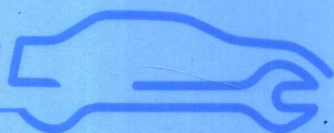


汽车 **专项维修** 技术精华丛书



汽车电脑原理与 维修精华

宁海春 编著

- 专家指引——从入门到精通
- 快速提高专项维修技能



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车电子控制技术

汽车电脑原理与 维修精华

王 强 编

本书特点——从入门到精通
从原理到维修 手把手教你修车

机械工业出版社

汽车专项维修技术精华丛书

汽车电脑原理与 维修精华

宁海春 编著



机械工业出版社

本书针对性地介绍了与汽车电脑有关的电子技术基础知识和单片机技术；汽车发动机电脑的工作原理及控制系统；重点介绍了汽车电脑的故障检修，逻辑电路的检修，点火电路的检修，喷油与怠速电路的检修；最后介绍一些电脑典型故障的检修实例。

本书可供汽车中、高级修理工及工程技术人员参考，并可作为中等专业、高等职业院校有关专业师生的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电脑原理与维修精华/宁海春编著. —北京: 机械工业出版社, 2007.1
(2007.7 重印) (汽车专项维修技术精华丛书)

ISBN 978-7-111-20046-8

I. 汽... II. 宁... III. ①汽车-计算机控制系统-理论②汽车-计算机控制系统-维修 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 121877 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 齐福江 责任编辑: 高金生 版式设计: 冉晓华

责任校对: 刘志文 封面设计: 王伟光 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2007 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

184mm × 260mm · 12 印张 · 2 插页 · 243 千字

4 001—7 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-20046-8

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379771

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着汽车工业与电子工业的不断发展，在现代汽车上，电子技术的应用越来越广泛，今天的汽车已经逐步进入了电脑控制的年代。国外专家预测未来3~5年内汽车上装用的电子装置成本将占汽车整车成本的25%以上，汽车将由单纯的机械产品向高级的机电一体化产品方向发展，成为所谓的“电子汽车”。

20世纪90年代，汽车电子技术进入了发展的第三个阶段，这是对汽车工业的发展最有价值、最有贡献的阶段。超微型磁体、超高效电动机及集成电路的微型化，为汽车上的集中控制提供了基础。目前汽车电子技术已发展到第四代，即包括电子技术（含微机技术）、优化控制技术、传感器技术、网络技术、机电一体化耦合交叉技术等，并且早已从科研阶段进入了商品生产的成熟阶段。

随着汽车技术的高速发展，科技含量的逐渐增加，相对地把汽车服务业也带入了一个高技术含量的全新行业。传统的维修思想、维修技术、维修方式已经不再能够适应现阶段的汽车维修。

作者凭借多年的业内经验，希望将最核心的技术与最快捷的维修技巧传达给每一位读者，在讲解发动机电脑维修的同时，将经验融入到技术之中，使读者边阅读、边动手维修，逐步使维修技术得到提高。当然，这更是一个需要日积月累的过程。

这本书的出版，要特别感谢大连双马电子有限公司的各位同志，以及为这本书付出辛勤劳动的所有工作人员。此外，还要感谢诸多在写作过程中给予帮助的朋友们。

欢迎读者在阅读本书的同时和作者交流维修过程中的心得与体会，也希望读者对本书提出中肯的意见或建议，来信请寄 manage@smelecom.com。

作 者

目 录

前言

第一章 电子技术基础	1	第一节 发动机电脑控制系统	101
第一节 电阻与电容	1	第二节 发动机电脑核心逻辑电路的工作	
第二节 二极管	6	原理	109
第三节 晶体管	9	第三节 点火控制电路分析	116
第四节 场效应管	13	第四节 喷油控制电路分析	119
第五节 集成运算放大器	27	第五节 怠速控制电路的工作原理	120
第六节 数制与码制	31	第六节 其他电路工作原理介绍	121
第七节 基本逻辑门电路	45	第四章 发动机电脑的故障检修	125
第八节 组合逻辑电路	50	第一节 检修仪器介绍	125
第九节 时序逻辑电路	51	第二节 逻辑电路的检修	126
第二章 单片机技术	55	第三节 点火电路的检修	129
第一节 概述	55	第四节 喷油与怠速控制电路的检修	132
第二节 单片机的硬件结构和原理	58	第五章 常见易坏电脑板的故障检修 ...	134
第三节 MCS-51 指令系统	65	第一节 玛瑞利单点电脑典型故障	134
第四节 汇编语言程序设计	80	第二节 Motronic 1.5.4 电脑典型故障	135
第五节 半导体存储器	87	第三节 Motorola 491 电脑典型故障	145
第六节 串行输入输出接口	94	第四节 Motorola 465 电脑典型故障	157
第七节 单片机控制系统设计与调试	98	第五节 SIEMENS 5WPx 电脑故障检修	168
第三章 发动机电脑的工作原理	101	第六节 Motronic 3.8.2 电脑典型故障	179

