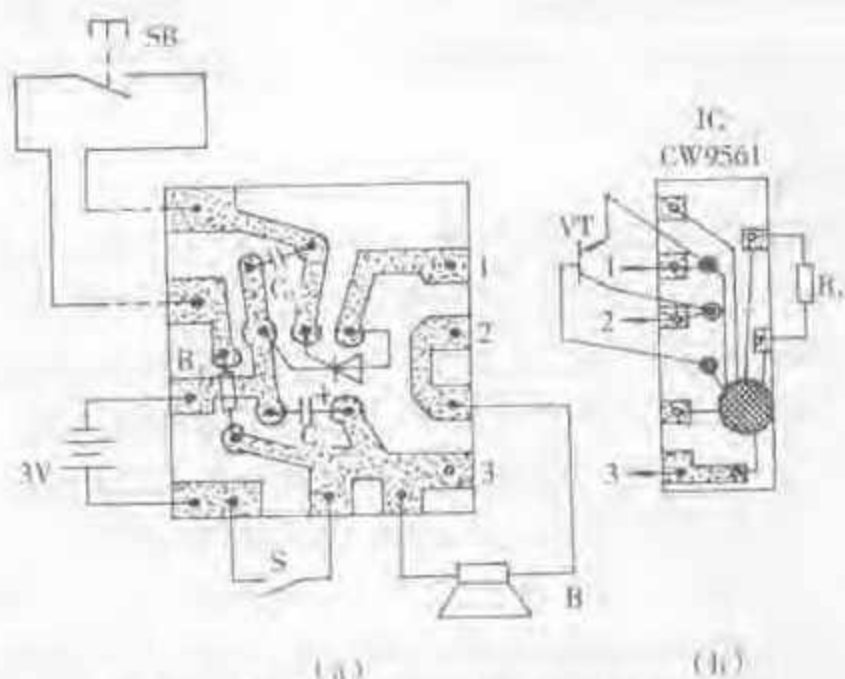


图 6-10 贵重物品防盗报警器印制电路板图



只要元器件良好,焊接正确,该贵重物品防盗报警器无需调整就能正常工作。如果因晶闸管 VS 触发电流太小而不能正常工作,则可将  $R_5$  的阻值减小到  $8 \sim 10k\Omega$ ,否则应检查 VS 性能是否良好。

若为增加报警声响的音量,也可将电源电压提高到 4.5V(用 3 节 5 号电池串联)。

### 第三节 音频压控节日彩灯电路

以节日彩灯控制专用集成电路为核心构成的音频压控节日彩灯电路,可由音响或收录机等设备输出的音频信号来控制彩灯跳跃的速率,为节日增添欢乐气氛,效果很好。

#### 一、音频压控节日彩灯电路

音频压控节日彩灯电路如图 6-11 所示。

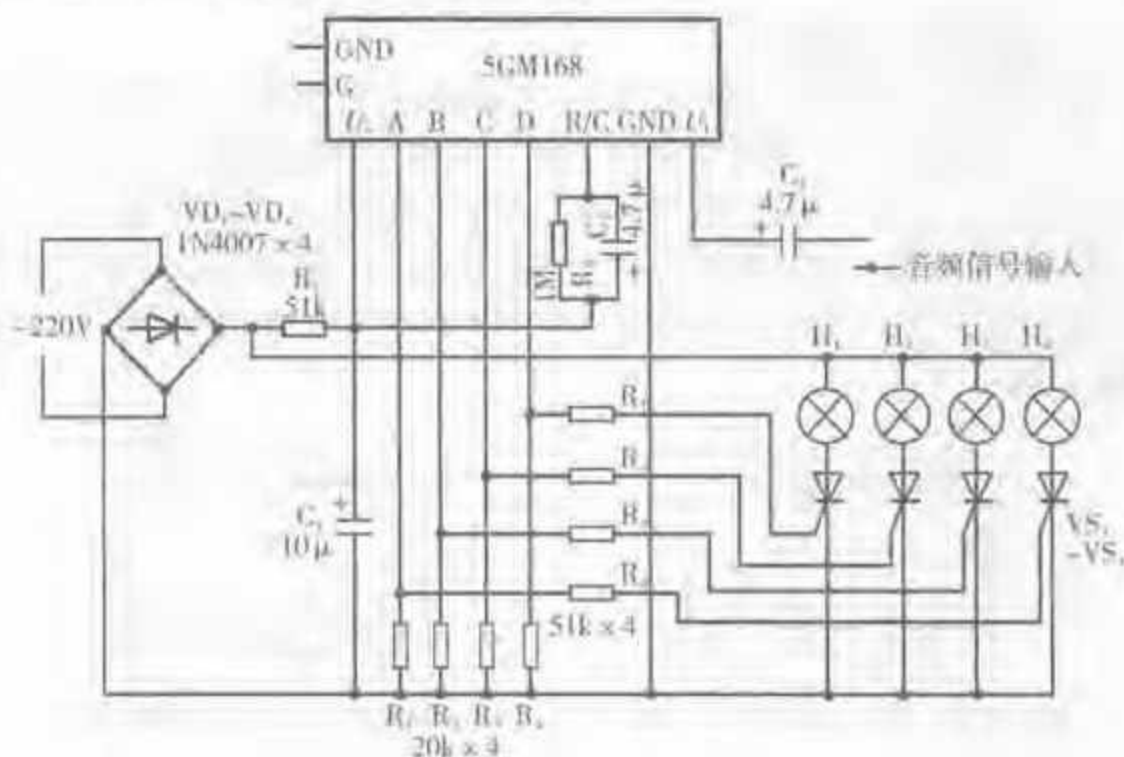


图 6-11 音频压控节日彩灯电路

由图可见,该电路的核心器件是彩灯控制专用集成电路 5GM168。它的四路驱动输出端 A、B、C、D 分别通过电阻器  $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$  各自接至单向晶闸管  $VS_1 \sim VS_4$  的控制极,在 4 只单向晶闸管的阳极回路中分别串联 4 只彩灯  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ 。与集成电路“R/C”端相接的电阻器  $R_2$  ( $1M\Omega$ )、并联电容器  $C_2$  ( $4.7\mu F$ ) 是芯片内压控振荡器的外接阻容元件,它们决定四路彩灯  $H_1 \sim H_4$  的起始循环速率。

