



电子大讲堂

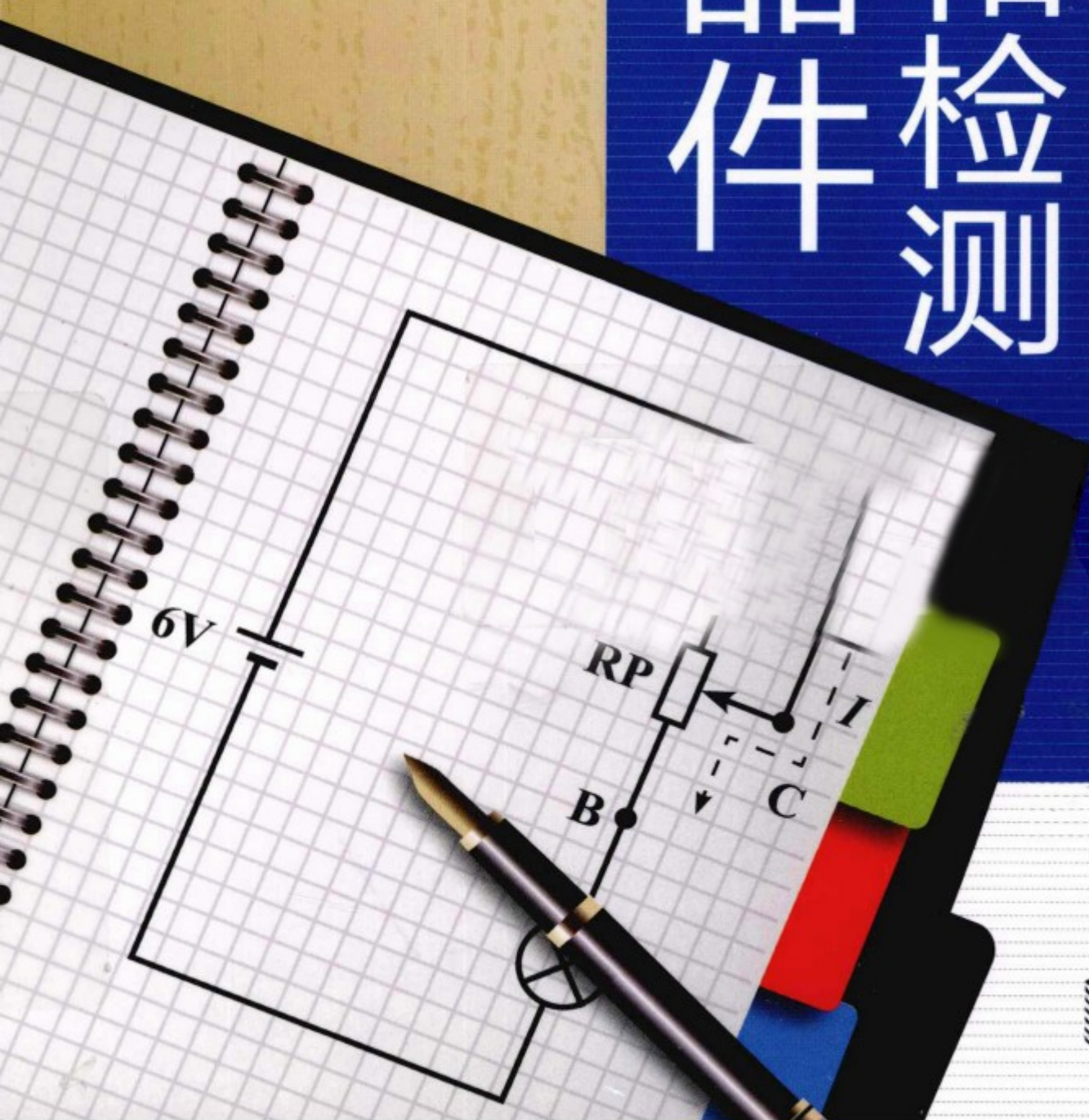
系 ■ 列 ■ 图 ■ 书

- 实力派作者倾力打造
- 以“师生交流”的全新形式讲授知识
- 一套非常适合自学的电子技术入门读物

教你快速识别和检测电子元器件

门老师

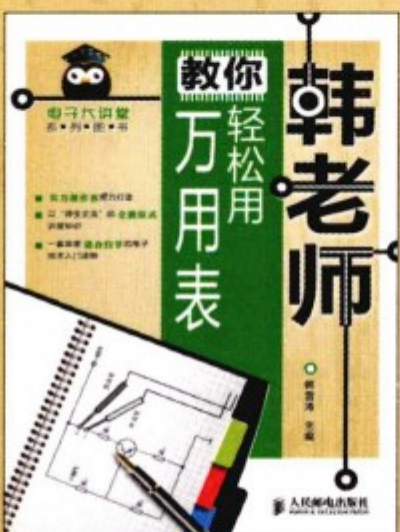
门宏 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

胡老师

教你快速识别和检测电子元器件



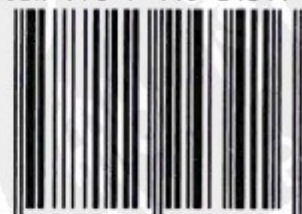
封面设计：董福彬

分类建议：电子技术

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn



ISBN 978-7-115-24341-6



9 787115 243416 >

ISBN 978-7-115-24341-6

定价：29.00 元



电子大讲堂
系 ■ 列 ■ 图 ■ 书

教你 快速识别和检测 电子元件

老师

门宏 主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

门老师教你快速识别和检测电子元器件 / 门宏主编
— 北京 : 人民邮电出版社, 2011.1
(电子大讲堂系列图书)
ISBN 978-7-115-24341-6

I. ①门… II. ①门… III. ①电子元件—识别②电子元件—检测 IV. ①TN60

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第219905号

内 容 提 要

本书是“电子大讲堂系列图书”中的一本。全书共分8课,以老师授课和师生交流的形式系统地介绍了电子元器件方面的基本知识和操作技能,内容包括电阻器、电容器、电感器、变压器、半导体管、光电器件、电声器件、显示器件、保护器件、集成电路和数字电路的概念、种类、符号、参数、识别方法、性能特点、主要作用以及检测方法等。

本书内容丰富,形式新颖,图文并茂,通俗易懂,适合广大电子技术初学者、家电维修人员和相关从业人员阅读学习,并可作为职业技术学校和务工人员上岗培训的基础教材。

电子大讲堂系列图书

门老师教你快速识别和检测电子元器件

- ◆ 主 编 门 宏
责任编辑 申 苹
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16
字数: 368千字
印数: 1—4 000册

2011年1月第1版

2011年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-24341-6

定价: 29.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

前 言

21 世纪是以微电子技术和数字电子技术为特征的信息时代，电子技术在国民经济各领域起着越来越重要的作用，并且更加深入地渗透到我们的工作、学习和生活当中。

许多青少年电子技术爱好者和电子技术从业人员都希望能学习和掌握一定的电子技术基本知识与技能，但是广大初学者普遍感到入门难，电子理论书籍看不懂，元器件不了解，电路图走不通，仪器仪表不会用，电子制作无从下手等。

为了帮助广大初学者和务工人员较快、较全面地学习和掌握电子技术，我们根据初学者的特点和要求，结合长期从事电子技术教学工作的实践，编写了这套“电子大讲堂系列图书”。本套丛书邀请了几位实力派的作者，化身为老师，通过老师授课、师生交流的新颖形式讲解了电子技术的基本知识和操作技能，重点突出了实用技术和方法技巧。这种新颖的形式使得内容直观易懂，文字生动活泼，重点内容更容易理解和掌握，真正起到手把手教你学的效果。


全书共分 8 课，内容基本涵盖了各种常用的电子元器件。第 1 课讲授电阻器与电容器，第 2 课讲授电感器与变压器，第 3 课讲授晶体二极管与单结晶体管，第 4 课讲授晶体三极管与晶体闸流管，第 5 课讲授光电器件与电声器件，第 6 课讲授显示、控制与保护器件，第 7 课讲授集成电路，第 8 课讲授数字集成电路。各课都对所述电子元器件的概念、种类、符号、参数、识别方法、性能特点、主要作用和检测方法进行了详细阐述，特别对检测电子元器件的操作方法进行了具体说明，使读者能够既看得懂、又记得住，既掌握了基本知识、又学会了操作技能，并能够在此基础上举一反三，不断提高自己的电子技术知识水平和动手能力。


本书由门宏主编，参加编写的还有门雁菊、施鹏、张元景、吴敏等。本书适合广大电子技术爱好者、家电维修人员和相关从业人员阅读学习，并可作为职业技术学校 and 务工人员上岗培训的基础教材。书中如有不当之处，欢迎广大读者朋友批评指正。


作 者




开讲的话


 门老师：同学们好，“电子大讲堂”今天开讲啦！我是门老师，“电子元器件”这门课就由我来给同学们讲授。


 王小帅（男生）：老师，请问您是姓哪个“men”啊？

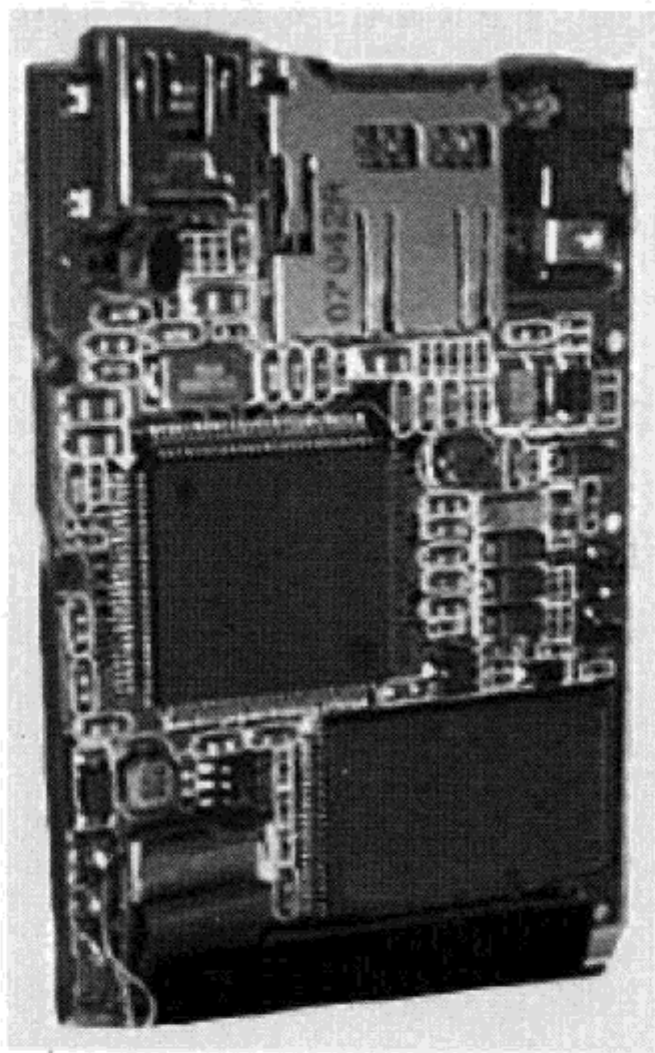
 门老师：大门的“门”。今天在这里，可以说同学们已经来到了电子技术殿堂的大门口，我一定会引领同学们轻松入门的。

众同学：哈哈……

 门老师：咱们言归正传。电子技术是现代社会最重要的技术之一，包括各行各业、生产生活、科研军事、学习娱乐都离不开电子技术。可以毫不夸张地说，如果你不学一点电子技术知识，你可就真的“OUT”啦。

 李蕾蕾（女生）：门老师，“电子元器件”这门课在电子技术当中很重要吗？


 门老师：同学们都用手机吧，手机带来的便捷就是电子技术不断发展的结果。手机里有什么呢？我们可以打开来看一看。请看下图，这是某手机的电路板。





新华书店




开讲的话

 王小帅：手机里这些小东西就是电子元器件吧？

 门老师：对的。这些元器件按照一定的规律连接起来，再加上外壳等，就是一部手机了。所以说，“电子元器件”是一门很重要的课程。

 李蕾蕾：噢，电子元器件真是很重要。那么电子元器件都包括哪些种类呢？

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

我将要给同学们讲授的“电子元器件”这门课程共分8课，每课包括若干讲，每讲着重讲1到2种元器件。这些元器件都是最基本和最常用的，包括电阻器、电位器、电容器、电感器、变压器、晶体二极管、晶体三极管、场效应管、晶体闸流管、光电器件、电声器件、显示器件、控制器件、保护器件、集成电路和数字电路等。

在知识构成方面，重点讲授电子元器件的实用知识和操作技能。只要同学们想学，入门并不难，精通也是做得到的。

资料



目 录

第 1 课 电阻器与电容器

第 ① 讲 电阻器.....1

- 1.1.1 什么是电阻器.....1
- 1.1.2 怎样识别电阻器.....2
- 1.1.3 怎样理解电阻器的参数.....2
- 1.1.4 电阻器有什么特点.....4
- 1.1.5 电阻器有哪些作用.....5
- 1.1.6 怎样检测电阻器.....6

第 ② 讲 敏感电阻器.....8

- 1.2.1 什么是敏感电阻器.....8
- 1.2.2 怎样识别敏感电阻器.....9
- 1.2.3 压敏电阻器有何特点与作用.....10
- 1.2.4 热敏电阻器有何特点与作用.....11
- 1.2.5 光敏电阻器有何特点与作用.....11

第 ③ 讲 电位器.....13

- 1.3.1 什么是电位器.....13
- 1.3.2 怎样识别电位器.....14
- 1.3.3 怎样理解电位器的参数.....15
- 1.3.4 电位器有什么特点.....16
- 1.3.5 电位器有哪些作用.....17
- 1.3.6 怎样检测电位器.....17

第 ④ 讲 电容器.....19

- 1.4.1 什么是电容器.....19
- 1.4.2 怎样识别电容器.....20
- 1.4.3 怎样理解电容器的参数.....21
- 1.4.4 电容器有什么特点.....23
- 1.4.5 电容器有哪些作用.....24
- 1.4.6 怎样检测电容器.....26

第 ⑤ 讲 可变电容器.....28

- 1.5.1 什么是可变电容器.....28
- 1.5.2 怎样识别可变电容器.....29

- 1.5.3 怎样理解可变电容器的参数.....30
- 1.5.4 可变电容器有什么特点.....30
- 1.5.5 可变电容器有哪些作用.....31
- 1.5.6 怎样检测可变电容器.....32

第 2 课 电感器与变压器

第 ① 讲 电感器.....34

- 2.1.1 什么是电感器.....34
- 2.1.2 怎样识别电感器.....36
- 2.1.3 怎样理解电感器的参数.....36
- 2.1.4 电感器有什么特点.....38
- 2.1.5 电感器有哪些作用.....39
- 2.1.6 怎样检测电感器.....40

第 ② 讲 变压器.....42

- 2.2.1 什么是变压器.....42
- 2.2.2 变压器有什么特点.....43
- 2.2.3 变压器有哪些基本作用.....44
- 2.2.4 电源变压器.....45
- 2.2.5 音频变压器.....46
- 2.2.6 中频变压器.....47
- 2.2.7 高频变压器.....48
- 2.2.8 怎样检测变压器.....49

第 3 课 晶体二极管与单结晶体管

第 ① 讲 晶体二极管.....52

- 3.1.1 什么是晶体二极管.....52
- 3.1.2 怎样识别晶体二极管.....54
- 3.1.3 怎样理解晶体二极管的参数.....55
- 3.1.4 晶体二极管有什么特点.....55
- 3.1.5 晶体二极管有哪些作用.....56
- 3.1.6 怎样检测晶体二极管.....58



第2讲 稳压二极管.....59

- 3.2.1 什么是稳压二极管.....60
- 3.2.2 怎样识别稳压二极管.....60
- 3.2.3 怎样理解稳压二极管的参数.....61
- 3.2.4 稳压二极管有什么特点.....61
- 3.2.5 稳压二极管有哪些作用.....61
- 3.2.6 特殊稳压二极管.....63
- 3.2.7 怎样检测稳压二极管.....64

第3讲 发光二极管.....65

- 3.3.1 什么是发光二极管.....65
- 3.3.2 怎样识别发光二极管.....66
- 3.3.3 怎样理解发光二极管的参数.....66
- 3.3.4 发光二极管有什么特点.....67
- 3.3.5 发光二极管有哪些作用.....67
- 3.3.6 特殊发光二极管.....68
- 3.3.7 怎样检测发光二极管.....70

第4讲 单结晶体管.....72

- 3.4.1 什么是单结晶体管.....73
- 3.4.2 怎样识别单结晶体管.....73
- 3.4.3 怎样理解单结晶体管的参数.....74
- 3.4.4 单结晶体管有什么特点.....75
- 3.4.5 单结晶体管有哪些作用.....75
- 3.4.6 怎样检测单结晶体管.....76

第4课 晶体三极管与晶体闸流管

第1讲 晶体三极管.....79

- 4.1.1 什么是晶体三极管.....79
- 4.1.2 怎样识别晶体三极管.....80
- 4.1.3 怎样理解晶体三极管的参数.....81
- 4.1.4 晶体三极管有什么特点.....83
- 4.1.5 晶体三极管有哪些作用.....83
- 4.1.6 特殊晶体三极管.....85
- 4.1.7 怎样检测晶体三极管.....85

第2讲 场效应管.....87

- 4.2.1 什么是场效应管.....87
- 4.2.2 怎样识别场效应管.....89
- 4.2.3 怎样理解场效应管的参数.....89

- 4.2.4 场效应管有什么特点.....90
- 4.2.5 场效应管有哪些作用.....92
- 4.2.6 怎样检测场效应管.....93

第3讲 单向晶闸管.....95

- 4.3.1 什么是晶体闸流管.....95
- 4.3.2 怎样识别晶体闸流管.....96
- 4.3.3 怎样理解晶体闸流管的参数.....97
- 4.3.4 晶体闸流管有什么特点.....98
- 4.3.5 晶体闸流管有哪些作用.....98
- 4.3.6 怎样检测单向晶闸管.....99

第4讲 双向晶闸管.....100

- 4.4.1 什么是双向晶闸管.....101
- 4.4.2 怎样识别双向晶闸管.....101
- 4.4.3 双向晶闸管有什么特点.....101
- 4.4.4 双向晶闸管有哪些作用.....101
- 4.4.5 怎样检测双向晶闸管.....102

第5讲 可关断晶闸管.....103

- 4.5.1 什么是可关断晶闸管.....103
- 4.5.2 可关断晶闸管有什么特点.....103
- 4.5.3 可关断晶闸管有哪些作用.....104
- 4.5.4 怎样检测可关断晶闸管.....104

第5课 光电器件与电声器件

第1讲 光电二极管与光电三极管.....106

- 5.1.1 什么是光电二极管.....106
- 5.1.2 怎样识别光电二极管.....107
- 5.1.3 怎样理解光电二极管的参数.....107
- 5.1.4 光电二极管有什么特点.....108
- 5.1.5 光电二极管有哪些作用.....109
- 5.1.6 怎样检测光电二极管.....109
- 5.1.7 什么是光电三极管.....110
- 5.1.8 怎样识别光电三极管.....111
- 5.1.9 怎样理解光电三极管的参数.....111
- 5.1.10 光电三极管有什么特点.....112
- 5.1.11 光电三极管有哪些作用.....112
- 5.1.12 怎样检测光电三极管.....113

第2讲 光电耦合器.....115

5.2.1	什么是光电耦合器	115
5.2.2	怎样识别光电耦合器	116
5.2.3	怎样理解光电耦合器的参数	117
5.2.4	光电耦合器有什么特点	117
5.2.5	光电耦合器有哪些作用	117
5.2.6	怎样检测光电耦合器	118
第 3 讲	扬声器与耳机	120
5.3.1	什么是扬声器	120
5.3.2	怎样识别扬声器	121
5.3.3	怎样理解扬声器的参数	121
5.3.4	电动式扬声器	122
5.3.5	球顶式扬声器	123
5.3.6	号筒式扬声器	123
5.3.7	怎样检测扬声器	124
5.3.8	什么是耳机	125
5.3.9	怎样识别耳机	126
5.3.10	怎样理解耳机的参数	127
5.3.11	怎样检测耳机	127
第 4 讲	电磁讯响器与压电蜂鸣器	128
5.4.1	什么是电磁讯响器	128
5.4.2	怎样理解电磁讯响器的参数	129
5.4.3	电磁讯响器有什么特点	129
5.4.4	电磁讯响器有哪些作用	130
5.4.5	怎样检测电磁讯响器	131
5.4.6	什么是压电蜂鸣器	131
5.4.7	怎样理解压电蜂鸣器的工作原理	131
5.4.8	压电蜂鸣器有什么特点	132
5.4.9	压电蜂鸣器有哪些作用	132
5.4.10	怎样检测压电蜂鸣器	132
第 5 讲	传声器	133
5.5.1	什么是传声器	133
5.5.2	怎样识别传声器	135
5.5.3	怎样理解传声器的参数	135
5.5.4	动圈式传声器	137
5.5.5	驻极体传声器	137
5.5.6	近讲传声器	139
5.5.7	无线传声器	139
5.5.8	怎样检测传声器	139
第 6 讲	磁头与晶体	141
5.6.1	什么是磁头	141

5.6.2	怎样理解磁头的参数	142
5.6.3	怎样理解磁头的工作原理	142
5.6.4	磁头有哪些作用	143
5.6.5	怎样检测磁头	144
5.6.6	什么是晶体	145
5.6.7	怎样识别晶体	145
5.6.8	怎样理解晶体的参数	146
5.6.9	晶体有什么特点	147
5.6.10	晶体有哪些作用	148
5.6.11	怎样检测晶体	148

第 6 课 显示、控制与保护器件

第 1 讲	LED 数码管	151
6.1.1	什么是 LED 数码管	151
6.1.2	怎样识别 LED 数码管	152
6.1.3	LED 数码管有什么特点	153
6.1.4	LED 数码管有哪些作用	153
6.1.5	怎样检测 LED 数码管	154
第 2 讲	液晶显示屏	155
6.2.1	什么是液晶显示屏	155
6.2.2	液晶显示屏有哪些种类	155
6.2.3	怎样理解液晶显示屏的工作原理	156
6.2.4	液晶显示屏有哪些作用	157
6.2.5	怎样检测液晶显示屏	158
第 3 讲	继电器	159
6.3.1	什么是继电器	160
6.3.2	怎样识别继电器	161
6.3.3	怎样理解继电器的参数	162
6.3.4	怎样理解继电器的工作原理	163
6.3.5	继电器有哪些作用	164
6.3.6	怎样检测继电器	165
第 4 讲	开关	166
6.4.1	什么是开关	166
6.4.2	怎样理解开关的参数	167
6.4.3	怎样检测开关	168
第 5 讲	接插件	169
6.5.1	什么是接插件	169



6.5.2 怎样检测接插件	170
---------------	-----

第6讲 保险器件

6.6.1 什么是保险器件	171
6.6.2 怎样理解保险丝的参数	171
6.6.3 怎样理解保险丝的工作原理	172
6.6.4 怎样检测保险器件	172

第7课 集成电路

第1讲 认识集成电路

7.1.1 什么是集成电路	175
7.1.2 集成电路有哪些种类	176
7.1.3 集成电路的符号	178
7.1.4 集成电路有哪些封装形式	181
7.1.5 怎样识别集成电路的引脚	182

第2讲 集成运算放大器

7.2.1 什么是集成运算放大器	184
7.2.2 集成运算放大器有哪些种类	184
7.2.3 集成运算放大器的符号	185
7.2.4 集成运算放大器的参数	185
7.2.5 集成运算放大器的电路结构	187
7.2.6 怎样理解集成运算放大器的工作原理	187
7.2.7 集成运算放大器有哪些作用	188

第3讲 时基集成电路

7.3.1 什么是时基集成电路	192
7.3.2 时基集成电路有哪些种类	192
7.3.3 时基集成电路的符号	192
7.3.4 时基集成电路的参数	193
7.3.5 时基集成电路的结构特点	194
7.3.6 怎样理解时基集成电路的工作原理	195
7.3.7 时基集成电路的基本电路	196
7.3.8 怎样应用时基集成电路	199

第4讲 集成稳压器

7.4.1 什么是集成稳压器	202
7.4.2 集成稳压器有哪些种类	203
7.4.3 集成稳压器的符号	204

7.4.4 集成稳压器的参数	204
----------------	-----

7.4.5 怎样理解集成稳压器的工作原理	205
----------------------	-----

7.4.6 集成稳压器有哪些作用	207
------------------	-----

第8课 数字集成电路

第1讲 认识数字集成电路

8.1.1 什么是数字集成电路	211
8.1.2 数字集成电路的种类	212
8.1.3 数字集成电路的符号	213
8.1.4 数字集成电路的参数	213

第2讲 门电路与触发器

8.2.1 什么是门电路	215
8.2.2 基本门电路的种类与特点	215
8.2.3 怎样应用门电路	216
8.2.4 什么是触发器	219
8.2.5 触发器的种类与特点	219
8.2.6 怎样应用触发器	222

第3讲 计数器与译码器

8.3.1 什么是计数器	227
8.3.2 计数器的种类与特点	227
8.3.3 怎样应用计数器	228
8.3.4 什么是译码器	231
8.3.5 译码器的种类与特点	231
8.3.6 怎样应用译码器	233

第4讲 移位寄存器

8.4.1 什么是移位寄存器	235
8.4.2 移位寄存器的种类与特点	235
8.4.3 怎样应用移位寄存器	236

第5讲 模拟开关与运算电路

8.5.1 什么是模拟开关	240
8.5.2 模拟开关的种类与特点	240
8.5.3 怎样应用模拟开关	240
8.5.4 什么是运算电路	243
8.5.5 运算电路的种类与特点	243
8.5.6 怎样应用运算电路	243

第1课 电阻器与电容器



门老师：同学们，现在我们开始讲第1课：电阻器与电容器。电阻器与电容器都是最基本、最常用的电子元器件，它们广泛应用在各种电子电路中。这一课我们分为5讲，第1讲电阻器，第2讲敏感电阻器，第3讲电位器，第4讲电容器，第5讲可变电容器。



第1讲 电阻器



门老师：本讲的主要内容是，电阻器的种类、符号和型号，电阻器的主要参数，电阻器的特点和作用，电阻器的检测方法等。

1.1.1 什么是电阻器

电阻器是限制电流的元件，通常简称为电阻，是一种最基本、最常用的电子元件。电阻器包括固定电阻器、可变电阻器、敏感电阻器等，如图1-1所示。

1. 电阻器的种类

由于制造材料和结构不同，电阻器有许多种类，常见的有碳膜电阻器、金属膜电阻器、有机实心电阻器、线绕电阻器、固定抽头电阻器、可变电阻器、滑线式变阻器和片状电阻器等，如图1-2所示。

在电子制作中一般常用碳膜或金属膜电阻器。碳膜电阻器具有稳定性较高、高频特性好、负温度系数小、脉冲负荷稳定及成本低等特点，应用广泛。金属膜电阻器具有稳定性高、温度系数小、耐热性能好、噪声小、工作频率范围宽及体积小等特点，应用也很广泛。

2. 电阻器的符号

电阻器的文字符号为“R”，图形符号如图1-3所示。

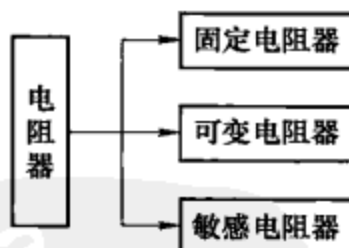


图 1-1

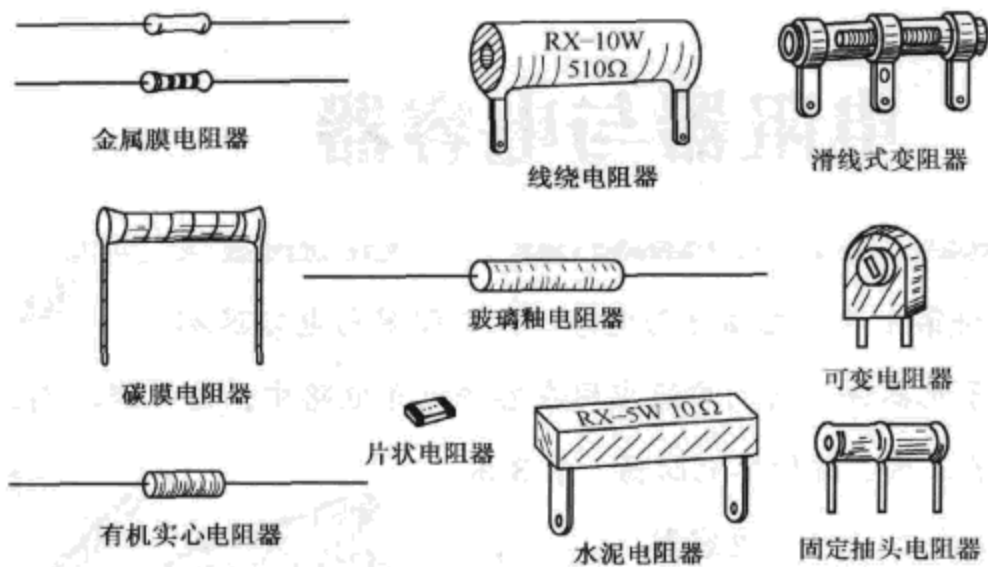


图 1-2

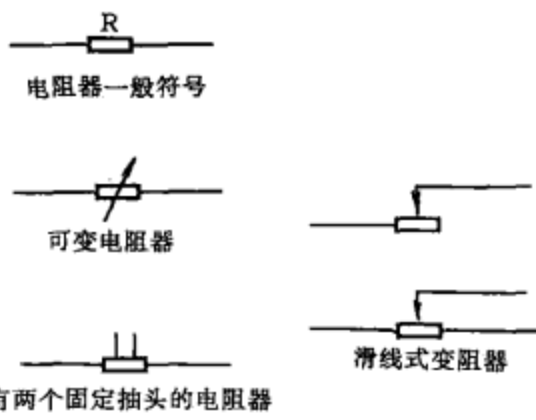


图 1-3

1.1.2 怎样识别电阻器

电阻器的型号命名由 4 部分组成，如图 1-4 所示。第一部分用字母“R”表示电阻器的主称，第二部分用字母表示构成电阻器的材料，第三部分用数字或字母表示电阻器的分类，第四部分用数字表示序号。电阻器型号的意义见表 1-1。例如，型号为 RT11，表示这是普通碳膜电阻器；型号为 RJ71，表示这是精密金属膜电阻器。

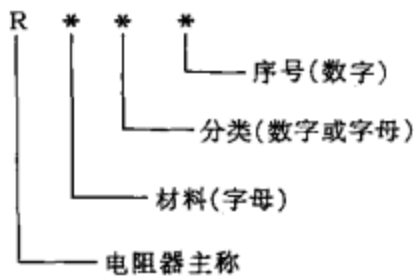


图 1-4

▼ 表 1-1 电阻器型号的意义

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

1.1.3 怎样理解电阻器的参数

电阻器的主要参数有电阻值和额定功率。

1. 电阻值

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

2. 电阻器上阻值的标示方法

电阻器上阻值的标示方法有两种：

（1）直标法，即将电阻值直接印刷在电阻器上。例如，在 5.1Ω 的电阻器上印有“5.1”或“5R1”字样，在 $6.8k\Omega$ 的电阻器上印有“6.8k”或“6k8”字样，如图 1-5 所示。

（2）色环法，即在电阻器上印刷 4 道或 5 道色环来表示阻值，阻值的单位为 Ω 。

对于 4 环电阻器，第一、二环表示两位有效数字，第三环表示倍乘数，第四环表示允许偏差，如图 1-6 所示。

对于 5 环电阻器，第一、二、三环表示 3 位有效数字，第四环表示倍乘数，第五环表示允许偏差，如图 1-7 所示。

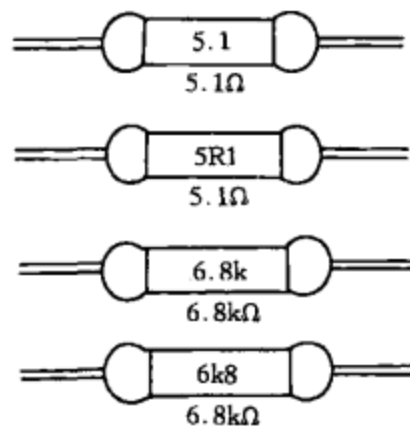


图 1-5

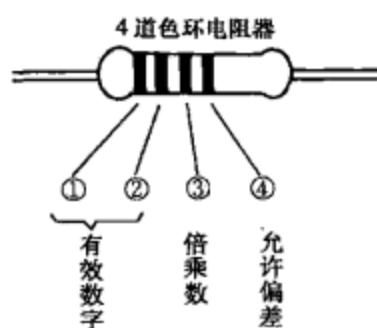


图 1-6

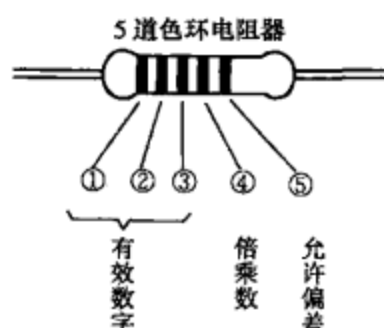


图 1-7

李蕾蕾：门老师，色环法没有直接印上数字那样直观，为什么还要用呢？

门老师：色环法的长处是从电阻器的任何一面都可以看出阻值，而直标法只有一面可以看到阻值。

王小帅：是不是不同的颜色就代表不同的数字？

门老师：很对。色环法规定了不同的颜色所代表的含义，我们应该记住它，才能较快地识别色环电阻器的阻值。

色环一般采用黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白、金、银 12 种颜色，它们的意义如表 1-2 所示。例如，某电阻器的 4 道色环依次为“黄、紫、橙、银”，则其阻值为 $47k\Omega$ ，误差为 $\pm 10\%$ ；某电阻器的 5 道色环依次为“红、黄、黑、橙、金”，则其阻值为 $240k\Omega$ ，误差为 $\pm 5\%$ 。



▼ 表 1-2

电阻器上色环颜色的意义

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

在电子制作中，选用 4 环或 5 环电阻均可。在选频回路、偏置电路等电路中，应尽量选用误差小的电阻，必要时可用欧姆表检测挑选。

3. 额定功率

额定功率是电阻器的另一主要参数，常用电阻器的功率有 1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W 等，其符号如图 1-8 所示。额定功率大于 5W 的直接用数字注明。

使用中应选用额定功率等于或大于电路要求的电阻器。电路图中不作标示的表示该电阻器工作中消耗功率很小，可不必考虑。例如，大部分业余电子制作中对电阻器功率都没有要求，这时可选用 1/8W 或 1/4W 电阻器。

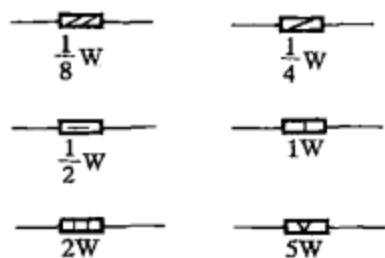


图 1-8

1.1.4 电阻器有什么特点

电阻器的特点是对直流和交流一视同仁，任何电流通过电阻器都要受到一定的阻碍和限制，并且该电流必然在电阻器上产生电压降，如图 1-9 所示。

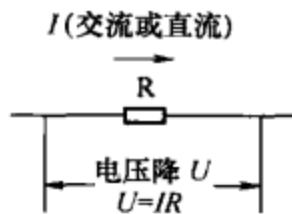


图 1-9

1.1.5 电阻器有哪些作用

电阻器的主要作用是限流与降压。

1. 限流

电阻器在电路中限制电流的通过，电阻值越大，电流越小。

(1) 图 1-10 所示发光二极管电路中， R 为限流电阻。从欧姆定律 $I = U/R$ 可知，当电压 U 一定时，流过电阻器的电流 I 与其阻值 R 成反比。由于限流电阻 R 的存在，将发光二极管 VD 的电流限制在 10mA ，保证 VD 正常工作。

(2) 调整晶体管的工作点是电阻器用作限流的一个例子。图 1-11 所示为晶体管放大电路，晶体管集电极电流 I_c （工作点）由其基极电流 I_b 决定。改变晶体管基极电阻 R_b 的阻值，即可改变 I_b ，也就是改变了 I_c ，即改变了晶体管的工作点。

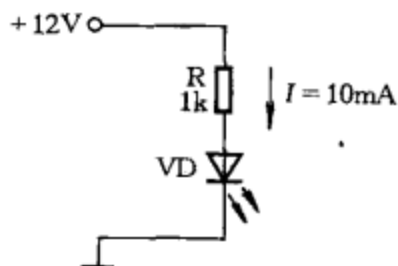


图 1-10

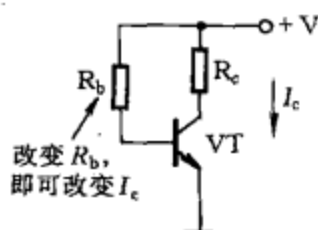


图 1-11

2. 降压

电流通过电阻器时必然会产生电压降，电阻值越大，电压降越大。

(1) 图 1-12 所示继电器电路中， R 为降压电阻。电压降 U 的大小与电阻值 R 与电流 I 的乘积成正比，即 $U = IR$ 。利用电阻器 R 的降压作用，可以使较高的电源电压适应元器件工作电压的要求。例如图 1-12 所示电路中，继电器工作电压 6V 、工作电流 60mA ，而电源电压为 12V ，因而必须串接一个 100Ω 的降压电阻 R 后，继电器方可正常工作。

(2) 放大器的负载电阻也是利用电阻器的降压作用的例子。图 1-13 所示晶体管放大电路中，集电极电阻 R_c 即是负载电阻。输入信号 U_i 使晶体管集电极电流 I_c 相应变化，由于 R_c 的降压作用，从 VT 集电极即可得到放大后的输出电压 U_o 。（与 U_i 反相）。

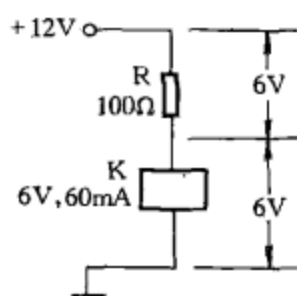


图 1-12

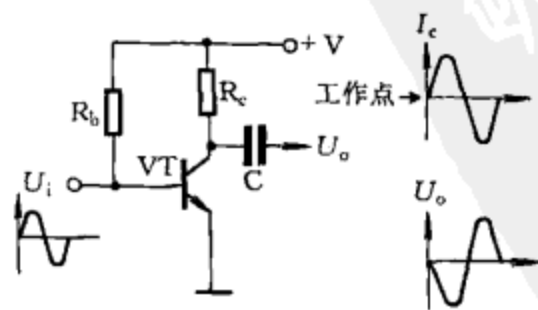


图 1-13

3. 分压

基于电阻的降压作用，电阻器还可以用作分压器。

(1) 如图 1-14 所示，电阻器 R_1 和 R_2 构成一个分压器，由于两个电阻串联，通过这两个电阻的电流 I 相等，而电阻上的压降 $U=IR$ ， R_1 上压降为 $(1/3)U$ ， R_2 上压降为 $(2/3)U$ ，实现了分压（负载电阻必须远大于 R_1 、 R_2 ），分压比为 R_1/R_2 。

(2) RC 滤波网络是一种特殊的分压器。图 1-15 所示整流滤波电路中， R 与 C_2 可理解为分压器，输出电压 U_o 取自 C_2 上的压降。对于直流， C_2 的容抗无限大；而对于交流， C_2 的容抗远小于 R ，因此 C_2 上直流压降很大而交流压降很小，达到了滤波的目的。

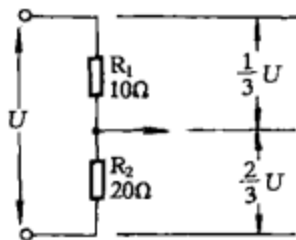


图 1-14

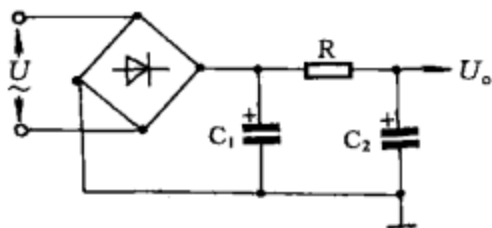


图 1-15



王小帅：电阻器的特点和作用我明白了。可是，门老师，如果电阻器坏了它就起不了应有的作用了。怎样才能知道一个电阻器的好坏呢？



门老师：王小帅同学提出的问题很重要，使用电阻器前应该首先检测它的好坏。下面我们就来讲讲怎样检测电阻器。

1.1.6 怎样检测电阻器

电阻器的好坏可用模拟万用表或数字万用表的电阻挡检测。

1. 用模拟万用表检测

(1) 选择挡位。检测时首先根据电阻器阻值的大小，将模拟万用表（以下简称万用表）上的挡位旋转到适当的“ Ω ”挡位，如图 1-16 所示。

由于万用表电阻挡一般按中心阻值校准，而其刻度线又是非线性的，因此测量电阻器应避免表针指在刻度线两端。一般测量 100Ω 以下电阻器可选“ $R \times 1$ ”挡， $100\Omega \sim 1k\Omega$ 电阻器可选“ $R \times 10$ ”挡， $1 \sim 10k\Omega$ 电阻器可选“ $R \times 100$ ”挡， $10 \sim 100k\Omega$ 电阻器可选“ $R \times 1k$ ”挡， $100k\Omega$ 以上电阻器可选“ $R \times 10k$ ”挡。

(2) 校零。测量挡位选定后，还需对万用表电阻挡

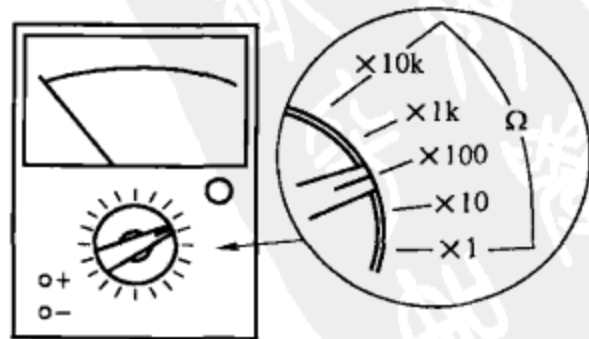


图 1-16

进行校零。如图 1-17 所示将万用表两表笔互相短接，转动“调零”旋钮使表针指向电阻刻度的“0”位（满度）。需要特别注意的是，测量中每更换一次挡位，均应重新对该挡进行校零。

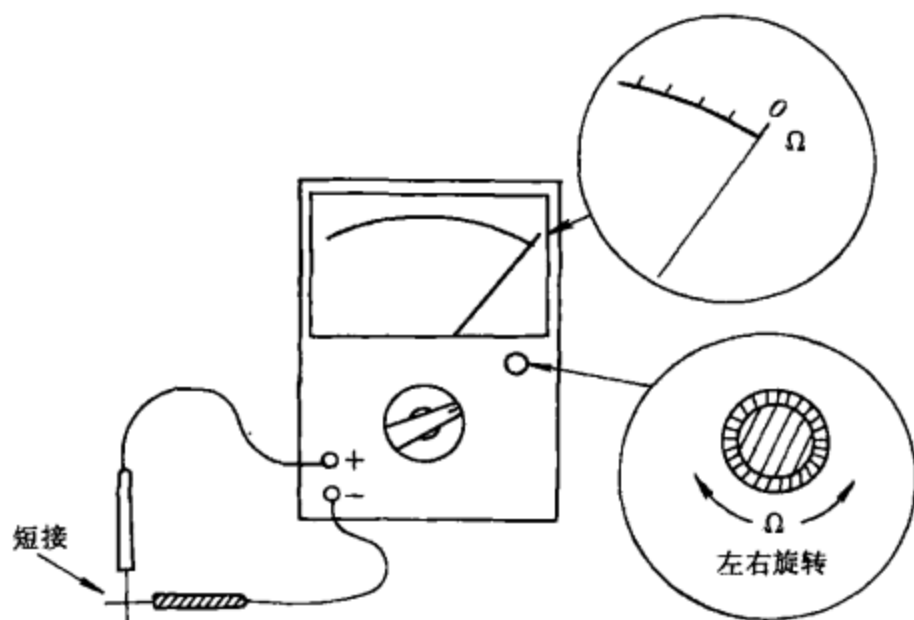


图 1-17

(3) 测量。将万用表两表笔（不分正、负）分别与电阻器的两端引线相接，如图 1-18 所示，表针应指在相应的阻值刻度上。如表针不动、指示不稳定或指示值与电阻器上标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。

在测量几十千欧以上阻值的电阻器时，注意不可用手同时接触电阻器的两端引线（见图 1-19），以免接入人体电阻带来测量误差。

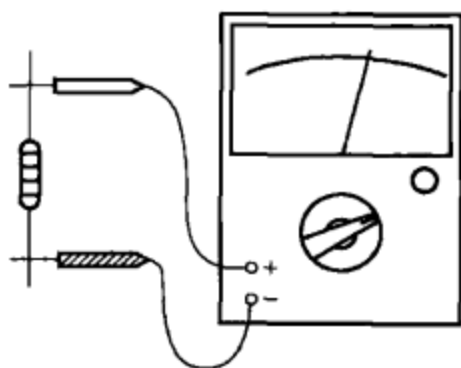


图 1-18

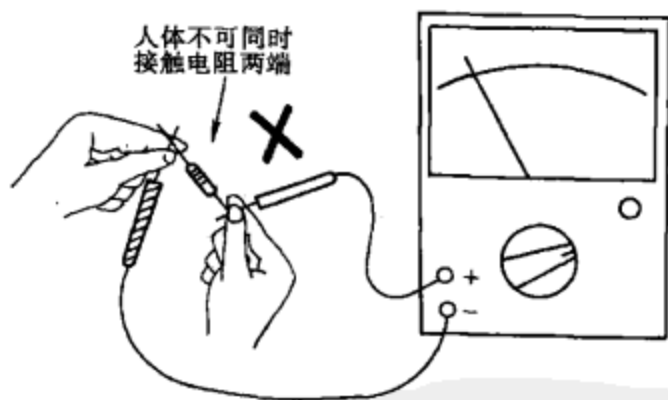


图 1-19

2. 用数字万用表检测

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

(2) 选择挡位。选择测量挡位时应尽量使显示屏显示较多的有效数字，一般测量 200Ω 以下电阻器可选“ 200Ω ”挡， $200\sim 1999\Omega$ 电阻器可选“ $2k\Omega$ ”挡， $2\sim 19.99k\Omega$ 电阻器可选“ $20k\Omega$ ”挡， $20\sim 199.9k\Omega$ 电阻器可选“ $200k\Omega$ ”挡， $200\sim 1999k\Omega$ 电阻器可选“ $2M\Omega$ ”挡， $2\sim 19.99M\Omega$

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

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

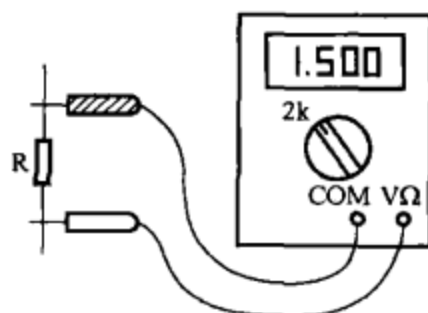


图 1-20



门老师：好，这一讲就结束了。现在我们来归纳一下本讲的主要知识。

- （1）电阻器是限制电流的元件，通常简称为电阻，是一种最基本最常用的电子元件，包括固定电阻器、可变电阻器、敏感电阻器等。
- （2）电阻器的文字符号为“R”。
- （3）电阻器的主要参数有电阻值和额定功率。
- （4）电阻值简称阻值，基本单位是欧姆，简称欧（Ω）。常用单位还有千欧（kΩ）和兆欧（MΩ）。
- （5）电阻器的特点是对直流和交流一视同仁，任何电流通过电阻器都要受到一定的阻碍和限制。
- （6）电阻器的主要作用是限流与降压，还可以用作分压器。
- （7）电阻器的好坏可用万用表的电阻挡进行检测。

第 2 讲 敏感电阻器



门老师：第 1 课第 2 讲的主要内容是，敏感电阻器的概念和种类、敏感电阻器的型号和符号、敏感电阻器的特点和作用等，并具体讲解压敏电阻器、热敏电阻器和光敏电阻器。

1.2.1 什么是敏感电阻器

电阻器家族中除普通电阻器外，还有一些敏感电阻器。敏感电阻器是一类对电压、温度、湿度、光或磁场等物理量反应敏感的电阻元件，包括压敏电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器及磁敏电阻器等。

1.2.2 怎样识别敏感电阻器

敏感电阻器的型号命名由 4 部分组成，如图 1-21 所示。第一部分用字母“M”表示敏感电阻器的主称，第二部分用字母表示类别，第三部分用字母或数字表示用途或特征，第四部分用数字表示序号。敏感电阻器型号的意义见表 1-3、表 1-4 和表 1-5。例如，型号为 MF11，表示这是普通负温度系数热敏电阻器；型号为 MG41，表示这是可见光光敏电阻器。

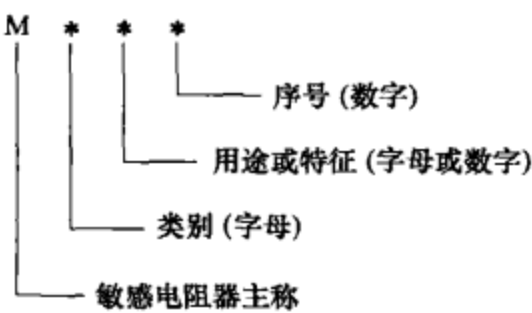


图 1-21

表 1-3 敏感电阻器型号的意义

第一部分	第二部分（类别）	第三部分（用途或特征）	第四部分
M	F：负温度系数热敏电阻器	数字或字母	序号
	Z：正温度系数热敏电阻器		
	G：光敏电阻器		
	Y：压敏电阻器		
	S：湿敏电阻器		
	Q：气敏电阻器		
	L：力敏电阻器		
	C：磁敏电阻器		

表 1-4 敏感电阻器型号中第三部分数字代号的意义

代号	负温度系数 热敏电阻器	正温度系数 热敏电阻器	光敏电阻器	力敏电阻器
0	特殊		特殊	
1	普通	普通	紫外光	硅应变片
2	稳压			
3	微波测量			硅杯
4	旁热式		可见光	
5	测温	测温		
6	控温	控温		
7		消磁	红外光	
8	线性型			
9		恒温		

▼ 表 1-5 敏感电阻器型号中第三部分字母代号的意义

代号	压敏电阻器	湿敏电阻器	气敏电阻器	磁敏元件
W	稳压			电位器
G	高压保护			
P	高频			
N	高能			
K	高可靠型	控湿	可燃性	
L	防雷			
H	灭弧			
E	消噪			电阻器
B	补偿			
C	消磁	测湿		
S				
Q				
Y			烟敏	

1.2.3 压敏电阻器有何特点与作用

压敏电阻器是利用半导体材料的非线性特性原理制成的，其电阻值与电压之间为非线性关系。

1. 压敏电阻器的符号

压敏电阻器的文字符号为“RV”，图形符号和外形如图 1-22 所示。

2. 压敏电阻器的特点

压敏电阻器的特点是当外加电压达到其临界值时，其阻值会急剧变小。

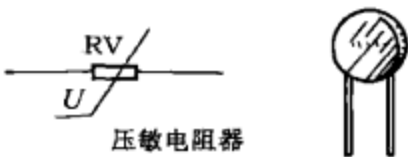





图 1-22




王小帅：门老师，压敏电阻器阻值急剧变小时，根据欧姆定律，电流不就要急剧变大了吗，电路还能正常工作吗？



门老师：同学们想想看，是这样吗？



李蕾蕾：我也认为电流是要变大的，不过我觉得可能这正是压敏电阻器的使用价值吧。



门老师：李蕾蕾同学说得对，这正是压敏电阻器的使用价值所在。

3. 压敏电阻器的作用

压敏电阻器的主要作用是过压保护和抑制浪涌电流。图 1-23 所示为电源输入电路，压敏电阻器 RV 跨接于电源变压器 T 的初级（即一次侧）两端。正常情况下，由于 RV 的阻值很大，对电路无影响。一旦电源输入端出现超过 RV 临界值的过高电压时，RV 阻值急剧减小，电流剧增使保险丝（又称熔断器）FU 熔断，保护电路不被损坏。

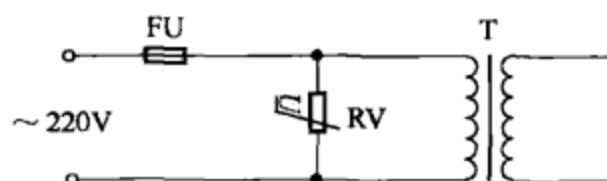


图 1-23

1.2.4 热敏电阻器有何特点与作用

热敏电阻器大多由单晶或多晶半导体材料制成，它的阻值会随温度的变化而变化。

1. 热敏电阻器的符号

热敏电阻器的文字符号为“RT”，图形符号和外形如图 1-24 所示。

2. 热敏电阻器的种类与特点

热敏电阻器分为正温度系数和负温度系数两种：正温度系数热敏电阻器的阻值与温度成正比，负温度系数热敏电阻器的阻值与温度成反比。

3. 热敏电阻器的作用

热敏电阻器的主要作用是进行温度检测，常用于自动控制、自动测温、电气设备的软启动电路等。目前用得较多的是负温度系数热敏电阻器。

图 1-25 所示为电子温度计电路，RT 为负温度系数热敏电阻器，温度越高，RT 阻值越小，其负载电阻 R 上的压降（A 点电位）越大。RT 将温度转换为电压，经放大、整流后指示出来。



图 1-24

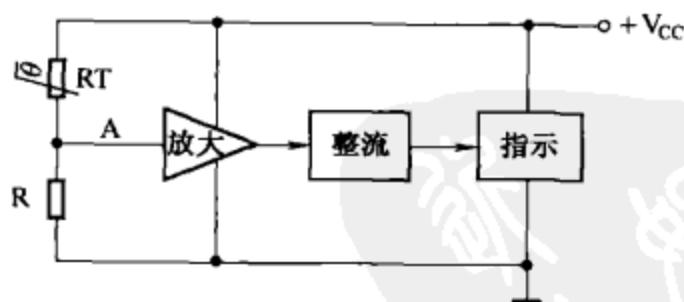


图 1-25

1.2.5 光敏电阻器有何特点与作用

光敏电阻器大多数由半导体材料制成，它是利用半导体的光导电特性原理工作的。



1. 光敏电阻器的符号

光敏电阻器的文字符号为“R”，图形符号和外形如图 1-26 所示。

2. 光敏电阻器的特点与种类

光敏电阻器的特点是其阻值会随入射光线的强弱而变化，入射光线越强，其阻值越小；入射光线越弱，其阻值越大。根据光敏电阻器的光谱特性，可分为红外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器等。

3. 光敏电阻器的作用

光敏电阻器的主要作用是进行光的检测，广泛应用于自动检测、光电控制、通信、报警等电路中。图 1-27 所示光控电路中， R_2 为光敏电阻器，当有光照时， R_2 阻值变小，A 点电位上升，使控制电路工作。

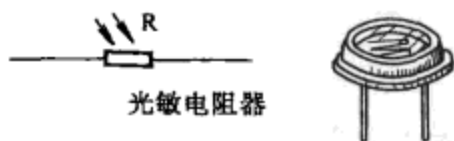


图 1-26

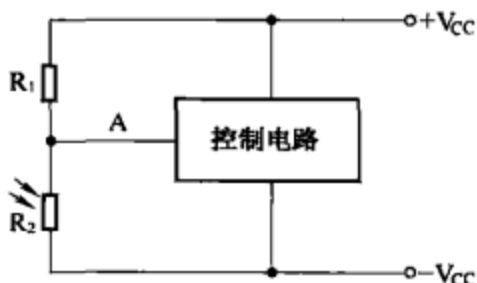


图 1-27



Q老师：敏感电阻器我们讲完了。李蕾蕾同学，请你归纳一下本讲的学习收获。



李蕾蕾：我觉得本讲的主要知识有以下几点。

- (1) 敏感电阻器是一类对电压、温度、湿度、光或磁场等物理量反映敏感的电阻元件，包括压敏电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器及磁敏电阻器等。
- (2) 压敏电阻器的文字符号为“RV”。
- (3) 压敏电阻器的特点是当外加电压达到其临界值时其阻值会急剧变小，主要用于过压保护和抑制浪涌电流。
- (4) 热敏电阻器的文字符号为“RT”。
- (5) 热敏电阻器的特点是其阻值会随温度的变化而变化，有正温度系数和负温度系数两种，主要作用是进行温度检测。
- (6) 光敏电阻器的特点是其阻值会随入射光线的强弱而变化，光线越强阻值越小，主要作用是进行光的检测。

第 3 讲 电位器

门老师：现在我们讲第 1 课的第 3 讲，主要内容是电位器的种类、符号和型号，电位器的参数，电位器的特点和工作原理，电位器的作用，电位器的检测方法等。

1.3.1 什么是电位器

电位器是调节分压比的元件，是一种最常用的可调电子元件。电位器是从可变电阻器发展派生出来的，它由一个电阻体和一个转动或滑动系统组成，其动臂的接触刷在电阻体上滑动，即可连续改变动臂与两端间的阻值。

1. 电位器的种类

电位器的种类很多。按结构可分为旋转式电位器、直滑式电位器、带开关电位器、双连电位器及多圈电位器等，如图 1-28 所示。

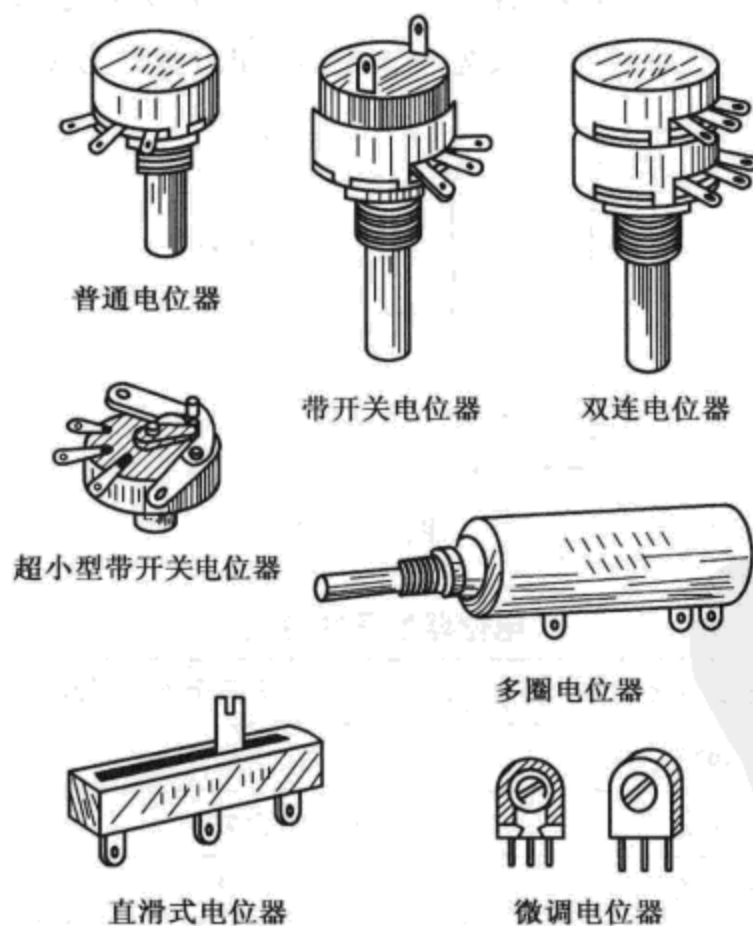


图 1-28

按照电阻体所用制造材料的不同，电位器又分为碳膜电位器、金属膜电位器、有机实心电

位器、无机实心电位器、玻璃釉电位器及线绕电位器等，如图 1-29 所示。

2. 电位器的符号

电位器的文字符号为“RP”，图形符号如图 1-30 所示。

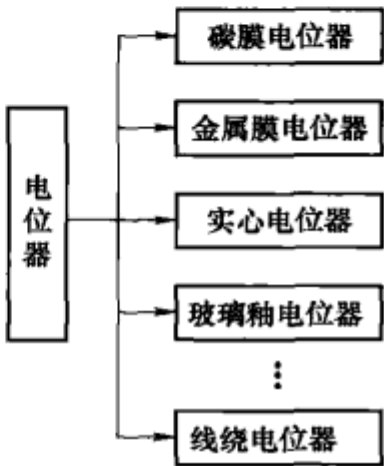


图 1-29

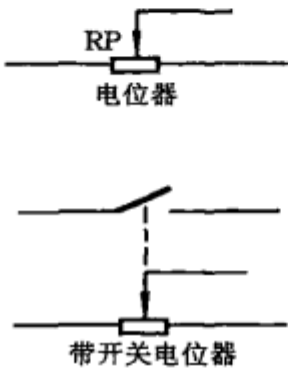


图 1-30

1.3.2 怎样识别电位器

电位器的型号命名由 4 部分组成，如图 1-31 所示。第一部分用字母“W”表示电位器的主称，第二部分用字母表示构成电位器电阻体的材料，第三部分用字母表示电位器的分类，第四部分用数字表示序号。电位器型号的意义见表 1-6。例如，型号为 WHJ3，表示这是精密合成碳膜电位器。

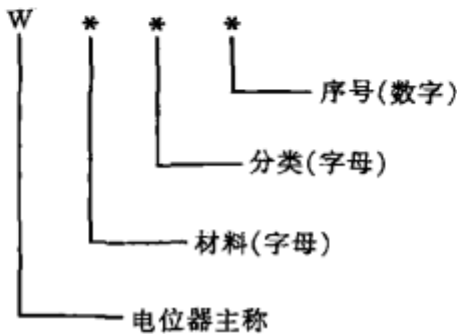


图 1-31

▼ 表 1-6 电位器型号的意义

第一部分	第二部分（材料）	第三部分（分类）	第四部分
W	H: 合成碳膜	G: 高压类	序号
	S: 有机实心	H: 组合类	
	N: 无机实心	B: 片式类	
	I: 玻璃釉膜	W: 螺杆预调类	
	X: 线绕	Y: 旋转预调类	
	J: 金属膜	J: 单旋精密类	

续表

第一部分	第二部分（材料）	第三部分（分类）	第四部分
W	Y: 氧化膜	D: 多旋精密类	序号
	D: 导电塑料	M: 直滑精密类	
	F: 复合膜	X: 旋转低功率	
		Z: 直滑低功率	
		P: 旋转功率类	
		T: 特殊类	

1.3.3 怎样理解电位器的参数

电位器的主要参数有标称阻值、阻值变化特性和额定功率。

1. 标称阻值

标称阻值是指电位器的两定臂引出端之间的阻值，如图 1-32 所示。标称阻值通常用数字直接标示在电位器壳体上，如图 1-33 所示。

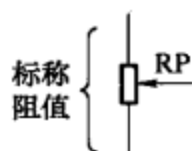


图 1-32

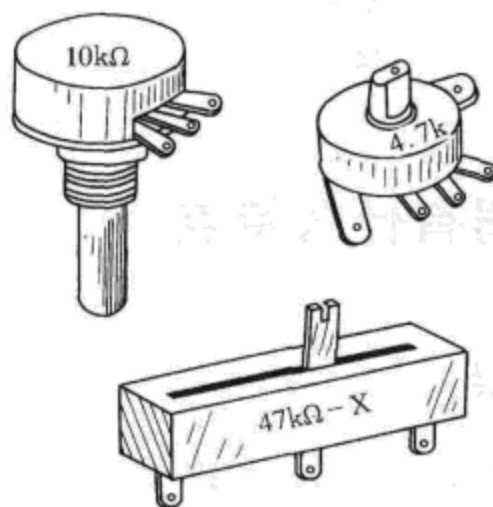


图 1-33

门老师：同学们思考一下，电位器具有 3 个引出端，如果中间的动臂在移动，那么它与上、下两个引出端之间的阻值会怎样变化？

李蕾蕾：如果动臂向上移动，那么它与下端的阻值就会越来越大，而与上端的阻值就会越来越小。

王小帅：不管动臂怎样移动，上、下两段的阻值加起来应该等于标称阻值。对吗，门老师？

门老师：是的。动臂与上、下两个引出端之间的阻值变化规律可以是线性的，也可以是非线性的。下面我们就来讲讲电位器的阻值变化特性。

2. 阻值变化特性

阻值变化特性是指电位器的阻值随动臂的旋转角度或滑动行程而变化的关系。常用的有直线式 (X)、指数式 (Z) 和对数式 (D)，如图 1-34 所示。直线式适用于大多数场合，指数式适用于音量控制电路，对数式适用于音调控制电路。

3. 额定功率

额定功率是指电位器在长期连续负荷下所允许承受的最大功率，使用中电位器承受的实际功率不得超过其额定功率。额定功率值通常直接标示在电位器上，如图 1-35 所示。

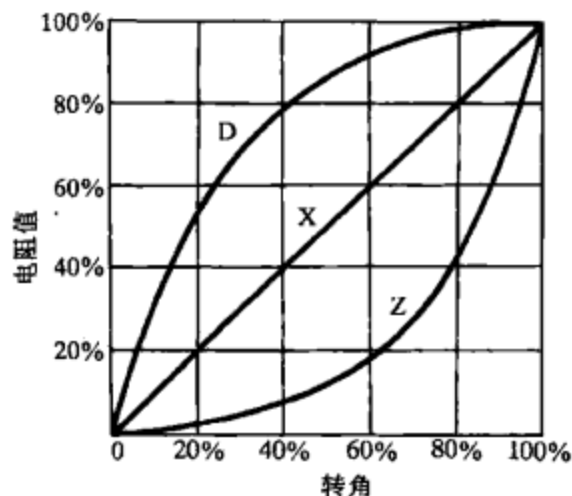


图 1-34

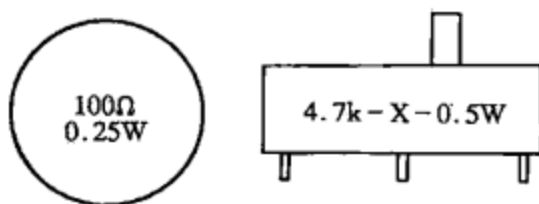


图 1-35

1.3.4 电位器有什么特点

1. 电位器的特点

电位器的特点是可以连续改变电阻比。电位器的结构如图 1-36 所示，电阻体的两端各有一个定臂引出端，中间是动臂引出端。动臂在电阻体上移动，即可使动臂与上、下定臂引出端间的电阻比值连续变化。

2. 电位器的工作原理

电位器 R_P 可等效为电阻 R_a 和 R_b 构成的分压器。

(1) 当动臂 2 端处于电阻体中间时， $R_a = R_b$ ，动臂 2 端输出电压为输入电压的一半，如图 1-37 所示。

(2) 当动臂 2 端向上移动时， R_a 减小而 R_b 增大。当动臂 2 端移至最上端时， $R_a = 0$ ， $R_b = R_{RP}$ ，动臂 2 端输出电压为输入电压的全部，如图 1-38 所示。

(3) 当动臂 2 端向下移动时， R_a 增大而 R_b 减小。当动臂 2 端移至最下端时， $R_b = 0$ ， $R_a = R_{RP}$ ，动臂 2 端输出电压为 0，如图 1-39 所示。

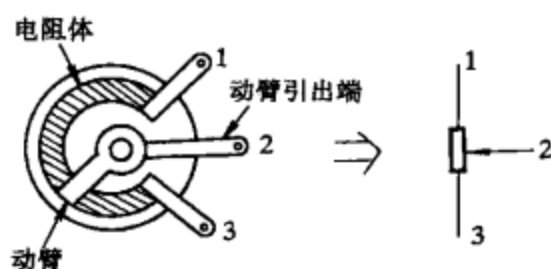


图 1-36

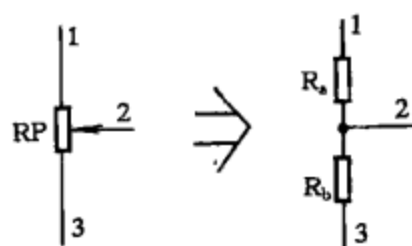


图 1-37

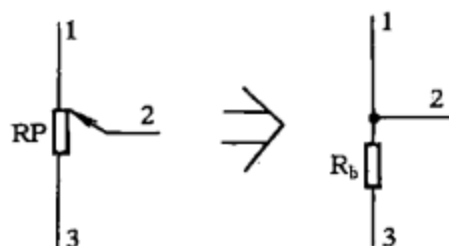


图 1-38

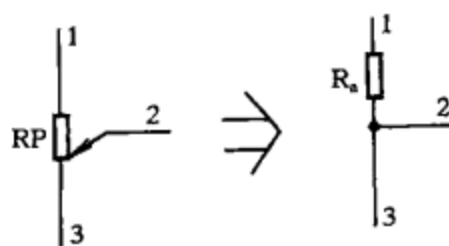


图 1-39

1.3.5 电位器有哪些作用

电位器的主要作用是可变分压，分压比随电位器动臂转角的增大而增大，如图 1-40 所示。

图 1-41 所示收音机电路中，音量调节电位器 RP 就是可变分压的一个例子。前级信号全部加在电位器 RP 两端，从动臂 2 获得一定分压比的信号送往功放级。转动动臂改变分压比，即改变了送往功放级的信号大小，从而达到音量调节的目的。

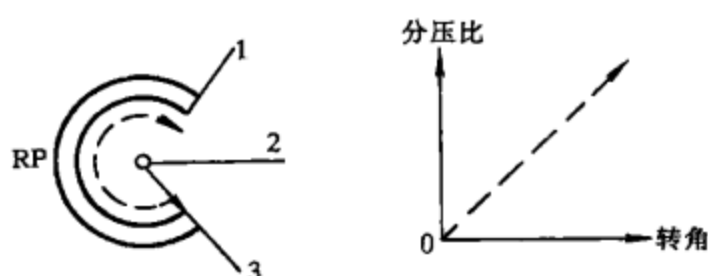


图 1-40

由于电位器具有两个定臂引脚，在使用中，应根据电路需要确定接入方式。例如在图 1-41 所示收音机电路中，音量电位器的接入方式可按以下方法判断：如果是逆时针方向转动电位器的旋柄将开关关断，则定臂 3 引脚为接地端，定臂 1 引脚为信号端，如图 1-42 所示。

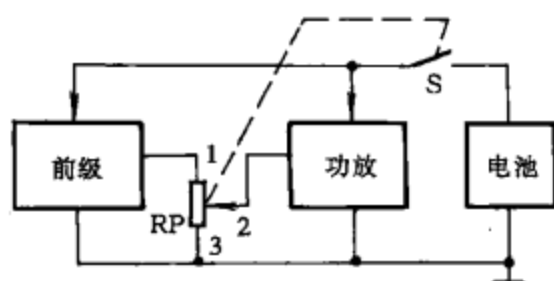


图 1-41

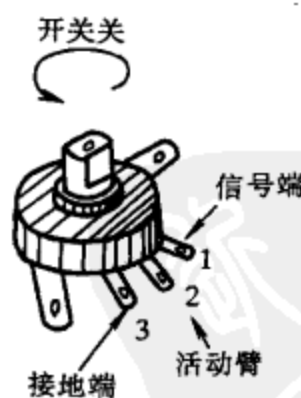


图 1-42

1.3.6 怎样检测电位器

电位器可用万用表的电阻挡进行检测。

1. 检测标称阻值

(1) 根据电位器标称阻值的大小，将万用表置于适当的“ Ω ”挡位，两表笔短接，然后转动调零旋钮校准“ Ω ”挡“0”位，如图 1-43 所示。

(2) 万用表两表笔（不分正、负）分别与电位器的两定臂相接，表针应指在相应的阻值刻度上，如图 1-44 所示。如表针不动、指示不稳定或指示值与电位器标称值相差很大，则说明该电位器已损坏。

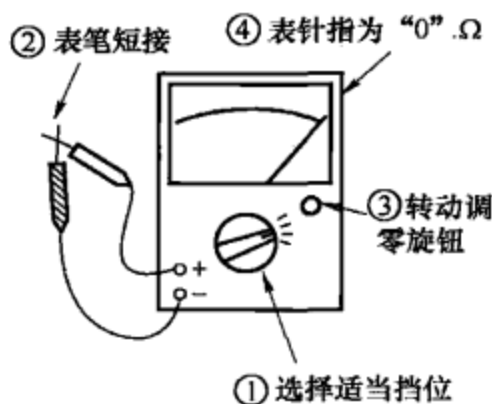


图 1-43

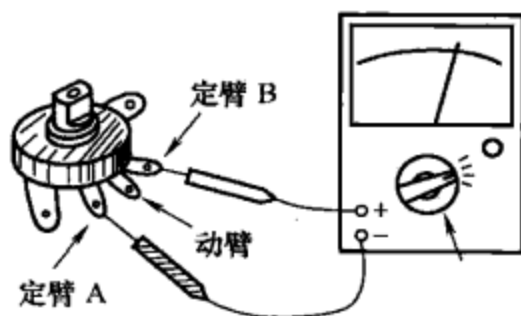


图 1-44

2. 检测动臂与电阻体的接触是否良好

(1) 万用表的一表笔与电位器动臂相接，另一表笔与某一定臂相接，来回旋转电位器旋柄，万用表表针应随之平稳地来回移动，如图 1-45 所示。如表针不动或移动不平稳，则该电位器动臂接触不良。

(2) 再将接定臂的表笔改接至另一定臂，重复以上检测步骤。

3. 检测带开关电位器的开关好坏

万用表置于“ Ω ”挡位，两表笔分别接开关触点 A 和 B，旋转电位器旋柄使开关交替地“开”与“关”，观察表针指示，如图 1-46 所示。开关“开”时表针应指向最右边（电阻为 0），开关“关”时表针应指向最左边（电阻无穷大）。可重复若干次以观察开关是否接触不良。

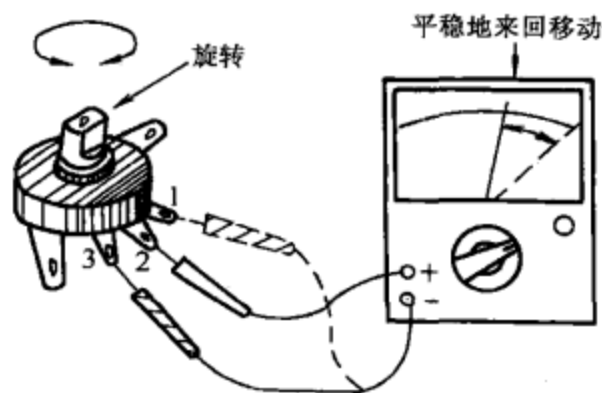


图 1-45

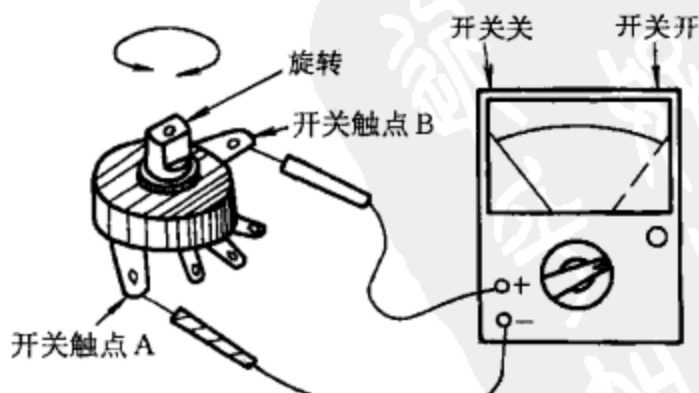


图 1-46



门老师：现在我来归纳一下电位器这一讲的知识要点。

- (1) 电位器是调节分压比的元件，是一种最常用的可调电子元件。
- (2) 电位器的文字符号为“RP”。
- (3) 电位器的主要参数有标称阻值、阻值变化特性和额定功率。
- (4) 电位器的特点是可以连续改变电阻比，常用于可变分压。
- (5) 电位器可用万用表的电阻挡进行检测，主要检测其标称阻值、接触和开关是否良好。



第4讲 电容器



门老师：同学们，现在我们讲第4讲电容器，主要内容包括电容器的种类、符号和型号，电容器的参数及其标示方法，电容器的特点和工作原理，电容器的主要作用，电容器的检测方法等。

1.4.1 什么是电容器

电容器是储存电荷的元件，通常简称电容，是一种最基本、最常用的电子元件。

1. 电容器的种类

按电容量是否可调，电容器分为固定电容器和可变电容器两大类。

固定电容器包括无极性电容器和有极性电容器，外形如图 1-47 所示。按介质材料不同，固定电容器又有许多种类，如图 1-48 所示。

(1) 无极性固定电容器有纸介电容器、涤纶电容器、云母电容器、聚苯乙烯电容器、聚酯电容器、玻璃釉电容器及瓷介电容器等。

(2) 有极性固定电容器有铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器等。

2. 电容器的符号

电容器的文字符号为“C”，图形符号如图 1-49 所示。

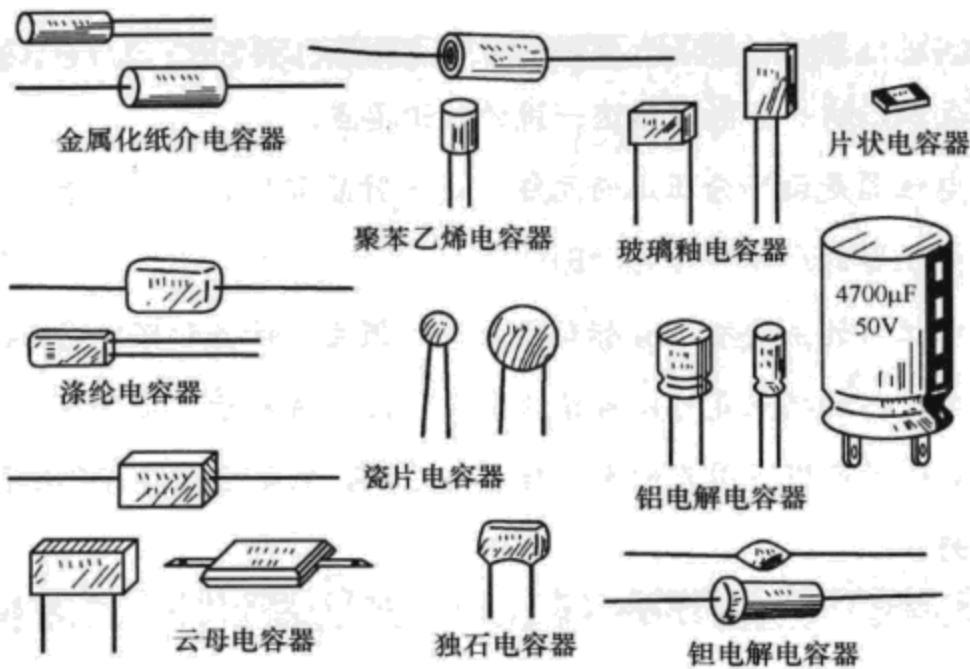


图 1-47

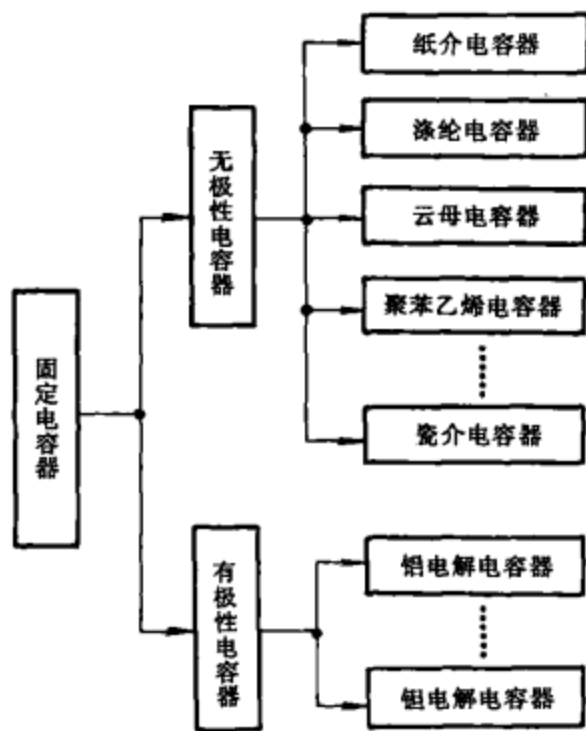


图 1-48

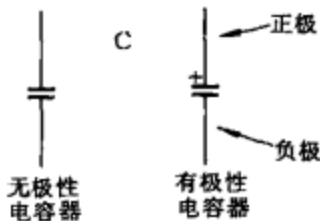


图 1-49

1.4.2 怎样识别电容器

1. 电容器的命名方法

电容器的型号命名由 4 部分组成，如图 1-50 所示。第一部分用字母“C”表示电容器的主称，第二部分用字母表示电容器的介质材料，第三部分用数字或字母表示电容器的类别，第四部分用数字表示序号。电容器型号中，第二部分介质材料字母代号的含义见表 1-7，第三部分类别代号的含义见表 1-8。



图 1-50

▼ 表 1-7 电容器型号中介质材料代号的意义

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

▼ 表 1-8 电容器型号中类别代号的意义

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

2. 电容器的极性

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

1.4.3 怎样理解电容器的参数

电容器的主要参数有电容量和耐压。

1. 电容量

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

2. 电容器上容量的标示方法

电容器上容量的标示方法常见的有两种：

- （1）直标法，即将容量数值直接印刷在电容器上，如图 1-51 所示。例如，100pF 的电容器上印有“100”字样，0.01 μF 的电容器上印有“0.01”字样，2.2 μF 的电容器上印有“2.2 μ ”或“2 μ 2”字样，47 μF 的电容器上印有“47 μ ”字样。有极性电容器上还印有极性标志。
- （2）数码表示法，一般用 3 位数字表示容量的大小，其单位为 pF。3 位数字中，前两位是有效数字，第 3 位是倍乘数，即表示有效数字后有多少个“0”，如图 1-52 所示。倍乘数的标示数字所代表的含义见表 1-9，标示数为 0~8 时分别表示 $10^0\sim10^8$ ，为 9 时表示 10^{-1} 。例如，103 表示 $10 \times 10^3 = 10000\text{pF} = 0.01\mu\text{F}$ ，229 表示 $22 \times 10^{-1} = 2.2\text{pF}$ 。

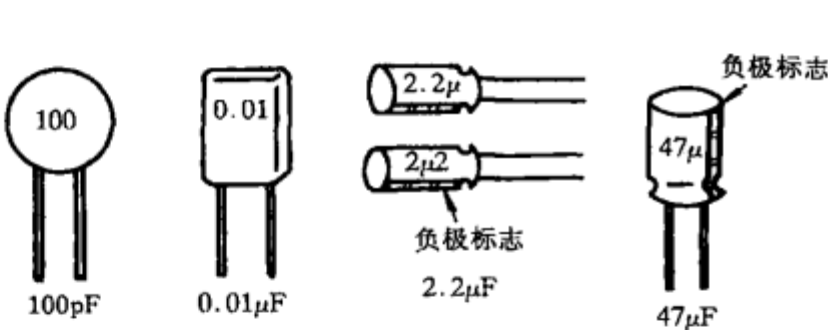


图 1-51

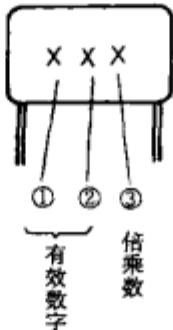


图 1-52

▼ 表 1-9 电容器上倍乘数的意义

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

3. 耐压

耐压是电容器的另一主要参数，表示电容器在连续工作中所能承受的最高电压。耐压值一般直接印在电容器上，如图 1-53 所示。也有一些体积很小的小容量电容器不标示耐压值。

电路图中对电容器耐压的要求一般直接用数字标出，不作标示的可根据电路的电源电压选用电容器。使用中应保证加在电容器两端的电压不超过其耐压值，否则将会损坏电容器。

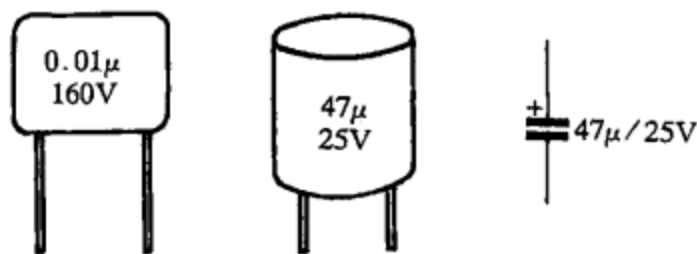


图 1-53

除主要参数外，电容器还有一些其他参数指标。但在实际使用中，一般只考虑容量和耐压，只是在有特殊要求的电路中，才考虑容量误差、高频损耗等参数。

1.4.4 电容器有什么特点

1. 电容器的特点

电容器的特点是隔直流通交流，即直流电流不能通过电容器，交流电流可以通过电容器。

2. 容抗

电容器对交流电流具有一定的阻力，称之为容抗，用符号“ X_C ”表示，单位为 Ω 。容抗等于电容器两端交流电压（有效值）与通过电容器的交流电流（有效值）的比值。从图 1-54 所示相关曲线可知，容抗 X_C 分别与交流电流的频率 f 和电容器的容量 C 成反比，即 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ，如

图 1-55 所示。

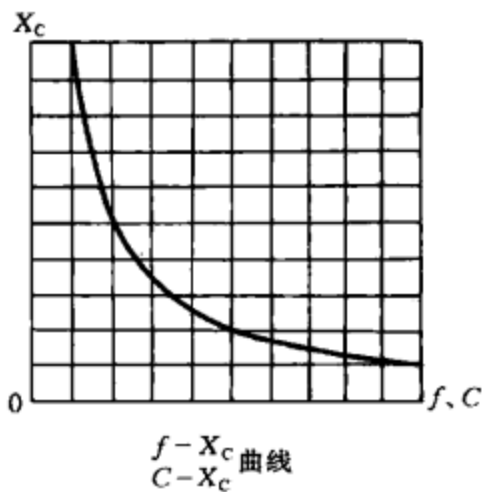


图 1-54

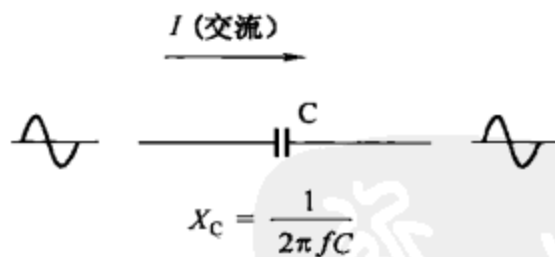


图 1-55



王小帅：门老师，既然直流电不能通过电容器，那为什么交流电就能够通过电容器呢？



门老师：这是电容器的结构特点所决定的。下面我们就来讲讲电容器的基本结构及其工作原理，看看交流电是怎样通过电容器的。

3. 电容器的工作原理

电容器的基本结构是两块金属电极之间夹着一绝缘介质层，如图 1-56 所示。可见，两电极之间是互相绝缘的，直流电无法通过电容器。但是对于交流电来说情况就不同了，交流电可以通过在两电极之间充、放电而“通过”电容器。

(1) 在交流电正半周时，电容器被充电，有一充电电流通过电容器，如图 1-57 (a) 所示。

(2) 在交流电负半周时，电容器放电并反方向充电，放电和反充电流通过电容器，如图 1-57 (b) 所示。

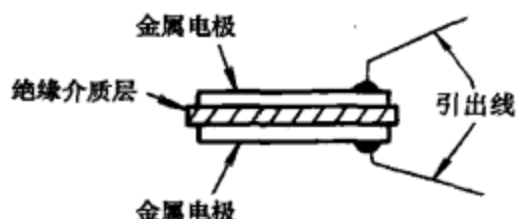


图 1-56

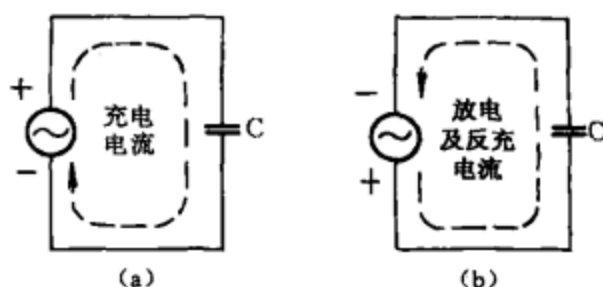


图 1-57

1.4.5 电容器有哪些作用

电容器的基本功能是隔直流通交流，电容器的各项作用都是这一基本功能的具体应用。电容器的主要作用是耦合、旁路滤波、移相和谐振。

1. 耦合

电容器具有耦合作用。图 1-58 所示为两级音频放大电路，晶体管 VT_1 集电极输出的交流信号通过电容 C 传输到 VT_2 基极，而 VT_1 集电极的直流电位则不会影响到 VT_2 基极， VT_1 与 VT_2 可以有各自适当的直流工作点，这就是电容器的耦合作用。

2. 旁路滤波

电容器具有旁路滤波作用。图 1-59 所示为整流电源电路，二极管整流出来的电压 U_i 是脉

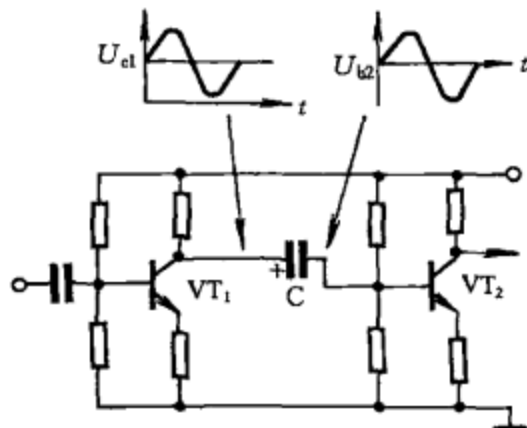


图 1-58

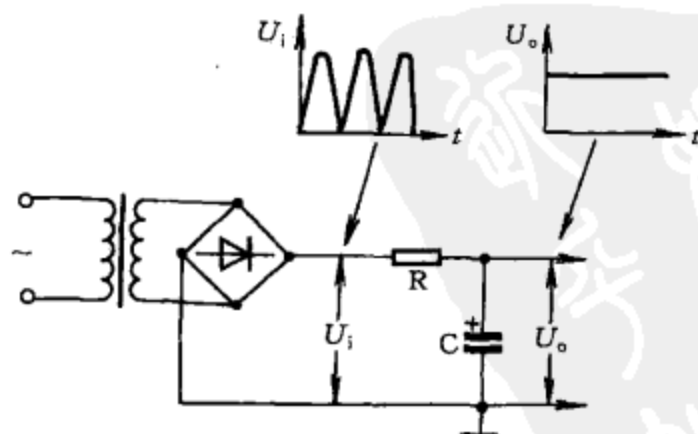


图 1-59

动直流，其中既有直流成分也有交流成分，由于输出端接有滤波电容器 C ，交流成分被 C 旁路到地，输出电压 U_o 就是较纯净的直流电压了。

3. 移相

电容器具有移相作用。

(1) 由于通过电容器的电流大小取决于交流电压的变化率，因此电容器上电流超前电压 90° ，如图 1-60 所示。

(2) 利用电容器上电流超前电压的特性，可以构成 RC 移相网络，如图 1-61 所示。RC 移相网络中，输出电压 U_o 取自电阻 R ，由于电容器 C 上电流 i 超前输入电压 U_i ，因此 U_o 超前 U_i 一个相移角 φ ， φ 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，由 R 、 C 的比值决定。

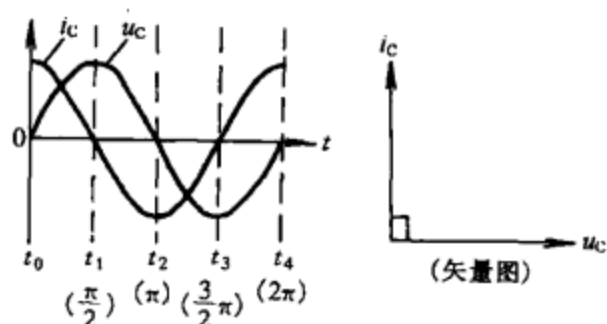


图 1-60

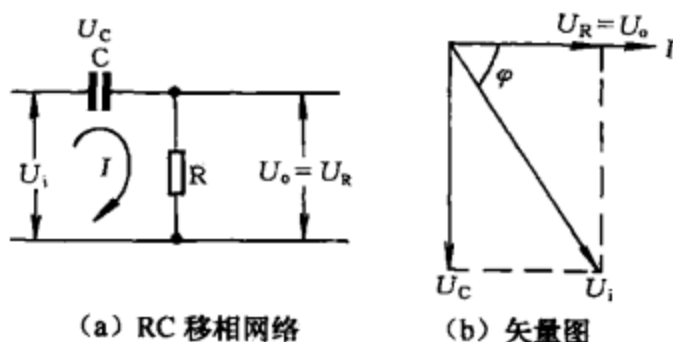


图 1-61

李蕾蕾：请问门老师，如果电路需要移相 180° ，那么 RC 移相网络还能够做得到吗？

门老师：这种情况可以用多节移相网络来解决，下面我们就来讲讲多节移相网络的移相原理。

(3) 当需要的相移角超过 90° 时，可用多节移相网络来实现。图 1-62 (a) 所示为 3 节 RC 移相网络，每节移相 60° ，3 节共移相 180° ，图 1-62 (b) 所示为其矢量图。该移相网络可用于晶体管 RC 振荡器，如图 1-63 所示，振荡频率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$ 。

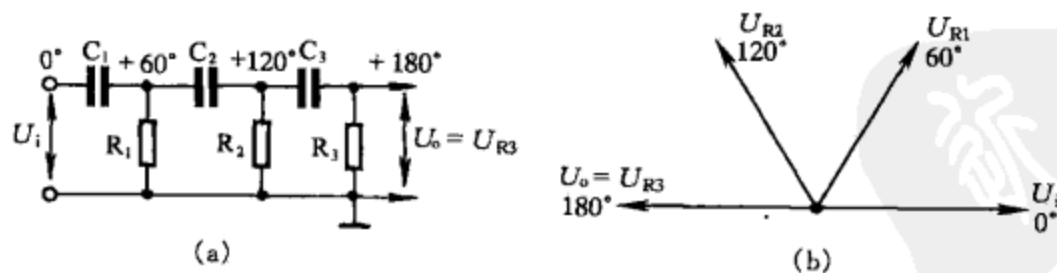


图 1-62

4. 谐振

电容器可以与电感器组成谐振回路。图 1-64 所示为超外差收音机中放电路，电容器 C 与中频



变压器 T 的初级线圈 L_1 组成并联谐振回路，谐振于 465kHz 中频频率上，使中频信号得到放大。

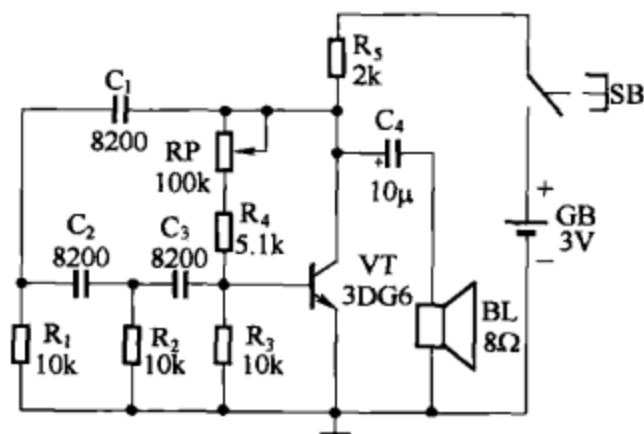


图 1-63

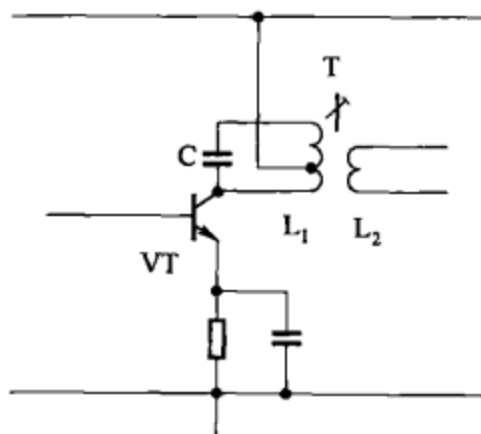


图 1-64

1.4.6 怎样检测电容器

1. 用模拟万用表检测

电容器的好坏可用模拟万用表的电阻挡检测。

(1) 根据电容器容量的大小，将万用表上的挡位旋转到适当的“ Ω ”挡位。例如， $100\mu\text{F}$ 以上的电容器用“ $R \times 100$ ”挡， $1 \sim 100\mu\text{F}$ 的电容器用“ $R \times 1k$ ”挡， $1\mu\text{F}$ 以下的电容器用“ $R \times 10k$ ”挡，如图 1-65 所示。