第一章 电子技术基础

第一节 电阻与电容

工程上实际电气装置品种繁多，千差万别。从实际元件到电气器件，进而组装而成电气装置；对这些实际应用进行抽象的概括即用数学模型表示电气器件的外部功能，即再由模拟元件到电路元件，进而组成电路模型。

一、基本概念

1. 电路

电路是指电流流过的路径，它一般由电源、负载、连接导线、开关和熔丝等组成，如图 1-1-1 所示。

电路分外电路和内电路。外电路指从电源一端经过负载再回到电源另一端的电路；内电路指电源内部的通路。

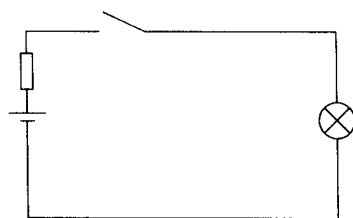


图 1-1-1 电路原理图

2. 电路图

电路图有实物连接图和电路原理图之分，实物连接图直观，但绘制麻烦。电路原理图如图 1-1-1 所示，是把电路中的实物，用简单的国家统一颁布的图形符号表示和绘制出来的电路连接图，且在实际中常用此方法表示。

3. 汽车电路的单线制

在图 1-1-1 中电源和用电设备之间是用两根导线构成回路的，这种连接方式称为双线制。在汽车上为了节省导线和便于安装、维修，电源和用电设备之间通常只用一根导线连接，另一根导线则由发动机、车架等金属机体代替而构成回路，这种连接方式称为单线制，如图 1-1-2 所示。采用单线制时，电源（汽车为蓄电池和发电机）的一端必须可靠地接到车架上，

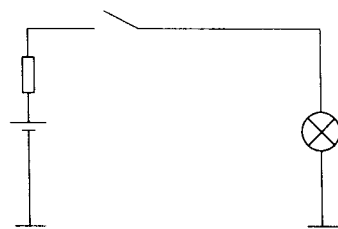


图 1-1-2 汽车电路的单线制电路图

俗称搭铁，用符号“ \perp ”表示。按电源搭铁的极性可分为正极搭铁和负极搭铁。由于负极搭铁对无线电干扰较小，所以世界上绝大多数国家包括我国的汽车都采用负极搭铁。

4. 电流

电流是电荷定向移动形成的。电工学中规定正电荷定向移动的方向为电流方向，

所以自由电子（负电荷）和电流的方向相反，其大小用电流强度衡量（电流强度指单位时间内通过导体横截面的电量），电流基本单位为 A，应用中还有 kA、mA、 μ A 等，它们之间的换算关系是：

$$1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A} = 10^{-9}\text{kA}$$

测量电流可用电流表直接测量，但应注意：电流表必须与被测电路串联，使用前应根据被测电流的大小选择适当的量程，在无法估计电流范围时，应选用较大的量程开始测量。

5. 电阻

导体对电流起阻碍作用的能力叫做电阻，用 R 表示，单位为 Ω ，常用的还有 k Ω 、M Ω ，其换算关系为 $1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$ 。

6. 电位

电场力将单位正电荷从某点移到参考点（零点位点）所作的功叫做该点的电位，用 V 表示，单位为 V。为求得电路中各点的电位值，必须选择一个参考点，在实际电路中常把机壳或大地的电位规定为零电位。零电位的符号为“ \perp ”（表示接大地）和“ \perp ”（表示接机壳）。

7. 电压（电位差）

在电路中，由于电源作用，电场力把正电荷从 a 点移到 b 点所作的功 W_{ab} 与被移动电量 Q 的比值称为两点间的电压，用符号 U 表示，单位为 V。电压的正方向规定从高电位指向低电位，即电压降低的方向。对负载来说，电流的流进端为高电位端，电流的流出端为低电位端，因而负载中的电压方向与电流方向一致。电压的大小可用电压表测量，测量时电压表必须与被测电路并联；使用前应根据被测电压的大小，选择适当量程的电压表。

注意：电位不同于电压。电位是相对值，与参考点的选择有关；电压则是绝对值，与参考点的选择无关。

8. 电动势

在电源内部，电源力把正电荷从负极移到正极所作的功 W_{ab} 与被移动的电量 Q 的比值叫做电源的电动势，用符号 E 表示，单位为 V。电动势的方向规定从电源的负极指向正极，与电压的方向相反。