电阻器  $R_1$  是集成电路 5GM168 的外接电源降压限流电阻,应采用 2W 金属膜电





阻器。电容器  $C_1$  为电源滤波电容。桥式整流电路由 4 只整流二极管  $VD_1 \sim VD_4$  (1N4007 型) 组成, 使用时其交流输入端直接接入 220V 市电即可, 无需经过变压器。

集成电路内的整流放大器输入端  $U_1$  通过外接耦合电容  $C_2$  输入音频信号, 将外部输入的音频信号经芯片内部整流放大后去控制内部的压控振荡器的振荡频率, 从而使彩灯的循环速率随输入的音频信号强弱变化而变化。四路彩灯  $H_1 \sim H_4$  的循环点亮方式将按二二循环点亮方式(所谓“鸳鸯跳跃”循环方式)进行, 见表 6-2。

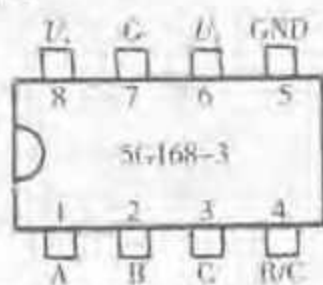
表 6-2 集成电路 5GM168 输出时序真值表

选择端	输出端	A	B	C	D
G 为 1(即 G 端悬空)时为四路输出	1	1	1	0	0
	0	0	1	1	0
	0	0	0	1	1
	1	0	0	0	1

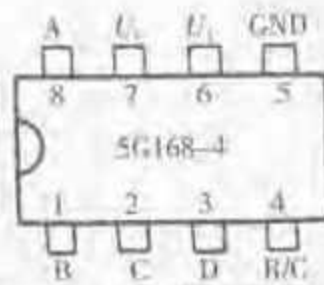
注: 选择端 G 悬空时为高电平, 即 G 为 1; G 端接地时则为低电平, 即 G 为 0, 此时为三路输出, 见表 6-3。

## 二、主要电子元件

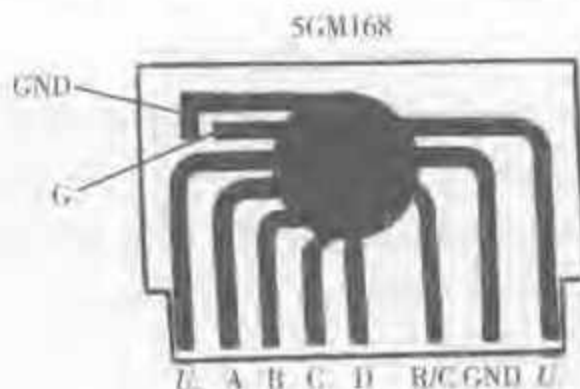
节日彩灯控制专用集成电路 5GM168 型的印制电路板及引脚排列如图 6-12 (e) 所示。它采用软封装形式将芯片封装在一小块印制电路基板上, 一共有 10 个焊盘(引出端), 从上至下、从左至右分别为 GND(地端)、G(选择端)、 $U_1$ (电源正端)、A(第一路驱动输出端)、B(第二路驱动输出端)、C(第三路驱动输出端)、D(第四路驱动输出端)、R/C(压控振荡器外接阻容元件端)、GND(地端)、 $U_2$ (压控整流放大器输入端)。



(a) 三路输出(等效 5GM168 型 G 端接地)



(b) 四路输出(等效 5GM168 型 G 端悬空)



(c) 四路、三路输出可选

图 6-12 5GM168 的印制电路板和引脚排列





5GM168 型的 G 端悬空时(高电平状态),集成块被选定为四路驱动输出(表 6-2);G 端接 GND 时(低电平状态),则被选定为三路驱动输出,此时输出时序真值表见表 6-3。因此,可按实际需要选择四路或三路驱动输出,使用灵活性较大。

另外也有双列直插式塑料硬封装的 5G168-3 型和 5G168-4 型,它们分别为固定三路输出和固定四路输出,其引脚排列如图 6-12(a)、(b)所示。

表 6-3 5GM168 型 G 端接地时输出时序真值表

选择端 \ 输出端	A	B	C	D
G 为 0(即 G 端与 GND 端短接)三路输出	1 0 1	1 1 0	0 1 1	D 端悬空  不输出

注:G 端悬空时相当 G 为 1,此时输出时序真值表见表 6-2。

在 5GM168 型输出端真值表中,输出电平为“1”(高电平)时,对应于该路的彩灯点亮;输出电平为“0”(低电平)时,则对应于该路的彩灯熄灭。(上述专用集成电路为上海元件五厂制造)

## 第四节 集成调频收音机电路

采用一块收音机专用集成电路 TDA7021,仅加很少外接元器件,即可制成性能优良、稳定可靠的单片调频(FM)收音机。

### 一、集成调频收音机电路

用集成电路 TDA7021 型构成调频收音机电路原理图如图 6-13 所示。

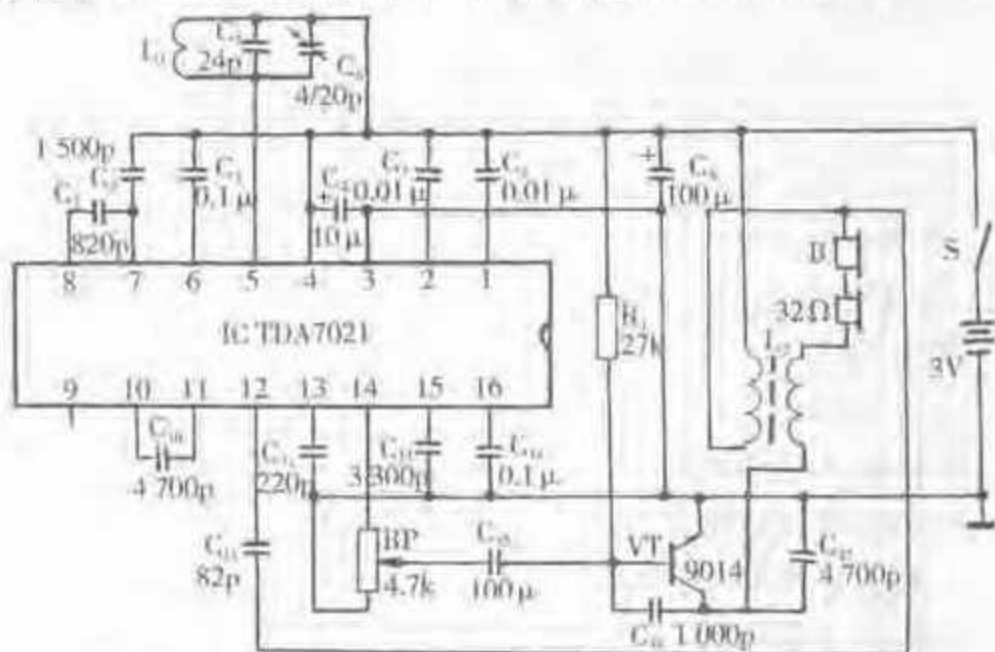
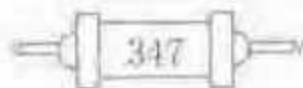