(2) 用万用表的两表笔（不分正、负）分别与电容器的两引线相接，在刚接触的一瞬间，表针应向右偏转，然后缓慢向左回归，如图 1-66 所示。对调两表笔后再测，表针应重复以上过程。电容器容量越大，表针右偏就越大，向左回归也越慢。

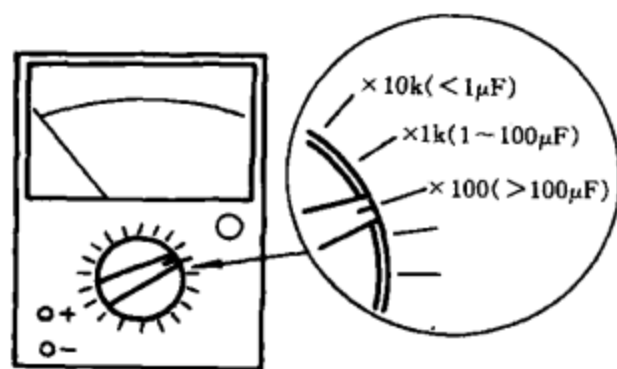


图 1-65

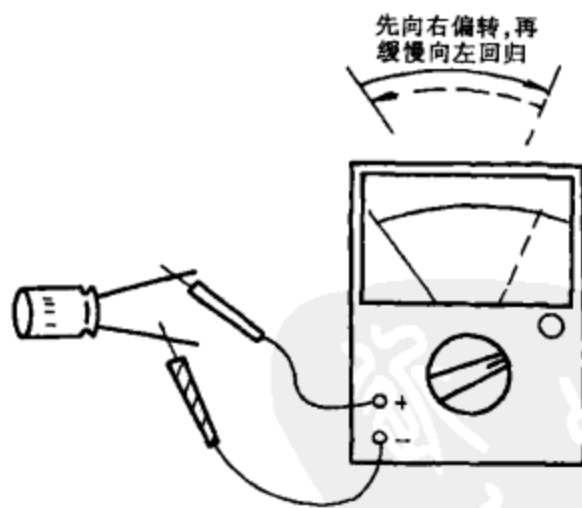


图 1-66

如果万用表表针不动，说明该电容器已断路损坏，如图 1-67 所示。如果表针向右偏转后不向左回归，说明该电容器已短路损坏，如图 1-68 所示。如果表针向右偏转然后向左回归稳定后，阻值指示小于 $500k\Omega$ ，如图 1-69 所示，说明该电容器绝缘电阻太小，漏电流较大，也不宜使用。

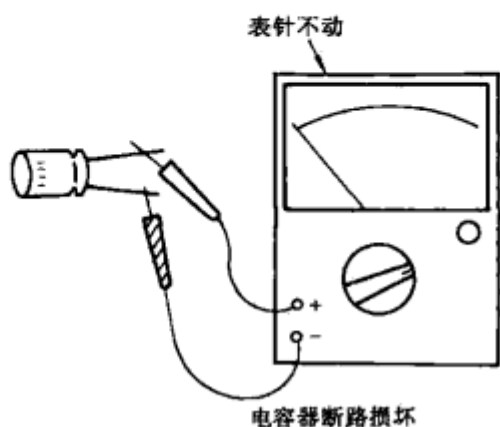


图 1-67

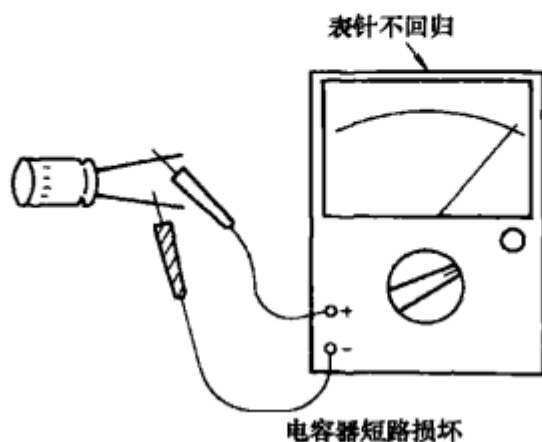


图 1-68

(3) 对于容量小于 $0.01\mu\text{F}$ 的电容器，由于充电电流极小，几乎看不出表针右偏，因此只能检测其是否短路。

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

两次测量中，绝缘电阻较大的那一次，黑表笔（与万用表中电池正极相连）所接为电解电容器的正极，红表笔（与万用表中电池负极相连）所接为电解电容器的负极，如图 1-70 所示。

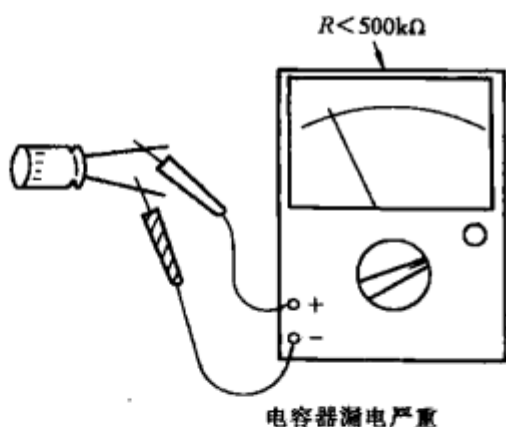


图 1-69

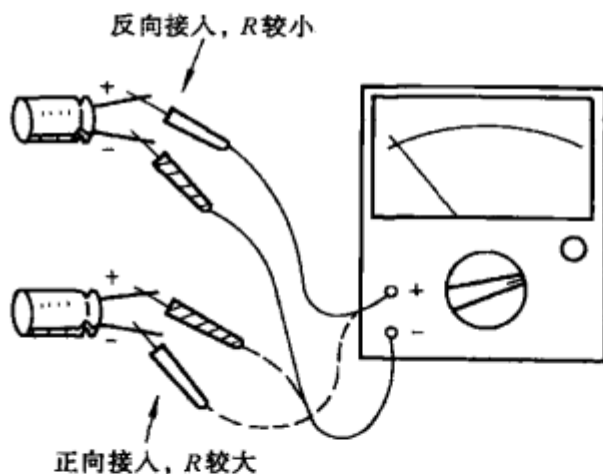


图 1-70



王小帅：门老师，我发现数字万用表上有电容测量挡位，请您再给我们讲讲用数字万用表检测电容器的方法。



门老师：王小帅同学能够主动学习这很好。数字万用表一般都具有电容测量挡位，用来检测电容器会很方便。

2. 用数字万用表检测

电容器也可用数字万用表的电容挡进行检测。特别是对于容量很小、模拟万用表无法检测的电容器，只能用数字万用表检测。

(1) 将数字万用表上挡位旋扭转到适当的“F”挡位。一般测量 2000pF 以下电容器可选“ 2nF ”

挡, 2000pF~19.99nF 电容器可选“20nF”挡, 20~199.9nF 电容器可选“200nF”挡, 200nF~1.999μF 电容器可选“2μF”挡, 2~19.99μF 电容器可选“20μF”挡。

(2) 将被测电容器插入数字万用表上的“C_x”插孔, 如图 1-71 所示, LCD 即显示出被测电容器 C 的容量。如显示“000”(短路)、仅最高位显示“1”(断路)或显示值与电容器上标示值相差很大, 则说明该电容器已损坏。

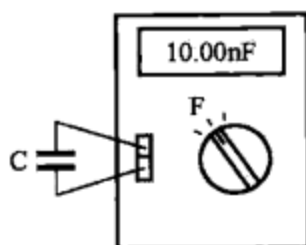


图 1-71



门老师: 电容器这一讲讲完了, 下面我给同学们归纳一下本讲的主要知识点。

- (1) 电容器是储存电荷的元件, 通常简称为电容, 是一种最基本、最常用的电子元件, 分为固定电容器和可变电容器两大类。
- (2) 电容器包括无极性电容器和有极性电容器。有极性电容器引线有正、负极之分。
- (3) 电容器的文字符号为“C”。
- (4) 电容器的主要参数有电容量和耐压。
- (5) 电容量简称容量, 基本单位是法拉, 简称法(F)。常用单位有微法(μF)、纳法(nF)和皮法(pF)。
- (6) 电容器的特点是隔直流通交流。
- (7) 电容器对交流电流具有一定的阻力, 称之为容抗, 交流电流的频率越高容抗越小。
- (8) 电容器的主要作用是耦合、旁路、移相和谐振。
- (9) 电容器的好坏可用模拟万用表的电阻挡或数字万用表的电容挡进行检测。



第 5 讲 可变电容器



门老师: 同学们, 现在我们讲第 1 课的最后一讲可变电容器, 主要内容包括可变电容器的种类和符号、可变电容器的结构特点、可变电容器的主要参数、可变电容器的主要作用和检测方法等。

1.5.1 什么是可变电容器

可变电容器是指电容量在一定范围内可以连续调节的电容器, 是一种常用的可调电子元件。

1. 可变电容器的种类

广义的可变电容器通常包括可变电容器和微调电容器（半可变电容器）两大类，如图 1-72 所示。可变电容器适用于电容量需要随时改变的电路中；微调电容器适用于需要将电容量调整得很准确，调好后不再改变的电路中。

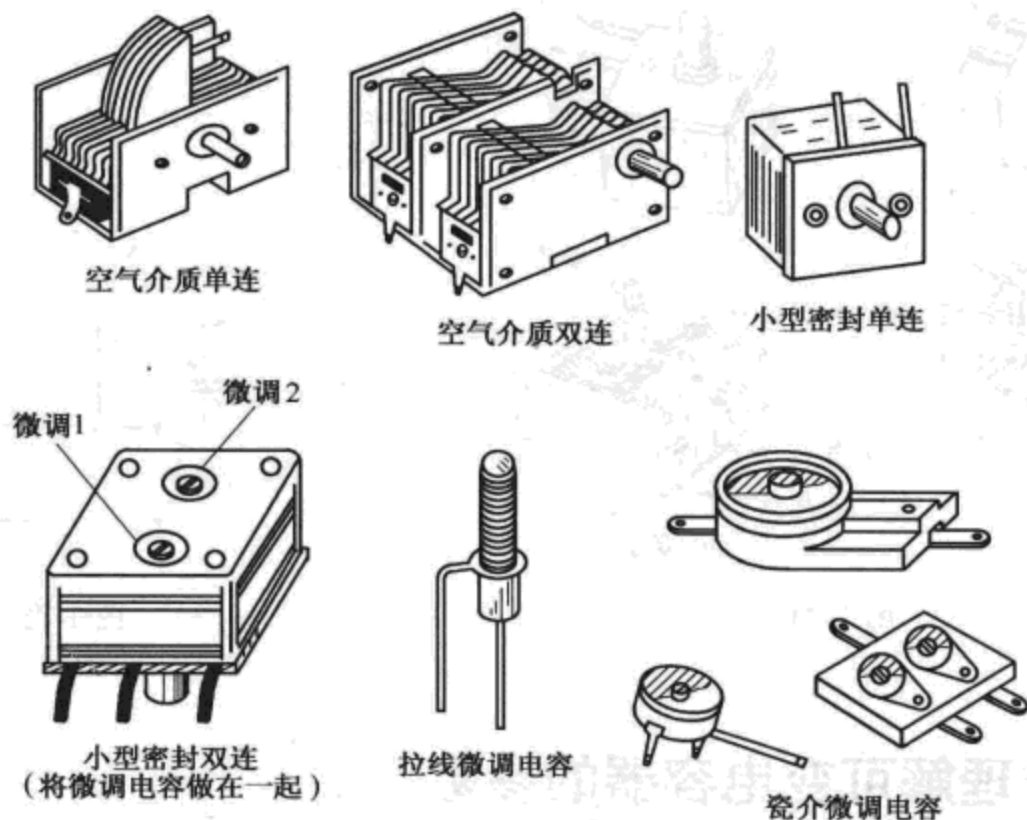


图 1-72

(1) 按介质材料的不同，可变电容器可分为固体介质可变电容器和空气介质可变电容器。固体介质可变电容器常用塑料薄膜或云母薄片作介质，体积很小，并可做成密封形式。

(2) 按结构的不同，可变电容器可分为单连可变电容器、双连可变电容器和多连可变电容器。双连可变电容器实质上是同轴的两个可变电容器，随着转轴的转动，两连的电容量同步变化。两连的最大电容量可以相等（等容式），也可以不相等（差容式）。超外差收音机中的小型密封双连可变电容器一般为差容式可变电容器。

2. 可变电容器的符号

可变电容器的文字符号为“C”，图形符号如图 1-73 所示。



图 1-73

1.5.2 怎样识别可变电容器

可变电容器由两组互相绝缘的金属片组成电极，其中一组固定不动，称为定片；另一组安装在旋轴上可以旋转，称为动片。固体密封单、双连和空气单、双连可变电容器的定片、

动片引出端如图 1-74 所示，使用中不可接错。双连可变电容器一般只有一个动片引出端，两连共用。

可变电容器（包括微调电容器）在使用中，应注意必须将其动片接地，如图 1-75 所示，这样可以避免调节时的人体感应，提高电路的抗干扰能力和工作稳定度。

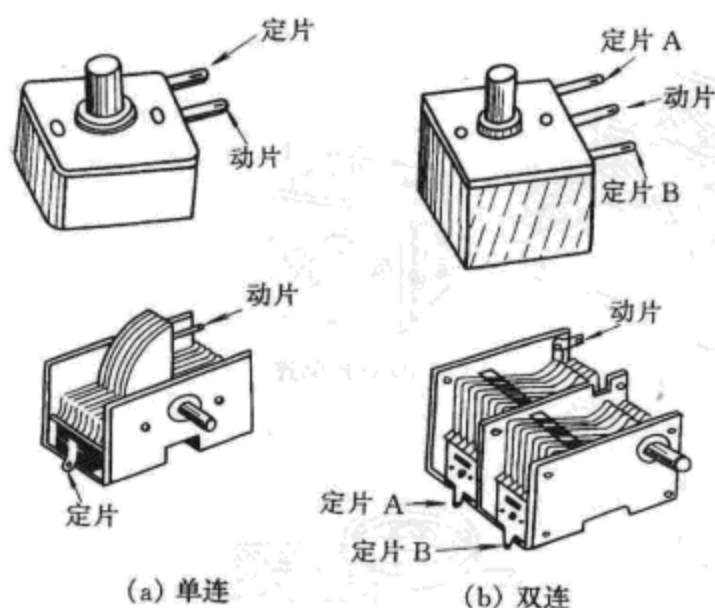


图 1-74

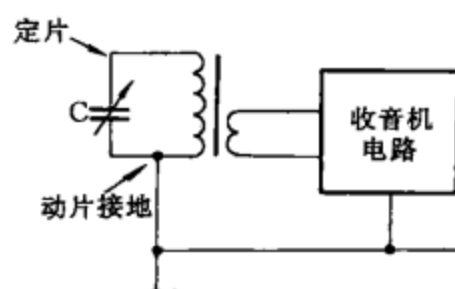


图 1-75

1.5.3 怎样理解可变电容器的参数

可变电容器的主要参数是最大电容量，一般直接标示在可变电容器上。

在电路图中，可以只标注出最大容量，例如“360p”；也可以同时标注出最小容量和最大容量，例如“6/170p”、“1.5/10p”，如图 1-76 所示。

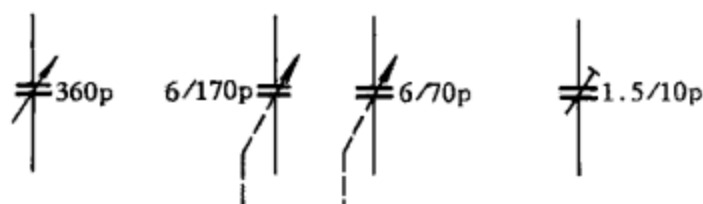


图 1-76

1.5.4 可变电容器有什么特点

可变电容器的特点是电容量可以改变。

可变电容器动片的旋转角度通常为 180° ，动片全部旋入定片时容量最大，全部旋出时容量最小。按容量随动片旋转角度变化的特性，可变电容器可分为直线电容式、直线频率式、对数式等，如图 1-77 所示。

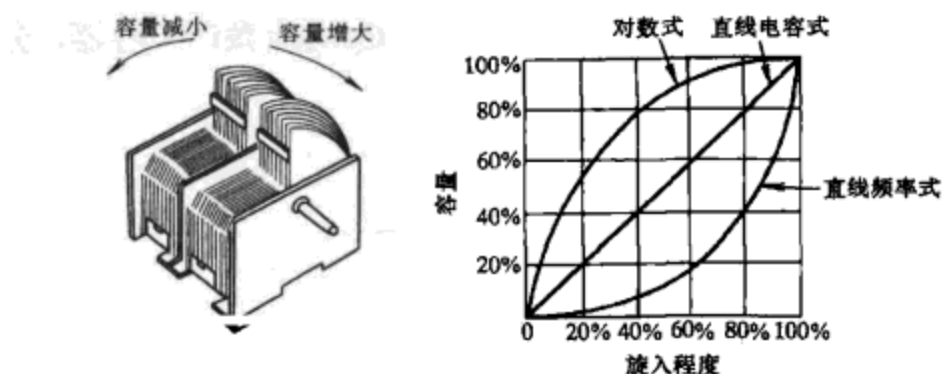


图 1-77

1.5.5 可变电容器有哪些作用

可变电容器的主要作用是改变和调节回路的谐振频率，它广泛应用于调谐放大、选频振荡等电路中。

1. 谐振回路

图 1-78 所示为 LC 谐振回路，调节可变电容器 C 即可改变谐振频率 f ， $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ，即 f 与电容量 C 的平方根成反比。

2. 选频振荡

可变电容器用于振荡器可以使振荡频率在一定范围内连续可调。图 1-79 所示为高频信号发生器电路，调节单连可变电容器 C，其输出信号频率即可根据需要改变。

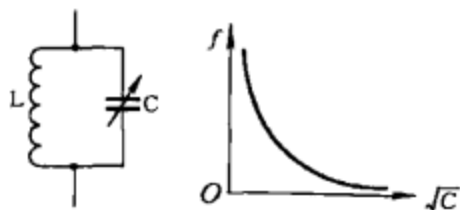


图 1-78

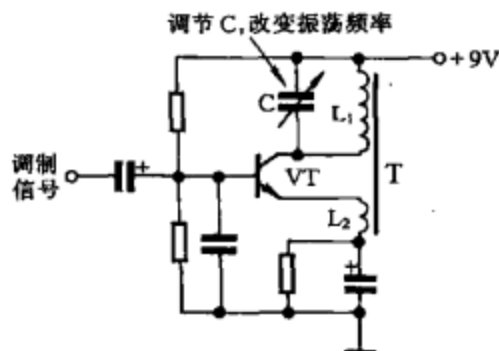


图 1-79

李蕾蕾：门老师，我知道了，收音机中调电台时转动的就是可变电容器。

门老师：是的，我们正是通过改变收音机中可变电容器的容量，来达到选择电台的目的。这是可变电容器最主要的作用。

3. 调谐

可变电容器常用于收音机的调谐回路，起到选择电台的作用。图 1-80 所示为超外差收音机变频级电路，双连可变电容器 C_1 中的一连 C_{1a} 接入天线输入回路，另一连 C_{1b} 接入本机振荡回

路, 调节 C_1 两连容量同步改变即可改变接收频率。 C_2 、 C_3 均为微调电容器, 分别用于天线输入回路和本机振荡回路的频率校准。

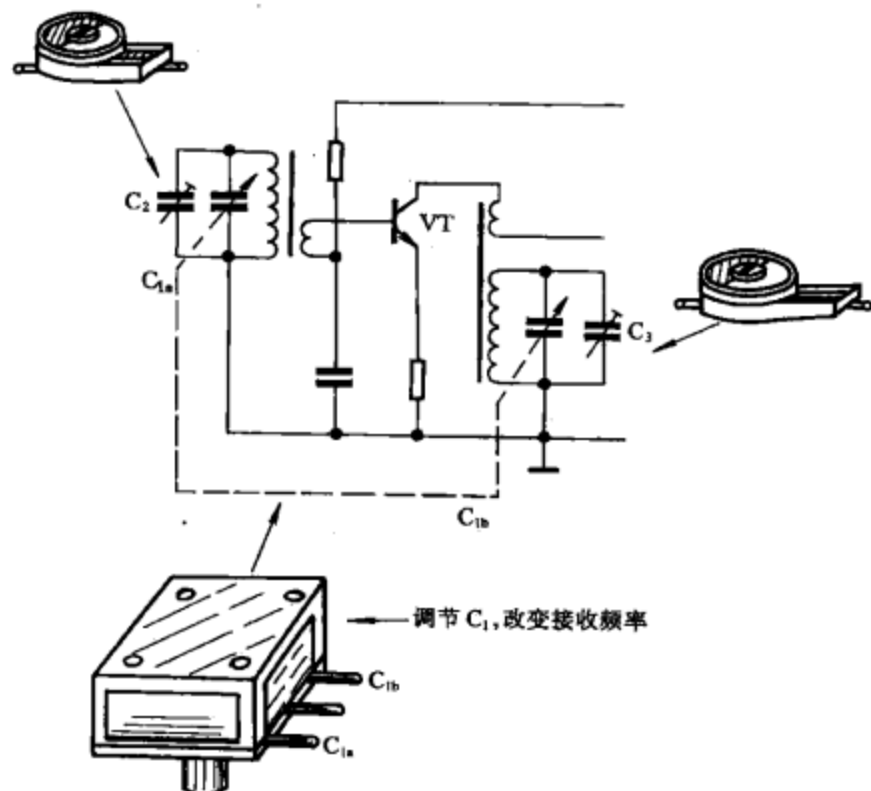


图 1-80

4. 微调电容器

常用的微调电容器有拉线微调电容器和瓷介微调电容器。

(1) 拉线微调电容器的特点是电容量只可减小, 并且减小后不可再恢复。使用时, 将拉线微调电容器顶端的导线逐渐拉去, 直至电容量减小至符合要求为止, 最后将拉出的导线剪掉, 如图 1-81 所示。

(2) 调节瓷介微调电容器时, 用小螺丝刀旋转瓷介微调电容器上的动片, 使电容量符合要求即可, 如图 1-82 所示。

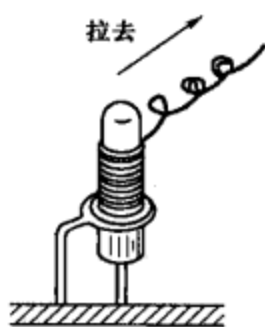


图 1-81



图 1-82

1.5.6 怎样检测可变电容器

可变电容器可用万用表的电阻挡进行检测, 主要检测其是否有短路现象。

检测时万用表置于“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡, 如图 1-83 所示。

将万用表两表笔(不分正、负)分别与可变电容器的两端引线可靠相接, 然后来回旋转可

变电容器的旋柄，万用表指针均应不动，如图 1-84 所示。如旋转到某处指针摆动，说明可变电容器有短路现象，不能使用。对于双连可变电容器，应对每一连分别进行检测。

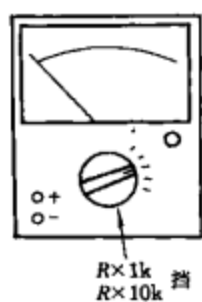


图 1-83

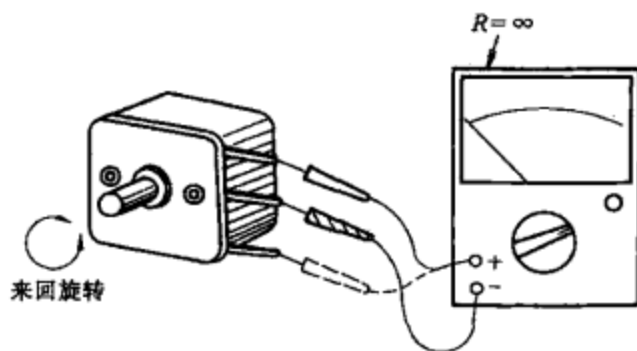


图 1-84

门老师：请王小帅同学归纳一下本讲的主要知识点。

王小帅：通过本讲的学习，我基本掌握了可变电容器的主要知识。

- (1) 可变电容器是电容量在一定范围内可以连续调节的电容器，是一种常用的可调电子元件，包括单连可变电容器、双连可变电容器、多连可变电容器以及微调电容器等。
- (2) 可变电容器的文字符号为“C”。
- (3) 可变电容器的主要参数是最大电容量。
- (4) 可变电容器的特点是电容量可以改变，可分为直线电容式、直线频率式、对数式等。
- (5) 可变电容器的主要作用是改变和调节回路的谐振频率。
- (6) 可变电容器可用万用表的电阻挡进行检测，主要是检测其是否有短路现象。

门老师：王小帅同学归纳得很好。同学们，第 1 课共 5 讲的内容到此就全部讲完了。下面布置一些思考题，可以帮助大家巩固和检验自己的学习成果。

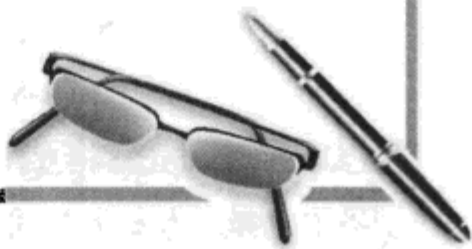
- (1) 什么是电阻器，什么是敏感电阻器，怎样识别它们的符号和型号？
- (2) 电阻器的主要参数是什么？
- (3) 电阻器和敏感电阻器各有哪些特点和作用？
- (4) 什么是电位器，它有哪些特点和作用？
- (5) 什么是电容器，什么是可变电容器，怎样识别它们的符号和型号？
- (6) 电容器的主要参数是什么？
- (7) 电容器和可变电容器各有哪些特点和作用？
- (8) 怎样用万用表检测电阻器、电位器和电容器？



第2课 电感器与变压器



Q老师：同学们，现在我们开始讲第2课：电感器与变压器。电感器是最基本、最主要和应用广泛的电子元器件，变压器也是应用广泛的电子元器件，它们都是基于电磁原理工作的。这一课我们分为2讲，第1讲电感器，第2讲变压器。



第1讲 电感器



Q老师：第2课第1讲的主要内容是，电感器的种类、符号和型号，电感器的主要参数及其标示方法，电感器的特点和工作原理，电感器的主要作用，电感器的检测方法等。

2.1.1 什么是电感器

电感器是储存磁能的元件，通常简称电感，是常用的基本电子元件之一。其外形如图2-1所示。

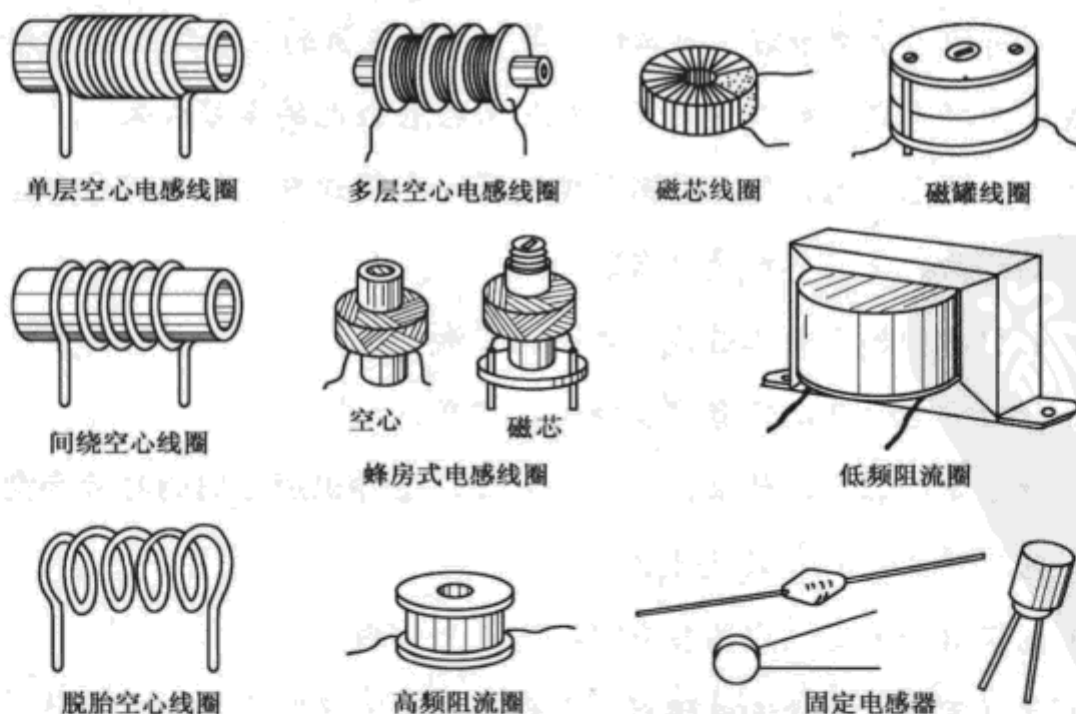


图 2-1

1. 电感器的种类

电感器种类繁多，形状各异，通常可分为固定电感器、可变电感器、微调电感器三大类。

(1) 按其采用材料不同，电感器可分为空心电感器、磁芯电感器、铁芯电感器、铜芯电感器等。

线圈装有磁芯或铁芯，可以增加电感量，一般磁芯用于高频场合，铁芯用于低频场合。线圈装有铜芯，则可以减小电感量。

(2) 按用途可分为：固定电感器，包括立式、卧式、片状固定电感器等；阻流圈，包括高频阻流圈、低频阻流圈、电源滤波器等；偏转线圈，包括行偏转、场偏转等；振荡线圈，包括中波本振、短波本振、调频本振、行振荡、场振荡线圈等，如图 2-2 所示。

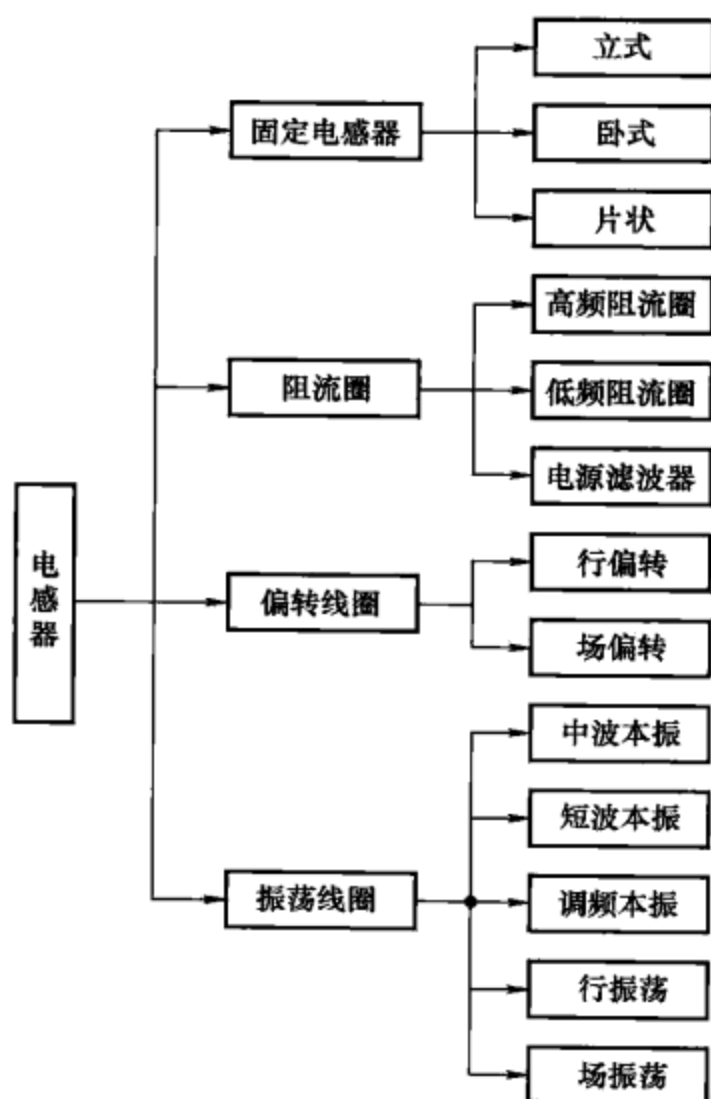


图 2-2

(3) 固定电感器是一种通用性强的系列化产品，其结构如图 2-3 所示，线圈（往往含有磁芯）被密封在外壳内，具有体积小、重量轻、结构牢固、电感量稳定和使用安装方便的特点。

2. 电感器的符号

电感器的文字符号为“L”，图形符号如图 2-4 所示。

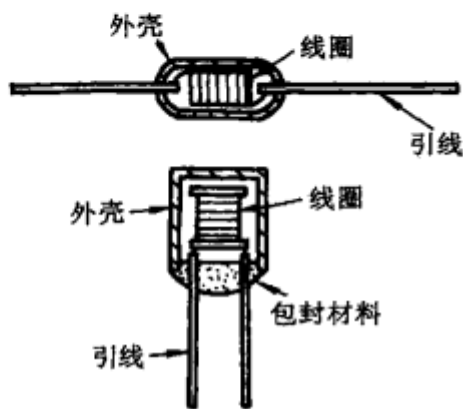


图 2-3

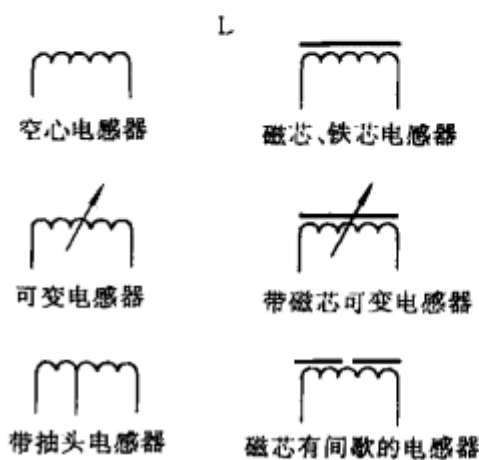


图 2-4

2.1.2 怎样识别电感器

电感器的型号命名一般由 4 部分组成，如图 2-5 所示。第一部分用字母表示电感器的主称，其中“L”为电感线圈，“ZL”为阻流圈；第二部分用字母表示电感器的特征，其中“G”为高频；第三部分用字母表示电感器的类型，其中“X”为小型；第四部分用字母表示区别代号。例如，LGX 型为小型高频电感器。

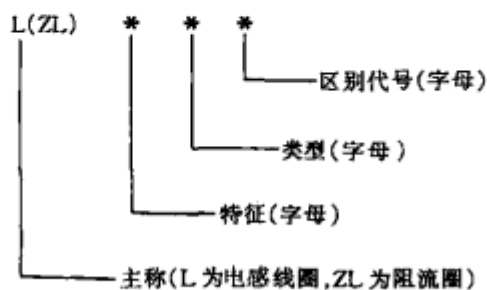


图 2-5

2.1.3 怎样理解电感器的参数

电感器的主要参数是电感量和额定电流。

1. 电感量

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

2. 电感器上电感量的标示方法

电感器上电感量的标示方法有两种。

(1) 直标法，即将电感量直接用文字印刷在电感器上，如图 2-6 所示。



王小帅：这两种标示方法好像和电阻器阻值的标示方法一样啊！



李蕾蕾：那色环颜色的含义也和电阻器中的一样啦！



门老师：李蕾蕾同学说得对，色环颜色的含义在电感器和电阻器中是一样的。下面我给同学们具体讲一讲。

(2) 色标法，即用色环表示电感量，其单位为 μH 。色标法如图 2-7 所示，第一、二环表示两位有效数字，第三环表示倍乘数，第四环表示允许偏差。各色环颜色的含义与色环电阻器相同，见表 1-2。

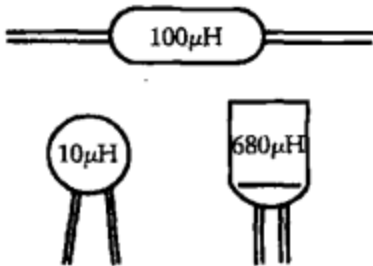


图 2-6

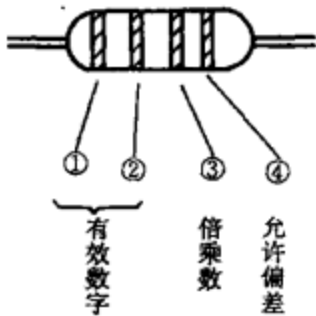


图 2-7

3. 额定电流

额定电流是指电感器在正常工作时，所允许通过的最大电流。额定电流一般以字母表示，并直接印在电感器上，字母的含义见表 2-1。使用中，电感器的实际工作电流必须小于额定电流，否则电感线圈将会严重发热甚至烧毁。

▼ 表 2-1 电感器上额定电流代号的意义

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

4. 其他参数

电感器还有品质因数（ Q 值）、分布电容等参数，在对这些参数有要求的电路中，选用电感器时必须予以考虑。部分国产固定电感器的型号和参数见表 2-2。

▼ 表 2-2 部分国产固定电感器的型号和参数

型号	电感量 (μH)	额定电流 (mA)	Q 值
LG400	1~82000	50~150	30~60
LG402			
LG404			
LG406			
LG408	1~5600	50~250	30~60
LG410			
LG412			
LG414			

续表

型号	电感量 (μH)	额定电流 (mA)	Q 值
LG1	0.1~22000	A	40~80
	0.1~10000	B	40~80
	0.1~1000	C	45~80
	0.1~560	D、E	40~80
LG2	1~22000	A	7~46
	1~10000	B	3~34
	1~1000	C	13~24
	1~560	D	10~12
	1~560	E	6~12
LF12DR01	39±10%	600	
LF10DR01	150±10%	800	
LF8DR01	6.12~7.48		>60

2.1.4 电感器有什么特点

1. 电感器的特点

电感器的特点是通直流阻交流。直流电流可以无阻碍地通过电感器，而交流电流通过时则会受到很大的阻力。

2. 感抗

电感器对交流电流所呈现的阻力称之为感抗，用符号“ X_L ”表示，单位为 Ω 。感抗等于电感器两端交流电压（有效值）与通过电感器的交流电流（有效值）的比值。从图 2-8 所示相关曲线可知，感抗 X_L 分别与交流电的频率 f 和电感器的电感量 L 成正比，即 $X_L=2\pi fL$ ，如图 2-9 所示。



图 2-8

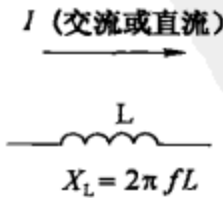


图 2-9

3. 电感器的的工作原理

电感线圈在通过电流时会产生自感电动势，自感电动势总是反对原电流的变化，如图 2-10 所示。

(1) 当通过电感线圈的原电流增加时，自感电动势与原电流反方向，阻碍原电流增加；当原电流减小时，自感电动势与原电流同方向，阻碍原电流减小。



图 2-10

门老师：王小帅同学，请你谈谈对自感电动势方向的理解。

王小帅：我觉得自感电动势方向的问题与我们在物理课中学过的楞次定律很相像。楞次定律告诉我们，感应电流所产生的磁通总是反对原磁通的变化。

门老师：对，这就是楞次定律所揭示的客观规律。楞次定律在电感中可以推广为，电流产生的自感电动势总是反对原电流的变化。

(2) 自感电动势的大小与通过电感线圈的电流的变化率成正比。

如果直流电的电流变化率为 0，那么其自感电动势也为 0，直流电可以无阻力地通过电感线圈（忽略电感线圈极小的导线电阻）。

门老师：李蕾蕾同学，请你谈谈对自感电动势大小的理解。

李蕾蕾：我觉得自感电动势的大小可以用法拉第定律来解释。法拉第定律指出，感应电动势的大小等于磁通变化率的负值。

门老师：李蕾蕾同学说得对，法拉第定律在电感中可以推广为，自感电动势的大小等于电流变化率与电感量乘积的负值。同学们注意了，这个“负值”正说明了自感电动势反对原电流变化的特性。

交流电的电流时刻在变化，它在通过电感线圈时必然受到自感电动势的阻碍。交流电的频率越高，电流变化率越大，产生的自感电动势也越大，交流电流通过电感线圈时受到的阻力就越大。

2.1.5 电感器有哪些作用

电感器的主要作用是分频、滤波、谐振和磁偏转。

1. 分频

电感器可以用于区分高、低频信号。图 2-11 所示为来复式收音机中高频阻流圈的应用示

例，由于高频阻流圈 L 对高频电流感抗很大而对音频电流感抗很小，因此，晶体管 VT 集电极输出的高频信号只能通过 C 进入检波电路。检波后的音频信号再经 VT 放大后才可以通过 L 到达耳机。

2. 滤波

图 2-12 所示为电感器用于整流电源滤波， L 与 C_1 、 C_2 组成 π 型 LC 滤波器。由于 L 具有通直流阻交流的功能，因此，整流二极管输出的脉动直流电压 U_1 中的直流成分可以通过 L ，而交流成分绝大部分不能通过 L ，被 C_1 、 C_2 旁路到地，输出电压 U_0 便是较纯净的直流电压了。

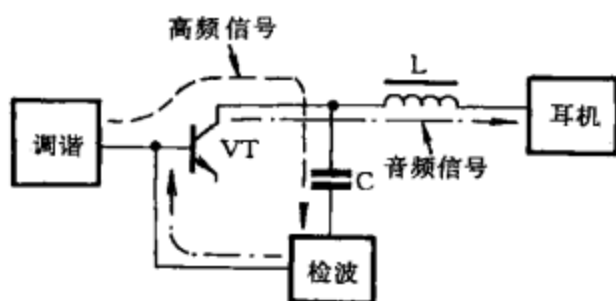


图 2-11

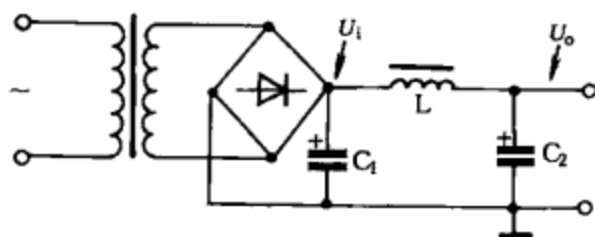


图 2-12

3. 谐振

电感器可以与电容器组成谐振选频回路。图 2-13 所示为收音机高放级电路，可变电感器 L 与电容器 C_1 组成调谐回路，调节 L 即可改变谐振频率，起到选台的作用。

4. 磁偏转

电感线圈还可以用于磁偏转电路。图 2-14 为显像管偏转线圈工作示意图，偏转电流通过偏转线圈产生偏转磁场，使电子束随之偏转完成扫描运动。

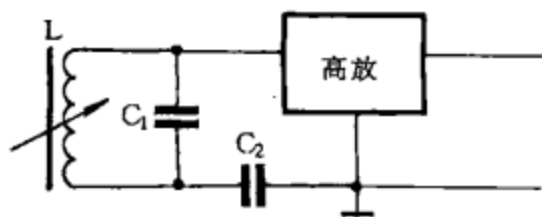


图 2-13

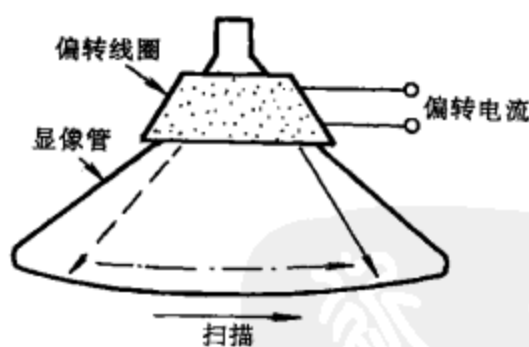


图 2-14

2.1.6 怎样检测电感器

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

1. 检测电感器线圈

将万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，两表笔（不分正、负）与电感器的两引脚相接，表针指示应接近为“0” Ω ，如图 2-15 所示。如果表针不动，说明该电感器内部断路；如果表针指示不稳定，说明电感器内部接触不良。

对于电感量较大的电感器，由于其线圈圈数相对较多，直流电阻相对较大，则万用表指示应有一定的阻值，如图 2-16 所示。如果表针指示为“0” Ω ，说明该电感器内部短路。

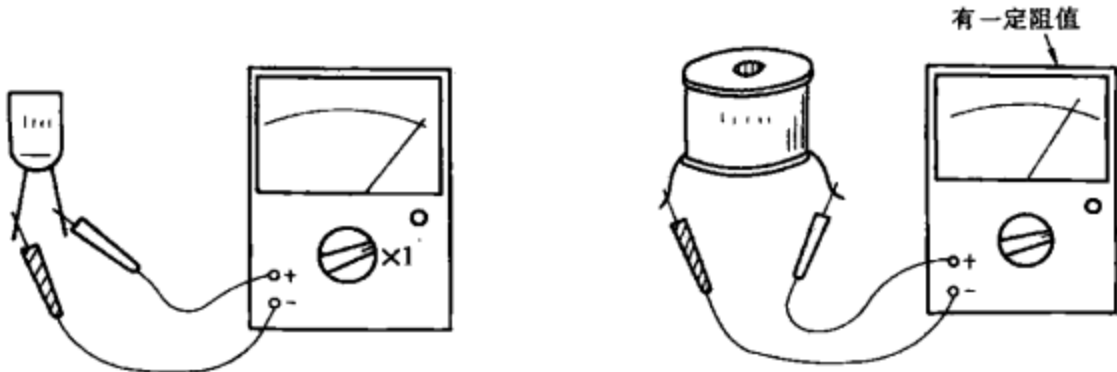


图 2-15

图 2-16

2. 检测绝缘情况

将万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，检测电感器的绝缘情况，主要是针对具有铁芯或金属屏蔽罩的电感器。测量线圈引线与铁芯或金属屏蔽罩之间的电阻，均应为无穷大（表针不动），如图 2-17 所示，否则说明该电感器绝缘不良。

3. 检查电感器结构

仔细观察电感器结构，线圈绕线应不松散、不变形，引出端应固定牢固，磁芯既可灵活转动又不会松动等，如图 2-18 所示。

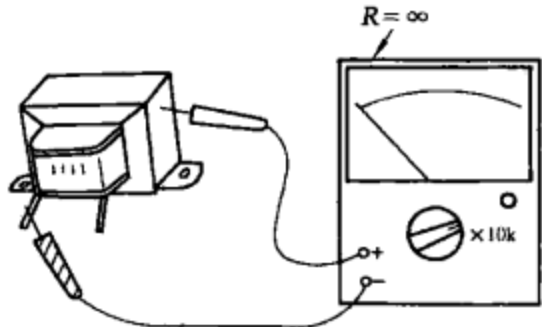


图 2-17

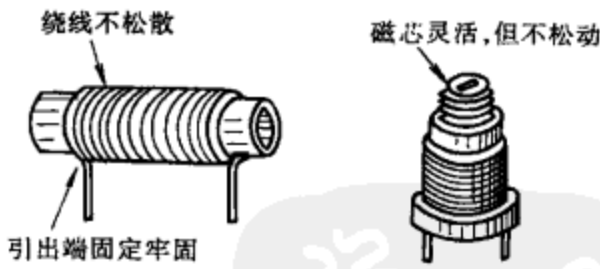


图 2-18

门老师：这一讲的主要知识点可以归纳如下。

- (1) 电感器是储存磁能的元件，通常简称为电感，是常用的基本电子元件之一，可分为固定电感器、可变电感器、微调电感器三大类。
- (2) 电感器的文字符号为“L”。

- (3) 电感器的主要参数是电感量和额定电流。
- (4) 电感量的基本单位是亨利，简称亨，用字母“H”表示，常用单位有毫亨(mH)和微亨(μ H)。
- (5) 电感器的特点是通直流阻交流。
- (6) 电感器对交流电流所呈现的阻力称之为感抗，交流电流的频率越高感抗越大。
- (7) 电感器的主要作用是分频、滤波、谐振和磁偏转。
- (8) 电感器的的好坏可用万用表进行初步检测，即检测电感器是否有断路、短路、绝缘不良等情况。



第 2 讲 变 压 器



门老师：同学们，现在我们讲第 2 课的第 2 讲变压器，这一讲的主要内容是，变压器的种类和符号，变压器的特点和工作原理，变压器的基本作用，电源变压器、音频变压器、中频变压器、高频变压器的主要参数和用途，变压器的检测方法等。

2.2.1 什么是变压器

变压器是一种常用元器件，其种类繁多，大小形状千差万别，外形如图 2-19 所示。

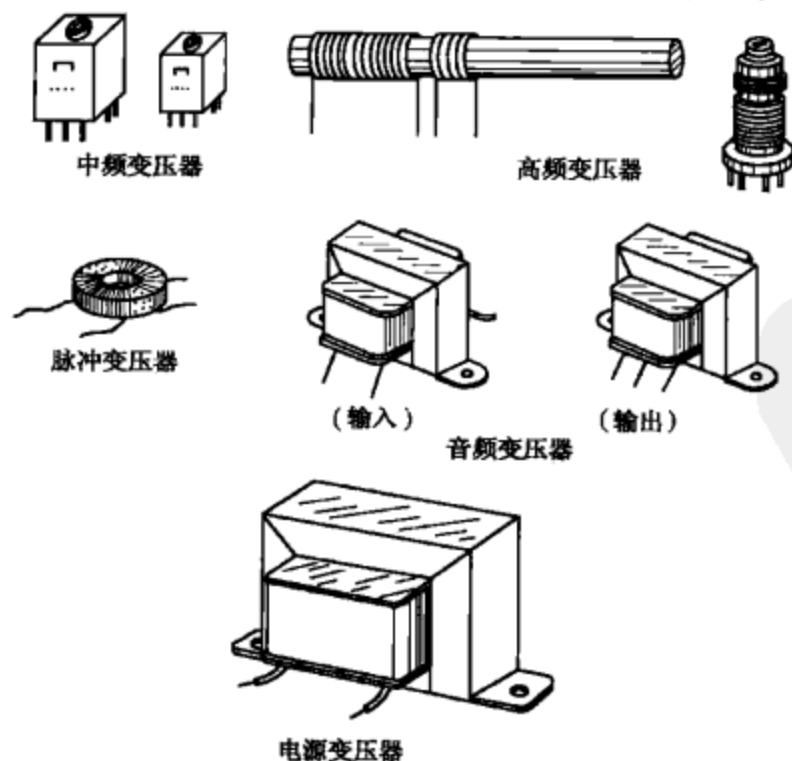


图 2-19

1. 变压器的种类

根据工作频率不同，变压器可分为电源变压器、音频变压器、中频变压器和高频变压器四大类，如图 2-20 所示。电源变压器包括降压变压器、升压变压器、隔离变压器等。音频变压器包括输入变压器、输出变压器、线路变压器等。中频变压器分为单调谐式和双调谐式等。收音机中的天线线圈、振荡线圈以及电视机天线阻抗变换器、行输出等脉冲变压器都属于高频变压器。

根据结构与材料的不同，变压器又可分为铁芯变压器、固定磁芯变压器、可调磁芯变压器等。铁芯变压器适用于低频，磁芯变压器更适合工作于高频。

2. 变压器的符号

变压器的文字符号为“T”，图形符号如图 2-21 所示。

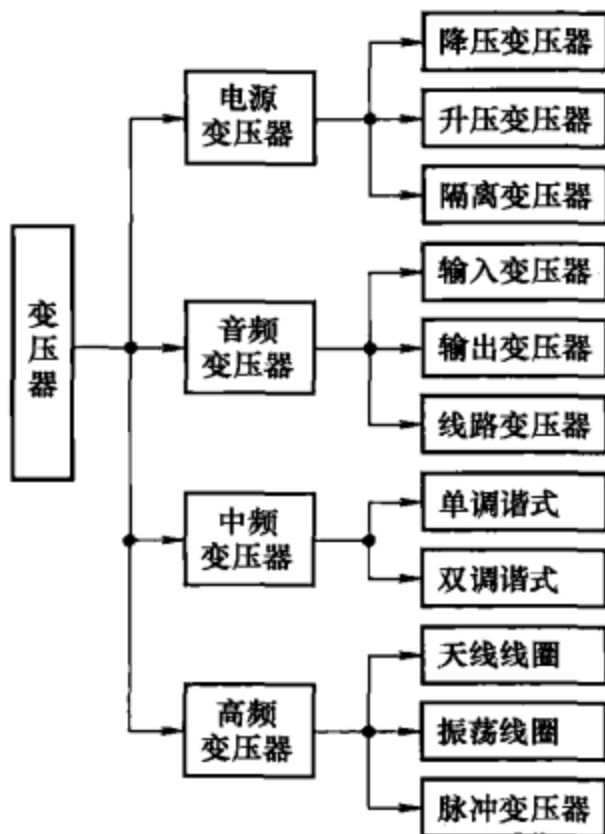


图 2-20

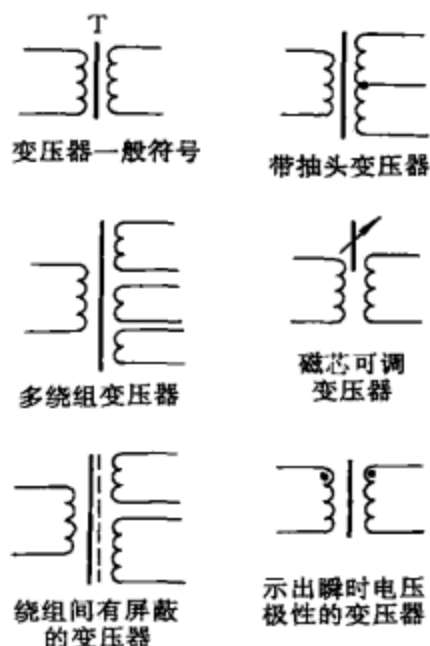


图 2-21

2.2.2 变压器有什么特点

1. 变压器的特点

变压器的特点是传输交流隔离直流，并可同时实现电压变换、阻抗变换和相位变换。变压器各绕组线圈间互不相通，但交流电压可以通过磁场耦合进行传输。

门老师：哪位同学能说说变压器与电感器有哪些异同？

李蕾蕾：变压器与电感器一样都是由线圈构成的。不同的是，电感器只有 1 个线圈，而变压器至少具有 2 个线圈。

王小帅：变压器与电感器一样，都是基于电磁感应原理工作的。所不同的是，电感器的的工作原理是自感应，变压器的工作原理是互感应。

门老师：很对。下面我们就来具体分析变压器的工作原理。

2. 变压器的工作原理

变压器是利用互感应原理工作的。如图 2-22 所示，变压器由初级（即一次侧）、次级（即二次侧）两部分互不相通的线圈组成，它们之间由铁芯或磁芯作为耦合媒介。当在初级线圈（又称一次绕组）两端加上交流电压 U_1 时，交流电流 I_1 流过初级线圈使其产生交变磁场，在次级线圈（又称二次绕组）两端即可获得交流电压 U_2 。直流电压不会产生交变磁场，次级无感应电压。所以变压器具有传输交流隔离直流的功能。

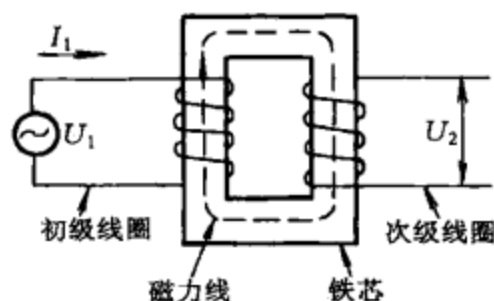


图 2-22

2.2.3 变压器有哪些基本作用

变压器的主要作用是电压变换、阻抗变换和相位变换。

1. 电压变换

变压器具有电压变换的作用。如图 2-23 所示，变压器次级电压的大小，取决于次级与初级的圈数比。空载时，次级电压 U_2 与初级电压 U_1 之比，等于次级圈数 N_2 与初级圈数 N_1 之比。

2. 阻抗变换

变压器具有阻抗变换的作用。如图 2-24 所示，变压器初级与次级的圈数比不同，耦合过来的阻抗也不同。在数值上，次级阻抗 Z_2 与初级阻抗 Z_1 之比等于次级圈数 N_2 与初级圈数 N_1 之比的平方。

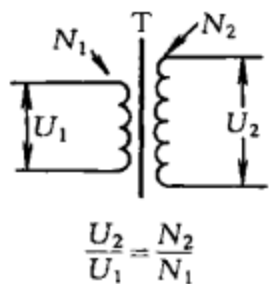


图 2-23

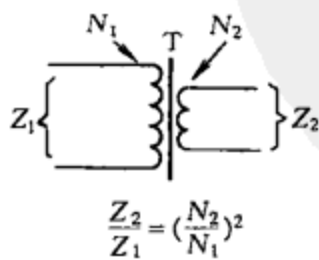


图 2-24

3. 相位变换

变压器具有相位变换的作用。图 2-25 所示变压器电路图，标出了各绕组线圈的瞬时电压极性。可见，通过改变变压器线圈的接法，可以很方便地将信号电压倒相。

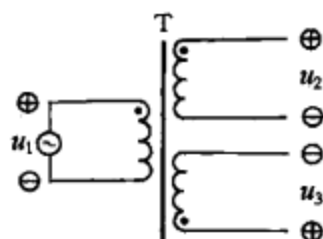


图 2-25

2.2.4 电源变压器

电源变压器是最常用的一类变压器。

1. 电源变压器的种类

电源变压器可分为降压变压器 ($U_1 > U_2$)、升压变压器 ($U_1 < U_2$)、隔离变压器 ($U_1 = U_2$) 和多绕组变压器等，如图 2-26 所示。多绕组电源变压器具有若干个互为独立的次级绕组，各次级电压也不尽相同，既可以低于初级电压，也可以等于或高于初级电压。

2. 电源变压器的参数

电源变压器的主要参数是功率、次级电压和电流。

(1) 变压器功率与铁芯截面的平方成正比，如图 2-27 所示，铁芯截面越大，变压器功率越大。功率一般用文字直接标注在变压器上。

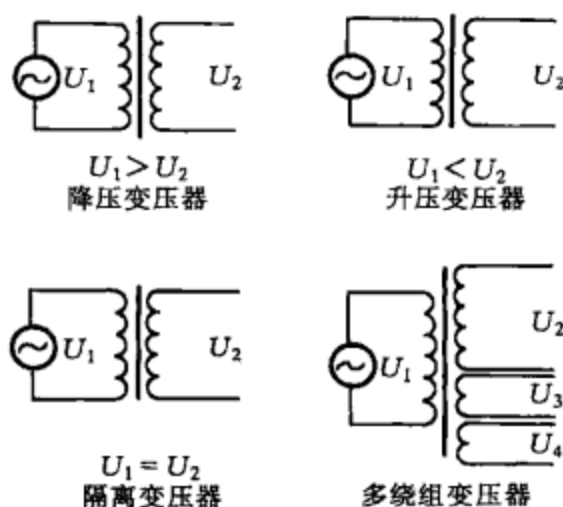


图 2-26

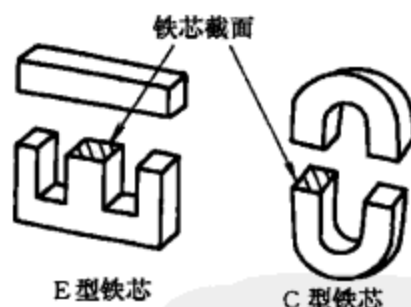


图 2-27

(2) 次级电压是指电源变压器次级绕组的额定输出电压。有多个次级绕组的电源变压器可以有多种次级电压，如图 2-28 所示。应根据需要选用具有符合要求的次级电压的变压器。

(3) 次级电流是指次级绕组所能提供的最大电流，选用时次级电流必须大于电路实际电流值。图 2-28 示出了某电源变压器的次级电压和电流值。次级电压和电流一般均直接标注在变压器次级输出端。

(4) 常用电源变压器的初级电压一般为交流 220V，也有交流 380V 的。电源变压器的参数

还有空载电流、绝缘电阻等，选购成品变压器时可不必考虑。

3. 电源变压器的用途

电源变压器的用途是电源电压变换和电源隔离。

(1) 电源变压器主要用于电源电压变换，并可同时提供多种电源电压，以适应电路的需要。

(2) 电源变压器同时具有电源隔离功能。如图 2-29 所示，由于变压器的隔离作用，即使人体接触到电压 U_2 ，也不会与交流 220V 市电构成回路，保证了人身安全。这就是维修热底板家电时必须要用电源隔离变压器的道理。

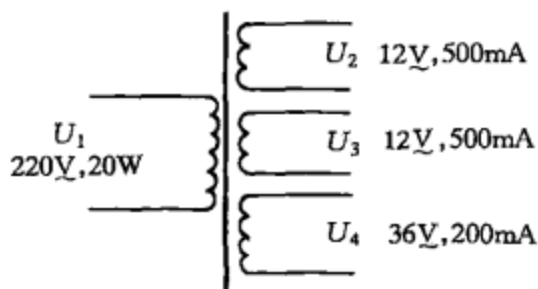


图 2-28

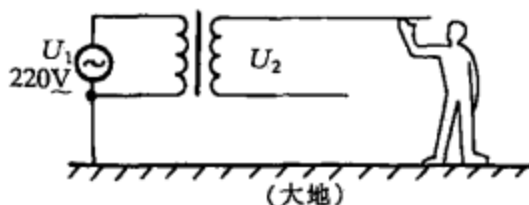


图 2-29

2.2.5 音频变压器

音频变压器是工作于音频范围的变压器。推挽功率放大器中的输入变压器和输出变压器都属于音频变压器，如图 2-30 所示。有线广播中的线路变压器也是音频变压器，如图 2-31 所示。

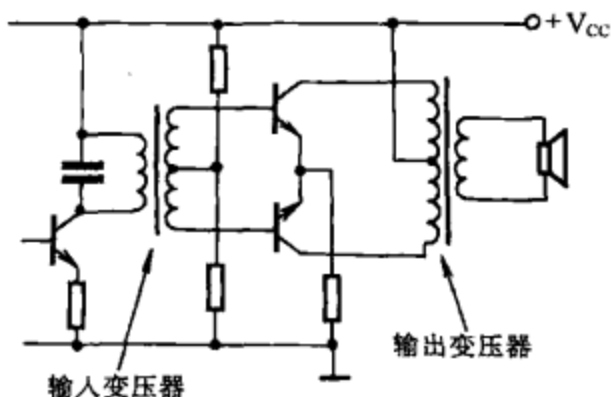


图 2-30

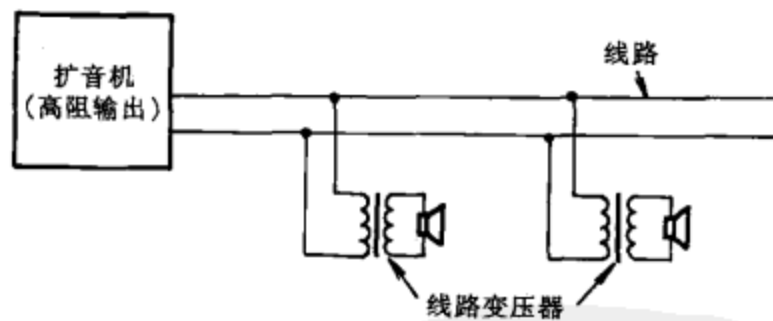


图 2-31

1. 音频变压器的参数

音频变压器的主要参数是阻抗比和功率。

(1) 阻抗比是指音频变压器初级与次级之间的阻抗比值。某输出变压器如图 2-32 所示，其次级阻抗直接标注在变压器上。

(2) 功率是指音频变压器正常工作时所能承受的最大功率，一般在晶体管收音机中可不必考虑。在电子管扩音机（胆机）和有线广播系统中，则必须注意音频变压器的功率。在高保真

音响中，还应考虑音频变压器的频响指标。

2. 音频变压器的用途

音频变压器的主要用途是阻抗匹配、信号传输与分配。

(1) 阻抗匹配。如图 2-33 所示，输出变压器将扬声器的 8Ω 低阻变换为数百欧姆的高阻，与放大器的输出阻抗相匹配，使得放大器输出的音频功率最大而失真最小。

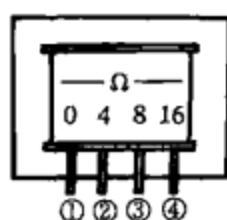


图 2-32

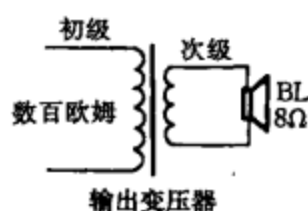


图 2-33

(2) 信号传输与分配。图 2-34 所示为推挽功率放大器电路，输入变压器将信号电压传输、分配给晶体管 VT_1 和 VT_2 (送给 VT_2 的信号还倒了相)，使 VT_1 和 VT_2 轮流分别放大正、负半周信号，然后再由输出变压器将输出信号合成。

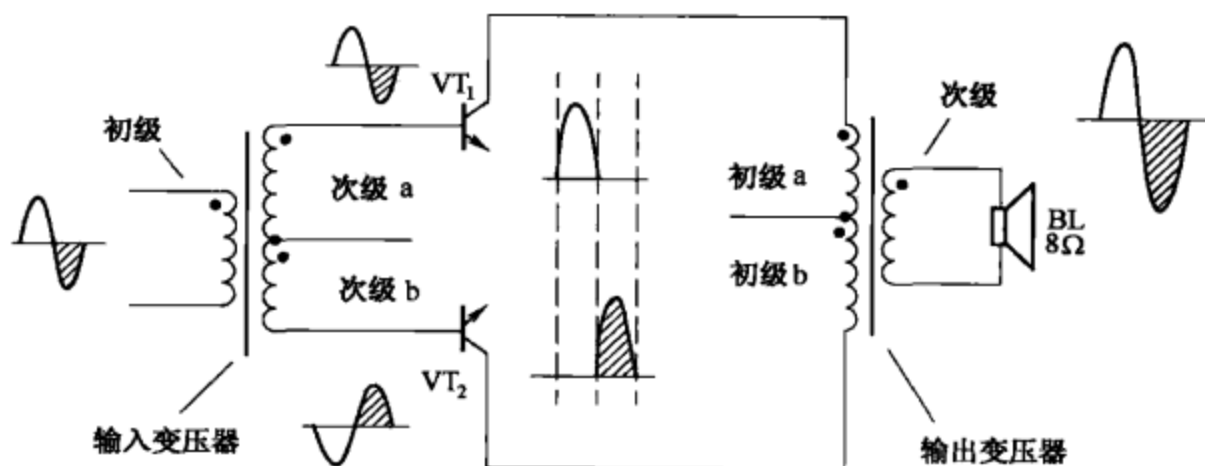


图 2-34

2.2.6 中频变压器

中频变压器习惯上简称中周，应用于超外差收音机和电视机的中频放大电路中。

中频变压器分为单调谐式和双调谐式两种，如图 2-35 所示。单调谐式初、次级绕在一个磁芯上。双调谐式初、次级分为两个独立的线圈，依靠电容进行耦合。

1. 中频变压器的特点

中频变压器的结构特点是磁芯可以调节，以便微调电感量。图 2-36 (a) 所示为调磁帽式，图 2-36 (b) 所示为调磁杆式。磁帽或磁杆上带有螺纹，可上下旋转移动。磁帽或磁杆向下移动时，电感量增大；向上移动时，电感量减小。

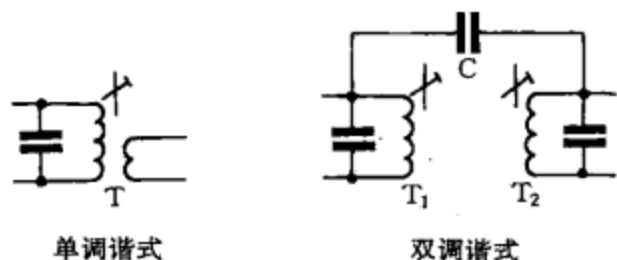


图 2-35

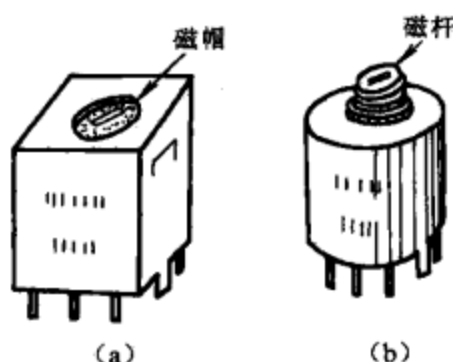


图 2-36

2. 中频变压器的参数

中频变压器的主要参数是谐振频率（配以指定电容器）、通频带、 Q 值和电压传输系数。图 2-37 所示为中频变压器幅频特性曲线，其中 f_0 为谐振频率， Δf 为通频带。

3. 中频变压器的用途

中频变压器具有选频与耦合的作用。图 2-38 所示为超外差收音机中放部分电路，中频变压器 T_1 、 T_2 的初级线圈分别与 C_1 、 C_2 谐振于 465kHz，作为 VT_1 、 VT_2 的负载，因此只有 465kHz 中频信号得到放大，起到了选频的作用。

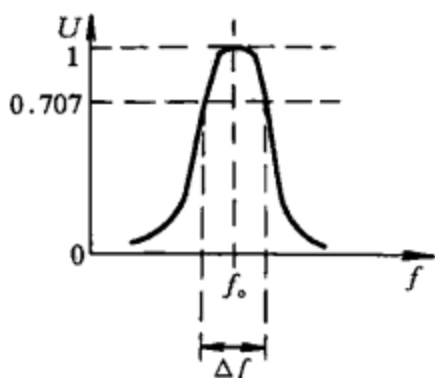


图 2-37

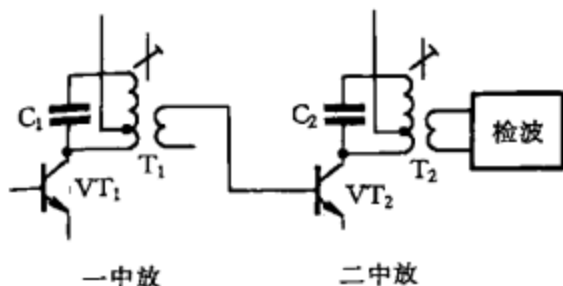


图 2-38

中频变压器同时还具有耦合作用。图 2-38 所示电路中，一中放输出信号通过 T_1 耦合到二中放，二中放输出信号通过 T_2 耦合到检波级。

2.2.7 高频变压器

高频变压器通常是指工作于射频范围的变压器。收音机的磁性天线就是一个高频变压器，如图 2-39 所示，初级线圈与可变电容器 C 组成选频回路，选出的电台信号通过初、次级之间的耦合传输到高放或变频级。

电视机天线阻抗变换器也是一种高频变压器，如图 2-40 所示，折叠偶极子天线输出的 300Ω 平衡信号，通过高频变压器 T 变换为 75Ω 不平衡信号送入电视机。

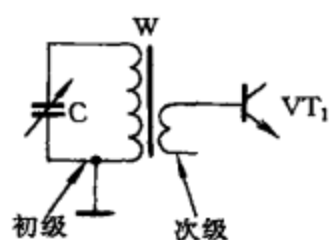


图 2-39

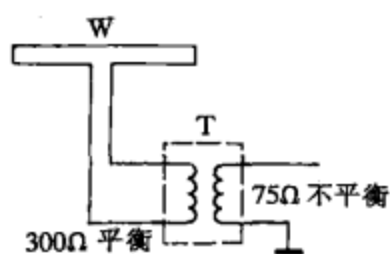


图 2-40



王小帅: 门老师, 变压器也可以用万用表进行检测吧?



门老师: 是的, 下面就给同学们讲一讲检测变压器的方法和技巧。

2.2.8 怎样检测变压器

变压器可以用万用表进行基本检测。

1. 检测绕组线圈

检测时用万用表“ $R \times 1$ ”挡测量各绕组线圈, 应有一定的电阻值, 如图 2-41 所示。如果表针不动, 说明该绕组内部断路; 如果阻值为 0, 说明该绕组内部短路。

2. 检测绝缘电阻

用万用表“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡, 测量每两个绕组线圈之间的绝缘电阻, 均应为无穷大, 如图 2-42 所示。测量每个绕组线圈与铁芯之间的绝缘电阻, 也均应为无穷大, 如图 2-43 所示; 否则, 说明该变压器绝缘性能太差, 不能使用。

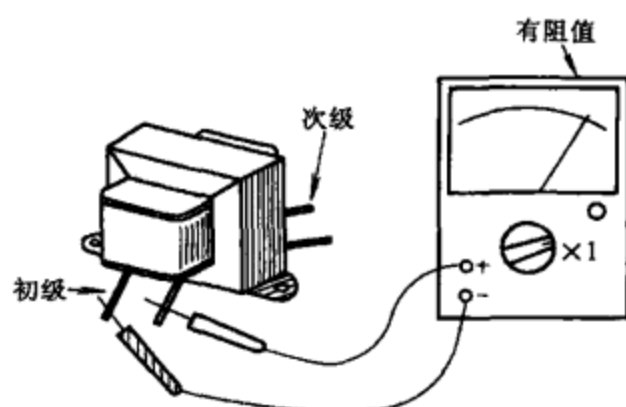


图 2-41

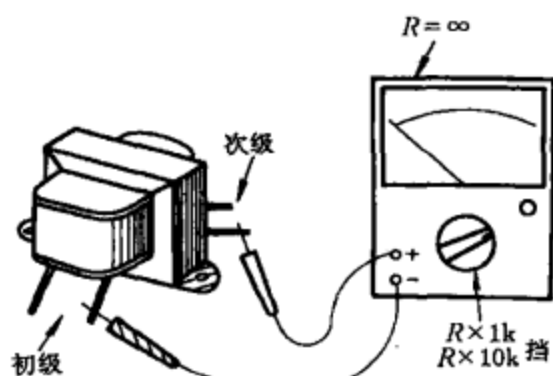


图 2-42

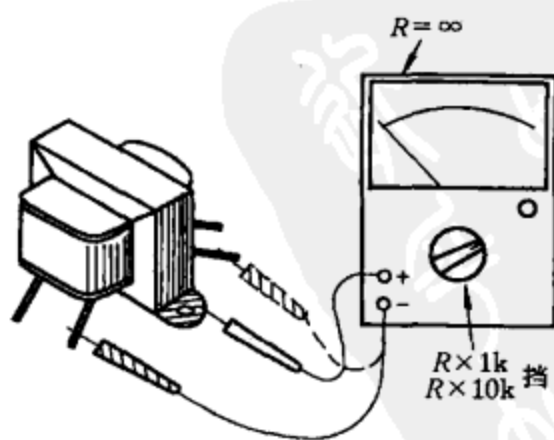


图 2-43



3. 检测初级空载电流

检测电源变压器初级空载电流 I_0 的方法如图 2-44 所示, 电源变压器所有次级引线悬空, 初级串接一只 $50\sim 100\Omega$ 的电阻 R , 然后接入 220V 交流电源, 用万用表“交流 10V”挡测量 R 上的压降 U_R , 根据 $I_0 = U_R/R$ 即可计算出初级空载电流。初级空载电流一般应在 20mA 以下, 如电流过大, 则说明变压器质量差。

4. 区分音频输入、输出变压器

推挽功率放大器所用输入、输出变压器外形一样, 均为 5 个引出端, 如果标志不清, 可用万用表鉴别区分。如图 2-45 所示, 用万用表“ $R \times 1$ ”挡测量音频变压器有两个引出端的绕组, 如阻值在 1Ω 左右, 则为输出变压器; 如阻值在几十到几百欧姆, 则为输入变压器。

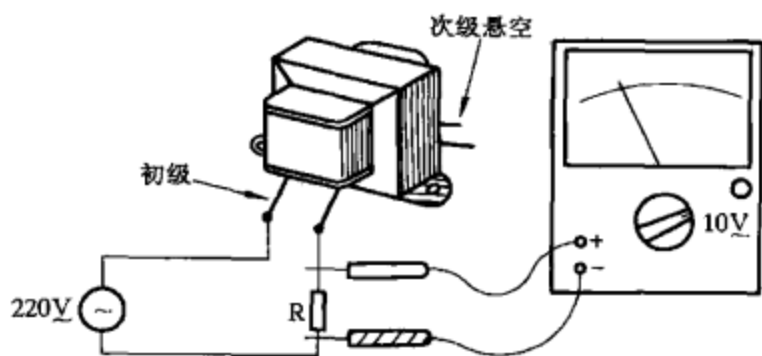


图 2-44

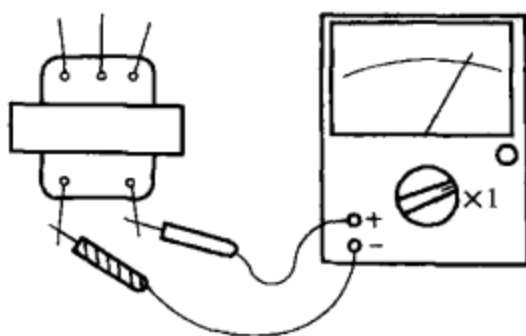


图 2-45



门老师: 变压器这一讲结束了, 它的知识要点可以归纳如下。

- (1) 变压器是一种常用元器件, 包括电源变压器、音频变压器、中频变压器和高频变压器等。
- (2) 变压器的文字符号为“T”。
- (3) 变压器的特点是传输交流隔离直流, 并可同时实现电压变换、阻抗变换和相位变换。
- (4) 电源变压器的主要参数是功率、次级电压和电流, 用途是电源电压变换和电源隔离。
- (5) 音频变压器的主要参数是阻抗比和功率, 用途是阻抗匹配、信号传输与分配。
- (6) 中频变压器的主要参数是谐振频率, 具有选频与耦合的作用。
- (7) 高频变压器通常是指工作于射频范围的变压器。
- (8) 变压器可以用万用表检测其绕组线圈、绝缘情况和空载电流。

李蕾蕾：门老师，第 2 课共 2 讲的内容您都讲完了，请您布置一些思考题，我们可以对自己的学习成效进行检验，同时也能够进一步巩固所学知识。

门老师：好的，第 2 课的思考题如下。

- (1) 什么是电感器，它的符号和主要参数是什么？
- (2) 电感器的的工作原理是什么，具有哪些特点和作用？
- (3) 什么是变压器，它的符号是什么，有哪些种类？
- (4) 变压器的工作原理是什么，具有哪些特点和功能？
- (5) 电源变压器有哪些主要参数、种类和用途？
- (6) 音频变压器的特点、主要参数和用途是什么？
- (7) 中频和高频变压器的特点和用途是什么？
- (8) 怎样检测电感器和变压器？



资源知识
PDG

第3课 晶体二极管与单结晶体管



门老师：同学们好，今天我们开始讲第3课：晶体二极管与单结晶体管。晶体二极管是电子电路中最重要半导体器件，包括一般二极管和特殊二极管两大类。单结晶体管也是一种特殊的半导体二极管。这一课我们分为4讲，第1讲晶体二极管，第2讲稳压二极管，第3讲发光二极管，第4讲单结晶体管。



第1讲 晶体二极管



门老师：第3课第1讲的主要内容是，晶体二极管的种类、符号、型号和极性，晶体二极管的主要参数，晶体二极管的特点和工作原理，晶体二极管的主要作用，晶体二极管的检测方法等。

3.1.1 什么是晶体二极管

晶体二极管简称二极管，是一种常用的具有一个PN结的半导体器件。

1. 晶体二极管的种类

晶体二极管的种类很多，形状大小各异，仅从外观上看，较常见的有玻壳二极管、塑封二极管、金属壳二极管、大功率螺栓状金属壳二极管、微型二极管、片状二极管等，如图3-1所示。

晶体二极管按其制造材料的不同，可分为锗管和硅管两大类，每一类又分为N型和P型；按其制造工艺不同，可分为点接触型二极管和面接触型二极管，如图3-2所示。

晶体二极管按功能与用途不同，可分为一般二极管和特殊二极管两大类，如图3-3所示。一般二极管包括检波二极管、整流二极管、开关二极管等。特殊二极管主要有稳压二极管、敏感二极管（磁敏二极管、温度效应二极管、压敏二极管等）、变容二极管、发光二极管、光电二极管、激光二极管等。没有特别说明时，晶体二极管即指一般二极管。

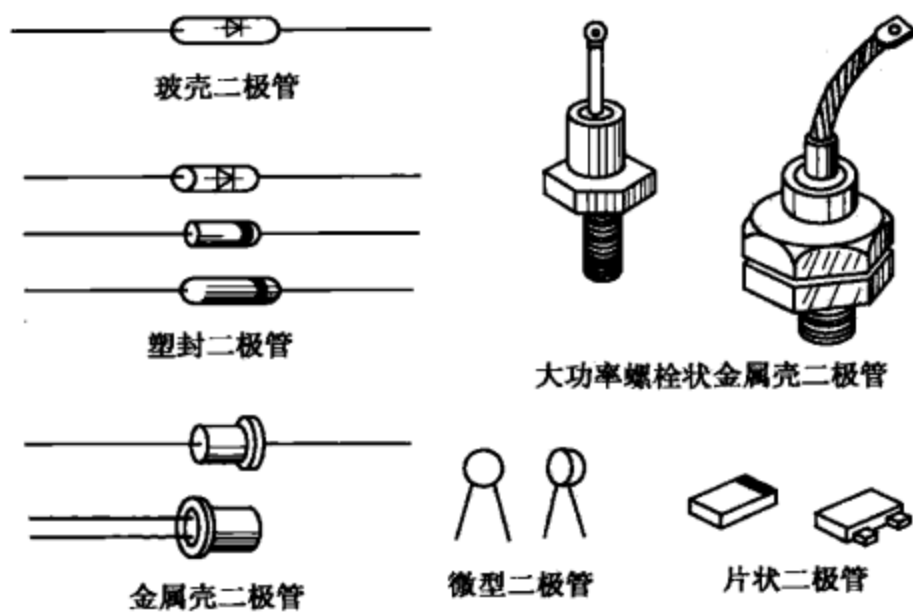


图 3-1

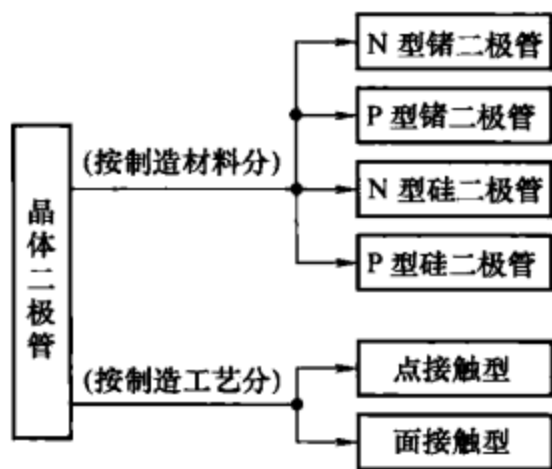


图 3-2

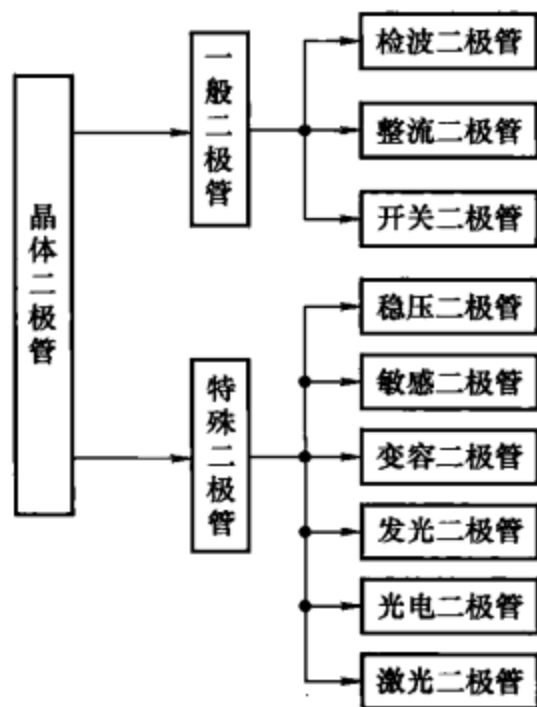


图 3-3

2. 晶体二极管的符号

晶体二极管的文字符号是“VD”，图形符号如图 3-4 所示。



图 3-4

李蕾蕾：门老师，晶体二极管的种类这么多，我们怎样区分它们呢？

门老师：每一种晶体二极管都有各自的型号，通过晶体二极管的型号我们就可以知道它的种类。

3.1.2 怎样识别晶体二极管

1. 晶体二极管的命名方法

国产晶体二极管的型号命名由 5 部分组成，如图 3-5 所示。第一部分用数字“2”表示二极管，第二部分用字母表示材料和极性，第三部分用字母表示类型，第四部分用数字表示序号，第五部分用字母表示规格。

晶体二极管型号的意义见表 3-1。例如，2AP9 为 N 型锗材料普通检波二极管，2CZ55A 为 N 型硅材料整流二极管，2CK71B 为 N 型硅材料开关二极管。

▼ 表 3-1 二极管型号的意义

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

2. 晶体二极管的极性

晶体二极管两引脚有正、负极之分，如图 3-6 所示。

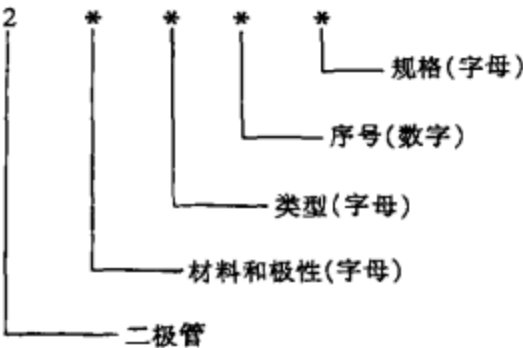


图 3-5

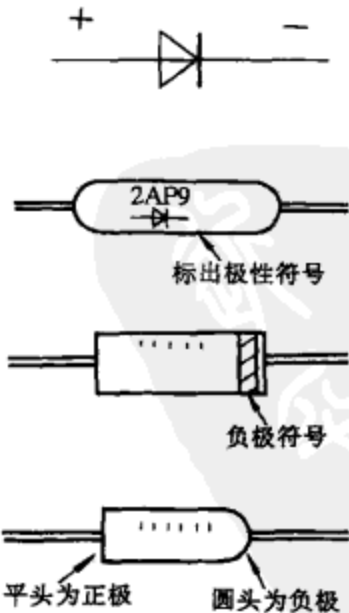


图 3-6

(1) 二极管电路符号中, 三角一端为正极, 短杠一端为负极。

(2) 二极管实物中, 有的将电路符号印在二极管上并标示出极性; 有的在二极管负极一端印上一道色环作为负极标记; 有的二极管两端形状不同, 平头为正极, 圆头为负极, 使用中应注意识别。

3.1.3 怎样理解晶体二极管的参数

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

1. 最大整流电流

最大整流电流 I_{FM} 是指二极管长期连续工作时, 允许正向通过 PN 结的最大平均电流。使用中, 实际工作电流应小于二极管的 I_{FM} , 否则将损坏二极管。

2. 最大反向电压

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

3. 最高工作频率

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

3.1.4 晶体二极管有什么特点

1. 单向导电特性

晶体二极管的特点是具有单向导电特性。一般情况下只允许电流从正极流向负极, 而不允许电流从负极流向正极, 图 3-7 形象地说明了这一点。

2. 非线性特性

晶体二极管是非线性半导体器件。电流正向通过二极管时, 要在 PN 结上产生管压降 U_{VD} , 锗二极管的正向管压降约为 0.3V, 如图 3-8 所示; 硅二极管的正向管压降约为 0.7V, 如图 3-9 所示。另外, 硅二极管的反向漏电流比锗二极管小得多。从伏安特性曲线可见, 二极管的电压值与电流值为非线性关系。

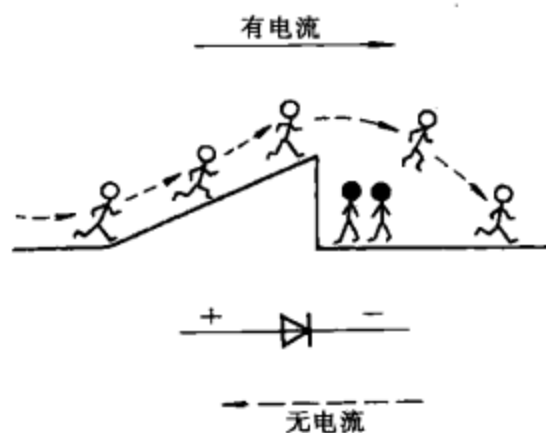


图 3-7

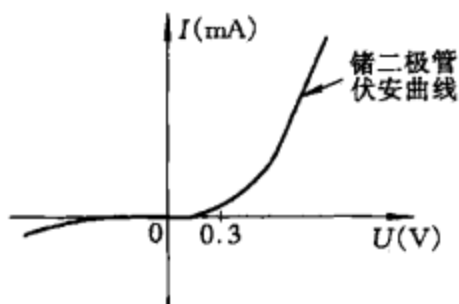


图 3-8

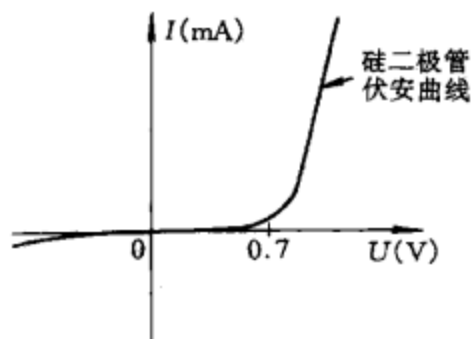


图 3-9

3.1.5 晶体二极管有哪些作用

晶体二极管的主要作用是整流、检波和开关。

1. 半波整流

晶体二极管具有整流作用。图 3-10 所示为半波整流电源电路，由于二极管的单向导电特性，在交流电压正半周时二极管 VD 导通，有输出；在交流电压负半周时二极管 VD 截止，无输出。经二极管 VD 整流出来的脉动电压再经 RC 滤波器滤波后即为直流电压。

王小帅：门老师，晶体二极管的单向导电性将交流电的负半周阻挡了，那么这负半周的电能不能都浪费了吗？

门老师：这个问题问得好，说明你开动了脑筋。半波整流电路的效率确实是很低的，所以人们又研发出了全波整流电路，将交流电的正、负半周都利用了起来，整流效率大大提高。

2. 全波整流

图 3-11 所示为桥式全波整流电路，全波整流常采用全桥整流堆。

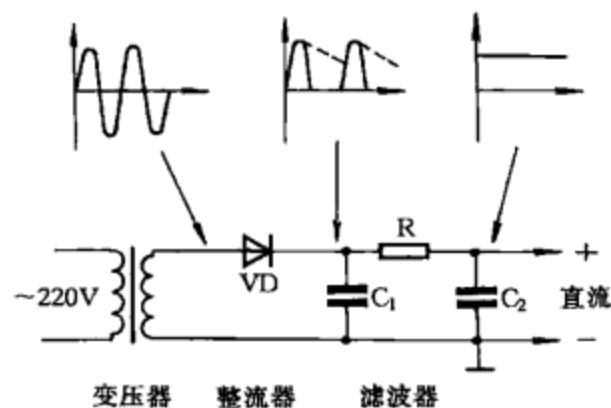


图 3-10

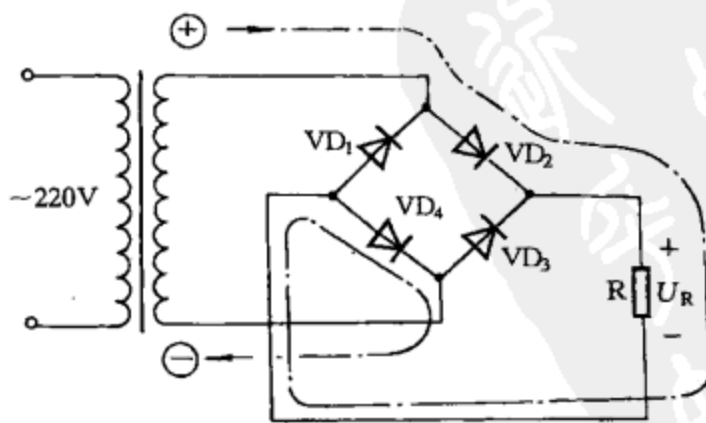


图 3-11

(1) 全桥整流堆通常简称全桥，是一种整流二极管的组合器件，有长方形、圆形、扁形、方形等，并有多种电压、电流、功率规格，如图 3-12 所示。全桥整流堆的文字符号为“UR”，图形符号如图 3-13 所示。

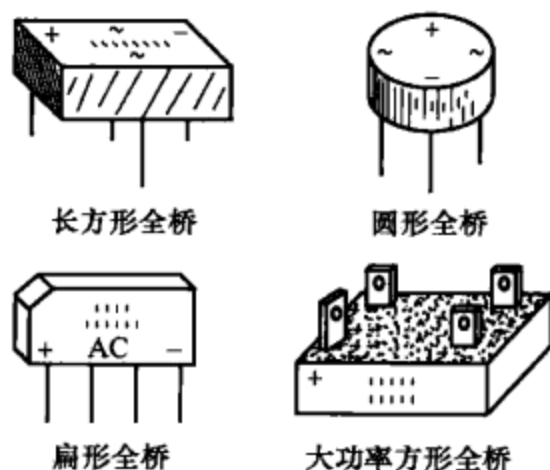


图 3-12

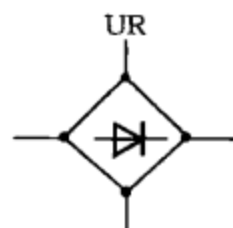


图 3-13

全桥整流堆内部包含 4 只整流二极管，并按一定规律连接，具有 4 个引脚：两个交流输入端（用符号“~”标示）、一个直流正极输出端（用符号“+”标示）和一个直流负极输出端（用符号“-”标示），如图 3-14 所示。

(2) 当交流电正半周时，电流 I 经 VD_2 、负载 R 和 VD_4 形成回路，负载上电压 U_R 为上正下负，如图 3-11 所示。

当交流电负半周时，电流 I 经 VD_3 、负载 R 和 VD_1 形成回路，负载上电压 U_R 仍为上正下负，如图 3-15 所示，实现了全波整流。使用全桥整流堆，可以简化整流电路的结构。