汽车用蓄电池的电动势有 12V 和 24V 两种。

二、电阻与电容

1. 电阻的电阻率及标识方法

导体电阻是客观存在的，不随导体两端电压大小而变化。在一定温度下： $R = \rho L/S$ ，式中， L 为导体的长度（m）； S 为导体的横截面积（ m^2 ）； ρ 为导体的电阻率（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）。

导体的电阻率由导体的材料决定，因此不同材料的电阻率是不相同的。此外电阻

还与导体的温度有关，温度升高，导体电阻值增大，反之减小。

(1) 电阻常用的标识方法

1) 直标法 直标法是将电阻器的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上，其允许偏差则用百分数表示，未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 的允许偏差。

2) 文字符号法 文字符号法是将电阻器的标称值和允许偏差值用数字和文字符号法，按一定的规律组合标志在电阻体上。

3) 色标法 普通的电阻器用四色环表示，精密电阻用五色环表示（图 1-1-3 及图 1-1-4）。紧靠电阻体一端的色环为第一环，露着电阻体本色较多的另一端为末环。这种为最常见的标识方法，现详细介绍如下：

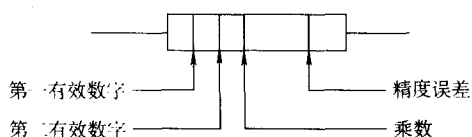


图 1-1-3 四环标识法说明

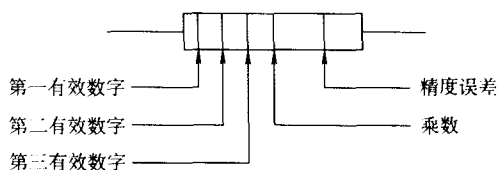


图 1-1-4 五环标识法说明

色环标识法识别方法见表 1-1-1。

表 1-1-1 色环标识识别方法

颜色	第一色环 (电阻值的第一位)	第二色环 (电阻值的第二位)	第三色环 (乘 10 的倍数)	第四色环 (误差)
棕	1	1	10^1	—
红	2	2	10^2	—
橙	3	3	10^3	—
黄	4	4	10^4	—
绿	5	5	10^5	—
蓝	6	6	10^6	—
紫	7	7	10^7	—
灰	8	8	10^8	—
白	9	9	10^9	—
黑	0	0	10^0	—
金	—	—	10^{-1}	± 0.05
银	—	—	10^{-2}	± 0.1
无色	—	—	—	± 0.2

4) 数码标志法 在产品 and 电路图上用三位数字来表示元件的标称值的方法称之为数码标志法。常见于贴片电阻或进口器件上。在三位数码中，从左至右第一、二位数

表示电阻标称值的第一、二位有效数字，第三位数为倍率 10^n 的“ n ”，单位为 Ω 。例如，标识为 222 的电阻器，其阻值为 2200Ω 即 $2.2k\Omega$ 。

(2) 常见的特殊电阻

1) 保险电阻 保险电阻在电路图中起着熔丝和电阻的双重作用，其外形如图 1-1-5 所示。保险电阻主要应用在电源电路输出和二次电源的输出电路中。它们一般以低阻值（几欧姆至几十欧姆），小功率（ $1/8 \sim 1W$ ）为多，其功能就是在过电流时及时熔断，保护电路中的其它元件免遭损坏。

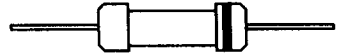


图 1-1-5 保险电阻外形图

在电路负载发生短路故障，出现过电流时，保险电阻的温度在很短的时间内就会升高到 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ，这时电阻层便受热剥落而熔断，起到保险的作用，达到提高整机安全性的目的。

保险电阻的识别：

- ① 一般应用于电源电路的电流容量较大或二次电源产生的低压或高压电路中。
- ② 保险电阻上面只有一个色环，色环的颜色表示阻值，例如：

RN1/4W, 10Ω 保险电阻，色环为黑色，功率为 $1/4W$ ；当 $8.5V$ 直流电压加在保险电阻两端时， $60s$ 以内电阻增大为初始值的 50 倍以上。

RN1/4W, 2.2Ω 保险电阻，色环为红色，功率为 $1/4W$ ；当 $3.5A$ 电流通过时， $2s$ 之内电阻增大为初始值的 50 倍以上。

RN1/4W, 1Ω 保险电阻，色环为白色，功率为 $1/4W$ ；当 $2.8A$ 交流电流通过时， $10s$ 内电阻增大为初始值的 400 倍以上。

③ 在电路中保险电阻是长脚焊接在电路板上（一般电阻紧贴电路板焊接），与电路板距离较远，已便于散热和区分。

2) 排阻 排电阻也叫集成电阻，其外形及内部结构见图 1-1-6。

图中 BX 表示产品型号，10 表示有效数字，3 表示有效数字的倍率 10^n 的“ n ”，103 即 $10 \times 10^3\Omega$ ($10k$)。半字线“-”后面的 9 表示此电阻有 9 个引脚，其中的一个引脚是公共引脚，一般都在两边，用色点标志。