图 6-13 集成电路 TDA7021 型构成调频收音机电路原理图





由图可见,集成电路 TDA7021 型为该调频收音机电路的核心,对该器件各引脚的功能可通过查阅资料了解。

从该电路原理图可以看出,除集成电路 IC(TDA7021)外,主要由  $L_1$ 、 $C_5$ 、 $C_6$  构成调谐回路,由晶体三极管 VT(9014)构成音频放大电路等。外围元器件数量不多,使整个电路显得比较简单。

电路工作原理:集成电路 IC 的 12 脚是天线输入端,电台广播的调频(FM)信号经耳机线(作天线)吸收后,通过电容器  $C_{11}$  耦合至该输入端(12 脚),在 IC 内部进行高频放大。同时,由电感器  $L_1$ 、电容器  $C_5$ 、 $C_6$  与 IC 的本振端(4 脚、5 脚)构成本机振荡回路产生本机振荡信号,此信号与从天线端(12 脚)输入的调频信号在 IC 内部进行混频、中放、鉴频,然后从 IC 的音频输出端(14 脚)输出音频信号。此音频信号经电位器 RP(音量调节)和电容器  $C_{15}$  输送到晶体三极管 VT(9014 型)进行音频功率放大,推动接在 VT 集电极回路中的耳机 B 工作,使耳机发出接收到的调频节目播音声。

由于集成电路 TDA7021 型采用频率锁定技术来压缩中频信号的频偏,因而在中频滤波电路中(7 脚、8 脚和 10 脚、11 脚)都无需采用中频变压器或陶瓷滤波器,只需 RC 有源滤波器即可(外接电容),即在 7 脚、8 脚之间外接中频滤波电容  $C_7$ ,在 10 脚、11 脚之间外接中频滤波电容  $C_{10}$ 。这样构成的收音机电路输入回路不必调谐,只要通过改变本机振荡频率(调节可变电容器  $C_4$ )即可实现选台,也就是说只要用单联可变电容器  $C_4$  来进行调谐就可以了。而且,整机组成后也不需要统调。

## 二、主要电子元件

在集成调频收音机中的主要电子元件为集成电路 TDA7021 型,晶体三极管 9014 型和小型密封单联可变电容器等。

### 1. TDA7021 型集成电路各引脚的功能

TDA7021 型为 16 脚双列直插式封装,各引脚的功能为:

- 1 脚——鉴频器输出端
- 2 脚——静噪控制端
- 3 脚——地端(电源负端)
- 4 脚——电源正端
- 5 脚——本机振荡端
- 6 脚——限幅输入旁路端
- 7 脚——中频滤波电容端之三
- 8 脚——中频滤波电容端之四
- 9 脚——场强电平输出端
- 10 脚——中频滤波电容端之一





- 11脚——中频滤波电容端之二
- 12脚——天线输入端
- 13脚——输入旁路端
- 14脚——音频输出端
- 15脚——去耦电容端
- 16脚——音频输入旁路端

## 2. 9014 型晶体三极管外形和主要技术参数

进口塑封高频三极管 9014 型为硅 NPN 型管,外形近似半圆柱形,面对印字面从左至右引脚的依次排列为发射极(E)、基极(B)、集电极(C)。

9014 型高频三极管的主要参数为:

特征频率  $f_T$ : 80MHz

集电极最大允许电流: 100mA

共发射极电流放大系数  $h_{FE}$ : 60~1 000

集电极反向饱和电流  $I_{CBO}$ : 50 $\mu$ A

集电极与发射极反向击穿电压  $U_{130VC20}$ : 45V

集电极最大耗散功率: 625mW

## 第五节 可调直流稳压电源电路

采用 LM317 型可调集成稳压器加比较简单的外围电路可制成输出直流电压可调范围为 1.25~13.5V 的稳压电源,在满载电流 1.6A 时最大输出电压不小于 12V,并且有过流和短路保护、调整管安全工作区保护以及过热保护电路,性能稳定,工作可靠。

### 一、可调直流稳压电源电路

1.25~13.5V 可调直流稳压电源电路如图 6-14 所示。由图可见,220V 交流电源通过 2×1 开关  $S_1$  及保险丝 FU 后加在变压器 T 的初级绕组,变压器次级输出的交流电压为 18V,且每间隔 6V 就有一个抽头,共有 4 个引出端。其中 6V 交流电压输出绕组与限流电阻  $R_1$ 、发光二极管 LED 构成指示灯电路;12V、18V 交流电压输出端分别通过选择开关  $S_2$  与桥式整流电路的输入端相接。桥式整流电路由 4 只整流二极管  $VD_1 \sim VD_4$  (1N4001 型)组成。

电解电容器  $C_1$  的作用是对桥式整流输出电压进行滤波,无极性电容器  $C_2$  是为了旁路可能产生的瞬时过冲电压。

当选择开关  $S_2$  接 12V 交流电压挡时,理论上整流、滤波后输出电压等于输入交流的幅值即为  $\sqrt{2} \times 12V$ ,但扣除桥式整流电路中的电压降约 2.2V,故实际输出