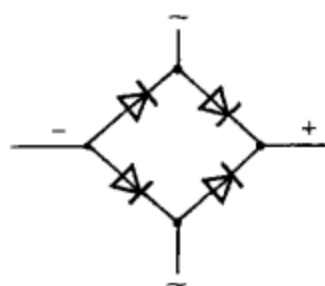


图 3-14

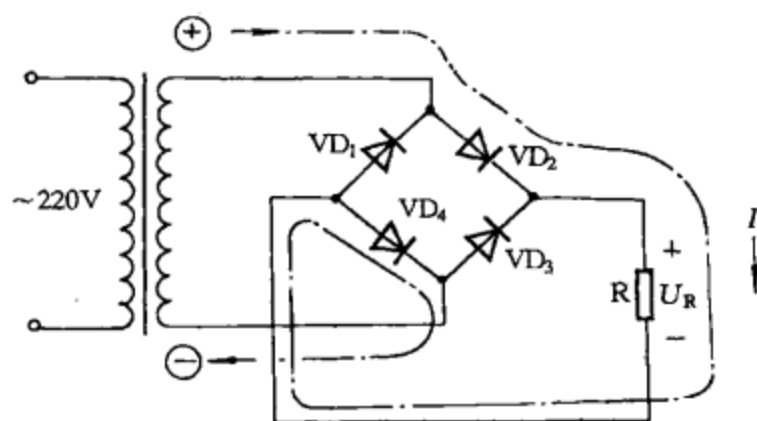


图 3-15

3. 检波

晶体二极管具有检波作用。图 3-16 所示为超外差收音机检波电路，第二中放输出的调幅波加到二极管 VD 负极，其负半周通过了二极管（正半周被截止），再由 RC 滤波器滤除其中的高频成分，输出的就是调制在载波上的音频信号，这个过程称为检波。

4. 开关

晶体二极管具有开关作用。图 3-17 所示开关电路中，当二极管 VD 正极接 $+9V$ 时， VD 导

通，输入端（IN）信号可以通过二极管 VD 到达输出端（OUT）。当二极管 VD 正极接-9V 时，VD 截止，输入端（IN）与输出端（OUT）之间通路被切断。

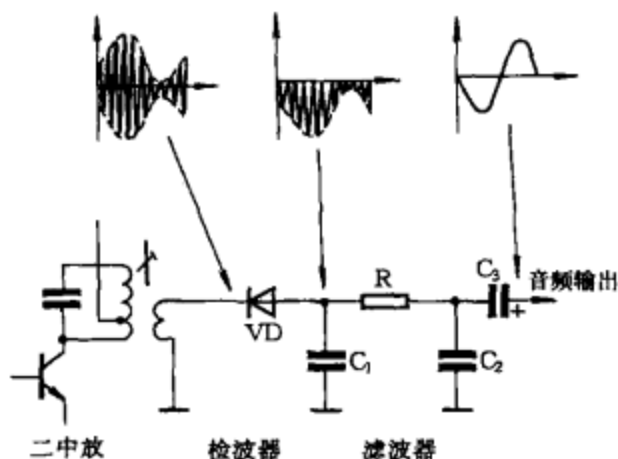


图 3-16

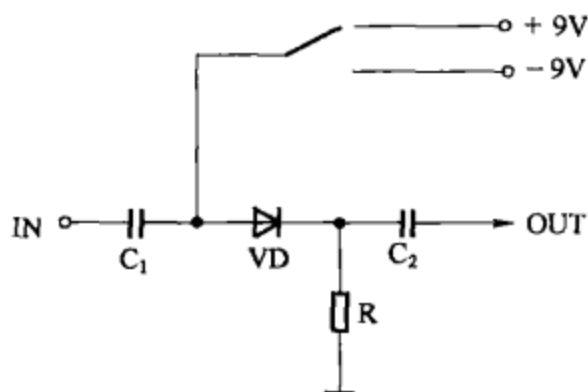


图 3-17

李蕾蕾：我们使用时怎样知道晶体二极管的好坏呢？如果一个晶体二极管的标记看不清了，怎样判断它的正、负极呢？

门老师：晶体二极管的正、负极以及它的好坏，都可以用万用表进行检测和判断。

3.1.6 怎样检测晶体二极管

晶体二极管可用万用表进行引脚识别和检测。

1. 判别引脚

万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，两表笔分别接到二极管的两端，测量两端间的电阻。

（1）如果测得的电阻值较小，则为二极管的正向电阻。这时与黑表笔（即表内电池正极）相连接的是二极管正极，与红表笔（即表内电池负极）相连接的是二极管负极，如图 3-18 所示。

（2）如果测得的电阻值很大，则为二极管的反向电阻。这时与黑表笔相连接的是二极管负极，与红表笔相连接的是二极管正极，如图 3-19 所示。

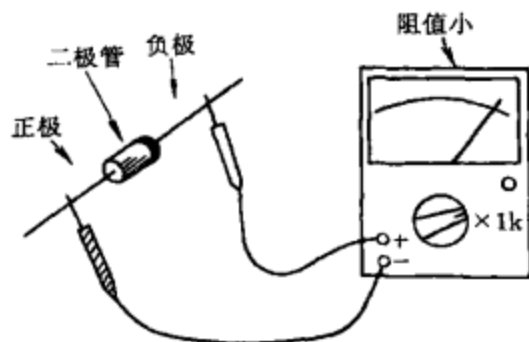


图 3-18

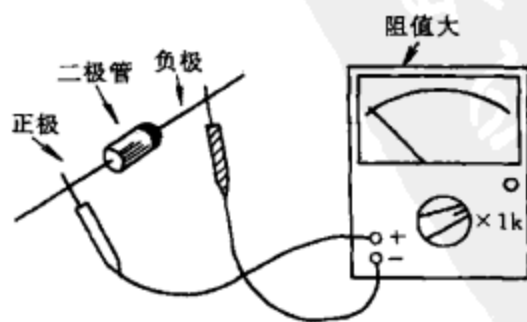


图 3-19

2. 检测晶体二极管

正常的晶体二极管，其正、反向电阻的阻值应该相差很大，且反向电阻接近于无穷大。如果某二极管正、反向电阻值均为无穷大，说明该二极管内部断路损坏；如果正、反向电阻值均为 0，说明该二极管已被击穿短路；如果正、反向电阻值相差不大，说明该二极管质量太差，也不宜使用。

3. 区分锗管与硅管

由于锗二极管和硅二极管的正向管压降不同，因此可以用测量二极管正向电阻的方法来区分。如果正向电阻小于 $1\text{k}\Omega$ ，则为锗二极管，如图 3-20 所示；如果正向电阻为 $1\sim 5\text{k}\Omega$ ，则为硅二极管，如图 3-21 所示。

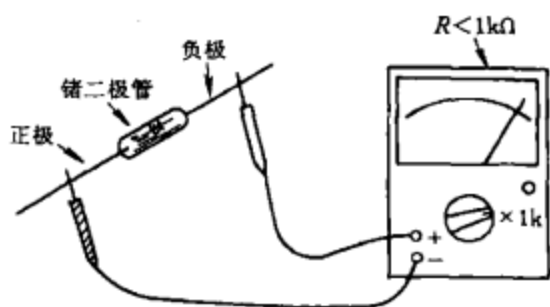


图 3-20

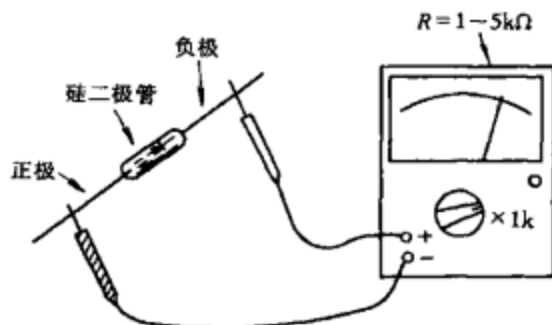


图 3-21



门老师：同学们，关于晶体二极管这一讲就结束了，下面我把晶体二极管的主要知识点作一个归纳。

- (1) 晶体二极管简称二极管，是一种常用的具有一个 PN 结的半导体器件。
- (2) 晶体二极管的文字符号是“VD”。
- (3) 晶体二极管的主要参数有最大整流电流、最大反向电压和最高工作频率。
- (4) 晶体二极管的特点是具有单向导电特性。
- (5) 晶体二极管的主要作用是整流、检波和开关。
- (6) 正常的晶体二极管正、反向电阻的阻值相差很大，且反向电阻接近于无穷大。

第2讲 稳压二极管



门老师：第3课第2讲的主要内容是稳压二极管，包括稳压二极管的种类、符号和极性，稳压二极管的主要参数，稳压二极管的特点和工作原理，稳压二极管的主要作用，稳压二极管的检测方法等。

3.2.1 什么是稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的具有稳压功能的二极管。它也是具有一个PN结的半导体器件。与一般二极管不同的是，稳压二极管工作于反向击穿状态。图 3-22 所示为部分稳压二极管外形。

1. 稳压二极管的种类

稳压二极管有许多种类。按封装不同，可分为玻璃外壳、塑料封装、金属外壳稳压二极管等；按功率不同，可分为小功率（1W 以下）和大功率稳压二极管；还可分为单向击穿（单极型）和双向击穿（双极型）稳压二极管两类，如图 3-23 所示。

2. 稳压二极管的符号

稳压二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 3-24 所示。

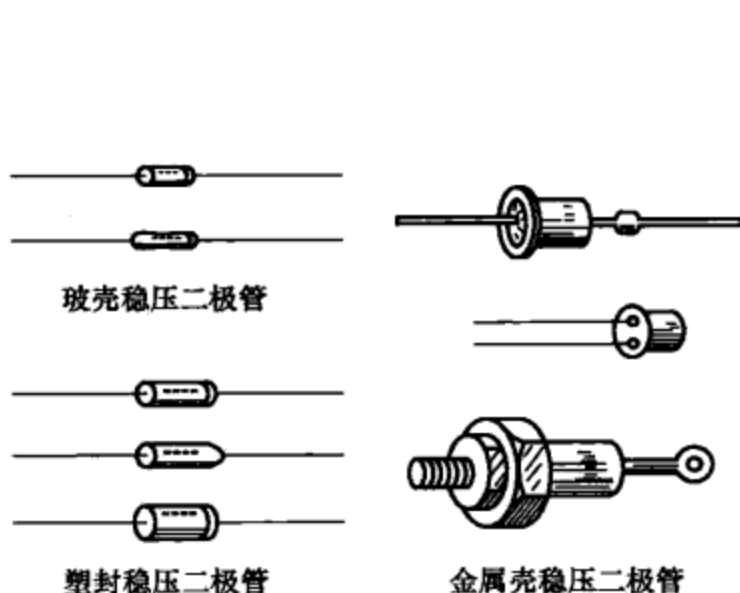


图 3-22

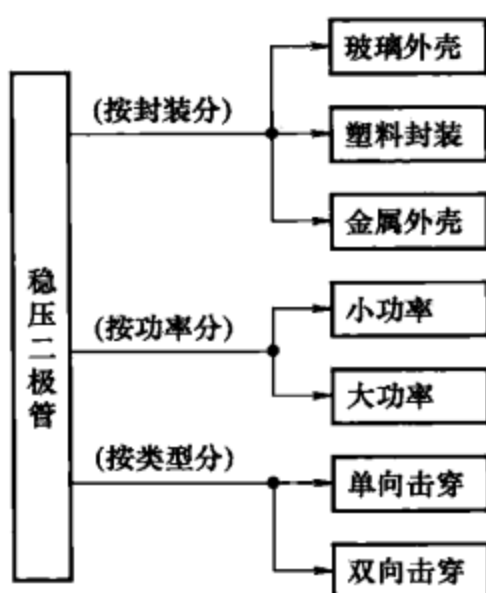


图 3-23



图 3-24

3.2.2 怎样识别稳压二极管

稳压二极管两引脚有正、负极之分。由于稳压二极管工作于反向击穿状态，所以接入电路时，其负极应接电源正极，其正极应接地，如图 3-25 (a) 所示，R 为限流电阻。

稳压二极管的管体上一般均印有负极标志或图形符号，如图 3-25 (b) 和 (c) 所示，使用时应注意识别。

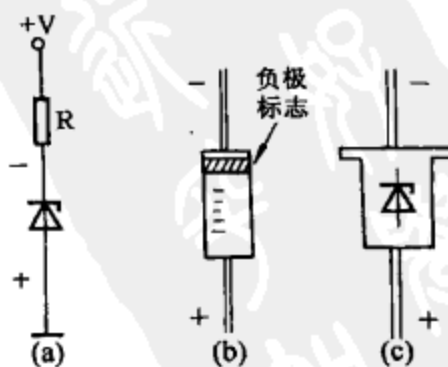


图 3-25

3.2.3 怎样理解稳压二极管的参数

稳压二极管的主要参数是稳定电压 U_Z 和最大工作电流 I_{ZM} 。

1. 稳定电压

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

2. 最大工作电流

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

3.2.4 稳压二极管有什么特点

稳压二极管的特点是工作于反向击穿状态时具有稳定的端电压。与普通二极管不同的是，稳压二极管的工作电流是从负极流向正极。



王小帅：门老师，您说稳压二极管工作于反向击穿状态，击穿不就是损坏了吗，稳压二极管为什么还能工作呢？



门老师：这正是稳压二极管的特殊性所决定的。

稳压二极管是利用 PN 结反向击穿后，其端电压在一定范围内保持不变的原理工作的。图 3-26 所示为稳压二极管伏安特性曲线。在加正向电压或反向电压较小时，稳压二极管与一般二极管一样具有单向导电性。当反向电压增大到一定程度时，反向电流剧增，二极管进入了反向击穿区，这时即使反向电流在很大范围内变化，二极管端电压仍保持基本不变，这个端电压即为稳定电压 U_Z 。只要使反向电流不超过最大工作电流 I_{ZM} ，稳压二极管是不会损坏的。

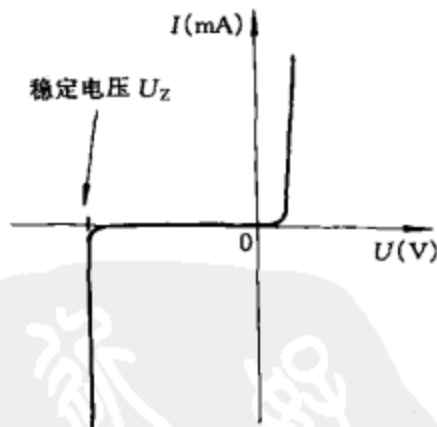


图 3-26

3.2.5 稳压二极管有哪些作用

稳压二极管的作用是稳压，主要应用在各种稳压电路中。

1. 并联稳压电路

图 3-27 所示为简单并联稳压电路，稳压二极管 VD 上的电压即为输出电压。这种简单并联稳压电路主要应用在输入电压变化不大、负载电流较小的场合。

2. 简单串联稳压电路

图 3-28 所示为简单串联稳压电路，由于调整管 VT 的基极电压被稳压二极管 VD 所稳定，所以当输出电压发生变化时，调整管 VT 的基-射极间电压相应变化，使得 VT 的管压降向相反方向变化，从而使输出电压基本保持稳定。

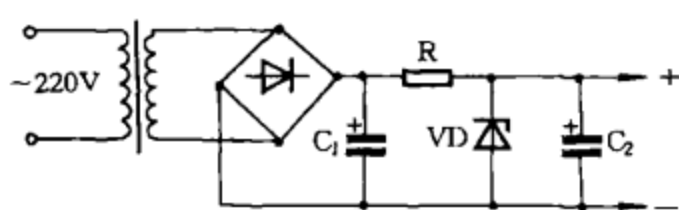


图 3-27

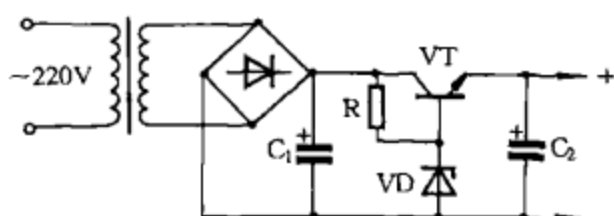


图 3-28

3. 典型串联稳压电路

图 3-29 所示为应用广泛的带放大环节的典型串联稳压电路，在调整管 VT₁ 基极与稳压二极管 VD 之间，增加了一个由 VT₂ 构成的直流放大器，起比较放大作用，因此该电路稳压效果较好。当输出电压发生变化时，VT₂ 将输出电压与稳压二极管 VD 提供的基准电压进行比较，并将差值放大后去控制调整管 VT₁ 的管压降作相反方向的变化，从而保持输出电压稳定。

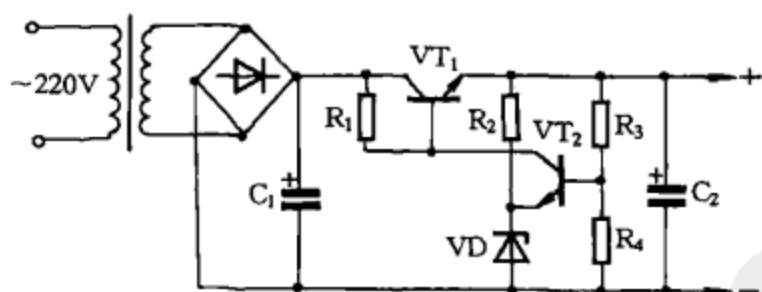


图 3-29



李蕾蕾：我们知道稳压二极管具有正、负极两个引脚，可是我还看到过具有 3 个引脚的稳压二极管，这是什么样的特殊管子呢，请门老师给我们讲讲。



门老师：好的，下面我们就来讲讲特殊的稳压二极管。

3.2.6 特殊稳压二极管

1. 三引脚稳压管

三引脚稳压管是一种具有温度补偿的稳压二极管，例如 2DW7 系列、2DW8 系列等，其外形与晶体三极管一样，具有 3 只引脚，其管壳内包含了两个背靠背反向串联的稳压二极管，如图 3-30 所示。①脚和②脚分别为两个稳压二极管的负极，由于是对称的，可随意互换，使用时一个接电源正极，另一个接地。③脚为两个稳压二极管的公共正极，悬空不用，如图 3-31 所示。

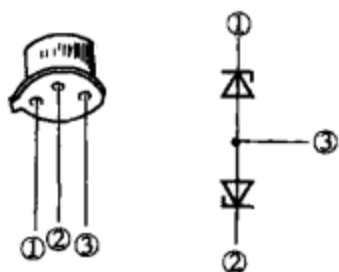


图 3-30

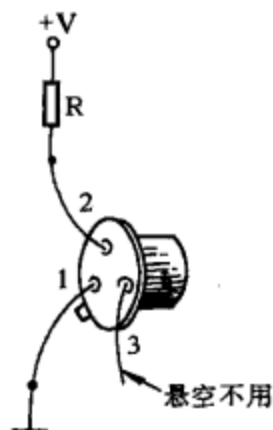


图 3-31

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

2. 瞬态电压抑制二极管

瞬态电压抑制二极管是一种特殊的稳压二极管，它在遇到高能量瞬态浪涌电压时，能迅速反向击穿泄放浪涌电流，并将其电压钳位于规定值，起到过压保护作用。

瞬态电压抑制二极管有单极型（单向击穿型）和双极型（双向击穿型）两种，其符号如图 3-32 所示。

（1）单极型瞬态电压抑制二极管具有一个 PN 结，一般用于直流电路负载保护。保护电路如图 3-33 所示，VD 为单极型瞬态电压抑制二极管，R 是限流电阻。

（2）双极型瞬态电压抑制二极管具有背对背的两个 PN 结，具有双向过压保护功能，可用于包括交流电路在内的各电路不同部位的保护。保护电路如图 3-34 所示，VD₁、VD₂ 为双极型瞬态电压抑制二极管。

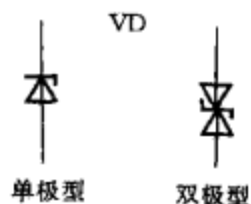


图 3-32

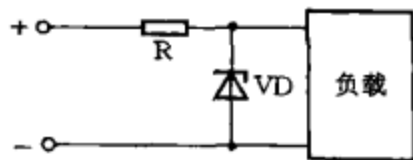


图 3-33

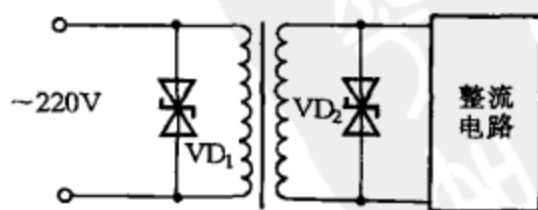


图 3-34

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

3.2.7 怎样检测稳压二极管

1. 常规检测

稳压二极管可用万用表进行引脚识别和检测。其检测方法与检测晶体二极管基本相同，只是稳压二极管的反向电阻要小一些。

2. 测量稳压值

（1）稳压值在 15V 以下的稳压二极管，可以用 MF47 万用表直接测量其稳压值。具体方法是：将万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，红表笔（表内电池负极）接稳压二极管正极，黑表笔（表内电池正极）接稳压二极管负极，如图 3-35 所示。

因为 MF47 万用表内“ $R \times 10k$ ”挡所用高压电池为 15V，所以读数时刻度线最左端为 15V，最右端为 0。例如，测量时表针指在左 1/3 处，则其读数为 10V，如图 3-36 所示。

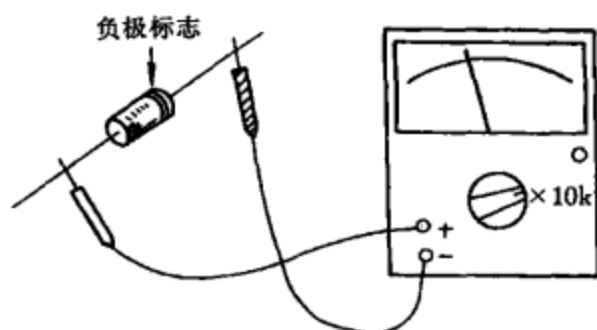


图 3-35

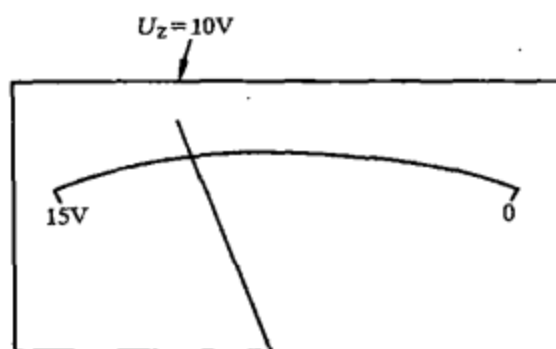


图 3-36

可利用万用表原有的 50V 挡刻度来读数，并代入以下公式求出稳压值 U_Z ：

$$U_Z = \frac{50 - x}{50} \times 15V$$

式中， x 为 50V 挡刻度线上的读数。如果所用万用表的“ $R \times 10k$ ”挡高压电池不是 15V，则将上式中的“15V”改为自己所用万用表内高压电池的电压值即可。

（2）对于稳压值 $U_Z \geq 15V$ 的稳压二极管，可接入模拟工作电路进行测量。电路如图 3-37 所示，直流电源输出电压应大于被测稳压二极管的稳压值，适当选取限流电阻 R 的阻值，使稳压二极管反

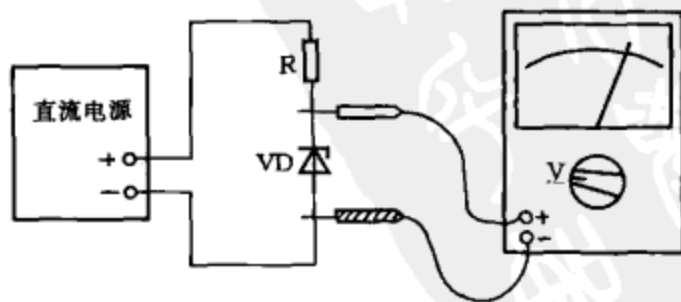


图 3-37

向工作电流为 5~10mA，用万用表直流电压挡即可直接测量出稳压二极管的稳压值。

门老师：好，现在我们来归纳一下本讲的知识要点。

- (1) 稳压二极管是一种特殊的具有稳压功能的二极管，工作于反向击穿状态。
- (2) 稳压二极管的文字符号为“VD”。
- (3) 稳压二极管的主要参数是稳定电压和最大工作电流。
- (4) 稳压二极管的特点是工作于反向击穿状态时具有稳定的端电压。
- (5) 稳压二极管的作用是稳压。
- (6) 瞬态电压抑制二极管是一种特殊的稳压二极管，其作用是过压保护。
- (7) 稳压二极管可以用万用表进行引脚识别和性能检测，以及测量其稳压值。

第 3 讲 发光二极管

门老师：第 3 课第 3 讲的内容是发光二极管，包括发光二极管的种类、符号和极性，发光二极管的主要参数，发光二极管的特点和作用，发光二极管的检测方法等。

3.3.1 什么是发光二极管

发光二极管英文缩写为 LED，是一种具有一个 PN 结的半导体电致发光器件。

1. 发光二极管的种类

发光二极管种类很多，如图 3-38 所示。

(1) 按发光光谱可分为可见光发光二极管和红外光发光二极管两类，其中可见光发光二极管包括红、绿、黄、橙、蓝等颜色。按发光效果可分为固定颜色发光二极管和变色发光二极管两类，其中变色发光二极管包括双色和三色等。

(2) 发光二极管的体积有大、中、小等多种规格。

(3) 发光二极管还可分为普通型和特殊型两类。特殊型包括组合发光二极管、带阻发光二极管（电压型发光二极管）、闪烁发光二极管等。图 3-39 所示为发光二极管外形。

2. 发光二极管的符号

发光二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 3-40 所示。

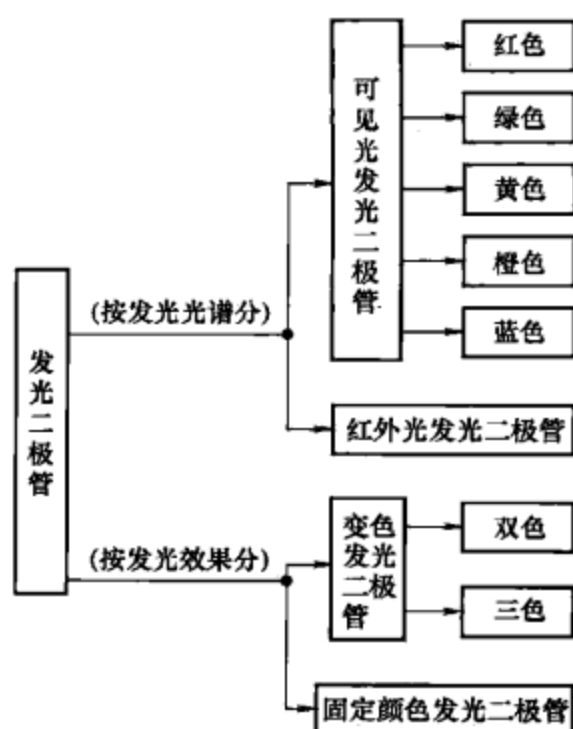


图 3-38

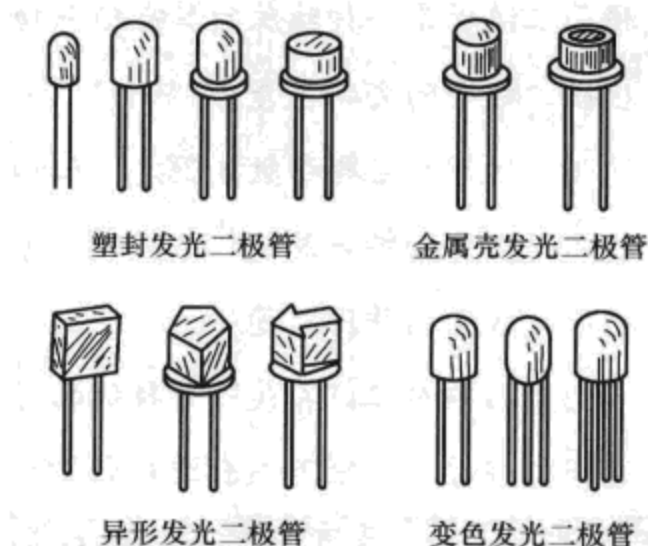


图 3-39

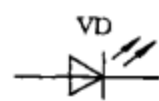


图 3-40

3.3.2 怎样识别发光二极管

发光二极管是一个有正、负极之分的器件，使用前应先分清它的正、负极。

发光二极管两引脚中，较长的是正极，较短的是负极。对于透明或半透明塑料封装的发光二极管，可以用肉眼观察到它的内部电极的形状，正极的内电极较小，负极的内电极较大，如图 3-41 所示。

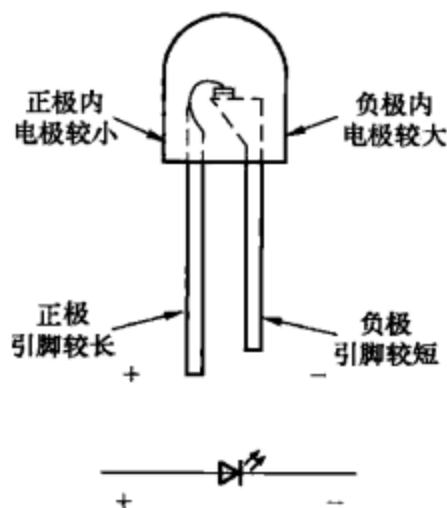


图 3-41

3.3.3 怎样理解发光二极管的参数

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

1. 最大工作电流

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

2. 最大反向电压

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

3. 其他参数

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

3.3.4 发光二极管有什么特点

发光二极管的特点是能够发光。发光二极管与普通二极管一样具有单向导电性，当有足够的正向电流通过PN结时，便会发出不同颜色的可见光或红外光。

3.3.5 发光二极管有哪些作用

发光二极管的主要作用是指示和光发射，并可作为稳压管使用。发光二极管广泛应用于显示、指示、遥控和通信领域。

1. 指示

(1) 发光二极管的典型应用电路如图 3-42 所示， R 为限流电阻， I 为通过发光二极管的正向电流。发光二极管的管压降一般比普通二极管大，约为 $2V$ ，电源电压必须大于管压降，发光二极管才能正常工作。

(2) 发光二极管用于交流电源指示的电路，如图 3-43 所示， VD_1 为整流二极管， VD_2 为发光二极管， R 为限流电阻， T 为电源变压器。

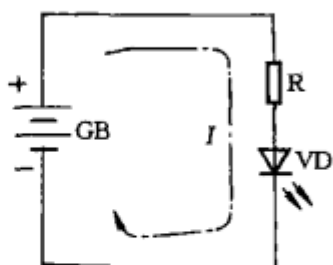


图 3-42

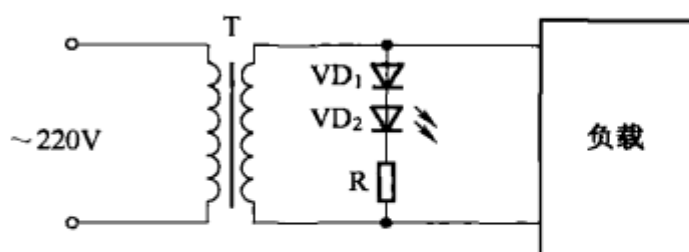


图 3-43

2. 光发射

在红外遥控器、红外无线耳机、红外报警器等电路中，红外发光二极管担任光发射管，电路如图 3-44 所示， VT 为开关调制晶体管， VD 为红外发光二极管。信号源通过 VT 驱动和调制 VD ，使 VD 向外发射调制红外光。

3. 稳压

发光二极管可作为低电压稳压二极管使用。图 3-45 所示为简单并联稳压电路，利用发光二极管 VD 的管压降，可提供 $+2V$ 的直流稳压输出。 VD 同时具有电源指示功能。

4. 发光二极管的扫描驱动

需要点亮多个发光二极管时,可以采用扫描驱动的方式,以简化电路和节约电能。如图 3-46 所示,电子开关将电源电压依次快速轮流接入 4 个发光二极管,只要轮流的速度足够快,看起来这 4 个发光二极管都一直在亮着。

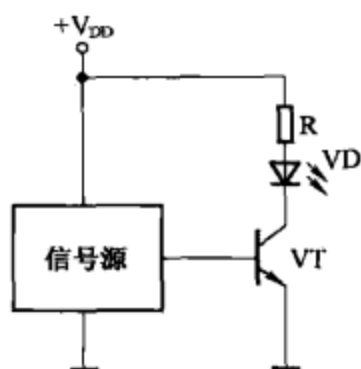


图 3-44

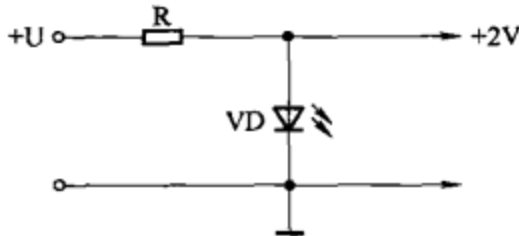


图 3-45

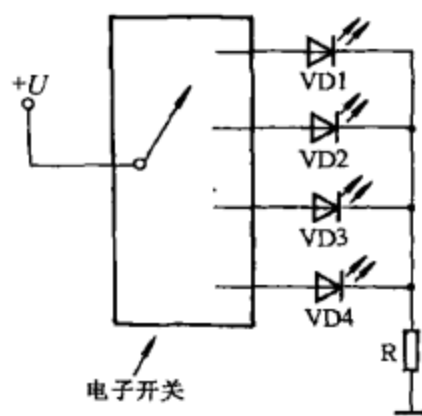


图 3-46

李蕾蕾: 发光二极管五颜六色真是漂亮,有的发光二极管颜色还会变化呢。门老师,您给我们讲讲吧。

门老师: 好的。发光二极管的价值所在就是它的发光,可以说发光二极管是最美丽的电子元器件。为了追求更好看的光,人们做了不懈的努力,不仅制造出了红、黄、绿、蓝、白等各种颜色的发光二极管,而且研发出了会变色的发光二极管。

3.3.6 特殊发光二极管

1. 双色发光二极管

(1) 双色发光二极管的特点是可以发出两种颜色的光。

(2) 双色发光二极管是将两种发光颜色(常见的为红色和绿色)的管芯反向并联后封装在一起,如图 3-47 所示。当工作电压为左正右负时,电流 I_1 通过管芯 VD_1 使其发红光;当工作电压为左负右正时,电流 I_2 通过管芯 VD_2 使其发绿光。

(3) 可以用脉冲驱动的方式使双色发光二极管发出其他颜色的光。如图 3-48 所示,在双色发光二极管左右两端分别接入互为反相的脉冲电压 CP_1 和 CP_2 。只要 CP 频率足够高,当 CP_1 和 CP_2 占空比相同时,双色发光二极管发橙色光;当 CP_1

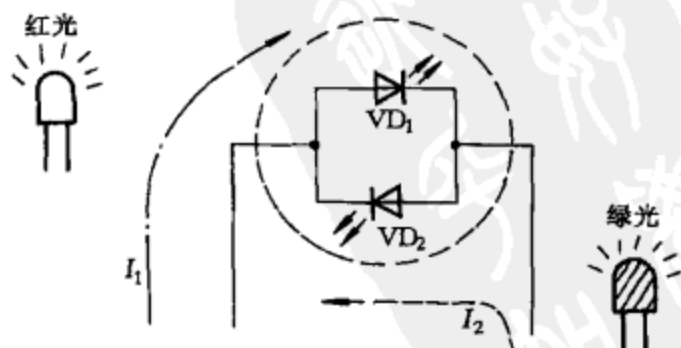


图 3-47

占空比大于 CP_2 占空比时，双色发光二极管发偏红光；当 CP_1 占空比小于 CP_2 占空比时，双色发光二极管发偏绿光。

2. 变色发光二极管

(1) 变色发光二极管的特点是发光颜色可以变化。变色发光二极管分为共阴极和共阳极两种。

(2) 共阴极 3 引脚变色发光二极管内部结构如图 3-49 所示，两种发光颜色（通常为红、绿色）的管芯负极连接在一起。3 引脚中，左右两边的引脚分别为红、绿色发光二极管的正极，中间的引脚为公共负极。

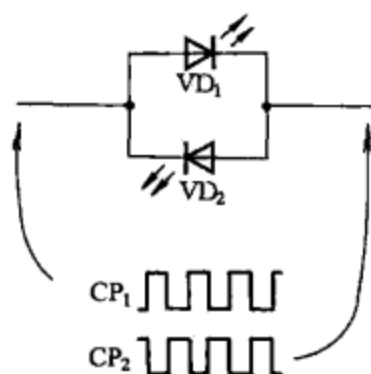


图 3-48

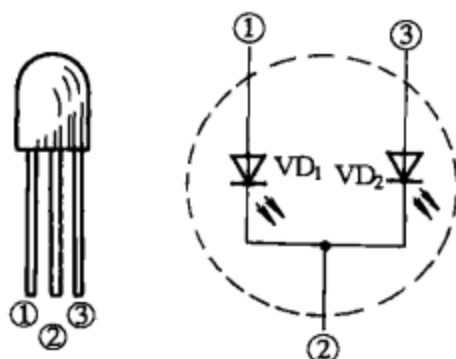


图 3-49

使用时，公共负极②脚接地。当①脚接入工作电压时，电流 I_1 通过管芯 VD_1 使其发红光；当③脚接入工作电压时，电流 I_2 通过管芯 VD_2 使其发绿光；当①脚和③脚同时接入工作电压时，发光二极管发橙色光；当 I_1 与 I_2 的大小不同时，发光二极管发光颜色按比例在红—橙—绿之间变化，如图 3-50 所示。

(3) 共阳极 3 引脚变色发光二极管内部结构如图 3-51 所示，与共阴极管不同的是，两种发光颜色的管芯正极连接在一起。3 引脚中，左右两边的引脚分别为两种颜色发光二极管的负极，中间的引脚为公共正极。使用时，公共正极②脚接工作电压，其余两引脚按需要接地即可。

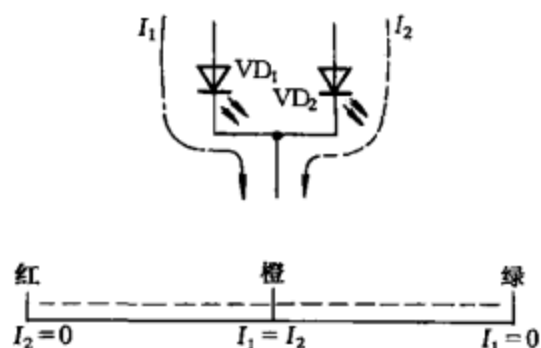


图 3-50

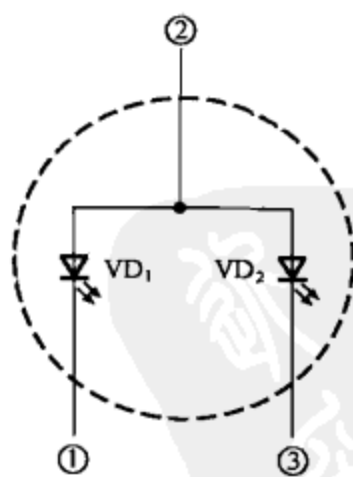


图 3-51

3. 三色发光二极管

(1) 三色发光二极管是将 3 种不同颜色的管芯封装在一起，也分为共阴极和共阳极两种。

(2) 共阴极 4 引脚三色发光二极管内部结构如图 3-52 所示, 3 种发光颜色 (例如红、蓝、绿三色) 的管芯负极连接在一起。4 引脚中, ①脚为绿色发光二极管的正极, ②脚为蓝色发光二极管的正极, ③脚为公共负极, ④脚为红色发光二极管的正极。使用时, 公共负极③脚接地, 其余引脚按需要接入工作电压即可。

(3) 共阳极 4 引脚三色发光二极管内部结构如图 3-53 所示, 3 种发光颜色的管芯正极连接在一起。使用时, 公共正极③脚接工作电压, 其余引脚按需要接地即可。

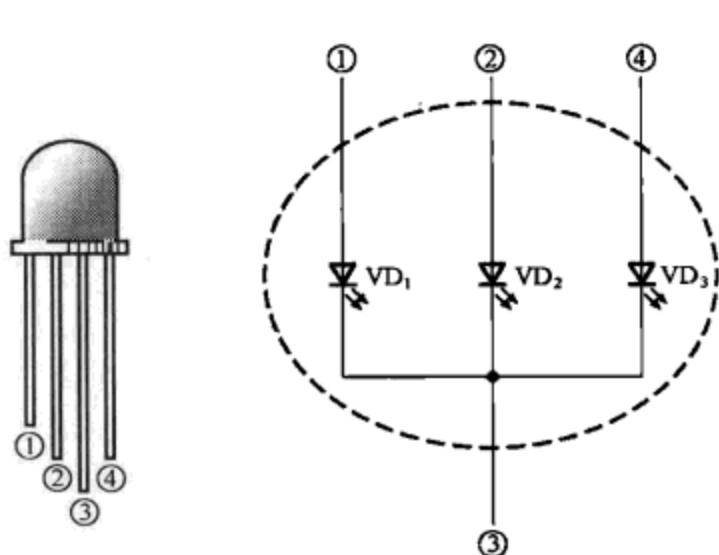


图 3-52

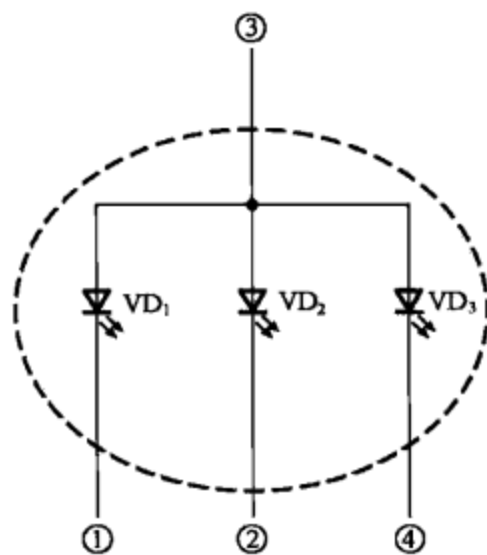


图 3-53

4. 带阻发光二极管

带阻发光二极管又称电压型发光二极管, 其电路结构如图 3-54 所示。带阻发光二极管已将限流电阻做到了发光二极管内, 只要接入规定的直流电压即可发光。

5. 闪烁发光二极管

闪烁发光二极管是一种特殊的发光二极管, 它将控制电路集成到了发光二极管内, 如图 3-55 所示, 接入规定的直流电压即可发出一定频率的脉冲光。

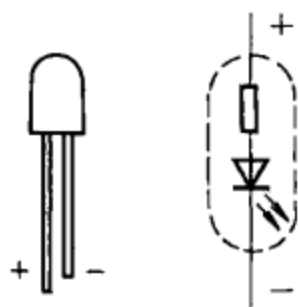


图 3-54

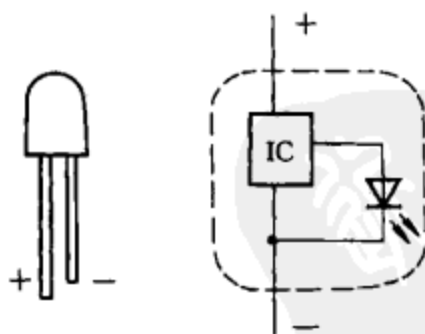


图 3-55

3.3.7 怎样检测发光二极管

用万用表检测发光二极管时, 必须使用 “ $R \times 10k$ ” 挡。因为发光二极管的管压降为 2V 左

右，而万用表“ $R \times 1k$ ”及其以下各电阻挡表内电池仅为 1.5V，低于管压降，无论正、反向接入，发光二极管都不可能导通，也就无法检测。“ $R \times 10k$ ”挡时表内接有 15V（有些万用表为 9V）高压电池，高于管压降，所以，可以用来检测发光二极管，如图 3-56 所示。

1. 检测一般发光二极管

万用表黑表笔（表内电池正极）接发光二极管正极，红表笔（表内电池负极）接发光二极管负极，这时发光二极管为正向接入，表针应偏转过半，同时发光二极管中有一发光亮点，如图 3-57 所示。

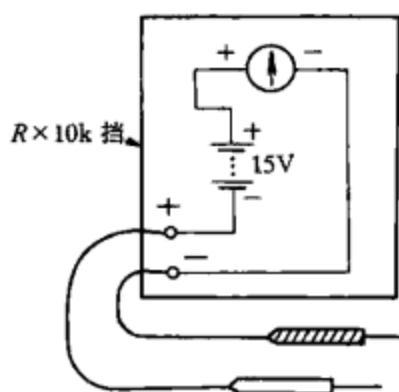


图 3-56

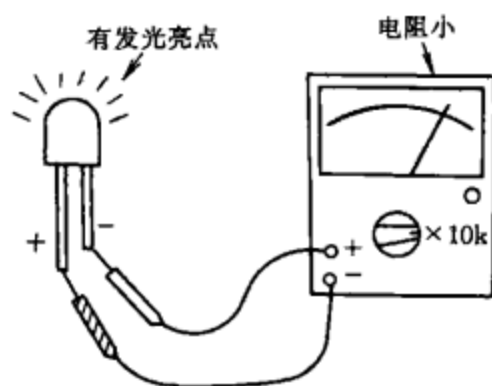


图 3-57

再将两表笔对调后与发光二极管相接，这时为反向接入，表针应不动，发光二极管无发光亮点，如图 3-58 所示。如果无论正向接入还是反向接入，表针都偏转到头或都不动，则说明该发光二极管已损坏。

2. 检测双色发光二极管

检测双色发光二极管时，表笔对调前后测量的都是发光二极管的正向电阻，表针指示的阻值都较小，如图 3-59 所示。但两次测量的不是同一个管芯，发光二极管中的发光亮点应分别为两种颜色。

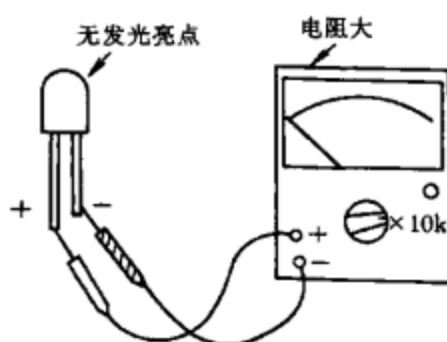


图 3-58

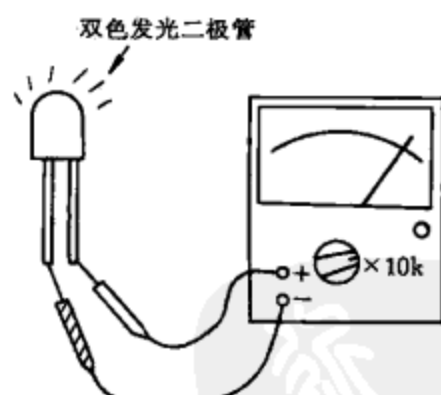


图 3-59

3. 检测变色发光二极管

(1) 检测共阴极 3 引脚变色发光二极管的方法如图 3-60 所示，红表笔接变色发光二极管的中间引脚（公共负极），黑表笔分别接左右两引脚，发光二极管应分别有不同颜色的发光亮点，同时表针指示发光二极管的正向电阻。



(2) 检测共阳极 3 引脚变色发光二极管时, 将红、黑表笔对调即可。

4. 检测三色发光二极管

(1) 检测共阴极 4 引脚三色发光二极管的方法如图 3-61 所示, 红表笔接公共负极③脚, 黑表笔分别接其余 3 只引脚, 发光二极管应分别有不同颜色的发光亮点, 同时表针指示发光二极管的正向电阻。

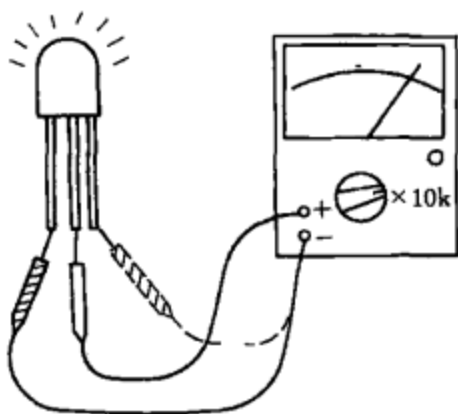


图 3-60

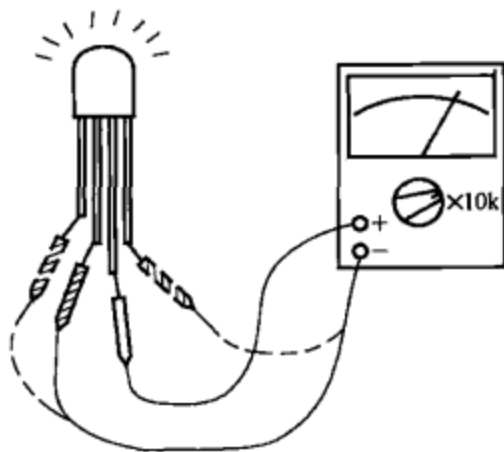


图 3-61

(2) 检测共阳极 4 引脚三色发光二极管时, 将红、黑表笔对调即可。



门老师: 下面我们来归纳一下发光二极管的主要知识点。

- (1) 发光二极管的英文缩写为 LED, 是一种具有一个 PN 结的半导体电致发光器件, 分为可见光发光二极管和红外光发光二极管。
- (2) 发光二极管的文字符号为 “VD”。
- (3) 发光二极管的主要参数有最大工作电流和最大反向电压。
- (4) 发光二极管的主要作用是指示和光发射, 并可作为稳压管使用。
- (5) 变色发光二极管的特点是发光颜色可以变化, 分为共阴极和共阳极两种。
- (6) 用万用表检测发光二极管时, 必须使用 “ $R \times 10k$ ” 挡。

第 4 讲 单结晶体管



门老师: 现在我们讲第 3 课的最后一讲单结晶体管, 主要内容是单结晶体管的概念、种类和符号, 单结晶体管的识别方法, 单结晶体管的主要参数, 单结晶体管的特点和作用, 单晶晶体管的检测方法等。

3.4.1 什么是单结晶体管

单结晶体管又称为双基极二极管，是一种具有一个 PN 结和两个欧姆电极的负阻半导体器件。

1. 单结晶体管的种类

单结晶体管可分为 N 型基极单结晶体管 and P 型基极单结晶体管两大类，具有陶瓷封装和金属壳封装等形式。图 3-62 所示为常见单结晶体管外形。

2. 单结晶体管的符号

单结晶体管的文字符号为“V”，图形符号如图 3-63 所示。

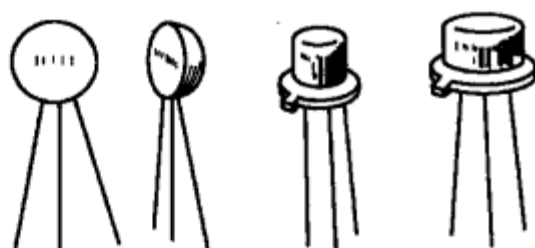


图 3-62

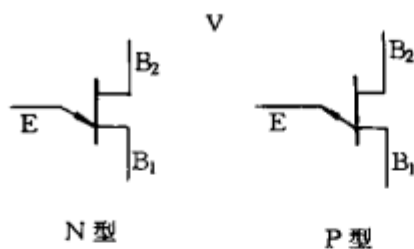


图 3-63

3.4.2 怎样识别单结晶体管

1. 单结晶体管的命名方法

国产单结晶体管的型号命名由 5 部分组成，如图 3-64 所示。第一部分用字母“B”表示半导体管，第二部分用字母“T”表示特种管，第三部分用数字“3”表示有 3 个电极，第四部分用数字表示耗散功率，第五部分用字母表示特性参数分类。

2. 单结晶体管的引脚

单结晶体管共有 3 只引脚，分别是发射极 E、第一基极 B₁ 和第二基极 B₂。图 3-65 所示为两种典型单结晶体管的引脚排列。

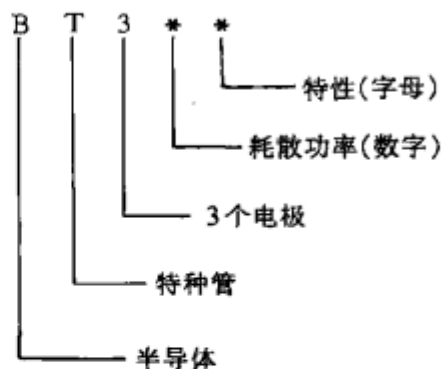


图 3-64

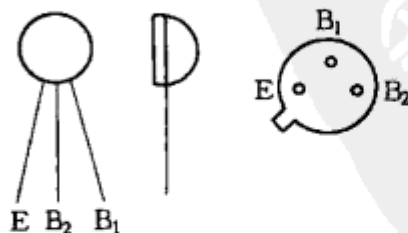


图 3-65

3.4.3 怎样理解单结晶体管的参数

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

1. 分压比

分压比 η 是指单晶体管发射极 E 至第一基极 B_1 间的电压（不包括 PN 结管压降）占两基极间电压的比例，如图 3-66 所示。 η 是单晶体管很重要的参数，一般在 0.3~0.9，是由管子内部结构所决定的常数。

2. 峰点电压与电流

峰点电压 U_P 是指单晶体管刚开始导通时的发射极 E 与第一基极 B_1 间的电压，其所对应的发射极电流叫做峰点电流 I_P ，如图 3-67 所示。

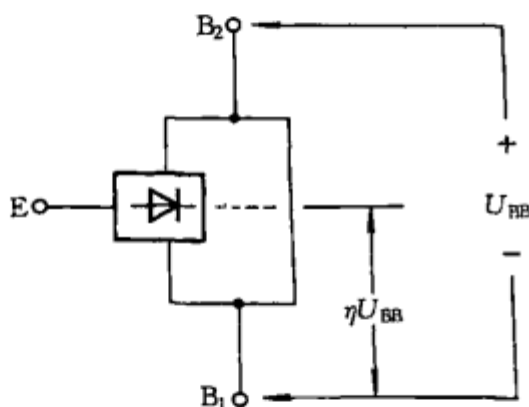


图 3-66

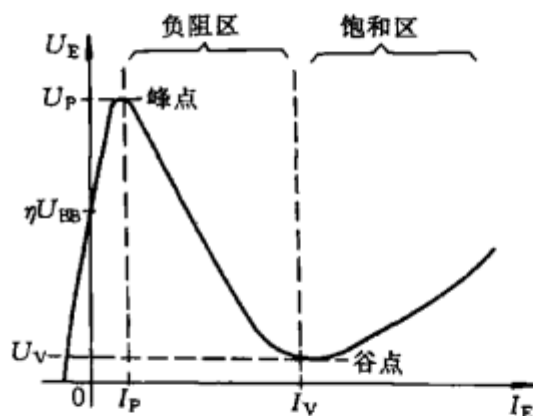


图 3-67

3. 谷点电压与电流

谷点电压 U_V 是指单晶体管由负阻区开始进入饱和区时的发射极 E 与第一基极 B_1 间的电压，其所对应的发射极电流叫做谷点电流 I_V ，如图 3-67 所示。

4. 调制电流

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

5. 耗散功率

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

王小帅：门老师，按照欧姆定律电压与电流应该是成正比关系，可为什么单结晶体管的电流-电压曲线中有一段却是电流增大而电压减小呢？

门老师：这是由单结晶体管的特殊结构所决定的。单结晶体管的电流-电压曲线中，电流增大而电压减小的那一段叫做“负阻区”，这是单结晶体管的最重要的特性。

3.4.4 单结晶体管有什么特点

1. 单结晶体管的特点

单结晶体管最重要的特点是具有负阻特性，如图 3-67 特性曲线中负阻区所示。

2. 单结晶体管的工作原理

单结晶体管的基本工作原理如图 3-68 所示（以 N 型基极单结晶体管为例）。当发射极电压 U_E 大于峰点电压 U_P 时，PN 结处于正向偏置，单结晶体管导通。随着发射极电流 I_E 的增加，大量空穴从发射极注入硅晶体，导致发射极与第一基极间的电阻急剧减小，其间的电位也就减小，呈现出负阻特性。

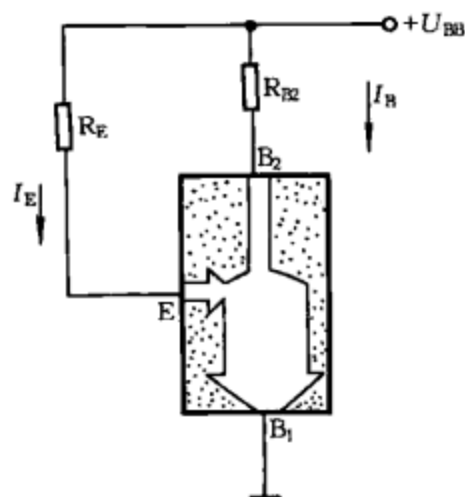


图 3-68

李蕾蕾：单结晶体管的负阻特性有什么实际使用价值吗？

门老师：单结晶体管的负阻特性应用在某些电路方面，将会带来很大的方便。下面我们来讲讲单结晶体管的主要作用。

3.4.5 单结晶体管有哪些作用

单结晶体管的基本作用是组成脉冲产生电路，包括弛张振荡器、波形发生器等，并可使电路结构大为简化。此外，单结晶体管还可用作延时电路和触发电路。

1. 弛张振荡器

图 3-69 所示为单结晶体管弛张振荡器。单结晶体管 V 的发射极输出锯齿波，第一基极输出窄脉冲，第二基极输出方波。 R_E 与 C 组成充放电回路，改变 R_E 或 C 即可改变振荡周期。该电路振荡周期 $T \approx R_E C \ln \left(\frac{1}{1-\eta} \right)$ ，式中，ln 为自然对数，即以 e (2.718) 为底的对数。

2. 延时电路

单结晶体管可以用作延时电路。图 3-70 所示为延时接通开关电路，电源开关 SA 接通后，继电器 K 并不立即吸合。这时电源经 RP 和 R_1 向 C 充电，直到 C 上所充电压达到峰点电压 U_P 时，单结晶体管 V 导通，K 才吸合。触点 K-1 和 K-2 使 K 保持吸合状态。调节 RP 可改变延时时间。

3. 触发电路

单结晶体管还可以用作晶闸管触发电路。图 3-71 所示为调光台灯电路，在交流电的每半周内，晶闸管 VS 由单结晶体管 V 输出的窄脉冲触发导通。调节 RP 便改变了 V 输出窄脉冲的时间，即改变了 VS 的导通角，从而改变了流过照明灯泡 EL 的电流，实现了调光的目的。

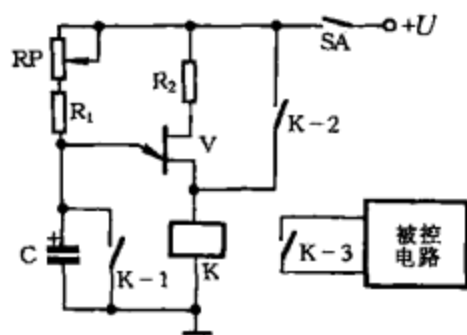


图 3-70

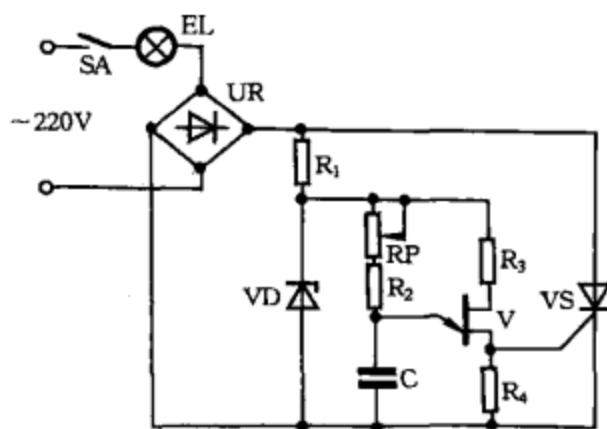


图 3-71

3.4.6 怎样检测单结晶体管

单结晶体管可以用万用表进行检测。

1. 检测两基极间电阻

万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，两表笔（不分正、负）接单结晶体管除发射极 E 以外的两个引脚，如图 3-72 所示，读数应为 $3 \sim 10k\Omega$ 。

2. 检测 PN 结

(1) 检测 PN 结正向电阻时（以 N 型基极管为例，下同），黑表笔（表内电池正极）接发射极 E，红表笔分别接两个基极，如图 3-73 所示，读数均应为几千欧。

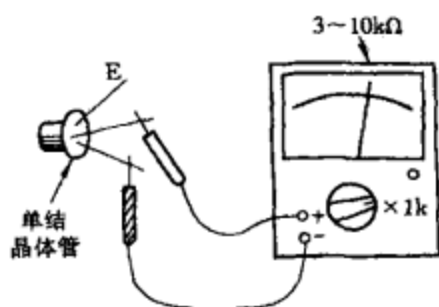


图 3-72

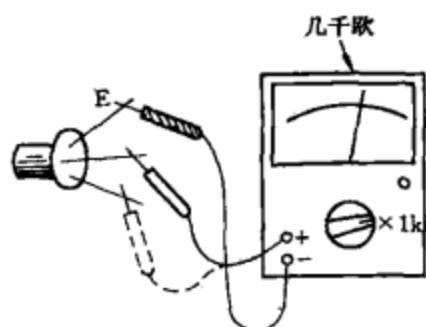


图 3-73

(2) 检测 PN 结反向电阻时, 红表笔接发射极 E, 黑表笔分别接两个基极, 如图 3-74 所示, 读数均应为无穷大。如果测量结果与上述不符, 则说明被测单结晶体管已损坏。

3. 测量单结晶体管的分压比

图 3-75 所示为测量单结晶体管分压比 η 的电路, 用万用表“直流 10V”挡测出 C_2 上的电压 U_{C2} , 再代入公式 $\eta = \frac{U_{C2}}{U_B}$ 即可计算出该单结晶体管的分压比。

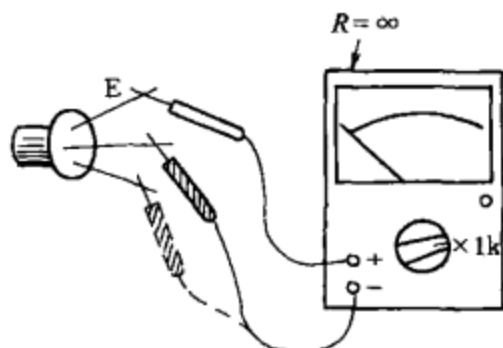


图 3-74

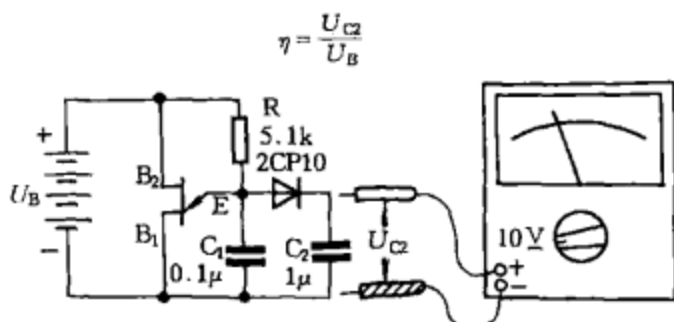


图 3-75

门老师: 单结晶体管就讲到这里, 哪位同学来归纳一下本讲主要的知识点。

众同学: (举手)

门老师: 请李蕾蕾同学来归纳。

李蕾蕾: 通过门老师的讲解, 我认为单结晶体管的主要知识点有以下几个。

- (1) 单结晶体管又称为双基极二极管, 是一种具有一个 PN 结和两个欧姆电极的半导体器件。
- (2) 单结晶体管的文字符号为 “V”。
- (3) 单结晶体管的主要参数有分压比、峰点电压与电流、谷点电压与电流、调制电流和耗散功率等。
- (4) 单结晶体管最重要的特点是具有负阻特性。
- (5) 单结晶体管的基本作用是组成弛张振荡器, 并可用作延时电路和触发电路。
- (6) 单结晶体管可以用万用表进行检测。



门老师：归纳得很好。同学们，到这里第3课晶体二极管与单结晶体管就讲完了，以下是第3课的思考题。

- (1) 晶体二极管有哪些种类，它们的符号、型号和极性如何识别？
- (2) 晶体二极管具有什么特性，有哪些主要参数，主要应用在哪些方面？
- (3) 稳压二极管与一般的二极管有何不同？
- (4) 稳压二极管的主要作用是什么？
- (5) 发光二极管的工作原理是什么，怎样使用发光二极管？
- (6) 什么是单结晶体管，它有什么特点？
- (7) 列举单结晶体管的主要用途。
- (8) 怎样检测各类二极管？



资源解密
PDG

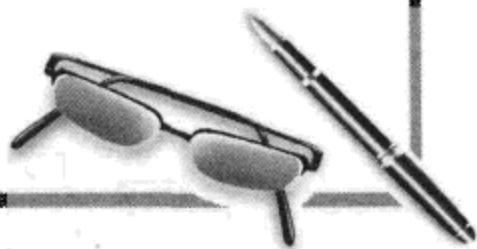
第4课 晶体三极管与晶体闸流管



门老师：同学们，今天我们开始讲第4课：晶体三极管与晶体闸流管。晶体三极管

（包括场效应管）是具有放大作用的半导体器件，是电子电路中的核心器件之一。

晶体闸流管（简称晶闸管）是一种功率型半导体器件，包括单向晶闸管、双向晶闸管和可关断晶闸管等。它们在各种电子电路中的应用十分广泛。这一课我们分为5讲，第1讲晶体三极管，第2讲场效应管，第3讲单向晶闸管，第4讲双向晶闸管，第5讲可关断晶闸管。



第1讲 晶体三极管



门老师：现在我们讲第1讲，主要内容是晶体三极管的概念、种类和符号，晶体三极管的型号命名和引脚识别方法，晶体三极管的主要参数，晶体三极管的特点和工作原理，晶体三极管的主要作用，晶体三极管的检测方法等。

4.1.1 什么是晶体三极管

晶体三极管通常简称晶体管或三极管，是一种具有两个PN结的半导体器件。图4-1所示为常见晶体三极管外形。

1. 晶体三极管的种类

晶体三极管的种类繁多，如图4-2所示。

（1）按所用半导体材料的不同，可分为锗管、硅管和化合物管。

（2）按导电极性不同，可分为NPN型和PNP型两大类。NPN型管工作时，集电极c和基极b接正电，电流由集电极c和基极b流向发射极e。PNP型管工作时，集电极c和基极b接负电，电流由发射极e流向集电极c和基极b。

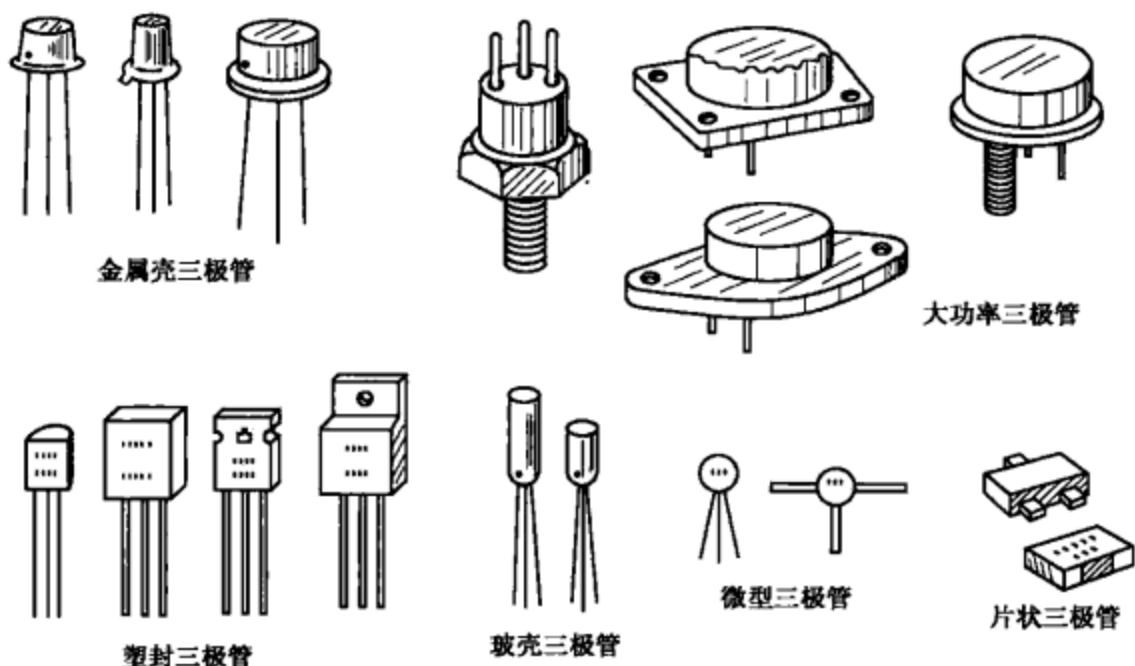


图 4-1

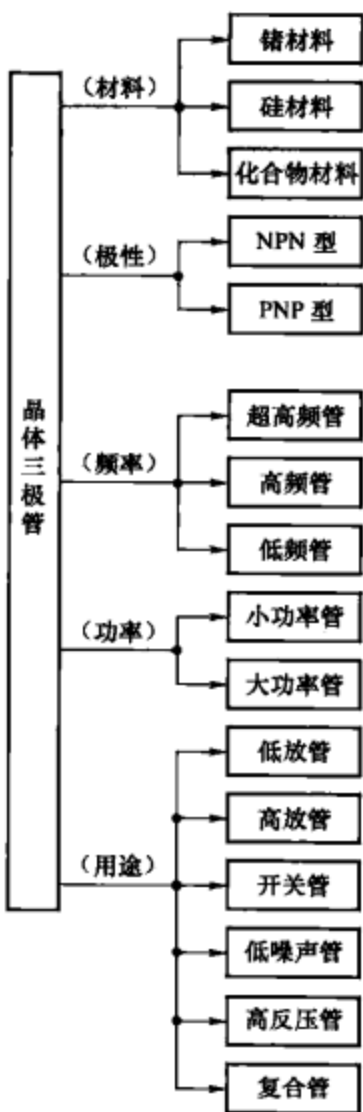


图 4-2

(3) 按截止频率不同, 可分为超高频管、高频管 ($\geq 3\text{MHz}$) 和低频管 ($< 3\text{MHz}$)。

(4) 按耗散功率不同, 可分为小功率管 ($< 1\text{W}$) 和大功率管 ($\geq 1\text{W}$)。

(5) 按用途不同, 可分为低频放大管、高频放大管、开关管、低噪声管、高反压管、复合管等。

2. 晶体三极管的符号

晶体三极管的文字符号为“VT”，图形符号如图 4-3 所示。

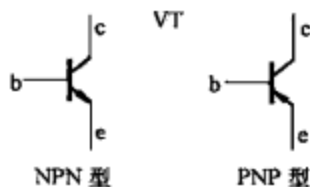


图 4-3

4.1.2 怎样识别晶体三极管

1. 晶体三极管的命名方法

国产晶体三极管的型号命名由 5 部分组成, 如图 4-4 所示。第一部分用数字“3”表示三极管, 第二部分用字母表示材料和极性, 第三部分用字母表示类型, 第四部分用数字表示序号, 第五部分用字母表示规格。

晶体三极管型号的意义见表 4-1。例如, 3AX31 为 PNP 型锗材料低频小功率晶体三极管, 3DG6B 为 NPN 型硅材料高频小功率晶体三极管。

表 4-1 三极管型号的意义

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

2. 晶体三极管的引脚

晶体三极管具有 3 只引脚，分别是基极 b、发射极 e 和集电极 c，使用中应识别清楚。绝大多数小功率三极管的引脚均按 e-b-c 的标准顺序排列，并标有标志，如图 4-5 所示。但也有例外，如某些三极管型号后有后缀“R”，其引脚排列顺序往往是 e-c-b。

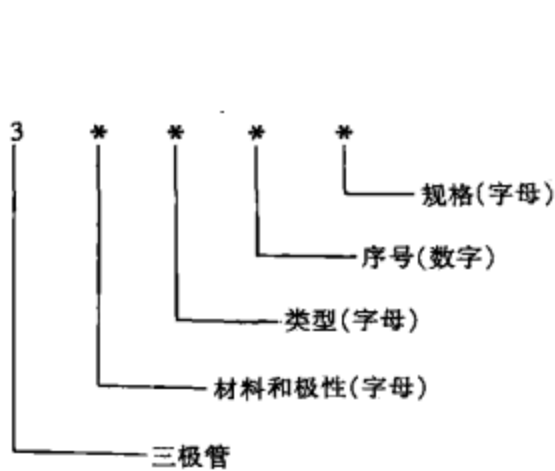


图 4-4

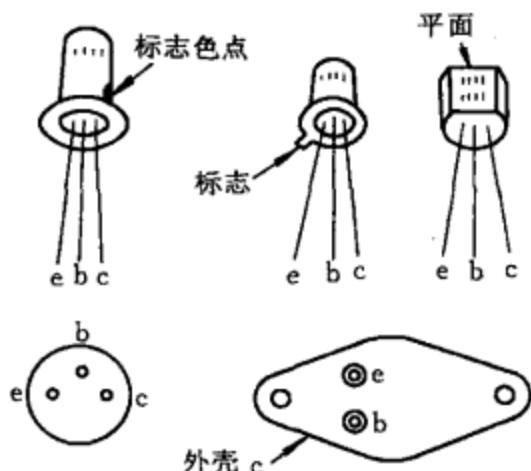


图 4-5

4.1.3 怎样理解晶体三极管的参数

晶体三极管的参数很多，包括直流参数、交流参数、极限参数 3 类，但一般使用时只需关注电流放大系数 β 、特征频率 f_T 、集电极-发射极击穿电压 BU_{CEO} 、集电极最大电流 I_{CM} 和集电极最大功耗 P_{CM} 等项即可。

1. 电流放大系数

电流放大系数（又称电流放大倍数） β 和 h_{FE} 是晶体三极管的主要电参数之一。

(1) β 是三极管的交流电流放大系数, 指集电极电流 I_c 的变化量与基极电流 I_b 的变化量之比, 反映了三极管对交流信号的放大能力。

(2) h_{FE} 是三极管的直流电流放大系数 (也可用 β 表示), 指集电极电流 I_c 与基极电流 I_b 的比值, 反映了三极管对直流信号的放大能力。

图 4-6 所示为 3DG6 管的输出特性曲线, 当 I_b 从 $40\mu A$ 上升到 $60\mu A$ 时, 相应的 I_c 从 $6mA$ 上升到 $9mA$, 其电流放大系数 $\beta = \frac{(9-6) \times 10^3}{60-40} = 150$ 。

2. 特征频率

特征频率 f_T 是晶体三极管的另一主要电参数。三极管的电流放大系数 β 与工作频率有关, 工作频率超过一定值时, β 值开始下降。当 β 值下降为 1 时, 所对应的频率即为特征频率 f_T , 如图 4-7 所示。这时三极管已完全没有电流放大能力。一般应使三极管的工作频率不超过 $5\% f_T$ 。

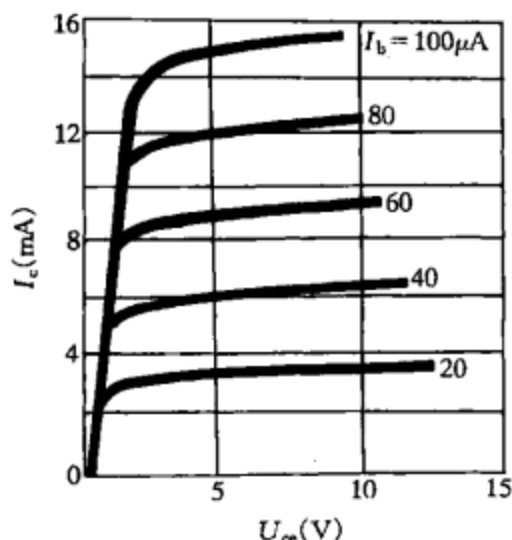


图 4-6

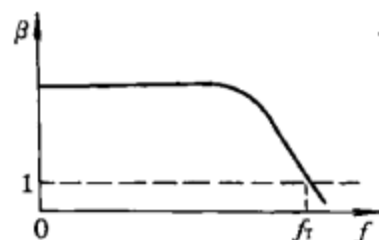


图 4-7

3. 集电极击穿电压

集电极-发射极击穿电压 BU_{CEO} 是晶体三极管的一项极限参数。 BU_{CEO} 是指基极开路时, 所允许加在集电极与发射极之间的最大电压。一旦工作电压超过 BU_{CEO} , 三极管将可能被击穿。

4. 集电极最大电流

集电极最大电流 I_{CM} 也是晶体三极管的一项极限参数。 I_{CM} 是指三极管正常工作时, 集电极所允许通过的最大电流。三极管的工作电流不应超过 I_{CM} 。

5. 集电极最大功耗

集电极最大功耗 P_{CM} 是晶体三极管的又一项极限参数。 P_{CM} 是指三极管性能不变坏时所允许的最大集电极耗散功率。使用时, 三极管实际功耗应小于 P_{CM} 并留有一定余量, 以防烧管。

4.1.4 晶体三极管有什么特点

1. 晶体三极管的特点

晶体三极管的特点是具有电流放大作用，即可以用较小的基极电流控制较大的集电极（或发射极）电流，集电极电流是基极电流的 β 倍。

2. 晶体三极管的工作原理

晶体三极管的基本工作原理如图 4-8 所示（以 NPN 型管为例），当给基极（输入端）输入一个较小的基极电流 I_b 时，其集电极（输出端）将按比例产生一个较大的集电极电流 I_c ，这个比例就是三极管的电流放大系数 β ，即 $I_c = \beta I_b$ 。发射极是公共端，发射极电流 $I_e = I_b + I_c = (1 + \beta) I_b$ 。可见，集电极电流和发射极电流受基极电流的控制，所以晶体三极管是电流控制型器件。

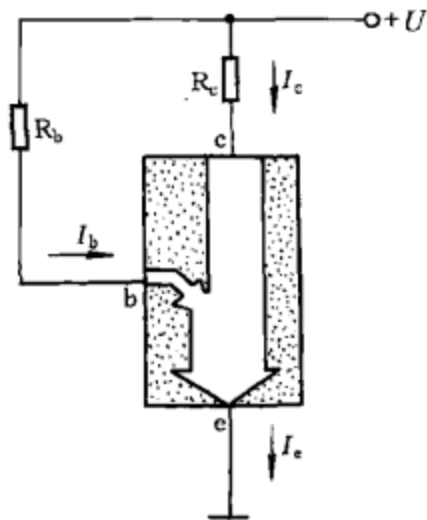


图 4-8



李蕾蕾：晶体三极管的电流放大能力挺神奇的，门老师再给我们详细说说吧。



门老师：我们来举个例子吧。

4.1.5 晶体三极管有哪些作用

晶体三极管的主要作用是放大、振荡、电子开关、可变电阻和阻抗变换。

1. 放大

晶体三极管最基本的作用是放大。图 4-9 所示为晶体三极管放大电路，输入信号 U_i 经耦合电容 C_1 加至三极管 VT 基极，使基极电流 I_b 随之变化，进而使集电极电流 I_c 相应变化，变化量为基极电流的 β 倍，并在集电极负载电阻 R_c 上产生较大的压降，经耦合电容 C_2 隔离直流后输出，在输出端便得到放大了的信号电压 U_o 。由于输出电压等于电源电压 $+V_{CC}$ 与 R_c 上压降的差值，因此输出电压 U_o 与输入电压 U_i 相位相反。 R_1 、 R_2 为 VT 的基极偏置电阻。

2. 振荡

晶体三极管可以构成振荡电路。图 4-10 所示为电子门铃电路，三极管 VT 与变压器 T 等组成变压器反馈音频振荡器，由于变压器 T 初、次级之间的倒相作用，VT 集电极的音频信号经 T 耦合后正反馈至其基极，形成振荡。

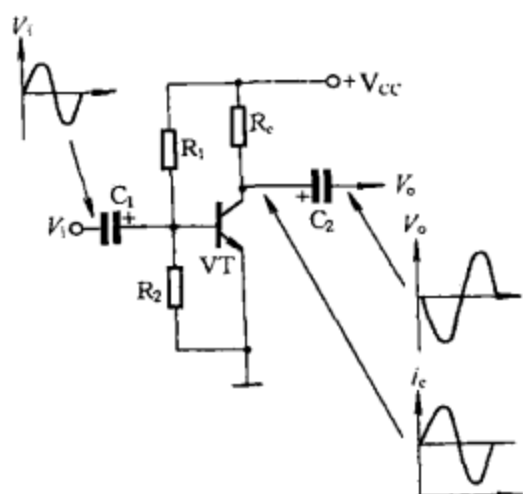


图 4-9

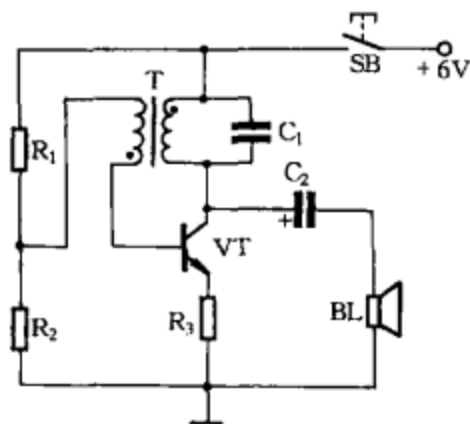


图 4-10

3. 电子开关

晶体三极管具有开关作用。图 4-11 所示为驱动发光二极管的电子开关电路，三极管 VT 即为电子开关。VT 的基极由脉冲信号 CP 控制，当 CP = “1” 时，VT 导通，发光二极管 VD 发光；当 CP = “0” 时，VT 截止，发光二极管 VD 熄灭。R 为限流电阻。

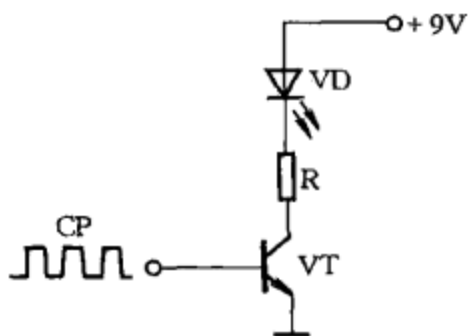


图 4-11

4. 可变电阻

晶体三极管可以用作可变电阻。图 4-12 所示为录音机录音电平自动控制电路（ALC 电路），三极管 VT 在这里作可变电阻用。话筒输出的信号经 \$R_2\$ 与 VT 集-射极间等效电阻分压后，送往放大器进行放大。由于三极管集-射极间等效电阻随其基极电流变化而变化，而基极电流由放大器输出信号经整流获得的控制电平控制，使分压比随输出信号作反向改变，从而实现录音电平的自动控制。

5. 阻抗变换

晶体三极管具有阻抗变换的作用。图 4-13 所示为射极跟随器电路，由于电路输出信号自三极管 VT 的发射极取出，输出电压全部负反馈到输入端，所以射极跟随器具有很高的输入阻抗 \$Z_i\$ 和很低的输出阻抗 \$Z_o\$，常用作阻抗变换和缓冲电路。

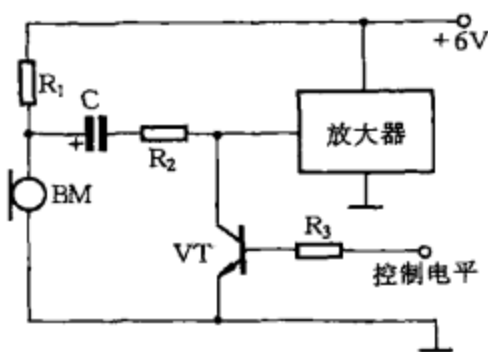


图 4-12

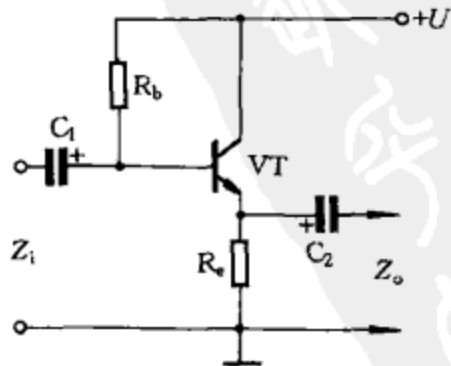


图 4-13

4.1.6 特殊晶体三极管

特殊晶体三极管常见的有达林顿管复合管和带阻三极管等。

1. 复合管

复合管是由两个或更多三极管按一定规律组合而成。达林顿管即为一种复合管。图 4-14 所示为两个 NPN 型三极管构成的达林顿管，等效为一个高 β 值的晶体三极管， $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ 。达林顿管也可由两个 PNP 管或者一个 PNP 管和一个 NPN 管构成，如图 4-15 所示。

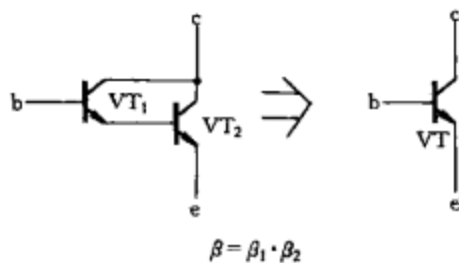


图 4-14

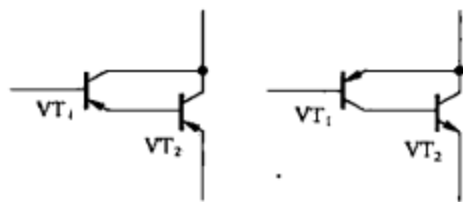


图 4-15

2. 带阻三极管

带阻三极管是一种内部包含一个或几个电阻的晶体三极管，近年来在家用电器和音像设备中应用较多。图 4-16 所示为较常见的两种带阻三极管内部电路结构。

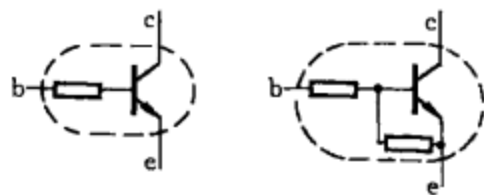






图 4-16

 门老师：刚才我们讲了晶体三极管的主要作用，请同学们谈谈你所知道的晶体三极管的用途。

 王小帅：收音机里有晶体三极管，把接收到的电台信号放大，我们就听到声音了。

 李蕾蕾：我家电子门铃里有晶体三极管，它应该是起振荡作用的。

 门老师：大家说得对，晶体三极管作为电子电路中的核心元器件，它的用途是很广泛的。下面我们来说一说怎样检测晶体三极管的好坏。

4.1.7 怎样检测晶体三极管

晶体三极管可以用万用表进行引脚识别和检测。

1. 引脚识别与检测

检测时，将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡。

(1) 检测 NPN 管如图 4-17 所示, 先用黑表笔接某一引脚, 红表笔分别接另外两引脚, 测得两个电阻值。再将黑表笔换接另一引脚, 重复以上步骤, 直至测得两个电阻值都很小, 这时黑表笔所接的是基极 b。改用红表笔接基极 b, 黑表笔分别接另外两引脚, 测得两个电阻值都应很大, 说明被测三极管基本上是好的。

(2) 检测 PNP 管如图 4-18 所示, 先用红表笔接某一引脚, 黑表笔分别接另外两引脚, 测得两个电阻值。再将红表笔换接另一引脚, 重复以上步骤, 直至测得两个电阻值都很小, 这时红表笔所接的是基极 b。改用黑表笔接基极 b, 红表笔分别接另外两引脚, 测得两个电阻值都应很大, 说明被测三极管基本上是好的。

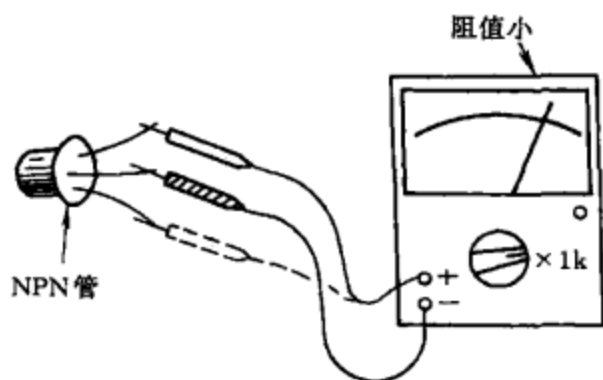


图 4-17

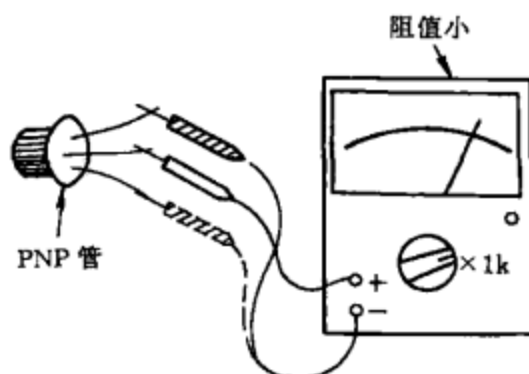


图 4-18

2. 测量晶体三极管的放大倍数

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

(1) 用 MF47 等具有 “ β ” 或 “ h_{FE} ” 挡的万用表测量。

万用表置于 “ h_{FE} ” 挡, 如图 4-19 所示将三极管插入测量插座 (基极插入 b 孔, 另两引脚随意插入), 记下 β 读数。再将另两引脚对调后插入, 也记下 β 读数。两次测量中, β 读数大的那一次引脚插入是正确的。测量时需注意 NPN 管和 PNP 管应插入各自相应的插座。

(2) 用万用表电阻挡测量 (以 NPN 管为例)。

万用表置于 “ $R \times 1k$ ” 挡, 红表笔接基极以外的一个引脚, 左手拇指与中指将黑表笔与基极捏在一起, 同时用左手食指触摸余下的引脚, 如图 4-20 所示, 这时表针应向右摆动。将基极以外的两引脚对调后再测一次。两次测量中, 表针摆动幅度较大的那一次, 黑表笔所接为集电极, 红表笔所接为发射极。表针摆动幅度越大, 说明被测三极管的 β 值越大。

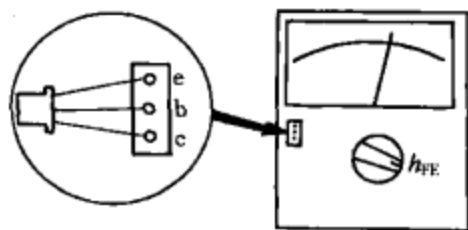


图 4-19

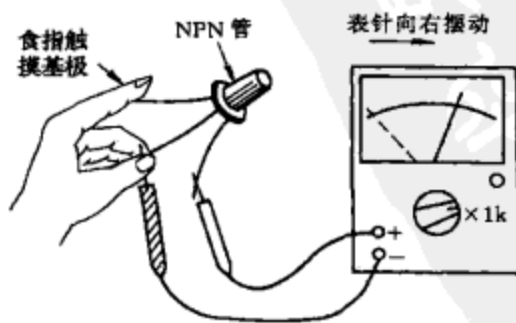


图 4-20

3. 区分锗管与硅管

由于锗材料三极管的 PN 结压降约为 0.3V，而硅材料三极管的 PN 结压降约为 0.7V，所以可通过测量 b-e 结正向电阻的方法来区分锗管和硅管。

检测方法是：万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，对于 NPN 管，黑表笔接基极 b，红表笔接发射极 e，如果测得的电阻值小于 $1k\Omega$ ，则被测管是锗管；如果测得的电阻值在 $5 \sim 10k\Omega$ ，则被测管是硅管，如图 4-21 所示。对于 PNP 管，则对调两表笔后测量。

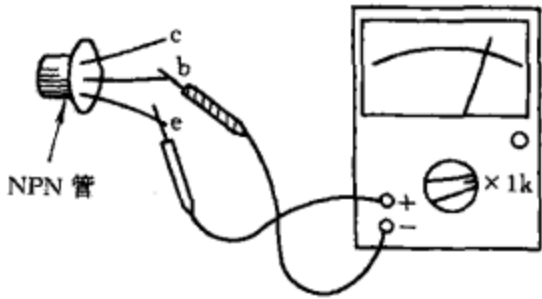


图 4-21

门老师：这一讲就讲到这里，我们来归纳一下晶体三极管的主要知识点。

- (1) 晶体三极管通常简称为晶体管或三极管，是一种具有两个 PN 结的半导体器件，分为 NPN 型和 PNP 型两大类。
- (2) 晶体三极管的文字符号为“VT”。
- (3) 晶体三极管的参数包括直流参数、交流参数、极限参数三类，主要有电流放大系数、特征频率、集电极-发射极击穿电压、集电极最大电流和集电极最大功耗等。
- (4) 晶体三极管的特点是具有电流放大作用，是电流控制型器件。
- (5) 晶体三极管的主要作用是放大、振荡、电子开关、可变电阻和阻抗变换。
- (6) 特殊晶体三极管常见的有达林顿管复合管和带阻三极管等。
- (7) 晶体三极管可用万用表进行引脚识别和检测。

第 2 讲 场效应管

门老师：现在我们讲第 4 课的第 2 讲场效应管，主要内容是场效应管的概念、种类和符号，场效应管的引脚识别，场效应管的主要参数，场效应管的特点和工作原理，场效应管的主要作用，场效应管的检测方法等。

4.2.1 什么是场效应管

场效应晶体管通常简称场效应管，是一种利用场效应原理工作的半导体器件，外形如图 4-22

所示。和普通双极型晶体管相比较，场效应管具有输入阻抗高、噪声低、动态范围大、功耗小、易于集成等特点，得到了越来越广泛的应用。

1. 场效应管的种类

场效应管的种类很多，如图 4-23 所示。场效应管主要分为结型场效应管和绝缘栅场效应管两大类，又都有 N 沟道和 P 沟道之分。

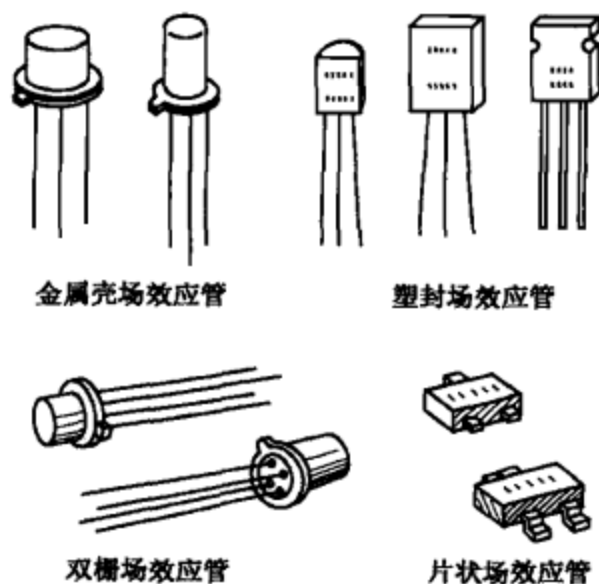


图 4-22

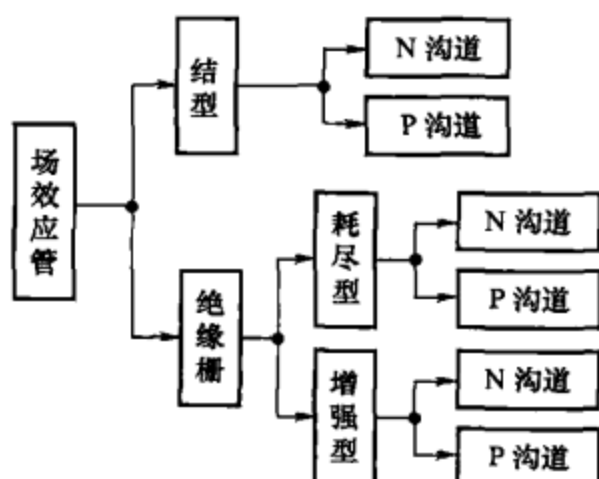


图 4-23

绝缘栅场效应管也叫做金属氧化物半导体场效应管，简称为 MOS 场效应管，分为耗尽型 MOS 管和增强型 MOS 管。

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

2. 场效应管的符号

场效应管的文字符号为“VT”，图形符号如图 4-24 所示。

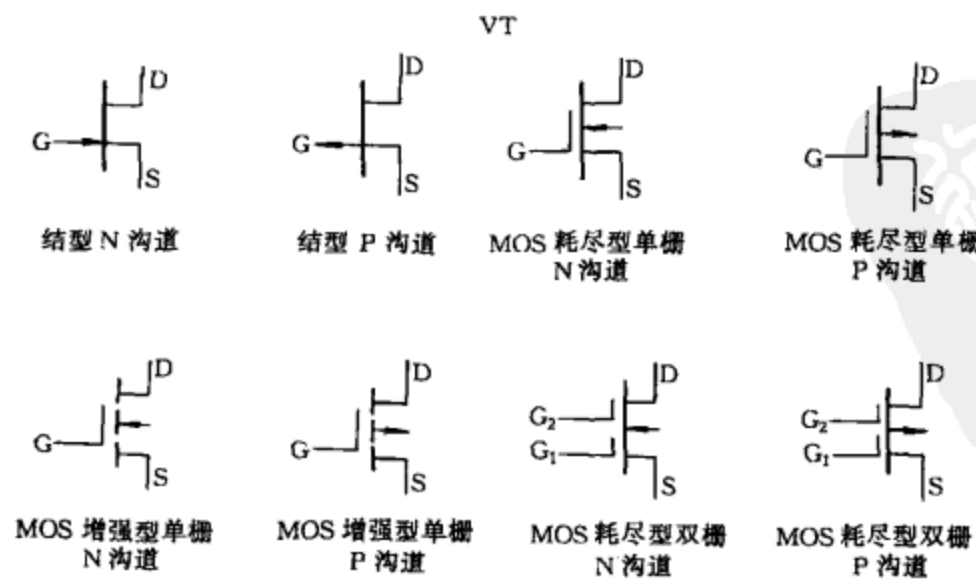


图 4-24

4.2.2 怎样识别场效应管

场效应管一般具有 3 只引脚（双栅管有 4 只引脚），分别是栅极 G、源极 S 和漏极 D，它们的功能分别对应于双极型晶体管的基极 b、发射极 e 和集电极 c。由于场效应管的源极 S 和漏极 D 是对称的，实际使用中可以互换。常用场效应管的引脚如图 4-25 所示，使用中应注意识别。