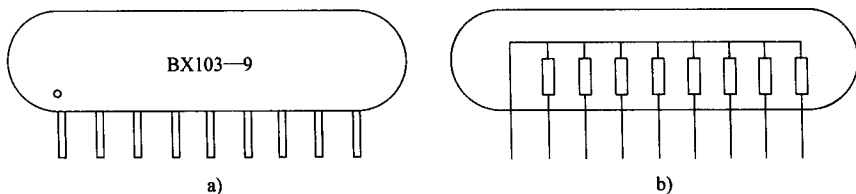


图 1-1-6 排阻的外形及内部结构图

a) 外形 b) 内部结构

(3) 电阻的串联、并联和混联电路

1) 电阻的串联电路 两个或两个以上的电阻首尾依次连接所构成的无分支电路叫串联电路，如图 1-1-7 所示。

串联电路特点有：电流处处相等，并等于总电流，即： $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ ；总电阻等于各分电阻之和，即 $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ ；总电压等于各分电压之和，即 $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ 。

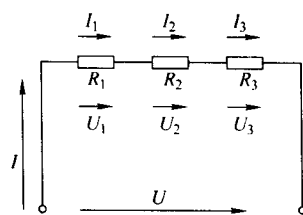


图 1-1-7 串联电路

2) 电阻的并联电路 两个或两个以上的电阻首尾接在相同两点之间所构成的电路叫并联电路，如图 1-1-8 所示。

并联电路特点有：各电阻两端电压相等，并等于总电压，即 $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ ；总电流等于流过各电阻电流之和，即 $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ ；电路的总电阻的倒数等于各分电阻的倒数和，即 $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ 。

显然，电阻并联后，总电阻减小，并且小于其中任何一个电阻。

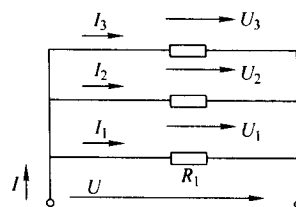


图 1-1-8 并联电路

3) 电阻的混联电路 电路中既有电阻串联又有电阻并联的电路叫做电阻的混联电路，如图 1-1-9 所示。

分析混联电路，必须先搞清混联电路中各电阻之间的连接方式，然后应用串联和并联电路的特点，分别求出串联和并联部分的各等效电阻，最后求出电路的总电阻。

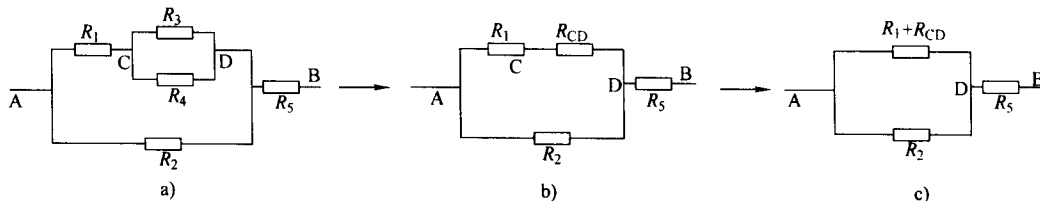


图 1-1-9 混联电路及简化过程

如果混联电路比较复杂，各电阻的串、并联关系一时看不清，可先用画等效电路图的方法找出各电阻之间的串并联关系，然后再分析计算。画等效电路图的方法是：先在电路中各电阻的连接点上标注字母（A、B、C、D……），并将各字母按顺序在水平方向排列（一般将待求字母放两端），然后把各电阻接入相应字母之间，最后依次画出简化过程中的等效电路图，如图 1-1-9 所示。

2. 电容

(1) 基本知识

1) 电容器 被绝缘材料隔开而又互相靠近的两个导体所构成的装置叫电容器，它的基本特性是能够储存电荷。若把电容器接在直流电源上，在电场力的作用下，电容器的两块极板分别带上等量异号的电荷。同电源正极相连的极板带正电荷，同电源负极相连的极板带负电荷。

2) 电容量 电容量是表示电容器存储电荷能力大小的一个物理量，简称电容，用 C 表示，单位为 F ，另有常用单位为 μF 、 pF ，它们有换算关系为 $1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$ 。