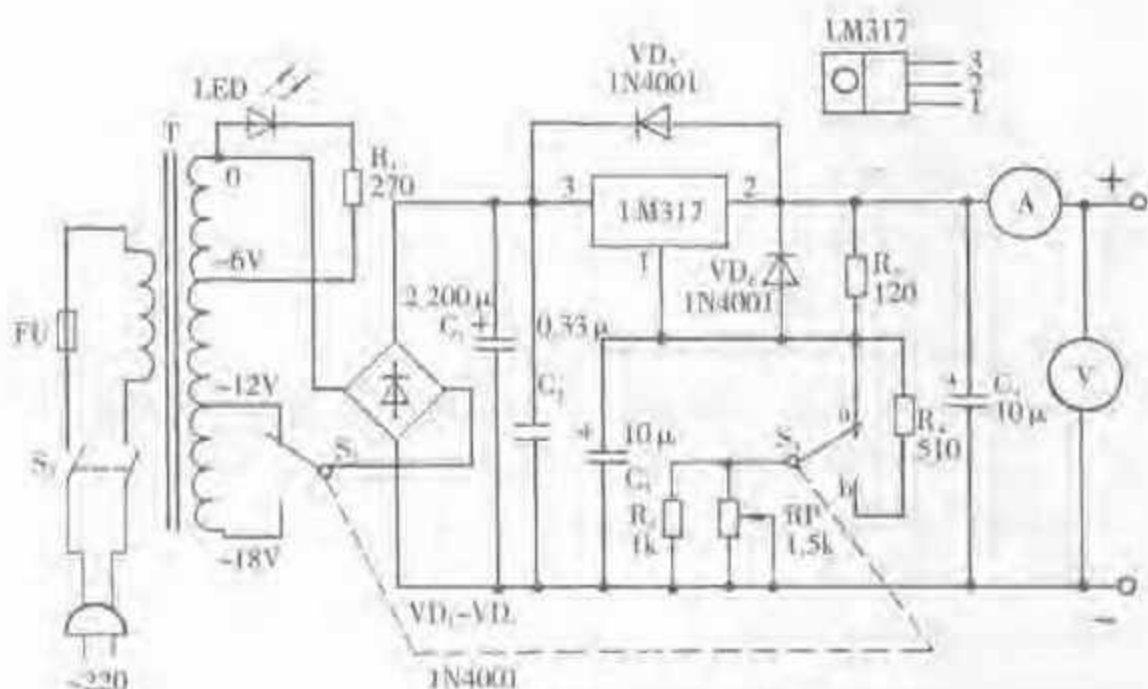


图 6-14 1.25~13.5V 可调直流稳压电源电路

直流电压约为 14.8V。同理,当  $S_2$  接 18V 交流电压挡时,电容器  $C_1$  两端的电压约为 23.2V。对可调输出集成稳压器输入电压采取分挡的方法,是为了使它的输入与输出电压差不至于太大(保持 2V 以上的电压差),从而显著地降低了在集成稳压器上的功耗,使元器件工作温度随之降低。

集成稳压器 LM317 型在最大输入电压不超过 40V 的条件下输出端(2脚)与调整端(1脚)之间有一个非常稳定的基准电压,约为 1.25V。当电位器 RP 的阻值调到零且选择开关  $S_2$  与 a 端相接时,稳压器输出电压为最低值,即等于集成块内部的基准电压 1.25V,此时流过  $R_3$  的恒定电流为 10mA。

从图 6-14 所示可见,流过 RP、 $R_3$  并联总电流是集成稳压器 LM317 调整端(1脚)流出的电流(典型值为  $50\mu\text{A}$ )以及经过  $R_3$  流出的电流(恒定为 10mA)之和,因此当调节 RP 的阻值时,将引起调整端电流的变化( $\approx 0.2\mu\text{A}$ ),从而改变稳压器的输出电压。RP 的阻值增加,输出电压升高;反之,输出电压下降。当选择开关  $S_2$  接 a 端时,输出电压可调范围为 1.25~7V;  $S_2$  接 b 端时,输出电压可调范围为 6.5~13.5V。

二极管  $VD_3$  是为了防止输入短路、 $C_1$  放电而损坏稳压器内部调整管而接入的。 $VD_2$  是为了防止输出短路时  $C_5$  放电损坏稳压器内部放大管而接入的。另外,虽然该稳压电源电路中没有反映出对 LM317 型集成稳压器散热装置,但实际上必须将 LM317 型集成稳压器安装在适当大的散热器上工作,稳压电源功率越大,散热器的体积也应越大。

图中直流电压表 V 用来指示稳压电源输出电压,直流电流表 A 用来指示稳压电源输出电流(负载电流)。根据本稳压电源的输出数据,这两个表头的量程可





分别定为 15V 和 2A。

## 二、主要电子元器件

### 1. LM317 型的外形和主要技术参数

LM317 型外形和引脚排列如图 6-14 所示:1 脚为调整端,2 脚为输出端,3 脚为输入端,小圆表示散热片安装孔(可与 LM317 相互代换使用的产品有 W317、CW317 等)。

LM317 型主要技术参数(查阅手册)为:

最大输入、输出电压之差( $U_{1max} - U_o$ ):2V

输出电压可调范围  $U_o$ :1.25~37V

电压调整率  $S_V(\Delta U_o)$ :0.01mV

电流调整率  $S_I(\Delta U_o)$ :0.5mV

调整端电流  $I_{Adj}$ :100 $\mu$ A

最小负载电流  $I_{min}$ :3.5mA

输出电流  $I_o$ :1.5A

### 2. 电源变压器的选择

电源变压器 T 的功率应  $\geq 45VA$ ,初级为 220V,次级为 6V、12V、18V,次级电流为 2A。也可采用市售 BK-50 型控制变压器,其次级有 6.3V、12V、24V、36V 等输出接线端,初级有 220V、380V 输入接线端可供选用,额定功率为 50VA。

### 3. 其他元器件选择

VD<sub>1</sub>~VD<sub>4</sub> 均用 1N4001 型硅整流二极管。LED 用  $\phi$  5mm 或  $\phi$  3mm 红色发光二极管。C<sub>1</sub> 用耐压 50V 电解电容器;C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 用耐压  $\geq 25V$  的电解电容器;C<sub>4</sub> 用普通瓷介电容器。R<sub>1</sub> 用 1/8W 碳膜或金属膜电阻器;R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>、R<sub>4</sub> 用 1/4W 金属膜电阻器;RP 用标称功率 1/2~1W 的小型线绕电位器。S<sub>1</sub> 用 2 $\times$ 1 小型交流电源开关;S<sub>2</sub> 可用普通 2A、250V 拨动式小型电源开关作为选择开关使用。FU 用 0.5A 的保险丝,并配置保险丝盒。

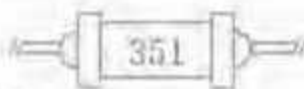
根据原始资料,本稳压电源对 LM317 型集成稳压器加装总体积不小于 180 000mm<sup>3</sup> 的铝散热器。

## 第六节 8 位数字显示 10MHz 通用计数器电路

采用最高检测频率可达 10MHz 的 8 位通用计数器 CMOS 大规模专用集成电路,外加少量元器件就能构成性能好、成本低、体积小多功能通用计数器。现将其应用电路作一介绍。