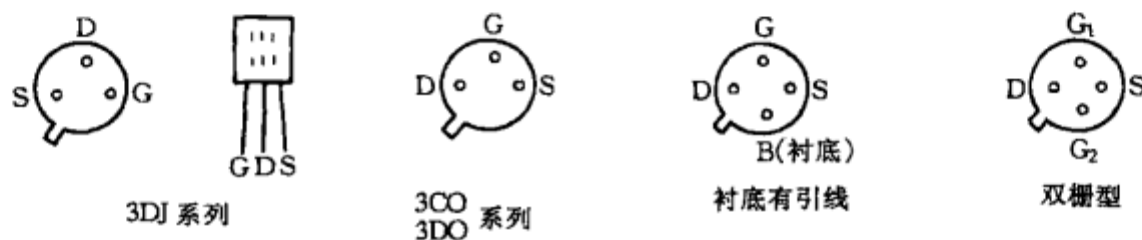


图 4-25

4.2.3 怎样理解场效应管的参数

场效应管的参数很多，包括直流参数、交流参数和极限参数，但一般使用时只需关注以下主要参数：饱和漏源电流 I_{DSS} 、夹断电压 U_P （结型管和耗尽型绝缘栅管）或开启电压 U_T （增强型绝缘栅管）、跨导 g_m 、漏源击穿电压 $B U_{DS}$ 、最大耗散功率 P_{DSM} 和最大漏源电流 I_{DSM} 。

1. 饱和漏源电流

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

2. 夹断电压

夹断电压 U_P 是指结型或耗尽型绝缘栅场效应管中，使漏源间刚截止时的栅极电压。图 4-26 所示为 N 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线，从图中可明确看出 I_{DSS} 和 U_P 的意义。图 4-27 所示为 P 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线。

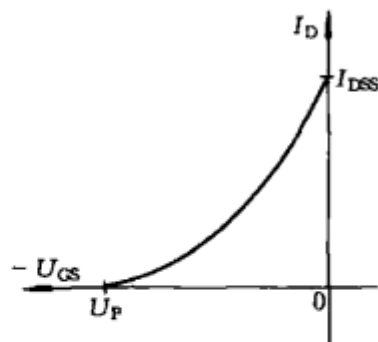


图 4-26

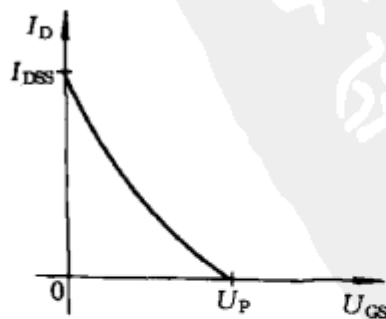


图 4-27

3. 开启电压

开启电压 U_T 是指增强型绝缘栅场效应管中, 使漏源间刚导通时的栅极电压。图 4-28 所示为 N 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线, 从图中可明确看出 U_T 的意义。图 4-29 所示为 P 沟道管的 $U_{GS}-I_D$ 曲线。

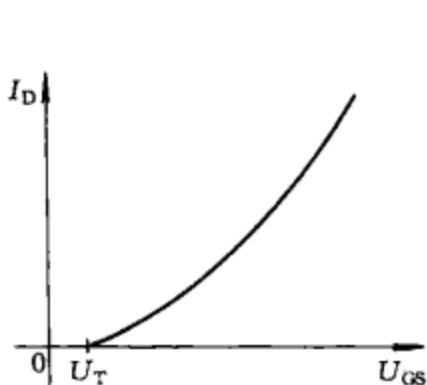


图 4-28

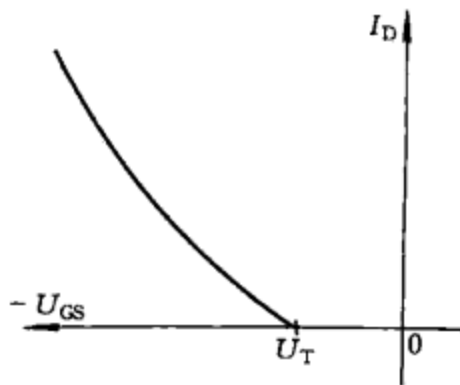


图 4-29

4. 跨导

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

5. 漏源击穿电压

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

6. 最大耗散功率

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

7. 最大漏源电流

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

4.2.4 场效应管有什么特点

1. 场效应管的特点

场效应管的特点是由栅极电压 U_G 控制其漏极电流 I_D 。和普通双极型晶体管相比较, 场效

应管具有输入阻抗高、噪声低、动态范围大、功耗小、易于集成等特点。

2. 场效应管的工作原理

场效应管的基本工作原理如图 4-30 所示（以结型 N 沟道管为例）。由于栅极 G 接有负偏压（ $-U_G$ ），在 G 附近形成耗尽层。

（1）当负偏压（ $-U_G$ ）的绝对值增大时，耗尽层增大，沟道减小，漏极电流 I_D 减小。

（2）当负偏压（ $-U_G$ ）的绝对值减小时，耗尽层减小，沟道增大，漏极电流 I_D 增大。

可见，漏极电流 I_D 受栅极电压的控制，所以场效应管是电压控制型器件，即通过输入电压的变化来控制输出电流的变化，从而达到放大等目的。

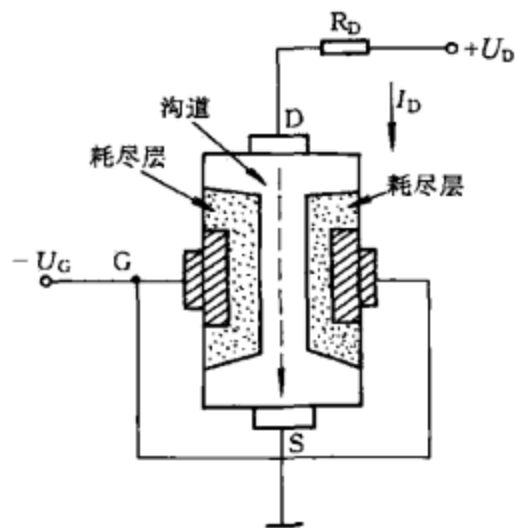


图 4-30


3. 场效应管的偏置电压

和双极型晶体管一样，场效应管用于放大等电路时，其栅极也应加偏置电压。


结型场效应管的栅极应加反向偏置电压，即 N 沟道管加负栅压，P 沟道管加正栅压；增强型绝缘栅场效应管应加正向栅压；耗尽型绝缘栅场效应管的栅压可正可负可为“0”，如表 4-2 所示。加偏置的方法有固定偏置法、自给偏置法、直接耦合法等。

表 4-2 场效应管的偏置电压


类型	沟道	电压极性	
		U_D	U_G
结型	N	+	-
	P	-	+
MOS 耗尽型	N	+	-、0、+
	P	-	+、0、-
MOS 增强型	N	+	+
	P	-	-



门老师：场效应管与晶体三极管有何异同，哪位同学来说说？



王小帅：场效应管与晶体三极管一样具有放大作用，这是它们相同的地方。场效应管是电压控制型器件，而晶体三极管是电流控制型器件，这是它们的不同之处。



门老师：很对。晶体三极管是电流控制型器件，输入阻抗不是很高，要求信号源提供一定的信号电流。场效应管是电压控制型器件，输入阻抗极高，几乎不从信号源吸取电流，在某些场合具有独特的用途。



4.2.5 场效应管有哪些作用

场效应管的主要作用是放大、恒流、阻抗变换、可变电阻和电子开关等。

1. 放大

场效应管具有放大作用。图 4-31 所示为场效应管放大器，输入信号 U_i 经 C_1 耦合至场效应管 VT 的栅极，与原来的栅极负偏压相叠加，使其漏极电流 I_D 相应变化，并在负载电阻 R_D 上产生压降，经 C_2 隔离直流后输出，在输出端即得到放大了的信号电压 U_o 。 I_D 与 U_i 同相， U_o 与 U_i 反相。由于场效应管放大器的输入阻抗很高，因此耦合电容可以容量较小，不必使用电解电容器。

2. 恒流

场效应管可以方便地构成恒流源，电路如图 4-32 所示。恒流原理是：如果通过场效应管的漏极电流 I_D 因故增大，源极电阻 R_S 上形成的负栅压也随之增大，迫使 I_D 回落；反之亦然，使 I_D 保持恒定。恒定电流 $I_D = \frac{|U_P|}{R_S}$ ，式中， U_P 为场效应管夹断电压。

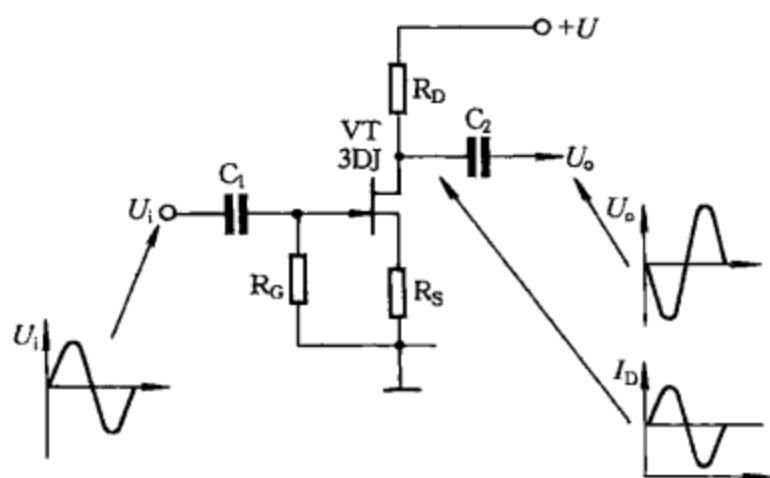


图 4-31

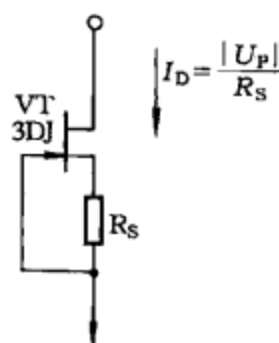


图 4-32

3. 阻抗变换

场效应管很高的输入阻抗非常适合作阻抗变换。图 4-33 所示为场效应管源极输出器，电路结构与晶体三极管射极跟随器类似，但由于场效应管是电压控制型器件，输入阻抗极高，因此场效应管源极输出器具有更高的输入阻抗 Z_i 和较低的输出阻抗 Z_o ，常用于多级放大器的高阻抗输入级作阻抗变换。

4. 可变电阻

场效应管可以用作可变电阻。图 4-34 所示为自动电平控制电路，

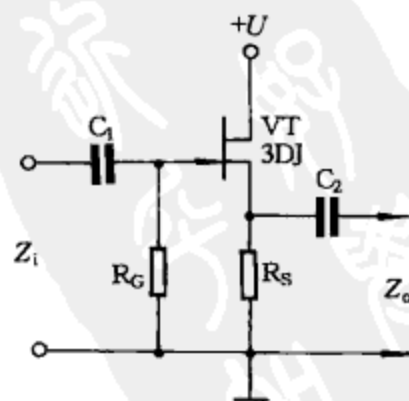


图 4-33

当输入信号 U_i 增大导致 U_o 增大时, 由 U_o 经二极管 VD 负向整流后形成的栅极偏压 $-U_G$ 的绝对值也增大, 使场效应管 VT 的等效电阻增大, R_1 与其的分压比减小, 使进入放大器的信号电压减小, 最终使 U_o 保持基本不变。

5. 电子开关

场效应管可以用作电子开关。图 4-35 所示为直流信号调制电路, 场效应管 VT₁、VT₂ 工作于开关状态, 其栅极分别接入频率相同、相位相反的方波电压。当 VT₁ 导通、VT₂ 截止时, U_i 向 C 充电; 当 VT₁ 截止、VT₂ 导通时, C 放电; 其输出 U_o 便是与输入直流电压 U_i 相关的交变电压。

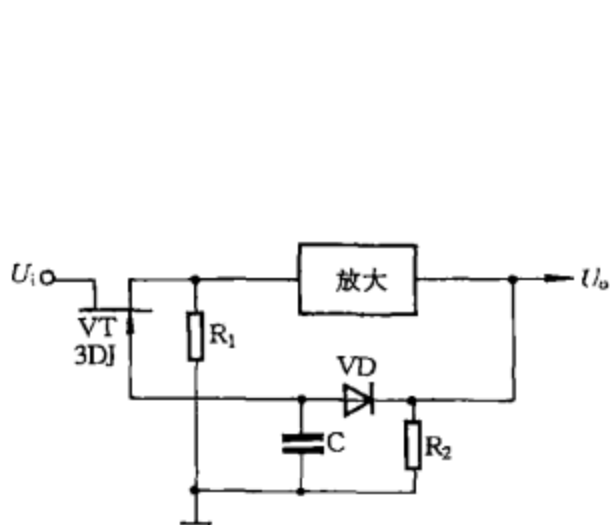


图 4-34

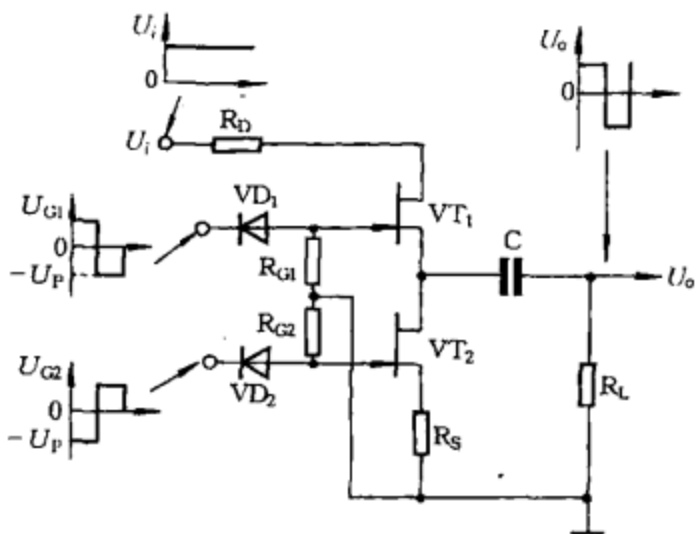


图 4-35



李蕾蕾: 门老师, 场效应管可以像晶体三极管一样用万用表检测吗?



门老师: 可以的, 但要注意掌握正确的检测方法。

4.2.6 怎样检测场效应管

场效应管可以用万用表进行引脚识别和检测。

1. 引脚识别与检测

结型场效应管的引脚识别方法如图 4-36 所示, 万用表置于 “ $R \times 1k$ ” 挡, 用两表笔分别测量每两个引脚间的正、反向电阻。当某两个引脚间的正、反向电阻相等, 均为数千欧时, 则这两个引脚为漏极 D 和源极 S (可互换), 余下的一个引脚即为栅极 G。

2. 区分 N 沟道和 P 沟道场效应管

如图 4-37 所示, 万用表置于 “ $R \times 1k$ ” 挡, 黑表笔接栅极 G, 红表笔分别接另外两引脚, 如果测得两个电阻值均很大, 则为 N 沟道场效应管。如果测得两个电阻值均很小, 则为 P 沟道场效应管。如果测量结果不符合以上两种情况, 则说明该场效应管已损坏或性能不良。

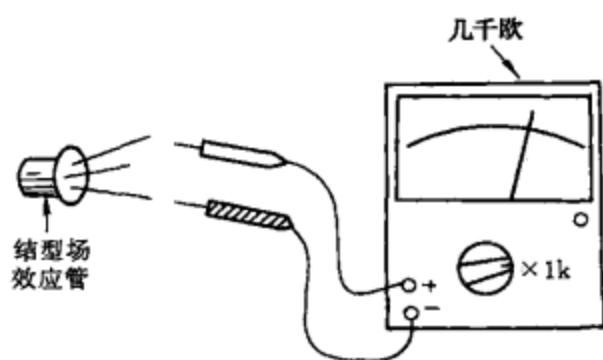


图 4-36

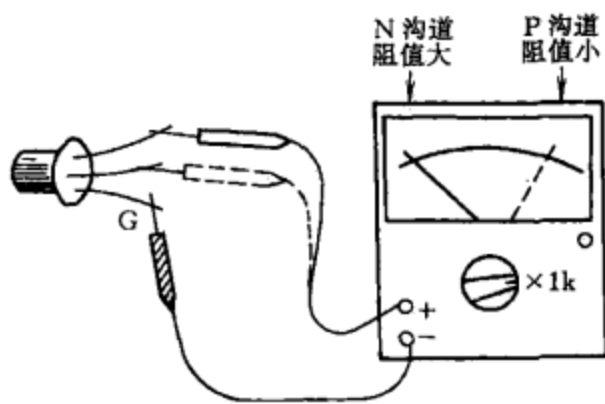


图 4-37

3. 估测场效应管的放大能力

(1) 估测结型场效应管的放大能力。万用表置于“ $R \times 100$ ”挡，两表笔分别接漏极 D 和源极 S，然后用手捏住栅极 G（加入人体感应电压），表针应向左或向右摆动，如图 4-38 所示。表针摆动幅度越大，说明场效应管的放大能力越大。如果表针不动，说明该管已坏。

(2) 估测绝缘栅场效应管（MOS 管）的放大能力时，由于其输入阻抗很高，为防止人体感应电压引起栅极击穿，不要用手直接接触栅极 G，而应手拿螺丝刀的绝缘柄，用螺丝刀的金属杆去接触栅极 G，如图 4-39 所示。判断方法与测量结型场效应管相同。

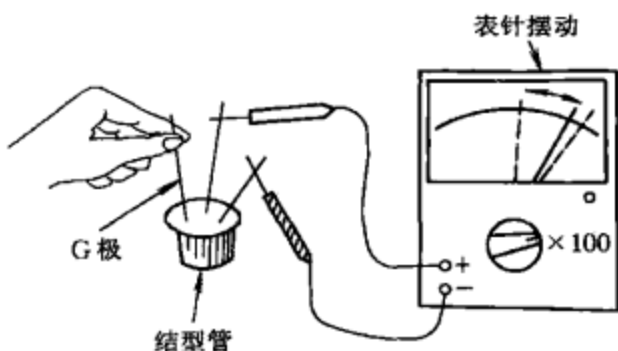


图 4-38

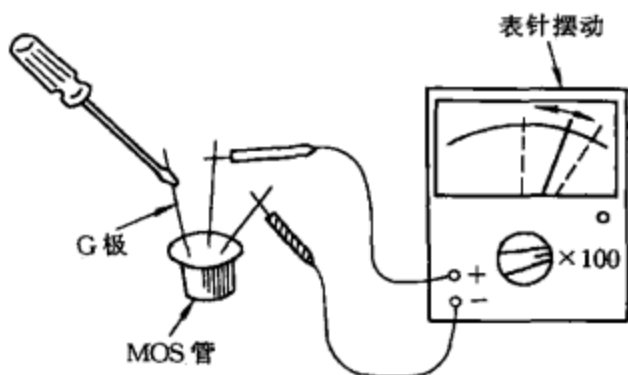


图 4-39



门老师：第 2 讲场效应管讲完了，我们来归纳一下场效应管的知识要点。

- (1) 场效应晶体管通常简称为场效应管，是一种利用场效应原理工作的半导体器件，分为结型场效应管和绝缘栅场效应管两大类，又都有 N 沟道和 P 沟道之分。
- (2) 场效应管的文字符号为“VT”。
- (3) 场效应管的参数包括直流参数、交流参数和极限参数，主要有饱和漏源电流、夹断电压或开启电压、跨导、漏源击穿电压、最大耗散功率和最大漏源电流。
- (4) 场效应管的特点是由栅极电压控制其漏极电流，是电压控制型器件。
- (5) 场效应管的主要作用是放大、恒流、阻抗变换，可用于可变电阻和电子开关等。
- (6) 场效应管可以用万用表进行引脚识别和检测。

第3讲 单向晶闸管



门老师：现在我们讲第4课的第3讲单向晶闸管，主要内容是晶闸管的概念、种类和符号，晶闸管的型号和引脚识别，晶闸管的主要参数，晶闸管的特点和工作原理，单向晶闸管的主要作用和检测方法等。

4.3.1 什么是晶体闸流管

晶体闸流管简称晶闸管，也叫做可控硅，是一种具有3个PN结的功率型半导体器件，其外形如图4-40所示。

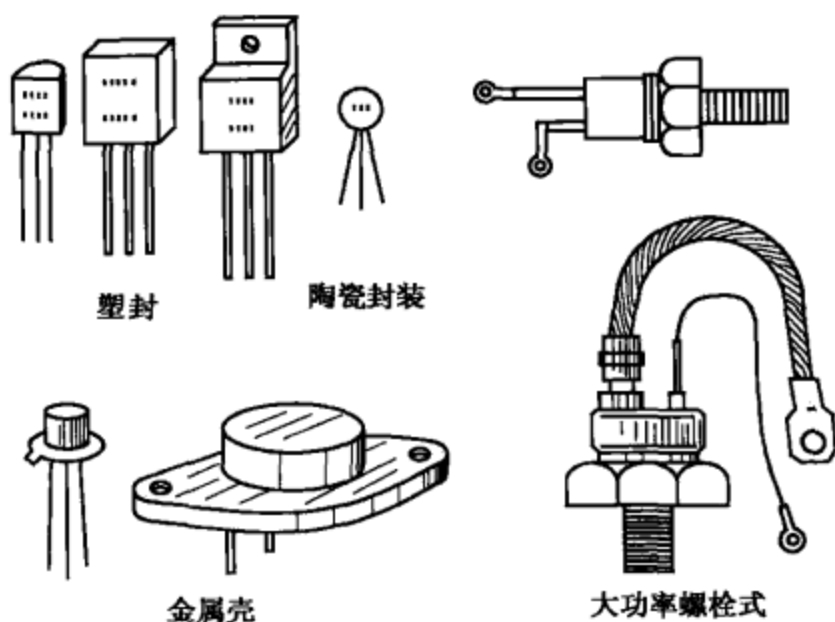


图 4-40

1. 晶体闸流管的种类

晶体闸流管种类很多，如图4-41所示。按控制特性不同，可分为单向晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管、正向阻断晶闸管、反向阻断晶闸管、双向触发晶闸管、光控晶闸管等；按电流容量不同，可分为小功率管、中功率管和大功率管；按关断速度不同，可分为普通晶闸管和高频晶闸管（工作频率 $>10\text{kHz}$ ）；按封装形式不同，可分为塑封式、陶瓷封装式、金属壳封装式和大功率螺栓式等。

2. 晶体闸流管的符号

晶体闸流管的文字符号为“VS”，图形符号如图4-42所示。

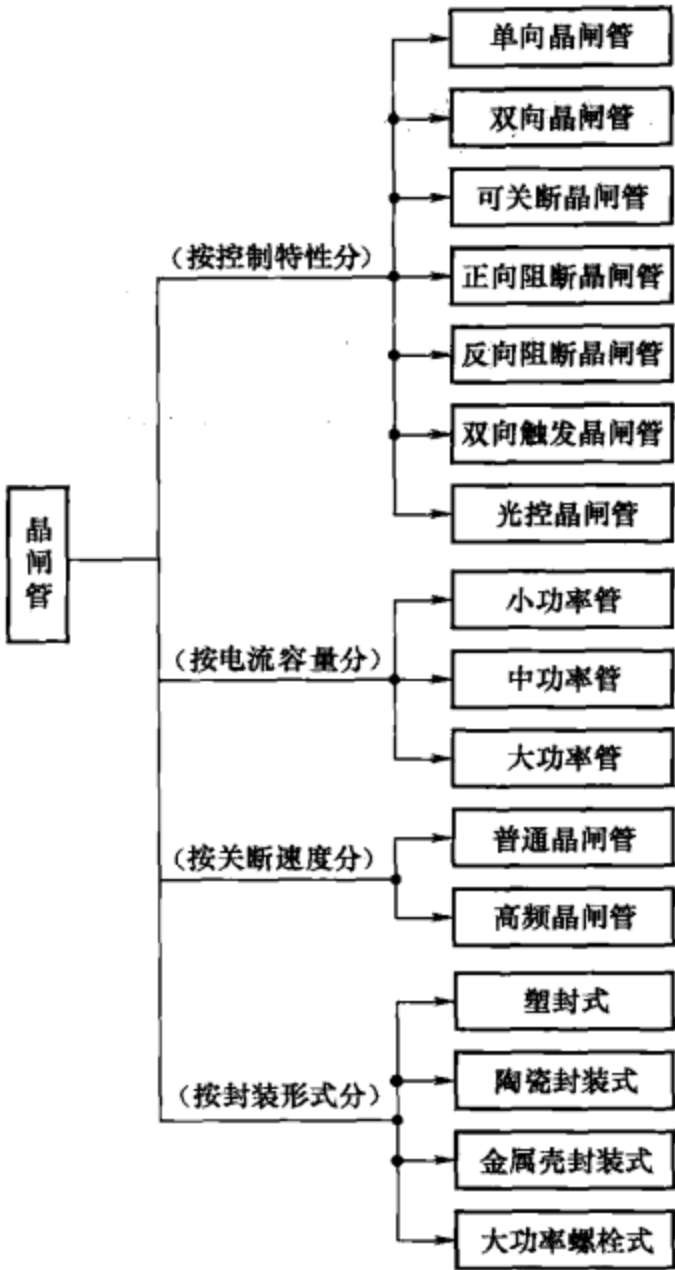


图 4-41

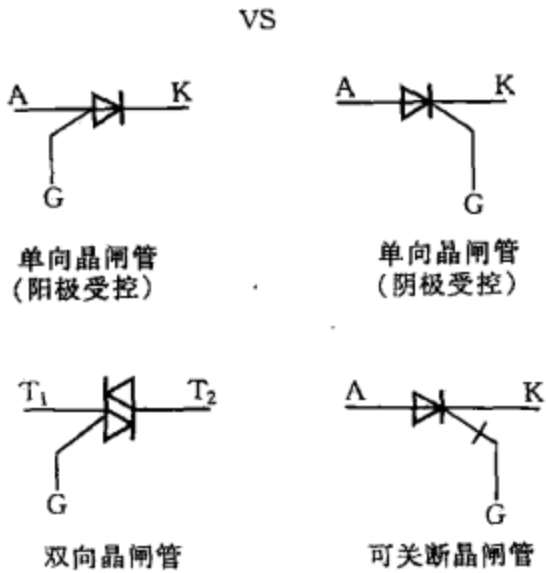


图 4-42

4.3.2 怎样识别晶体闸流管

1. 晶体闸流管的型号

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

▼ 表 4-3

晶体闸流管的型号

类型	型号
单向晶闸管	3CT * * *
	KP * * *
双向晶闸管	3CTS * *
	KS * *
高频晶闸管	KK * *

2. 晶体闸流管的引脚

晶体闸流管具有3只引脚。单向晶闸管的3只引脚分别是阳极A、阴极K和控制极G。常见单向晶闸管的引脚如图4-43所示，使用中应注意识别。

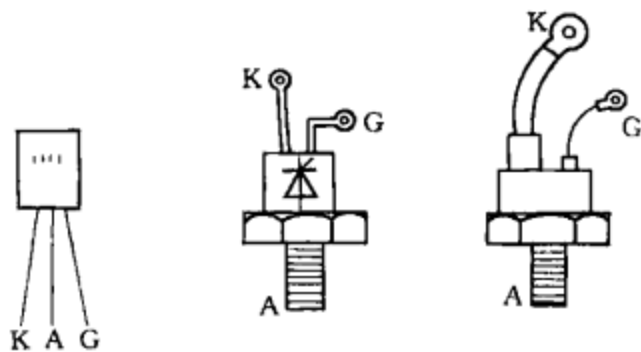


图 4-43

4.3.3 怎样理解晶体闸流管的参数

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

1. 额定通态平均电流

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

2. 正反向阻断峰值电压

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

3. 维持电流

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

4. 控制极触发电压和电流

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



李蕾蕾：晶闸管看起来有的像二极管，有的像三极管，那晶闸管到底属于二极管还是三极管呢？



王小帅：我想晶闸管应该既不是二极管，也不是三极管吧。



门老师：开头我就说过，晶闸管是具有 3 个 PN 结的半导体器件。二极管只有 1 个 PN 结，三极管具有 2 个 PN 结，所以它们三者是完全不同的。那么晶闸管的特点和工作原理是什么呢？我们接着往下讲。

4.3.4 晶体闸流管有什么特点

1. 晶体闸流管的特点

晶体闸流管的特点是具有可控的单向导电性，不但具有一般二极管单向导电的整流作用，而且可以对导通电流进行控制。

2. 单向晶闸管的工作原理

单向晶闸管是 PNP 4 层结构式的，形成 3 个 PN 结，具有 3 个外电极 A、K 和 G，可等效为 PNP、NPN 两晶体管组成的复合管，如图 4-44 所示。在 A、K 间加上正电压后，管子并不导通。当给控制极 G 加上正电压时， VT_1 、 VT_2 相继迅速导通，此时即使去掉控制极的电压，晶闸管仍维持导通状态。

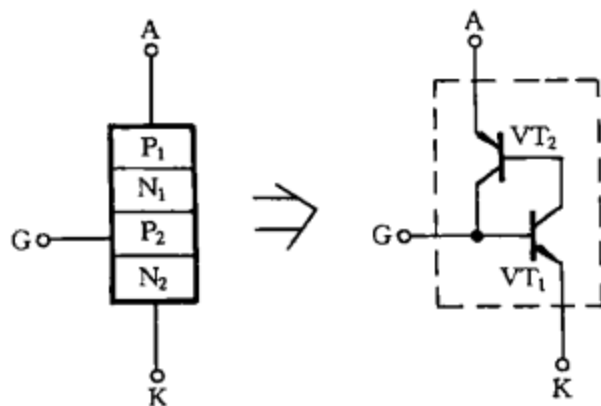


图 4-44

4.3.5 晶体闸流管有哪些作用

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

1. 无触点开关

晶闸管可以用作无触点开关。图 4-45 所示为报警器电路，当探头检测到异常情况时，输出一正脉冲至控制极 G，晶闸管 VS 导通使报警器报警，直至有关人员到场并切断开关 S 才停止报警。

2. 可控整流

晶闸管可以用作可控整流，电路如图 4-46 所示。只有当控制极有正触发脉冲时晶闸管才导通进行整流，而每当交流电压过零时晶闸管关断。改变触发脉冲在交流电每半周内出现的迟早，即可改变晶闸管的导通角，从而改变输出到负载的直流电压的大小。

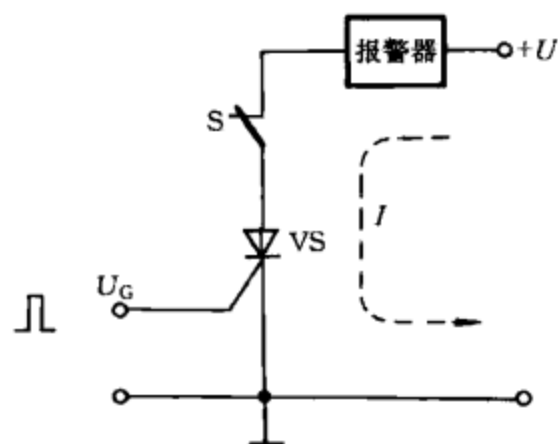


图 4-45

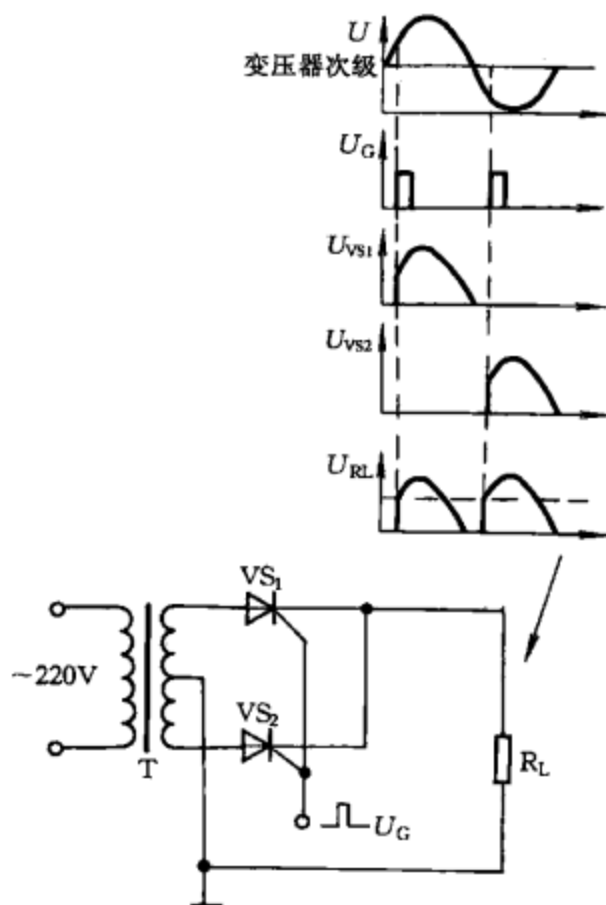


图 4-46

4.3.6 怎样检测单向晶闸管

单向晶闸管可用万用表电阻挡进行检测。

1. 检测 PN 结电阻

万用表置于“ $R \times 10$ ”挡，黑表笔（表内电池正极）接控制极 G，红表笔接阴极 K，如图 4-47 所示，这时测量的是 PN 结的正向电阻，应有较小的阻值。对调两表笔后测其反向电阻，应比正向电阻明显大一些。

黑表笔仍接控制极 G，红表笔改接至阳极 A，阻值应为无穷大，如图 4-48 所示。对调两表笔后再测，阻值仍应为无穷大。这是因为 G、A 间为两个 PN 结反向串联，正常情况下正、反向电阻均为无穷大。

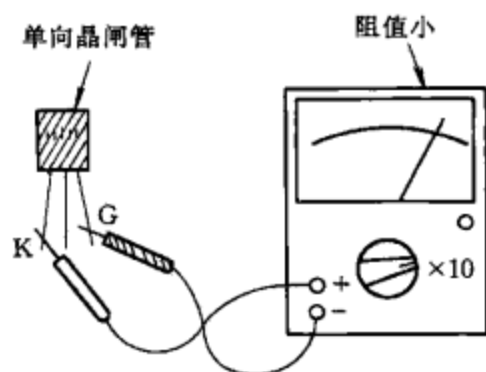


图 4-47

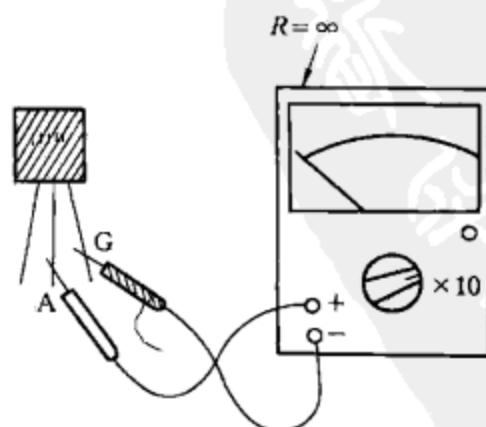


图 4-48



2. 检测导通特性

万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，黑表笔接阳极 A，红表笔接阴极 K，表针指示应为无穷大。用螺丝刀等金属物将控制极 G 与阳极 A 短接一下（短接后即断开），表针应向右偏转并保持在十几欧姆处，如图 4-49 所示。否则说明该晶闸管已损坏。

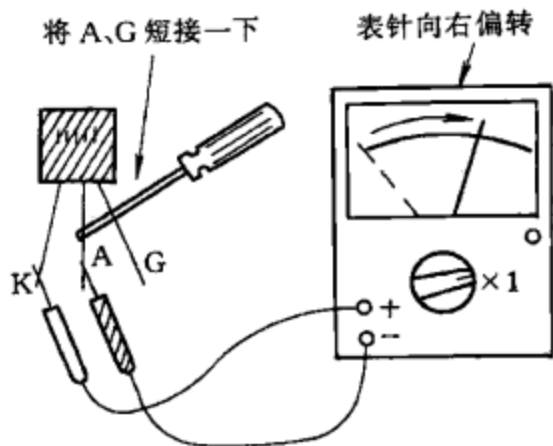


图 4-49



门老师：下面我来归纳一下晶体闸流管的主要知识点。

- (1) 晶体闸流管简称为晶闸管，也叫做可控硅，是一种具有 3 个 PN 结的功率型半导体器件，包括单向晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管等。
- (2) 晶体闸流管的文字符号为“VS”。
- (3) 晶体闸流管的主要参数有额定通态平均电流、正反向阻断峰值电压、维持电流、控制极触发电压和电流等。
- (4) 晶体闸流管的特点是具有可控的单向导电性。
- (5) 晶体闸流管具有以小电流（电压）控制大电流（电压）的作用，在无触点开关、可控整流、逆变、调光、调压、调速等方面得到广泛的应用。
- (6) 单向晶闸管可用万用表的电阻挡进行检测。

第 4 讲 双向晶闸管



门老师：现在我们讲第 4 课的第 4 讲双向晶闸管，主要内容是双向晶闸管的概念、双向晶闸管的引脚识别、双向晶闸管的特点和主要作用、双向晶闸管的检测方法等。

4.4.1 什么是双向晶闸管

双向晶闸管是在单向晶闸管的基础之上开发出来的，是一种交流型功率控制器件。双向晶闸管不仅能够取代两个反向并联的单向晶闸管，而且只需要一个触发电路，使用很方便。

双向晶闸管的文字符号为“VS”，图形符号如图 4-42 所示。

4.4.2 怎样识别双向晶闸管

双向晶闸管具有 3 只引脚，分别是控制极 G、主电极 T_1 和 T_2 。常见双向晶闸管的引脚如图 4-50 所示，使用中应注意识别。

4.4.3 双向晶闸管有什么特点

双向晶闸管可以等效为两个单向晶闸管反向并联，如图 4-51 所示。双向晶闸管可以控制双向导通，因此除控制极 G 外的另两个电极不再分阳极和阴极，而称之为主电极 T_1 、 T_2 。

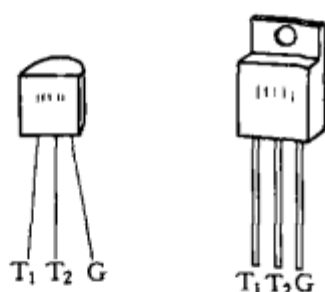


图 4-50

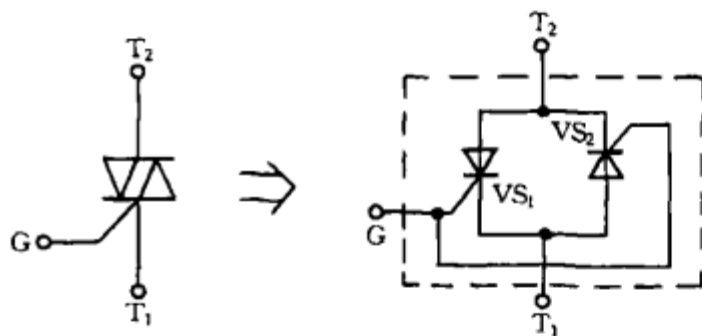


图 4-51

4.4.4 双向晶闸管有哪些作用

双向晶闸管的主要作用是无触点交流开关、交流调压、调光、调速等。

1. 无触点交流开关

双向晶闸管可以用作无触点交流开关。图 4-52 所示为交流固态继电器电路，当其输入端加上控制电压时，双向晶闸管 VS 导通，接通输出端交流电路。

2. 交流调压

双向晶闸管可以用作交流调压器。图 4-53 所示电路中， RP 、 R 和 C 组成充放电回路， C 上电压作为双向晶闸管 VS 的触发电压。调节 RP 可改变 C 的充电时间，也就改变了 VS 的导通角，达到交流调压的目的。

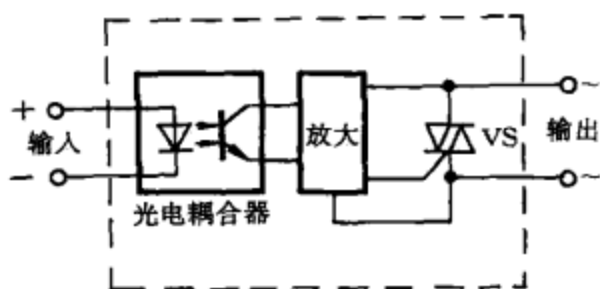


图 4-52

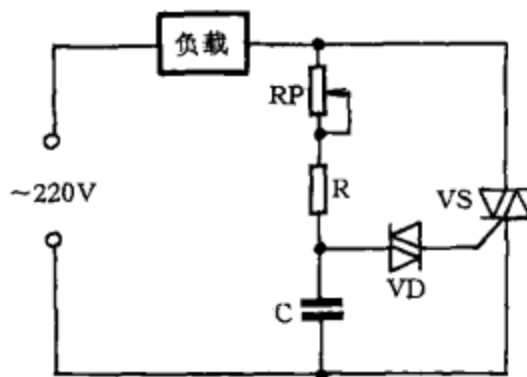


图 4-53



王小帅：用万用表检测双向晶闸管，是不是与检测单向晶闸管差不多啊？



门老师：总体上讲是差不多，但也有一些差异，下面我就具体地讲一讲双向晶闸管的检测问题。

4.4.5 怎样检测双向晶闸管

双向晶闸管可用万用表电阻挡进行检测。

1. 检测正、反向电阻

万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，用两表笔测量控制极 G 与主电极 T_1 间的正、反向电阻，均应为较小阻值，如图 4-54 所示。用两表笔测量控制极 G 与主电极 T_2 间的正、反向电阻，均应为无穷大，如图 4-55 所示。

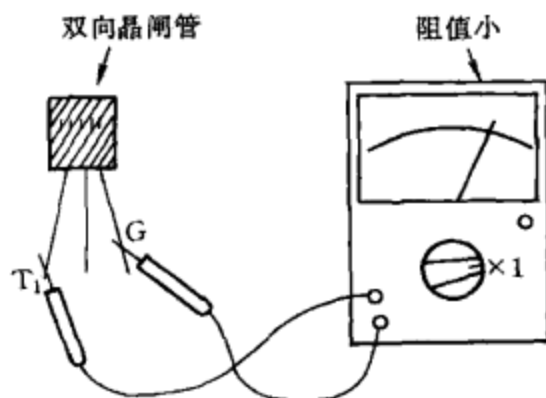


图 4-54

2. 检测导通特性

万用表仍置于“ $R \times 1$ ”挡，黑表笔接主电极 T_1 ，红表笔接主电极 T_2 ，表针指示应为无穷大。将控制极 G 与主电极 T_2 短接一下，表针应向右偏转并保持在十几欧姆处，如图 4-56 所示。否则说明该双向晶闸管已损坏。

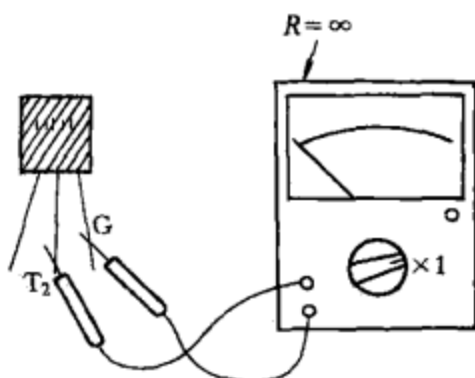


图 4-55

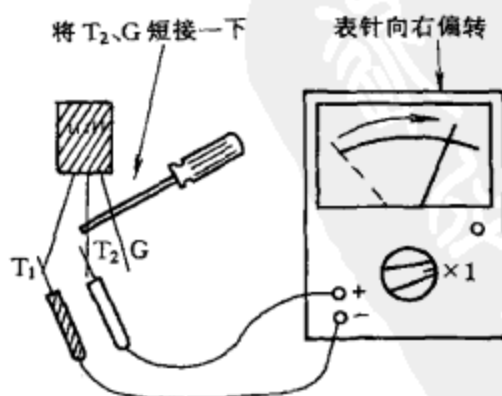


图 4-56



门老师：现在我来归纳一下双向晶闸管的主要知识点。

- (1) 双向晶闸管是在单向晶闸管的基础之上开发出来的，是一种交流型功率控制器件。
- (2) 双向晶闸管的文字符号为“VS”。
- (3) 双向晶闸管可以等效为2个单向晶闸管反向并联。
- (4) 双向晶闸管的主要作用是用于无触点交流开关、交流调压、调光、调速等。
- (5) 双向晶闸管可用万用表的电阻挡进行检测。



第5讲 可关断晶闸管



门老师：现在我们讲第4课的第5讲可关断晶闸管，主要内容是可关断晶闸管的概念、可关断晶闸管的特点和主要作用、可关断晶闸管的检测方法等。这是第4课的最后一讲。

4.5.1 什么是可关断晶闸管

可关断晶闸管也称为门控晶闸管，是在普通晶闸管基础上发展起来的功率型控制器件。可关断晶闸管的文字符号为“VS”，图形符号如图4-42所示。

4.5.2 可关断晶闸管有什么特点

可关断晶闸管的特点是可以通过控制极关断。普通晶闸管导通后控制极即不起作用，要关断必须切断电源，使流过晶闸管的正向电流小于维持电流 I_H 。可关断晶闸管克服了上述缺陷。如图4-57所示，当控制极G加上正脉冲电压时，晶闸管导通；当控制极G加上负脉冲电压时，晶闸管关断。



门老师：李蕾蕾同学，请你谈谈对可关断晶闸管的理解。



李蕾蕾：一般晶闸管的控制极只能触发其导通，而不能使其关断。可关断晶闸管就不一样了，它的控制极是真正的控制极，既可以触发其导通，也可以控制其关断，这样使用就更加方便了。



门老师：理解得很正确。我们来看看可关断晶闸管的作用。

4.5.3 可关断晶闸管有哪些作用

可关断晶闸管的主要作用是用于可关断无触点开关、直流逆变、调压、调光、调速等。

可关断晶闸管可以很方便地构成直流逆变电路，如图 4-58 所示。两个可关断晶闸管 VS_1 、 VS_2 的控制极触发电压 U_{G1} 、 U_{G2} 为频率相同、极性相反的正、负脉冲，使得 VS_1 与 VS_2 轮流导通，在变压器次级即可得到频率与 U_G 相同的交流电压。

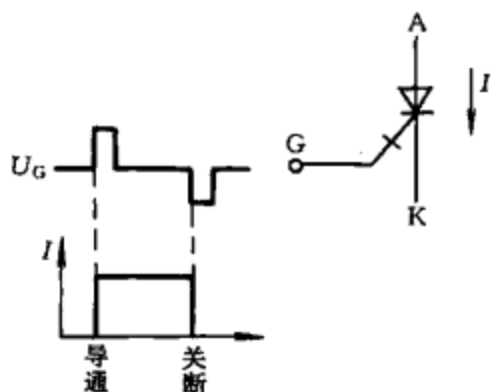


图 4-57

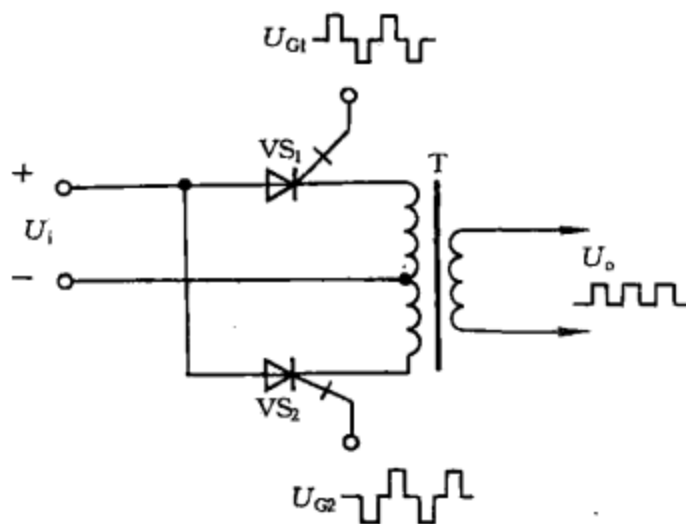


图 4-58

4.5.4 怎样检测可关断晶闸管

可关断晶闸管可用万用表电阻挡进行检测。

将万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，黑表笔接阳极 A，红表笔接阴极 K，表针指示应为无穷大。

用一节 1.5V 电池串联一只 100Ω 左右限流电阻后产生的电压作为控制电压，其一端接在阴极 K 上，如图 4-59 所示。当用电池正极触碰一下控制极 G 后，表针应右偏指示晶闸管导通；当调换电池极性用电池负极触碰一下控制极 G 后，表针应返回无穷大指示晶闸管关断，否则说明该可关断晶闸管已损坏。

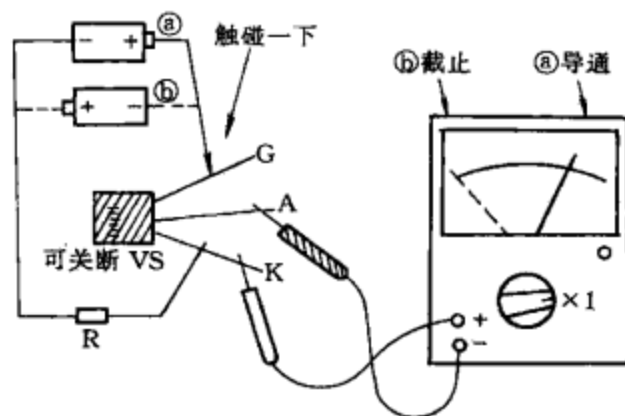


图 4-59

门老师：李蕾蕾同学，你刚才对可关断晶闸管的理解很好，说明你已掌握了它的基本知识，请你系统地归纳一下吧。

李蕾蕾：谢谢门老师的鼓励。可关断晶闸管主要有以下知识点。

- (1) 可关断晶闸管也称为门控晶闸管，是在普通晶闸管基础上发展起来的功率型控制器件。
- (2) 可关断晶闸管的文字符号为“VS”。
- (3) 可关断晶闸管的特点是可以通过控制极关断。
- (4) 可关断晶闸管的主要作用是用于可关断无触点开关、直流逆变、调压、调光、调速等。
- (5) 可关断晶闸管可用万用表的电阻挡进行检测。

门老师：好，同学们，第4课晶体三极管与晶体闸流管一共5讲都讲完了，下面布置一些思考题。

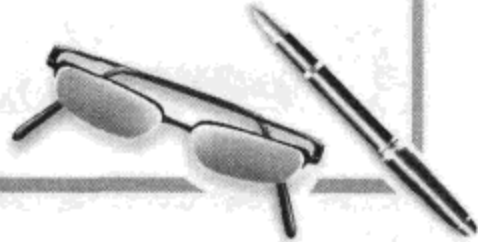
- (1) 怎样识别晶体三极管，晶体三极管具有哪些特点和功能？
- (2) 怎样识别场效应管，场效应管具有哪些特点和功能？
- (3) 试比较晶体三极管和场效应管的异同。
- (4) 晶体三极管和场效应管的主要参数有哪些？
- (5) 举例说明晶体三极管和场效应管的主要作用。
- (6) 怎样检测晶体三极管和场效应管。
- (7) 晶体闸流管具有什么特点，它的工作原理是什么？
- (8) 晶体闸流管的主要参数有哪些？
- (9) 说说晶体闸流管的种类及其主要作用。
- (10) 怎样检测晶体闸流管？



第5课 光电器件与电声器件



Q老师：同学们好，我们现在开始讲第5课：光电器件与电声器件。光电器件是指能够将光信号转换为电信号的半导体器件，包括光电二极管、光电三极管和光电耦合器等。电声器件包括能够将电信号转换为声音的扬声器、耳机、讯响器和蜂鸣器，能够将声音转换为电信号的传声器，能够进行电磁转换的磁头和具有压电效应的晶体等。这一课我们分为6讲，第1讲光电二极管与光电三极管，第2讲光电耦合器，第3讲扬声器与耳机，第4讲电磁讯响器与压电蜂鸣器，第5讲传声器，第6讲磁头与晶体。



第1讲 光电二极管与光电三极管



Q老师：现在我们讲第1讲，主要内容是光电二极管与光电三极管的概念、种类、符号、型号命名和引脚识别，光电二极管与光电三极管的主要参数、特点和工作原理，光电二极管与光电三极管的主要作用以及检测方法等。

5.1.1 什么是光电二极管

光电二极管（又称光敏二极管）是一种常用的光敏器件。和晶体二极管相似，光电二极管也是具有一个PN结的半导体器件，所不同的是光电二极管有一个透明的窗口，以便使光线能够照射到PN结上。常见的有透明塑封光电二极管、金属壳封装光电二极管、树脂封装光电二极管等，如图5-1所示。

1. 光电二极管的种类

光电二极管有许多种类，常用的有PN结型、PIN结型、雪崩型和肖特基结型等，如图5-2

所示。用得最多的是硅材料 PN 结型光电二极管。

2. 光电二极管的符号

光电二极管的文字符号为“VD”，图形符号如图 5-3 所示。

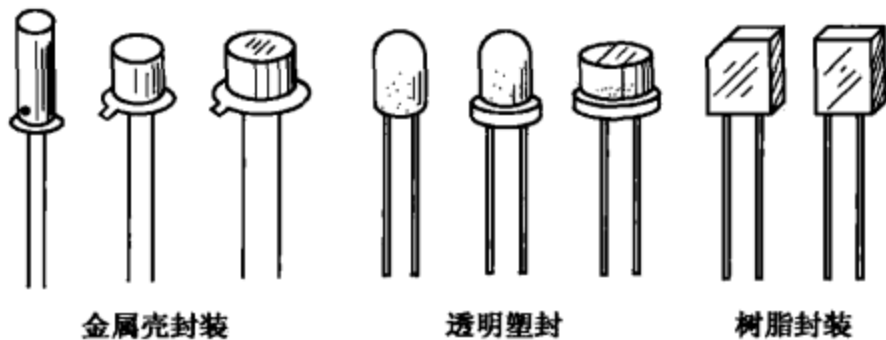


图 5-1

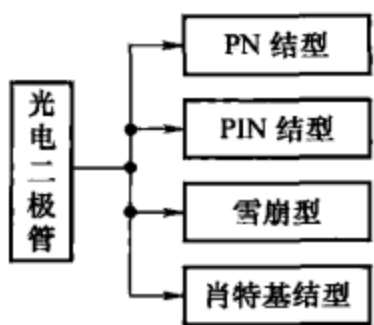


图 5-2

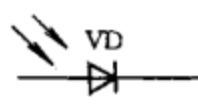


图 5-3

5.1.2 怎样识别光电二极管

1. 光电二极管的型号

国产光电二极管主要有 2CU 系列（N 型硅光电二极管）、2DU 系列（P 型硅光电二极管）和 PIN 系列（PIN 结型硅光电二极管）等，见表 5-1。

▼ 表 5-1 国产光电二极管的型号

类型	型号	类型	型号
N 型硅管	2CU***	PIN 型硅管	PIN***
P 型硅管	2DU***		

2. 光电二极管的极性

光电二极管两引脚有正、负极之分，如图 5-4 所示，靠近管键或色点的是正极，另一脚是负极；较长的是正极，较短的是负极。

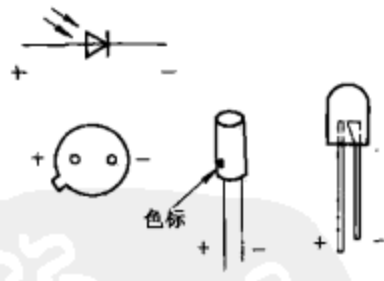


图 5-4

5.1.3 怎样理解光电二极管的参数

光电二极管的主要参数是最高工作电压 U_{RM} 、光电流 I_L 和光电灵敏度 S_n 等。

1. 最高工作电压

最高工作电压 U_{RM} 是指在不光照、反向电流不超过规定值（通常为 $0.1\mu A$ ）的前提下，光电二极管所允许加的最高反向电压，如图 5-5 所示。光电二极管的 U_{RM} 一般在 $10\sim 50V$ ，使用

中不要超过这个范围。

2. 光电流

光电流 I_L 是指在受到一定光照时，加有反向电压的光电二极管中所流过的电流，为几十微安，如图 5-5 所示。一般情况下，选用光电流 I_L 较大的光电二极管效果较好。

3. 光电灵敏度

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

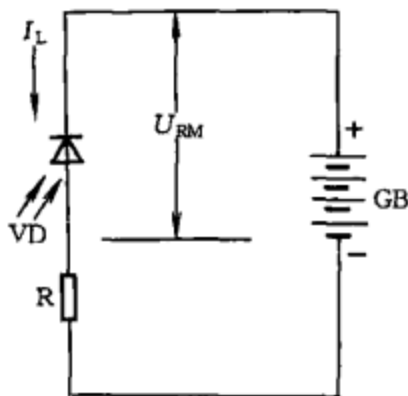


图 5-5

5.1.4 光电二极管有什么特点

1. 光电二极管的特点

光电二极管的特点是具有将光信号转换为电信号的功能，并且其光电流 I_L 的大小与光照强度成正比，光照越强，光电流 I_L 越大，如图 5-6 所示。



王小帅：光电二极管为什么能够将光信号转换为电信号呢？



门老师：这是由光电二极管的内在特性所决定的，现在我们来分析光电二极管的工作原理。

2. 光电二极管的工作原理

光电二极管通常工作在反向电压状态，如图 5-7 所示。无光照时，光电二极管 VD 截止，反向电流 $I=0$ ，负载电阻 R_L 上的输出电压 $U_o=0$ 。有光照时，VD 的反向电流 I 明显增大并随光照强度的变化而变化，这时输出电压 U_o 也较大并随光照强度的变化而变化，从而实现了光电转换。

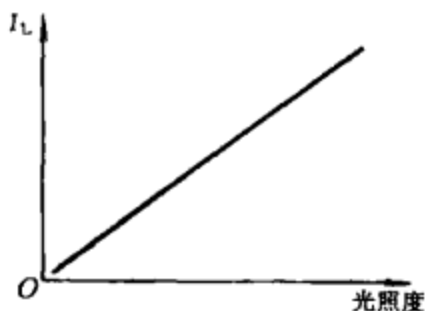


图 5-6

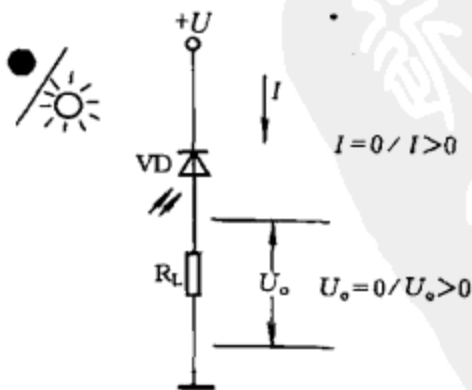


图 5-7

5.1.5 光电二极管有哪些作用

光电二极管的作用是进行光电转换，在光控、红外遥控、光探测、光纤通信和光电耦合等方面有广泛的应用。

1. 光控

光电二极管可以用作光控开关，电路如图 5-8 所示。无光照时，光电二极管 VD_1 因接反向电压而截止，晶体管 VT_1 、 VT_2 因无基极电流也截止，继电器处于释放状态。当有光线照射到光电二极管 VD_1 时， VD_1 从截止转变为导通，使 VT_1 、 VT_2 相继导通，继电器 K 吸合接通被控电路。

2. 光信号接收

光电二极管可以用于接收光信号。图 5-9 所示为光信号放大电路，光信号由光电二极管 VD 接收，经 VT 放大后通过耦合电容 C 输出。

3. 光转换

光电二极管可以用于红外光到可见光的转换，电路如图 5-10 所示。红外光信号由光电二极管 VD_1 接收，经晶体管 VT_1 、 VT_2 放大后，驱动发光二极管 VD_2 发出可见光。

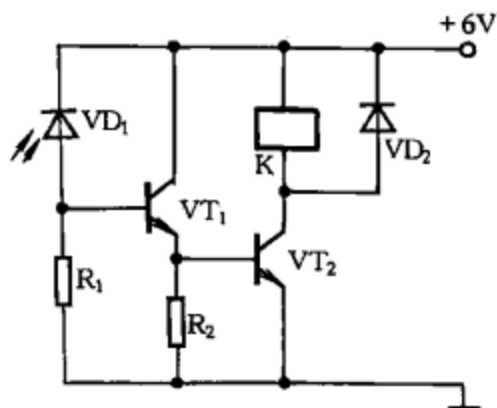


图 5-8

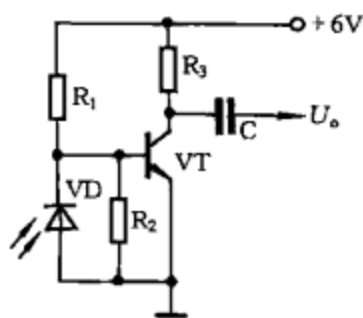


图 5-9

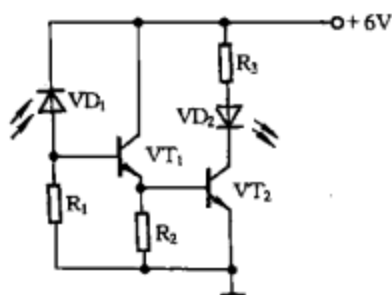


图 5-10

5.1.6 怎样检测光电二极管

光电二极管可用万用表的电阻挡对其 PN 结和光电性能进行检测。

1. 检测 PN 结

万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，黑表笔（表内电池正极）接光电二极管正极，红表笔接负极，测其正向电阻，显示值应为 $10 \sim 20k\Omega$ ，如图 5-11 所示。

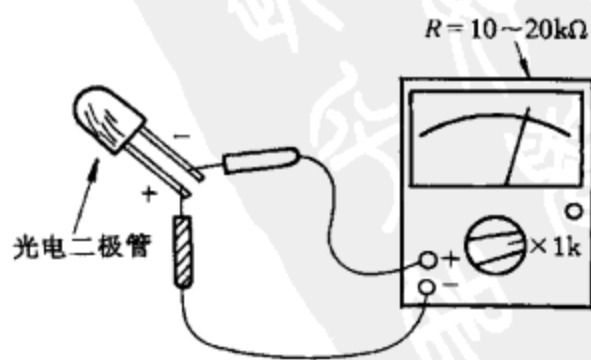


图 5-11

2. 检测光电性能

在上面测量的基础上，对调万用表两表笔，即红表笔接光电二极管正极，黑表笔接负极。然后用一遮光物（例如黑纸片等）将光电二极管的透明窗口遮住，如图 5-12 所示，这时测得的是无光照情况下的反向电阻，应为无穷大。

移去遮光物，使光电二极管的透明窗口朝向光源（自然光、白炽灯或手电筒等），这时表针应向右偏转至几千欧处，如图 5-13 所示。表针偏转越大，说明光电二极管灵敏度越高。

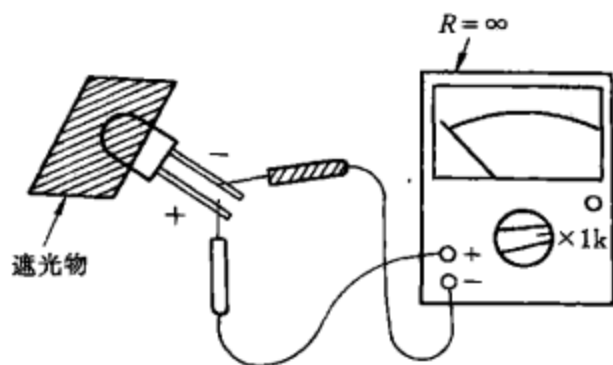


图 5-12

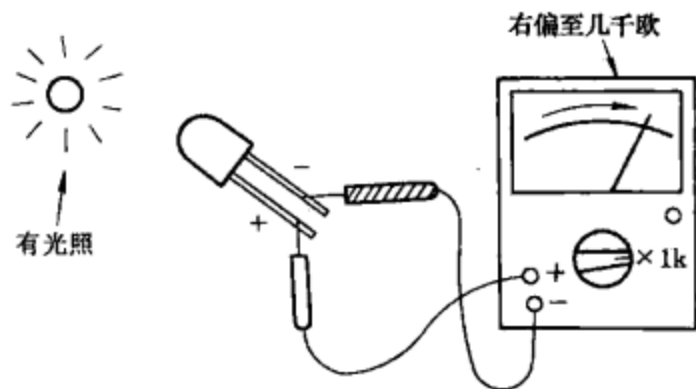


图 5-13

5.1.7 什么是光电三极管

光电三极管（又称光敏三极管、光敏晶体管）是在光电二极管的基础上发展起来的光电器件。和晶体三极管相似，光电三极管也是具有两个 PN 结的半导体器件，所不同的是其基极受光信号的控制。图 5-14 所示为常见光电三极管外形。

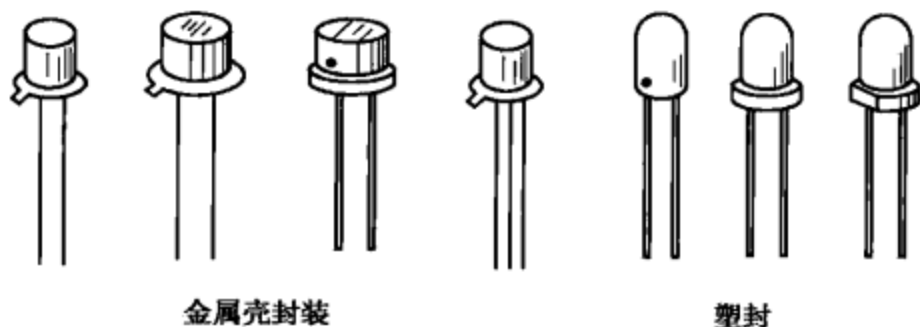


图 5-14

1. 光电三极管的种类

光电三极管有许多种类，按导电极性不同，可分为 NPN 型和 PNP 型；按结构类型不同，可分为普通光电三极管和复合型（达林顿型）光电三极管；按外引脚数不同，可分为二引脚式和三引脚式，如图 5-15 所示。

2. 光电三极管的符号

光电三极管的文字符号为“VT”，图形符号如图 5-16 所示。

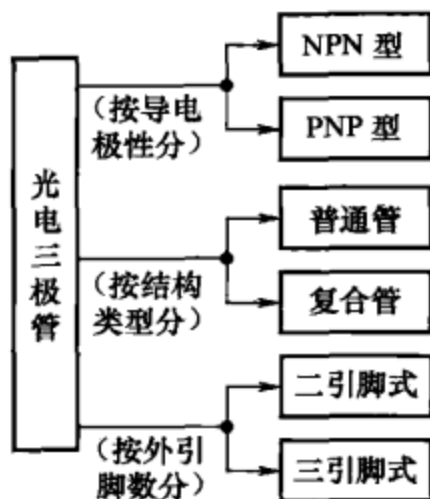


图 5-15

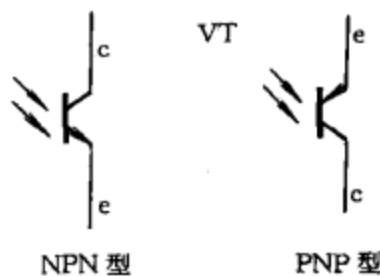


图 5-16

5.1.8 怎样识别光电三极管

1. 光电三极管的命名方法

光电三极管的型号命名方法与晶体三极管相同。目前普遍使用的是 3DU 系列 NPN 型硅光电三极管，其型号意义如图 5-17 所示。

2. 光电三极管的引脚

由于光电三极管的基极即为光窗口，因此大多数光电三极管只有发射极 e 和集电极 c 两只引脚，基极无引出线，光电三极管的外形与光电二极管几乎一样。也有部分光电三极管基极 b 有引脚，常作温度补偿用。

图 5-18 为常见光电三极管引脚示意图，靠近管键或色点的是发射极 e，离管键或色点较远的是集电极 c；较长的引脚是发射极 e，较短的引脚是集电极 c。

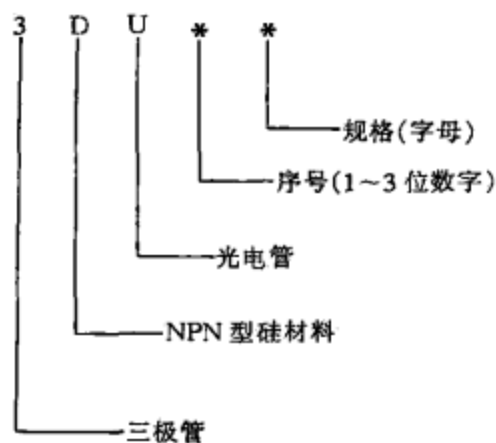


图 5-17

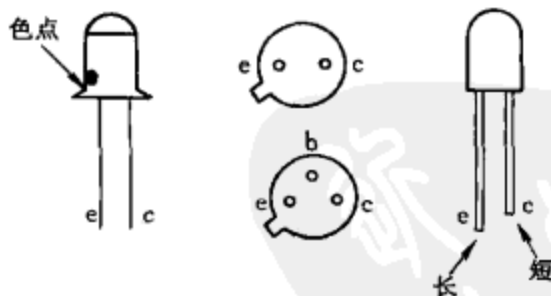


图 5-18

5.1.9 怎样理解光电三极管的参数

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

1. 最高工作电压

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

2. 光电流

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

3. 最大允许功耗

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

5.1.10 光电三极管有什么特点

1. 光电三极管的特点

光电三极管的特点是不仅能实现光电转换，而且还具有放大功能。

2. 光电三极管的工作原理

光电三极管可以等效为光电二极管和普通三极管的合体，如图 5-19 所示。光电三极管基极与集电极间的 PN 结相当于一个光电二极管，在光照下产生的光电流 I_L 又从基极进入三极管放大，因此光电三极管输出的光电流可达光电二极管的 β 倍。

5.1.11 光电三极管有哪些作用

1. 光电三极管的作用

光电三极管的主要作用是光控。由于光电三极管本身具有放大作用，给使用带来了很大方便。图 5-20 所示为光控开关电路，由于光控器件采用了光电三极管，因此该电路比使用光电二极管的同类电路简化许多。

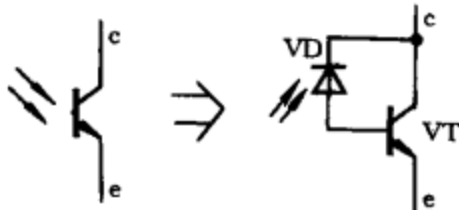


图 5-19

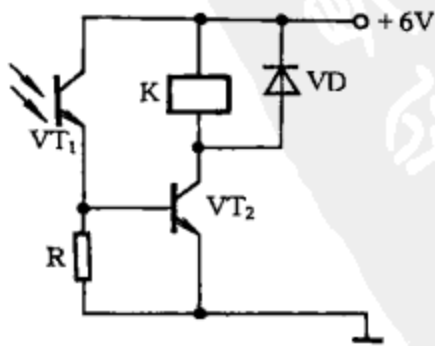


图 5-20

- 李蕾蕾：请问门老师，光电三极管具有如此优点，为什么还要有光电二极管呢？
- 门老师：在普通的光控电路中，选用光电三极管确实要好一些，因为它的灵敏度较高。但是在响应速度和线性度方面，光电二极管要更好些。
- 王小帅：那我们在实际应用时，到底该选用光电二极管还是光电三极管呢？
- 门老师：那要根据具体电路的要求来选用。现在我们来将光电二极管与光电三极管做一个比较，同学们自然就有结论了。

2. 选用光电二极管还是光电三极管

光电二极管和光电三极管各有长处，见表 5-2。光电二极管温度特性和输出线性度好、响应时间快；光电三极管灵敏度高、输出光电流大。因此，在对输出线性要求较高或工作频率较高的场合应选用光电二极管；而一般的光电控制电路要求灵敏度高，应选用光电三极管。

表 5-2 光电二极管与光电三极管的比较

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

3. 达林顿型光电三极管

达林顿型光电三极管是将光电三极管和晶体三极管按达林顿复合管形式组合在一起，如图 5-21 所示。由于光信号转换为电信号后，得到两级三极管的放大，总放大倍数等于两个三极管放大倍数的乘积，所以达林顿型光电三极管的灵敏度更高、光电流更大，可达十几毫安。达林顿型光电三极管的缺点是响应速度较慢。

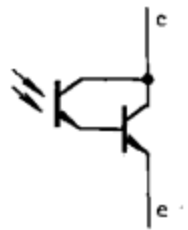


图 5-21

- 王小帅：光电二极管与光电三极管外形一样，怎样区分它们呢？
- 门老师：可以用万用表进行检测区分。

5.1.12 怎样检测光电三极管

光电三极管可用万用表电阻挡进行检测与区分。

1. 检测光电三极管

检测光电三极管时（以 NPN 型为例），万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，具体步骤如下。

（1）黑表笔（表内电池正极）接发射极 e，红表笔接集电极 c，此时光电三极管所加电压为反向电压，万用表指示的阻值应为无穷大，如图 5-22 所示。

（2）用黑纸片等遮光物将光电三极管窗口遮住，对调两表笔再测，如图 5-23 所示，此时虽然所加为正向电压，但因其基极无光照，光电三极管仍无电流，其阻值接近为无穷大。

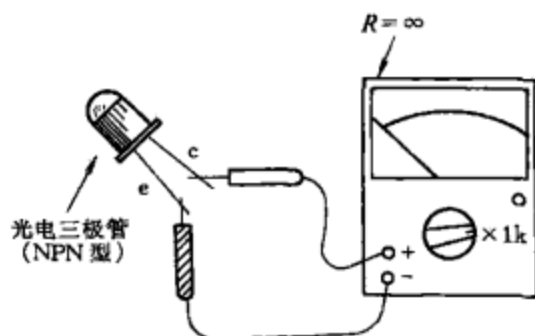


图 5-22

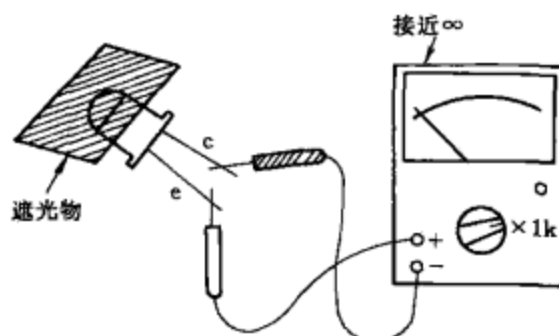


图 5-23

（3）保持红表笔接发射极 e、黑表笔接集电极 c，然后移去遮光物，使光电三极管窗口朝向光源，如图 5-24 所示，这时表针应向右偏转到 $1k\Omega$ 左右。表针偏转越大，说明光电三极管灵敏度越高。

2. 区别光电二极管与光电三极管

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

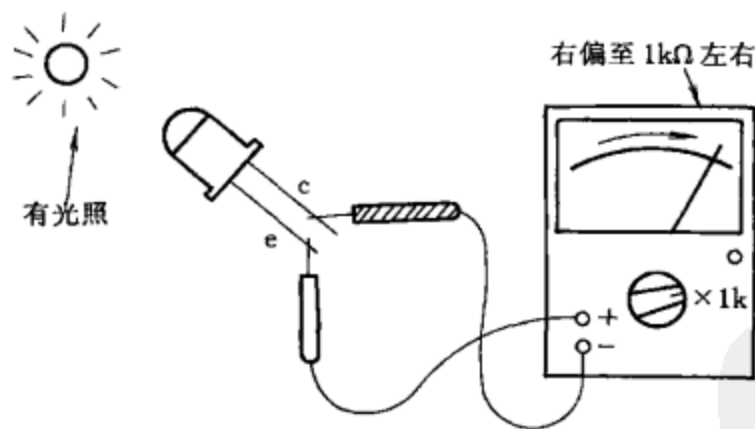


图 5-24



门老师：这一讲我们讲了光电二极管与光电三极管，它们的主要知识点归纳如下。

（1）光电二极管是一种具有一个 PN 结的半导体光敏器件，它有一个透明的窗口，以便使光线能够照射到 PN 结上。

(2) 光电二极管的文字符号为“VD”。

(3) 光电二极管的特点是具有将光信号转换为电信号的功能，其作用是进行光电转换，在光控、红外遥控、光探测、光纤通信和光电耦合等方面有广泛的应用。

(4) 光电三极管是在光电二极管的基础上发展起来的光电器件。光电三极管是具有两个 PN 结的半导体器件，其基极受光信号的控制。

(5) 光电三极管分为 NPN 型和 PNP 型两类。

(6) 光电三极管的文字符号为“VT”。

(7) 光电三极管的特点是不仅能实现光电转换，而且同时还具有放大功能。

(8) 光电三极管的主要作用是光控。

(9) 光电二极管和光电三极管都可用万用表电阻挡进行检测与区分。

第 2 讲 光电耦合器



门老师：现在我们讲第 5 课的第 2 讲光电耦合器，主要内容包括光电耦合器的概念、种类和符号，光电耦合器的识别，光电耦合器的主要参数，光电耦合器的特点和作用，光电耦合器的检测方法等。

5.2.1 什么是光电耦合器

光电耦合器是以光为媒介传输电信号的器件。图 5-25 所示为部分常见光电耦合器外形。

1. 光电耦合器的种类

光电耦合器种类较多，如图 5-26 所示。按其内部输出电路结构不同，可分为光电二极管型、光电三极管型、光敏电阻型、光控晶闸管型、达林顿型、集成电路型、光电二极管和半导体管型等。按其输出形式不同，可分为普通型、线性输出型、高速输出型、高传输比型、双路输出型和组合封装型等。

2. 光电耦合器的符号

光电耦合器的电路图形符号如图 5-27 所示。

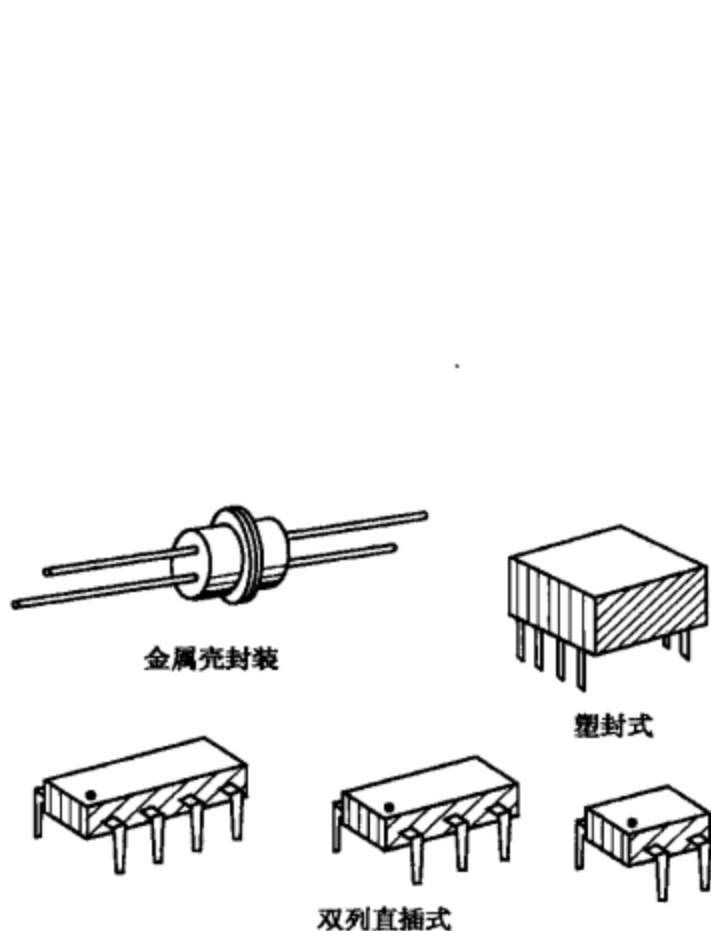


图 5-25

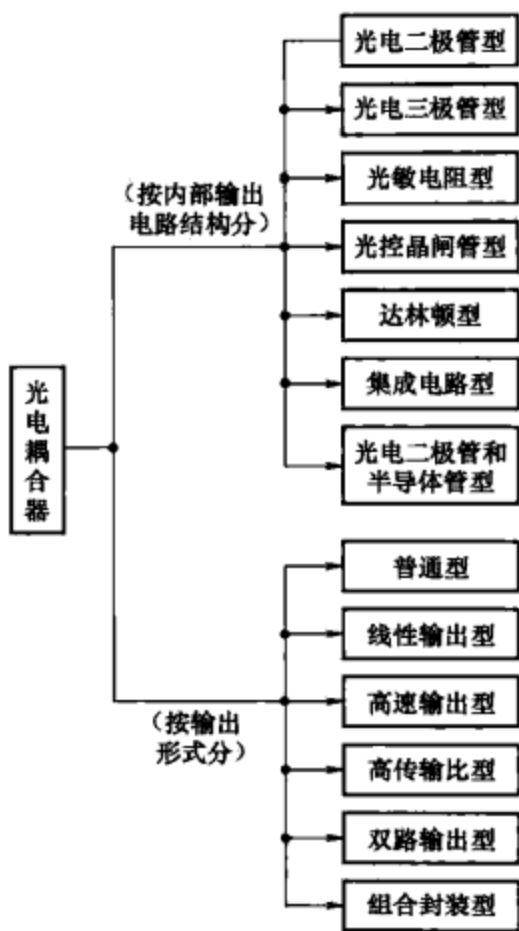


图 5-26

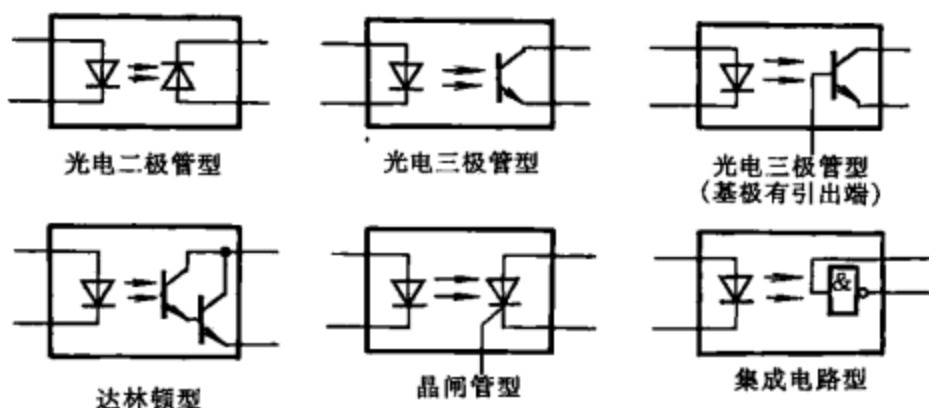


图 5-27

李蕾蕾：门老师，光电耦合器有这么多种类，我们拿到一只光电耦合器如何知道它是哪一种呢？

门老师：这要根据光电耦合器的型号和封装来判断，下面我们就来讲讲如何识别的问题。

5.2.2 怎样识别光电耦合器

光电耦合器的封装形式多种多样，仅双列直插式就有 4 脚、6 脚、8 脚式等，使用时必须搞清楚它们的引脚。图 5-28 所示为部分常见光电耦合器的引脚排列图。

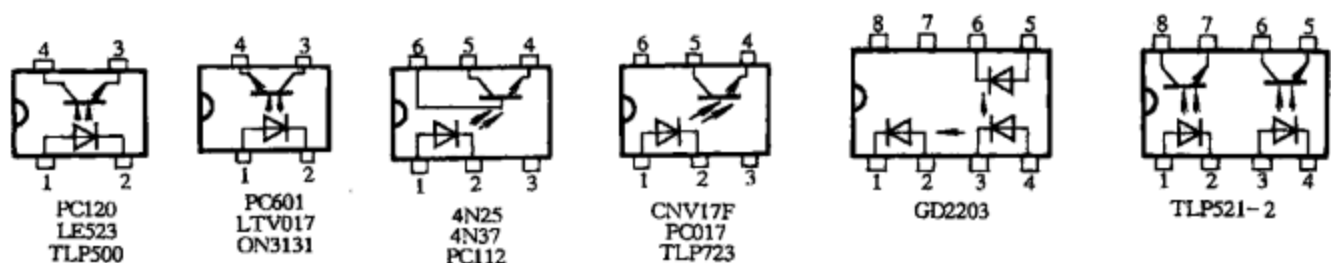


图 5-28

5.2.3 怎样理解光电耦合器的参数

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

1. 正向电压

正向电压 U_F 是光电耦合器输入端的主要参数，是指使输入端发光二极管正向导通所需要的最小电压（即发光二极管管压降），如图 5-29 所示。

2. 输出电流

输出电流 I_L 是光电耦合器输出端的主要参数，是指输入端接入规定正向电压时，输出端光电器件通过的光电流，如图 5-29 所示。

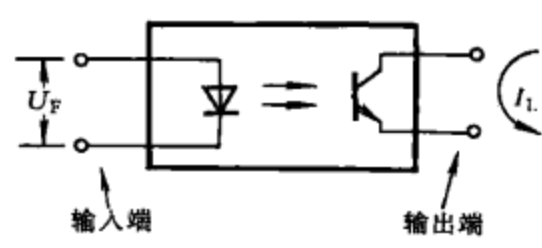


图 5-29

3. 反向击穿电压

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

5.2.4 光电耦合器有什么特点

光电耦合器的特点是输入端与输出端之间既能传输电信号，又具有电的隔离性，并且传输效率高、隔离度好、抗干扰能力强、使用寿命长。

5.2.5 光电耦合器有哪些作用

光电耦合器的主要作用是隔离传输，在隔离耦合、电平转换、继电控制等方面得到广泛的应用。

1. 隔离传输

光电耦合器内部包括一个发光二极管和一个光电器件，其基本工作电路如图 5-30 所示（以光电三极管型为例）。

当输入端加上电压 GB_1 时，电流 I_1 流过发光二极管使其发光；光电三极管接受光照后就产

生光电流 I_2 ，从而实现了电信号的传输。由于这个传输过程是通过“电→光→电”的转换完成的， GB_1 与 GB_2 之间并没有电的联系，所以同时实现了输入端与输出端之间的电的隔离。

2. 隔离控制

图 5-31 所示为交流电钻控制电路。当按下按钮开关 SB 时，光电耦合器产生输出电流，使双向晶闸管 VS 导通，电钻电机 M 转动。由于光电耦合器的隔离作用，只需控制 3V 低压直流电即可间接控制交流 220V 电源。

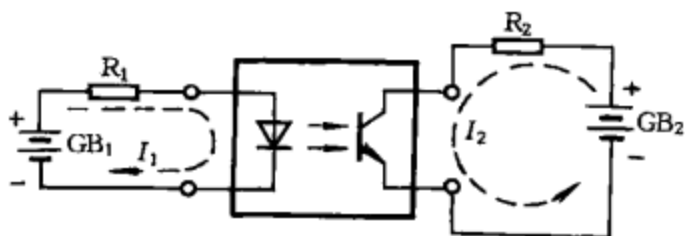


图 5-30

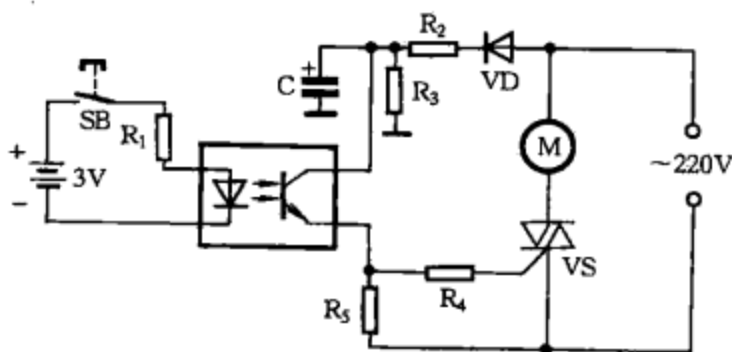


图 5-31

5.2.6 怎样检测光电耦合器

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

1. 检测输入部分

万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，分别测量输入部分发光二极管的正、反向电阻，其正向电阻为几百欧，反向电阻为几十千欧。图 5-32 所示为测量正向电阻时的情况。

王小帅：门老师，您在讲第 3 课时说过，发光二极管的管压降在 2V 左右，要用万用表“ $R \times 10k$ ”挡才能测量。那么光电耦合器输入端的发光二极管为什么可以用万用表“ $R \times 1k$ ”挡检测呢？

门老师：问得好。大家要向王小帅同学学习，在听课时不是光听我说，而是随时开动脑筋思考，有问题随时提出来。

这里有一点需要说明，光电耦合器中的发光二极管的正向管压降较普通发光二极管低，在 1.3V 以下，所以可以用万用表“ $R \times 1k$ ”挡直接测量。

2. 检测输出部分

以光电三极管型光电耦合器为例，在输入端悬空的前提下，测量输出端两引脚（光电三极管的 c、e 极）间的正、反向电阻，均应为无穷大，如图 5-33 所示。

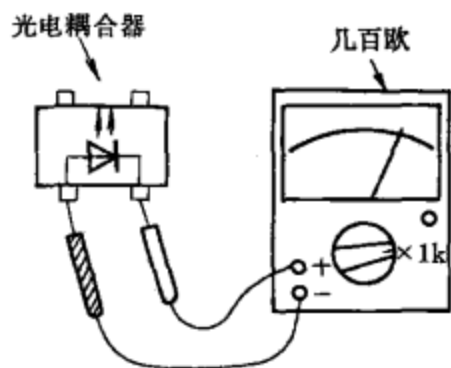


图 5-32

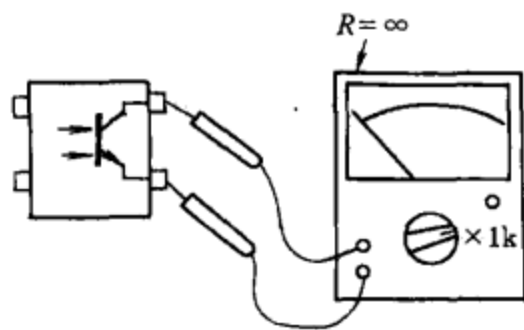


图 5-33

3. 检测光电耦合器的传输性能

如图 5-34 所示, 将万用表置于“ $R \times 100$ ”挡, 黑表笔接输出部分光电三极管的集电极 c , 红表笔接发射极 e 。当按图示给光电耦合器输入端接入正向电压时, 光电三极管应导通, 万用表指示阻值很小。当切断输入端正向电压时, 光电三极管应截止, 阻值为无穷大。

4. 检测绝缘电阻

将万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡, 测量输入端与输出端之间任两只引脚间的电阻, 均应为无穷大, 如图 5-35 所示。

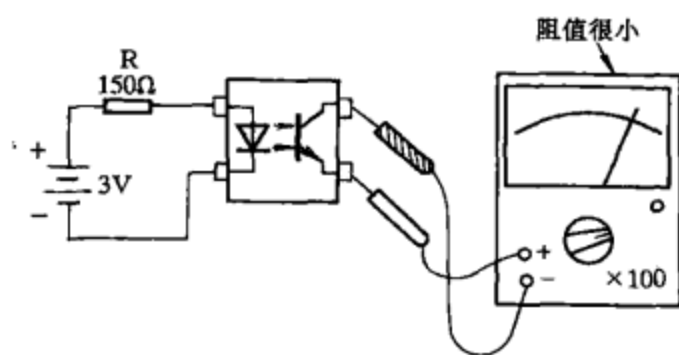


图 5-34

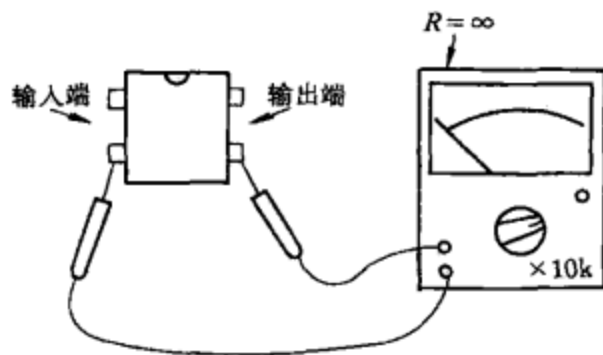


图 5-35

门老师: 王小帅同学, 请你归纳一下本讲的知识要点。

王小帅: 通过这一讲的学习, 我认为光电耦合器的主要知识点有以下几个。

- (1) 光电耦合器是以光为媒介传输电信号的器件, 包括光电二极管型、光电三极管型、光敏电阻型、光控晶闸管型、达林顿型和集成电路型等。
- (2) 光电耦合器的主要参数有正向电压、输出电流和反向击穿电压等。
- (3) 光电耦合器的特点是输入端与输出端之间既能传输电信号, 又具有电的隔离性。
- (4) 光电耦合器的主要作用是隔离传输和隔离控制。
- (5) 光电耦合器输入部分与输出部分之间是绝缘的, 因此检测光电耦合器时应分别检测其输入部分和输出部分。