实验证明：

$$C = Q/U$$

可见， C 在数值上等于单位电压作用下电容器所储存的电荷量。在电压一定条件下，电容器储存的电荷量越多，该电容器的电容量就越大，反之就越小。

(2) 电容的充电和放电 电容器充电和放电过程如图 1-1-10 所示。

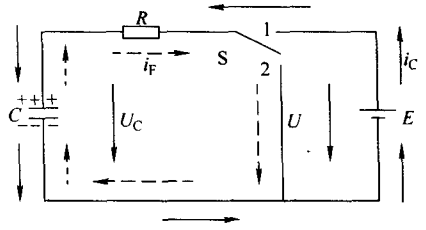


图 1-1-10 电容器充电和放电过程电路

1) 电容的充电 当开关 S 与 1 接通的瞬间，因电容器 C 上无电荷，故 U_C 为零。此时电源电动势 E 通过电阻 R 向 C 充电，充电电流 i_C 在开关闭合瞬间数值最大，等于 U/R 。随充电时间的增长，电容器极板上的电荷逐渐积累， U_C 逐渐上升， i_C 随 U_C 上升逐渐减小，直至 U_C 与电源的端电压 U 相等时， i_C 为零，充电过程结束。此时存有一定电场能量，电路中没有电流通过，相当于“开路”，这就是电容器隔直流的作用。

2) 电容的放电 电容器充电结束后，两极板间建立起电压 $U_C \approx U$ 。当图 1-1-10 中开关 S 与 2 接通时，在 U_C 作用下， C 通过 R 放电，其放电电流 i_F 与 i_C 方向相反，如图中虚线箭头所示。在电路刚接通瞬间， i_F 最大，等于 U_C/R 。随电容器极板上的电荷逐渐减少， U_C 逐渐下降， i_F 逐渐减小，直至电容器极板上的电荷为零， U_C 、 i_F 为零，放电过程结束。

电容的充放电过程，实质是储存和释放电荷的过程。此时电路上将产生充、放电电流。充、放电电流是电荷在电容器外部的电路上移动所形成的，而不是电流从电容器的一个极板穿过其内部电解质到达另一个极板。

(3) 电容的种类 电容器常用的主要有：纸质电容器和电介质电容器。

选择电容器除了要考虑电容量之外，还要考虑其耐压、介质损耗、温度系数、绝缘电阻、误差范围等指标。其中电容量和耐压是电容器的两个最重要的指标。电容器工作时，实际电压一旦超过耐压值，电容器则被击穿。若在高频电路中用的电容器则应考虑介质损耗和温度系数。

第二节 二 极 管

二极管又称半导体二极管，是最简单、最基本的电子元件。汽车交流发动机整流器就是由 6 只整流二极管组成的。

一、二极管及二极管的整流电路

当 P 型半导体和 N 型半导体采用一定工艺技术结合在一起时，在二者交界面上就形成一个 PN 结，它具有单向导电性，即加正向电压时，PN 结导通；加反向电压时，

PN 结截止。半导体二极管的管芯就是一个 PN 结。在管芯两侧的半导体上分别引出电极引线，其正极（阳极）由 P 区引出，负极（阴极）由 N 区引出，用管壳封装后就制成二极管了，半导体二极管的图形符号如图 1-2-1 所示。

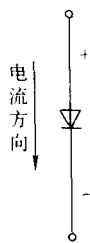


图 1-2-1 二极管图形符号

按材料分，有硅二极管和锗二极管。按结构分，二极管有点接触型和面接触型两类。点接触型二极管的 PN 结面积小，不能通过较大电流，但高频性能好，一般适用于高频或小功率电路。面接触型二极管的 PN 结面积大，允许通过的电流大，但工作频率低，多用于整流电路。

二极管整流电路是利用二极管的单向导电性，将正弦交流电压转换成单方向脉动的直流电压。常见的二极管整流电路有：单相半波、单相全波、单相桥式、三相半波和三相桥式整流电路。

在小功率的整流电路中，常见有单相半波、单相全波和桥式整流电路。由于半波整流的输出电压交流成分较大，因此很少使用，现多用桥式整流电路。当输出功率较大时（如车用），则采用三相整流电路。

二、稳压二极管及稳压电路

1. 稳压二极管的特点

稳压二极管，又称稳压管，是一种特殊的面接触型硅二极管，利用 PN 结的反向击穿特性所具有的稳压性能而制成。由于具有稳压作用，常应用于稳压设备和一些电子电路中。普通二极管反向击穿后便损坏不能使用，但只要反向电流限制在一定范围内，稳压管的反向击穿是可逆的，因此在实际使用中时，都在电路中串入适当的限流电阻予以保护，且稳压管在电路中应为反向连接。