### 一、ICM7216B 型应用电路

采用 ICM7216B 型 8 位通用计数器集成单片构成 10MHz 多功能通用电子计



数器电路如图 6-15 所示。

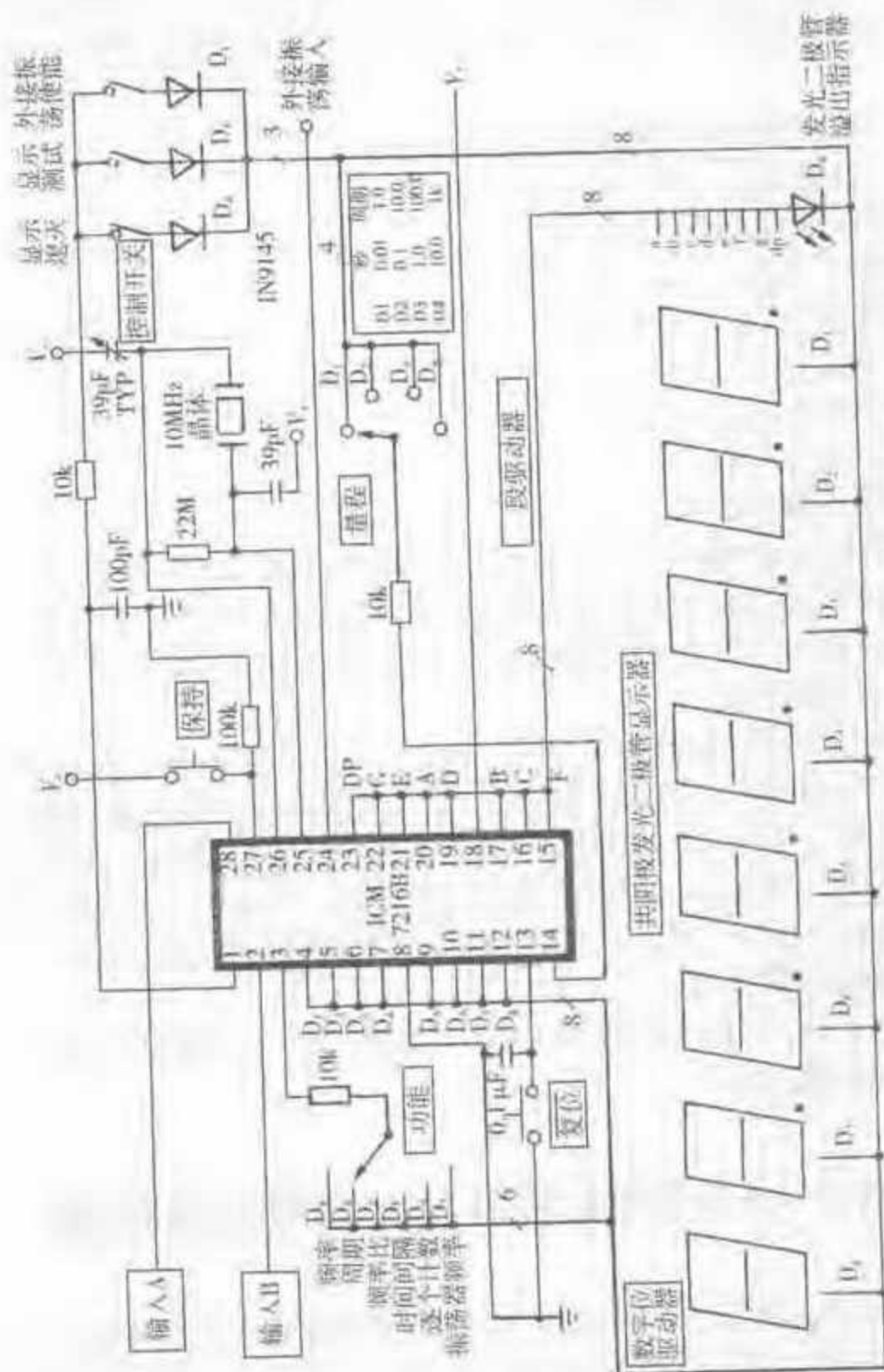


图6-15 8位数字显示10MHz通用计数器电路原理图



首先,我们应注意到该图是采用简单形式来表示计数器电路,使电路原理显得更加醒目,并在很大程度上方便了电路的绘制。如只画一根导线并注明“8”用来表示并行的8根导线;用大写、小写或带角标字母来表示各个接线端。对图中某些“结点”,如集成电路 ICM7216B 型的 4~12 脚之间 7 个“结点”,15~23 脚之间的 7 个“结点”等并不是表示这些引脚互相直接连接在一起,而表示与对应的线端相接。

通过查阅手册可知,ICM7216B 型应用时仅需要单一的 +5V 电源(18 脚为电源正端、8 脚为地端即电源负端),并具有切断芯片内部显示驱动器、保持记数值的降低功耗功能。

图 6-15 所示通用计数器的外围电路有如下四部分:

#### 1. 输入通道

输入 A 可工作至 10MHz,输入 B 可工作至 2MHz,设有 2 个输入端是为了便于测量 2 个信号的频率比。如果输入 A 信号的占空系数非常低,则需使用 TTL 类集成电路 74121 单稳态触发器或类似电路来展宽输入脉冲宽度,以保证至少有 50ns 的脉冲持续时间。

#### 2. 晶体振荡回路

10MHz 晶体振荡回路接在集成电路 ICM7216B 的 25 脚与 26 脚之间,由 10MHz 晶体、22M $\Omega$  电阻器、39pF 电容器和 39pF 可调电容器组成,以便产生一个相当稳定的固有频率为 10MHz 的振荡,作为通用计数器电路内置固有频率信号源。

必要时可以从外接振荡输入端(24 脚)输入外置标准频率信号,而不用内置振荡信号。

#### 3. 共阴极发光二极管数字显示器

输出显示采用动态扫描方式,扫描速度为 500Hz(查阅手册)。由图可见,数字位驱动器的各个输出端  $D_1$ (4 脚)、 $D_2$ (6 脚)、 $D_3$ (5 脚)、 $D_4$ (7 脚)、 $D_5$ (9 脚)、 $D_6$ (10 脚)、 $D_7$ (11 脚)、 $D_8$ (12 脚)分别与 8 只发光二极管数字显示器的阴极相接;段驱动器的输出端 A、B、C、D、E、F、G、DP(对应 20 脚、17 脚……23 脚)分别与 8 个数字显示器的 a~g、d<sub>0</sub> 段相接(dp 为小数点),第八位数字显示器的小数点由外接发光二极管取代,作为溢出指示器。