第 3 讲 扬声器与耳机



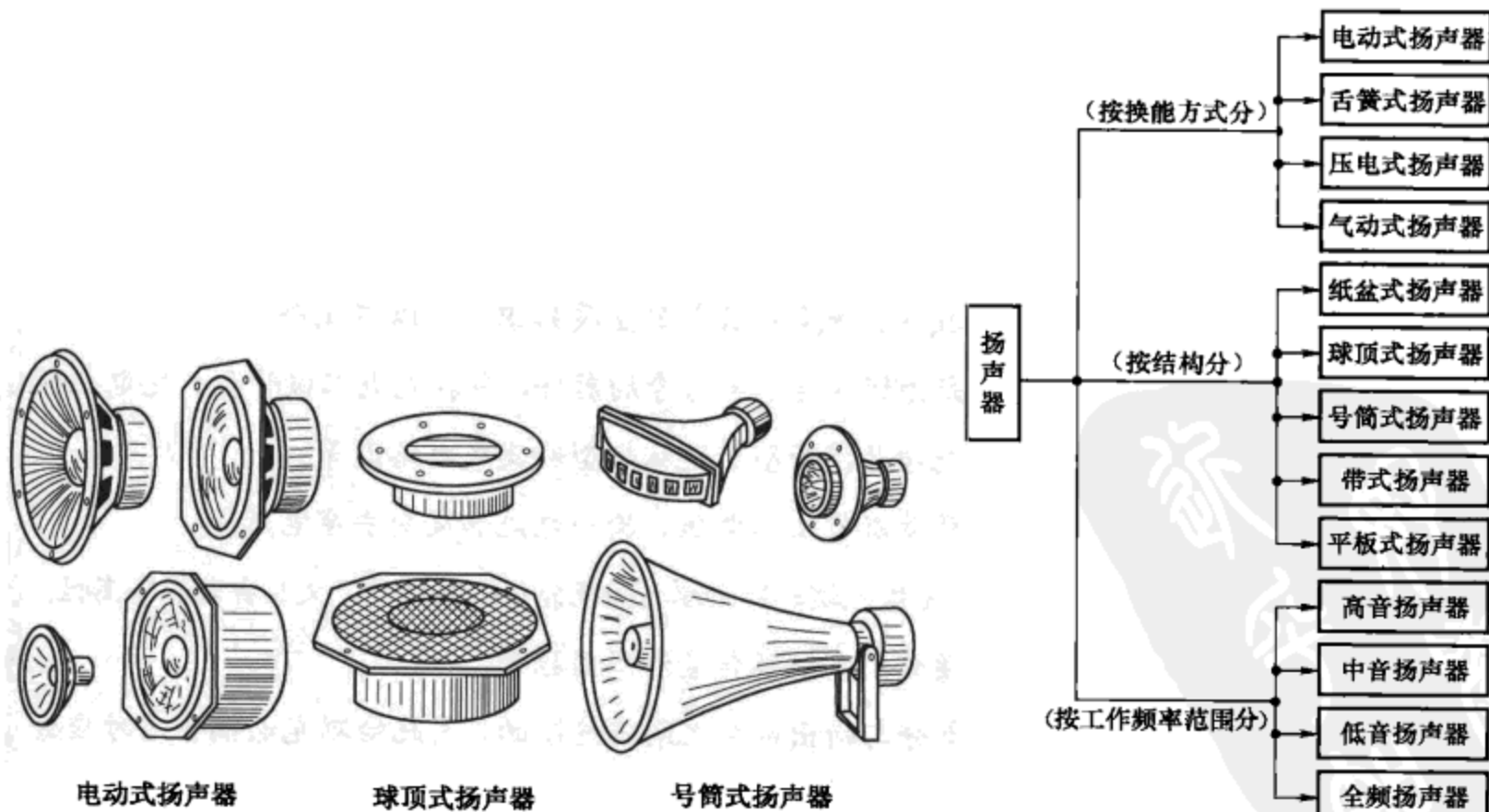
门老师：同学们，从第 5 课的第 3 讲开始我们讲电声器件。今天讲扬声器与耳机，内容包括扬声器与耳机的种类、符号、型号和主要参数，各种扬声器与耳机的特点和用途，扬声器与耳机的检测方法等。

5.3.1 什么是扬声器

扬声器俗称喇叭，是一种常用的电声转换器件，其基本作用是将电信号转换为声音，在收音机、录音机、电视机、计算机、音响和家庭影院系统，以及电影院、剧场、体育场馆、交通设施等公共场所得到广泛的应用。扬声器外形多种多样，如图 5-36 所示。

1. 扬声器的种类

扬声器按换能方式可分为电动式扬声器、舌簧式扬声器、压电式扬声器和气动式扬声器等；按结构可分为纸盆式扬声器、球顶式扬声器、号筒式扬声器、带式扬声器和平板式扬声器等；按工作频率范围可分为高音扬声器、中音扬声器、低音扬声器和全频扬声器，如图 5-37 所示。



2. 扬声器的符号

扬声器的文字符号是“BL”，图形符号如图 5-38 所示。



图 5-38

5.3.2 怎样识别扬声器

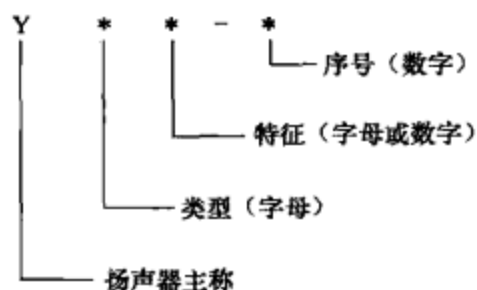


图 5-39

扬声器的型号命名由 4 部分组成，如图 5-39 所示。第一部分用字母“Y”表示扬声器的主称，第二部分用字母表示扬声器的类型，第三部分用字母或数字表示扬声器的额定功率或口径等特征，第四部分用数字表示序号。

扬声器型号中字母代号的意义见表 5-3。例如，型号为 YD3-25 表示这是 3W(3VA)的电动式扬声器；型号为 YDG50-1 表示这是口径 50mm 的电动式高音扬声器。

▼ 表 5-3 扬声器型号中字母代号的意义

字母代号	意义	字母代号	意义
D	电动式	DG	电动高音
C	舌簧式	HT	号筒椭圆式
Y	压电式	HG	号筒高音
R	静电式	QG	球顶高音
H	号筒式	QZ	球顶中音
DT	电动椭圆式		

5.3.3 怎样理解扬声器的参数

扬声器的主要参数有额定功率、标称阻抗、频率范围和灵敏度等。

1. 额定功率

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

2. 标称阻抗

标称阻抗是指扬声器工作时输入的信号电压与流过的信号电流之比值，单位为“ Ω ”。标称阻抗是指交流阻抗，在数值上是扬声器音圈直流电阻值的 1.2~1.3 倍。常用扬声器的标称阻抗有 4 Ω 、8 Ω 、16 Ω 等，应按照电路图的要求选用。

额定功率和标称阻抗一般均直接标示在扬声器上，如图 5-40 所示。

3. 频率范围

频率范围是指输出声压变化幅度在一定的允许范围内（一般为-3dB）时，扬声器的有效工作频率范围。低音扬声器的频率范围为 30~8000Hz，中音扬声器的频率范围为 200~10000Hz，高音扬声器的频率范围为 2000~16000Hz。在一般应用场合应选用全频或中音扬声器，在分频音箱中则应按要求选用高、中、低音扬声器。



图 5-40

4. 灵敏度

灵敏度是指给扬声器输入 1W 的电功率时，其发出的平均声压大小，单位为“dB”。灵敏度越高，说明扬声器的电声转换效率越高。

5.3.4 电动式扬声器

1. 电动式扬声器工作原理

电动式扬声器通常指电动式纸盆扬声器，其工作原理如图 5-41 所示。音圈位于环形磁钢与芯柱之间的磁隙中，当音频电流通过音圈时，所产生的交变磁场与磁隙中的固定磁场相互作用，使音圈在磁隙中往复运动，并带动与其粘在一起的纸盆运动而发声。

2. 电动式扬声器的种类与用途

电动式扬声器有许多种，按外形可分为圆形、椭圆形、超薄形等，并有大、中、小多种口径尺寸；按磁体结构可分为外磁式和内磁式扬声器；按音盆可分为纸盆扬声器、布边、橡皮边、泡沫边以及复合边扬声器等，如图 5-42 所示。

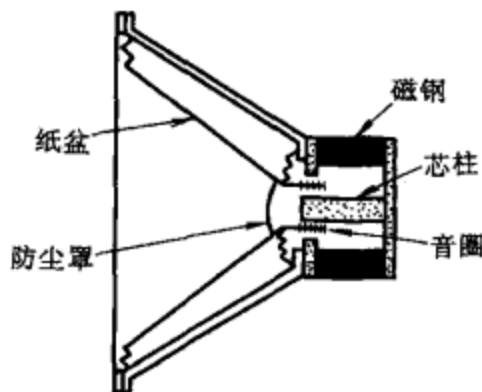


图 5-41

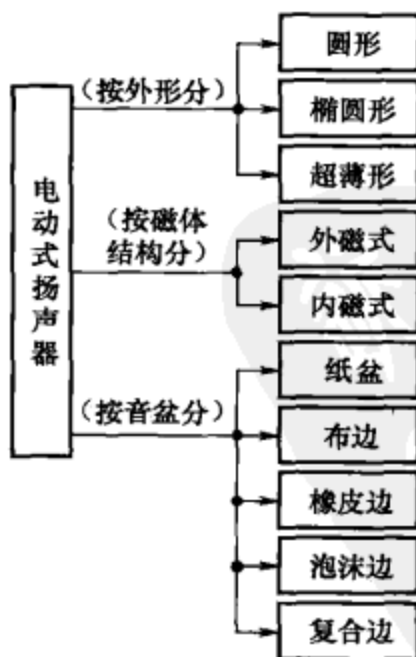


图 5-42

电动式扬声器是最常用的扬声器，既有全频扬声器，又有专门的高音、中音、低音扬声器，广泛应用在收音机、录音机、电视机等各种场合。

李蕾蕾：我曾经看到有的扬声器并没有张着大口的纸盆，请问门老师，这是什么扬声器？
门老师：球顶式扬声器和号筒式扬声器都没有纸盆，但号筒式扬声器仍然张着一个大口，那是号筒。李蕾蕾同学所说的没有张着大口的扬声器应该是球顶式扬声器。下面我们来说球顶式扬声器和号筒式扬声器。

5.3.5 球顶式扬声器

1. 球顶式扬声器工作原理

球顶式扬声器内部结构如图 5-43 所示，其工作原理类似于电动式扬声器，但取消了纸盆，而是采用球顶式振膜。

2. 球顶式扬声器的种类与用途

球顶式扬声器可分为软质振膜和硬质振膜两类。软质振膜一般采用布、丝绸等天然纤维或复合纤维制成，音色甜美自然，属于暖音色；硬质振膜常用钛合金制成，高频瞬态响应更好，音色清脆，属于冷音色。

常见的球顶式扬声器有高音扬声器和中音扬声器两种，主要应用在高档分频式组合音箱中，如图 5-44 所示。

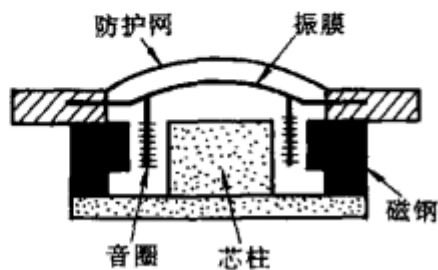


图 5-43

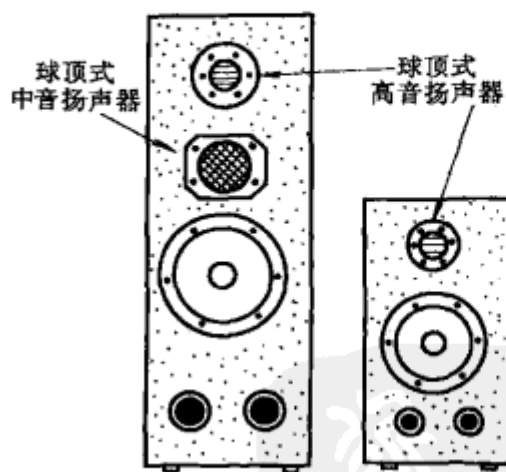


图 5-44

5.3.6 号筒式扬声器

1. 号筒式扬声器工作原理

号筒式扬声器由发音头和号筒两部分组成，其结构如图 5-45 所示。号筒起到聚集声音的作

用,可以使声音更有效地传播。号筒可分为直接式和反射式两类,反射式可以缩短号筒的长度。

2. 号筒式扬声器的种类与用途

号筒式扬声器有多种,按号筒可分为圆柱形、锥形、指数形、反射式等;按发音头可分为电动式、压电式、静电式等,如图 5-46 所示。

号筒式扬声器多是高音扬声器,主要应用在要求较高的音箱等还音系统中。室外广播用的高音喇叭也是一种号筒式扬声器,如图 5-47 所示。

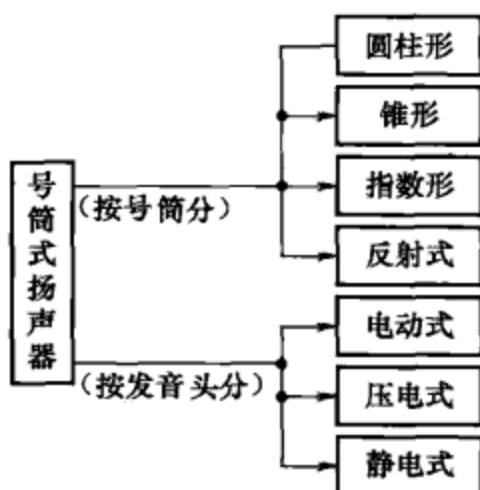


图 5-46

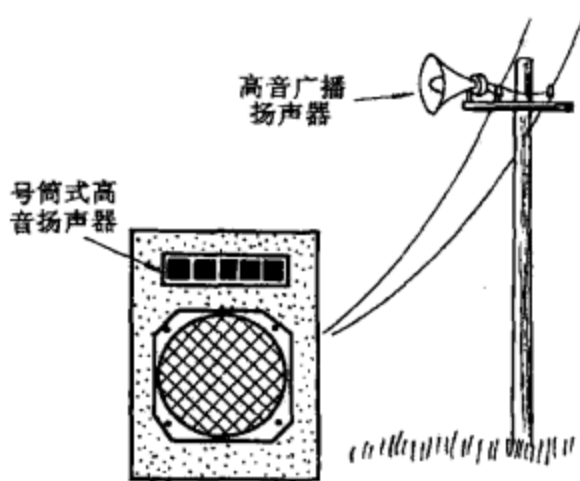


图 5-47

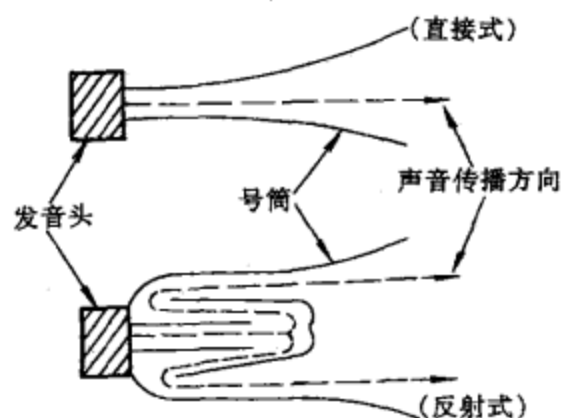


图 5-45

5.3.7 怎样检测扬声器

扬声器可用万用表电阻挡进行检测。

1. 检测音圈

(1) 将万用表置于“ $R \times 1$ ”挡,并进行欧姆挡校零。

(2) 用万用表两表笔(不分正、负)断续触碰扬声器两引出端,如图 5-48 所示,扬声器中应发出“喀、喀……”声,声音越大越清脆越好;如果无声,说明该扬声器已损坏;如果“喀、喀……”声小或不清晰,说明该扬声器质量较差。

(3) 也可通过测量扬声器音圈直流电阻来检测扬声器。如图 5-49 所示,两表笔(不分正、负)接扬声器两引出端,万用表所指示的即为扬声器音圈的直流电阻,应为扬声器标称阻抗的 0.8 倍左右。如过小,说明音圈有局部短路;如不通(表针不动),则说明音圈已断路。

2. 判别扬声器相位

在多台扬声器组成的音箱中,为了保持各扬声器的相位一致,必须搞清楚扬声器两引出端

的正负极性，可用万用表进行判别。

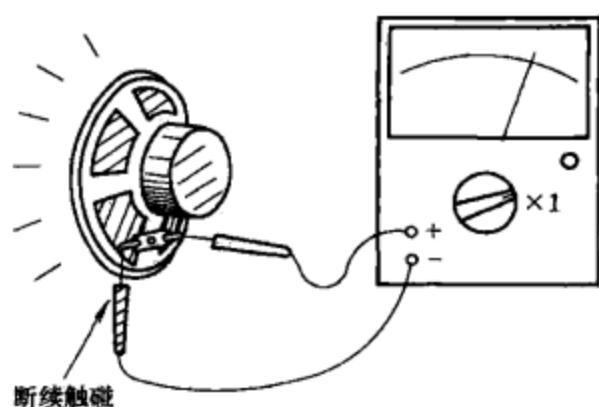


图 5-48

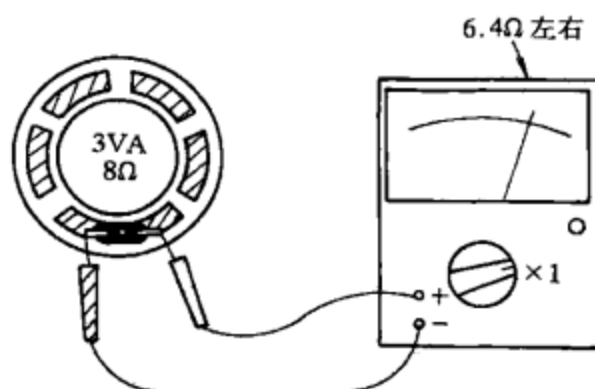


图 5-49

将扬声器口朝上放置，万用表置于“直流 $50\mu\text{A}$ ”挡，两表笔分别接扬声器两引出端，如图 5-50 所示。这时用手轻轻向下压一下纸盆，在向下压的瞬间，如果表针向右偏转，则黑表笔所接为扬声器“+”端，红表笔所接为扬声器“-”端。

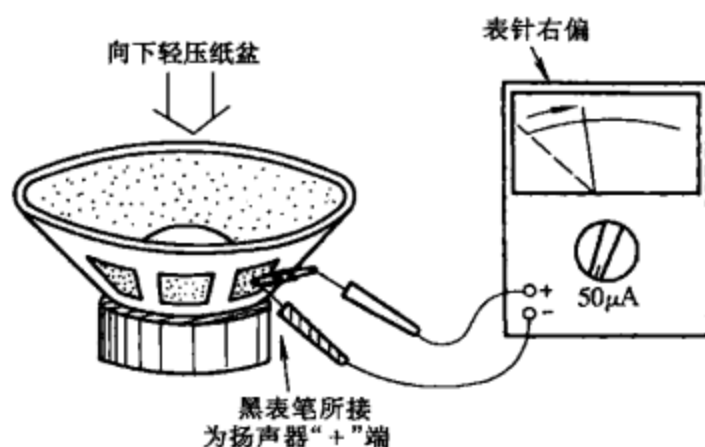


图 5-50

在向下压纸盆的时候，可同时检查音圈位置有无偏斜。如感觉到音圈与磁钢或芯柱有擦碰，则该扬声器不宜使用。

5.3.8 什么是耳机

耳机也是常用的电声转换器件，主要用于个人聆听。常见耳机外形如图 5-51 所示。

1. 耳机的种类

耳机按结构形式不同，可分为头戴式、耳挂式、耳塞式、听诊式和手持式等；按声道的不同，可分为单声道耳机和立体声耳机两种；按换能方式的不同，可分为电动式、电磁式、压电式、静电式、平膜式、平板式等，如图 5-52 所示。

2. 耳机的符号

耳机的文字符号是“BE”，图形符号如图 5-53 所示。



图 5-51

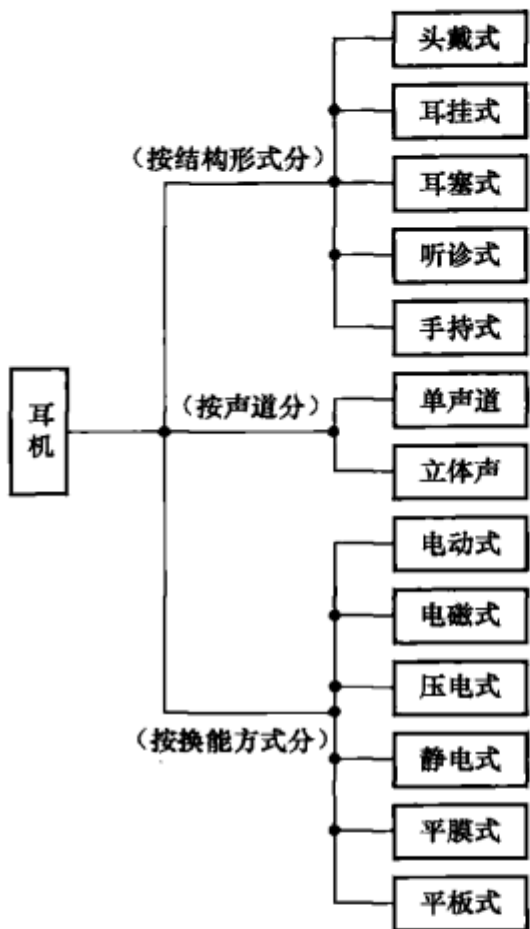


图 5-52



图 5-53

5.3.9 怎样识别耳机

1. 耳机的命名方法

耳机的型号命名由 4 部分组成，如图 5-54 所示。第一部分用字母“E”表示耳机的主称，第二部分用字母表示耳机的类型，第三部分用字母或数字表示耳机的特征，第四部分用数字表示序号。

耳机型号中字母代号的意义见表 5-4。例如，型号为 EDL-3 表示这是立体声动圈式耳机；型号为 ECS-1 表示这是电磁式耳塞机。

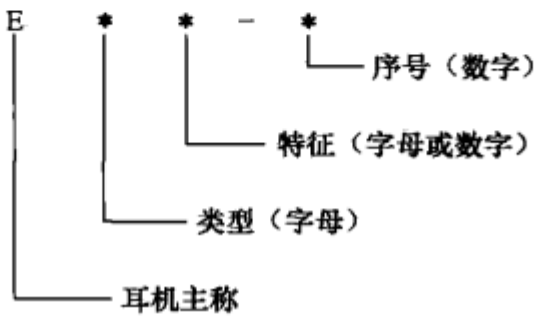


图 5-54

表 5-4 耳机型号中字母代号的意义

类型部分		特征部分	
字母	意义	字母	意义
D	动圈式	S	耳塞式
C	电磁式	G	耳挂式
Y	压电式	Z	听诊式
R	静电式	D	头戴式

续表

类型部分		特征部分	
字母	意义	字母	意义
		C	手持式
		L	立体声

- 门老师：（手拿一副耳机）哪位同学可以说说，为什么这副耳机要有两只发音单元？
- 王小帅：因为我们都有两只耳朵嘛。
- 众同学：哈哈……
- 李蕾蕾：这是立体声耳机呀，左右一边一只，才可以欣赏立体声。
- 门老师：对，这是立体声耳机，也叫双声道耳机。要欣赏立体声，还必须正确使用它。

2. 耳机的极性

立体声耳机或耳塞机，一般均标有左、右声道标志“L”或“R”，使用时应注意，“L”应戴在左耳，“R”应戴在右耳，如图 5-55 所示，这样才能聆听到正常的立体声。

5.3.10 怎样理解耳机的参数

耳机的主要参数有标称阻抗、频率范围和灵敏度等，其意义与扬声器的参数基本相同。耳机有低阻和高阻之分，常用低阻耳机的标称阻抗有 4Ω、8Ω、16Ω、32Ω等，常用高阻耳机的标称阻抗为数百欧，应根据需要选用。

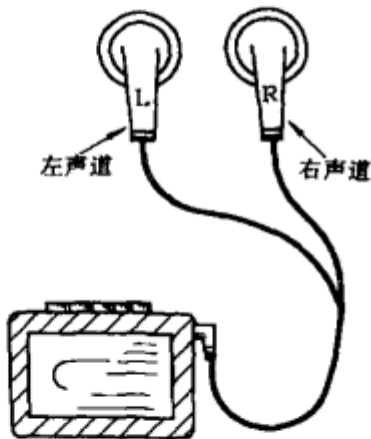


图 5-55

5.3.11 怎样检测耳机

耳机可用万用表电阻挡进行检测，方法与检测扬声器相同。检测立体声耳机时，应分别检测左、右声道，如图 5-56 所示。

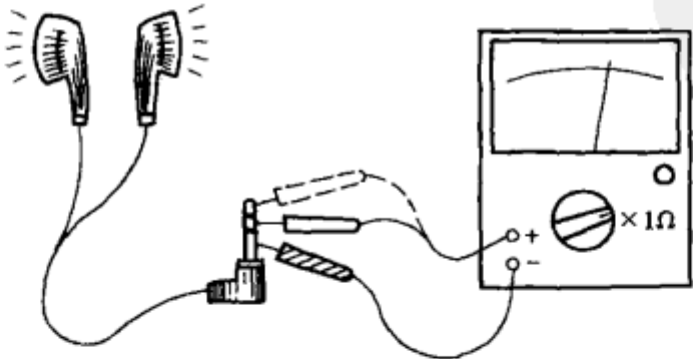


图 5-56



门老师：好，同学们，现在我们归纳一下本讲的主要知识点。

- (1) 扬声器俗称喇叭，是一种常用的电声转换器件，其基本作用是将电信号转换为声音播放出来。
- (2) 耳机也是常用的电声转换器件，主要用于个人聆听，耳机有低阻和高阻之分。
- (3) 扬声器的文字符号是“BL”，耳机的文字符号是“BE”。
- (4) 扬声器与耳机的主要参数有额定功率、标称阻抗、频率范围和灵敏度等。
- (5) 常用扬声器有电动式扬声器、球顶式扬声器和号筒式扬声器等。
- (6) 扬声器与耳机可以用万用表进行检测，还可以判别扬声器的相位。



第 4 讲 电磁讯响器与压电蜂鸣器



门老师：现在我们讲第 5 课的第 4 讲电磁讯响器与压电蜂鸣器，主要内容是电磁讯响器与压电蜂鸣器的概念、种类、符号和型号，它们的主要参数、作用和检测方法等。

5.4.1 什么是电磁讯响器

电磁讯响器是一种微型电声转换器件，应用在一些特定的场合，其外形如图 5-57 所示。

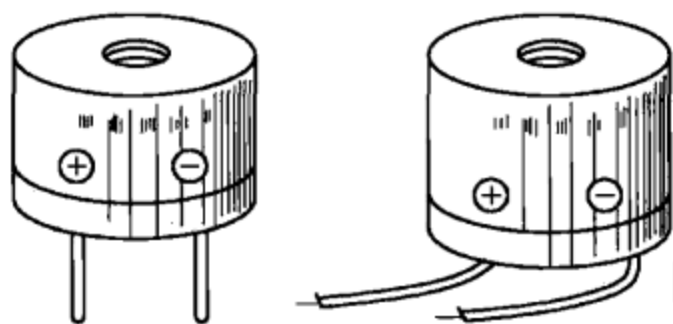


图 5-57

1. 电磁讯响器的种类

电磁讯响器可分为不带音源和自带音源两大类，如图 5-58 所示。

- (1) 不带音源讯响器相当于一个微型扬声器，工作时需要接入音频驱动信号才能发声。
- (2) 自带音源讯响器内部包含音源集成电路，可以自行产生音频驱动信号，工作时不需要

外加音频信号，接上规定的直流电压即可发声。按照所发声音的不同，自带音源讯响器又分为连续长音和断续声音两种。

2. 电磁讯响器的符号

电磁讯响器的文字符号是“HA”，图形符号如图 5-59 所示。

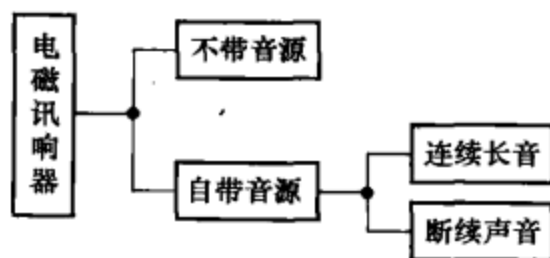


图 5-58



图 5-59

5.4.2 怎样理解电磁讯响器的参数

电磁讯响器的主要参数有工作电压和标称阻抗。

1. 工作电压

自带音源讯响器的额定直流工作电压有 1.5V、3V、6V、9V、12V 等规格，可根据电路电源电压进行选用。

2. 标称阻抗

不带音源讯响器的标称阻抗有 16Ω、32Ω、50Ω等，应根据需要选用。

5.4.3 电磁讯响器有什么特点

1. 电磁讯响器的特点

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

2. 电磁讯响器的工作原理

(1) 电磁讯响器是运用电磁原理工作的，其内部结构如图 5-60 所示，由线圈、磁铁、振动膜片等组成。当给线圈通以音频电流时产生交变磁场，振动膜片在交变磁场的吸引力作用下振动而发声。电磁讯响器的外壳形成一共鸣腔，使其发声更加响亮。

(2) 自带音源讯响器结构如图 5-61 所示，内部包含音源集成电路 IC。接上规定的直流工作电压后，IC 产生音频信号（连续长音或断续声音）驱动讯响器发声。

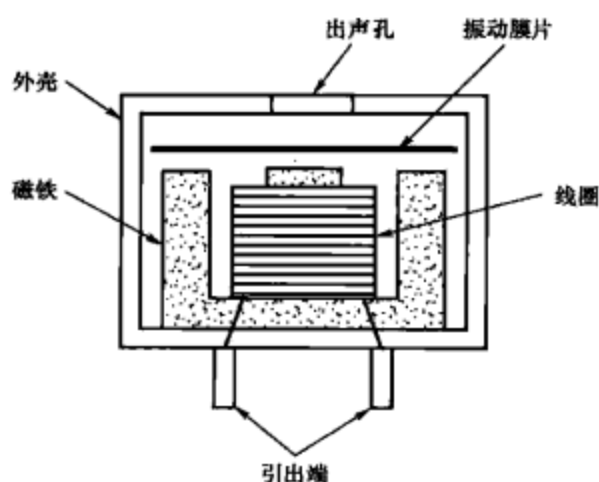


图 5-60

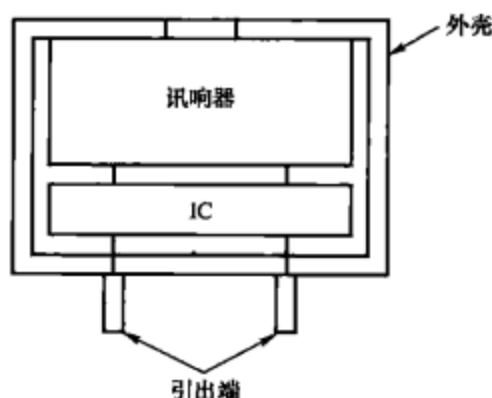


图 5-61



王小帅：门老师，既然电磁讯响器的声音不够好，为什么还要用它呢？用微型扬声器也可以呀！



门老师：因为电磁讯响器的体积更小。实际上在某些场合，你并不会觉得电磁讯响器的声音难听。

5.4.4 电磁讯响器有哪些作用

电磁讯响器的作用是发出保真度要求不高的声音。

1. 不带音源讯响器的应用

图 5-62 所示为电话机振铃电路，当有电话呼入时，信号源产生的铃音信号经控制电路驱动不带音源讯响器 HA 发出振铃声。

2. 自带音源讯响器的应用

图 5-63 所示为提示音电路，HA 为自带音源讯响器，VT 为驱动开关管。当控制脉冲为“1”时，VT 导通，HA 发声；当控制脉冲为“0”时，VT 截止，HA 不发声。

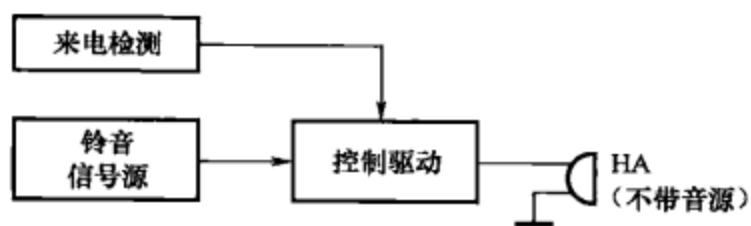


图 5-62



图 5-63

5.4.5 怎样检测电磁讯响器

1. 检测不带音源电磁讯响器

检测不带音源讯响器的方法与检测扬声器相同，万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，两表笔（不分正、负）断续触碰电磁讯响器两引出端，如图 5-64 所示，讯响器中应发出“喀、喀……”声，否则说明该讯响器已损坏。

2. 检测自带音源电磁讯响器

检测自带音源讯响器的最简便的方法就是如图 5-65 所示给其加上规定的直流电压，听其发声是否正常、明亮。

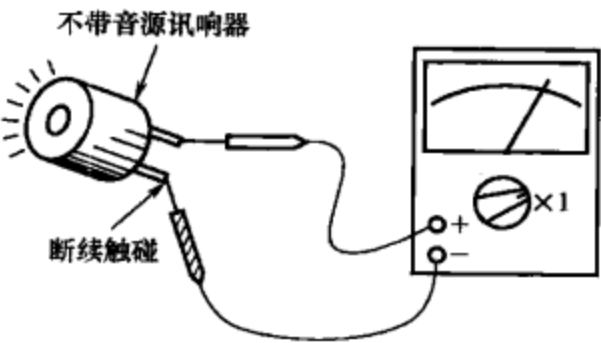


图 5-64

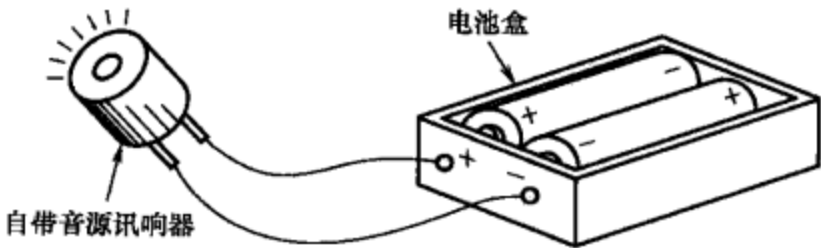


图 5-65

5.4.6 什么是压电蜂鸣器

压电蜂鸣器是一种利用压电效应原理工作的电声转换器件，应用在一些特定的场合，其外形如图 5-66 所示。

压电蜂鸣器的文字符号是“HA”，图形符号如图 5-67 所示。

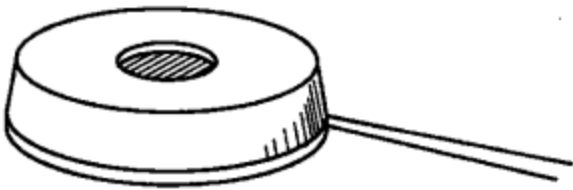


图 5-66



图 5-67

5.4.7 怎样理解压电蜂鸣器的工作原理

压电蜂鸣器结构如图 5-68 所示，由压电陶瓷片和助声腔盖组成。压电陶瓷片的结构是在金

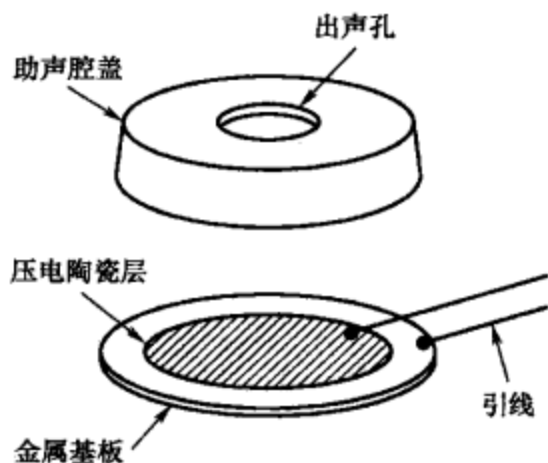


图 5-68

属基板上做一压电陶瓷层，压电陶瓷层上镀一镀银层。当通过金属基板和镀银层对压电陶瓷层施加音频电压时，由于压电效应的作用，压电陶瓷片随音频信号产生机械变形振动而发出声音来。助声腔盖与压电陶瓷片之间形成一共鸣腔，使压电蜂鸣器发出的声音响亮。

5.4.8 压电蜂鸣器有什么特点

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



李蕾蕾：压电蜂鸣器和电磁讯响器都是微型电声器件，它们两者相比较，哪一个更好呢？



门老师：它们各有长处。电磁讯响器发出的声音较大，音质也相对较好。压电蜂鸣器非常薄，所需驱动功率极小，也就是说非常省电，在某些情况下大有用武之处。

5.4.9 压电蜂鸣器有哪些作用

压电蜂鸣器的作用是发出保真度要求不高的声音。

图 5-69 所示为音乐贺卡电路，HA 为压电蜂鸣器。打开贺卡时，开关 S 接通，音乐集成电路产生的音乐信号驱动压电蜂鸣器 HA 发出乐曲声。

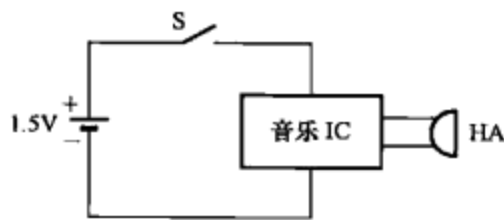


图 5-69

5.4.10 怎样检测压电蜂鸣器

压电蜂鸣器可用模拟万用表电压挡或数字万用表电容挡进行检测。

1. 用模拟万用表检测

万用表置于“直流 0.25V”挡，黑表笔接触压电蜂鸣器的金属基板，用红表笔去接触压电蜂鸣器的镀银层，并轻轻地略向下压一下，这时万用表的表针应摆动一下，如图 5-70 所示。表针摆动幅度越大，说明压电蜂鸣器的灵敏度越高；如果表针不动，说明该压电蜂鸣器已损坏。

2. 用数字万用表检测

用数字万用表也可方便地检测压电蜂鸣器。数字万用表（以 DT890B 型为例）置于“电容 200nF”挡，将压电蜂鸣器两引脚接入被测电容插孔“C_x”，如图 5-71 所示，压电蜂鸣器应发出 400Hz 的音频声音，否则说明该压电蜂鸣器已损坏。

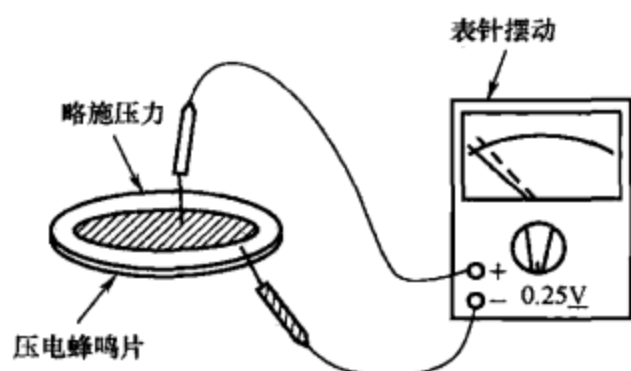


图 5-70

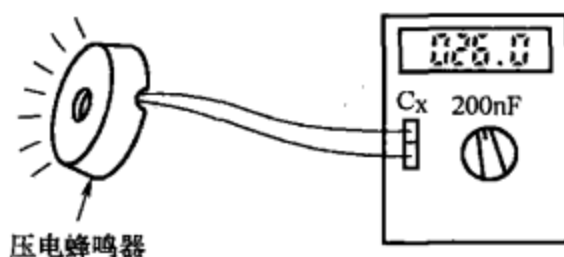


图 5-71

门老师：现在我们归纳一下第 4 讲电磁讯响器与压电蜂鸣器的主要知识点。

- (1) 电磁讯响器是一种微型的电声转换器件，分为不带音源和自带音源两大类。自带音源讯响器内部包含有音源集成电路。
- (2) 电磁讯响器是运用电磁原理工作的，其主要参数是工作电压和标称阻抗。
- (3) 压电蜂鸣器是一种利用压电效应原理工作的电声转换器件。
- (4) 电磁讯响器和压电蜂鸣器的文字符号是“HA”。
- (5) 电磁讯响器和压电蜂鸣器的作用是发出保真度要求不高的声音。
- (6) 检测不带音源讯响器的方法与检测扬声器相同，检测自带音源讯响器的方法是加电试听。
- (7) 压电蜂鸣器可用模拟万用表电压挡或数字万用表电容挡进行检测。

第 5 讲 传 声 器

门老师：同学们，现在我们讲第 5 课的第 5 讲传声器，也就是话筒，主要内容是传声器的种类、符号和型号，传声器的主要参数，动圈式传声器和驻极体传声器的原理、特点和用途，传声器的检测方法等。

5.5.1 什么是传声器

传声器俗称话筒，是一种将声音信号转换为电信号的声电器件。传声器有许多种类，性能、外形各不相同，如图 5-72 所示。

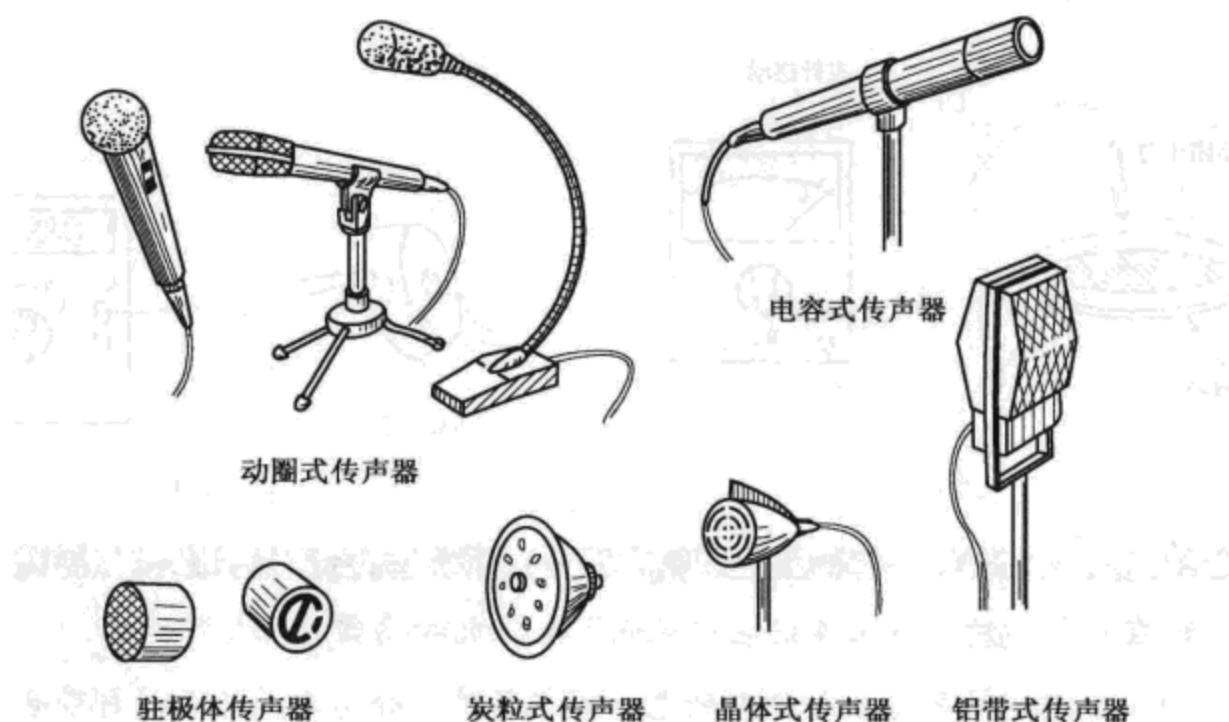


图 5-72

1. 传声器的种类

传声器分类如图 5-73 所示。

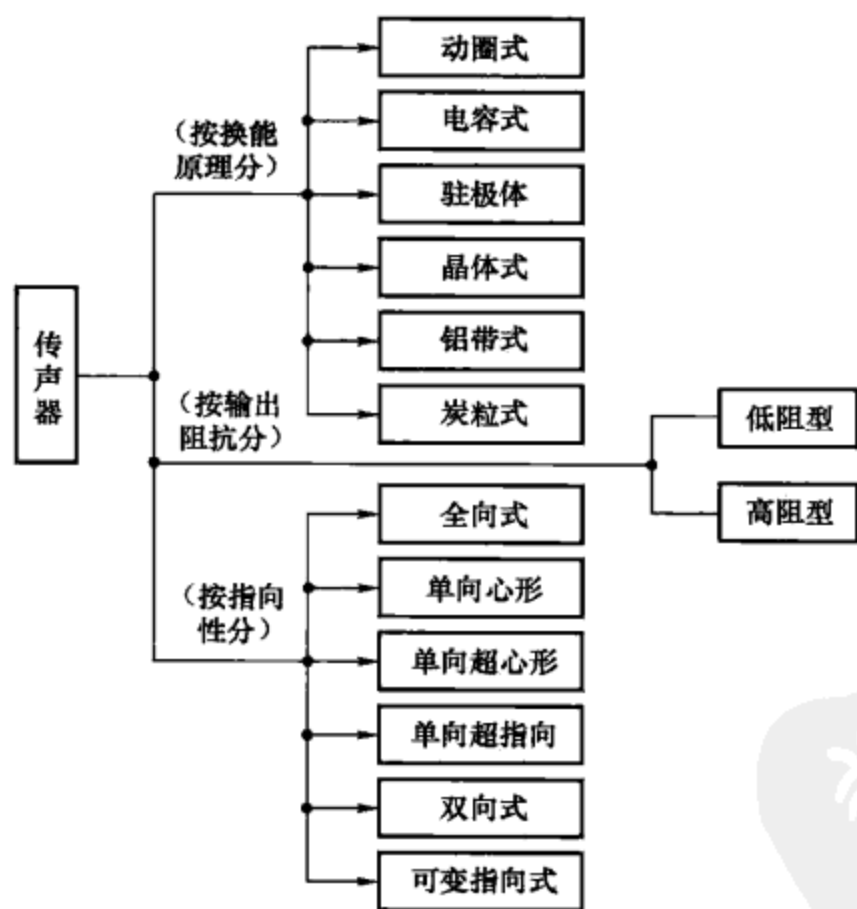


图 5-73

(1) 按换能原理可分为动圈式传声器、电容式传声器、驻极体传声器、晶体式传声器、铝带式传声器和炭粒式传声器等。

(2) 按输出阻抗可分为低阻型和高阻型两类，一般将输出阻抗小于 $2k\Omega$ 的称为低阻传声器，将输出阻抗大于 $2k\Omega$ 的称为高阻传声器。

(3) 按指向性不同,可分为全向式传声器、单向心形传声器、单向超心形传声器、单向超指向传声器、双向式传声器、可变指向式传声器等。

各种传声器广泛应用在扩音、录音、通信、声控、监测等一切需要声电转换的领域,其中动圈式传声器和驻极体传声器应用最广泛。

2. 传声器的符号

传声器的文字符号是“BM”,图形符号如图 5-74 所示。



图 5-74

5.5.2 怎样识别传声器



图 5-75

传声器的型号命名由 4 部分组成,如图 5-75 所示。第一部分用字母“C”表示传声器的主称,第二部分用字母表示传声器的类型,第三部分用字母或数字表示传声器的特征,第四部分用数字表示序号。

传声器型号中字母代号的意义见表 5-5。例如,型号为 CD1-2 表示这是动圈式传声器,型号为 CZ3-1 表示这是驻极体传声器。

表 5-5 传声器型号中字母代号的意义

字母代号	意义	字母代号	意义
D	动圈式	Y	晶体式
R	电容式	A	带式
Z	驻极体式	T	炭粒式

5.5.3 怎样理解传声器的参数

传声器的主要参数有灵敏度、输出阻抗、频率响应和指向性等。

1. 灵敏度

灵敏度是指传声器将声音转换为电压信号的能力,用每帕声压产生多少毫伏电压来表示,其单位为 mV/Pa。灵敏度还常用分贝(dB)表示,1dB=1000mV/Pa。一般来说,选用灵敏度较高的传声器效果较好。

2. 输出阻抗

输出阻抗是指传声器输出端的交流阻抗。低阻型传声器的输出阻抗大多在 200~600Ω,高阻型传声器的输出阻抗大多在 2~20kΩ。大多数传声器将灵敏度和输出阻抗直接标示在传声器

上,如图 5-76 所示。选用时应使传声器的输出阻抗与扩音设备大体匹配。

3. 频率响应

频率响应是指传声器灵敏度与声音频率之间的关系。一般而言,频率响应范围宽的传声器其音质也好。普通传声器的频响范围多在 $100\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$,质量优良的传声器则可达 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 。

4. 指向性

指向性是指传声器灵敏度随声波入射方向而变化的特性。根据需要传声器可以设计成各种指向性,主要有全向指向性传声器、单向指向性传声器和双向指向性传声器 3 种,实际使用时应根据需要选择指向性合适的传声器。

(1) 全向指向性传声器对来自四面八方的声音都有基本相同的灵敏度,其有效拾音范围为一圆形,传声器位于圆心,如图 5-77 所示。

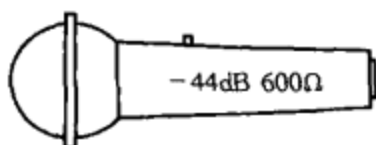


图 5-76

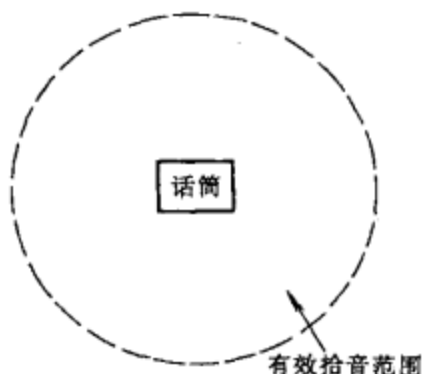


图 5-77

(2) 单向指向性传声器其正面的灵敏度明显高于背面和侧面,有效拾音范围在传声器的前方,如图 5-78 所示。根据指向特性曲线的形状,单向指向性传声器又可分为心形、超心形、超指向等。

(3) 双向指向性传声器其正面和背面具有基本相同的灵敏度,两侧灵敏度较低,有效拾音范围在传声器的前方和后方,如图 5-79 所示。

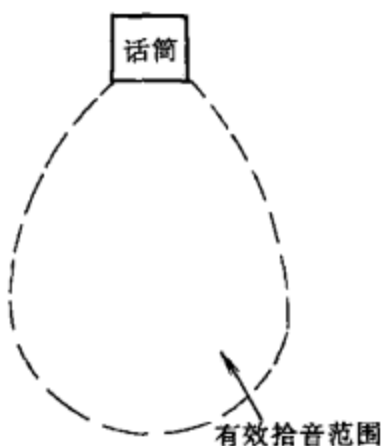


图 5-78

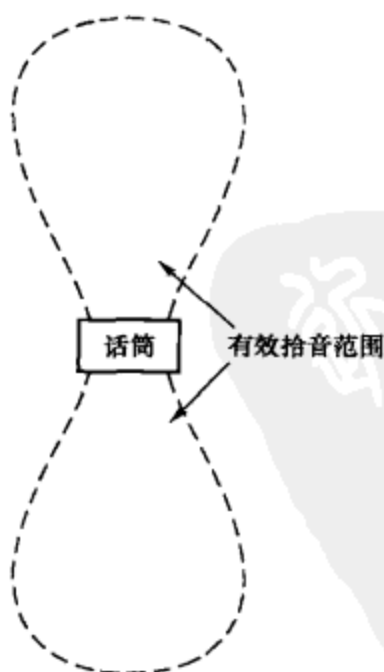


图 5-79

王小帅：噢，原来话筒还有指向性啊。那么不同指向性的话筒（就是传声器呀，叫话筒习惯了），它们适用哪些场合呢？

门老师：不同指向性的传声器适用于不同的场合。单向指向性传声器主要适用于会议，可以有效降低周围的环境噪声，重点将讲话人的声音转换放大。全向指向性传声器可以拾取四面八方的声音，主要适用于环境声音的转换放大。双向指向性传声器重点将前后的声音转换放大，适用于特定场合。

5.5.4 动圈式传声器

动圈式传声器是一种最常用的传声器，具有坚固耐用、价格较低、单向指向性的特点，广泛应用于广播、扩音、录音、文艺演出、卡拉 OK 等领域。

1. 动圈式传声器工作原理

动圈式传声器结构如图 5-80 所示，由永久磁铁、音膜、音圈、输出变压器等部分组成。音圈位于永久磁铁的磁隙中，并与音膜黏接在一起。当声波使音膜振动时，带动音圈作切割磁力线运动而产生音频感应电压，这个音频感应电压代表了声波的信息，从而实现了声电转换。

2. 输出变压器的作用

由于传声器音圈的圈数很少，其输出电压和输出阻抗都很低。为了提高输出电压和便于阻抗匹配，音圈产生的信号经过输出变压器输出。输出变压器的初、次级圈数比不同，使得动圈式传声器的输出阻抗有高阻和低阻两种。有些传声器的输出变压器次级有两个抽头，既有高阻输出，又有低阻输出，可通过改变接头变换输出阻抗。使用时将传声器输出端信号直接输入电路进行放大即可，如图 5-81 所示。

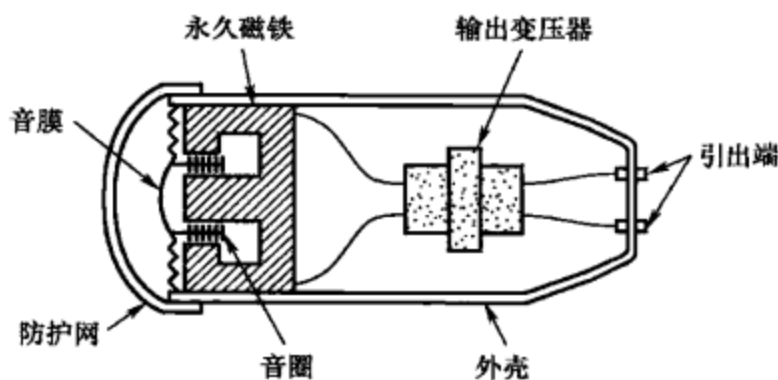


图 5-80



图 5-81

5.5.5 驻极体传声器

驻极体传声器也是一种最常用的传声器，具有体积小、重量轻、电声性能好、价格低廉的

特点，在电子制作中得到了非常广泛的应用。

1. 驻极体传声器工作原理

驻极体传声器属于电容式传声器的一种，其结构如图 5-82 所示。传声器有防尘网的一面是受话面。声电转换元件采用驻极体振动膜，它与金属极板之间形成一个电容，当声波使振动膜振动时，引起电容两端的电场变化，从而产生随声波变化的音频电压。

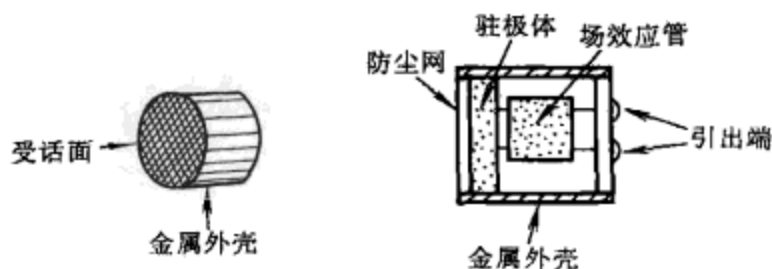


图 5-82

2. 驻极体传声器的特点

驻极体传声器内部有一个结型场效应管作阻抗变换和放大用，因此拾音灵敏度较高，输出音频信号较大。由于内部有场效应管，因此驻极体传声器必须加上直流电压才能工作。

3. 驻极体传声器的种类

根据内电路的接法不同，驻极体传声器分为三端式（源极输出）和二端式（漏极输出）两种。

（1）三端式驻极体传声器的结构如图 5-83 所示，3 个引出端分别是源极 S、漏极 D 和接地端。该传声器底部有 3 个接点，其中与金属外壳相连的是接地端。

三端式驻极体传声器的典型应用电路如图 5-84 所示，漏极 D 接电源正极，输出信号自源极 S 取出并经电容 C 耦合至放大电路，R 是源极 S 的负载电阻。

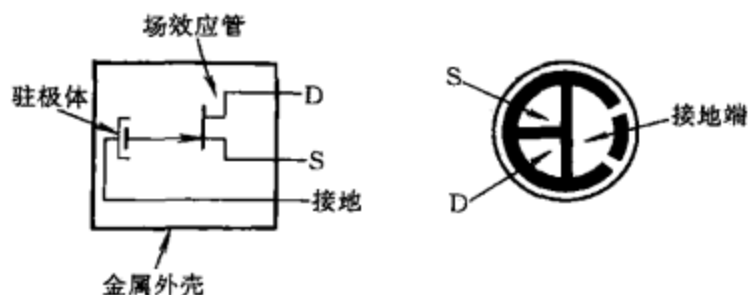


图 5-83

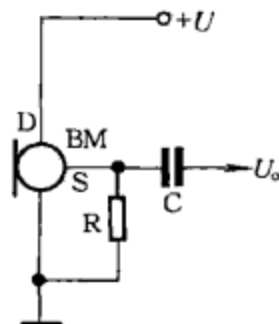


图 5-84

（2）二端式驻极体传声器的结构如图 5-85 所示，两个引出端分别是漏极 D 和接地端，源极 S 已在传声器内部与接地端连接在一起。该传声器底部只有两个接点，其中与金属外壳相连的是接地端。

二端式驻极体传声器的典型应用电路如图 5-86 所示，漏极 D 经负载电阻 R 接电源正极，输出信号自漏极 D 取出并经电容 C 耦合至放大电路。



李蕾蕾：门老师，我们看演出时看到演员手上拿着唱歌的话筒，属于哪一种传声器啊？



门老师：演员手持的是专为演出设计的传声器，而且基本上都是无线传声器。我们来详细说说。

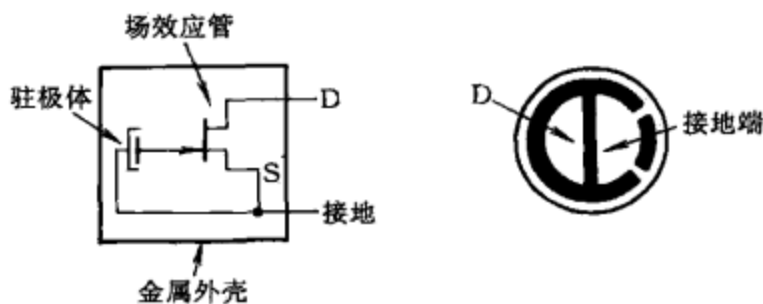


图 5-85

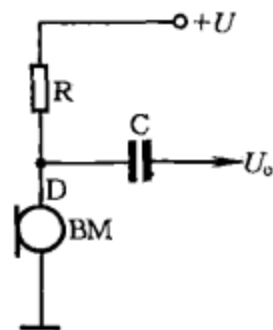


图 5-86

5.5.6 近讲传声器

近讲传声器又称为手持传声器，它是专为手持演唱而设计的特殊传声器，其结构如图 5-87 所示。

近讲传声器设有防震系统，有效防止了手持时抖动的影响。它还设有防风罩，降低了近讲或近唱时呼吸的气流声。由于近讲传声器的特殊设计，使其近用时灵敏度高、频率响应好，而对远处的环境噪声不敏感，因此可以有效地提高演出的扩音质量。

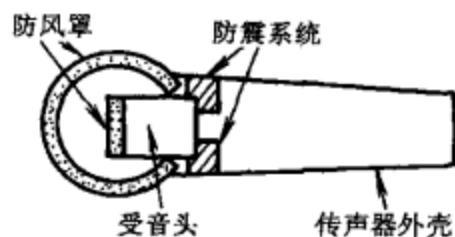


图 5-87

5.5.7 无线传声器

无线传声器也是一种特殊传声器，它实际上是普通传声器和无线发射装置的组合体。无线传声器由受音头、调制发射电路、天线和电池等组成，图 5-88 为其结构示意图。

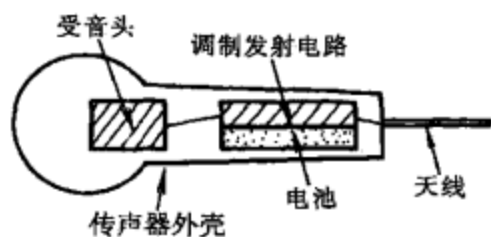


图 5-88

受音头把声音转换为电信号，通过调制发射电路调制载频后发射出去，由相应的接收机接收、放大和解调后送入扩音设备。无线传声器一般采用调频制，以保证较宽的通频带和较好的传输质量。由于无线传声器不需要传输线，使用十分灵活方便，得到了广泛的应用。

5.5.8 怎样检测传声器

1. 检测动圈式传声器

动圈式传声器可用万用表电阻挡进行检测。

(1) 万用表置于“ $R \times 1$ ”挡，两表笔（不分正、负）断续触碰传声器的两引出端（设有控制开关的传声器应先打开开关），如图 5-89 所示，传声器中应发出清脆的“喀、喀……”声。如果无声，说明该传声器已损坏。如果声小或不清晰，说明该传声器质量较差。

(2) 测量动圈式传声器输出端的电阻值（实际上就是传声器内部输出变压器的次级电阻值）。

将万用表置于“ $R \times 10$ ”挡，两表笔（不分正、负）与传声器的两引出端相接，低阻传声器应为 $50 \sim 200\Omega$ ，高阻传声器应为 $500 \sim 1500\Omega$ ，如图 5-90 所示。如果相差太大，说明该传声器质量有问题。

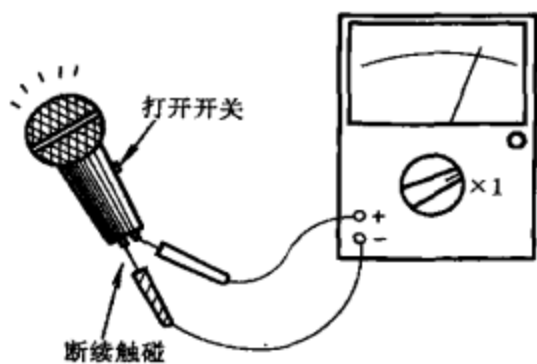


图 5-89

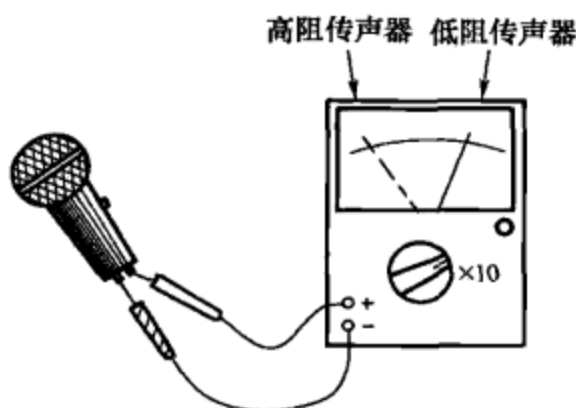


图 5-90

2. 检测驻极体传声器

驻极体传声器也可用万用表进行检测。检测时，将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡。

(1) 对于二端式驻极体传声器，万用表负表笔接传声器的 D 端，正表笔接传声器的接地端，如图 5-91 所示，这时用嘴向传声器吹气，万用表表针应有摆动。摆动范围越大，说明该传声器灵敏度越高。如果表针无摆动，说明该传声器已损坏。

(2) 对于三端式驻极体传声器，万用表负表笔接传声器的 D 端，正表笔同时接传声器的 S 端和接地端，如图 5-92 所示，然后按相同方法吹气检测。

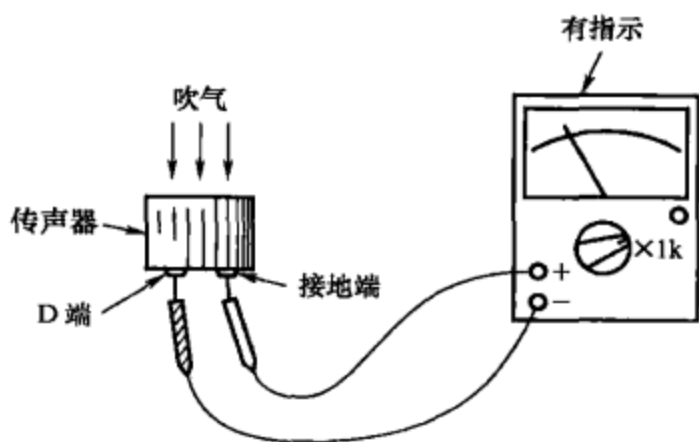


图 5-91

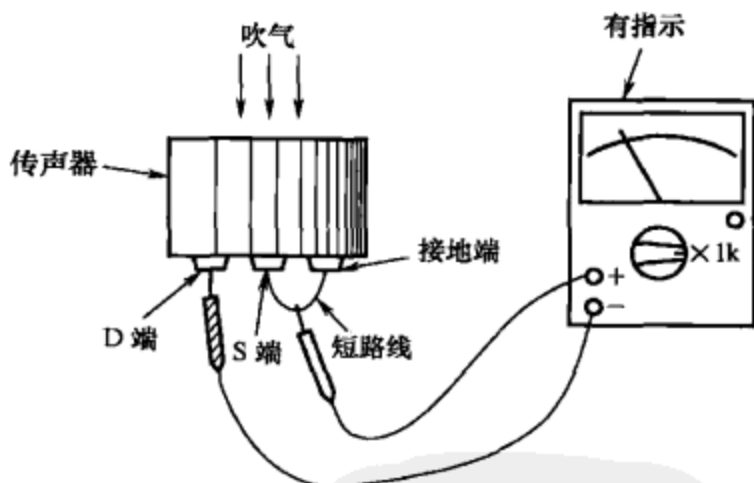


图 5-92



门老师：传声器就讲到这里，这一讲的主要知识点归纳如下。

- (1) 传声器俗称话筒，是一种将声音信号转换为电信号的声电器件。传声器有许多种类，动圈式传声器和驻极体传声器应用最广泛。
- (2) 传声器的文字符号是“BM”。

(3) 传声器的主要参数有灵敏度、输出阻抗、频率响应和指向性等。

(4) 动圈式传声器有高阻和低阻两种。

(5) 驻极体传声器必须加上直流电压才能工作，分为三端式（源极输出）和二端式（漏极输出）两种。

(6) 动圈式传声器和驻极体传声器都可以用万用表的电阻挡进行检测。

第6讲 磁头与晶体



门老师：同学们，现在我们讲第5课的最后一讲磁头与晶体。磁头是一种电磁转换器件，晶体是一种机械能与电能的转换器件，它们与电声器件一样，都属于非电能与电能的转换器件。本讲的主要内容是，磁头与晶体的种类、符号和主要参数，它们的工作原理和作用，以及检测方法等。

5.6.1 什么是磁头

磁头是一种电磁转换器件，其外形如图 5-93 所示。

1. 磁头的种类

磁头的种类较多，形状大小也各不相同。按照工作范围不同，磁头可分为音频磁头、视频磁头和控制磁头等，视频磁头通常安装在磁鼓上。按功能不同，可分为记录磁头、播放磁头、录放磁头和消磁磁头等。按磁芯材料不同，可分为坡莫合金磁头、铁氧体磁头和铁硅铝合金磁头等。

音频录放磁头分为单声道磁头和立体声（双声道）磁头两种，立体声磁头实际上是将两个互相独立的单声道磁头上下重叠封装在一个外壳内，如图 5-94 所示。

2. 磁头的符号

磁头的文字符号是“B”，图形符号如图 5-95 所示。

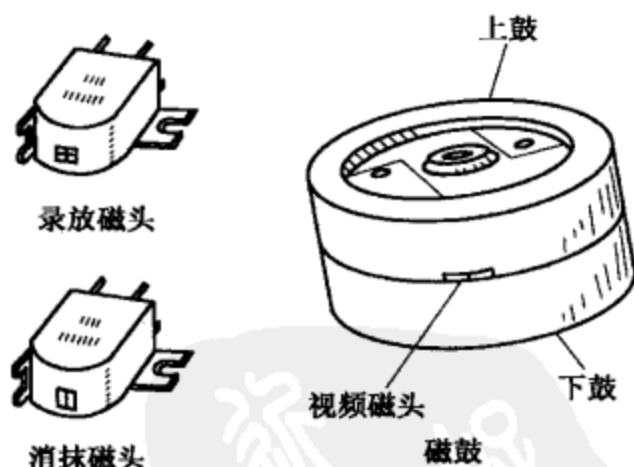


图 5-93



图 5-94

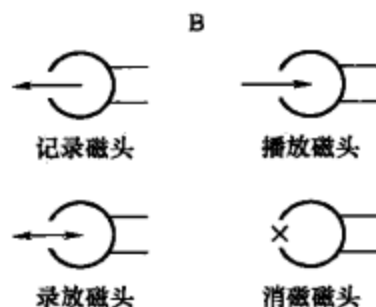


图 5-95

5.6.2 怎样理解磁头的参数

磁头的主要参数有阻抗、录放灵敏度和录放音频响等。

1. 磁头阻抗

录放磁头的阻抗是指其通过 0.1mA、1kHz 音频电流时所呈现的阻抗，一般为几百欧至数千欧。抹音磁头的阻抗是指其通过 1mA、50kHz 高频电流时所呈现的阻抗，一般为数百欧。

2. 放音灵敏度

放音灵敏度是指播放信号频率为 315Hz、磁平为 $25 \times 10^{-8} \text{Wb/m}$ 的测试磁带时，磁头两端输出的开路电压一般为 0.2~0.8mV。在阻抗相同时，放音灵敏度越高越好。

3. 录音灵敏度

录音灵敏度是指录音时使磁带上达到 $25 \times 10^{-8} \text{Wb/m}$ 的标准磁平，磁头所需要的录音电流一般为 40~100 μA 。该电流值越小，说明录音灵敏度越高。

4. 录放音频响

录放音频响是指录放不同频率的信号时输出电平与信号频率的关系，一般以 10kHz 输出电平相对 315Hz 输出电平的分贝数表示。频响范围越宽越好。

5.6.3 怎样理解磁头的工作原理

磁头具有将磁信号转换为电信号或将电信号转换为磁信号的功能。

磁头结构如图 5-96 所示，由磁芯和绕在磁芯上的线圈组成，在磁芯前端有一极窄的工作隙缝。当有信号电压 U 加在磁头线圈上时，在工作隙缝处便产生相应的磁场，由沿工作隙缝移动的磁带记录下来。反之，当磁带上的磁场作用于磁头的工作隙缝时，在线圈上则感

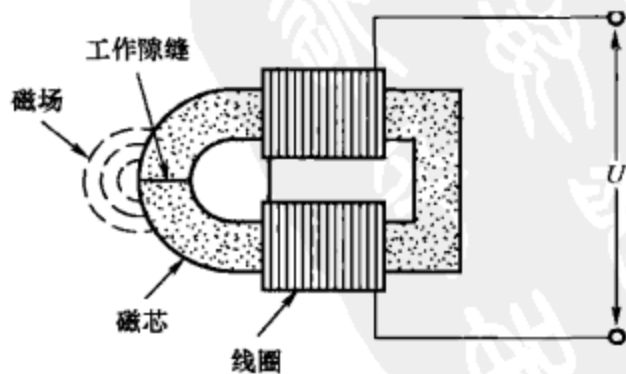


图 5-96

应出相应的信号电压。

在工作过程中，磁头与磁带处于相对移动状态。在录音机等音频设备中，磁头静止而磁带移动。在录像机等视频设备中，磁头安装在高速旋转的磁鼓上，以提高磁头与磁带的相对移动速度，满足高频信号记录的要求。

5.6.4 磁头有哪些作用

磁头的主要作用是录放音像信号。

1. 放音

图 5-97 所示为录音机的放音电路，放音磁头 B 将磁带上记录的磁信号转换为电信号，经电容器 C_1 耦合至放音放大器进行放大。 C_2 为磁头频率补偿电容。

2. 录音

图 5-98 所示为录音机的录音电路，录音放大器输出的音频电压经耦合电容 C_1 加至录音磁头 B，由录音磁头 B 将音频电压转换为磁信号并记录到磁带上。偏磁电路为录音磁头 B 提供交流或直流偏磁电流，以减小录音失真。

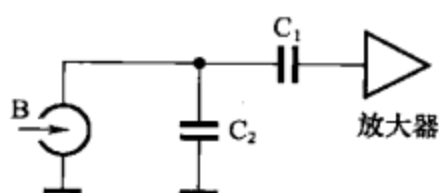


图 5-97

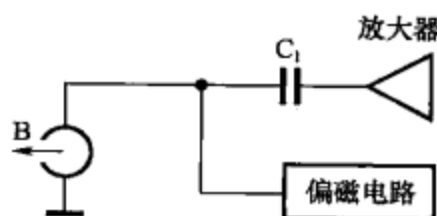
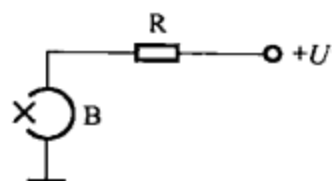


图 5-98

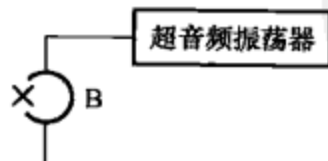
3. 消磁

录音机的消磁电路如图 5-99 所示，包括直流消磁和交流消磁两种。

(1) 图 5-99 (a) 所示为直流消磁电路，直流电压经限流电阻 R 加至消磁磁头 B，产生直流磁场，将记录在磁带上的磁信号消去（实际上是覆盖掉）。



(a) 直流消磁



(b) 交流消磁

图 5-99

(2) 图 5-99 (b) 所示为交流消磁电路，超音频振荡器输出超音频交流电压使消磁磁头 B 产生高频交流磁场，将记录在磁带上的磁信号消去（实际上是覆盖掉）。

4. 录放像

图 5-100 所示为录像机的录放像原理方框图，录放磁头 B 安装在高速旋转的磁鼓上。放像时，磁带上的磁信号经磁头 B 转换为电信号，然后送入放像放大器。录像时，录像放大器输出的电信号经磁头 B 转换为磁信号记录到磁带上。

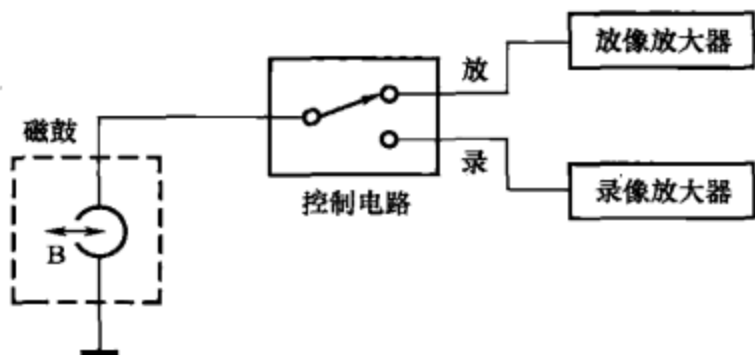


图 5-100

- 门老师：同学们想想看，除了我以上讲的，磁头还在哪些场合有应用？
- 李蕾蕾：我们在商店刷卡消费时，那刷卡机里面应该也有磁头在读取银行卡上的数据吧。
- 王小帅：自助银行进门时需要刷卡开门，肯定也有磁头在里面。
- 门老师：同学们说得对，凡是需要读取或写入磁介质信息的地方，都离不开磁头。

5.6.5 怎样检测磁头

磁头可用万用表的电阻挡进行检测。

1. 检测磁头线圈

万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，两表笔（不分正、负）接磁头的两引脚，即可测量磁头的直流电阻，如图 5-101 所示。

一般音频录放磁头线圈的直流电阻为 $100 \sim 500\Omega$ ，直流抹音磁头线圈的直流电阻为数百欧，交流抹音磁头线圈的直流电阻为数欧。如果测量磁头直流电阻为无穷大，说明该磁头线圈已断路。如果测量磁头直流电阻为 0，说明该磁头线圈已短路。

如果测得的电阻值与磁头应有直流电阻值相差很大，说明该磁头质量太差，也不宜使用。

对于立体声录放磁头，应分别检测其中的两个线圈。立体声磁头的引脚如图 5-102 所示，上面两引脚为 R 声道磁头线圈，下面两引脚为 L 声道磁头线圈。



图 5-101

2. 检测绝缘情况

万用表置于“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡，分别检测磁头线圈引脚与磁头外壳、L 声道线圈

与 R 声道线圈之间的绝缘电阻均应为无穷大（表针不动），如图 5-103 所示。否则说明该磁头绝缘不良，不能使用。

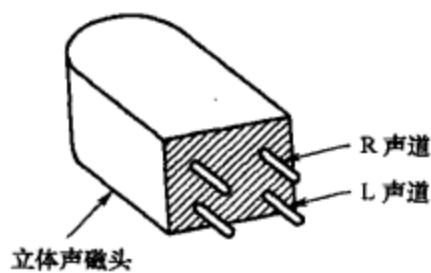


图 5-102

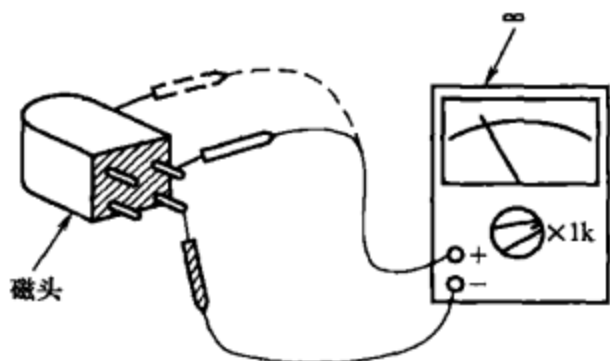


图 5-103

5.6.6 什么是晶体

石英晶体谐振器通常简称晶体，是一种常用的选择频率和稳定频率的电子元件，广泛应用在电子仪器仪表、通信设备、广播和电视设备、影音播放设备、计算机以及电子钟表等领域。

1. 晶体的种类

晶体一般密封在金属、玻璃或塑料等外壳中，外形如图 5-104 所示。按频率稳定度不同，晶体可分为普通型和高精度型，其标称频率和体积大小也有多种规格。

2. 晶体的符号

晶体的文字符号为“B”或“BC”，图形符号如图 5-105 所示。



图 5-104



图 5-105

5.6.7 怎样识别晶体

晶体的型号命名由 3 部分组成，如图 5-106 所示。第一部分用字母表示晶体外壳的形状和材料等特征，第二部分用字母表示晶片的切型，第三部分用数字表示晶体的主要性能和外形尺寸。

晶体型号的意义见表 5-6。例如，JA5 为金属壳 AT 切型

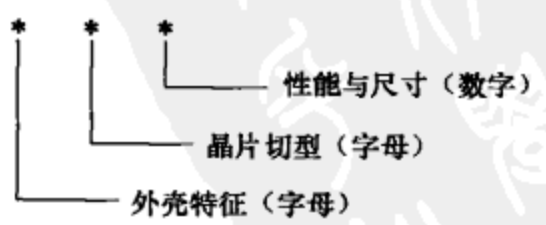


图 5-106

晶体，BX8 为玻璃壳 X 切型晶体。

▼ 表 5-6 晶体型号的意义

第一部分（外壳）	第二部分（晶片切型）	第三部分（性能与尺寸）
J: 金属壳 B: 玻璃壳 S: 塑料壳	A: AT 切型	数字
	B: BT 切型	
	C: CT 切型	
	D: DT 切型	
	E: ET 切型	
	F: FT 切型	
	G: GT 切型	
	H: HT 切型	
	M: MT 切型	
	N: NT 切型	
	U: WX 切型	
	X: X 切型	
	Y: Y 切型	

5.6.8 怎样理解晶体的参数

晶体的主要参数有标称频率 f_0 、负载电容 C_L 和激励电平等。

1. 标称频率

标称频率 f_0 是指晶体的振荡频率，通常直接标注在晶体的外壳上，一般用带有小数点的几位数字来表示，单位为 MHz 或 kHz，如图 5-107 所示。标注有效数字位数较多的晶体，其标称频率的精度较高。

2. 负载电容

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

3. 激励电平

激励电平是指晶体正常工作时所消耗的有效功率，常用的标称值有 0.1mW、0.5mW、1mW、

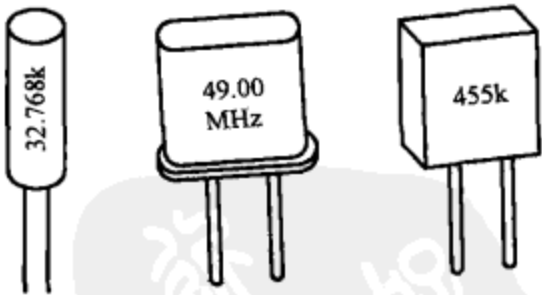


图 5-107

2mW 等。激励电平的大小关系到电路工作的稳定性和可靠性。激励电平过大会使频率稳定度下降，甚至造成晶体损坏；激励电平过小会使振荡幅度变小和不稳定，甚至不能起振。一般应将激励电平控制在标称值的 50%~100%。

5.6.9 晶体有什么特点

1. 晶体的特点

晶体的特点是具有压电效应。当有机机械压力作用于晶体时，在晶体两面即会产生电压；反之，当有电压作用于晶体两面时，晶体即会产生机械变形。

如图 5-108 所示在晶体两面加上交流电压时，晶体将会随之产生周期性的机械振动。当交流电压的频率与晶体的固有谐振频率相等时，晶体的机械振动最强，电路中的电流最大，产生了谐振。

2. 晶体的工作原理

晶体可等效为一个品质因数 Q 值极高的谐振回路。图 5-109 所示为晶体的电抗 - 频率特性曲线， f_1 为其串联谐振频率， f_2 为其并联谐振频率。当 $f < f_1$ 或 $f > f_2$ 时，晶体呈电容性；在 $f_1 < f < f_2$ 的频率范围内，晶体呈电感性；当 $f = f_1$ 时，晶体呈纯电阻性。通常将晶体作为一个 Q 值极高的电感元件使用，即运用在 $f_1 \sim f_2$ 这段很窄的频率范围内。

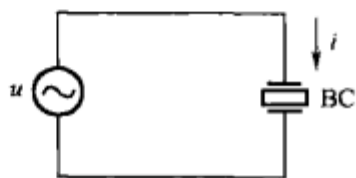


图 5-108

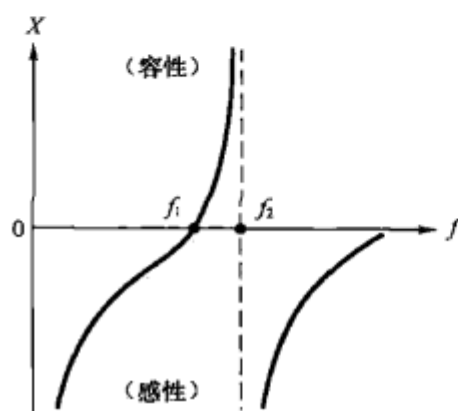


图 5-109

李蕾蕾：门老师，晶体具有压电效应，前面讲的压电陶瓷片也具有压电效应，它们是同一类元器件吗？

门老师：晶体和压电陶瓷片，还有声表面滤波器、超声波换能器等，它们都是利用压电效应原理工作的元器件，但是各有不同的用途。晶体主要用于谐振，压电陶瓷片主要用于发声，声表面滤波器主要用于滤波，超声波换能器主要用于换能。

5.6.10 晶体有哪些作用

晶体的作用是构成频率稳定度很高的振荡器。

1. 并联晶体振荡器

并联晶体振荡器电路如图 5-110 所示，这是一个电容三点式晶体振荡器，晶体 BC 等效为一个电感，与电容 C_2 、 C_3 组成并联谐振回路，振荡频率 f_0 在 $f_1 \sim f_2$ ，由这个谐振回路决定。由于晶体的电抗曲线在 $f_1 \sim f_2$ 非常陡峭，因此该振荡器的频率稳定度很高。

2. 串联晶体振荡器

串联晶体振荡器电路如图 5-111 所示，晶体管 VT_1 、 VT_2 组成两级阻容耦合放大器，晶体 BC 与负载电容 C_2 构成正反馈电路。晶体 BC 在这里起着带通滤波器的作用，只有当电路振荡频率 f_0 等于晶体的串联谐振频率 f_1 时，晶体才呈纯电阻性，满足振荡必须的相位和振幅条件。串联晶体振荡器的振荡频率 $f_0 = f_1$ 。

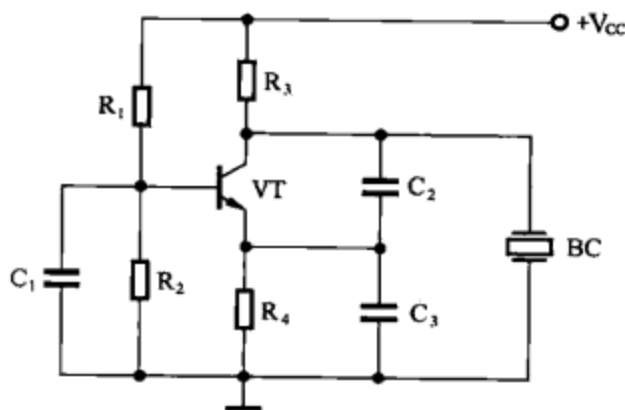


图 5-110

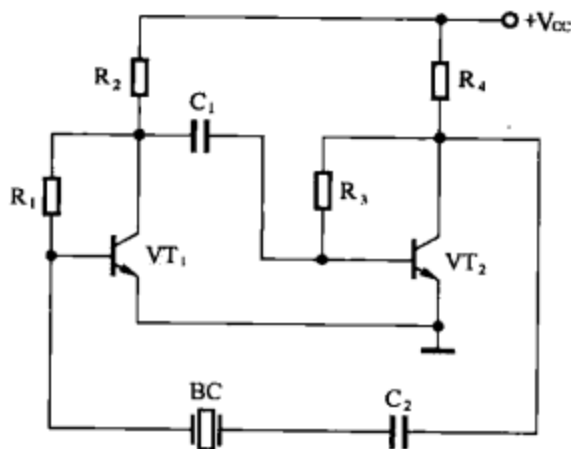


图 5-111

5.6.11 怎样检测晶体

晶体可用万用表、验电笔或测试电路进行检测。

1. 用万用表检测

万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，用两表笔测量晶体的正、反向电阻，均应为无穷大（表针不动），如图 5-112 所示。如果表针有一定阻值指示，表示该晶体已漏电；如果测量电阻为 0，表示该晶体已击穿或短路；以上情况都说明该晶体已损坏。

2. 用验电笔检测

将验电笔的笔尖插入交流 220V 市电插座的相线孔内，用手指捏住晶体的一只引脚，将晶

体的另一只引脚与验电笔的金属笔帽相接触，如图 5-113 所示。如验电笔中的氖泡发亮，说明该晶体是好的。如验电笔中的氖泡不亮，说明该晶体已损坏。

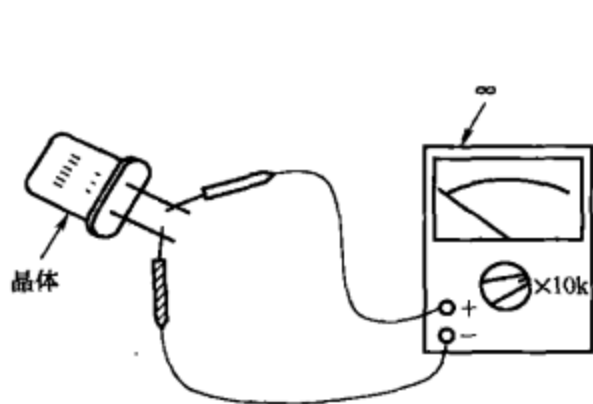


图 5-112

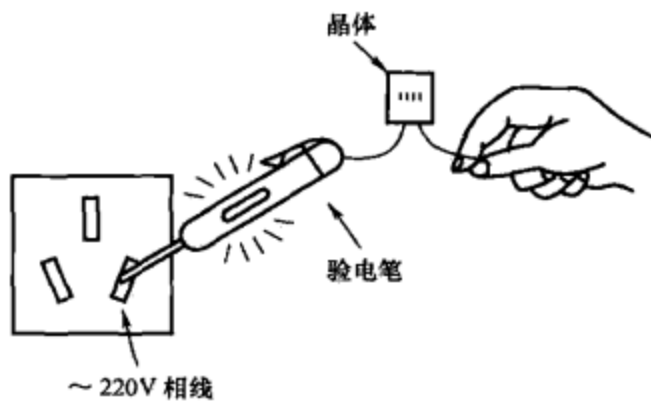


图 5-113

3. 用测试电路检测

晶体测试电路如图 5-114 所示，场效应管 VT_1 与被测晶体 BC 等构成一个振荡电路，振荡信号经 C_1 、 VD_1 、 VD_2 等倍压检波， VT_2 、 VT_3 直流放大后，驱动发光二极管 VD_3 发光。检测时，将被测晶体接入电路，如发光二极管亮，说明该晶体是好的。如发光二极管不亮，说明该晶体已损坏。该电路可检测各种频率的晶体。

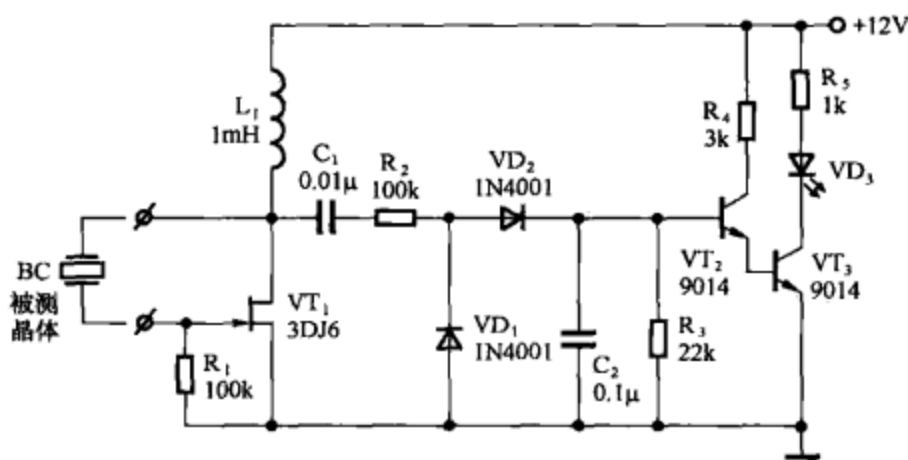


图 5-114

门老师：好，第 6 讲到此结束。王小帅同学，你来归纳一下本讲的主要知识点。

王小帅：第 6 讲磁头与晶体可以作如下归纳。

- (1) 磁头是一种电磁转换器件，包括音频磁头、视频磁头和控制磁头等。音频录放磁头又分为单声道磁头和立体声（双声道）磁头两种。
- (2) 磁头的文字符号是“B”。
- (3) 磁头的主要参数有阻抗、录放灵敏度和录放频响等。
- (4) 磁头具有将磁信号转换为电信号或将电信号转换为磁信号的功能，主要作用是录放音像信号和读写磁介质信息。



(5) 石英晶体谐振器通常简称为晶体，是一种常用的选择频率和稳定频率的电子元器件。

(6) 晶体的文字符号是“B”或“BC”。

(7) 晶体的主要参数有标称频率、负载电容和激励电平等。

(8) 晶体的特点是具有压电效应，可等效为一个品质因数极高的谐振回路。晶体的作用是构成频率稳定度很高的振荡器。

(9) 磁头可用万用表的电阻挡进行检测。晶体可用万用表、验电笔或测试电路进行检测。



门老师：同学们，到这里整个第5课就全部讲完了，下面是本课的思考题。

(1) 光电二极管是依据什么原理工作的？

(2) 光电二极管与光电三极管各有哪些特点，适用于哪些场合？

(3) 光电耦合器的工作原理是什么，具有哪些用途？

(4) 扬声器和耳机的工作原理是什么，具有哪些种类？

(5) 传声器的工作原理是什么，具有哪些种类？

(6) 驻极体传声器具有哪些种类，如何应用？

(7) 磁头是如何工作的，应用在哪些场合？

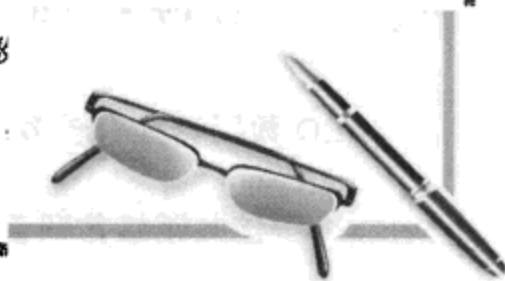
(8) 晶体具有什么特点，晶体振荡器的优点是什么？



第6课 显示、控制与保护器件



门老师：同学们，现在开始我们讲第6课：显示、控制与保护器件。显示器件是指能够显示字符和符号的器件，控制器件是指可以对电路或电器实施直接或间接操作的器件，保护器件是指能够对电路或电器起到自动保护作用的器件，它们在电子设备中具有普遍的应用。本课分为6讲，第1讲LED数码管，第2讲液晶显示屏，第3讲继电器，第4讲开关，第5讲接插件，第6讲保险器件。



第1讲 LED 数码管



门老师：现在我们讲第1讲，主要内容是LED数码管的种类、符号和引脚识别，LED数码管的特点和显示原理，LED数码管的主要作用和检测方法等。

6.1.1 什么是LED数码管

LED（发光二极管）数码管是最常用的一种字符显示器件，它是将若干LED按一定图形组织在一起构成的，其外形如图6-1所示。

1. LED数码管的种类

LED数码管具有许多种类。按显示字形分为数字管和符号管；按显示位数分为一位、双位和多位数码管；按内部连接方式分为共阴极数码管和共阳极数码管两种；按字符颜色分为红色、绿色、黄色和橙色等。7段数码管是应用较多的一种数码管。

2. LED数码管的符号

LED数码管的图形符号如图6-2所示。

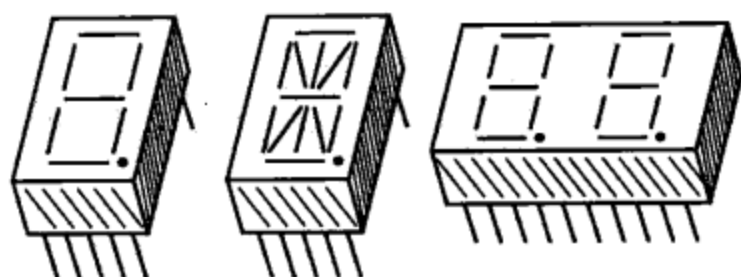


图 6-1



图 6-2

6.1.2 怎样识别 LED 数码管

LED 数码管具有较多引脚，使用中应注意识别。

1. 一位共阴极数码管的引脚

一位共阴极 LED 数码管共 10 只引脚，其中：③、⑧两引脚为公共负极（该两引脚内部已连接在一起），其余 8 只引脚分别为 7 段笔画和 1 个小数点的正极，如图 6-3 所示。

2. 一位共阳极数码管的引脚

一位共阳极 LED 数码管共 10 只引脚，其中：③、⑧两引脚为公共正极（该两引脚内部已连接在一起），其余 8 只引脚分别为 7 段笔画和 1 个小数点的负极，如图 6-4 所示。

3. 两位共阴极数码管的引脚

两位共阴极 LED 数码管共 18 只引脚，其中：⑥、⑤两引脚分别为个位和十位的公共负极，其余 16 只引脚分别为个位和十位的笔画与小数点的正极，如图 6-5 所示。