2. 稳压管稳压电路

交流电压经过整流滤波后，所得到的直流电压虽然脉动程度很小，但当电网电压波动或负载变化时，其直流电压的大小也将随之发生变化，从而影响电子设备和测量仪器的正常工作。为此，常在整流滤波电路之后加一级直流稳压电路。

最简单的硅稳压管并联型稳压电路如图 1-2-2 所示， R_L 为负载电阻，稳压管 VS 与 R_L 并联，限流电阻 R 与 VS 配合起稳压作用。稳压电路的输入电压 U_i 是由整流滤波电路提供的直流电压，输出电压 U_o ，即为稳压管的稳定电压。

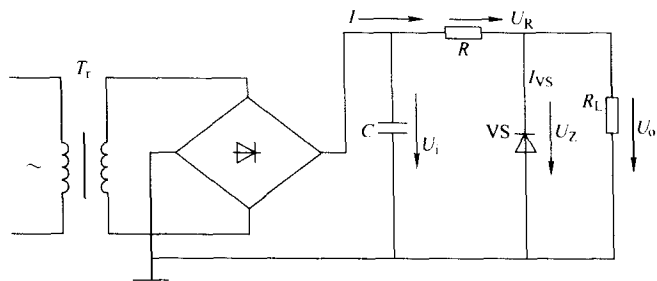


图 1-2-2 稳压管稳压电路

稳压电路工作原理如下：当交流电源电压增加而使输入电压 U_i 增加时，负载电压 U_o 也增加，即 U_{VS} 增加。但 U_{VS} 稍有增加时，稳压管的电流 I_{VS} 就显著增加，因此 R 上压降增加，以抵偿 U_i 的增加，使负载电压 $U_o = U_i - U_R$ 保持不变。反之，当电网电压降低时，通过稳压管与电阻 R 的调节作用，将使电阻 R 上的压降减小，仍然保持负载电压 U_o 不变。当电源电压保持不变而负载电流变化引起负载电压改变时，上述稳压电路仍起到稳压的作用。

三、二极管的简易识别

好坏辨别：把万用表欧姆档量程拨到 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档，将两表笔分别正接或反接在被测二极管的两端，即可测得大小两个电阻值。其中大的是反向电阻，小的是正向电阻。如果测得的正向电阻在几十到几百欧（汽车用整流二极管用 $R \times 1$ 档测量时正向电阻为 10Ω 左右），反向电阻在几百千欧以上，说明二极管良好，而且正、反向电阻值相差越大，说明二极管的单向导电特性越好；若测得正、反向电阻为无穷大，则说明二极管内部已断路；若测得正、反向电阻都很小或为零，则说明二极管内部已短路。后两种情况都说明二极管已经损坏，不能继续使用。

四、二极管的开关特性

如图 1-2-3a 所示，输入端加正电压时，电路导通（ON），电流流过，这与开关的闭合状态相同。而图 1-2-3b 所示，输入端加反向电压时，电路断开（OFF），几乎没有电流，这与开关的断开状态相同。

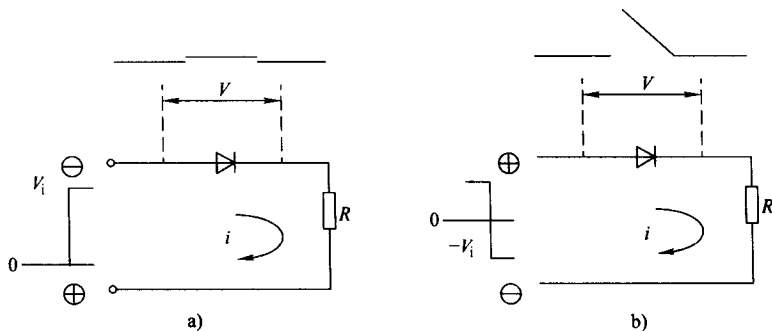


图 1-2-3 二极管开关

a) 开关开 b) 开关关

脉冲电路的问题是对于输入信号、输出信号响应的快慢。为了考察响应速度，应该研究一下二极管的正向恢复特性和反向恢复特性。二极管的脉冲响应情况如图 1-2-4 和图 1-2-5 所示。这里 V_1 为阈值（门槛电平，即超过 V_1 电平为高电平，低于 V_1 电平为低电平）。电压到 V_1 以上时，正向电流开始流过，最终管子的压降仍为 V_1 。图