#### 4. 控制开关与按键

外接的开关与按键有 7 个:

(1) 功能选择开关。此开关固定端通过 10k $\Omega$  电阻器与集成电路 ICM7216B 的功能端(3 脚)相接,动端与集成电路的  $D_1$  端(4 脚)相接时为频率测量;与  $D_8$  端(12 脚)相接为周期测量;与  $D_2$  端(6 脚)相接时为频率比测量;与  $D_5$  端(9 脚)相接时为时间间隔测量;与  $D_4$  端(7 脚)相接时为逐个计数功能;与  $D_3$  端(5 脚)相接时





可显示振荡器频率。功能选择开关一共有 6 个功能可供选用。

(2) 量程选择开关。此开关的固定端通过  $10\text{k}\Omega$  电阻器与集成电路 ICM7216B 的量程端(14 脚)相接,动端与集成电路的  $D_1$  端(4 脚)相接时闸门时间为  $0.01\text{s}$ ,多周期设定为 1 周期;动端与  $D_2$  端(6 脚)相接时闸门时间为  $0.1\text{s}$ ,周期数为 10;动端与  $D_3$  端(5 脚)相接时闸门时间为  $1\text{s}$ ,周期数为 100;动端与  $D_4$  端(7 脚)相接时闸门时间为  $10\text{s}$ ,周期数为 1 000。

在周期测量中,采用多周期测量取平均值的方法可以提高测量准确度。在频率测量中,在不溢出的前提下,闸门时间较长则测量准确度较高。

(3) 显示和外接振荡控制开关。这 3 只开关用来控制显示熄灭、显示测试和外接振荡输入允许。它们的一端共同通过一只  $10\text{k}\Omega$  电阻器与集成电路 ICM7216B 的控制端(1 脚)相接,另一端各自经过一只 IN9145 二极管分别与  $D_1$  端、 $D_2$  端、 $D_3$  端相接。

(4) 复位按键和保持按键。

① 复位按键的一端接集成电路 ICM7216B 的复位端(13 脚,低电平有效),按键的另一端接地。因此,当按键按下与地接通时,计数器将立即复位为零,在逐个计数时必须从零开始才有意义。

② 保持按键的一端接集成电路 ICM7216B 的保持端(27 脚),此端又通过外加电阻( $100\text{k}\Omega$ )接地,该端(27 脚)平时处于低电平状态;另一端接  $V_{CC}$ (电源正端),当按键开关接通时集成电路的保持端(27 脚)为高电平,此时将保持通用计数器已记录的数据不变。

8 位通用计数器 ICM7216B 型的引脚排列如图 6-16 所示。

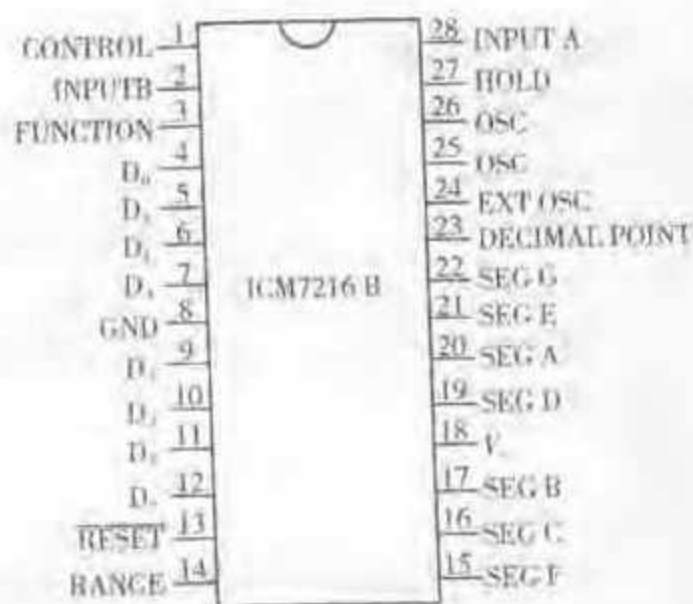


图 6-16 8 位通用计数器 ICM7216B 型的引脚排列  
各引脚的功能如下:



- |                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 脚(CONTROL):控制                      | 2 脚(INPUT B):输入 B          |
| 3 脚(FUNCTION):功能                     | 4 脚( $D_4$ ):数字位驱动器 $D_4$  |
| 5 脚( $D_2$ ):数字位驱动器 $D_2$            | 6 脚( $D_1$ ):数字位驱动器 $D_1$  |
| 7 脚( $D_3$ ):数字位驱动器 $D_3$            | 8 脚(GND):地                 |
| 9 脚( $D_5$ ):数字位驱动器 $D_5$            | 10 脚( $D_6$ ):数字位驱动器 $D_6$ |
| 11 脚( $D_7$ ):数字位驱动器 $D_7$           | 12 脚( $D_8$ ):数字位驱动器 $D_8$ |
| 13 脚( $\overline{\text{RESET}}$ ):复位 | 14 脚(RANGE):量程             |
| 15 脚(SEG F):段 F                      | 16 脚(SEG C):段 C            |
| 17 脚(SEG B):段 B                      | 18 脚( $V_+$ ):电源正          |
| 19 脚(SEG D):段 D                      | 20 脚(SEG A):段 A            |
| 21 脚(SEG E):段 E                      | 22 脚(SEG G):段 G            |
| 23 脚(DECIMAL POINT):小数点              | 24 脚(EXT OSC):接外振          |
| 25 脚(OSC):振荡器                        | 26 脚(OSC):振荡器              |
| 27 脚(HOLD):保持                        | 28 脚(INPUT A):输入 A         |

需要指出的是,图 6-15 所示的 ICM7216B 型 8 位驱动器输出端  $D_1$ 、 $D_2$ … $D_8$ , 在图 6-16 所示则记为  $D_0$ 、 $D_1$ … $D_7$ 。当然,这并非表示电路有所不同,而是资料来源不同的差异。在识读不同来源的电子线路图时,类似情况很多,但只要仔细对照即可避免混淆。

## 二、5G7226B 型 8 位通用计数器应用电路

5G7226B(同类芯片为 ICM7226B)型 8 位通用计数器集成单片外加少量元器件可构成多功能通用计数器,只需+5V 直流电源供电,体积小、成本低,其电路原理如图 6-17 所示。该电路直接测量的频率范围为 0~10MHz,测量周期范围为 0.5 $\mu$ s~10s,有 4 个闸门时间,即 0.01s、0.1s、1s、10s 可供选用。