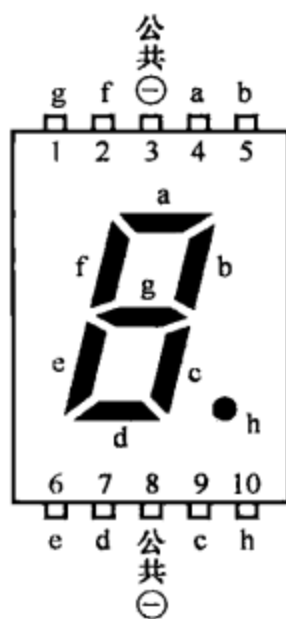


图 6-3

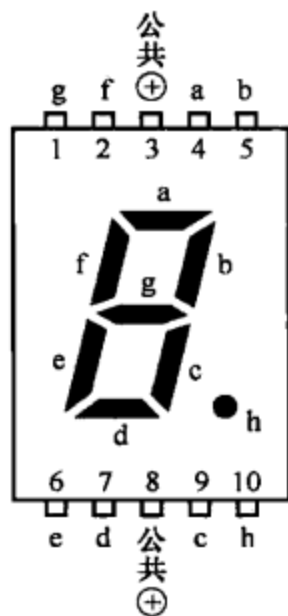


图 6-4

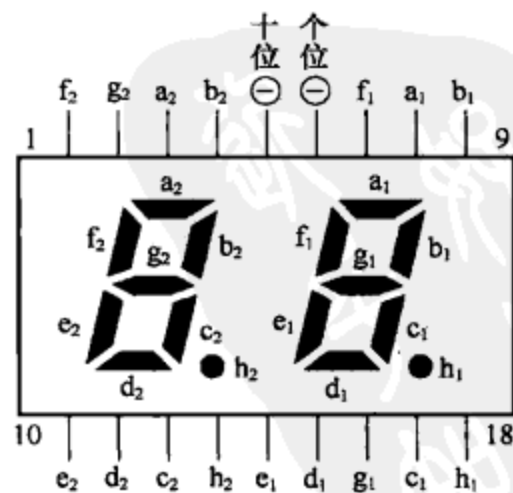


图 6-5

6.1.3 LED 数码管有什么特点

1. LED 数码管的特点

LED 数码管的特点是发光亮度高、响应时间快、高频特性好、驱动电路简单等，而且体积小、重量轻、寿命长和耐冲击性能好。

2. LED 数码管的显示原理

7 段数码管将 7 个笔画段组成“8”字形，能够显示“0~9”10 个数字和“A~F”6 个字母，如图 6-6 所示，可以用于二进制、十进制以及十六进制数的显示。

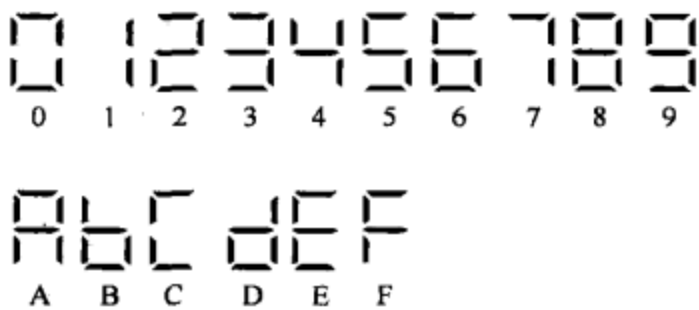


图 6-6

李蕾蕾：门老师，前面您说过 LED 数码管有共阴极和共阳极两种，那么它们在显示数字时有什么差别吗？

门老师：共阴极数码管和共阳极数码管显示出来的数字是一样的。不同的是它们的内部电路连接方式不同，使用中的外部电路连接也不同。

(1) 共阴极 LED 数码管内部电路如图 6-7 所示，8 个 LED（7 段笔画和 1 个小数点）的负极连接在一起接地，译码电路按需给不同笔画的 LED 正极加上正电压，使其显示出相应数字。

(2) 共阳极 LED 数码管内部电路如图 6-8 所示，8 个 LED 的正极连接在一起接正电压，译码电路按需使不同笔画的 LED 负极接地，使其显示出相应数字。

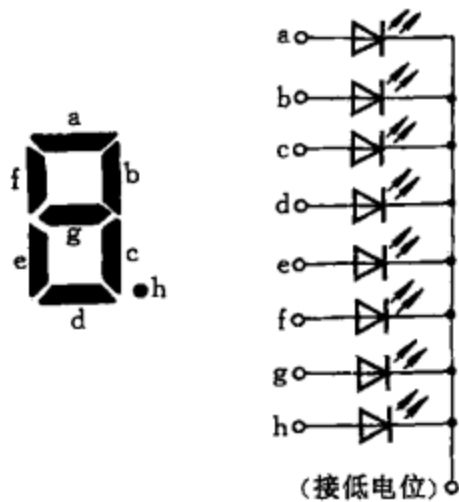


图 6-7



图 6-8

6.1.4 LED 数码管有哪些作用

LED 数码管的作用是显示字符。例如，在时钟电路中显示时间，在计数电路中显示数字，

在测量电路中显示结果等。

图 6-9 所示为电子时钟原理图，4 个 LED 数码管分别构成各两位数的分钟和小时的数字显示部分，完成“00：00”至“23：59”的时间显示。

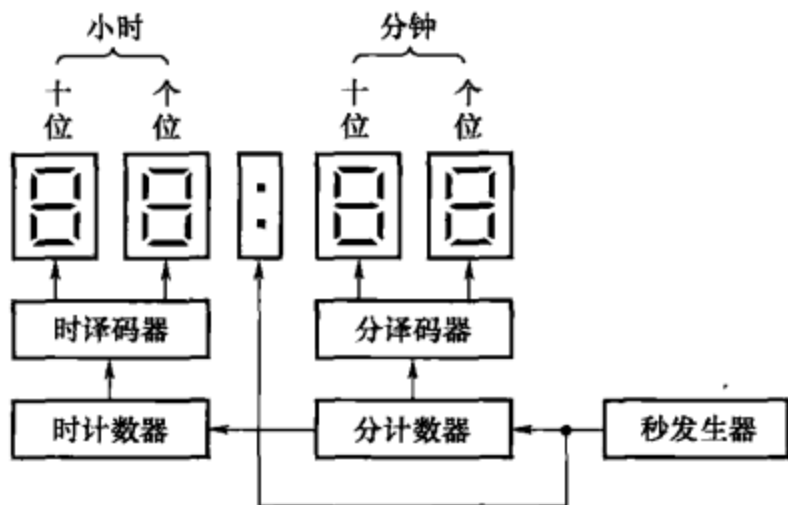


图 6-9

6.1.5 怎样检测 LED 数码管

LED 数码管可用万用表电阻挡对其中的各个 LED 逐个检测。

万用表置于“ $R \times 10k$ ”挡，对于共阴极数码管，红表笔接公共极，黑表笔依次分别接各笔段进行检测，如图 6-10 所示。对于共阳极数码管，万用表黑表笔接公共极，红表笔依次分别接各笔段进行检测，如图 6-11 所示。

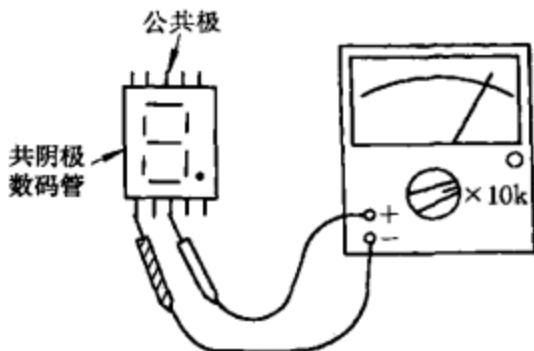


图 6-10

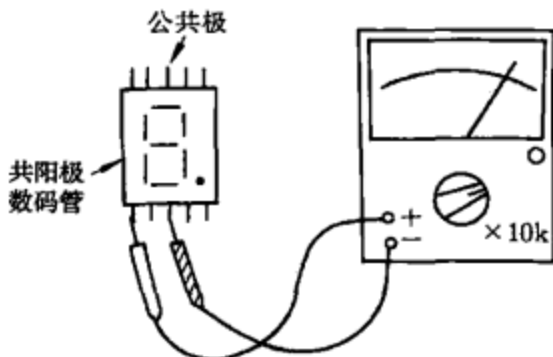


图 6-11

门老师：李蕾蕾同学，请你归纳一下这一讲的主要内容。

李蕾蕾：好的。LED 数码管的知识点主要是以下几点。

- (1) LED 数码管是最常用的一种字符显示器件，它是将若干 LED 按一定图形组织在一起构成的，分为共阴极数码管和共阳极数码管两种。
- (2) LED 数码管的特点是发光亮度高、响应时间快、高频特性好、驱动电路简单等。
- (3) LED 数码管的作用是显示字符。
- (4) LED 数码管可用万用表电阻挡对其中的各个 LED 逐个检测。

第2讲 液晶显示屏



门老师：现在我们讲第2讲，主要内容是液晶显示屏的概念和种类、液晶显示屏的特点和显示原理、液晶显示屏的主要作用和检测方法等。

6.2.1 什么是液晶显示屏

液晶显示屏的英文缩写为 LCD，是一种新型显示器件，其外形如图 6-12 所示。液晶显示屏具有体积小、厚度薄、重量轻、寿命长、工作电压低、功耗微、强光照下显示效果好等特点，广泛应用于数字仪表、电子钟表、电子日历、计算器、电话机以及掌上数码设备中。

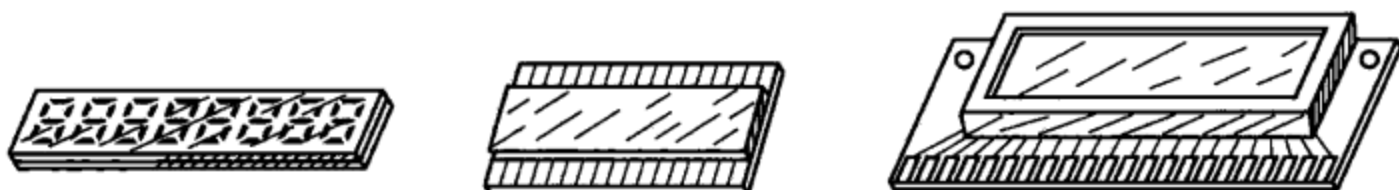


图 6-12

6.2.2 液晶显示屏有哪些种类

液晶显示屏具有较多种类，分别适用于各种不同场合的显示需要。

1. 按液晶显示机理分

- (1) 扭曲向列 (TN) 型，主要用于各种字符或图形的黑白显示，64 行以下的点阵式黑白显示。
 - (2) 超扭曲 (STN) 型，主要用于 64 行以上的大型点阵式黑白或彩色显示。
 - (3) 宾主 (GH) 型，需配背光照明，可通过不同颜色的滤光片实现彩色显示。
- 此外，还有动态散射 (DS) 型、相变 (PC) 型、电控双折射 (ECB) 型等。

2. 按驱动方式分

- (1) 静态驱动显示型，字符的各个笔画段同时分别驱动显示。
- (2) 多路寻址动态驱动显示型，字符的各个笔画段轮流驱动显示。当有 n 个笔画段时，在每个显示周期内，每个笔画段分别只在 $1/n$ 时间里显示，由于扫描速度足够快和人眼的视觉暂

留现象，看起来显示的字符是完整的。

(3) 矩阵式扫描驱动显示型，对点阵式液晶显示屏逐行扫描显示字符或图像。

3. 按结构分

按液晶显示屏的基本结构不同，可分为透射型、反射型和投影型等种类。

4. 按功能分

按液晶显示屏的使用功能不同，可分为仪表显示屏、电子钟表显示屏、计算器显示屏等，如图 6-13 所示。

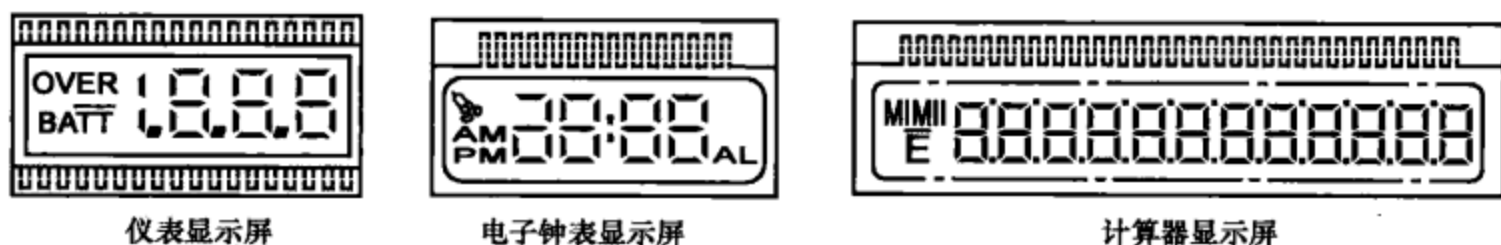


图 6-13

6.2.3 怎样理解液晶显示屏的工作原理

1. 液晶显示屏的结构

液晶显示屏的结构如图 6-14 所示，在两块玻璃基板间填充有液晶材料，上、下玻璃基板上都制作有透明电极，在上玻璃基板上和下玻璃基板下面分别有上、下偏振片，在下偏振片下面还有反射板。

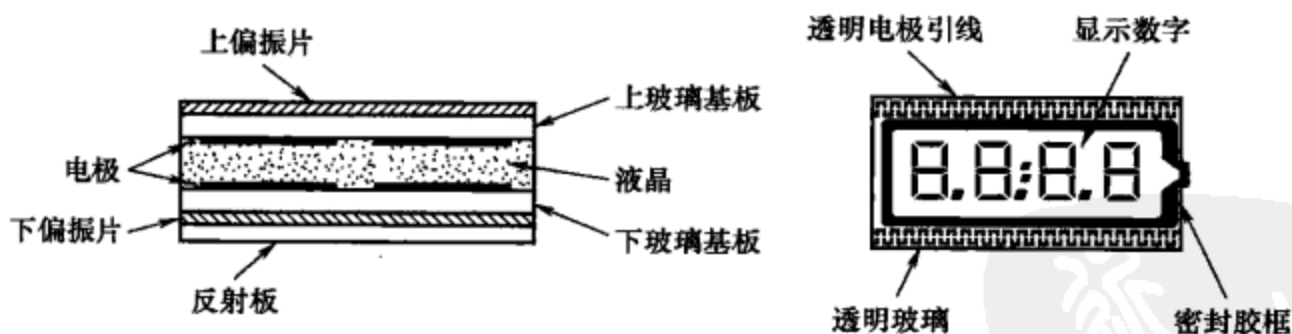


图 6-14

2. 显示原理

液晶是一种介于固体和液体之间的特殊物质，具有类似于晶体的性质，能够改变通过光线的偏振方向，并且这种改变是可以用电来控制的。液晶显示屏的工作原理就是基于液晶的这种特性，如图 6-15 所示。

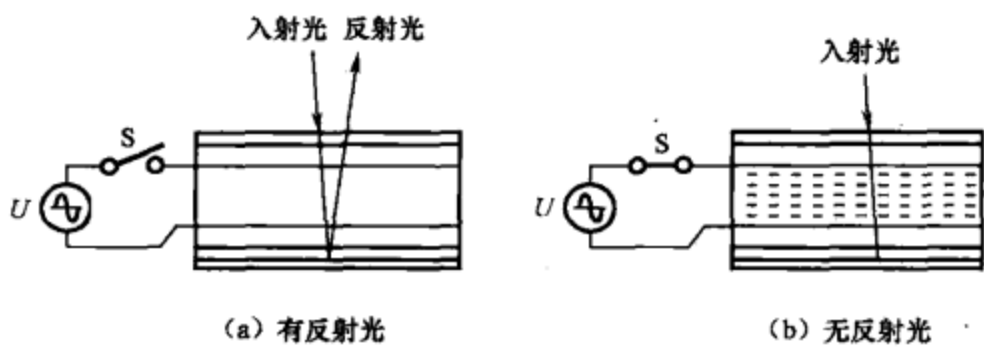


图 6-15

(1) 当未加电压时，入射光穿过液晶和偏振片后能够被反射板反射回来，如图 6-15 (a) 所示，我们看到的就是亮白色。

(2) 当在上、下电极之间加上驱动电压时，电极部位的液晶在电场作用下改变了偏光性，使得入射光不能够被反射板反射回来，如图 6-15 (b) 所示，我们看到的就是黑色。把电极做成字符状，我们看到的就是黑色的字符了。

3. 驱动原理

由于液晶材料在长期直流电压作用下会发生电解和电极老化，导致使用寿命大为缩短，因此一般采用 30~100Hz 的交流方波作为驱动电压。

液晶显示屏驱动电路如图 6-16 所示，时钟脉冲 CP 直接加至背电极，同时通过异或门 D 加至笔画电极。

(1) 当控制信号 U 为“0”时，笔画电极与背电极所加脉冲电压同相，电压差为 0，液晶屏不显示。

(2) 当控制信号 U 为“1”时，笔画电极与背电极所加脉冲电压反相，两电极间有电压差，液晶屏显示。

图 6-17 所示为驱动电路工作波形图。

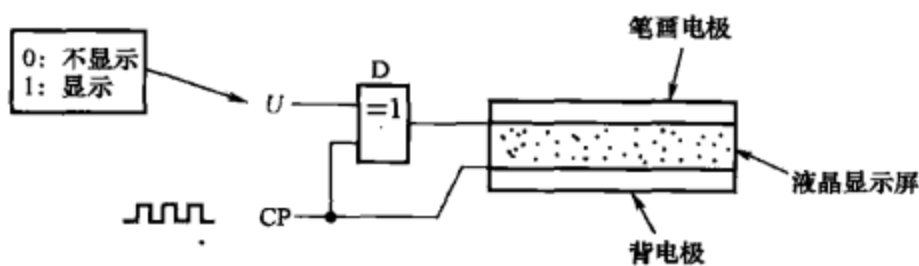


图 6-16

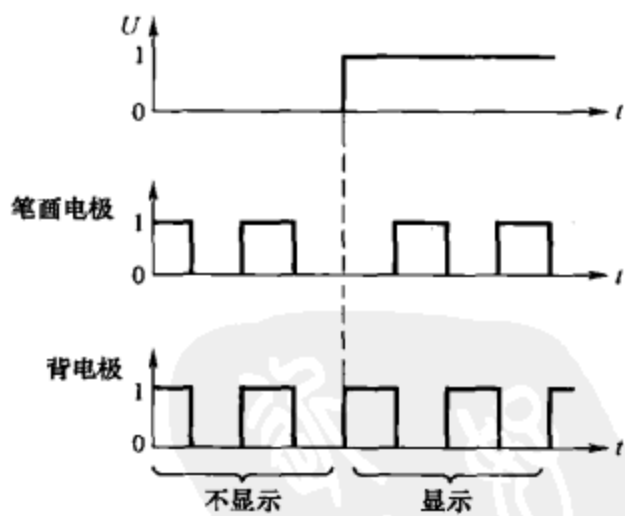


图 6-17

6.2.4 液晶显示屏有哪些作用

液晶显示屏的主要作用是显示字符。

图 6-18 所示为 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表的原理方框图，液晶显示屏可显示“±1999”数值范围的测量结果。

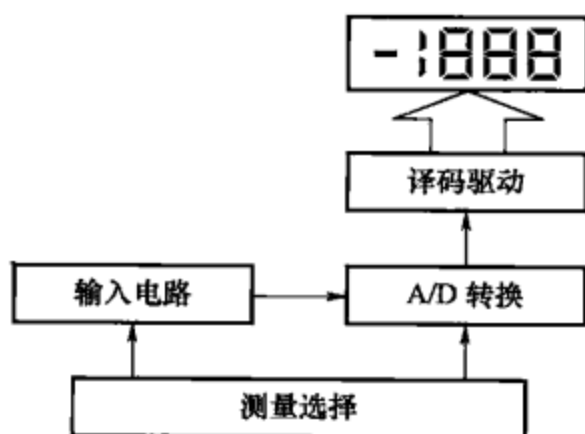


图 6-18

- 门老师：同学们想想看，我们平时在哪些方面还可以看到液晶显示屏的身影？
- 王小帅：电子手表、万年历、电子血压计、DVD 影碟机，还有手机、数码相机、数字万用表，都有液晶显示屏。
- 李蕾蕾：我们家的洗衣机、空调、电饭煲、电磁灶、吸油烟机上面也有液晶显示屏。
- 王小帅：噢，我们家的电脑显示器、还有平板电视机都是液晶显示屏吧。
- 门老师：同学们说得对，液晶显示屏已从黑白发展到彩色、从小屏幕发展到大屏幕，技术越来越成熟，应用范围越来越广泛。上面我们只是作了最基本的介绍，下面我们谈谈简单的检测方法。

6.2.5 怎样检测液晶显示屏

液晶显示屏可用数字万用表以及感应电压法进行检测。

1. 用数字万用表检测

将数字万用表置于“二极管测量”挡，两表笔（不分正、负）分别接触液晶显示屏的两只引脚。如出现笔画显示，说明其中有一只引脚为 COM 端（公共端），这时将一个表笔换接到另外一只引脚，如仍出现笔画显示，说明未移动的那一个表笔所接引脚即为 COM 端，如图 6-19 所示。

找出 COM 端后，一表笔接 COM 端，另一表笔依次接触各引脚，相应笔画应有显示，否则说明该笔画已损坏。

需要注意的是，一块液晶显示屏的引脚中可能有一个以上的 COM 端，当两表笔分别接触的都是 COM 端时，显示屏无显示是正常的。

2. 用感应电压法检测

用一根数十厘米长的绝缘软导线，一端在 220V 市电电源线（例如台灯的电源线）上缠绕几圈，这时软导线上将有 50Hz 的交流感应电压。用软导线另一端的金属部分去接触液晶显示屏的各引脚，如图 6-20 所示，在 50Hz 感应电压的作用下，各相应笔画应有显示，否则说明显示屏的该笔画已损坏。

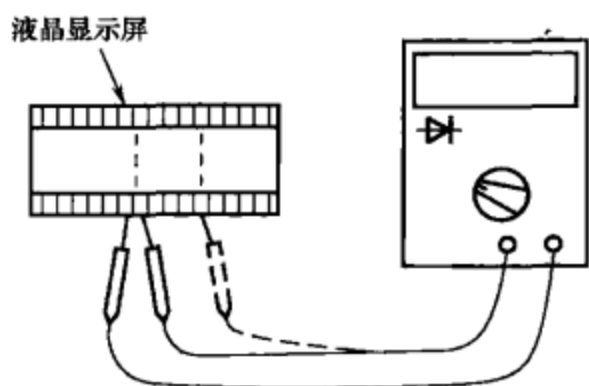


图 6-19

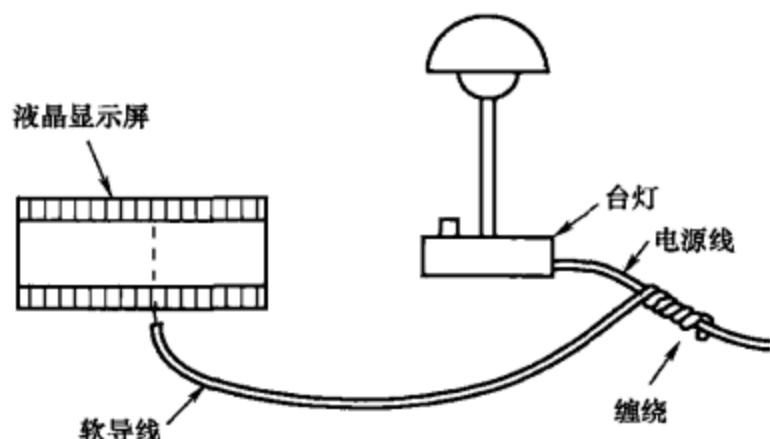


图 6-20



门老师：本讲的主要知识点可以归纳如下。

- (1) 液晶显示屏的英文缩写为 LCD，是一种新型显示器件，具有体积小、厚度薄、重量轻、寿命长、工作电压低、功耗微、强光照下显示效果好等特点。
- (2) 液晶是一种介于固体和液体之间的特殊物质，具有类似于晶体的性质，能够改变通过光线的偏振方向，并且这种改变是可以用电来控制的。
- (3) 液晶显示屏一般采用 30~100Hz 的交流方波作为驱动电压。
- (4) 液晶显示屏的主要作用是显示字符。
- (5) 液晶显示屏可用数字万用表以及感应电压法进行检测。



第 3 讲 继电器



门老师：同学们，现在我们讲第 6 课的第 3 讲继电器，主要内容是继电器的种类、符号和型号，继电器的主要参数和工作原理，继电器的主要作用和检测方法等。

6.3.1 什么是继电器

继电器是一种常用的控制器件，它可以用较小的电流来控制较大的电流，用低电压来控制高电压，用直流电来控制交流电等，并且可实现控制电路与被控电路之间的完全隔离，在自动控制、遥控、保护电路等方面得到广泛的应用。继电器外形如图 6-21 所示。

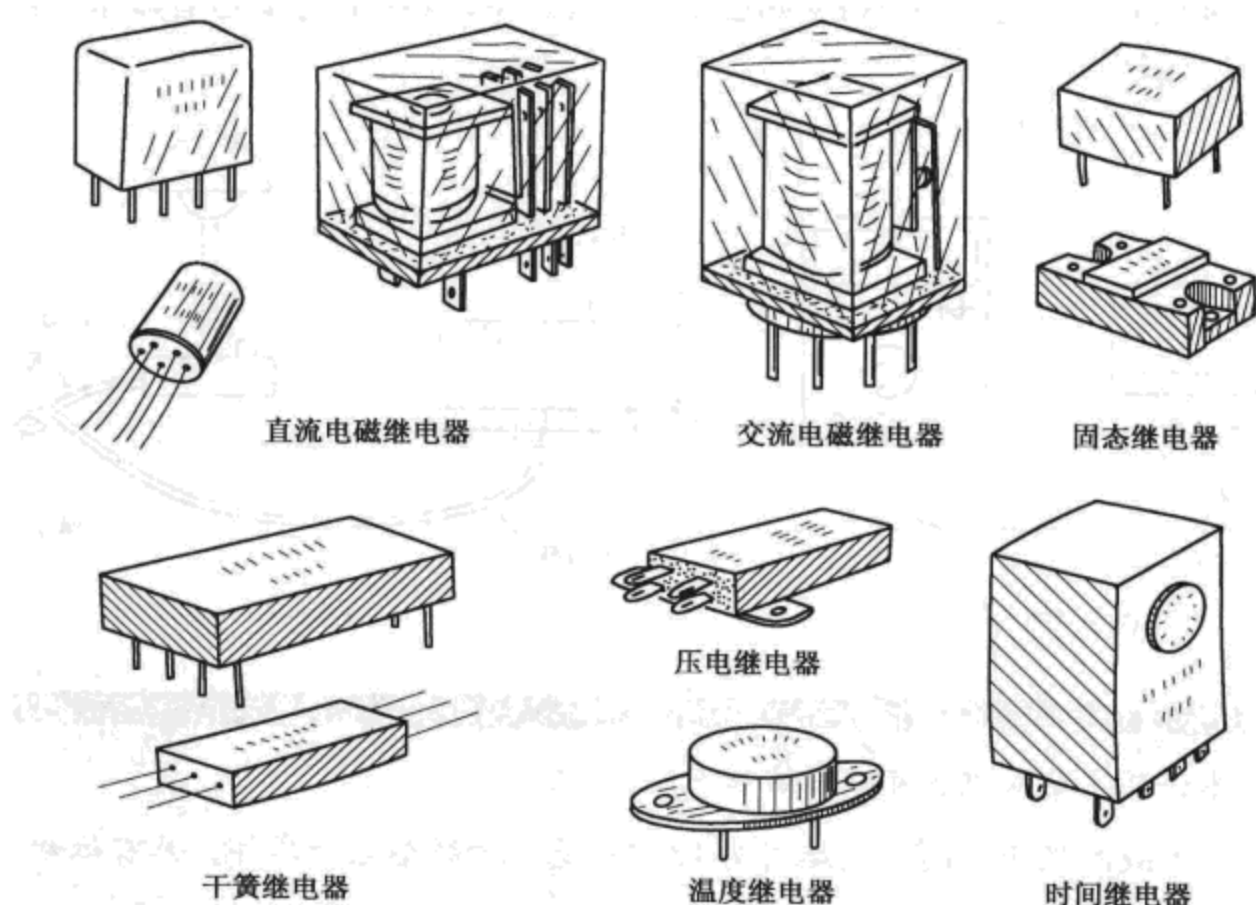


图 6-21

1. 继电器的种类

继电器的种类很多，如图 6-22 所示。

(1) 按照其结构与特征，可分为电磁式继电器、干簧式继电器、湿簧式继电器、压电式继电器、固态继电器、磁保持继电器、步进继电器、时间继电器、温度继电器等。

(2) 按照工作电压类型的不同，继电器可分为直流型继电器、交流型继电器和脉冲型继电器。

(3) 按照继电器触点的形式与数量，可分为单组触点继电器和多组触点继电器两类，其中单组触点继电器又分为常开触点（动合触点，简称 H 触点）、常闭触点（动断触点，简称 D 触点）、转换触点（简称 Z 触点）3 种。多组触点继电器既可以包括多组相同形式的触点，又可以包括多种不同形式的触点。

2. 继电器的符号

继电器的文字符号为“K”，图形符号如图 6-23 所示。

在电路图中，继电器的触点可以画在该继电器线圈的旁边，也可以为了便于图面布局将触

点画在远离该继电器线圈的地方，而用编号表示它们是一个继电器。

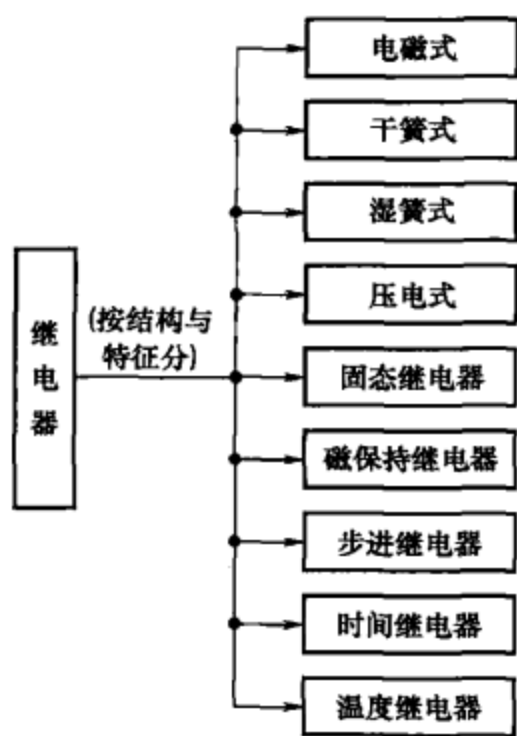


图 6-22

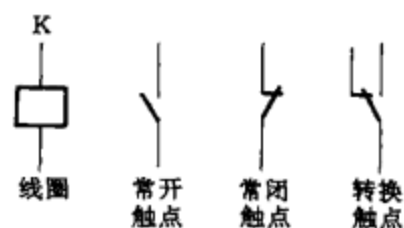


图 6-23

6.3.2 怎样识别继电器

1. 继电器的命名方法

继电器的型号命名一般由 5 部分组成，如图 6-24 所示。第一部分用字母“J”表示继电器的主称，第二部分用字母表示继电器的功率或类型，第三部分用字母表示继电器的外形特征，第四部分用 1~2 位数字表示序号，第五部分用字母表示继电器的封装形式。

继电器型号中字母的意义见表 6-1。例如，型号为 JZX-10M 表示这是中功率小型密封式电磁继电器，型号为 JAG-2 表示这是干簧式继电器。

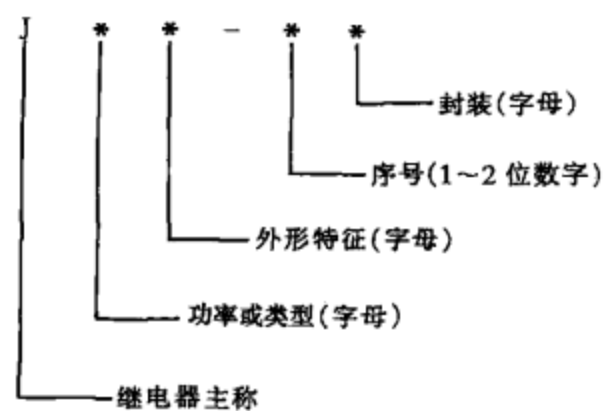


图 6-24

表 6-1 继电器型号中字母的意义

功率或形式	外形	封装
W: 微功率	W: 微型	F: 封闭式
R: 弱功率	C: 超小型	M: 密封式
Z: 中功率	X: 小型	(无): 敞开式
Q: 大功率	G: 干式	
A: 舌簧	S: 湿式	

续表

功率或形式	外形	封装
M: 磁保持		
H: 极化		
P: 高频		
L: 交流		
S: 时间		
U: 温度		

2. 继电器的引出端

密封继电器通常将型号和引出端示意图标示在继电器上，如图 6-25 所示。

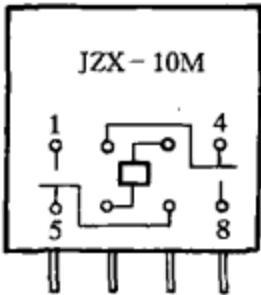


图 6-25

6.3.3 怎样理解继电器的参数

继电器的主要参数有额定工作电压、额定工作电流、线圈电阻和触点负荷等。继电器各参数可通过查看说明书或手册得知。

1. 额定工作电压

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

2. 额定工作电流

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

3. 线圈电阻

线圈电阻是指继电器线圈的直流电阻。对于直流继电器，线圈电阻与额定工作电压和额定工作电流的关系符合欧姆定律。

4. 触点负荷

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

6.3.4 怎样理解继电器的工作原理

常用继电器主要有电磁继电器、干簧继电器和固态继电器等。

1. 电磁式继电器

电磁式继电器是最常用的继电器之一，它是利用电磁吸引力推动触点动作的，由铁芯、线圈、衔铁、动触点、静触点等部分组成，如图 6-26 所示。平时，衔铁在弹簧的作用下向上翘起。当工作电流通过线圈时，铁芯被磁化，将衔铁吸合。衔铁向下运动时，推动动触点与静触点接通，实现了对被控电路的控制。

根据线圈要求的工作电压的不同，电磁式继电器分为直流继电器、交流继电器、脉冲继电器等类型。

2. 干簧式继电器

干簧式继电器也是最常用的继电器之一，它由干簧管和线圈组成，如图 6-27 所示。

干簧管是将两根互不相通的铁磁性金属条密封在玻璃管内而成，干簧管置于线圈中。当工作电流通过线圈时，线圈产生的磁场使干簧管中的金属条被磁化，两金属条因极性相反而吸合，接通被控电路。

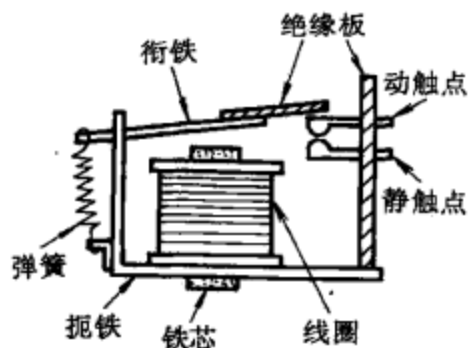


图 6-26

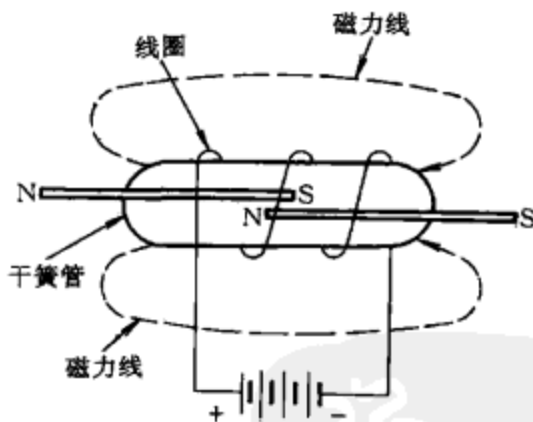


图 6-27



王小帅：我明白了，电磁继电器和干簧继电器都是依靠电磁原理工作的。请问门老师，固态继电器也是依靠电磁原理工作的吗？



门老师：固态继电器从原理上讲是另一种类型的继电器，它不是依靠电磁原理工作的，下面我们就来详细说说固态继电器。

3. 固态继电器

固态继电器的英文缩写为 SSR，是一种新型的电子继电器。固态继电器采用电子电路实现继电器的功能，依靠光电耦合器实现控制电路与被控电路之间的隔离。固态继电器可分为直流式和交流式两大类。

(1) 直流式固态继电器电路原理如图 6-28 所示，控制电压由“IN”端输入，通过光电耦合器将控制信号耦合至被控端，经放大后驱动开关管 VT 导通。固态继电器输出端 OUT 接入被控电路回路中，输出端 OUT 有正、负极之分。

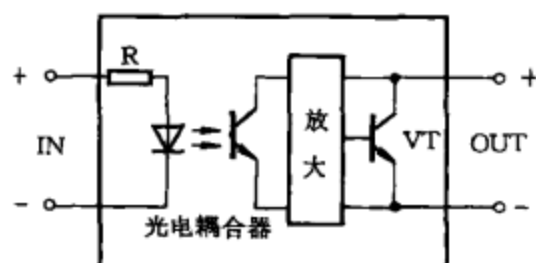


图 6-28

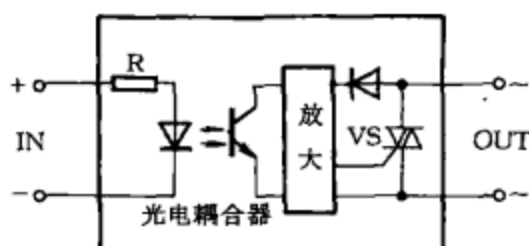


图 6-29

6.3.5 继电器有哪些作用

继电器的主要作用是间接控制和隔离控制。

1. 间接控制

图 6-30 所示为继电器用于声控电灯开关电路，这是弱电控制强电的典型例子。当话筒 BM 接收到声音信号时，经放大后使继电器 K 吸合，其触点 K-1 接通照明灯 EL 的市电电源使其点亮。

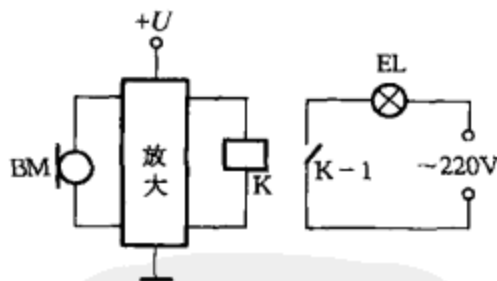


图 6-30

2. 隔离控制

图 6-31 所示为继电器用于扬声器保护电路，这是隔离控制的典型例子。

功率放大器 L 声道或 R 声道的输出端如果出现直流电压，被扬声器保护电路检测放大后，使继电器 K 吸合，其触点 K-1 和 K-2（均为常闭触点）断开，切断了功放输出端与扬声器的连接，保护了扬声器免于被烧毁。采用继电器控制扬声器的通断，使保护电路与音频电路完全隔离，确保了高保真的音质。

3. 保护二极管的作用

由于继电器线圈实质上是一个大电感，为避免驱动继电器的晶体管被损坏，实际使用中应

在继电器线圈两端并接保护二极管，如图 6-32 所示。当开关管 VT 关断的瞬间，继电器线圈 K 产生的反向高压可以通过保护二极管 VD 泄放，保护了开关管 VT 不会被反向高压所击穿。

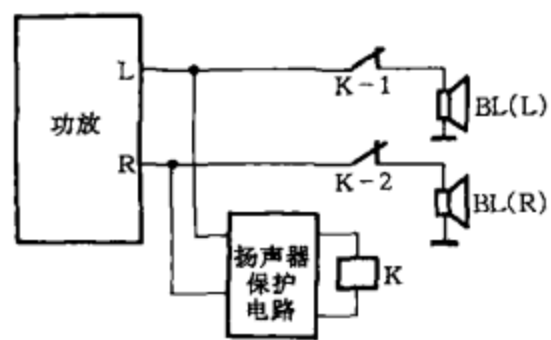


图 6-31

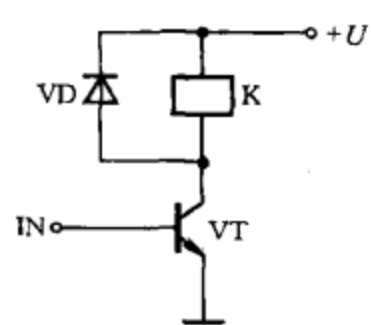


图 6-32

6.3.6 怎样检测继电器

检测继电器包括检测继电器的线圈和触点。

1. 检测继电器线圈

一般继电器可以用万用表进行检测。将万用表置于“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”挡，两表笔（不分正、负）接继电器线圈的两引脚，万用表指示应与该继电器的线圈电阻基本相符，如图 6-33 所示。

如阻值明显偏小，说明线圈内部局部短路。如阻值为 0，说明两线圈引脚间短路。如阻值为无穷大，说明线圈已断路。以上 3 种情况均说明该继电器已损坏。

2. 检测继电器触点

给继电器线圈接上规定的工作电压，用万用表“ $R \times 1k$ ”挡检测触点的通断情况，如图 6-34 所示。

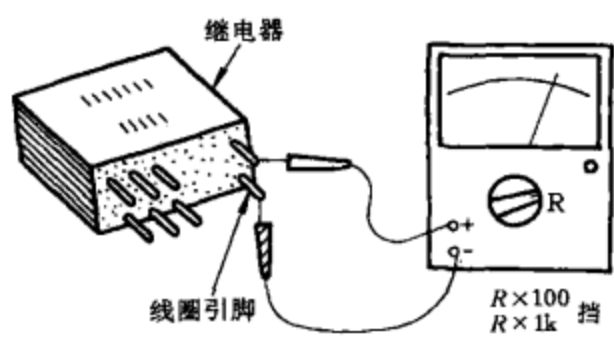


图 6-33

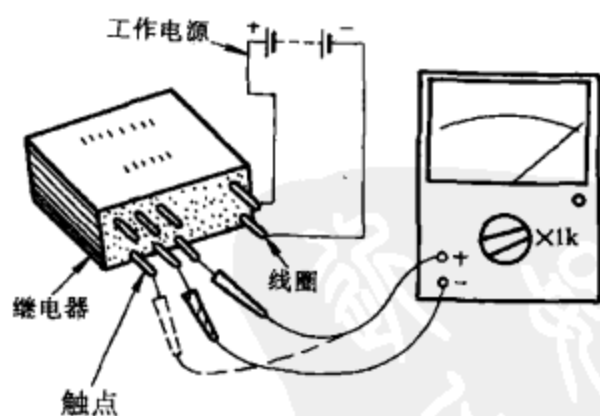


图 6-34

未加上工作电压时，常开触点应不通，常闭触点应导通。当加上工作电压时，应能听到继电器吸合声，这时，常开触点应导通，常闭触点应不通，转换触点应随之转换，否则说明该继电器损坏。对于多组触点继电器，如果部分触点损坏，其余触点工作正常，则仍可使用。



门老师：现在我归纳一下第3讲继电器的主要知识点。

- (1) 继电器是一种常用的控制器件，它可以用较小的电流来控制较大的电流，用低电压来控制高电压，用直流电来控制交流电等，并且可实现控制电路与被控电路之间的完全隔离。
- (2) 继电器包括电磁式继电器、干簧式继电器、固态继电器、步进继电器、时间继电器和温度继电器等。
- (3) 继电器的文字符号为“K”。
- (4) 继电器的主要参数有额定工作电压、额定工作电流、线圈电阻和触点负荷等。
- (5) 电磁式继电器是最常用的继电器之一，它是利用电磁吸引力推动触点动作的。干簧式继电器由干簧管和线圈组成，也是最常用的继电器之一。
- (6) 固态继电器简称为SSR，是一种新型的电子继电器，分为直流式和交流式两大类。
- (7) 继电器的主要作用是间接控制和隔离控制。
- (8) 检测继电器包括检测继电器的线圈和触点。

第4讲 开 关



门老师：现在我们讲第6课的第4讲开关，主要内容是开关的种类和符号、开关的主要参数、开关的结构和作用、开关的检测方法等。

6.4.1 什么是开关

开关是一种应用广泛的控制器件，在各种电子电路和电子设备中起着接通、切断、转换等控制作用。

1. 开关的种类

开关的种类繁多，大小各异，图6-35所示为部分常见开关的外形。

开关按结构可分为拨动开关、钮子开关、跷板开关、船形开关、推拉开关、旋转开关、按钮开关、拨码开关、微动开关和薄膜开关等。按控制极位可分为单极单位开关、单极多位开关、多极单位开关和多极多位开关等。按触点形式可分为动合开关、动断开关和转换开关。

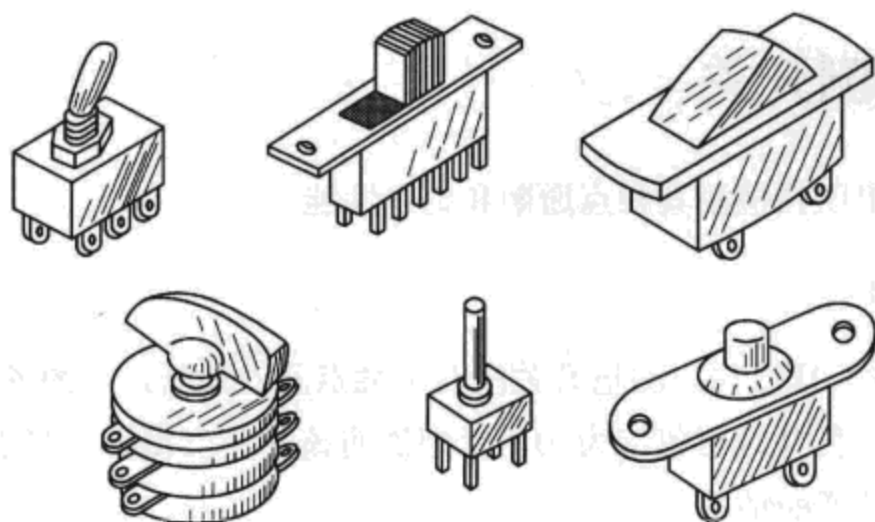


图 6-35

2. 开关的符号

开关的一般文字符号为“S”，按钮开关的文字符号为“SB”，开关的图形符号如图 6-36 所示。

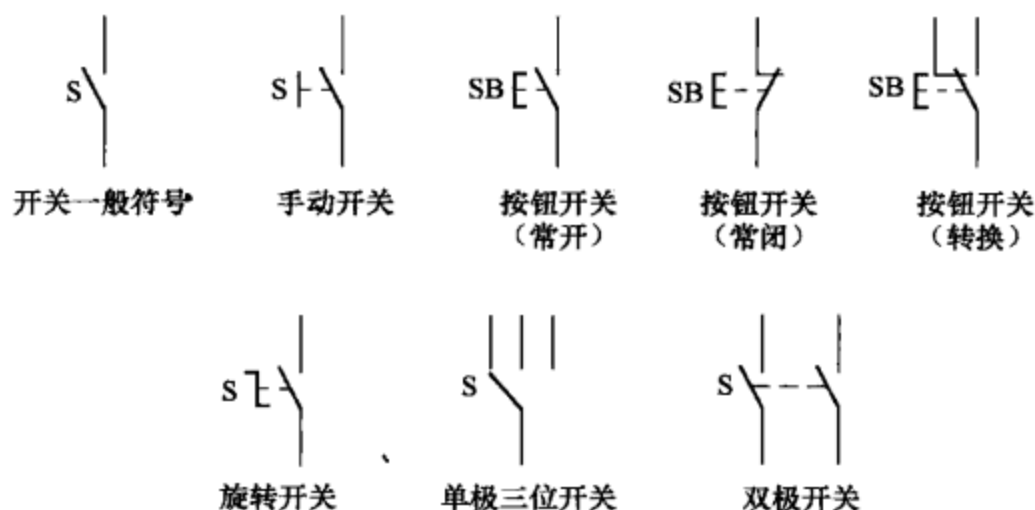


图 6-36

6.4.2 怎样理解开关的参数

开关的主要参数是额定电压和额定电流。

1. 额定电压

额定电压是指开关长期安全运行所允许的最高工作电压，例如，100V、250V 等。对于交流电源开关，额定电压通常指交流电压。

2. 额定电流

额定电流是指开关在长期正常工作的前提下所能接通或切断的最大负载电流，例如，500mA、1A、5A 等。

选用开关时应注意，所控制电路的工作电压和最大电流均不能超过其额定电压和额定电流。

6.4.3 怎样检测开关

开关可用万用表电阻挡检测其触点通断和绝缘性能。

1. 检测触点通断

将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，测量开关的两个触点间的通断，如图 6-37 所示。开关关断时阻值应为无穷大，开关打开时阻值应为 0，否则说明该开关已损坏。对于多极或多位开关，应分别检测各对触点间的通断情况。

2. 检测绝缘性能

对于多极开关，用万用表“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡，测量不同极的任意两个触点间的绝缘电阻，均应为无穷大，如图 6-38 所示。如果是金属外壳的开关，还应测量每个触点与外壳之间的绝缘电阻，也均应为无穷大。否则说明该开关绝缘性能太差，不能使用。

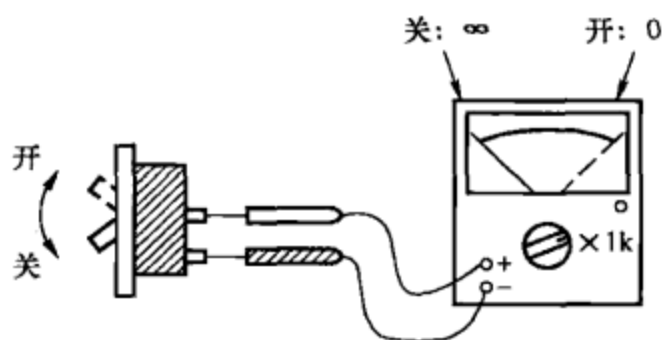


图 6-37

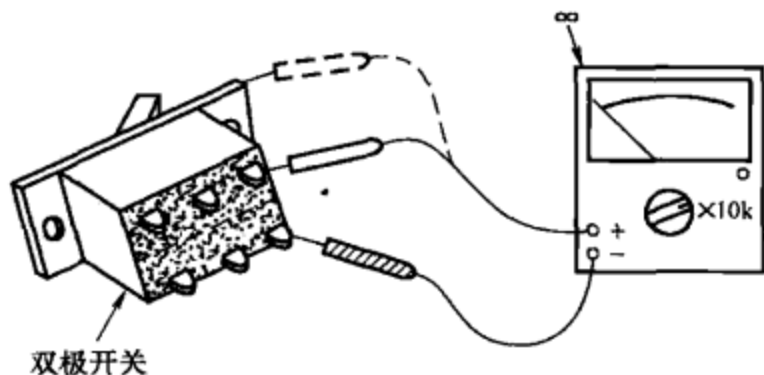


图 6-38

门老师：开关是同学们并不陌生的一种元器件，谁能用一句话来概括开关。

李蕾蕾：开关就是控制电路“开”与“关”的元器件。

门老师：很好，那你就详细归纳一下开关的知识点吧。

李蕾蕾：好的。开关的知识点可以归纳为 5 点。

(1) 开关是一种应用广泛的控制器件，在各种电子电路和电子设备中起着接通、切断、转换等控制作用。

(2) 开关的一般文字符号为“S”，按钮开关的文字符号为“SB”。

(3) 开关的主要参数是额定电压和额定电流。

(4) 常用开关有拨动开关、旋转开关、按钮开关、微动开关、轻触开关和薄膜开关等。

(5) 开关可用万用表的电阻挡检测其触点通断和绝缘性能。

第 5 讲 接 插 件

门老师：现在我们讲第 6 课的第 5 讲接插件，主要内容是接插件的种类和符号、接插件的应用和检测方法等。

6.5.1 什么是接插件

接插件是实现电路器件、部件或组件之间可拆卸连接的连接器件，包括各种插头、插座与接线端子等。

1. 接插件的种类

接插件的种类很多，大小各异。按形式不同，可分为单芯插头插座、二芯插头插座、三芯插头插座、同轴插头插座和多极插头插座等。按用途不同，可分为音频视频插头插座、印制电路板插座、电源插头插座、集成电路插座、管座、接线柱、接线端子和连接器等。图 6-39 所示为部分接插件外形。

2. 接插件的符号

接插件的一般文字符号为“X”，插头的文字符号为“XP”，插座的文字符号为“XS”，它们的图形符号如图 6-40 所示。

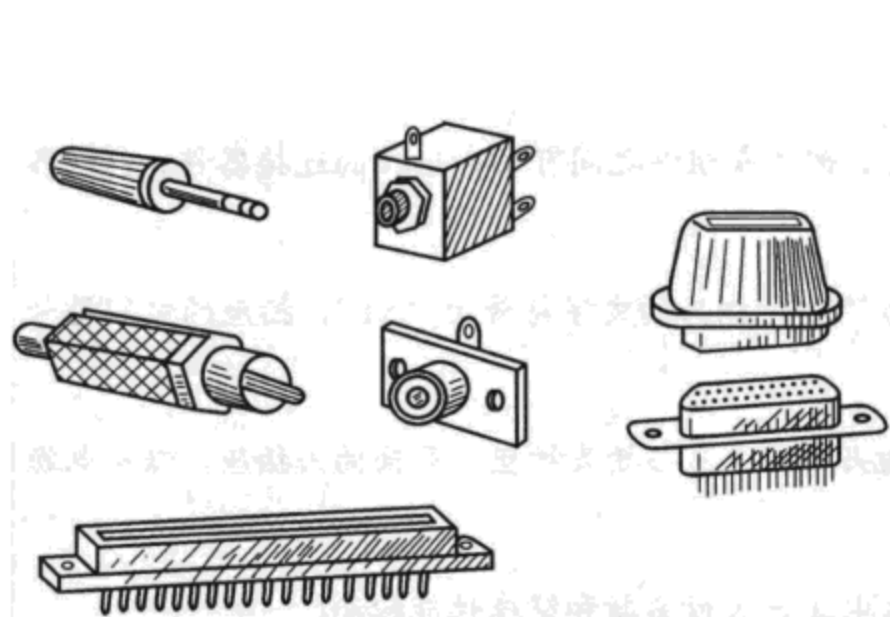


图 6-39

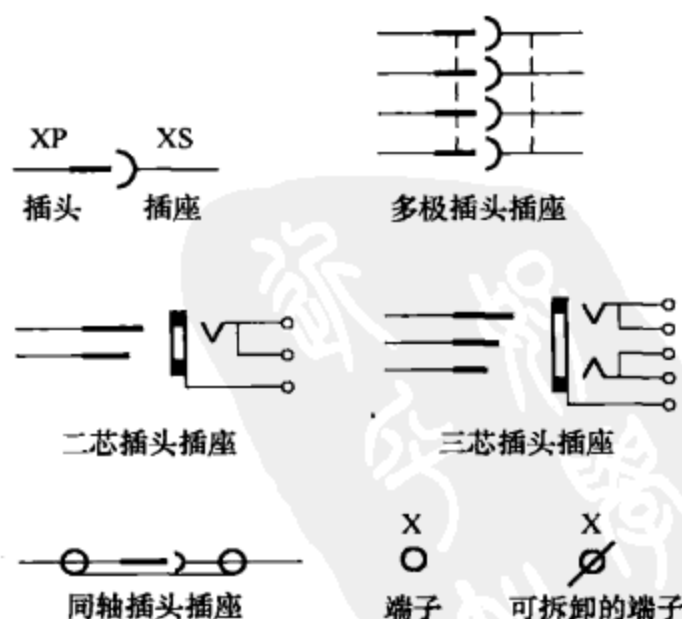


图 6-40



6.5.2 怎样检测接插件

各种接插件均可用万用表电阻挡进行通断和绝缘性能检测。

1. 检测带转换开关功能的插座

以检测三芯插座为例，方法如图 6-41 所示，将万用表置于“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡，两表笔（不分正、负）分别接插座的 a、b 引出端，其阻值应为 0（a 端与 b 端接通）；用一只未连线的空插头插入被测插座后，万用表指示应变为无穷大（a 端与 b 端断开）。再以同样方法检测插座的 c、d 端。

2. 检测其他接插件

其他接插件的检测比较简单，主要是检测插头、插座各引出端之间有无短路。如图 6-42 所示，用万用表测量各引出端之间的阻值，均应为无穷大，否则说明该插头或插座已损坏。

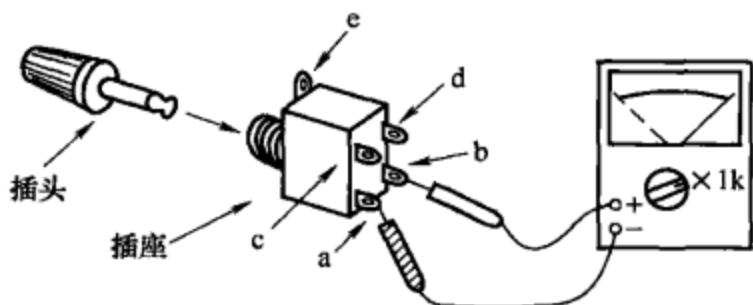


图 6-41

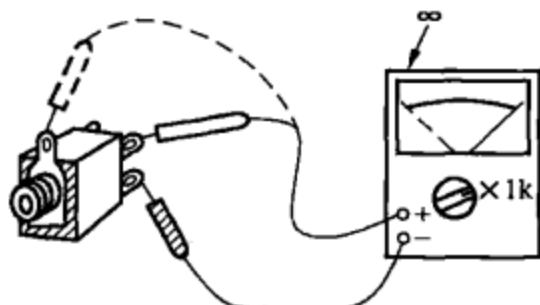


图 6-42



Q 老师：接插件的主要知识可以归纳为 4 点。

- (1) 接插件是实现电路元器件、部件或组件之间可拆卸连接的连接器件，包括各种插头、插座与接线端子等。
- (2) 接插件的一般文字符号为“X”，插头的文字符号为“XP”，插座的文字符号为“XS”。
- (3) 常用接插件主要有二芯插头插座、三芯插头插座、同轴插头插座，以及电源插头插座等。
- (4) 各种接插件均可用万用表电阻挡进行通断和绝缘性能检测。

第6讲 保险器件

门老师：现在我们讲第6课的最后一讲保险器件，主要内容是保险器件的种类和符号、保险器件的主要参数和工作原理、保险器件的用途和检测方法等。

6.6.1 什么是保险器件

保险器件主要包括各种保险丝和熔断电阻。保险丝也称为熔丝，是一种常用的一次性保护器件，主要用来对电子设备和电路进行过载或短路保护。

1. 保险丝的种类

保险丝的种类较多，外形各异，可分为普通保险丝、玻璃管保险丝、快速熔断保险丝、延迟熔断保险丝、温度保险丝和可恢复保险丝等。图 6-43 所示为部分常见保险丝的外形。

2. 保险丝的符号

保险丝的文字符号为“FU”，图形符号如图 6-44 所示。

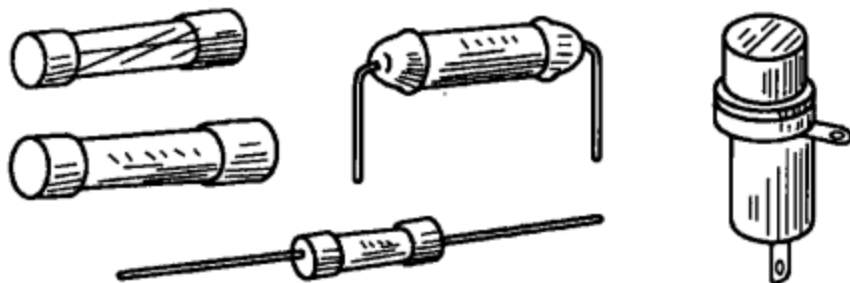


图 6-43

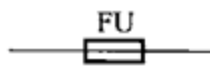


图 6-44

6.6.2 怎样理解保险丝的参数

保险丝的主要参数是额定电压和额定电流。

1. 额定电压

额定电压是指保险丝长期正常工作所能承受的最高电压，例如，250V、500V 等。

2. 额定电流

额定电流是指保险丝长期正常工作所能承受的最大电流，例如，0.25A、0.5A、0.75A、1A、2A、5A、10A 等。

额定电压和额定电流一般直接标注在保险丝的外壳上，如图 6-45 所示。

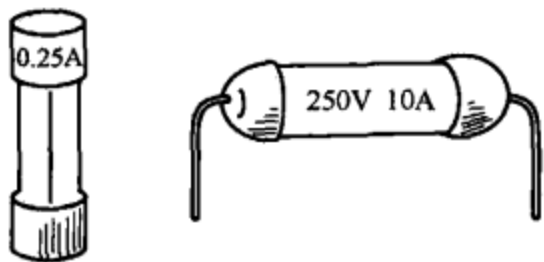


图 6-45

王小帅：保险丝我知道，但是为什么要用保险丝呢？听人说如果保险丝烧断了，可以用一根铜丝代替，并且以后不会再烧断了，这样对吗？

门老师：用保险丝的目的就是为了“保险”，如果用铜丝代替保险丝，虽然电路或电器也能工作，但是十分危险。一旦电路或电器发生故障，由于没有保险丝来保护，故障就会扩大，甚至造成灾难性后果。所以绝对不允许用铜丝代替保险丝。

王小帅：哦，保险丝的作用真的不可小视。门老师，您给我们讲讲保险丝为什么能够“保险”吧。

6.6.3 怎样理解保险丝的工作原理

保险丝的作用是对电子设备或电路的短路和过载进行保护。使用时保险丝应串接在被保护的电路中，并应接在电源相线输入端，如图 6-46 所示。

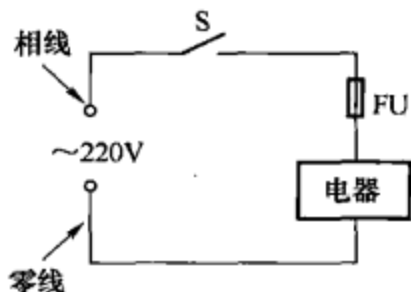


图 6-46

保险丝由金属或合金材料制成，在电路或电子设备工作正常时，保险丝相当于一截导线，对电路无影响。当电路或电子设备发生短路或过载时，流过保险丝的电流剧增，超过保险丝的额定电流，致使保险丝急剧发热而熔断，切断了电源，从而达到保护电路和电子设备、防止故障扩大的目的。

保险丝的保护作用通常是一次性的，一旦熔断即失去作用，应在故障排除后更换新的相同规格的保险丝。

6.6.4 怎样检测保险器件

保险器件的好坏可用万用表的电阻挡进行检测。

1. 检测普通保险丝管

万用表置于“ $R \times 1$ ”或“ $R \times 10$ ”挡，两表笔（不分正、负）分别与被测保险丝管的两端金属帽相接，其阻值应为 0Ω ，如图 6-47 所示。如阻值为无穷大（表针不动），说明该保险丝管已熔断。如有较大阻值或表针指示不稳定，说明该保险丝管性能不良。

2. 检测熔断电阻

根据熔断电阻的阻值将万用表置于适当挡位，两表笔（不分正、负）分别与被测熔断电阻的两引脚相接，其阻值应基本符合该熔断电阻的标称阻值，如图 6-48 所示。如阻值为无穷大（表针不动），说明该熔断电阻已熔断。如有较大阻值或表针指示不稳定，说明该熔断电阻性能不良。

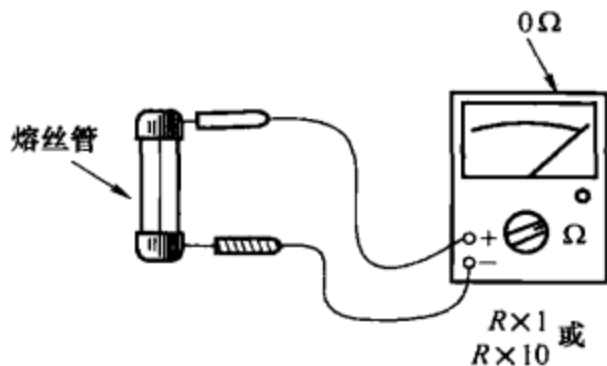


图 6-47

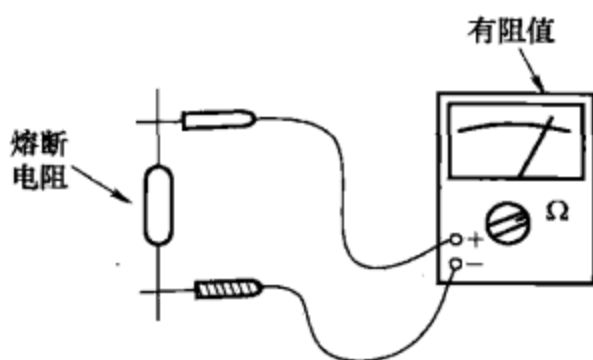


图 6-48

门老师：保险器件就讲完了，李蕾蕾同学，你来小结一下。

李蕾蕾：我理解这一讲可以归纳如下。

- (1) 保险器件主要包括各种保险丝和熔断电阻。
- (2) 保险丝也称为熔丝，是一种常用的一次性保护器件，主要是对电子设备或电路的短路和过载进行保护。保险丝的文字符号为“FU”。
- (3) 保险丝的主要参数是额定电压和额定电流。
- (4) 热保险丝受环境温度控制而动作，是一种一次性的过热保护器件。
- (5) 可恢复保险丝由正温度系数（PTC）的高分子材料制成，是一种可以重复使用的限流型保护器件。
- (6) 熔断电阻又称为保险电阻，是一种兼有电阻和保险丝双重功能的特殊元件。熔断电阻的文字符号为“RF”。
- (7) 保险器件的好坏可用万用表的电阻挡进行检测。



门老师：归纳得很好。同学们，第6课到这里就全部结束了，以下是本课的思考题。

- (1) LED 数码管的特点和作用是什么？
- (2) 液晶显示屏有哪些种类和用途？
- (3) 继电器的特点和工作原理是什么，怎样选用继电器？
- (4) 什么是固态继电器，如何应用固态继电器？
- (5) 开关具有哪些种类，开关的特点和作用是什么？
- (6) 什么是接插件，常用接插件有哪些？
- (7) 保险器件包括哪些？谈谈保险器件的种类和用途。



资源
分享
PDG

第7课 集成电路



门老师：同学们好，从今天开始我们讲第7课：集成电路。随着微电子技术的飞速发展，集成电路的应用越来越普遍，已成为现代电子技术中不可或缺的主要元器件。认识集成电路，掌握集成电路的性能特点、作用、功能、使用方法等基本知识，是学习电子技术的重要内容。第7课分为4讲，第1讲认识集成电路，第2讲集成运算放大器，第3讲时基集成电路，第4讲集成稳压器。



第1讲 认识集成电路



门老师：现在我们讲第1讲认识集成电路，主要讲一讲集成电路的概念、种类、符号，集成电路的封装形式，集成电路引脚的识别等。

7.1.1 什么是集成电路

集成电路是高度集成化的电子器件。集成电路将成千上万个晶体管、电阻、电容等元器件集成在一块半导体芯片中，组成某一功能电路、某一单元电路甚至某一整机电路，极大地简化了电子设备的电路结构，缩小了电子设备的体积，提高了电子设备的可靠性。集成电路广泛应用于工农业生产、科学技术、国防军事、教育文化和社会生活等各个领域，发挥着越来越大的作用。

集成电路的主要特点是集成度高、功能完整、可靠性高、体积小、重量轻和功耗低等。

1. 集成度高

超大规模集成电路每块芯片集成元器件可达100万个以上。

2. 功能完整

一块集成电路即可包括一个或几个单元电路，一块大规模集成电路可以包括一个完整的整

机电路。

3. 可靠性高

集成电路与分立元器件电路相比较，大大减少了电路的焊触点和连接线，极大地提高了电路的可靠性、稳定性和抗干扰能力。

4. 体积小、重量轻、功耗低

相比分立元器件电路，集成电路具有体积更小、重量更轻、功耗更低的特点。

7.1.2 集成电路有哪些种类

集成电路种类繁多，分类方法也有很多种。

1. 按集成度分类

集成电路按其集成元器件的规模可以分为以下几类。

- (1) 小规模集成电路，英文缩写为 SSIC，每块芯片集成元器件通常在 100 个以下。
- (2) 中规模集成电路，英文缩写为 MSIC，每块芯片集成元器件为 100~1000 个。
- (3) 大规模集成电路，英文缩写为 LSIC，每块芯片集成元器件在 1000 个~10 万个。
- (4) 超大规模集成电路，英文缩写为 VLSIC 及 ULSIC，每块芯片集成元器件在 10 万个以上，其中 ULSIC 每块芯片集成元器件在 100 万个以上。

2. 按功能分类

集成电路从功能上可分为通用集成电路和专用集成电路两类。

- (1) 通用集成电路是指适用范围较宽，能够在不同的电路系统中作为功能电路或单元电路应用的集成电路。例如运算放大器、集成稳压器、逻辑门电路和各类触发器等。
- (2) 专用集成电路是指适用于某种特定的场合，具有特定的功能和专门用途的集成电路。例如收音机集成电路、音乐集成电路、电子表电路等。

3. 按制造工艺分类

根据制造工艺和结构的不同，集成电路可分为双极型和 MOS 型两种。双极型集成电路的主要元器件为晶体管。MOS 型集成电路的主要元器件为场效应管（MOS 管），包括 NMOS、PMOS 和 CMOS 三种。MOS 型集成电路具有更高的输入阻抗和更低的功耗。

4. 按封装形式分类

集成电路的封装形式有很多种，主要的有单列直插式、双列直插式、双列扁平式、四列直插式、四列扁平式、金属封装式和软封装式等，如图 7-1 所示。应用最普遍的是单列直插式和

双列直插式集成电路。

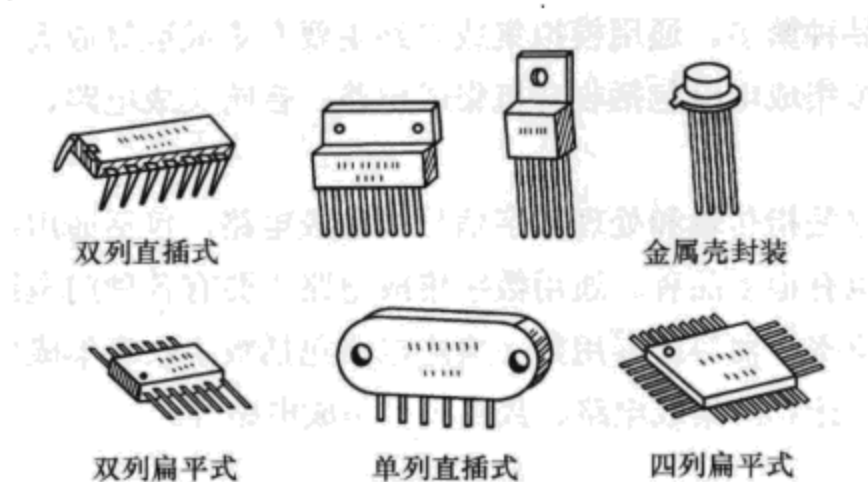


图 7-1

5. 按处理信号分类

按照处理信号的不同，集成电路可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类，如图 7-2 所示。

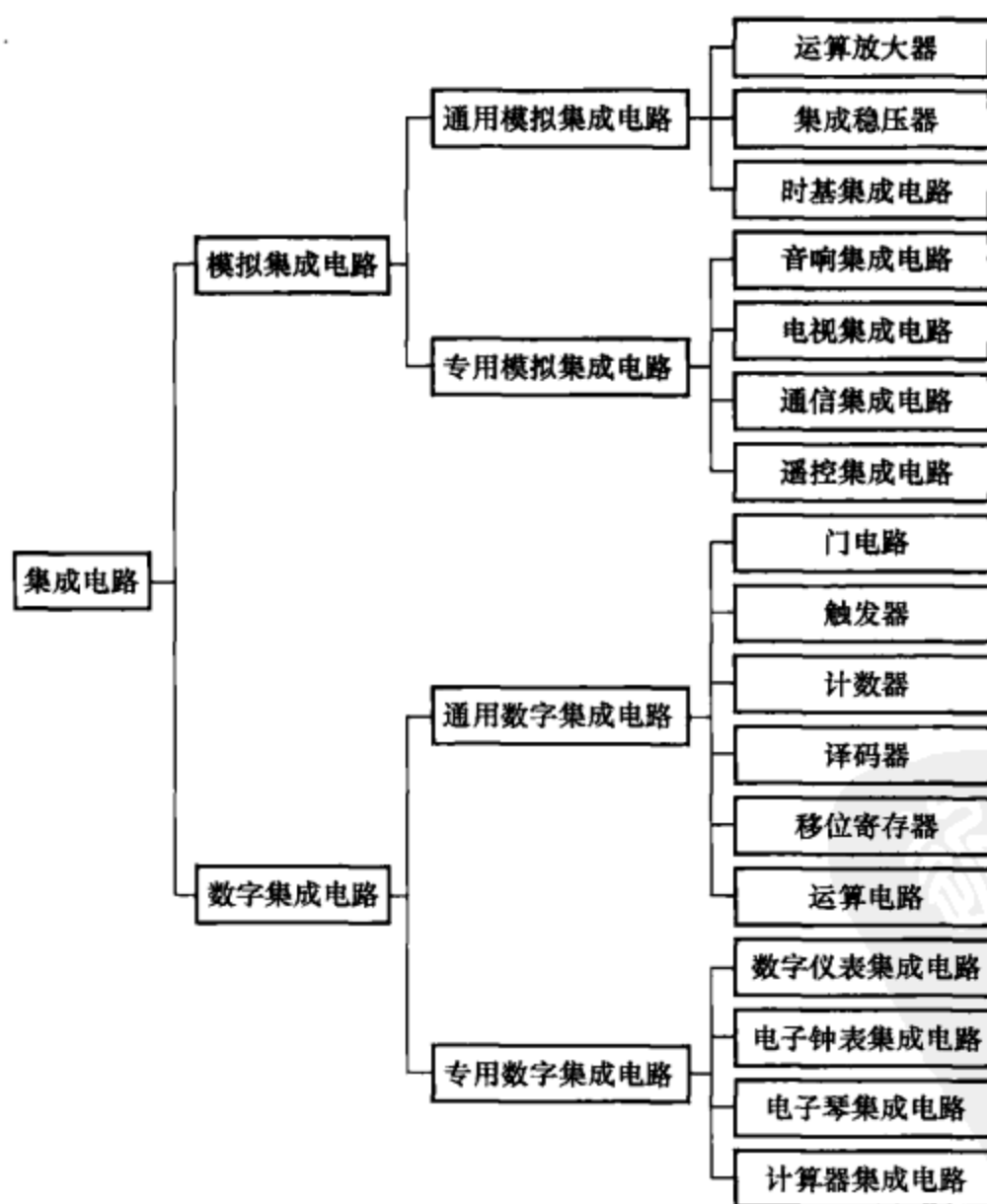


图 7-2

(1) 模拟集成电路是指传输和处理模拟信号的集成电路, 包括通用模拟集成电路和专用模拟集成电路两大类, 品种繁多。通用模拟集成电路主要有集成运算放大器、时基集成电路、集成稳压器等; 专用模拟集成电路包括收音机集成电路、音响集成电路、电视机集成电路、录像机集成电路等。

(2) 数字集成电路是指传输和处理数字信号的集成电路, 包括通用数字集成电路和专用数字集成电路两大类, 也有很多品种。通用数字集成电路主要有各种门电路、触发器、计数器、译码器、寄存器和移位寄存器等; 专用数字集成电路包括数字仪表集成电路、电子钟表集成电路、电子琴集成电路、计算器集成电路、数码相机集成电路等。

7.1.3 集成电路的符号

集成电路的一般文字符号为“IC”, 数字集成电路的文字符号为“D”。集成电路的图形符号如图 7-3 所示, 一般左边为输入端, 右边为输出端。

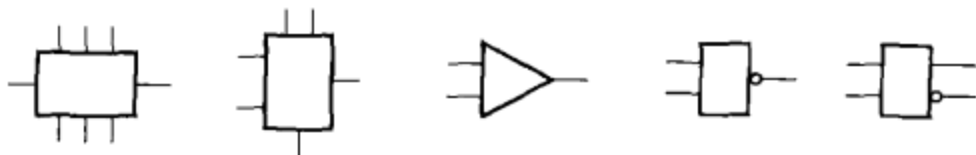


图 7-3



王小帅: 门老师, 集成电路的图形符号有这么多种, 是随便用的吗?



门老师: 原则上都可以用。但是电路图画出来是让人看的, 为了大家都看得懂、看得方便, 便有了一些约定俗成的“规矩”, 现在我们就来讲讲这些“规矩”。

1. 图形符号的习惯画法

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

(1) 集成运算放大器、电压比较器等习惯上用三角形图框表示, 如图 7-4 所示。其左边有正、负两个输入端, 其右边三角形顶点处为输出端, 三角形图框的顶点方向即为信号流向。

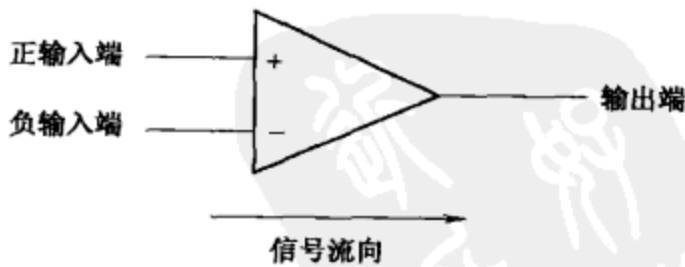


图 7-4

(2) 集成稳压器、时基电路等习惯上用矩形图框表示, 如图 7-5 所示, 各引出端均标注有引脚编号。引脚编号可以标注在矩形图框外, 如图 7-5 (a) 所示; 也可以标注在矩形图框内, 如图 7-5 (b) 所示; 还可以标注在矩形图框上, 如图 7-5 (c) 所示。矩形图框上的各个引脚可以按顺序排列, 如图 7-5 (c) 所示, 也可以根据

绘图需要不按顺序排列，如图 7-5 (b) 所示。其他各类集成电路，绝大多数都采用这种矩形图框画法。

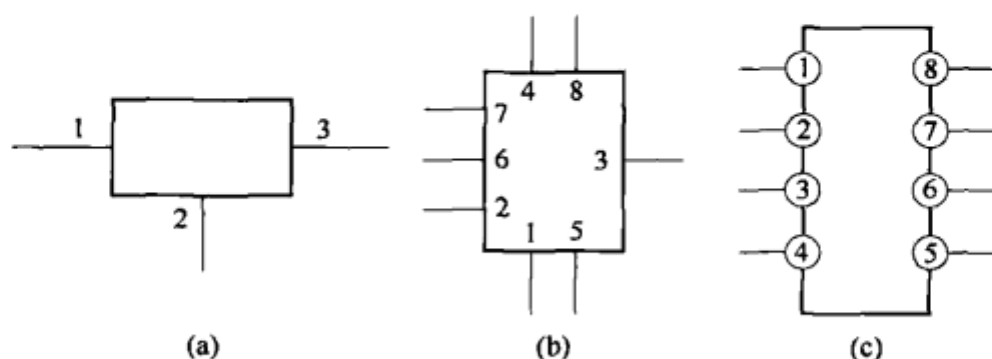


图 7-5

(3) 集成电压放大器、集成功率放大器等既有用三角形图框表示的，也有用矩形图框表示的。图 7-6 所示为集成功率放大器的两种画法，图 7-6 (a) 中集成功放 IC_1 采用三角形图框，图 7-6 (b) 中 IC_1 采用矩形图框，两者形式不同，实质一样。从看图的角度来说，放大器采用三角形图框表示，信号流向更加直观明了。

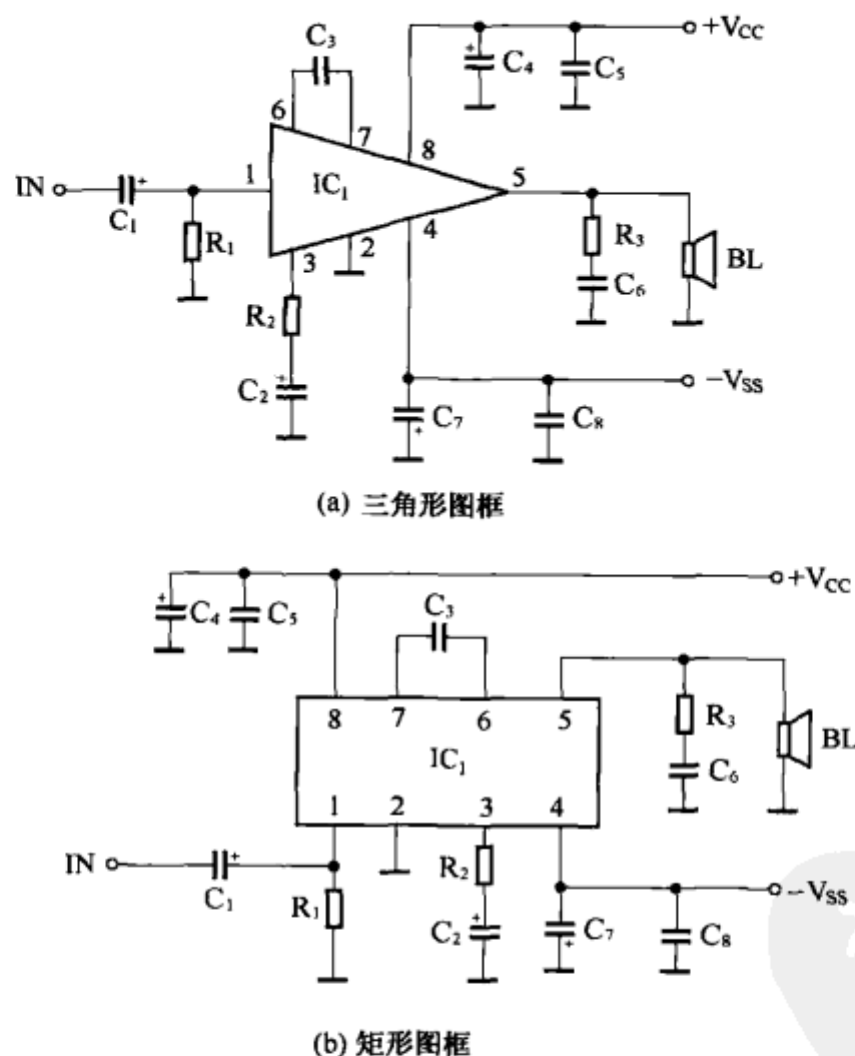


图 7-6

(4) 数字集成电路一般直接用逻辑图形符号表示。门电路、触发器等，都采用这种画法，如图 7-7 所示。其他数字集成电路，目前仍较多的采用矩形图框来表示，并在各引脚处标注出该引脚的逻辑功能文字符号，图 7-8 示出了一个 BCD 码/十进制码译码器的例子。

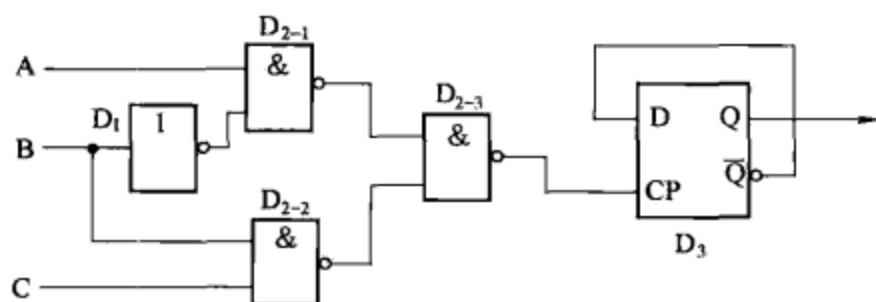


图 7-7

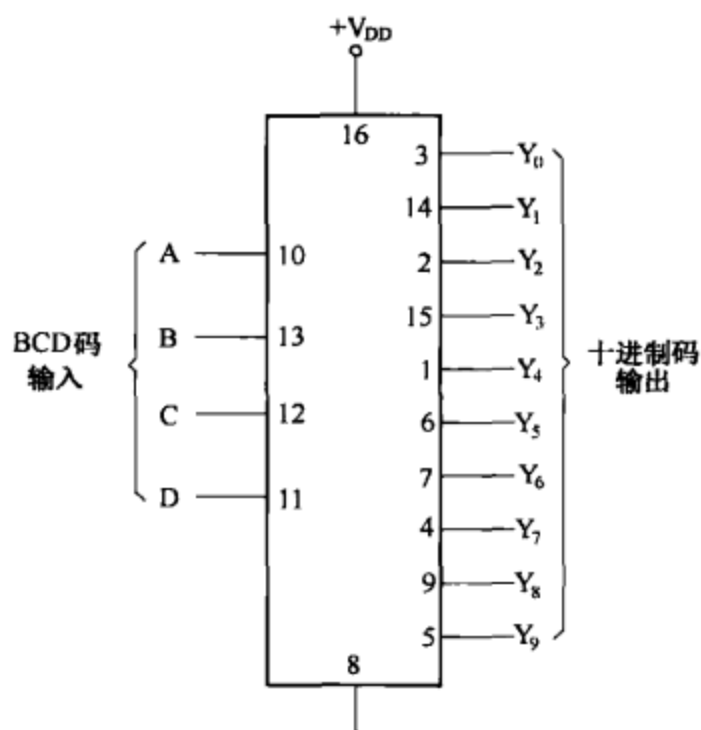


图 7-8

2. 图形符号的集中画法与分散画法

有些集成电路中包含有若干个互相独立的单元电路，在电路图中可以根据需要采用集中画法或分散画法。一般来讲，较简单的电路图多采用集中画法，较复杂的电路图往往采用分散画法。门电路、触发器等数字电路通常采用分散画法。

(1) 图 7-9 所示为双功放集成电路在电路图中的两种画法，图 7-9 (a) 所示为集中画法，图 7-9 (b) 所示为分散画法，形式不同，实质一样。

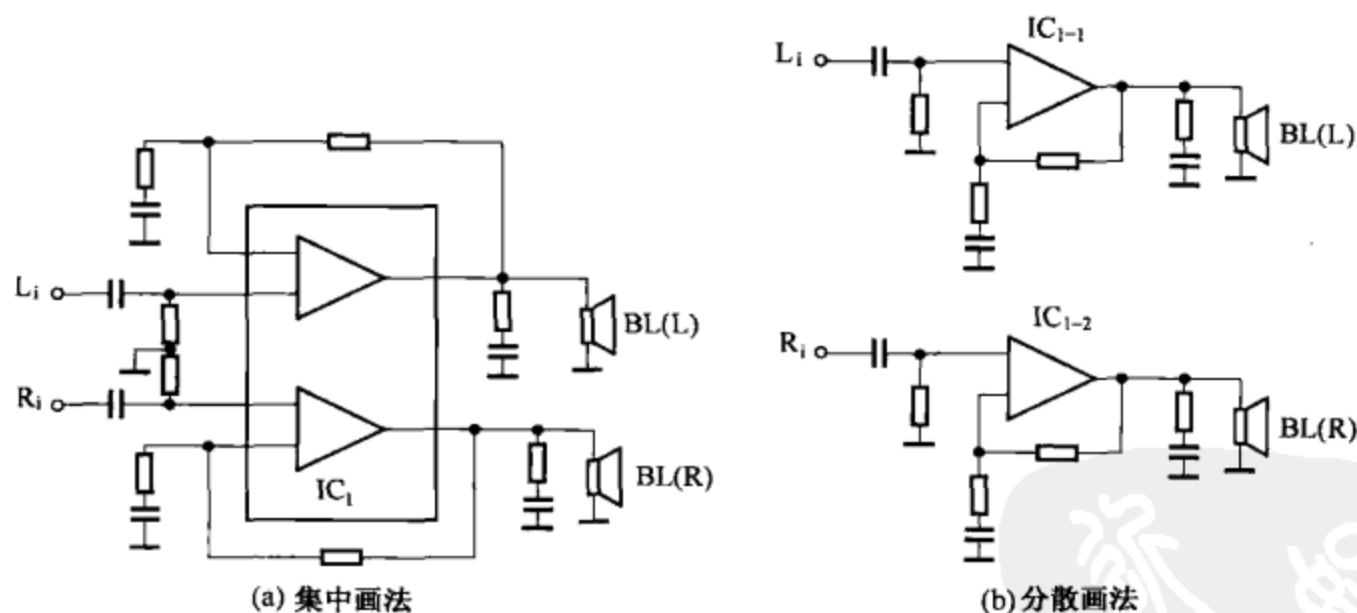


图 7-9

(2) 图 7-10 所示为双 D 触发器数字集成电路的两种画法，图 7-10 (a) 所示为集中画法，图 7-10 (b) 所示为分散画法。

3. 关于电源线与地线

通常电路图中不画出集成运算放大器及数字电路的电源引线 and 地线，因为这不影响分析电

路功能，但分析电源电路和实际制作时不能忘记其电源引线 and 地线，如图 7-11 所示。

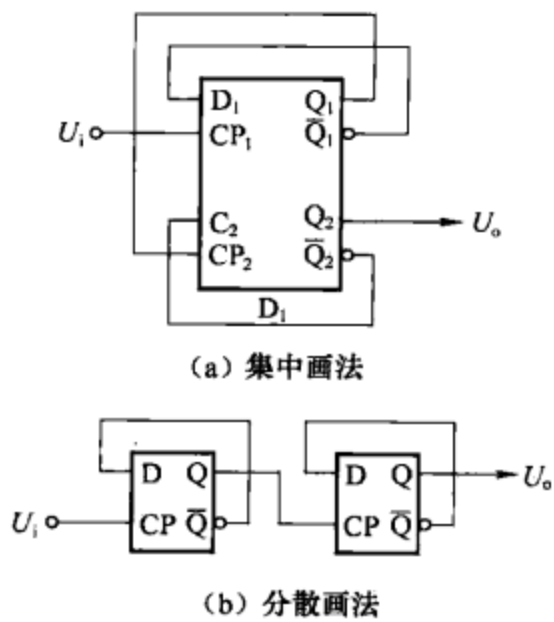


图 7-10

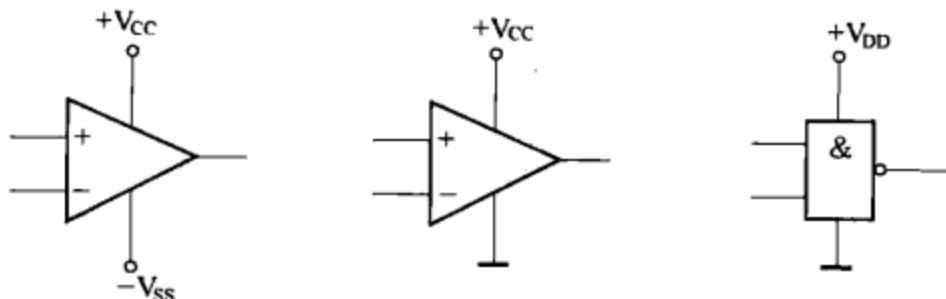


图 7-11

7.1.4 集成电路有哪些封装形式

集成电路的封装有很多种形式，如图 7-12 所示。

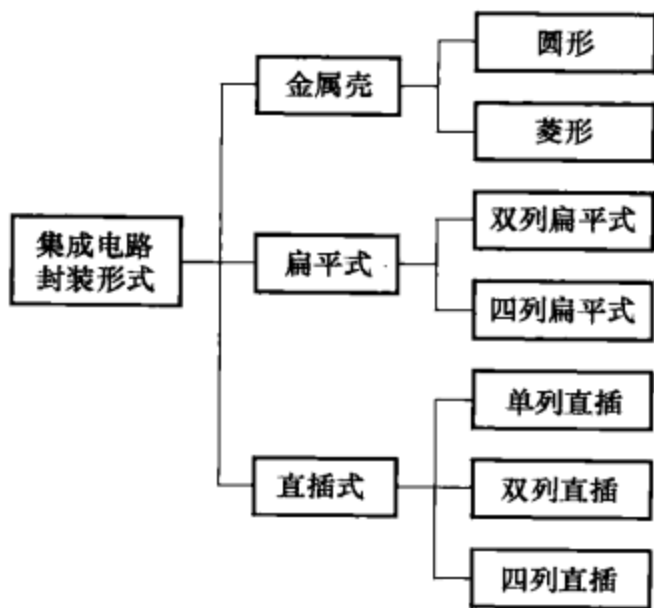




图 7-12

集成电路的封装形式主要有圆形金属壳封装、菱形金属壳封装、塑料或陶瓷扁平式封装、四列扁平式封装、塑料或陶瓷单列直插式封装、双列直插式封装、四列直插式封装和软封装等。有些集成电路还自带散热器。



李蕾蕾：集成电路的引脚这么多，我们使用时怎么样来识别呢？



门老师：集成电路引脚的排列是有一定的规律的，这个引脚排列规律仅仅与集成电路的封装形式有关，而不管这个集成电路是做什么用途的。不同封装的集成电路具有不同的引脚排列规律，只要我们掌握了这个规律，就可以识别集成电路的引脚了。

7.1.5 怎样识别集成电路的引脚

集成电路的引脚有多有少，最少的只有 3 个引脚，最多的可达 100 多个引脚，这些引脚都按一定的规律排列。在使用集成电路时，应按规定正确识别其引脚。识别集成电路引脚的基本方法是，将集成电路引脚朝下，从定位标记开始按逆时针方向数。

1. 圆形金属壳封装集成电路的引脚

圆形金属壳封装集成电路的引脚如图 7-13 所示。识别时首先找出集成电路的定位标记，定位标记一般为管键、色点和定位孔等。然后将集成电路引脚朝上，从定位标记开始按顺时针方向依次为①、②、③……脚（将引脚朝下时即为按逆时针方向数）。

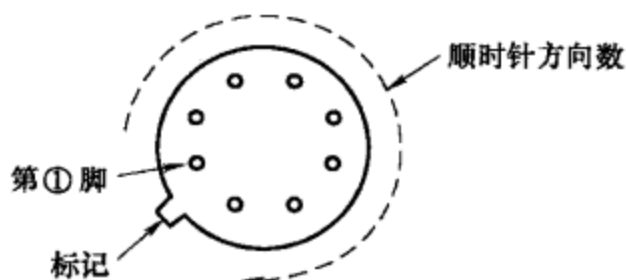


图 7-13

2. 菱形金属壳封装集成电路的引脚

菱形金属壳封装集成电路的引脚如图 7-14 所示，依据其引脚排列的不均匀性进行定位。识别时将集成电路引脚朝上，从定位标记开始按顺时针方向依次为①、②、③……脚。

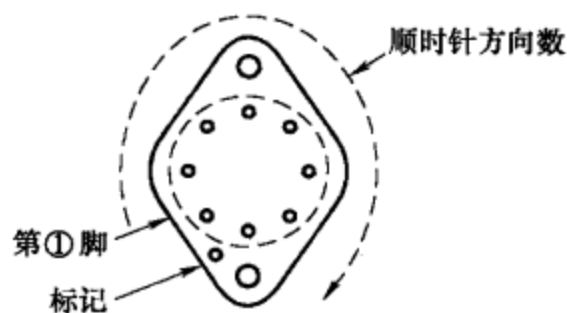


图 7-14

3. 单列直插式集成电路的引脚

单列直插式集成电路的引脚如图 7-15 所示。识别时面对集成电路印有商标的正面，并使其引脚向下。一般在集成电路的正面左边会有凹坑、色点、小孔或缺角等定位标记。定位标记左下方为第①脚，从左至右依次为①、②、③……脚（按逆时针方向数的一个特例）。