1-2-5中, t_s 称为存储时间, 它是为了将存储而积累起来的少数载流子释放掉而需要的时间。

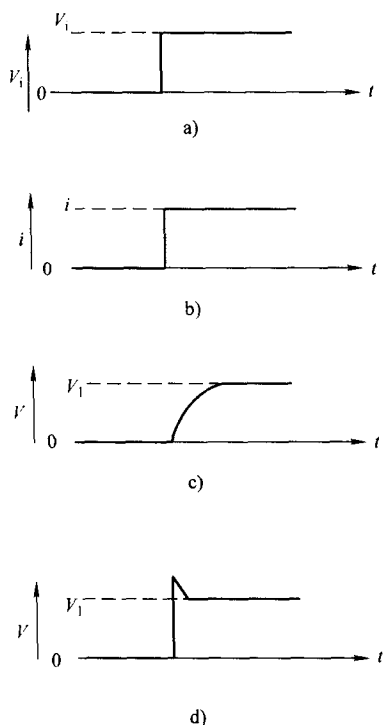


图 1-2-4 正向脉冲响应

a) 输入电压 V_i b) $V_i \geq V_i$ (阈值)
c) 电流 i 小时 d) 电流 i 大时

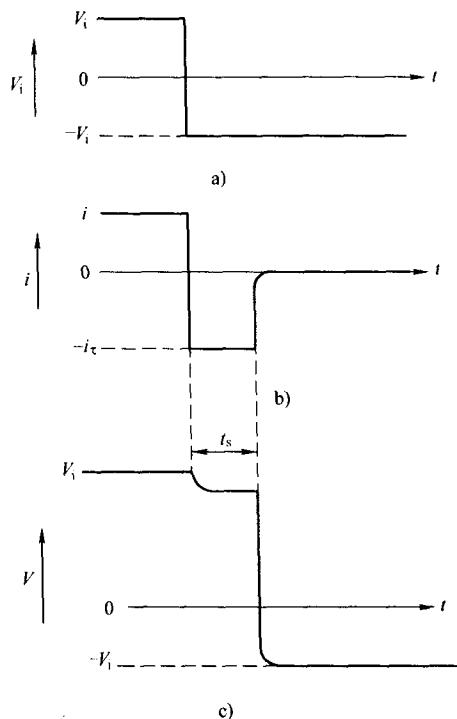


图 1-2-5 反向脉冲响应

a) 输入电压 b) 电流的变化
c) 二极管两端电压的变化

第三节 晶 体 管

一、晶体管的基本结构与应用

具有两个 PN 结的半导体器件称为半导体晶体管。晶体管是由两个 PN 结、三个区、三个引出电极构成。三个电极分别叫发射极 e、基极 b、集电极 c, 对应的每层半导体分别称为发射区、基区、集电区。发射区与基区交界处的 PN 结叫发射结, 集电区与基区的交界处的 PN 结叫集电结。依据基区材料是 P 型还是 N 型半导体, 晶体管有 PNP 型和 NPN 型两种组合形式。晶体管的文字符号为“V”, 图形符号如图 1-3-1 所示。两种符号区别在于发射极箭头方向不同, 箭头方向表示发射结加正向电压时的电流方向。

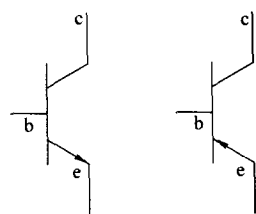


图 1-3-1 晶体管的符号

由于硅晶体管的温度特性较好,应用也较多,如汽车电子调节器、点火器、燃油喷射控制器等。

二、晶体管的输出特性

晶体管的特性曲线可用图 1-3-2 所示电路测绘。它用来描述晶体管各电极的电流与电压之间的关系,它实际上是晶体管内部特性的外部表现,是分析电子电路的重要依据。

晶体管输出特性是指基极电流 I_b 为一定值时,集电极电流 I_c 同集电极与发射极间电压 U_{ce} 的关系。当 I_b 不同时,可得到不同的曲线,如图 1-3-3 所示。