由图可见,集成电路 5G7226B 型的功能输入端通过 10k $\Omega$  电阻器与选择开关  $S_1$  的固定端相接,当开关  $S_1$  接集成电路的  $D_1$  端时即为频率测量;接  $D_2$  端时则为频率比测量;接  $D_3$  端时为自检测量;接  $D_4$  端时为累加计数测量;接  $D_5$  端时为时间间隔测量;接  $D_6$  端时为周期测量。

集成电路 5G7226B 型的量程输入端通过 10k $\Omega$  电阻器后与量程选择开关  $S_2$  相接,量程分 4 挡,通过选择内部闸门时间来改变量程。当然,功能选择开关  $S_1$  置于不同位置时,由闸门时间决定的量程含义是不相同的。

集成电路的控制输入端通过 10k $\Omega$  电阻器与控制开关  $S_3$ ~ $S_7$  相接,这些开关又通过二极管后分别与集成电路的  $D_7$ ~ $D_8$  相接,从而可控制“外振荡允许”、“选择”、“外加小数点”、“消隐显示”、“测量显示”等。

集成电路的复位输入端经过常开按键开关  $K_1$  至地。保持输入端通过 100k $\Omega$  电阻器接电源正端( $V_+$ ),同时经过常开按键开关  $K_2$  至地。



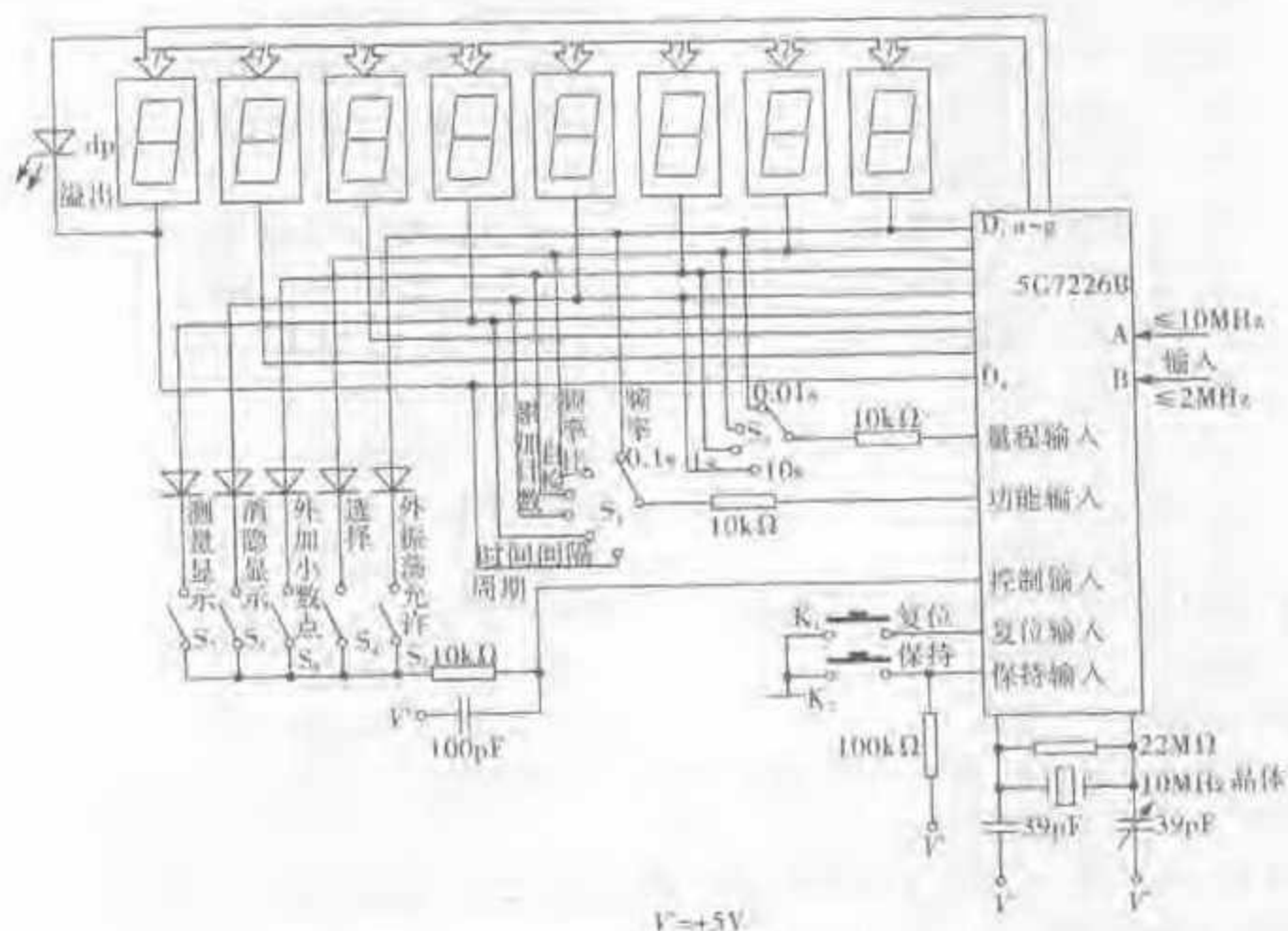


图 6-17 通用计数器 5G7226B 型应用电路原理图

集成电路的 2 个振荡器端之间外接一只 10MHz 晶体,同时并联一只 22MΩ 电阻器,它们两端各接 39pF 电容器和 39pF 可调电容器后均接至电源正端( $V_{cc}$ ),构成频率相当稳定的 10MHz 晶振电路。

如图所示,集成电路 5G7226B 型也有 2 个信号输入端,便于测量 2 个信号的频率比。输入 A 端的最高输入频率为 10MHz,输入 B 端的最高输入频率为 2MHz。当然,如果在输入端之前加一个分频器,则可使计数器的测频范围得到扩展。

本应用电路中的 8 位数字显示也是采用 8 个共阴极发光二极管数字显示器,在集成电路驱动下,以动态扫描方式工作。它们的阴极分别与集成电路 5G7226B 型的  $D_1 \sim D_8$  端相接,每个数字显示器的 a~g 段相应与该集成电路的 a~g 端相接。此应用电路较为简化,除第八位显示需外接一只发光二极管取代小数点(dp)作为溢出指示外,其余 7 个数字显示器的 dp 段均省去不用。