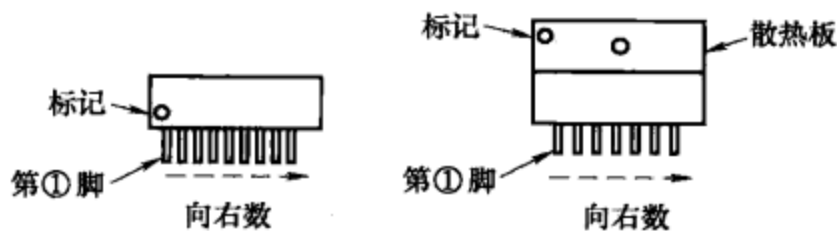


图 7-15

4. 双列直插式集成电路的引脚

双列直插式集成电路的引脚如图 7-16 所示，其定位标记一般为缺口、凹坑、色点、小孔或凸起键等。识别时面对集成电路印有商标的正面，并使其定位标记位于左侧，则集成电路左下方为第①脚，从第①脚开始向右按逆时针方向依次为②、③、④……脚。

5. 双列扁平式集成电路的引脚

双列扁平式集成电路的引脚如图 7-17 所示，其引脚识别方法与双列直插式集成电路相同。

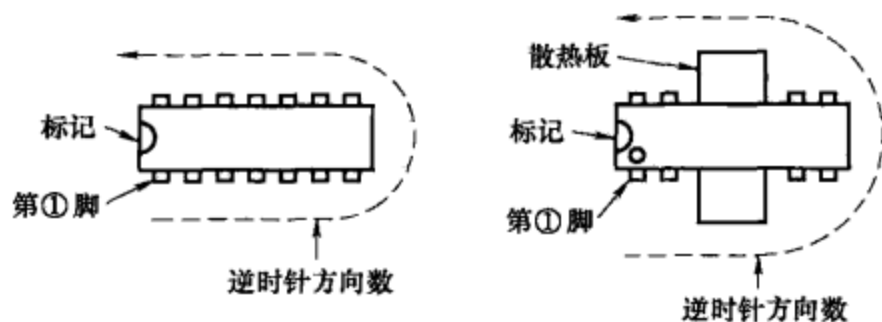


图 7-16

6. 四列扁平式集成电路的引脚

四列扁平式集成电路的引脚如图 7-18 所示，其定位标记一般为色点、凹坑、小孔、特形引脚或短脚等。识别时面对集成电路印有商标的正面，并使其定位标记位于左上角，从定位标记开始按逆时针方向依次为①、②、③……脚。

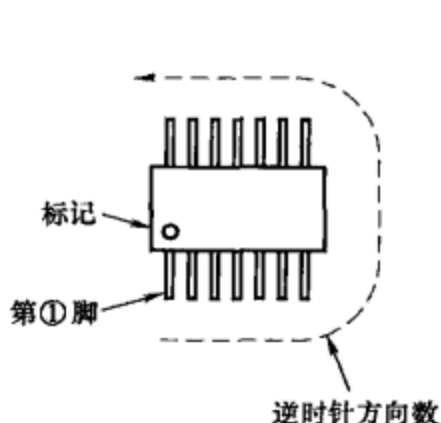


图 7-17

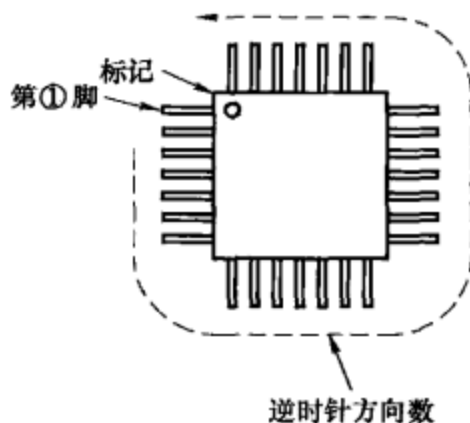


图 7-18



门老师：集成电路的基本知识可以归纳为以下几点。

- (1) 集成电路是高度集成化的电子器件。集成电路的主要特点是集成度高、功能完整、可靠性高、体积小、重量轻和功耗低等。
- (2) 集成电路可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类，包括通用集成电路和专用集成电路。
- (3) 集成电路的一般文字符号为“IC”，数字集成电路的文字符号为“D”。
- (4) 我国国标规定集成电路的型号由 5 部分组成，音响类、电视类等家用电器专用集成电路由 4 部分组成。国外集成电路型号，不同国家、不同厂商和公司有各自不同的命名方法。
- (5) 集成电路的封装形式主要有圆形金属壳封装、菱形金属壳封装、塑料或陶瓷扁平式、四列扁平式、塑料或陶瓷单列直插式、双列直插式、四列直插式和软封装等。
- (6) 识别集成电路引脚的基本方法是，将集成电路引脚朝下，从定位标记开始按逆时针方向数。



第 2 讲 集成运算放大器



门老师：现在讲第 2 讲集成运算放大器，主要包括集成运算放大器的概念、种类和符号，集成运算放大器的主要参数和工作原理，集成运算放大器的应用等。集成运算放大器是一种通用模拟集成电路，具有输入阻抗高、增益高、稳定性好、通用性强、适用范围宽和使用简便的特点，并且有很多品种可供选择，在放大、振荡、电压比较、阻抗变换、模拟运算和有源滤波等各种电子电路中得到了越来越广泛的应用。

7.2.1 什么是集成运算放大器

集成运算放大器简称集成运放，是一种集成化的高增益的多级直接耦合放大器。集成运放有图形金属壳封装、菱形金属壳封装、陶瓷扁平式封装、双列直插式封装等形式，如图 7-19 所示。较常用的是双列直插式封装的集成运放。

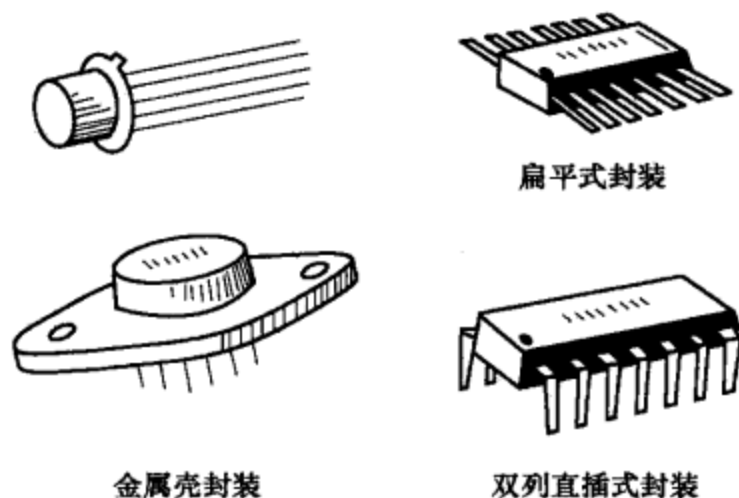


图 7-19

7.2.2 集成运算放大器有哪些种类

集成运放品种繁多，如图 7-20 所示。按功能可分为通用型运放、低功耗运放、高阻运放、高精度运放、高速运放、宽带运放、高压运放，以及程控型运放、低噪声运放、电流型运放、跨导型运放等。根据一个集成电路封装内包含运放单元的数量，集成运放又可分为单运放、双运放和四运放。

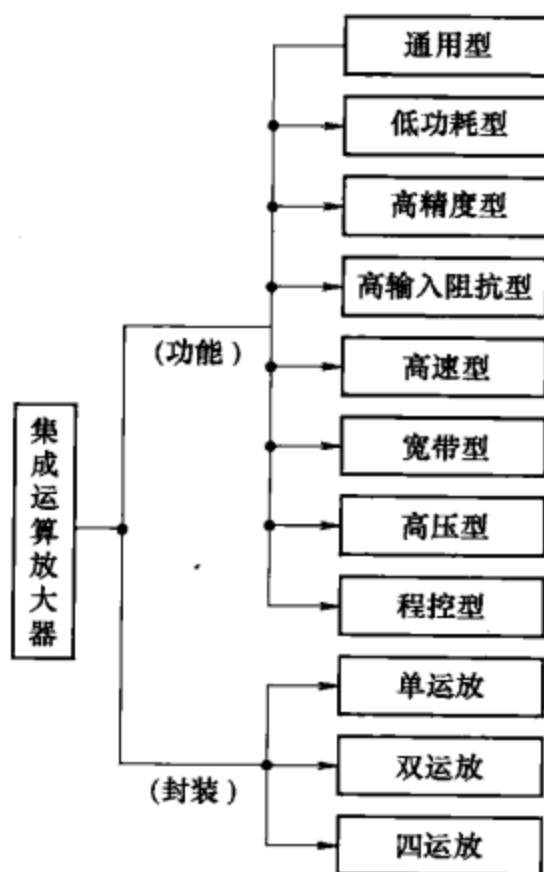


图 7-20

7.2.3 集成运算放大器的符号

集成运放的文字符号为“IC”，图形符号如图 7-21 所示。集成运放一般具有两个输入端，即同相输入端 U_+ 和反相输入端 U_- ；具有一个输出端 U_o 。

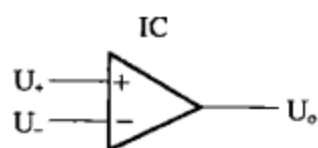


图 7-21

- 李蕾蕾：集成运放为什么要有同相和反相两个输入端呢？
- 门老师：你思考一下，具有这两个输入端会带来什么好处呢？
- 李蕾蕾：我想是为了使用方便吧，是不是一个输入同相信号进行放大，另一个输入反相信号进行放大啊？
- 门老师：准确的应该这样说，同相输入端的信号放大后与原信号同相，反相输入端的信号放大后与原信号反相。具有同相和反相两个输入端给集成运放的使用提供了很大方便。如果你希望信号放大后相位不变，就从同相输入端输入。如果你希望放大后得到反相的信号，那就从反相输入端输入。

7.2.4 集成运算放大器的参数

集成运放的参数很多，主要的有电源电压范围、最大允许功耗 P_M 、单位增益带宽 f_c 、转换

速率 SR 和输入阻抗 Z_i 等。

1. 电源电压范围

电源电压范围是指集成运放正常工作所需要的直流电源电压的范围。通常集成运放需要对称的正、负双电源供电，也有部分集成运放可以在单电源情况下工作，如图 7-22 所示。

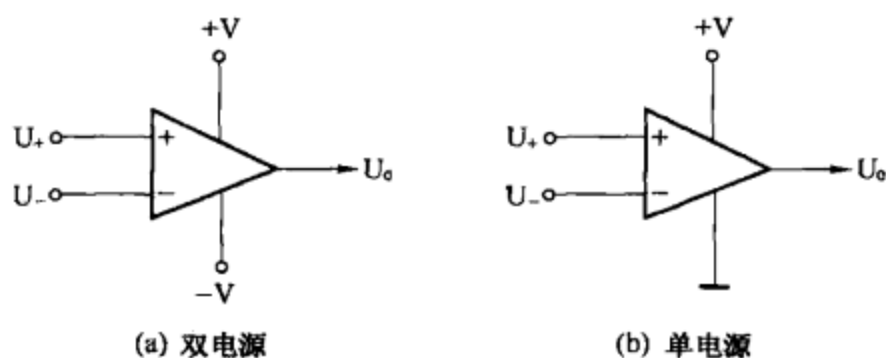


图 7-22

2. 最大允许功耗

最大允许功耗 P_M 是指集成运放在正常工作情况下所能承受的最大耗散功率。使用中不应使集成运放的功耗超过 P_M 。

3. 单位增益带宽

单位增益带宽 f_c 是指集成运放开环电压放大倍数 $A = 1$ (0dB) 时所对应的频率，如图 7-23 所示。一般通用型运放的 f_c 约 1MHz，宽带和高速运放的 f_c 可达 10MHz 以上，应根据需要选用。

4. 转换速率

转换速率 SR 是指在额定负载条件下，当输入边沿陡峭的大阶跃信号时，集成运放输出电压的单位时间最大变化率（单位为 $V/\mu s$ ），即输出电压边沿的斜率，如图 7-24 所示。在高保真音响设备中，选用单位增益带宽 f_c 和转换速率 SR 指标高的集成运放效果较好。

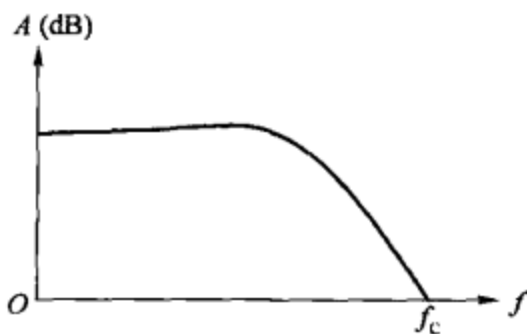


图 7-23

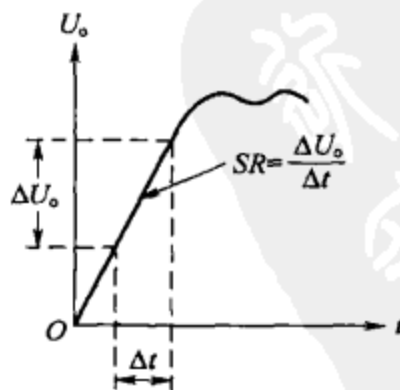


图 7-24

5. 输入阻抗

输入阻抗 Z_i 是指集成运放工作于线性区时，输入电压变化量与输入电流变化量的比值。采用双极型晶体管作输入级的集成运放，其输入阻抗 Z_i 通常为数兆欧；采用场效应管作输入级的集成运放，其输入阻抗 Z_i 可达 $10^{12}\Omega$ 。

7.2.5 集成运算放大器的电路结构

集成运算放大器的内部电路结构如图 7-25 所示，由高阻抗输入级、中间放大级、低阻抗输出级和偏置电路等组成。

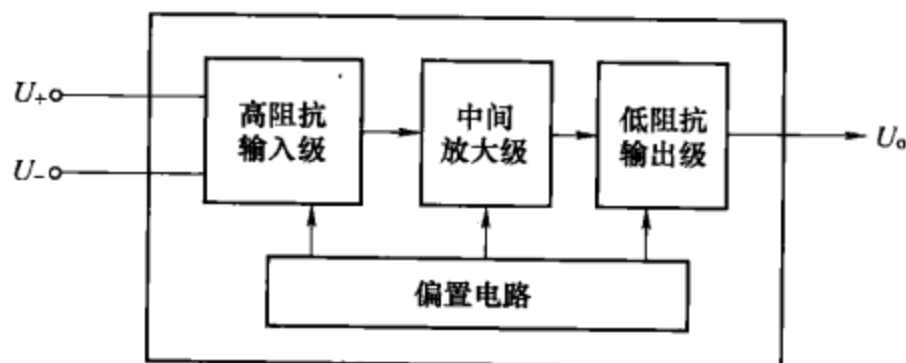


图 7-25

输入信号由同相输入端 U_+ 或反相输入端 U_- 输入，经中间放大级放大后，通过低阻输出级输出。中间放大级由若干级直接耦合放大器组成，提供极高的开环电压增益（100dB 以上）。偏置电路为各级提供合适的工作点。



王小帅：听到这里，我理解集成运放就是一个放大倍数很大的放大电路。



门老师：对。集成运放具有极大的开环放大倍数，而通常应用时并不需要如此大的放大倍数，所以我们可以设计出各种闭环电路，牺牲一些放大倍数来换取放大器整体性能的提高。

7.2.6 怎样理解集成运算放大器的工作原理

集成运放的各种运用均基于 3 种基本放大电路，即反相放大器、同相放大器和差动放大器。

1. 反相放大器

反相放大器基本电路如图 7-26 所示， R_f 为反馈电阻， R_i 为输入电阻。由于集成运放开环电压放大倍数极大，因此其闭环放大倍数 $A = \frac{R_f}{R_i}$ 。输入电压 U_i 由反相输入端输入，其输出电压

U_o 与输入电压 U_i 相位相反, 即 $U_o = -AU_i$ 。

2. 同相放大器

同相放大器基本电路如图 7-27 所示, R_f 为反馈电阻, R_1 为输入电阻, 其闭环放大倍数 $A = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ 。输入电压 U_i

由同相输入端输入, 其输出电压 U_o 与输入电压 U_i 相位相同, 即 $U_o = AU_i$ 。

3. 差动放大器

差动放大器基本电路如图 7-28 所示, 用来放大两个输入电压 U_1 与 U_2 的差值, 其闭环放大倍数 $A = \frac{R_f}{R_1}$ 。输出电压 $U_o = A(U_2 - U_1)$ 。

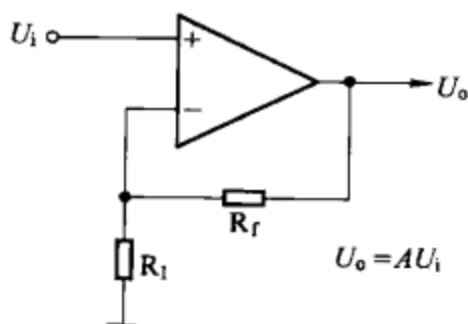


图 7-27

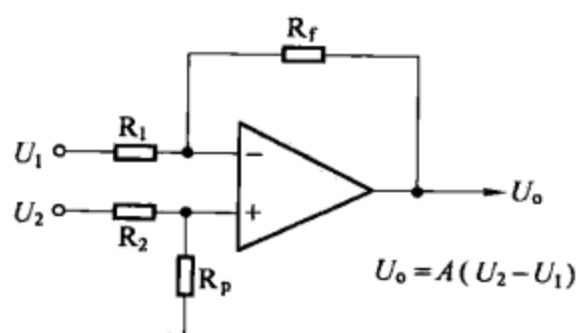


图 7-28

7.2.7 集成运算放大器有哪些作用

集成运放的主要作用是放大和阻抗变换, 在各种放大、振荡、有源滤波、精密整流以及运算电路中得到广泛的应用。

1. 电压放大

集成运放电压放大器实例如图 7-29 所示, 这是一个话筒放大器, 驻极体话筒 BM 输出的微

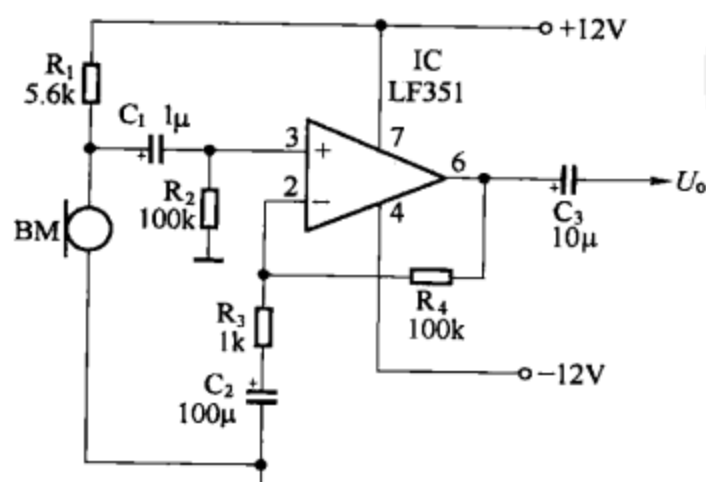


图 7-29

弱电压信号经耦合电容 C_1 输入集成运放 IC，放大后的电压信号经 C_3 耦合输出。电压放大倍数由集成运放外接电阻 R_4 、 R_3 决定，该电路放大倍数 $A = 100$ 倍（40dB）。

2. 频率补偿放大

图 7-30 所示为集成运放应用于磁头放大器。由于磁头输出电压随信号频率升高而增大，因此磁头放大器必须具有频率补偿功能。 R_2 、 R_3 、 R_4 、 C_4 组成频率补偿网络，作为集成运放 IC 的负反馈回路，使其放大倍数在中频段（ f_1 与 f_2 之间）具有 6dB/oct（倍频程）的衰减。

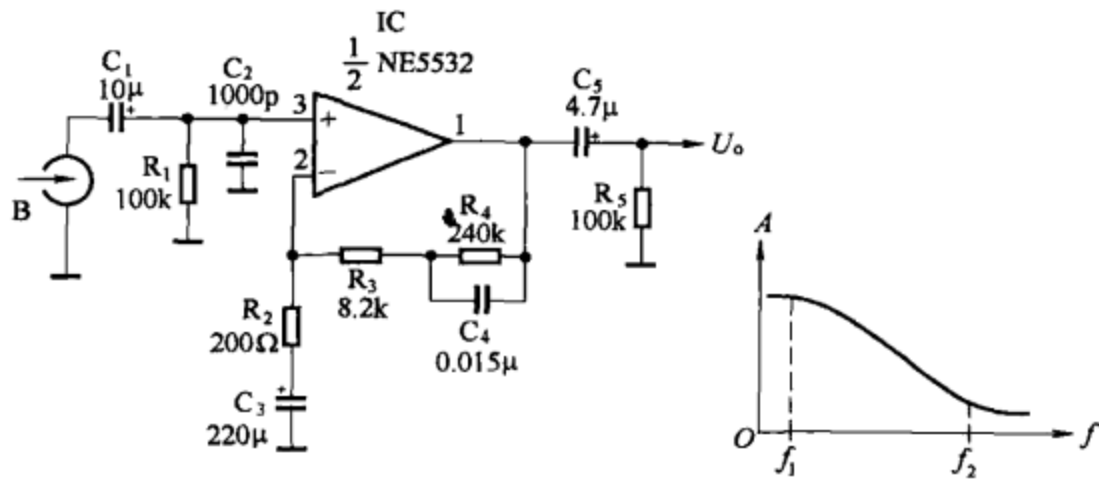


图 7-30

3. 阻抗变换

同相放大器电路中，当 $R_f = 0$ ， $R_1 = \infty$ 时，便构成了电压跟随器，如图 7-31 所示。这是同相放大器的一个特例，其电压放大倍数 $A = 1$ ，输出电压 U_o 与输入电压 U_i 大小相等、相位相同。集成运放电压跟随器具有极高的输入阻抗和很小的输出阻抗，常用作阻抗变换器。

4. 应用于振荡电路

集成运放可以应用于振荡电路。图 7-32 所示为采用集成运放的 800Hz 文氏桥式正弦波振荡器， R_1 、 C_1 和 R_2 、 C_2 构成正反馈回路，并具有选频作用，使电路产生单一频率的振荡。 R_3 、 R_4 、 R_5 等构成负反馈回路，以控制集成运放 IC 的闭环增益，并利用并联在 R_5 上的二极管 VD_1 、 VD_2 的钳位作用进一步稳定振幅。

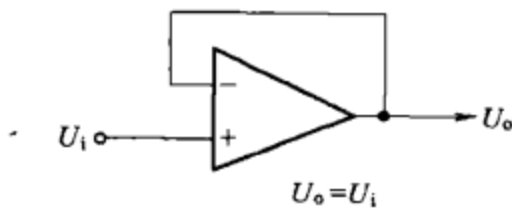


图 7-31

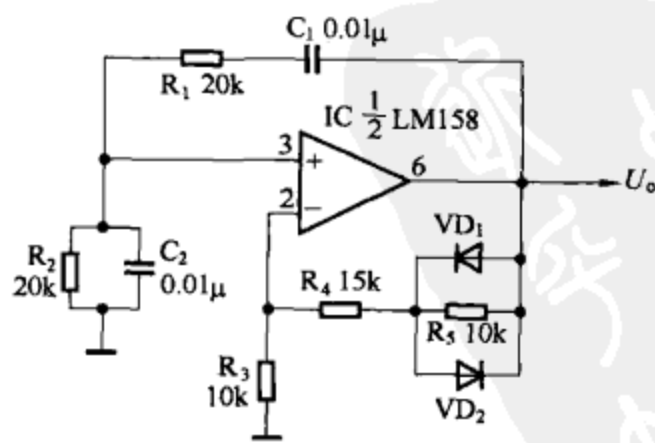


图 7-32

5. 应用于有源滤波器

用集成运放可以方便地构成有源滤波器，包括低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器等。图 7-33 所示为前级二分频电路，分频点为 800Hz。集成运放 IC₁ 等构成二阶高通滤波器，IC₂ 等构成二阶低通滤波器，将来自前置放大器的全音频信号分频后分别送入两个功率放大器，然后分别推动高音扬声器和低音扬声器。

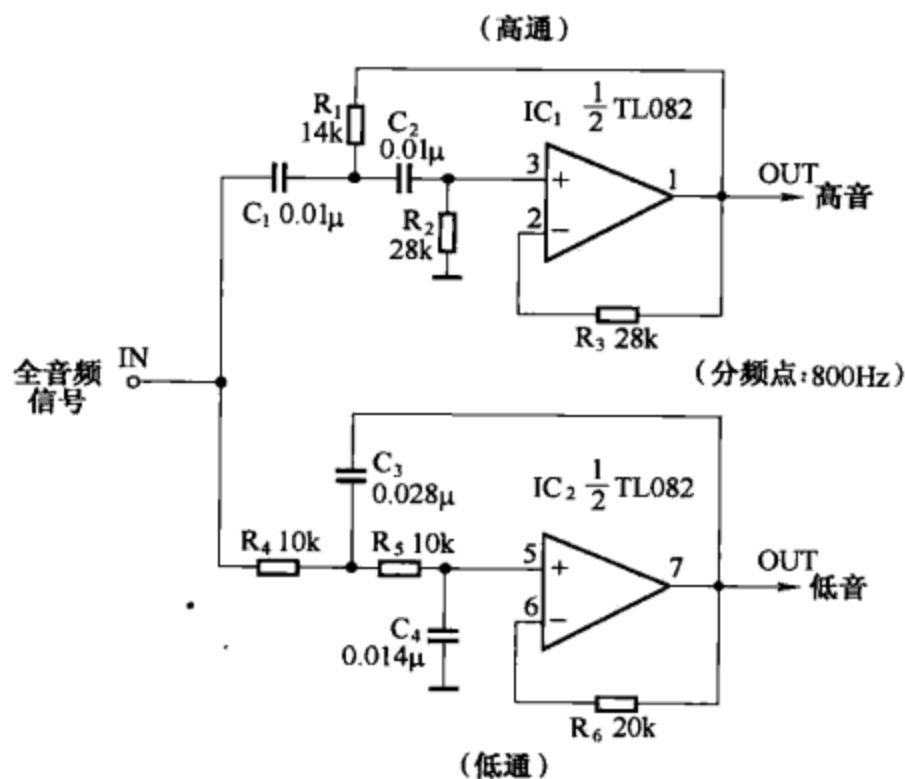


图 7-33

6. 应用于精密整流

集成运放还可以用于精密整流电路。图 7-34 所示为 10mV 有源交流电压表电路，这是一个精密全波整流电路，微安表头 PA 接在整流桥的对角线上。由于集成运放 IC 的高增益和高输入阻抗，消除了整流二极管的非线性影响，提高了测量精度。

7. 应用于运算电路

(1) 加法运算。图 7-35 所示为加法器电路，集成运放构成反相放大器， U_1 、 U_2 为相加电压， U_o 为和电压。当取 $R_1 = R_2 = R_f$ 时， $A = 1$ ，输出电压 $U_o = -(U_1 + U_2)$ ，实现了加法运算。 R_p 为平衡电阻，用于平衡输入偏置电流造成的失调。

(2) 减法运算。图 7-28 所示的差动放大器电路实际上是一个减法器电路， U_1 为减数电压， U_2 为被减数电压， U_o 为差电压。当取 $R_1 = R_2 = R_f$ 时， $A = 1$ ，输出电压 $U_o = U_2 - U_1$ ，实现了减法运算。 R_p 为平衡电阻。

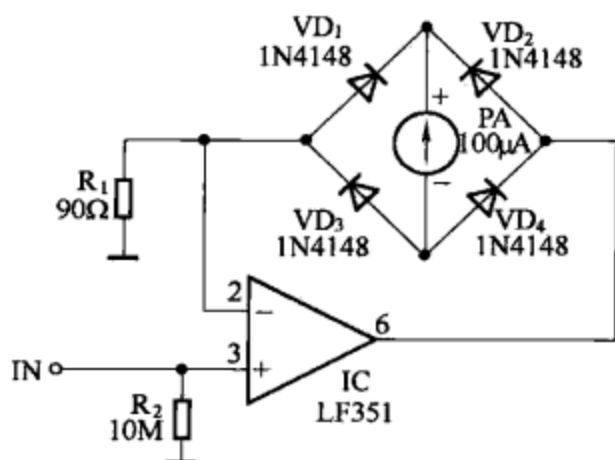


图 7-34

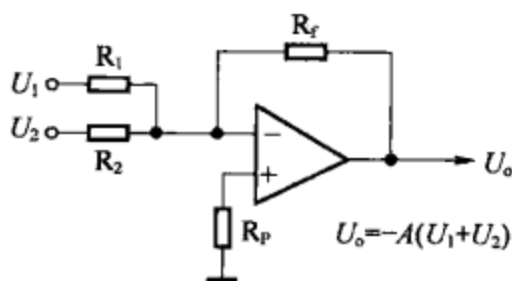


图 7-35



门老师：集成运算放大器就讲到这里，主要知识点归纳如下。

- (1) 集成运算放大器简称集成运放，是一种集成化的高增益的多级直接耦合放大器。根据一个集成电路封装内包含运放单元的数量，集成运放可分为单运放、双运放和四运放。
- (2) 集成运放的文字符号为“IC”。
- (3) 集成运放的参数主要有电源电压范围、最大允许功耗、单位增益带宽、转换速率和输入阻抗等。
- (4) 集成运放的各种运用均基于反相放大器、同相放大器和差动放大器这三种基本放大电路。其主要作用是放大和阻抗变换，在各种放大、振荡、有源滤波、精密整流以及运算电路中得到广泛的应用。

第3讲 时基集成电路



门老师：现在讲第3讲时基集成电路，内容包括时基集成电路的概念、种类和符号，时基集成电路的主要参数和工作原理，时基集成电路的应用等。时基集成电路是一种将模拟电路和数字电路结合在一起的非线性集成电路，包括双极型时基集成电路和 CMOS 型时基集成电路。时基集成电路能够为电子系统提供时间基准信号，以实现时间或时序上的控制，在各种定时、控制、波形发生和处理电路中得到广泛应用。

7.3.1 什么是时基集成电路

时基集成电路是一种能产生时间基准和能完成各种定时或延时功能的非线性模拟集成电路，广泛应用在信号发生、波形处理、定时延时、仪器仪表、控制系统和电子玩具等领域。图 7-36 所示为常用时基集成电路外形。

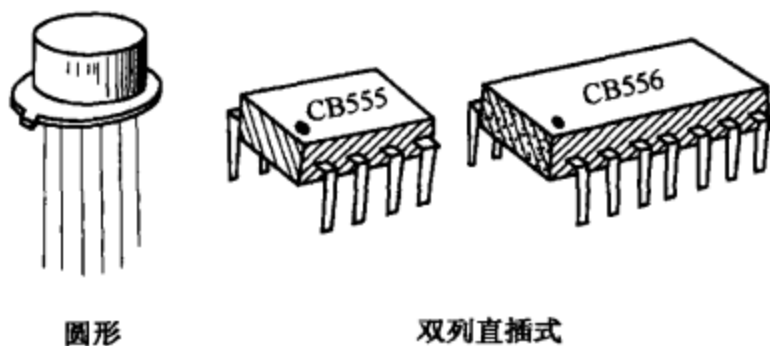


图 7-36

7.3.2 时基集成电路有哪些种类

时基集成电路有单时基电路、双时基电路之分，下面又都细分为双极型时基电路和 CMOS 型时基电路，如图 7-37 所示。

1. 按封装分类

时基集成电路的封装形式主要有金属壳封装和双列直插式封装。根据一个集成电路中包含时基电路单元的数量，可分为单时基电路和双时基电路。一个封装中只含有一个时基电路单元的，称为单时基电路，如 CB555、CB7555 等；一个封装中含有两个时基电路单元的，称为双时基电路，如 CB556、CB7556 等。

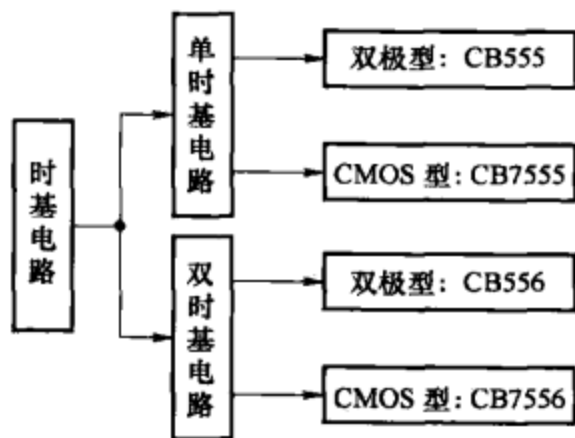


图 7-37

2. 按工艺和材料分类

根据制造工艺和材料的不同，单、双时基电路又都可分为双极型时基电路和 CMOS 型时基电路两类。例如 CB555、CB556 是双极型时基电路，CB7555、CB7556 是 CMOS 型时基电路。双极型时基电路输出电流大、驱动能力强，可直接驱动 200mA 以内的负载；CMOS 型时基电路功耗低、输入阻抗高，更适合作长延时电路。

7.3.3 时基集成电路的符号

时基集成电路的文字符号为“IC”，图形符号如图 7-38 所示。

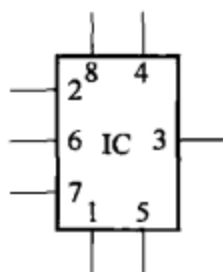


图 7-38

7.3.4 时基集成电路的参数

时基集成电路的参数很多，主要参数有电源电压 V_{CC} 、输出电流 I_{OM} 、放电电流 I_D 、额定功耗 P_{CM} 和频率范围等，双极型时基电路和 CMOS 型时基电路的主要参数有所不同，见表 7-1。一般使用时只需要考虑其主要参数即可。

▼ 表 7-1 时基集成电路的主要参数

参数	双极型	CMOS 型
电源电压 (V)	4.5~18	3~18
输出电流 (mA)	200	10
放电电流 (mA)	50	
额定功耗 (mW)	500	50
频率范围	10Hz~500kHz	10Hz~1MHz

1. 电源电压

电源电压 V_{CC} 是指时基集成电路正常工作所需的直流工作电压，CMOS 型时基集成电路比双极型时基集成电路的电源电压范围略宽。

2. 输出电流

输出电流 I_{OM} 是指时基集成电路输出端所能提供的最大电流。双极型时基集成电路具有较大的输出电流。

3. 放电电流

放电电流 I_D 是指时基集成电路放电端所能通过的最大电流。

4. 额定功耗

额定功耗 P_{CM} 是指时基集成电路正常工作时所能承受的最大功耗。

5. 频率范围

频率范围是指时基集成电路工作于无稳态模式时的振荡频率范围。CMOS 型时基集成电路

比双极型时基集成电路的最高振荡频率略高。

7.3.5 时基集成电路的结构特点

1. 时基集成电路的特点

时基集成电路将模拟电路与数字电路巧妙地结合在一起，从而可实现多种用途。图 7-39 所示为时基集成电路的内部电路方框图。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成分压网络，为 A_1 、 A_2 两个电压比较器提供 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 和 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 的基准电压。两个比较器的输出分别作为 RS 触发器的置“0”信号和置“1”信号。输出驱动级和放电管 VT 受 RS 触发器控制。由于分压网络的 3 个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值均为 $5k\Omega$ ，所以该集成电路又称为 555 时基电路。

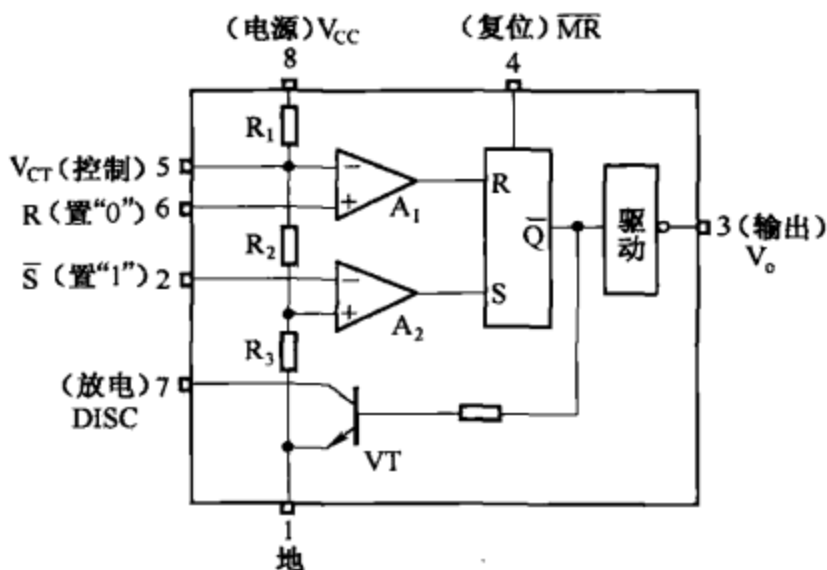


图 7-39

2. 时基集成电路的引脚功能

单时基集成电路一般为 8 脚双列直插式封装。②脚为置“1”端 \bar{S} ，当 \bar{S} 端电压 $\leq \frac{1}{3}V_{CC}$ 时使电路输出端 U_o 为“1”；⑥脚为置“0”端 R ，当 R 端电压 $\geq \frac{2}{3}V_{CC}$ 时使电路输出端 U_o 为“0”；③脚为输出端 U_o ，输出端与输入端为反相关系；⑦脚为放电端，当 U_o 为“0”时⑦脚导通；④脚为复位端 \overline{MR} ，当 \overline{MR} 为“0”时， U_o 端为“0”。

双时基集成电路一般为 14 脚双列直插式封装。时基集成电路各引脚功能见表 7-2。

▼ 表 7-2 时基集成电路的引脚功能

功能	符号	引脚号	
		单时基	双时基
正电源	V_{CC}	⑧	⑭
地	GND	①	⑦

续表

功能	符号	引脚号	
		单时基	双时基
置“0”	R	⑥	②、⑫
置“1”	\bar{S}	②	⑥、⑧
输出	U_o	③	⑤、⑨
控制	V_{CT}	⑤	③、⑪
复位	\overline{MR}	④	④、⑩
放电	DISC	⑦	①、⑬

图 7-40 所示为 CB555 引脚功能图。CB555 是双极型单时基集成电路，输出电流可达 200mA，可直接驱动直流电机、继电器等负载。

图 7-41 所示为 CB556 引脚功能图。CB556 是双极型双时基电路，内含两个完全一样的互相独立的双极型 555 时基单元。

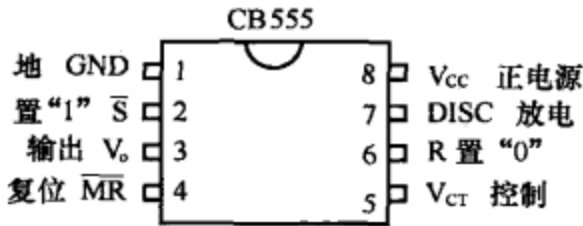


图 7-40

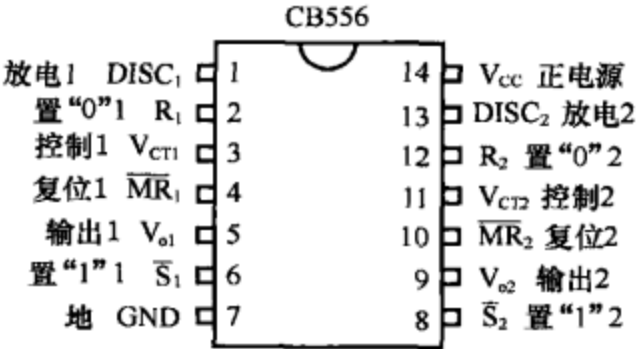


图 7-41

图 7-42 所示为 CB7555 引脚功能图。CB7555 是 CMOS 型单时基集成电路，由于其输入阻抗很高，可以用较大的电阻和较小的电容获得长延时。

图 7-43 所示为 CB7556 引脚功能图。CB7556 是 CMOS 型双时基集成电路，内含两个完全一样的互相独立的 CMOS 型 555 时基单元。

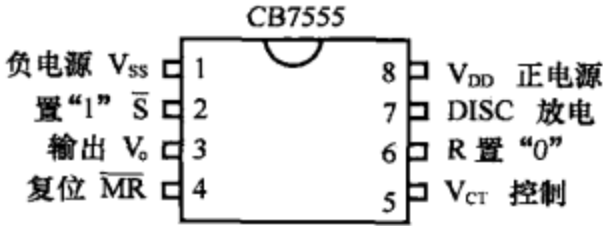


图 7-42

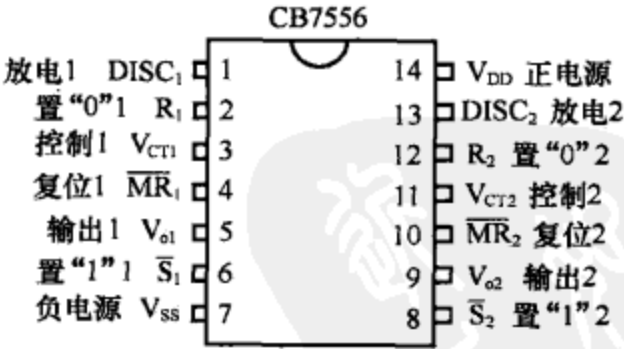


图 7-43

7.3.6 怎样理解时基集成电路的工作原理

时基集成电路工作原理如下。

当置“0”输入端 R 的电压 $\geq \frac{2}{3} V_{CC}$ 时 (\bar{S} 端电压 $> \frac{1}{3} V_{CC}$)，上限比较器 A_1 输出为“1”使电路输出端 U_o 为“0”，放电管 VT 导通，DISC 端为“0”。

当置“1”输入端 \bar{S} 的电压 $\leq \frac{1}{3} V_{CC}$ 时 (R 端电压 $< \frac{2}{3} V_{CC}$)，下限比较器 A_2 输出为“1”使电路输出端 U_o 为“1”，放电管 VT 截止，DISC 端为“1”。

\overline{MR} 为复位端，当 \overline{MR} 为“0”时， U_o 端为“0”，DISC 端为“0”。电路逻辑真值表见表 7-3。

▼ 表 7-3 时基集成电路真值表

输入端信号			输出状态	
置“1”端 \bar{S}	置“0”端 R	复位端 \overline{MR}	输出端 U_o	放电端 DISC
任意	任意	0	0	0
$\leq \frac{1}{3} V_{CC}$	$\leq \frac{2}{3} V_{CC}$	1	1	1
$\geq \frac{1}{3} V_{CC}$	$\geq \frac{2}{3} V_{CC}$	1	0	0
$\leq \frac{1}{3} V_{CC}$	$\geq \frac{2}{3} V_{CC}$	1	不允许	不允许

7.3.7 时基集成电路的基本电路

时基集成电路的典型工作模式有单稳态工作模式、无稳态工作模式、双稳态工作模式和施密特工作模式 4 种。

1. 单稳态工作模式

单稳态工作模式常用作定时电路和延时电路，是应用较多的工作模式。典型电路如图 7-44 所示，电阻 R 和电容 C 组成定时电路，时基集成电路的②脚为触发端。

(1) 平时电路处于稳态，时基集成电路输出端 (③脚) $U_o = 0$ ，放电端 (⑦脚) 导通到地，C 上无电压。

(2) 当在时基集成电路输入端 (②脚) 输入一负触发脉冲 $U_i (\leq \frac{1}{3} V_{CC})$ 时，电路翻转为暂稳态， $U_o = 1$ ，放电端 (⑦脚) 截止，电源经 R 向 C 充电。

(3) 当 C 上电压达到 $\frac{2}{3} V_{CC}$ 时，电路再次翻转回复到稳态，暂稳态结束， $U_o = 0$ ，放电端 (⑦脚) 导通将 C 上电压放掉，直至下一次触发。

综上所述，单稳态工作模式下，电路由负触发脉冲触发，输出 U_o 为一正矩形脉冲，脉宽 $T_w \approx 1.1RC$ ，调节 RC 可调节单稳输出脉宽。工作波形如图 7-45 所示。

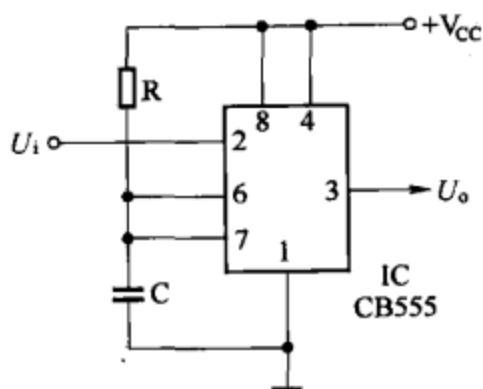


图 7-44

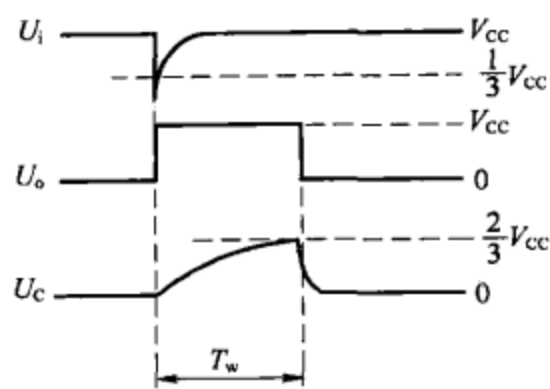


图 7-45

2. 无稳态工作模式

无稳态工作模式即构成多谐振荡器，也是较常用的工作模式。典型电路如图 7-46 所示。时基集成电路的置“1”端（②脚）和置“0”端（⑥脚）并接在一起， R_1 、 R_2 和 C 组成充放电回路。

(1) 刚接通电源时， C 上无电压，输出端（③脚） $U_o = 1$ ，放电端（⑦脚）截止，电源开始经 R_1 、 R_2 向 C 充电，充电时间 $T_1 \approx 0.7 (R_1 + R_2) C$ 。

(2) 当 C 上电压达到 $\frac{2}{3} V_{CC}$ 时，电路翻转， $U_o = 0$ ，⑦脚导通到地， C 开始经 R_2 放电，放电时间 $T_2 \approx 0.7 R_2 C$ 。

(3) 当 C 上电压放电至 $\frac{1}{3} V_{CC}$ 时，电路再次翻转， $U_o = 1$ ，⑦脚截止， C 开始新一轮充电。

如此周而复始即形成自激振荡，振荡周期 $T = T_1 + T_2 \approx 0.7 (R_1 + 2R_2) C$ ，时基集成电路③脚输出信号 U_o 为连续方波，工作波形如图 7-47 所示。

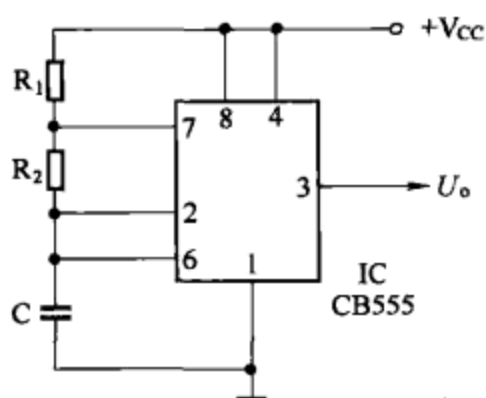


图 7-46

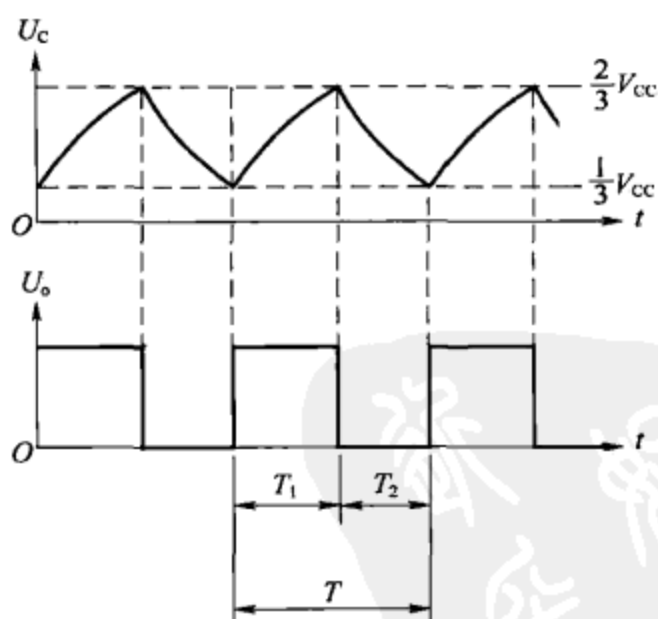


图 7-47

3. 双稳态工作模式

双稳态工作模式电路如图 7-48 所示，在时基集成电路的置“1”端（②脚）和置“0”端

(⑥脚), 分别接有 C_1 和 R_1 、 C_2 和 R_2 构成的触发微分电路。双稳态工作模式电路具有 RS 触发器特性, ⑥脚和②脚分别相当于 R 和 S 两个触发端, 但其触发脉冲的极性相反。

(1) 当有负触发脉冲 $U_2 (\leq \frac{1}{3} V_{CC})$ 加至时基集成电路②脚时, 电路被置“1”, 输出端(③脚) $U_o = 1$ 。

(2) 当有正触发脉冲 $U_6 (\geq \frac{2}{3} V_{CC})$ 加至时基集成电路⑥脚时, 电路被置“0”, 输出端(③脚) $U_o = 0$ 。

电路工作波形如图 7-49 所示。

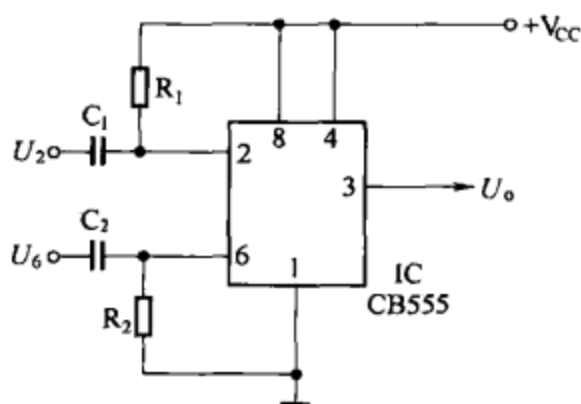


图 7-48

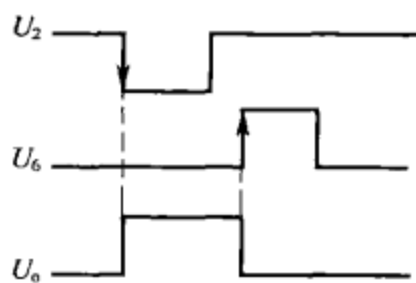


图 7-49

4. 施密特工作模式

施密特工作模式下, 时基集成电路构成施密特触发器, 是常用的波形整形电路。如图 7-50 所示, 时基集成电路的置“1”端(②脚)和置“0”端(⑥脚)并接在一起作为施密特触发器输入端。

(1) 当输入信号 $U_i \geq \frac{2}{3} V_{CC}$ 时, 输出信号(③脚) $U_o = 0$ 。

(2) 当输入信号 $U_i \leq \frac{1}{3} V_{CC}$ 时, 输出信号(③脚) $U_o = 1$ 。

施密特触发器可以将缓慢变化的模拟信号整形为边沿陡峭的数字信号, 输出信号 U_o 与输入信号 U_i 相位相反, 其工作波形如图 7-51 所示。

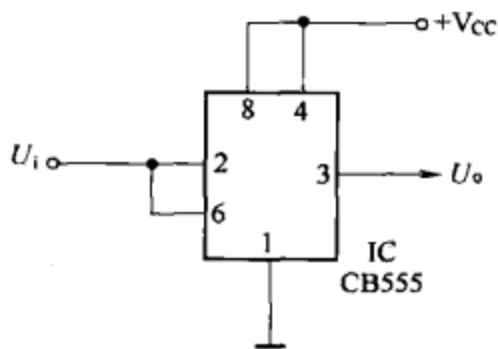


图 7-50

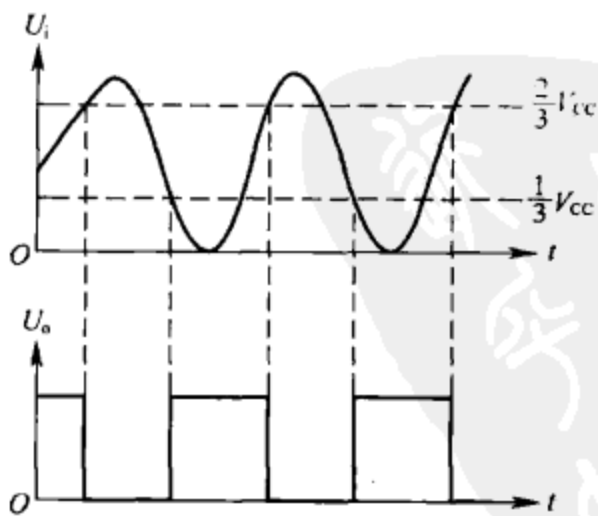


图 7-51

王小帅：门老师，刚才您讲了时基集成电路的4种工作模式，再给我们讲讲时基集成电路的具体应用吧。

门老师：好的。时基集成电路确实是“多才多艺”，可以用于各种不同的用途，下面我就举例讲讲时基集成电路的一些典型应用。

7.3.8 怎样应用时基集成电路

时基集成电路的主要作用是定时、振荡和整形，广泛应用在延时、定时、多谐振荡、脉冲检测、波形发生、波形整形、电平转换和自动控制等领域。

1. 延时

图 7-52 所示为自动延时关灯电路，时基集成电路工作于单稳态工作模式， C_1 、 R_1 为定时元件，SB 为触发按钮。使用时按一下 SB，照明灯 EL 点亮，延时约 25s 后自动关灯。改变 C_1 、 R_1 的大小可调节延时时间。

2. 定时

图 7-53 所示为定时电路，时基集成电路工作于单稳态工作模式， C_1 、 R_1 为定时元件，SB 为触发按钮。每按一下 SB 触发，电路将输出一定时间的高电平。定时时间 $T = 1.1C_1R_1$ ，可根据需要调节 C_1 、 R_1 确定。

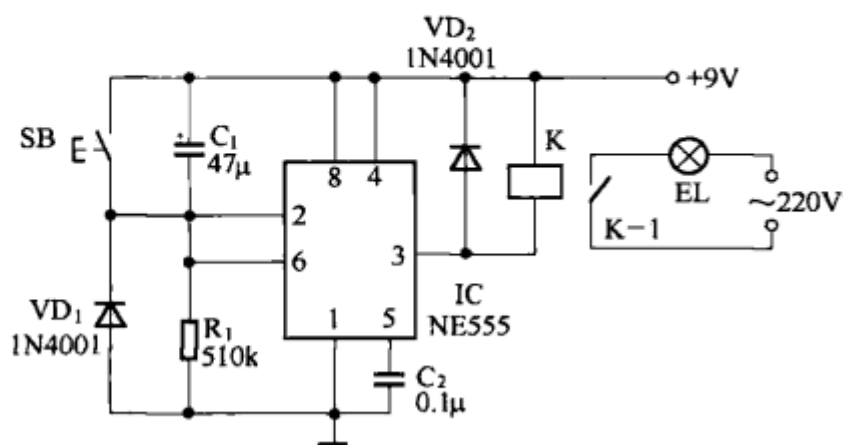


图 7-52

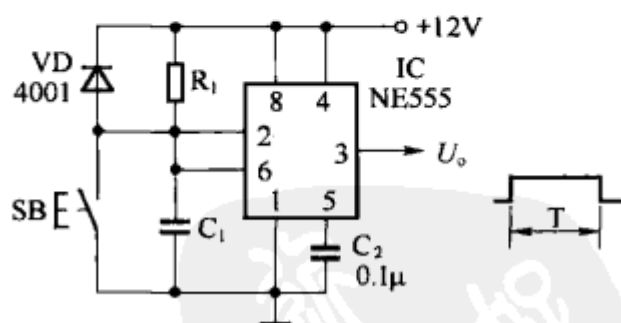


图 7-53

3. 超长延时

图 7-54 所示为时基集成电路构成的超长延时电路，可提供 1h 以上的延时时间。电路由 4 级时基集成电路单稳态触发器串联构成。每一级单稳态触发器受上一级定时结束的下降沿触发，并在本级定时结束时触发下一级单稳态触发器。4 级单稳态触发器的输出端经或门

D_1 后作为延时输出，总的延时时间为各单稳态触发器定时时间之和。如各级定时元件 R 、 C 的数值相同，则总延时时间 $T = 1.1nRC$ ，式中， n 为单稳态触发器的级数。图 7-54 所示电路中， $n = 4$ 。

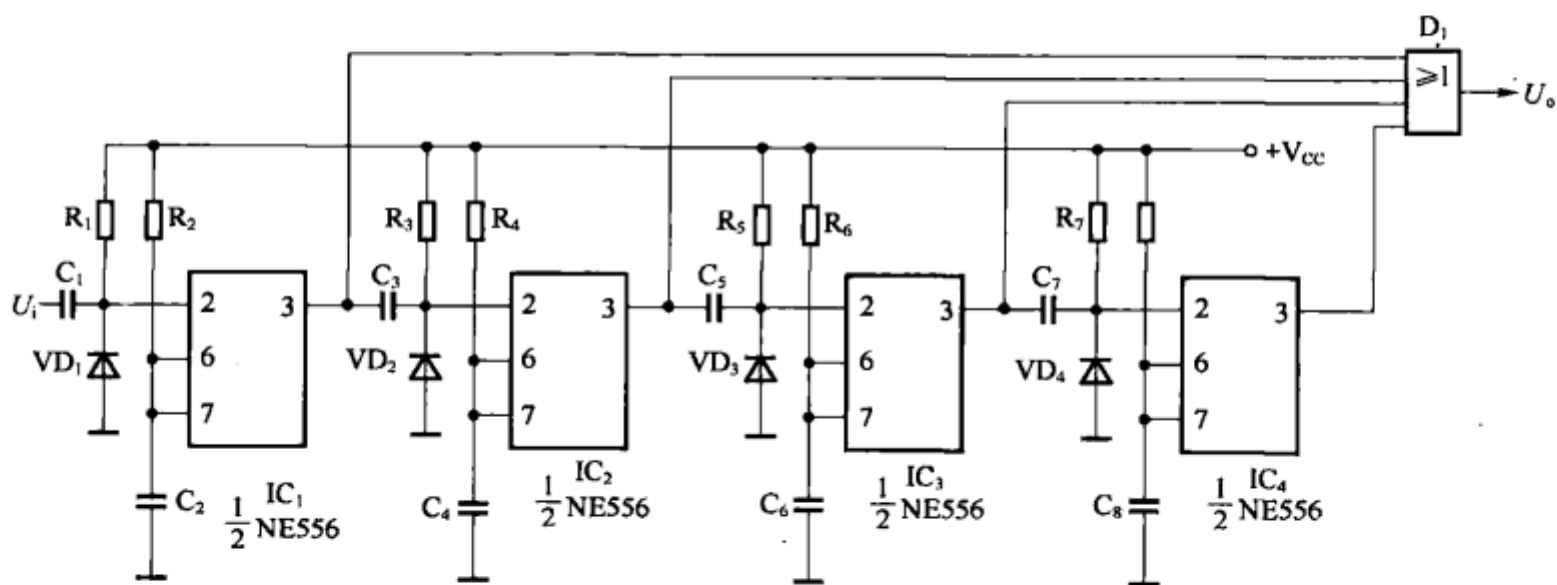


图 7-54

4. 多谐振荡

图 7-55 所示为可调脉冲信号发生器电路，时基集成电路工作于无稳态工作模式， RP_2 为频率调节电位器， RP_1 为占空比调节电位器。可输出 $100\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ 的方波信号，其占空比可在 $5\% \sim 95\%$ 调节。该电路具有两个输出端， OUT_1 输出脉冲方波， OUT_2 输出交流方波。

5. 压控振荡

图 7-56 所示为电压控制振荡器电路，集成运放 IC_1 构成积分器，时基集成电路 IC_2 工作于单稳态工作模式。 U_i 为控制电压，可在 $0 \sim 10\text{V}$ 变化。电路振荡频率 f_o 受 U_i 控制， $f_o = 3R_1C_1 \frac{U_i}{V_{CC}}$ 。

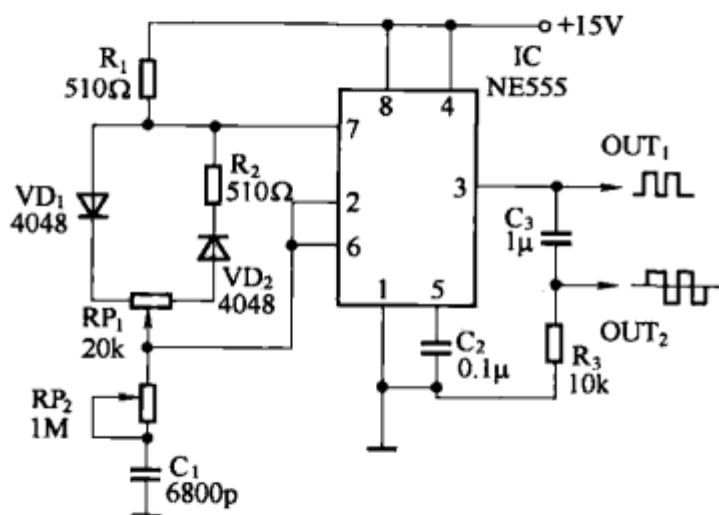


图 7-55

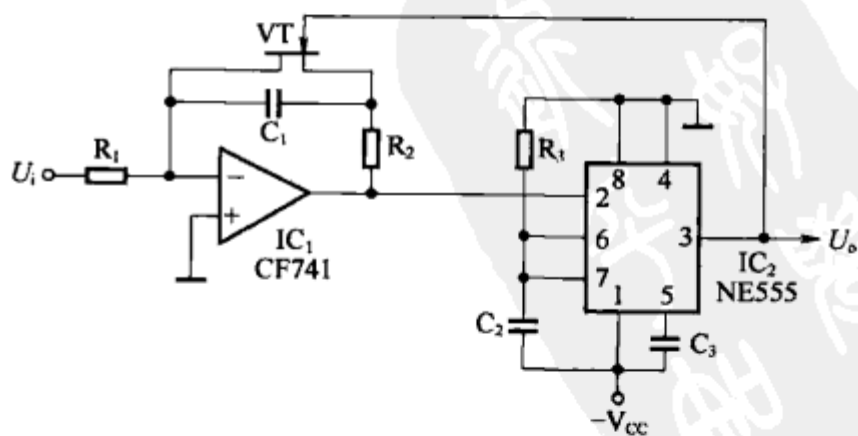


图 7-56

6. 整形

图 7-57 所示为光控电路，时基集成电路工作于施密特工作模式，完成整形任务。光电三极管 VT 检测到的缓慢变化的光信号，被整形为边沿陡峭的脉冲信号输出，使触发器翻转完成控制动作。

7. 电平转换

使时基集成电路工作于双稳态工作模式，利用其放电端（⑦脚）连接不同电压，可以构成各种电平转换电路。

(1) 图 7-58 所示为 CMOS 到 TTL 的电平转换电路。

(2) 图 7-59 所示为 CMOS 到 TTL 的反相电平转换电路。

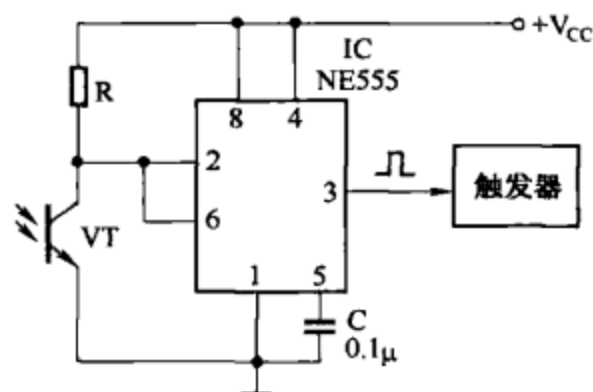


图 7-57

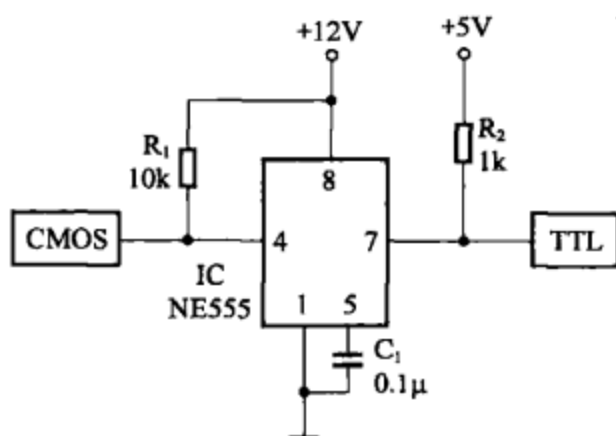


图 7-58

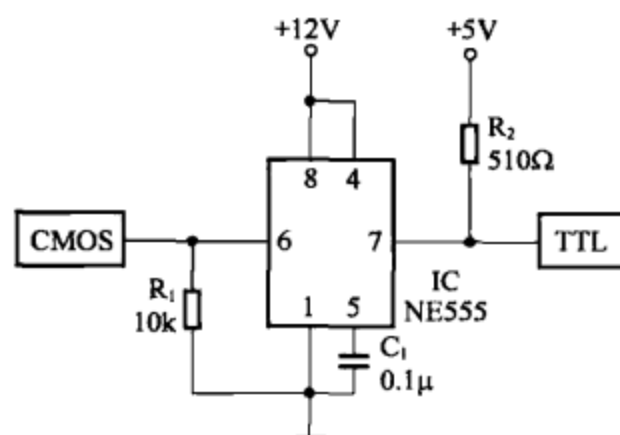


图 7-59

(3) 图 7-60 所示为 TTL 到 CMOS 的电平转换电路。

(4) 图 7-61 所示为 TTL 到 CMOS 的反相电平转换电路。

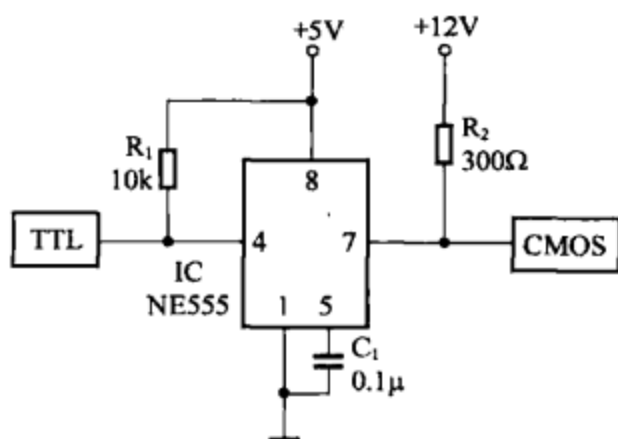


图 7-60

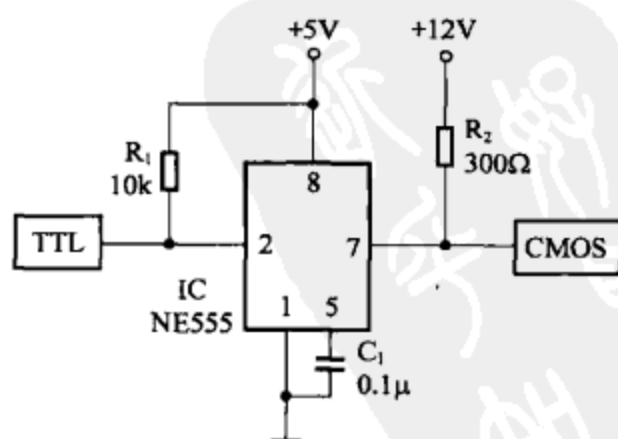


图 7-61



门老师：现在我把时基集成电路的主要知识点做一个归纳。

- (1) 时基集成电路是一种能产生时间基准和能完成各种定时或延迟功能的非线性模拟集成电路，广泛应用于信号发生、波形处理、定时/延时、仪器仪表、控制系统和电子玩具等领域。
- (2) 时基集成电路有单时基电路、双时基电路、双极型时基电路和 CMOS 型时基电路等种类。双极型时基电路输出电流大、驱动能力强。CMOS 型时基电路功耗低、输入阻抗高。
- (3) 时基集成电路的文字符号为“IC”。
- (4) 时基集成电路的参数主要有电源电压、输出电流、放电电流、额定功耗和频率范围等。
- (5) 时基集成电路将模拟电路与数字电路巧妙地结合在一起，从而可实现多种用途。
- (6) 时基集成电路的典型工作模式有单稳态工作模式、无稳态工作模式、双稳态工作模式和施密特工作模式。其主要作用是定时、振荡和整形，广泛应用于延时、定时、多谐振荡、脉冲检测、波形发生、波形整形、电平转换和自动控制等领域。

第 4 讲 集成稳压器



门老师：现在我们讲第 7 课的最后一讲集成稳压器，主要内容是集成稳压器的概念、种类和符号，集成稳压器的主要参数和工作原理，集成稳压器的应用等。集成稳压器具有稳压精度高、工作稳定可靠、外围电路简单、体积小、重量轻等显著特点，在各种电源电路中得到了越来越普遍的应用。集成稳压器包括线性稳压器、开关稳压器、电压变换器和电压基准源等，应用最广泛的是串联式集成稳压器。

7.4.1 什么是集成稳压器

集成稳压器是指将不稳定的直流电压变为稳定的直流电压的集成电路，常见的集成稳压器有金属圆形封装、金属菱形封装、塑料封装、带散热板塑封、扁平式封装、单列封装和双列直插式封装等多种形式，如图 7-62 所示。

理想的集成稳压器应具备的基本性能如下。

1. 输出电压恒定

当输入电压变动、输出端负载变动和温度变化时，输出直流电压保持不变。

2. 有效抑制交流

对输入直流电压中的交流成分具有很强的抑制能力，输出纯净的直流电压。

3. 保护措施完备

具有各种完善的保护电路和措施，能够在任何情况下保证电路的安全和稳定。

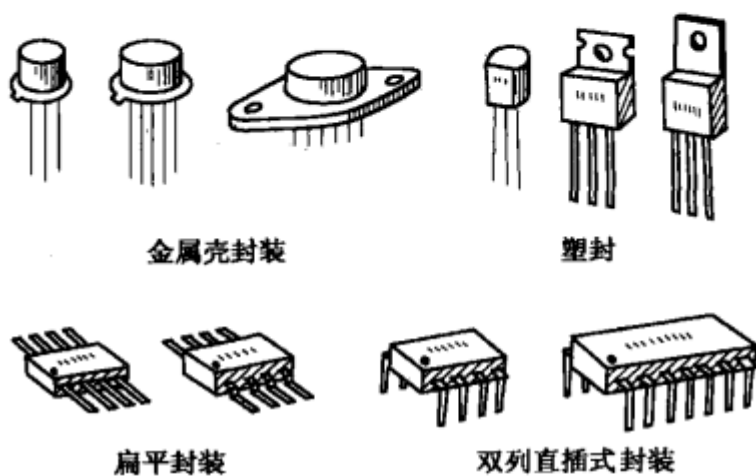


图 7-62

7.4.2 集成稳压器有哪些种类

集成稳压器种类较多，按输出电压的正负可分为正输出稳压器、负输出稳压器和正负对称输出稳压器；按输出电压是否可调可分为固定输出稳压器和可调输出稳压器，固定输出稳压器具有多种输出电压规格；按引脚数可分为三端稳压器和多端稳压器；按工作原理可分为线性稳压器、开关稳压器、电压变换器和电压基准源等，如图 7-63 所示。

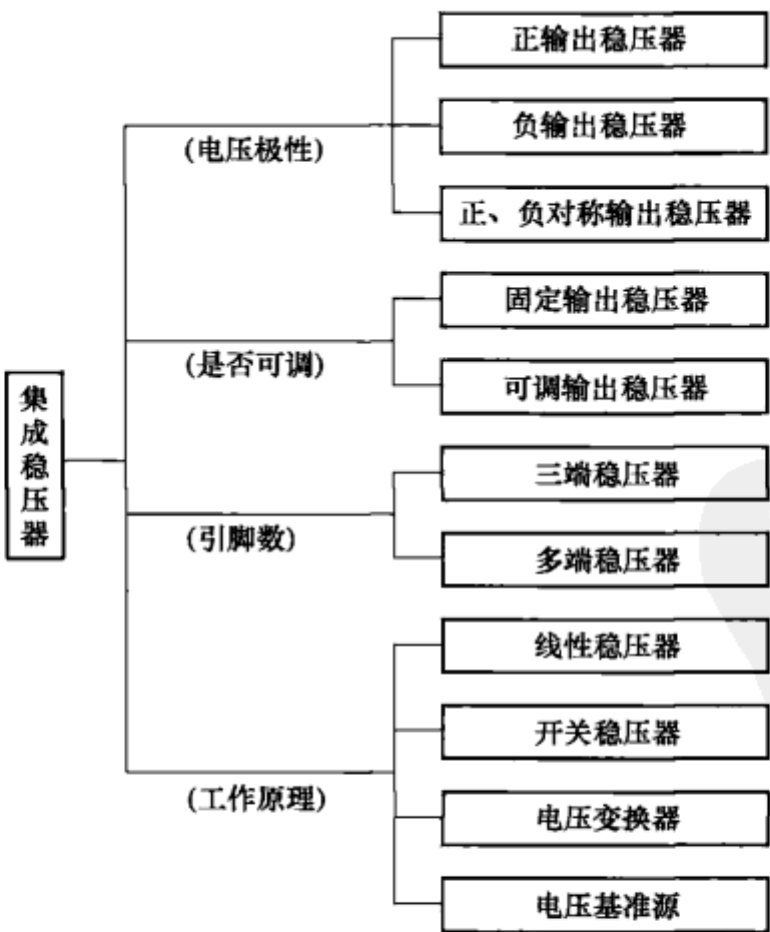


图 7-63

在电子制作中应用较多的是三端固定输出稳压器。

7.4.3 集成稳压器的符号

集成稳压器的文字符号采用集成电路的通用符号“IC”，图形符号如图 7-64 所示。

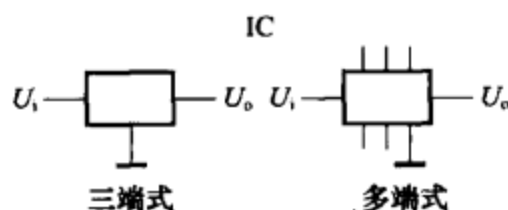


图 7-64

7.4.4 集成稳压器的参数

集成稳压器的参数包括极限参数和工作参数两方面，一般应用时，关注其输出电压 U_o 、最大输出电流 I_{OM} 、最小输入输出压差、最大输入电压 U_{iM} 和最大耗散功率 P_M 等主要参数即可。

1. 输出电压

输出电压 U_o 是指集成稳压器的额定输出电压。对于固定输出的稳压器， U_o 是一固定值；对于可调输出的稳压器， U_o 是一电压范围。

2. 最大输出电流

最大输出电流 I_{OM} 是指集成稳压器在安全工作的条件下所能提供的最大输出电流。应选用 I_{OM} 大于（至少等于）电路工作电流的稳压器，并按要求安装足够的散热板。

3. 最小输入、输出压差

最小输入、输出压差是指集成稳压器正常工作所必需的输入端与输出端之间的最小电压差值。这是因为调整管必须承受一定的管压降，才能保证输出电压 U_o 的稳定，否则稳压器不能正常工作。

4. 最大输入电压

最大输入电压 U_{iM} 是指在安全工作的前提下，集成稳压器所能承受的最大输入电压值。输入电压超过 U_{iM} 将会损坏集成稳压器。对于可调输出集成稳压器，往往用最大输入、输出压差来表示此项极限参数。

5. 最大耗散功率

最大耗散功率 P_M 是指集成稳压器内部电路所能承受的最大功耗, $P_M = (U_i - U_o) \times I_o$, 使用中不得超过 P_M , 以免损坏集成稳压器。

7.4.5 怎样理解集成稳压器的的工作原理

集成稳压器分为串联调整式、并联调整式和开关式稳压器三大类。

1. 串联式集成稳压器

串联式稳压器的特点是调整管与负载串联并工作在线性区域。

图 7-65 所示为应用最广泛的串联式集成稳压器的内部电路结构方框图, 其工作原理是: 取样电路将输出电压 U_o 按比例取出, 送入比较放大器与基准电压进行比较, 差值被放大后去控制调整管, 使调整管管压降作反方向变化, 最终使输出电压 U_o 保持稳定。

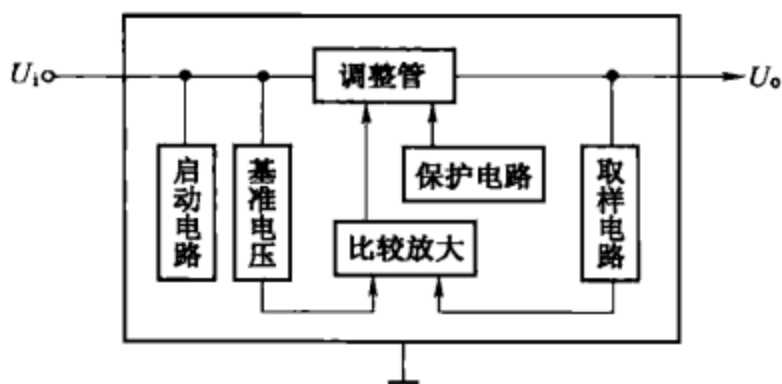


图 7-65

串联式稳压器电压调整率高、负载能力强、纹波抑制能力强、电路结构简单, 绝大多数集成稳压器都是串联式稳压器。

2. 并联式集成稳压器

并联式稳压器的特点是调整管与负载并联并工作在线性区域。

图 7-66 所示为并联式集成稳压器的内部电路结构方框图, 其工作原理是: 取样电路将输出电压 U_o 按比例取出, 送入比较放大器与基准电压进行比较, 差值被放大后去控制调整管, 使调整管分流比例作反方向变化, 最终使输出电压 U_o 保持稳定。

并联式稳压器负载短路能力强, 但电压、电流调整率差, 通常作为电流源运用。

3. 开关式集成稳压器

开关式稳压器的特点是调整管工作于开关状态, 因此效率高、自身功耗低。缺点是输出电压精度较差、纹波系数和噪声较大。

开关式稳压器可分为自激串联控制式、自激并联控制式、他激脉宽控制式、他激频率控制

式、他激脉宽和频率控制式等。

(1) 自激串联控制式稳压电路原理如图 7-67 所示, 开关管与负载串联, 开关管输出的脉动电压经滤波器滤波为直流电压输出。电压比较器根据输出电压的变化调节开关管的导通、截止比例, 使输出电压 U_o 保持稳定。

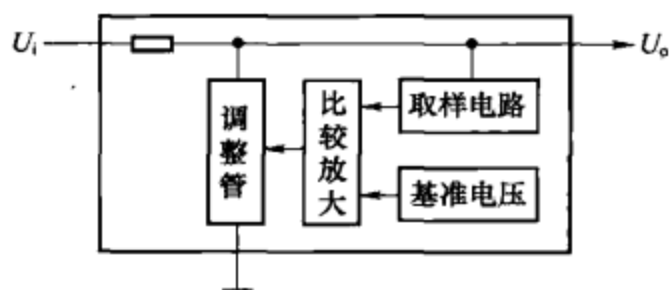


图 7-66

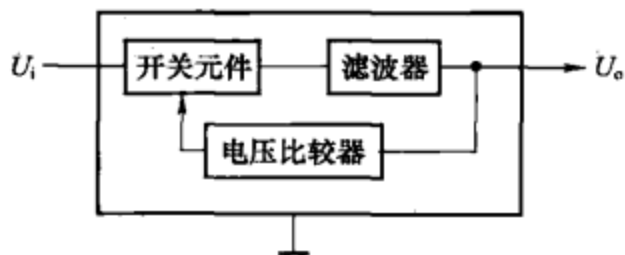


图 7-67

(2) 自激并联控制式稳压电路原理如图 7-68 所示, 开关管与负载并联, 对输出电压作开关式分流调整。电压比较器根据输出电压的变化调节开关管的导通、截止比例, 使输出电压 U_o 保持稳定。

(3) 他激脉宽控制式稳压电路原理如图 7-69 所示, 开关管与负载串联, 开关管输出的脉动电压经滤波器滤波为直流电压输出。在脉宽控制式稳压电路中, 开关管的开关频率不变, 取样信号通过脉宽控制器调节开关管的占空比, 从而达到调节输出电压, 保持输出电压 U_o 稳定的目的。

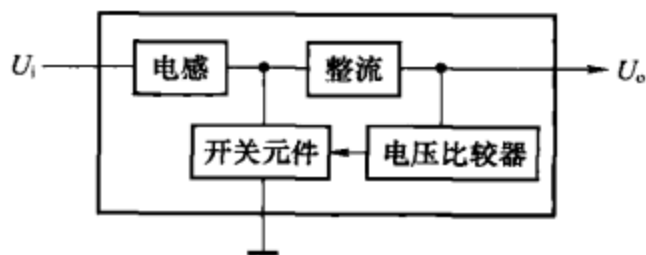


图 7-68

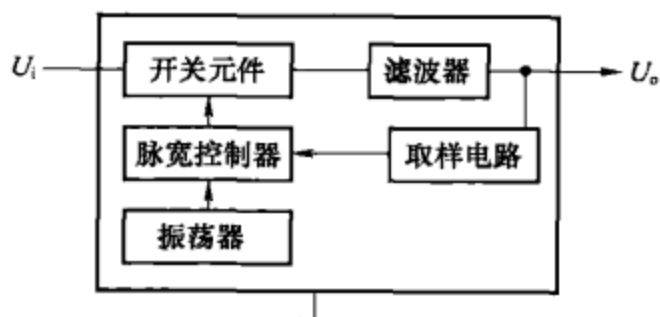


图 7-69

(4) 他激频率控制式稳压电路原理如图 7-70 所示, 开关管的导通时间固定, 取样信号通过频率控制器调节开关管的开关频率, 即改变截止时间, 以达到调节输出电压, 保持输出电压 U_o 稳定的目的。

(5) 他激脉宽和频率控制式稳压电路原理如图 7-71 所示, 取样信号通过脉宽控制器和振荡

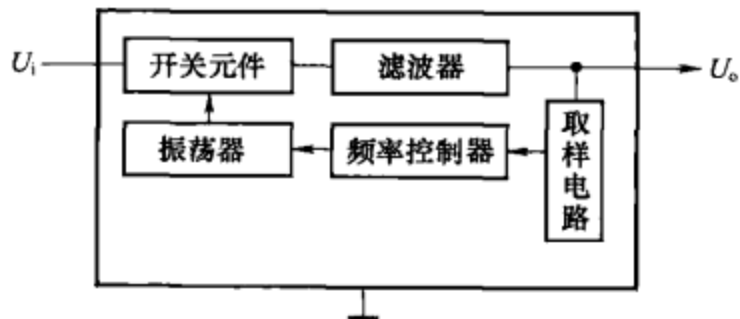


图 7-70

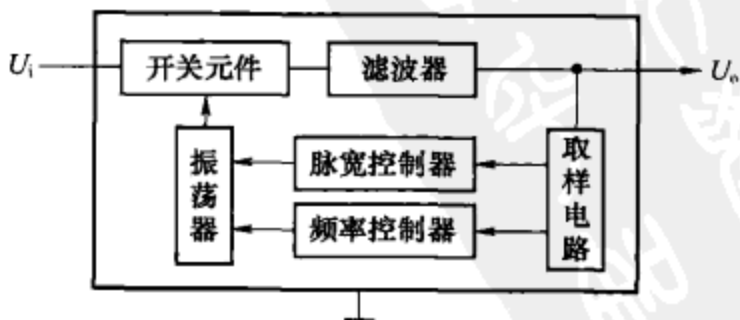


图 7-71

器，同时调节开关管的占空比和频率，即同时调节开关管的导通时间和截止时间来稳定输出电压，保持输出电压 U_o 稳定。

7.4.6 集成稳压器有哪些作用

集成稳压器的主要作用是稳压，还可以用作恒流源。

1. 固定正稳压

图 7-72 所示为输出+9V 直流电压的稳压电源电路，IC 采用集成稳压器 7809， C_1 、 C_2 分别为输入端和输出端滤波电容， R_L 为负载电阻。

2. 固定负稳压

图 7-73 所示为输出-9V 直流电压的稳压电源电路，IC 采用集成稳压器 7909。

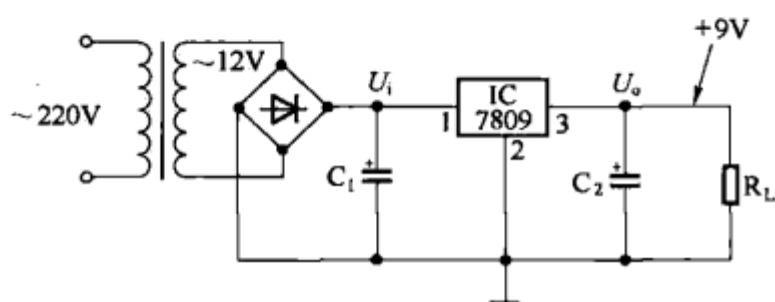


图 7-72

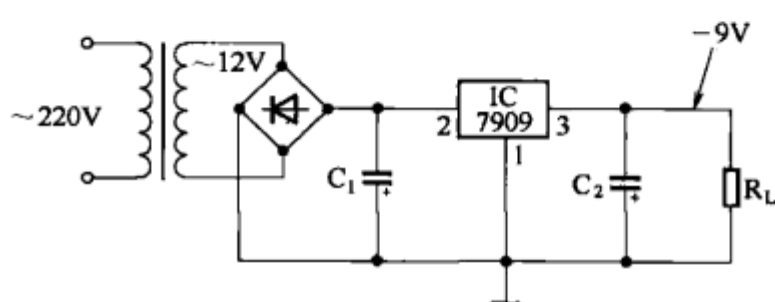


图 7-73

3. 正负对称固定稳压

图 7-74 所示为 $\pm 15V$ 稳压电源电路， IC_1 采用固定正输出集成稳压器 7815， IC_2 采用固定负输出集成稳压器 7915。VD₁、VD₂ 为保护二极管，用以防止正或负输入电压有一路未接入时损坏集成稳压器。

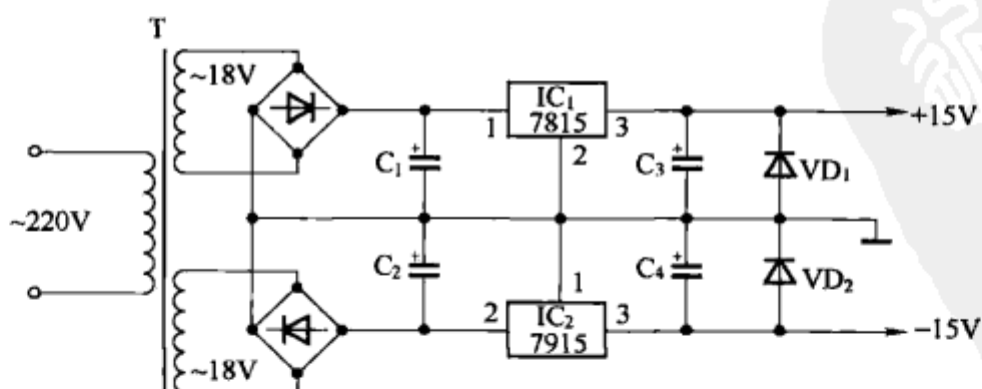


图 7-74



4. 可调整稳压

图 7-75 所示为由 CW117 组成的输出电压可连续调节的稳压电源电路，输出电压可调范围为+ (1.2~37) V。 R_1 与 RP 组成调压电阻网络，调节电位器 RP 即可改变输出电压。RP 动臂向上移动时输出电压增大，向下移动时输出电压减小。

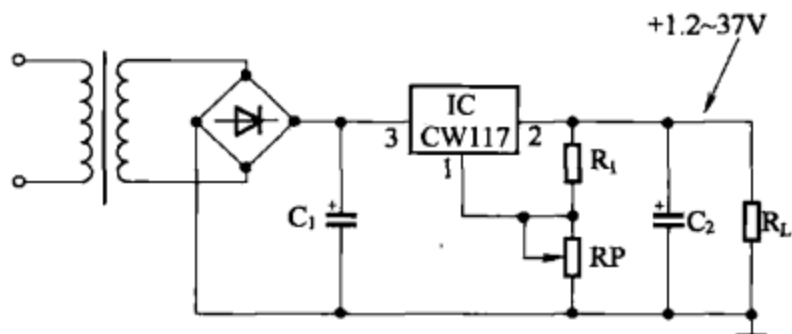


图 7-75

5. 可调负稳压

图 7-76 所示为由 CW137 组成的输出电压可连续调节的稳压电源电路，输出电压可调范围为- (1.2~37) V。RP 为输出电压调节电位器，RP 动臂向上移动时输出负电压的绝对值增大，向下移动时输出负电压的绝对值减小。

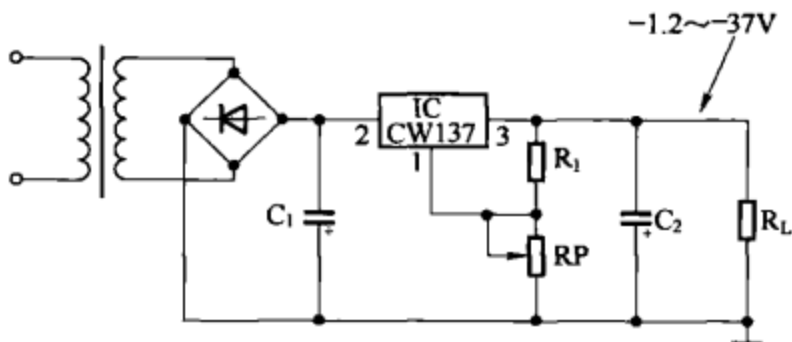


图 7-76

6. 软启动稳压电源

图 7-77 所示为由 CW117 组成的软启动稳压电源电路。刚接通输入电源时， C_2 上无电压，VT 导通将 RP 短路，稳压电源输出电压 $U_o = 1.2V$ 。随着 C_2 的充电，VT 逐步退出导通状态， U_o 逐步上升，直至 C_2 充电结束，VT 截止， U_o 达最大值。启动时间的长短由 R_1 、 R_2 和 C_2 决定。VD 为 C_2 提供放电通路。

7. 用作恒流源

图 7-78 为 7800 稳压器构成的恒流源电路，其恒定电流 I_o 等于 7800 稳压器输出电压与 R_1 的比值。

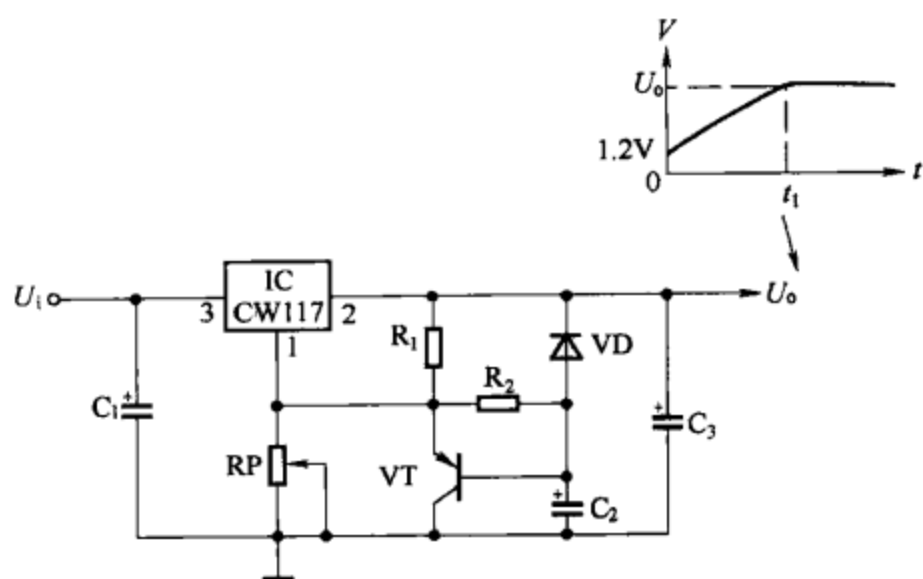


图 7-77

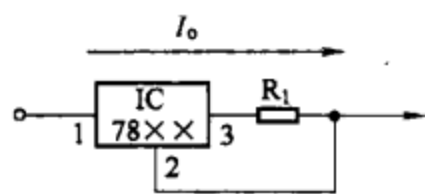


图 7-78

王小帅：集成稳压器有这么多品种，我们要是做一个稳压电源，应该如何选用集成稳压器呢？

门老师：尽管集成稳压器品种很多，但是应用最多最普遍的还是串联式稳压器，特别是三端固定输出集成稳压器，由于规格齐全、应用方便，使用量最大。大多数情况下，制作稳压电源都选用三端固定输出集成稳压器。如果需要输出电压可调，则可选用三端可调输出集成稳压器。

门老师：第4讲讲完了。下面哪位同学来归纳一下集成稳压器的主要知识点？

李蕾蕾：（举手）集成稳压器的主要知识点可以归纳如下。

- (1) 集成稳压器是指将不稳定的直流电压变为稳定的直流电压的集成电路，包括线性稳压器、开关稳压器、电压变换器和电压基准源等。
- (2) 集成稳压器的文字符号采用集成电路的通用符号“IC”。
- (3) 集成稳压器的参数包括极限参数和工作参数，主要有输出电压、最大输出电流、最小输入输出压差、最大输入电压和最大耗散功率等。
- (4) 集成稳压器分为串联调整式、并联调整式和开关式稳压器三大类。串联式稳压器电压调整率高、负载能力强、纹波抑制能力强、电路结构简单，绝大多数集成稳压器都是串联式稳压器。
- (5) 集成稳压器的主要作用是稳压，还可以用作恒流源。



门老师：好，同学们，第7课集成电路到这里就结束了，下面布置一些思考题供同学们复习用。

- (1) 什么是集成电路，集成电路有哪些种类？
- (2) 集成电路有哪些封装形式，怎样识别集成电路的引脚？
- (3) 集成运放具有哪些种类，重要参数有哪些？
- (4) 集成运放的基本电路是什么？举例说明集成运放的用途。
- (5) 时基集成电路具有什么特点？
- (6) 举例说明时基集成电路的用途。
- (7) 集成稳压器有哪些种类，各有什么特点？
- (8) 串联式集成稳压器是如何工作的？

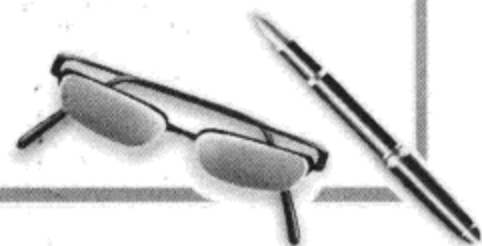


电子知识
PDG

第8课 数字集成电路



门老师：同学们好。从今天开始我们讲第8课：数字集成电路。现代电子产品以数字化、集成化为标志的更新换代越来越快，数字集成电路得到了越来越广泛的应用。了解数字集成电路的种类、功能、符号、参数和工作原理等基本知识，掌握数字集成电路的识别和选用方法，是学习现代电子技术的一项不可缺少的重要内容。第8课共分为5讲，第1讲认识数字集成电路，第2讲门电路与触发器，第3讲计数器与译码器，第4讲移位寄存器，第5讲模拟开关与运算电路。