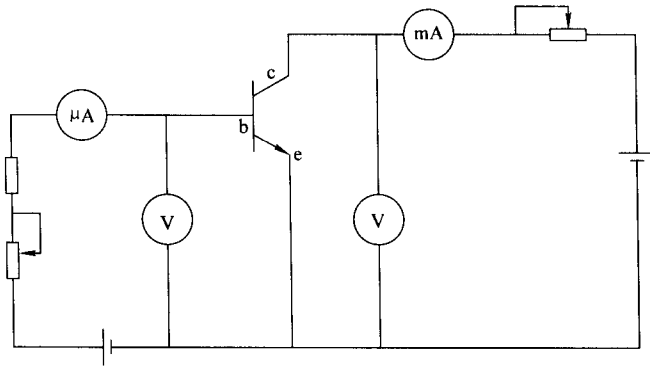


图 1-3-2 晶体管特性曲线测试电路

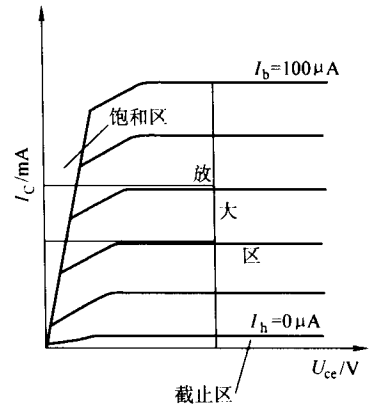


图 1-3-3 晶体管输出特性曲线

由输出特性曲线可见,晶体管可工作在三个不同的区域;放大区、截止区和饱和区,即晶体管有三种不同的工作状态;放大、截止、饱和。

1. 放大状态

在输出特性曲线上,晶体管具有放大作用的区域称为放大区。放大区大致在 $I_b = 0$ 的曲线与 I_c 曲线拐点连接线右侧部分之间的区域。晶体管工作在放大区的条件是:发射结正向偏置,集电结反向偏置。

2. 截止状态

在 $I_b = 0$ 曲线以下的区域称为截止区。晶体管工作在截止区的条件是:发射结与集电结均反偏。此时, $I_c \approx 0$, $U_{ce} \approx U_{cc}$,集电极与发射极之间呈现高阻状态,相当于一个开关断开。

3. 饱和状态

晶体管 I_c 曲线近似于直线上升的部分与纵轴之间的区域称为饱和区。晶体管工作在饱和状态的条件是:发射结和集电结都处在正向偏置。此时,集电极与发射极之间的管压降很小,但电流很大,呈现低阻态,相当于一个开关接通。

可见,晶体管不仅具有放大作用,而且具有开关作用。要使晶体管起到放大作用,必

须使其工作在放大状态。要使晶体管起到开关作用，必须使其工作在饱和与截止状态。

二极管和晶体管都可以工作在“接通”与“断开”两种状态。在脉冲（开关）电路、数字电路以及汽车发电机调节器、点火控制器和微机管理控制电路中，正是利用它们的这种开关特性来实现各种控制的。

三、晶体管的简易识别

1. 管脚和类型辨别

晶体管管脚一般可根据外壳上的标记辨别，也可根据晶体管的型号从书中查到。另外可用万用表来测量：

(1) 确定基极和类型 用万用表欧姆档 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档，先假设任意一个极是基极，将任意表笔与其相连，将另一表笔与其余两电极依次相接，若测得电阻都很大（很小），对调表笔后电阻都很小（很大），则说明上述假设的基极是正确的，若测得的电阻一大一小，则假设错误，可换一管脚设为基极再重复以上步骤再测试，直至找出正确的基极。基极确定后，用万用表的黑表笔接基极，红表笔分别和另外两个电极相连，若测得的电阻都很小，则为 NPN 型管，反之为 PNP 型管。

(2) 集电极和发射极的判断 在基极确定后，对 NPN 型管将万用表两表笔任意接在其余两管脚上，并在基极与黑表笔之间接一个 $100k\Omega$ 的电阻，观察阻值之后，再将两表笔对调，以两次测得阻值较小一次为准，此时黑表笔所接管脚是集电极，红表笔所接是发射极。

对于 PNP 型管，仍以阻值较小一次为准，此时红表笔所接是集电极，黑表笔所接是发射极。

2. 好坏的粗略判断

根据晶体管内的 PN 结的单向导电性，可以分别测量 b、e 极间和 b、c 极间 PN 结的正、反向电阻。如果正、反向电阻相差较大，说明管子基本上是好的；若正、反向电阻都很大，说明管子内部有断路；如果正、反向电阻都很小或为零，说明管子极间短路或击穿。

四、晶体管的开关特性

图 1-3-4 给出了晶体管开关电路的例子及管子的输出特性，图 1-3-5 则给出了其对于脉冲输入的响应。如图 1-3-4 所示，输入端正电压增加时，基极有电流 I_b 流过，集电极则开始有输出电流，集电极和发射极之间呈导通状态（ON）。因此，输出电压几乎为零。这与合上开关的状态相同，也叫做输出低电平（L）。这时，与输入电压 V_i 的上升变化相比，集电极的输出电流和输出电压的变化则稍微延迟出现，这一延迟时间称为开启时间 t_{on} （图 1-3-5）。

输入电压 0V 时，基极没有电流流过，集电极也没有电流流过，集电极与发射极间