### 三、通用计数器测频率、周期的基本原理

#### 1. 通用计数器测量频率的基本原理

通用计数器测量频率原理示意图如图 6-18 所示。

图中“主电门”实际上是一个 2 输入端“与门”,其输出与输入之间为“与”逻辑



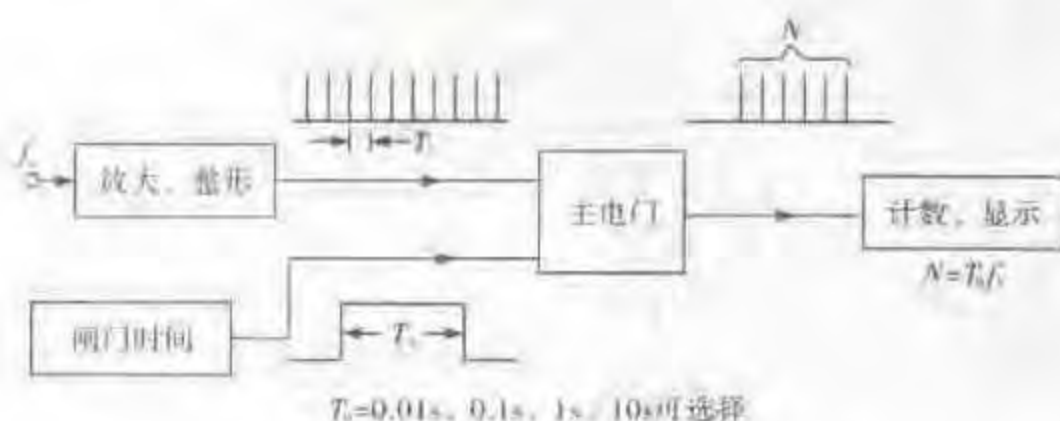


图 6-18 通用计数器测量频率原理示意图

关系,即只有当它的 2 个输入端均为高电平时,输出才为高电平,否则输出为低电平。

因此,当被测频率为  $f_s$  的信号通过放大、整形后不断地送至主电门的一个输入端时,只有在主电门的另一个输入端(接闸门时间电路)为高电平期间(闸门时间  $T_g$ ),主电门才会输出被测计数信号。设在  $T_g$  期间计数显示为  $N$ ,则

$$N = \frac{T_g}{T_s} = T_g f_s$$

所以

$$f_s = \frac{N}{T_g}$$

例如:闸门时间选定  $T_g = 1s$  时,设计数显示  $N = 4\ 310\ 026$ ,则  $f_s = 4\ 310\ 026 / 1s = 4\ 310\ 026Hz$ 。

显然,在不会发生计数溢出的情况下,选择  $T_g = 10s$  时,则应将  $N$  除以 10 计算; $T_g = 0.1s$ ,则应将  $N$  乘 10 计算; $T_g = 0.01s$  时,则应将  $N$  乘 100 计算。因为脉冲计数存在的绝对误差为  $\pm 1$ ,所以用计数器测量频率时,在计数不溢出的前提下,闸门时间选得越长,测量结果的相对误差越小。

## 2. 通用计数器测量周期的基本原理

通用计数器测量周期原理示意图如图 6-19 所示。

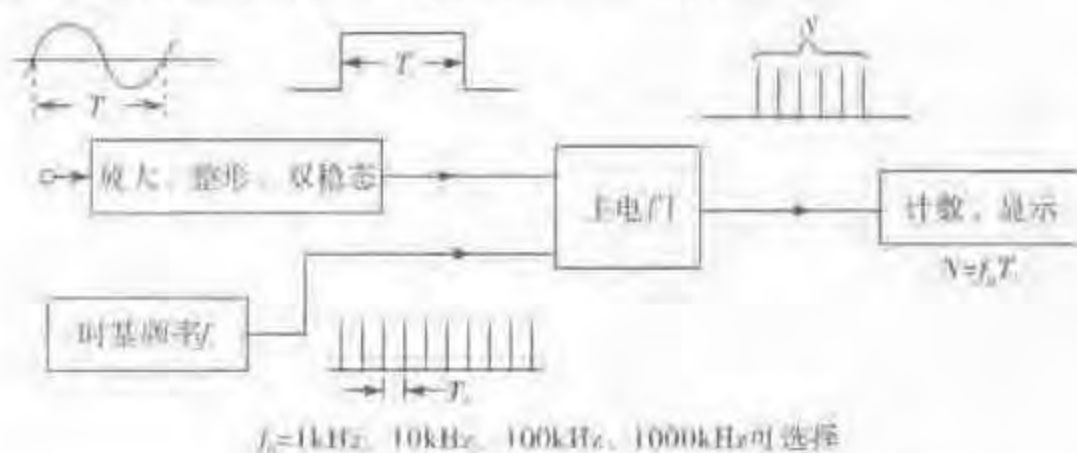


图 6-19 通用计数器测量周期原理示意图





如图所示,被测周期为  $T_x$  的正弦波信号,经过放大、整形和双稳态电路后,输出宽度为  $T_x$  的矩形脉冲送至“主电门”的输入端,主电门的另一个输入端接时基电路(频率  $f_0$  或周期  $T_0$  可选)。根据主电门输出、输入之间的“与”逻辑关系,可知主电门在一周期时间  $T_x$  中输出脉冲数  $N = T_x / T_0$ ,因  $T_0 = 1 / f_0$ ,所以可得  $N = f_0 T_x$ ,从而有  $T_x = N / f_0$  这一关系式。

时基频率  $f_0$  可选择为 1kHz 或 10 kHz、100kHz、1 000kHz(即 1MHz)等。显然,在计数不发生溢出的前提下,时基频率选择得越高,周期测量的准确度也越高。

#### 四、通用计数器其他功能基本原理

##### 1. 频率比测量

频率较高( $f_A$ )信号接至输入 A 端,频率较低( $f_B$ )信号接至输入 B 端作为门控信号,于是在一个周期  $T_B$  内计数显示  $N$  应为:

$$N = \frac{T_B}{T_A} = \frac{f_A}{f_B}$$

也可以用扩大被测信号 B 的周期数的方法来提高频率比的测量精度。

##### 2. 累加计数

被计数信号从 A 端输入(也称计数 A 的测量),如果累加计数时间较长,则主电门的开门时间也可由手动开关来控制门控双稳态电路状态的转换,于是计数显示  $N$  表示开门时间内从 A 端输入信号经过整形后脉冲有  $N$  个(误差为  $\pm 1$  个)。