第1讲 认识数字集成电路



门老师：现在我们讲第1讲认识数字集成电路，主要内容是数字集成电路的概念、种类和符号，数字集成电路的主要参数等。

8.1.1 什么是数字集成电路

数字集成电路是指传输和处理数字信号的集成电路。数字信号在时间上和数值上都是不连续的，是断续变化的离散信号。数字信号往往采用二进制数表示，数字集成电路的工作状态则用“1”和“0”表示。数字集成电路的特点是工作于开关状态。

数字集成电路基本上都采用双列直插式封装，如图8-1所示。

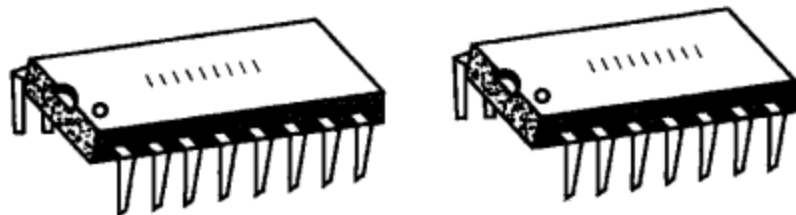


图8-1

8.1.2 数字集成电路的种类

1. 数字集成电路的分类

数字集成电路种类很多。按照功能不同，数字集成电路可分为门电路、触发器、计数器、译码器、寄存器和移位寄存器、模拟开关和数据选择器以及运算电路等，如图 8-2 所示。

按电路结构可分为 TTL 电路（晶体管-晶体管逻辑电路）、HTL 电路（高阈值逻辑门电路）、ECL 电路（发射极耦合逻辑电路）、CMOS 电路（互补对称 MOS 型数字集成电路）、PMOS 电路（P 沟道 MOS 型数字集成电路）、NMOS 电路（N 沟道 MOS 型数字集成电路）等，如图 8-3 所示。其中，TTL、HTL、ECL 属于双极型数字集成电路；CMOS、PMOS、NMOS 属于单极型 MOS 数字集成电路。

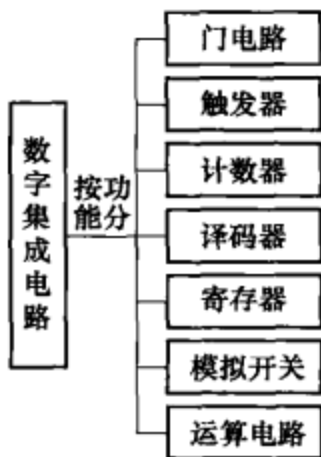


图 8-2

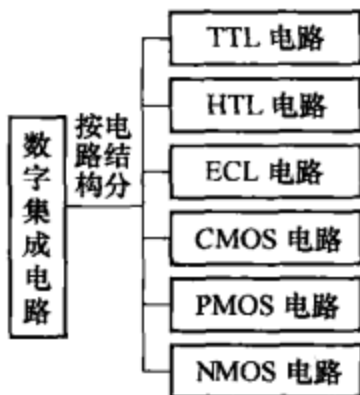


图 8-3

2. 常用数字集成电路

CMOS 电路和 TTL 电路是最常用的两种数字集成电路。

(1) CMOS 电路具有电源电压范围宽、功耗小、输入阻抗高、逻辑摆幅大、扇出能力强、抗干扰和抗辐射能力强、温度稳定性好的特点，应用十分广泛。其不足是工作速度较慢、输出电流较小。

(2) TTL 电路具有工作速度快、传输延迟时间短、工作频率高、输出电流大、抗杂散电磁场干扰能力强、稳定性和可靠性高的特点，应用范围很广，特别适用在高速数字系统中。其不足是功耗较大、输入阻抗较低、电源电压范围窄（限定为+5V）。

CMOS 电路与 TTL 电路主要参数对比见表 8-1。

▼ 表 8-1 CMOS 电路与 TTL 电路主要参数对比

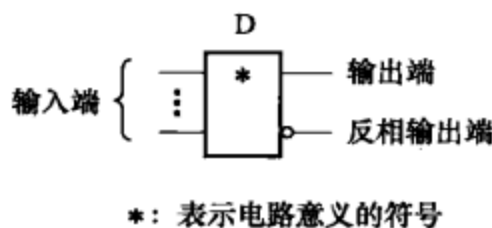
电路类型	TTL 电路	CMOS 电路
主要参数		
电源电压范围	窄	宽
功耗	较大	很小
工作速度	快	较慢

续表

电路类型 \ 主要参数	TTL 电路	CMOS 电路
输出电流	大	小
输入阻抗	低	很高

8.1.3 数字集成电路的符号

数字集成电路的文字符号为“D”，图形符号如图 8-4 所示。



*: 表示电路意义的符号

图 8-4

8.1.4 数字集成电路的参数

1. CMOS 数字集成电路的参数

CMOS 数字集成电路的参数很多，包括极限参数、静态参数和动态参数。一般使用时关注的主要参数有电源电压 U_{DD} 、最大输入电压 $U_{i(max)}$ 、最小输入电压 $U_{i(min)}$ 、最大输入电流 I_{iM} 、最大允许功耗 P_M 等，见表 8-2。

▼ 表 8-2 CMOS 数字集成电路的主要参数

项目	参数值
电源电压 U_{DD}	3~18V
最大输入电压 $U_{i(max)}$	$U_{DD} + 0.5V$
最小输入电压 $U_{i(min)}$	-0.5V
最大输入电流 I_{iM}	$\pm 10mA$
最大允许功耗 P_M	500mW

(1) 电源电压 U_{DD} 是指 CMOS 电路的直流供电电压。CMOS 电路具有很宽的电源电压范围， U_{DD} 在 3~18V 内均能正常可靠地工作。

(2) 最大输入电压 $U_{i(max)}$ 和最小输入电压 $U_{i(min)}$ 是指 CMOS 电路正常工作情况下，其输入端所能承受的输入电压的上下极限。使用中输入电压不能大于 $U_{i(max)}$ 或小于 $U_{i(min)}$ ，否则将造成 CMOS 电路失效甚至损坏。

(3) 最大输入电流 I_{iM} 是指 CMOS 电路正常工作情况下，其输入端所能承受的输入电流的极限值。使用中可在 CMOS 电路输入端串入限流电阻。



(4) 最大允许功耗 P_M 是指 CMOS 电路正常工作情况下所能承受的最大耗散功率。

(5) 最高时钟频率 f_M 是指在规定的电源电压和负载条件下, 时序逻辑电路能保持正常逻辑功能的时钟频率上限。

(6) 输出电流 I_o 是指 CMOS 电路输出端的输出驱动电流, 包括输出供给电流和输出吸收电流。CMOS 电路的输出电流一般较小, 需要驱动继电器、电动机、灯泡等较大电流负载时, 应加接晶体管等驱动电路。

2. TTL 数字集成电路的参数

TTL 数字集成电路的参数也很多, 包括极限参数、静态参数和动态参数, 主要有电源电压 U_{CC} 、输入电压 U_i 、输入电流 I_i 、输出短路电流 I_{os} 等, 见表 8-3。

▼ 表 8-3 TTL 数字集成电路的主要参数

项目	参数值
电源电压 U_{CC}	+5V
输入电压 U_i	-0.5~+5.5V
输入电流 I_i	-3.0~+5.0mA
输出短路电流 I_{os}	50~100mA

(1) 电源电压 U_{CC} 是指 TTL 电路的直流供电电压。TTL 电路的电源电压为+5V。

(2) 输入电压 U_i 是指 TTL 电路正常工作情况下, 其输入端所能承受的输入电压的范围。使用中输入电压不能超出规定范围, 否则将造成 TTL 电路失效甚至损坏。

(3) 输入电流 I_i 是指 TTL 电路正常工作情况下, 其输入端所能承受的输入电流的范围。使用中可在 TTL 电路输入端串入限流电阻加以控制。

(4) 输出短路电流 I_{os} 是指 TTL 电路正常工作情况下所能提供的最大输出电流。



门老师: 现在我归纳一下本讲的主要知识点。

(1) 数字集成电路是指传输和处理数字信号的集成电路, 其特点是工作于开关状态。

(2) 数字集成电路包括门电路、触发器、计数器、译码器、寄存器和移位寄存器、模拟开关和数据选择器, 以及运算电路等。

(3) 数字集成电路的文字符号为“D”。

(4) CMOS 电路和 TTL 电路是最常用的两种数字集成电路。CMOS 数字集成电路的参数主要有电源电压、最大输入电压、最小输入电压、最大输入电流和最大允许功耗等。TTL 数字集成电路的参数主要有电源电压、输入电压、输入电流和输出短路电流等。

第2讲 门电路与触发器



门老师：现在我们讲第2讲门电路与触发器，主要内容包括门电路的概念、种类和特点，门电路的应用，触发器的概念、种类和特点，触发器的应用等。

8.2.1 什么是门电路

能够实现各种基本逻辑关系的电路通称为门电路。门电路是构成组合逻辑网络的基本部件，也是构成时序逻辑电路的组成部件之一。门电路可用逻辑代数进行分析。



李蕾蕾：门老师，门电路为什么叫“门电路”呢？



门老师：这一类电路就像门一样，控制着信号的流动。例如与门，当两个输入端都为“1”时满足了开门条件，门就打开了，信号得以通过。如果不满足条件门就关闭了，信号无法通过。所以把这一类电路形象地叫做“门电路”，这和我这个老师姓“门”可没什么关系。

8.2.2 基本门电路的种类与特点

基本门电路包括与门、或门、非门（反相器）、与非门、或非门等。

1. 与门

与门的电路符号如图8-5所示，A、B为输入端，Y为输出端。与门的逻辑关系为 $Y=AB$ ，即只有当所有输入端A和B均为“1”时，输出端Y才为“1”；否则Y为“0”。与门可以有更多的输入端。

2. 或门

或门的电路符号如图8-6所示，A、B为输入端，Y为输出端。或门的逻辑关系为 $Y=A+B$ ，即只要输入端A和B中有一个为“1”时，Y即为“1”；所有输入端A和B均为“0”时，Y才为“0”。或门可以有更多的输入端。

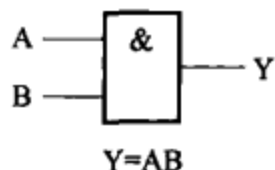


图 8-5

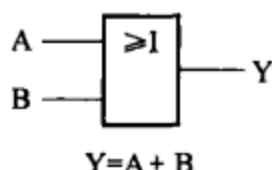


图 8-6

3. 非门

非门的电路符号如图 8-7 所示。非门又叫反相器，A 为输入端，Y 为输出端，其逻辑关系为 $Y = \overline{A}$ ，即输出端 Y 总是与输入端 A 相反。

4. 与非门

与非门的电路符号如图 8-8 所示，A、B 为输入端，Y 为输出端。与非门的逻辑关系为 $Y = \overline{AB}$ ，即只有当所有输入端 A 和 B 均为“1”时，输出端 Y 才为“0”；否则 Y 为“1”。与非门可以有更多的输入端。

5. 或非门

或非门的电路符号如图 8-9 所示，A、B 为输入端，Y 为输出端。或非门的逻辑关系为 $Y = \overline{A+B}$ ，即只要输入端 A 和 B 中有一个为“1”时，Y 即为“0”；所有输入端 A 和 B 均为“0”时，Y 才为“1”。或非门可以有更多的输入端。

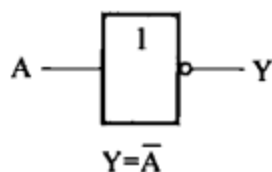


图 8-7

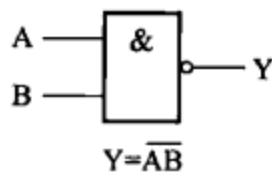


图 8-8

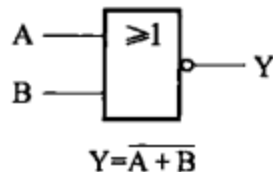


图 8-9

8.2.3 怎样应用门电路

门电路具有广泛的用途，最主要的是用作逻辑控制以及组成振荡器、触发器等，还可以用作模拟放大器。

1. 逻辑控制

(1) 图 8-10 所示为声光控路灯电路，由非门 D_1 、与门 D_2 实现逻辑控制。夜晚无强环境光时，环境光检测电路输出为“0”，经 D_1 反相后为“1”，打开了与门 D_2 。这时如有行人的脚步声，声音检测电路输出为“1”。由于与门 D_2 的两个输入端都为“1”，因此 D_2 输出为“1”使晶体管 VT 导通，继电器吸合，路灯自动点亮。白天环境光较强时， D_1 输出为“0”关闭了与门 D_2 ，即使有脚步声路灯也不会点亮。

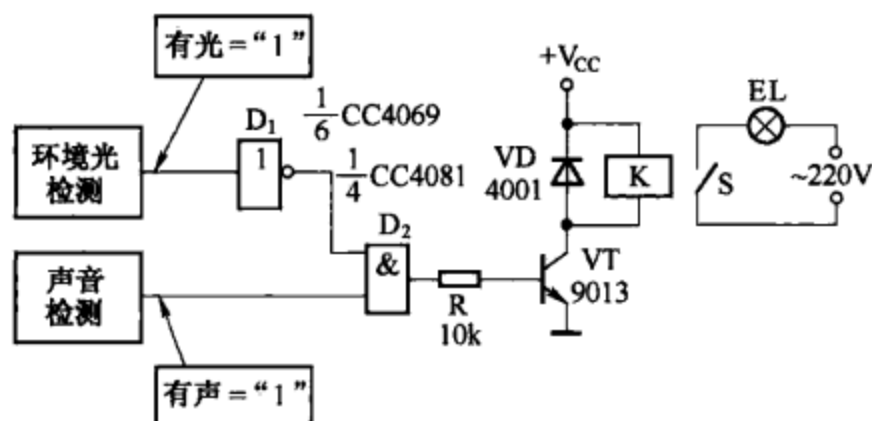


图 8-10

(2) 图 8-11 所示为逻辑相等电路，由与非门 D_1 、与门 $D_2 \sim D_4$ 、或非门 D_5 组成。如果 3 个输入变量 A、B、C 的逻辑状态不一致，输出端 $Y=0$ 。只有当 A、B、C 的逻辑状态完全相等时，才有 $Y=1$ 。

2. 多谐振荡器

(1) 图 8-12 所示为多谐振荡器电路，由两个非门 D_1 、 D_2 等组成，振荡周期 $T \approx 2.2R_1C$ ，输出端 U_{o1} 和 U_{o2} 输出互为反相的连续方波，各点波形如图 8-13 所示。

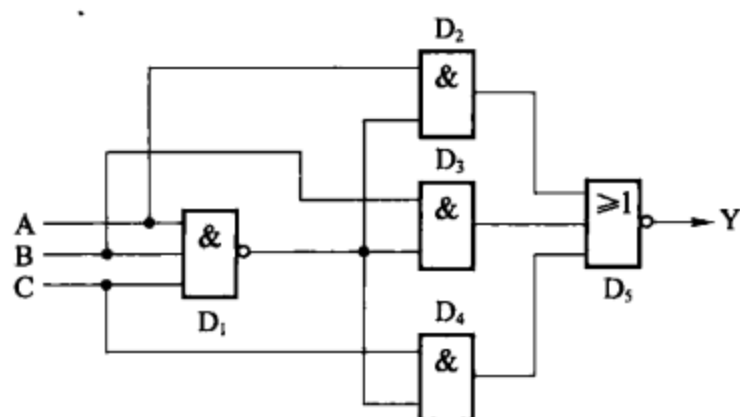


图 8-11

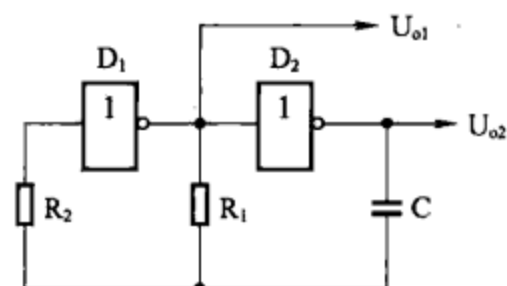


图 8-12

(2) 图 8-14 所示为占空比可调的多谐振荡器电路，由两个非门 D_1 、 D_2 等组成，电位器 RP_1 和 RP_2 用于调节占空比。由于二极管 VD_1 和 VD_2 的存在，调节 RP_1 时只改变电容 C 的充电时间，即只改变输出方波高电平的宽度；调节 RP_2 时只改变电容 C 的放电时间，即只改变输出方波低电平的宽度。

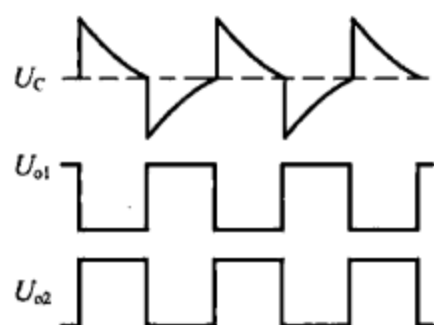


图 8-13

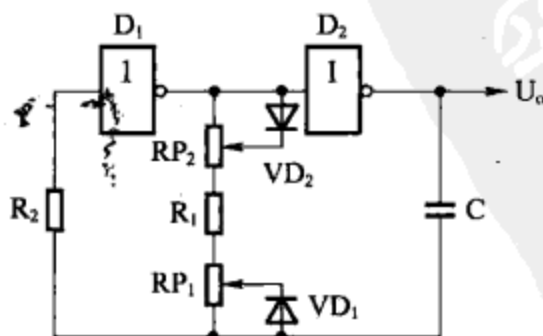


图 8-14

(3) 图 8-15 所示为门控多谐振荡器电路, 由两个与非门 D_1 、 D_2 等构成, 其中 D_2 两输入端并接作非门用。当控制端 $A=1$ 时电路起振, 输出 900Hz 方波信号; 当控制端 $A=0$ 时电路停振。振荡频率 $f=\frac{1}{2.2R_2C}$ (Hz), f 可通过改变 R_2 、 C 予以改变。

3. 触发器

(1) 图 8-16 所示为或非门构成的单稳态触发器电路。或非门 D_2 两输入端并接作非门用, 其输出端信号直接反馈至或非门 D_2 的一个输入端, 构成闭环正反馈回路。该单稳态触发器由正脉冲触发, 输出一个正的矩形脉冲 U_o , U_o 脉宽 $T_w=0.69RC$, 可通过改变 R 、 C 予以改变。若为图 8-16 所示电路参数时, $T_w=100\text{ms}$ 。

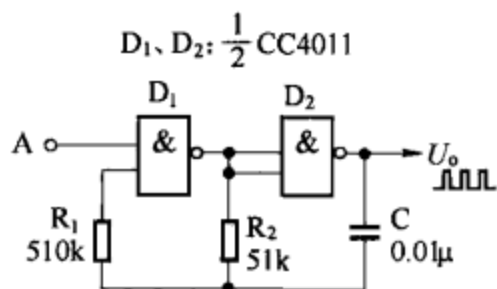


图 8-15

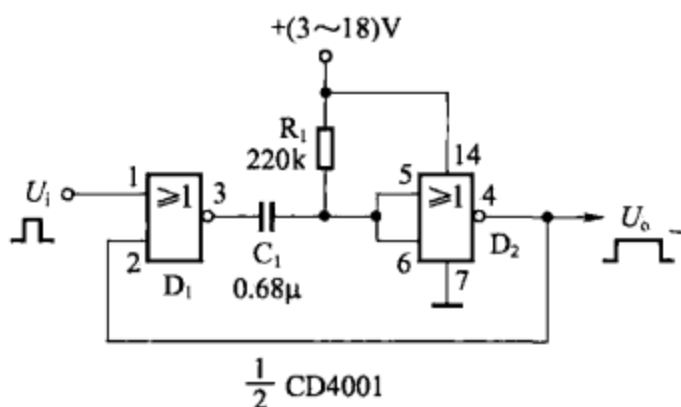


图 8-16

(2) 图 8-17 所示为或非门构成的 RS 型双稳态触发器电路, 由两个或非门 D_1 、 D_2 交叉耦合而成。RS 触发器具有两个触发输入端: R 为置“0”输入端, S 为置“1”输入端, “1”电平触发有效。具有两个输出端: Q 为原码输出端, \bar{Q} 为反码输出端。当 $R=1$ 、 $S=0$ 时, 触发器被置“0”, $Q=0$ 、 $\bar{Q}=1$; 当 $S=1$ 、 $R=0$ 时, 触发器被置“1”, $Q=1$ 、 $\bar{Q}=0$; 当 $R=0$ 、 $S=0$ 时, 触发器输出状态保持不变; 当 $R=1$ 、 $S=1$ 时, 下一状态不确定, 应避免使触发器出现这种状态。

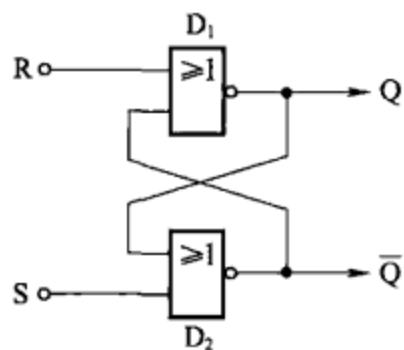


图 8-17

(3) 图 8-18 所示为非门构成的施密特触发器电路。两个非门 D_1 、 D_2 直接接联, 反馈电阻 R_2 构成正反馈闭环回路, 滞后电压 ΔU_T 取决于 R_2 与 R_1 的比值, 即 $\Delta U_T=\frac{R_1}{R_2}V_{DD}$ 。施密特触发器常用作脉冲信号边沿的整形。

4. 模拟放大器

门电路还可以用作模拟放大器。图 8-19 所示为门电路构成的模拟电压放大电路, 由 3 个非门 D_1 、 D_2 、 D_3 串接而成。 R_2 为反馈偏置电阻, 将 3 个非门的工作点偏置在 $\frac{1}{2}V_{DD}$ 附近。 R_1 为输入电阻。电路放大倍数 $A=\frac{R_2}{R_1}$, 按图中参数放大倍数 $A=100$ 倍。

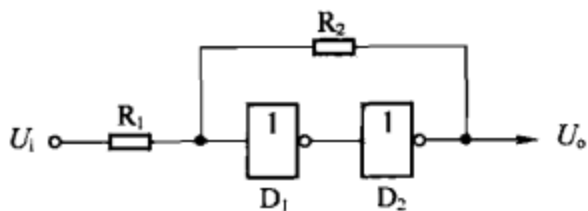


图 8-18

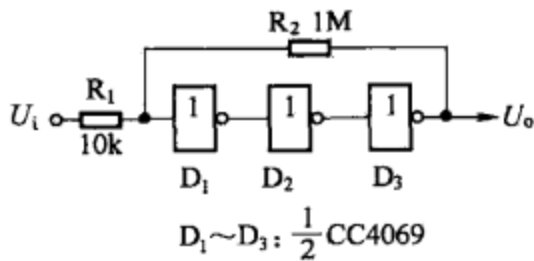


图 8-19

8.2.4 什么是触发器

触发器是时序电路的基本单元，在数字信号的产生、变换、存储、控制等方面应用广泛。按结构和工作方式不同，触发器可分为 RS 触发器、D 型触发器、JK 触发器、单稳态触发器和施密特触发器等。

8.2.5 触发器的种类与特点

1. RS 触发器

(1) RS 触发器即复位-置位触发器，是最简单的基本触发器，也是构成其他复杂结构触发器的组成部分之一。RS 触发器的电路符号如图 8-20 所示，具有两个输入端：置“1”输入端 S、置“0”输入端 R；具有两个输出端：输出端 Q 和反相输出端 \bar{Q} 。表 8-4 为 RS 触发器真值表。

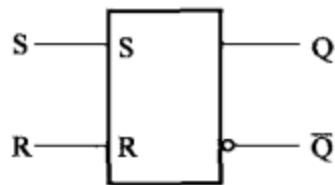


图 5-20

▼ 表 8-4 RS 触发器真值表

输入		输出	
R	S	Q	\bar{Q}
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	不变	
1	1	不确定	

(2) RS 触发器的特点是电路具有两个稳定状态：Q = 1 或 Q = 0。R 输入端只能使触发器处于 Q = 0 的状态，S 输入端只能使触发器处于 Q = 1 的状态。

2. D 型触发器

(1) D 型触发器又称为延迟触发器，具有数据输入端 D、时钟输入端 CP、输出端 Q 和反相输出端 \bar{Q} ，其电路符号如图 8-21 所示。D 型触发器输出状态的改变依赖于时钟脉冲 CP 的触

发,即在时钟脉冲边沿的触发下,数据由输入端 D 传输到输出端 Q。图 8-21 (a) 所示为 CP 上升沿触发的 D 型触发器,图 8-21 (b) 所示为 CP 下降沿触发的 D 型触发器,其真值表分别见表 8-5、表 8-6。

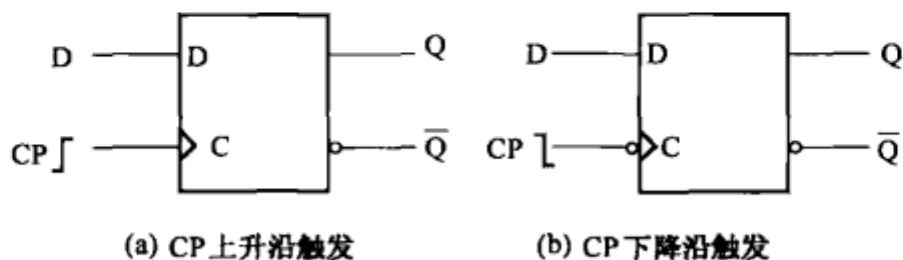


图 8-21

▼表 8-5 上升沿触发的 D 型触发器真值表

输入		输出	
CP	D	Q	\bar{Q}
┐	0	0	1
┐	1	1	0
┘	任意	不变	

▼表 8-6 下降沿触发的 D 型触发器真值表

输入		输出	
CP	D	Q	\bar{Q}
┐	0	0	1
┐	1	1	0
┘	任意	不变	

(2) D 型触发器的特点是只有在时钟脉冲边沿的触发下, 数据才得以传输而进入触发器, 没有触发信号时触发器中的数据则保持不变。

3. 单稳态触发器

(1) 单稳态触发器电路符号如图 8-22 所示。单稳态触发器一般具有两个触发端：上升沿触发端 TR_+ 和下降沿触发端 TR_- ；具有两个输出端： Q 端和 \overline{Q} 端，其输出信号互为反相。另外还具有清零端 \overline{R} ，外接电阻端 R_e ，外接电容端 C_e 。在单稳态触发器 TR 端输入一个触发脉冲，其输出端即输出一个恒定宽度的矩形脉冲，该矩形脉冲的宽度由外接定时元件 R_e 和 C_e 的大小决定。表 8-7 为单稳态触发器真值表。

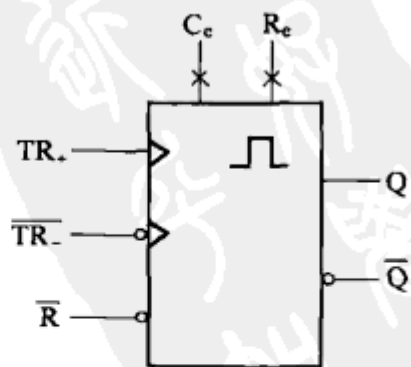


图 8-22

表 8-7

单稳态触发器真值表

输入			输出	
\overline{R}	TR_+	$\overline{TR_-}$	Q	\overline{Q}
1		1		
1	0			
1		0	不触发	
1	1		不触发	
0	任意	任意	0	1

(2) 单稳态触发器的特点是具有两个输出状态：稳态和暂稳态。稳态时输出端 $Q=0$ 。在输入脉冲的触发下，电路翻转为暂稳态， $Q=1$ ，经过一定时间后又自动回复到稳态 ($Q=0$)。

4. 施密特触发器

(1) 施密特触发器电路符号如图 8-23 所示，其中图 8-23 (a) 所示为同相输出型施密特触发器，图 8-23 (b) 所示为反相输出型施密特触发器。施密特触发器具有一个输入端 A，一个输出端 Q 或 \overline{Q} 。施密特触发器具有滞后电压特性，即当输入电压上升到正向阈值电压 U_{T+} 时，触发器翻转；当输入电压下降到负向阈值电压 U_{T-} 时，触发器再次翻转。滞后电压 $\Delta U_T = U_{T+} - U_{T-}$ 。图 8-24 所示为施密特触发器波形图。

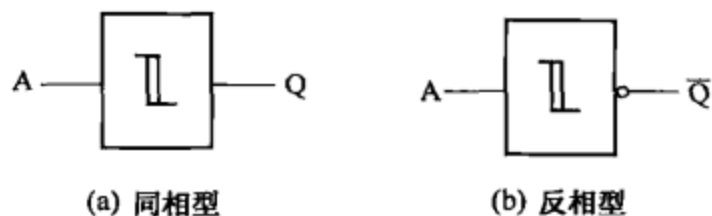


图 8-23

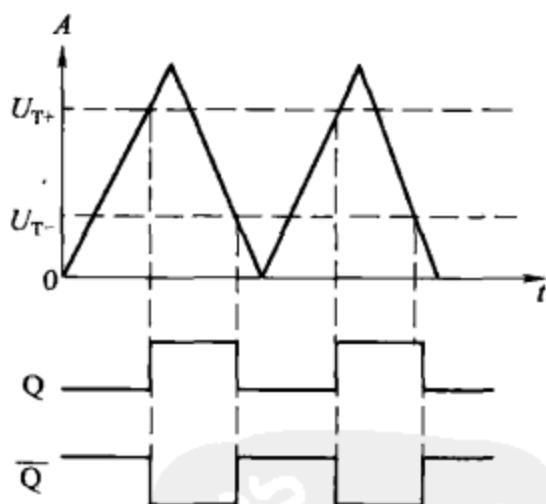


图 8-24

(2) 施密特触发器的特点是，可将缓慢变化的电压信号转变为边沿陡峭的矩形脉冲。



王小帅：门老师，触发器种类也不少，那么什么情况选用哪种触发器呢？



门老师：各种触发器有其独特的特性，应根据应用的不同需求选择合适的触发器。下面我就给同学们讲讲触发器的应用。

8.2.6 怎样应用触发器

1. RS 触发器的应用

RS 触发器常用于单脉冲产生、状态控制等电路中。

(1) 图 8-25 所示为 RS 触发器构成的消抖开关电路，每按一下按钮开关 SB，电路输出一个单脉冲，完全消除了机械开关触点抖动产生的抖动脉冲。当按下 SB 时，输入端 $S=1$ 使触发器置“1”，输出端 $Q=1$ 。这时即使 SB 产生机械抖动，只要机械触点不返回到 R 端，输出端 Q 仍保持“1”不变，消除了抖动脉冲信号。同理，当松开 SB 时，输入端 $R=1$ 使触发器置“0”，虽然 SB 产生机械抖动，但输出端 Q 仍保持“0”不变。

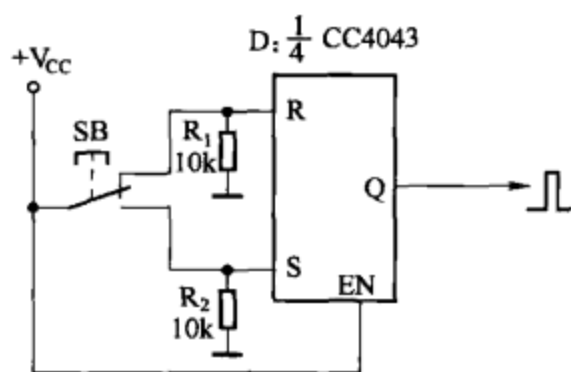


图 8-25

(2) 图 8-26 所示为 RS 触发器构成的触摸开关电路，“开”和“关”为两对金属触摸触点。当用手触摸“开”触点时，人体电阻将触点接通，电源电压 $+V_{CC}$ 加至 S 端使触发器置“1”，输出端 $Q=1$ ，晶体管 VT 导通，继电器 K 吸合，电灯 EL 点亮；当用手触摸“关”触点时，电源电压 $+V_{CC}$ 加至 R 端使触发器置“0”，晶体管 VT 截止，继电器释放，电灯熄灭。

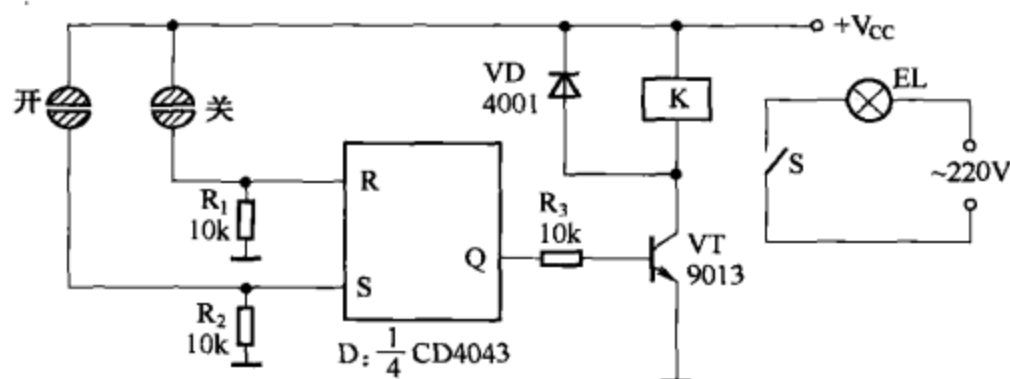


图 8-26

2. D 型触发器的应用

D 型触发器常用于数据锁存、计数、分频等电路中。

(1) 图 8-27 所示为 4 个 D 型触发器构成的 4 位数据锁存器电路， $D_1 \sim D_4$ 为数据输入端， $Q_1 \sim Q_4$ 为数据输出端。4 个 D 型触发器的时钟输入端并联，在时钟脉冲 CP 上升沿的触发下，将 $D_1 \sim D_4$ 端的数据输入触发器，并从 $Q_1 \sim Q_4$ 端输出。在下一个 CP 脉冲上升沿到来之前，即使 $D_1 \sim D_4$ 输入端的数据消失，其 $Q_1 \sim Q_4$ 输出端的数据仍不变，实现了所谓的“锁存”。

(2) 图 8-28 所示为 D 型触发器构成的三级分频电路。每个 D 型触发器的反相输出端 \bar{Q} 与自身的数据输入端 D 相连接，构成 2 分频单元。三级 2 分频单元串接可实现 8 分频电路。增加串接的分频单元的数量，即可相应增大分频比， n 级 2 分频单元串接可实现 2^n 分频。

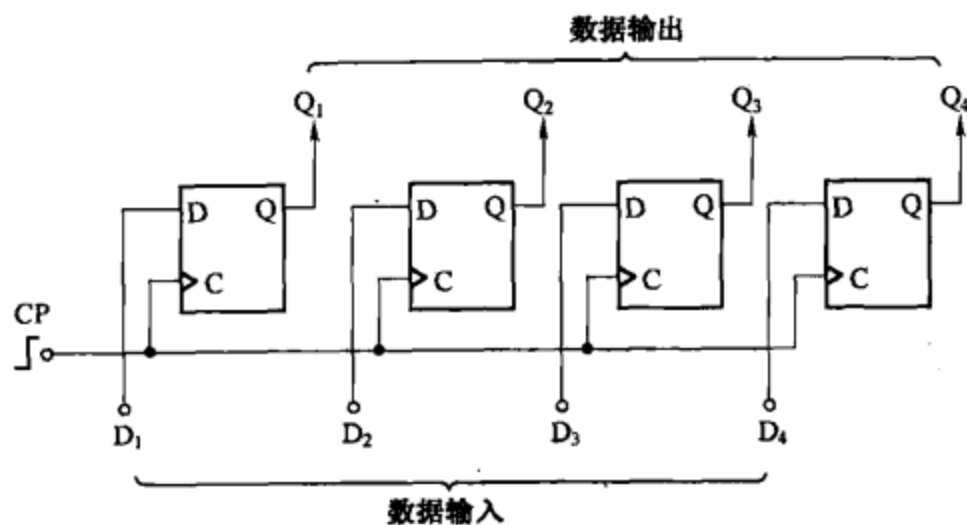


图 8-27

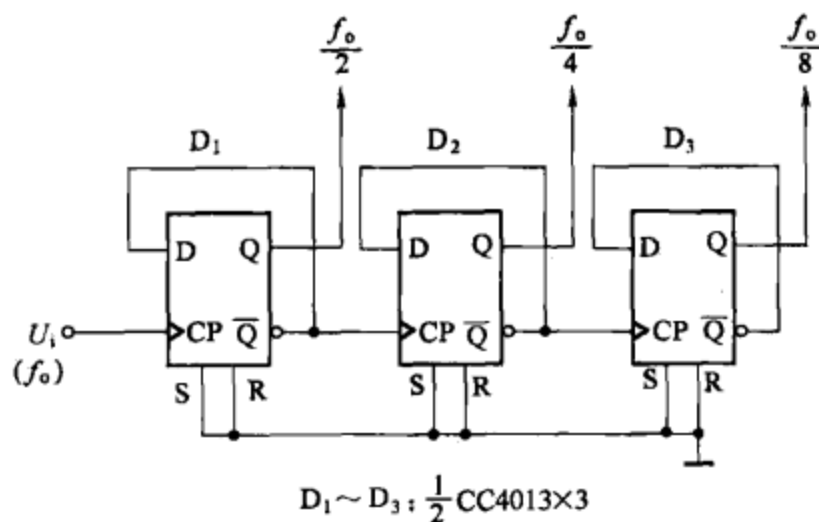


图 8-28

(3) 图 8-29 所示为 D 型触发器构成的第一信号鉴别电路。时钟控制锁存 D 型触发器 CD4042 的极性选择端 (POL) 固定为 “1”，时钟脉冲 $CP=1$ 时数据传输， $CP=0$ 时数据锁存。4 个输

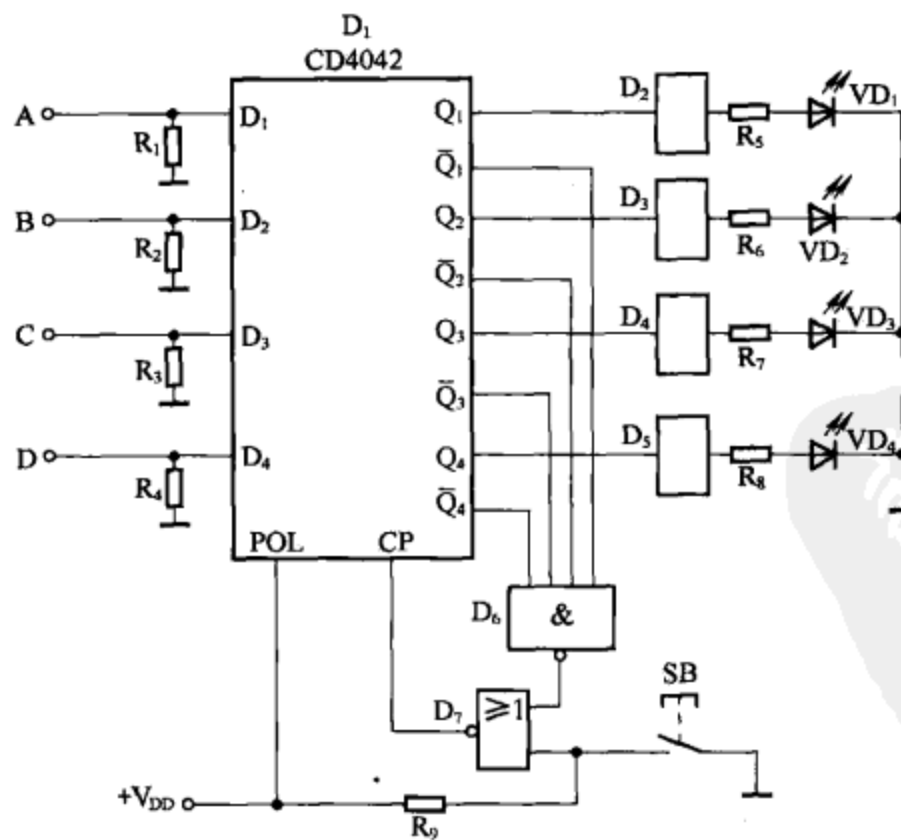


图 8-29

入端 A、B、C、D 中首先有一个为“1”时，其相应的反相输出端 $\bar{Q} = 0$ ，经与非门 D_6 和或非门 D_7 ，使 $CP = 0$ ，CD4042 进入锁存状态，其余输入端的“1”信号不再起作用。同时其相应的输出端 $Q = 1$ ，使发光二极管点亮，指示出第一信号。

3. 单稳态触发器的应用

单稳态触发器主要应用于脉冲信号展宽、整形、延迟电路，以及定时器、振荡器、数字滤波器、频率-电压变换器等电路中。

(1) 图 8-30 所示为单稳态触发器构成的 100ms 定时器电路，采用 TR_+ 输入端触发，每按下一次 SB，输出端 Q 便输出一个宽度为 100ms 的高电平信号。输出脉宽 T_w 由 R_1 和 C 决定， $T_w = 0.69R_1C$ 。改变定时元件 R_1 和 C 的大小，即可改变定时时间。

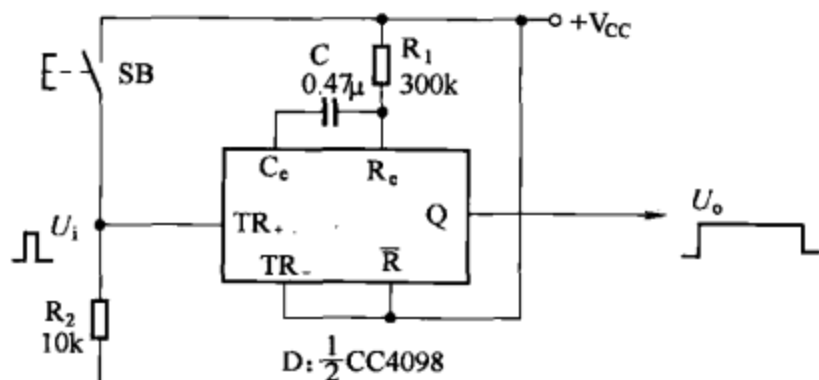


图 8-30

(2) 图 8-31 所示为带通数字滤波器电路，由两个单稳态触发器构成，单稳态触发器 D_1 的输出脉宽等于输入信号频率上限的周期，单稳态触发器 D_2 的输出脉宽等于输入信号频率下限的周期。当输入信号频率高于上限时， D_1 的反相输出端 $\bar{Q}_1 = 0$ ，关闭了与门 D_3 ，输出端 $U_o = 0$ 。当输入信号频率低于下限时， D_2 的输出端 $Q_2 = 0$ ，也使与门 D_3 关闭，输出端 $U_o = 0$ 。当输入信号频率在所限定的频率范围内， $\bar{Q}_1 = 1$ 和 $Q_2 = 1$ 时，与门 D_3 才打开，允许输入信号输出。由于 D_1 和 D_2 的输出脉宽分别由外接定时元件 R_1 和 C_1 、 R_2 和 C_2 的大小决定，所以可通过改变这些外接定时元件来选择通带频率的上、下限。

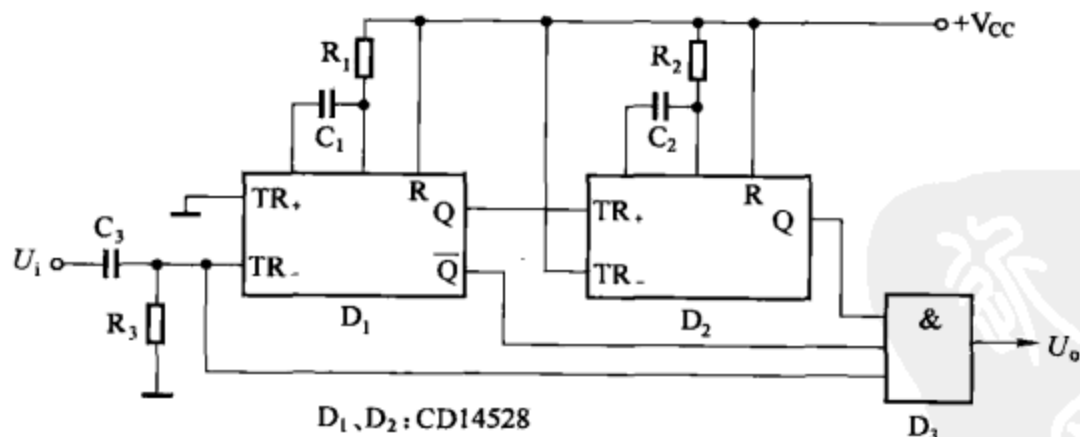


图 8-31

(3) 图 8-32 所示为脉冲延迟电路，由两个单稳态触发器 D_1 和 D_2 构成，可以将脉冲信号整体延迟一定时间。脉冲延迟时间由 D_1 的外接定时元件 R_1 和 C_1 的大小决定，延迟后的脉冲宽度由 D_2 的外接定时元件 R_2 和 C_2 的大小决定。

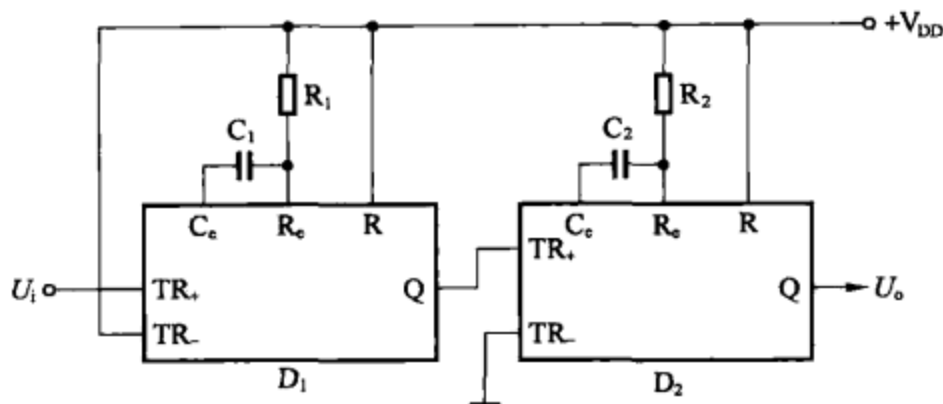


图 8-32

(4) 图 8-33 所示为频率-电压变换电路， R_2 、 C_2 构成积分网络连接于单稳态触发器输出端。频率-电压变换电路可将频率变化的方波信号转换为相应的电压信号，输入信号的频率越高，输出的电压也越高，从而完成对调频脉冲信号的解调。图 8-34 所示为输入、输出信号波形。

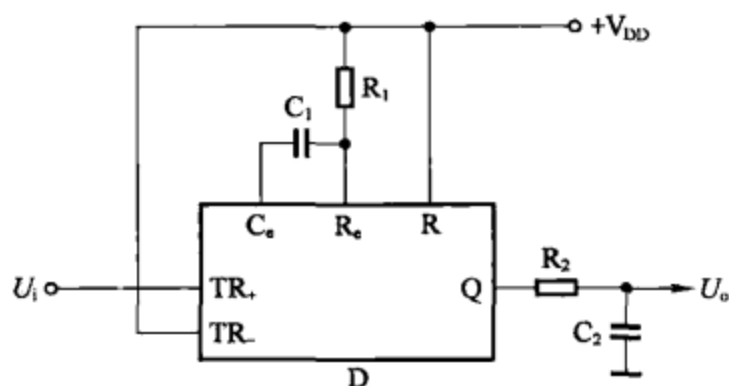


图 8-33

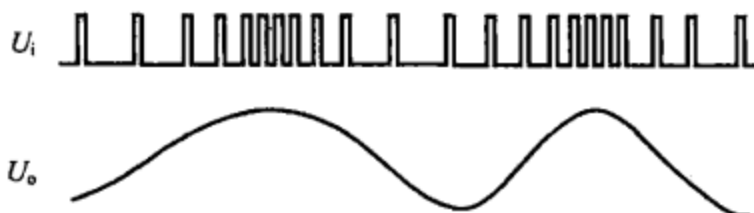


图 8-34

4. 施密特触发器的应用

施密特触发器常用于脉冲整形、电压幅度鉴别、模数转换、多谐振荡器以及接口电路等。

(1) 图 8-35 所示为光控电路，施密特触发器起整形作用。光线的缓慢变化由光电三极管 VT 接收转换为电信号，施密特触发器将缓慢变化的电信号整形成为边沿陡峭的脉冲信号输出。无光照时，光电三极管 VT 截止，施密特触发器输入端 $U_i = 0$ ；当有光照射到光电三极管 VT 时，VT 导通，使施密特触发器输入端为“0”，其输出端 $U_o = 1$ 。

(2) 图 8-36 所示为脉冲展宽电路，由非门 D_1 和施密特触发器 D_2 组成。当输入端有一正的窄脉冲 U_i 时， D_1 输出端为“0”，电容 C 经 VD 放电，施密特触发器 D_2 输出端 U_o 为“1”；当输入脉冲 U_i 结束后， U_o 并不随之结束，而是要等 C 上电压充电一定时间后， U_o 才变为“0”，从而使输入脉冲 U_i 得到展宽，展宽的宽度由 R、C 决定。

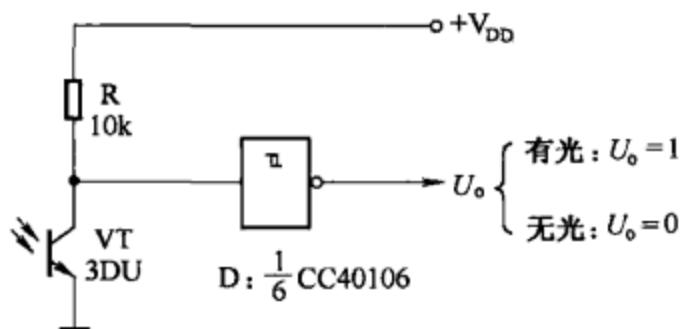


图 8-35

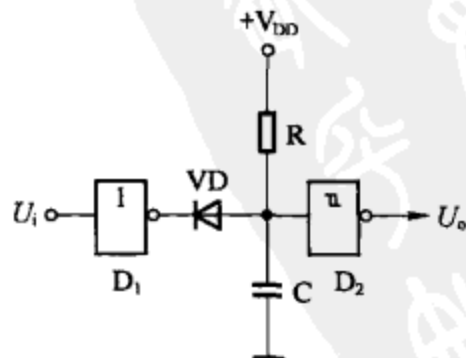


图 8-36



(3) 图 8-37 所示为脉冲延迟电路, 其输出脉冲相对于输入脉冲在时间上整体向后延迟了一定时间, 延迟量由 RC 网络决定。脉冲延迟电路由两个施密特触发器 D_1 和 D_2 等构成, 延迟时间为 1ms。在 D_1 的输入端接有 R_1 、 C_1 积分电路, 利用积分电容的充放电作用, 使输入脉冲延迟。

(4) 图 8-38 所示为多谐振荡器电路。施密特触发器组成多谐振荡器时电路非常简单, 仅需外接一个电阻和一个电容。电阻 R 跨接在施密特触发器 D 两端, 与电容 C 构成充放电回路, 决定多谐振荡器的振荡频率。改变 R 、 C 的大小即可改变振荡频率。同时, 振荡频率还与电路的电源电压 V_{DD} 、施密特触发器的正负阈值电压 U_{T+} 、 U_{T-} 有关。电路输出信号 U_o 为连续的脉冲方波。

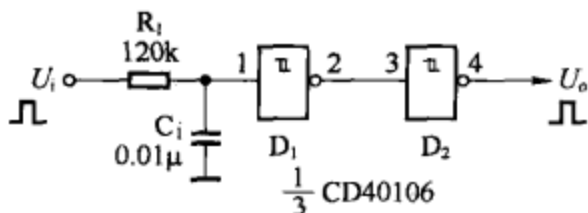


图 8-37

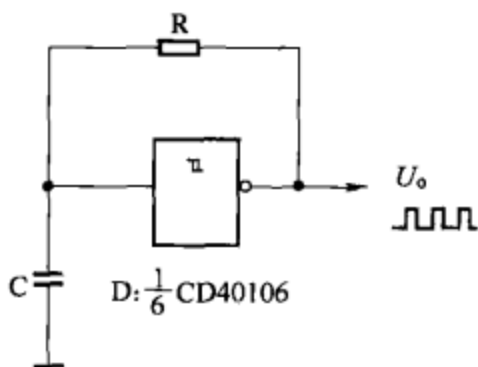


图 8-38



门老师: 门电路与触发器就讲到这里, 下面归纳一下本讲的主要内容。

- (1) 能够实现各种基本逻辑关系的电路通称为门电路。门电路是构成组合逻辑网络的基本部件, 也是构成时序逻辑电路的组成部件之一。
- (2) 基本门电路包括与门、或门、非门(反相器)、与非门、或非门等。
- (3) 常用门电路主要有 CMOS 门电路和 TTL 门电路。
- (4) 门电路具有广泛的用途, 主要用作逻辑控制, 以及组成振荡器、触发器等, 还可以用作模拟放大器。
- (5) 触发器是时序电路的基本单元, 在数字信号的产生、变换、存储、控制等方面应用广泛, 可分为 RS 触发器、D 型触发器、JK 触发器、单稳态触发器和施密特触发器等。
- (6) RS 触发器即复位-置位触发器, 是最简单的基本触发器, 也是构成其他复杂结构触发器的组成部分之一。
- (7) D 型触发器又称为延迟触发器, 其输出状态的改变依赖于时钟脉冲的触发, 即在时钟脉冲边沿的触发下, 数据由输入端传输到输出端。
- (8) 单稳态触发器输入一个触发脉冲, 其输出端即输出一个恒定宽度的矩形脉冲, 该矩形脉冲的宽度由外接定时元件决定。
- (9) 施密特触发器的特点是, 可将缓慢变化的电压信号转变为边沿陡峭的矩形脉冲。

第3讲 计数器与译码器



门老师：现在讲第3讲计数器与译码器，主要内容包括计数器的概念、种类和特点，计数器的应用，译码器的概念、种类和特点，译码器的应用等。

8.3.1 什么是计数器

计数器是数字系统中应用最多的时序电路。计数器是一个记忆装置，它能对输入的脉冲按一定的规则进行计数，并由输出端的不同状态予以表示。

图 8-39 所示为无预置数输入端计数器的一般电路符号，CP 为串行数据输入端， $Q_1 \sim Q_n$ 为输出端。

图 8-40 所示为有预置数输入端（并行数据输入端）计数器的一般电路符号，CP 为串行数据输入端（计数输入端）， $P_1 \sim P_n$ 为并行数据输入端（预置数端）， $Q_1 \sim Q_n$ 为输出端。

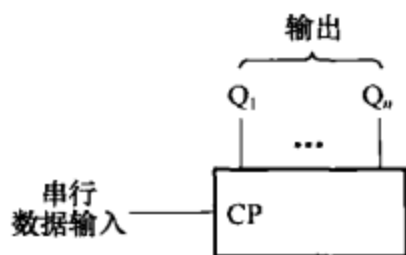


图 8-39

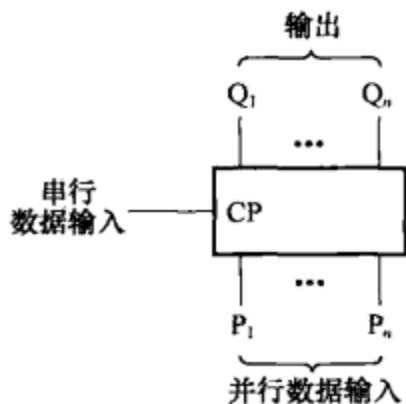


图 8-40

8.3.2 计数器的种类与特点

计数器种类繁多，通常分为同步计数器和异步计数器两大类。

按操作码制可分为二进制码计数器、BCD 码（二-十进制）计数器、八进制和十进制约翰逊码计数器等。

按功能可分为加计数器、减计数器、加/减计数器、可预置计数器、可编程计数器、计数/分配器等。

按时钟结构可分为单时钟计数器和双时钟计数器。

集成计数器电路具有很多品种，例如加计数器、减计数器、加/减计数器、可预置计数器、可编程计数器、计数/分配器等，如图 8-41 所示。

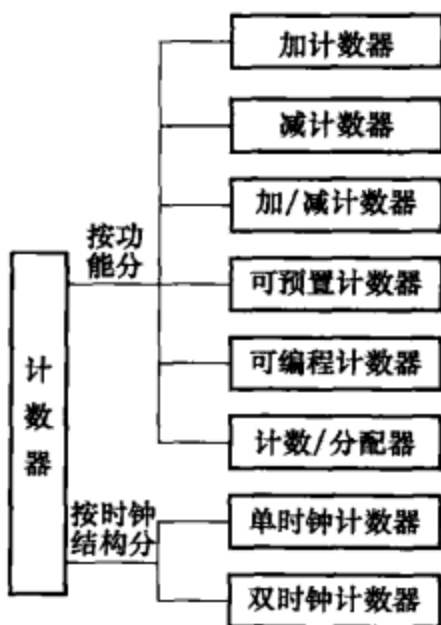


图 8-41

8.3.3 怎样应用计数器

计数器主要应用于计数、分频、定时、脉冲分配和秒脉冲发生等电路。

1. 计数

计数器可以构成加法计数器、减法计数器和加/减两用计数器等。

(1) 图 8-42 所示为 8 位二进制加法计数器电路，由两块 4 位集成计数器 CC4520 串行级联而成，计数信号由 D_1 的 CP 端输入，计数结果由 8 位二进制码表示，最大计数值为 $2^8 - 1 = 255$ 。SB 为清零按钮。

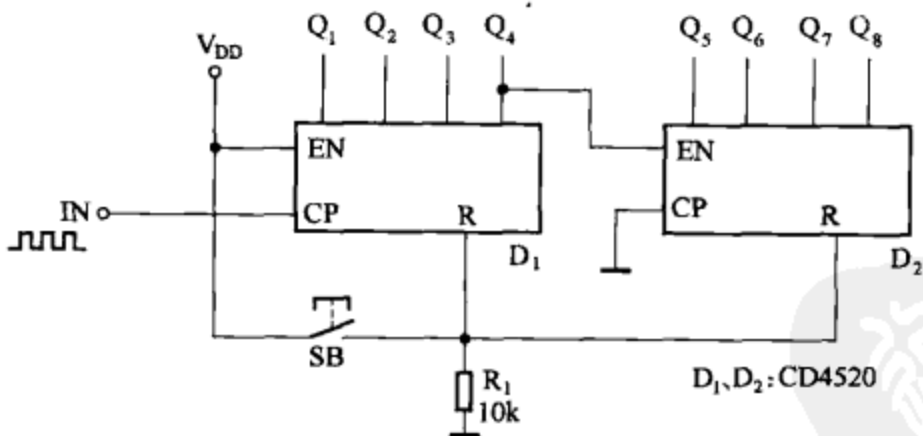


图 8-42

(2) 图 8-43 所示为 CC14526 构成的可预置数的 4 位二进制减法计数器电路。 $S_1 \sim S_4$ 为预置数 ($D_1 \sim D_4$) 的设置开关，合上为“1”，断开为“0”。 S_6 为送数开关，合上时预置数被送入计数器内， $Q_1 \sim Q_4 = D_1 \sim D_4$ 。计数信号由 CP 端输入作减法计数。 S_5 为清零按钮。

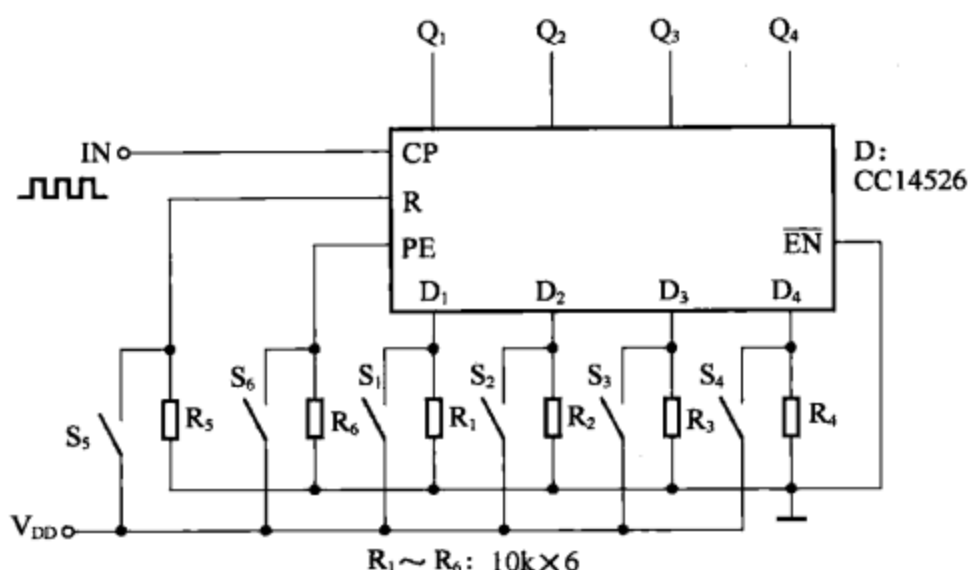


图 8-43

(3) 图 8-44 所示为可预置数的 BCD 码加/减两用计数器电路，采用 CC4510 构成，既可作加法计数，又可作减法计数，由开关 S_3 控制。 S_3 接电源电压 V_{DD} 时电路为加法计数器， S_3 接地时电路为减法计数器。输出为由 4 位二进制数（8421 码）表示的十进制数。 S_1 为送数开关， S_2 为清零按钮。

(4) 图 8-45 所示为十进制计数器。采用十进制计数/分配器 CD4017 构成，计数状态由 CD4017 的 10 个译码输出端 $Y_0 \sim Y_9$ 显示。每一时刻 $Y_0 \sim Y_9$ 中只有一个输出端为“1”，且与计数个数相对应，其余输出端皆为“0”。每输入 10 个脉冲，进位输出端 Q_{CO} 端输出一个进位脉冲。

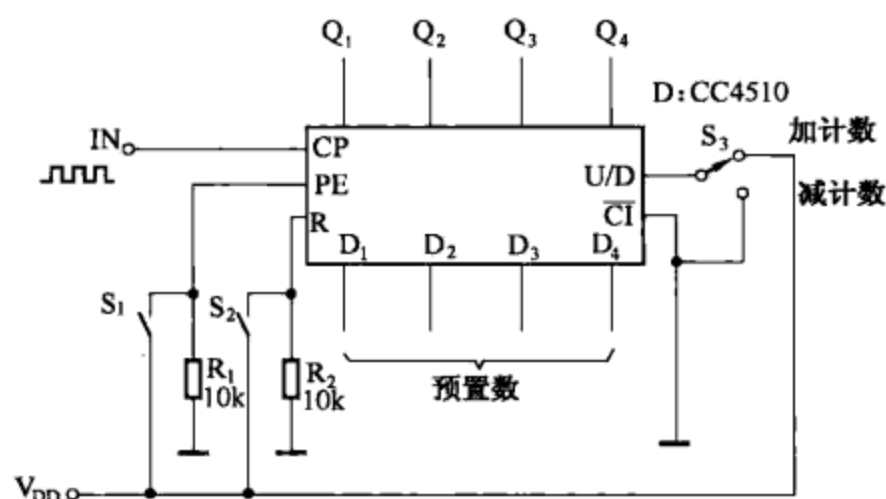


图 8-44

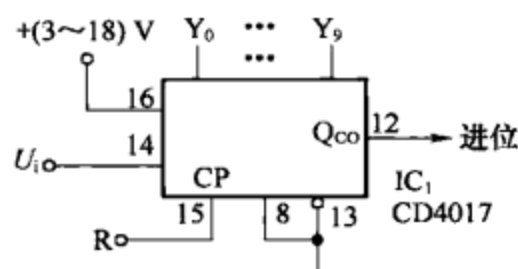


图 8-45



王小帅：看来计数器的用途就是用来计数啦。



门老师：计数是计数器的最基本的用途，除此之外，计数器还可以有许多用途。

2. 分频

计数器可用作各种类型的分频器。

(1) 图 8-46 所示为采用 12 位二进制串行计数器 CC4040 构成的十二级分频器电路，被分频信号由 CP 端输入，分频后的信号分别由 $Q_1 \sim Q_{12}$ 输出，最小分频数为 $2^1 = 2$ ，最大分频数为



$2^{12} = 1096$, 即 Q_1 端的输出信号频率为输入信号的 $\frac{1}{2}$, Q_{12} 端的输出信号频率为输入信号的 $\frac{1}{4096}$ 。

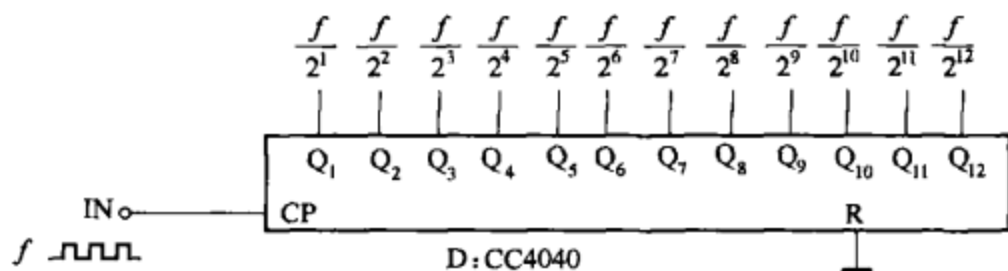


图 8-46

(2) 图 8-47 所示为 $\frac{1}{60}$ 分频器电路。电路由二进制异步计数器 CC4024 (D_1), 非门 D_2 , 与非门 D_3 、 D_4 , 或非门 D_5 、 D_7 , D 型触发器 D_6 等组成。当输入第 60 个计数脉冲时, D 型触发器 D_6 输出为高电平, 第 60 个计数脉冲的下降沿经或非门 D_7 形成复位脉冲, 加至 CC4024 清零端使其清零复位, 实现 $\frac{1}{60}$ 分频。

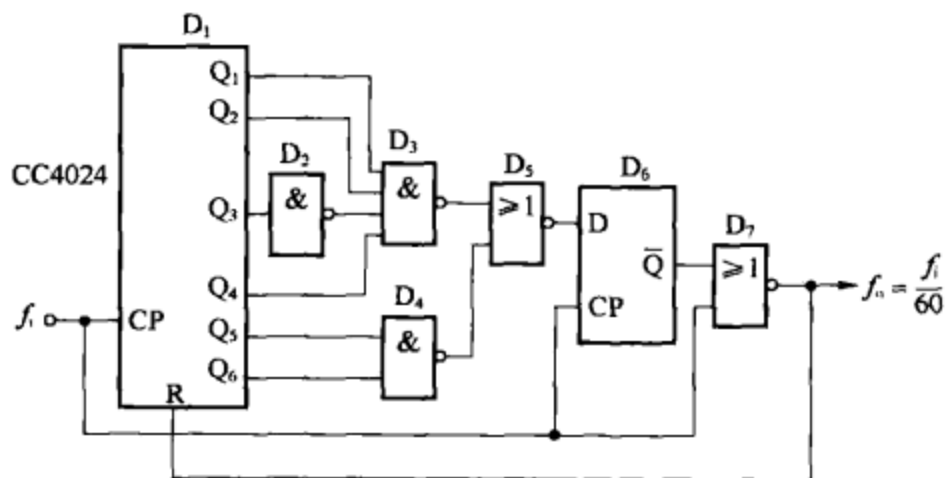


图 8-47

3. 定时

图 8-48 所示为采用 14 位二进制计数器 CC4060 构成的多路定时器电路, 具有 10 个输出端 ($Q_4 \sim Q_{10}$ 、 $Q_{12} \sim Q_{14}$), 可同时输出 10 种定时时间, 以分别控制 10 个负载。CC4060 内部包含多谐振荡器和 14 级二分频器。

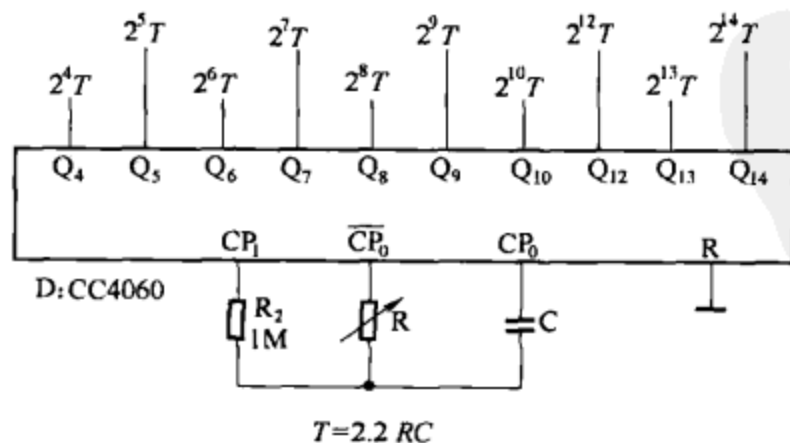


图 8-48

多谐振荡器的作用是产生时钟脉冲，电路的基本定时时间 T 等于一个时钟脉冲周期，调节外接定时元件 R 或 C 的大小即可改变基本定时时间。

10 个输出端的定时时间分别为基本定时时间 T 的 2^n 倍，最小为 2^4T ($16T$)，最大为 $2^{14}T$ ($16384T$)。如果取 $R = 68k\Omega$ 、 $C = 6.8\mu F$ ，则 $T = 2.2 RC \approx 1s$ ，那么电路最小定时时间为 $16s$ ，最大定时时间可达 4 个半小时以上。定时时间到时，相应的输出端输出一个“1”信号。

4. 脉冲分配

图 8-49 所示为采用 CC4017 构成的十进制计数分配器电路，可对脉冲信号进行分配。脉冲信号由 CP 端输入，“1”信号依次出现在 $Y_0 \sim Y_9$ 10 个输出端上，实现了对脉冲信号的十进制分配。SB 为清零按钮。

5. 秒脉冲发生

图 8-50 所示为采用 CD4060 构成的石英晶体秒脉冲发生器。CD4060 内含振荡器，制作秒脉冲发生器具有电路简洁、工作可靠、成本低、精度高的特点。CD4060 的⑩脚和⑪脚的内部门电路与外接的晶体元件等构成典型的晶体振荡器，振荡频率由晶体 B 决定 ($32768Hz$)，调节 C_2 可微调振荡频率。32768Hz 的振荡信号由 CD4060 内部的 14 级二进制分频器分频后，从③脚输出 2Hz 脉冲信号，再由 D_1 进行一次二分频，即得到 1Hz 的标准秒脉冲信号。

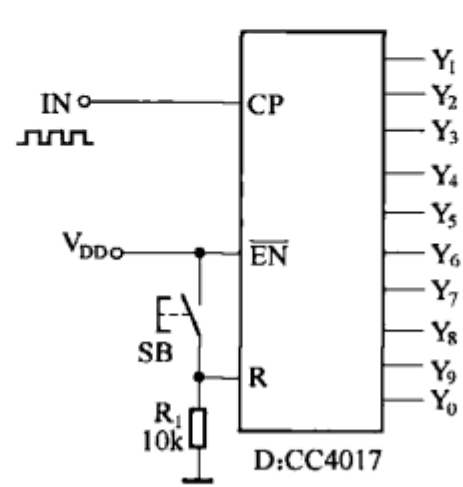


图 8-49

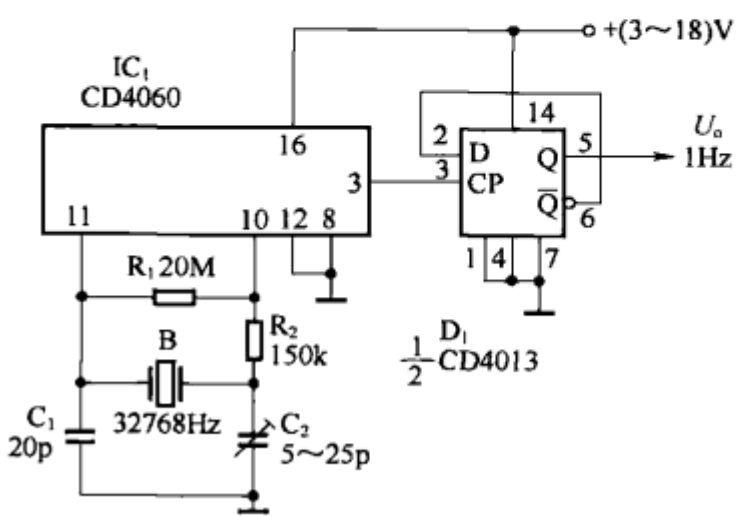


图 8-50

8.3.4 什么是译码器

译码器是一种组合电路，其功能是将一种数码转换成另一种数码。译码器的输出状态是其输入信号各种组合的结果，用以控制后续电路或者驱动显示器实现数码的显示。

8.3.5 译码器的种类与特点

译码器可分为显示译码器和数码译码器两大类。

1. 显示译码器的种类与特点

显示译码器有许多类型,如图 8-51 所示。按工作码可分为:BCD 码-8 段显示译码器、BCD 码-7 段显示译码器、六进制计数-7 段显示译码器、十进制计数-7 段显示译码器、十进制加/减计数-7 段显示译码器等。

按所驱动显示器的不同可分为驱动荧光数码管、驱动 LED (发光二极管) 数码管、驱动 LCD (液晶) 数码管以及可驱动多种数码管的显示译码器。

显示译码器的特点是将输入信号译码后直接驱动显示器件显示出数码来。

(1) 图 8-52 所示为 BCD 码-7 段显示译码器电路符号, A、B、C、D 为 4 个 BCD 码输入端; a~g 为 7 个输出端, 分别控制 7 段数码管的 7 个笔画。当输入 4 位 BCD 码时, 相应的输出端便会驱动 7 段数码管显示出该 4 位 BCD 码所代表的十进制数字。

(2) 图 8-53 所示为十进制计数-7 段显示译码器电路符号, CP 为脉冲信号输入端, R 为清零端; a~g 为 7 个输出端。当 CP 端有脉冲信号输入时, 电路便对其计数, 并将计数结果通过 7 个输出端驱动 7 段数码管显示出来。

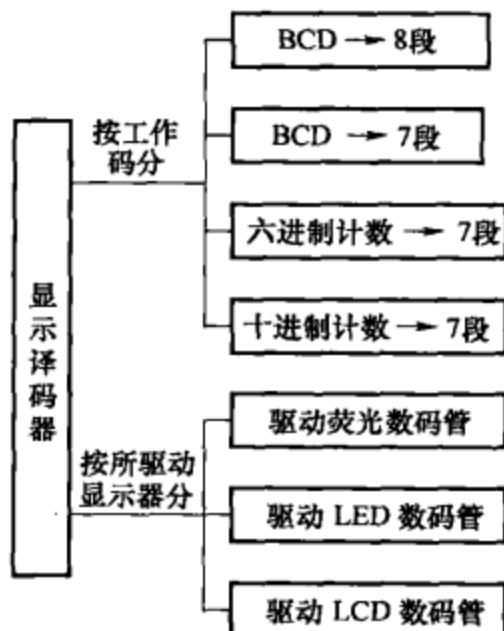


图 8-51

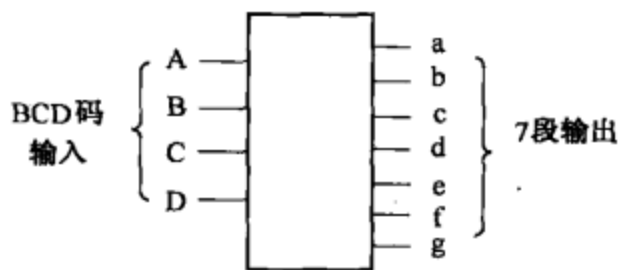


图 8-52

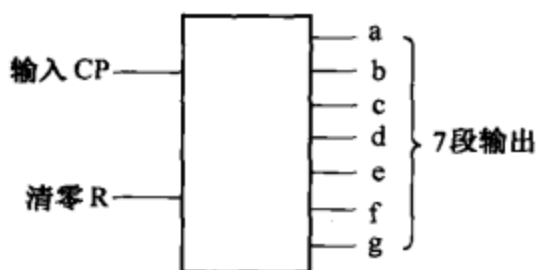


图 8-53

2. 数码译码器的种类与特点

数码译码器也有多种,如图 8-54 所示。有 BCD 码-十进制码译码器、十进制码-BCD 码译码器、4 线-16 线译码器、4 选 1 译码/分离器等。

图 8-55 所示为数码译码器电路符号, 具有若干个输入端 (A, B...n) 和若干个输出端 ($Y_1, Y_2 \dots Y_n$), 一种数码从输入端输入, 从输出端即可得到另一种数码。

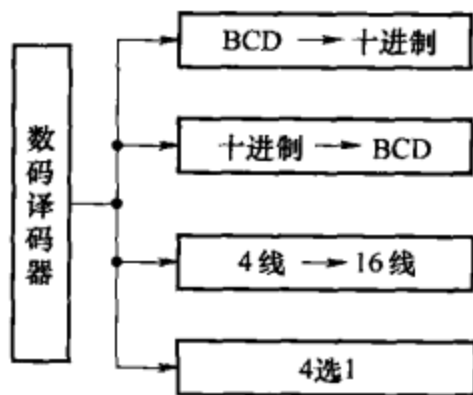


图 8-54

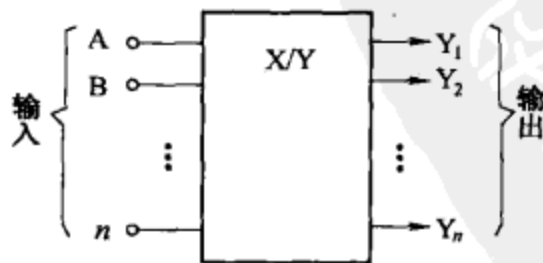




图 8-55


数码译码器的特点是能够将一种数码转换为另一种数码。




李蕾蕾：门老师，显示译码器是不是要和数码管结合起来才能够显示数字啊？



门老师：当然需要有数码管来承担显示任务。



王小帅：既然还是需要数码管，那它怎么叫做显示译码器呢？



门老师：显示译码器的概念是指，它能够将编码信号直接译成数码管的驱动信号。下面我给同学们举例说明。

8.3.6 怎样应用译码器

1. 显示译码器的作用

显示译码器的作用是译码并驱动显示。

(1) 图 8-56 所示为采用十进制计数/7 段译码器 CD4033 等构成的六进制计数显示电路。D 型触发器 D₁ 和与非门 D₂~D₄ 构成附加控制电路。CD4033 对 1~5 个脉冲正常计数，当第 6 个脉冲到来时，附加控制电路（D₄ 的⑩脚）输出一个“1”脉冲，使 CD4033 计数器复位为“0”，同时送出一个进位脉冲。下一个脉冲到来时，计数器重新开始计数。六进制计数器可用于分、秒的十位计数。

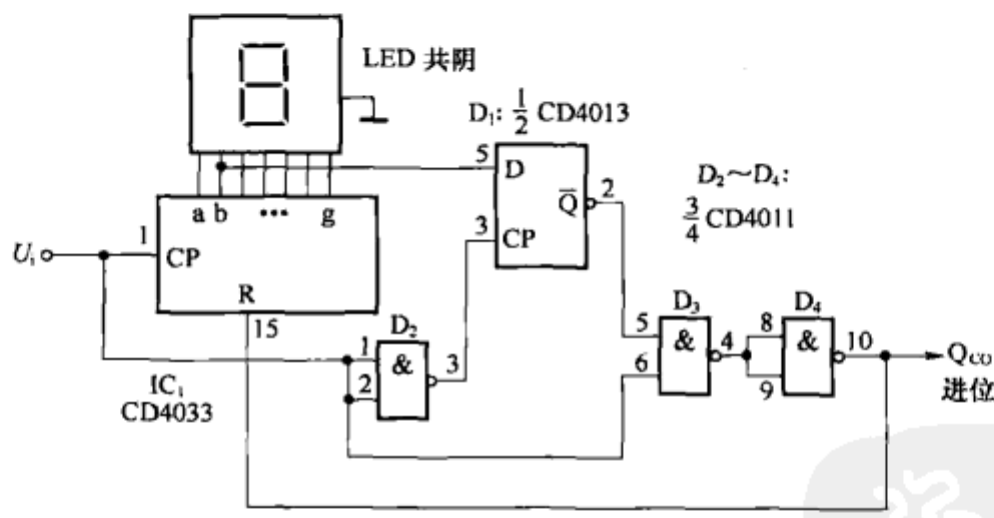


图 8-56

(2) 图 8-57 所示为一位 BCD 码译码显示电路，采用 BCD 码锁存/7 段译码/驱动集成电路 CC14544 构成。BCD 码由输入端 A、B、C、D 并行输入，经 CC14544 译码后，驱动共阴极 LED 数码管显示出相应数字。如需要驱动共阳极 LED 数码管，则将 CC14544 的“DFI”端改接到 V_{DD} 即可。

(3) 图 8-58 所示为两位十进制计数显示电路，由两块十进制计数/7 段译码/驱动集成电路



CC4033 (D_1 、 D_2) 组成。脉冲信号由 D_2 的 CP 端串行输入，计数结果由两个共阴极 LED 数码管显示出两位数字，最大计数值为“99”。SB 为清零按钮。

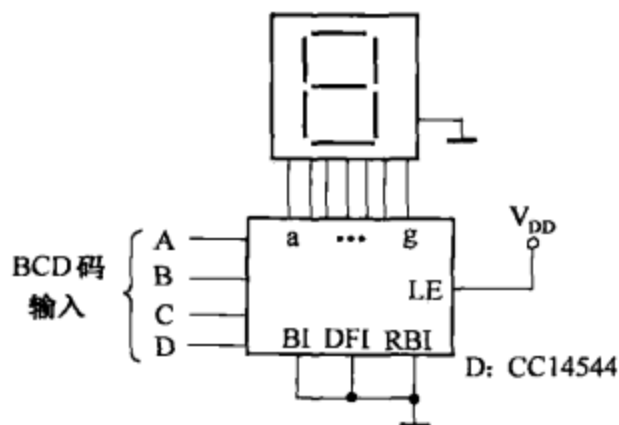


图 8-57

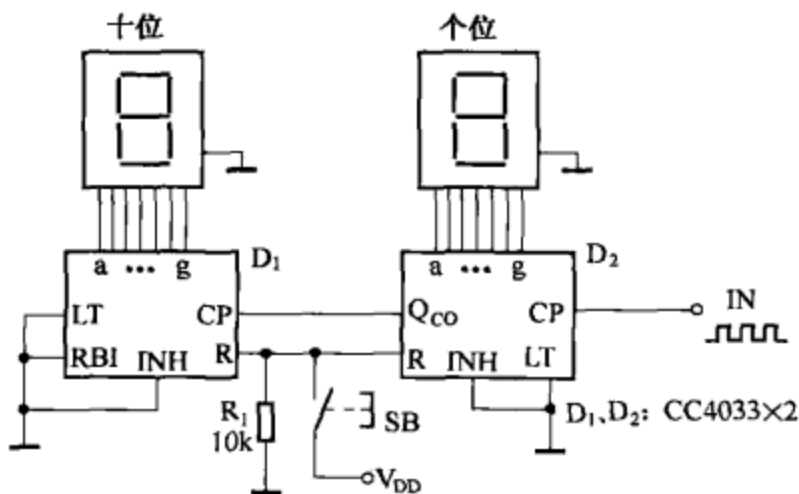


图 8-58

2. 数码译码器的作用

数码译码器的作用是进行数码转换。

(1) 图 8-59 所示为采用 CC4028 的 BCD 码-十进制码译码器。输入信号为 4 位 BCD 码，从 A、B、C、D 4 个输入端输入，输出信号则是十进制码 ($Y_0 \sim Y_9$ 依次为“1”)。由于 4 位 BCD 码具有 16 种状态，而表示十进制数只需要前 10 种状态，因此后 6 种状态称为“伪码”。CC4028 的逻辑设计采用拒绝伪码方案，当输入代码为“1010”~“1111”时，所有输出端均为 0。利用 CC4028 输入端中的 A、B、C 3 位二进制输入，可得到八进制码输出。

(2) 图 8-60 所示为采用 CC4514 的 4 线-16 线译码器，同样具有 4 个输入端 A、B、C、D，但具有 16 个输出端 $Y_0 \sim Y_{15}$ 。输入信号是 4 位二进制码，输出信号则是十六进制码 ($Y_0 \sim Y_{15}$ 依次为“1”)。

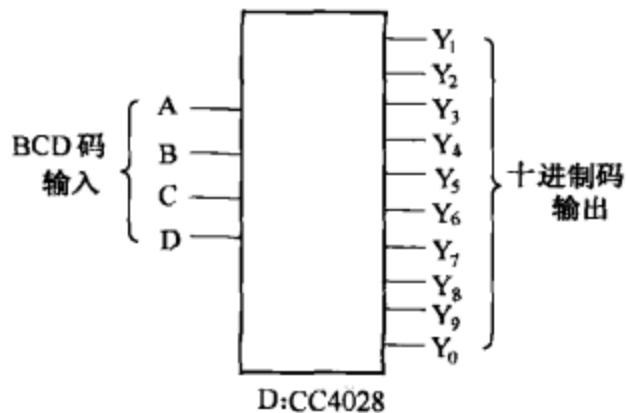


图 8-59

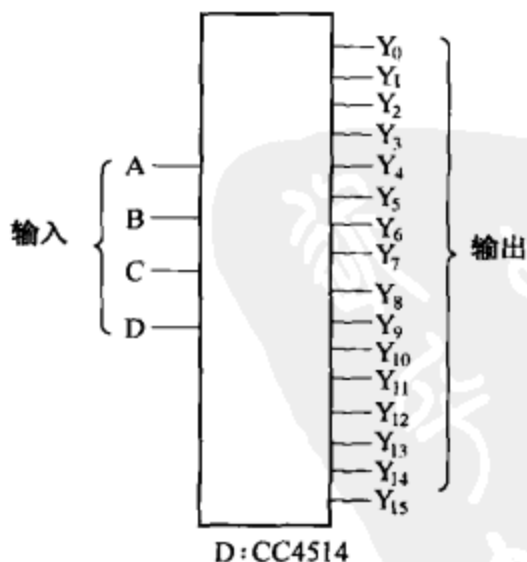


图 8-60



门老师：现在我们将本讲计数器与译码器的知识点归纳一下。

- (1) 计数器是数字系统中应用最多的时序电路。计数器是一个记忆装置，它能对输入的脉冲按一定的规则进行计数，并由输出端的不同状态予以表示。
- (2) 计数器分为同步计数器和异步计数器两大类，主要应用于计数、分频、定时、脉冲分配等电路。
- (3) 译码器是一种组合电路，其功能是将一种数码转换成另一种数码。
- (4) 译码器可分为显示译码器和数码译码器两大类。显示译码器的特点是将输入信号译码后直接驱动显示器件显示出数码来。数码译码器的特点是能够将一种数码转换为另一种数码。



第 4 讲 移位寄存器



门老师：下面我们讲第 8 课的第 4 讲移位寄存器，主要内容是移位寄存器的概念、移位寄存器的种类和特点、移位寄存器的应用等。

8.4.1 什么是移位寄存器

移位寄存器是一种时序电路，它不仅可以寄存数据，而且还具有移位的功能，即移位寄存器里存储的数据，可以在时钟脉冲的作用下逐步右移或左移。移位寄存器是数字系统和电子计算机中的一个重要部件，在数据寄存、传送、延迟、串/并转换或并/串转换等方面应用广泛。

8.4.2 移位寄存器的种类与特点

移位寄存器种类很多。按输入方式可分为串行输入、并行输入、串/并行输入等；按输出方式可分为串行输出、并行输出、串/并行输出等；按移位方向可分为右移、左移、双向移位等，如图 8-61 所示。

1. 右移移位寄存器

图 8-62 所示为 4 位右移移位寄存器原理示意图。串行数据从 D 端输入，在时钟脉冲 CP 的作用下逐步向右移位，经过 4 个 CP 周期后从 Q_4 端串行输出。 $Q_1 \sim Q_4$ 为并行数据输出端， $P_1 \sim P_4$ 为并行数据输入端。

2. 左移移位寄存器

图 8-63 所示为 4 位左移移位寄存器原理示意图。串行数据从 D 端输入，在时钟脉冲 CP 的作用下逐步向左移位，经过 4 个 CP 周期后从 Q_1 端串行输出。 $Q_1 \sim Q_4$ 为并行数据输出端， $P_1 \sim P_4$ 为并行数据输入端。

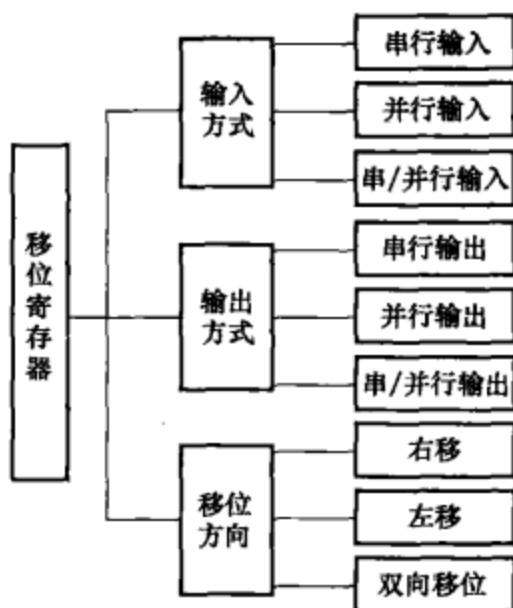


图 8-61

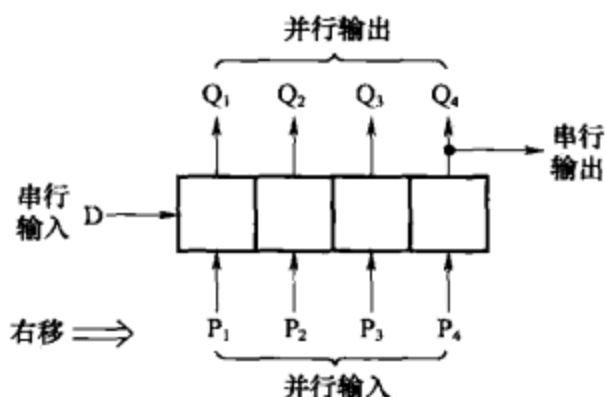


图 8-62

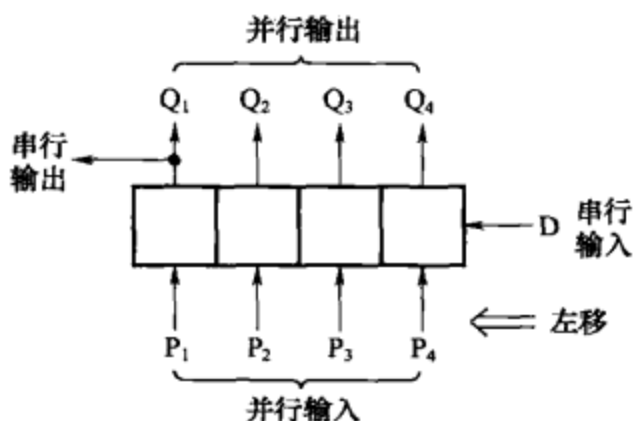


图 8-63



李蕾蕾：移位寄存器有什么用途呢？请门老师给我们讲讲。



门老师：移位寄存器具有很多用途。过年过节时同学们都看过流光溢彩的彩灯吧，彩灯的控制电路里往往都有移位寄存器的身影。

8.4.3 怎样应用移位寄存器

移位寄存器的主要作用是数据寄存移位、串行/并行数据转换、并行/串行数据转换和脉冲序列发生等。

1. 数据寄存移位

图 8-64 所示为彩灯控制器电路，采用了两块 4 位静态移位寄存器 CC4035，其 8 个寄存单元连接成环形，8 个输出端可控制 8 路彩灯。彩灯的初始状态由预置数开关 $S_1 \sim S_8$ 设置，开关闭合为“1”、断开为“0”。按下送数按钮 SB 时预置数进入移位寄存器， $Q_1 \sim Q_8$ 等于 $P_1 \sim P_8$ 。松开 SB 后，移位寄存器各单元的数据便在时钟脉冲的作用下周而复始地向右移动，由 $Q_1 \sim Q_8$

控制的彩灯也就流动起来。非门 D_1 、 D_2 等构成多谐振荡器，为移位寄存器提供时钟脉冲，调节 R_{11} 可改变振荡频率，即调节了彩灯的流动速度。

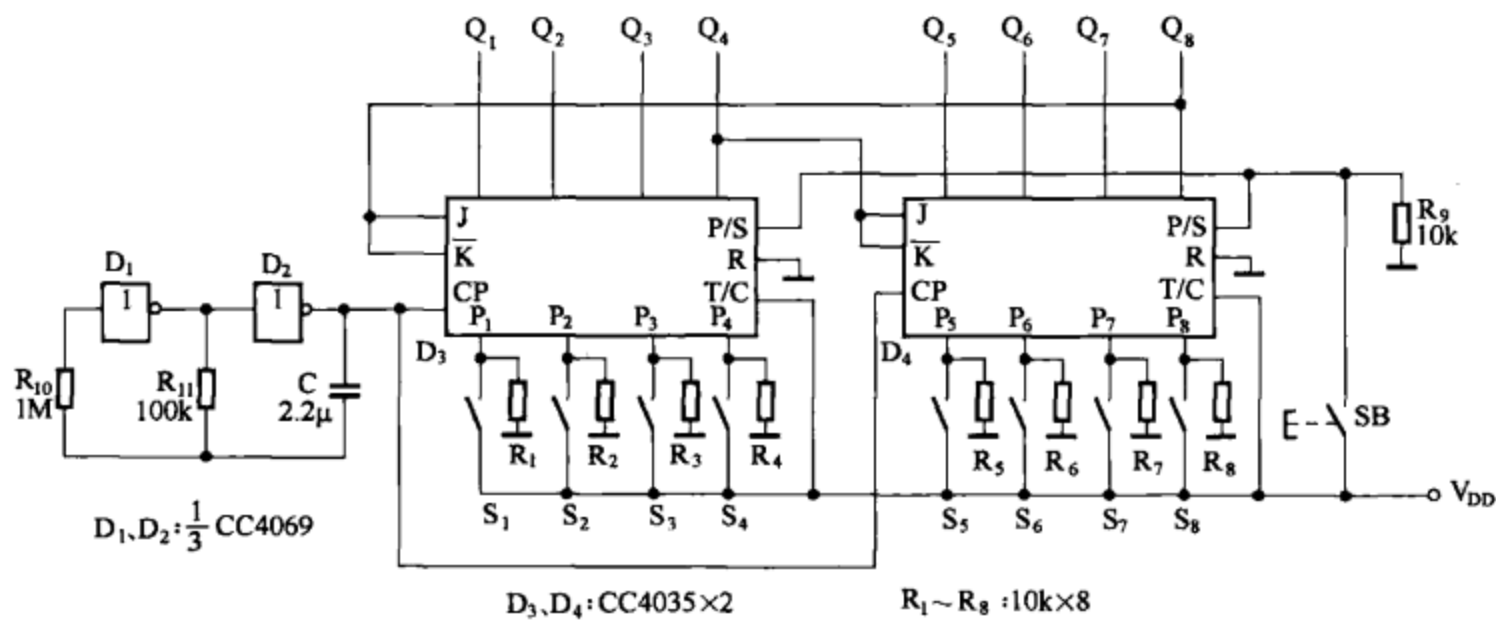


图 8-64

2. 双向移位

图 8-65 所示为 CC40194 构成的 4 位双向移位寄存器电路，它既可以右移，也可以左移；既可以串行输入输出，也可以并行输入输出。CC40194 具有两个控制端 ST_1 和 ST_2 ，用以控制移位寄存器的置数、右移、左移、保持等功能，见表 8-8。

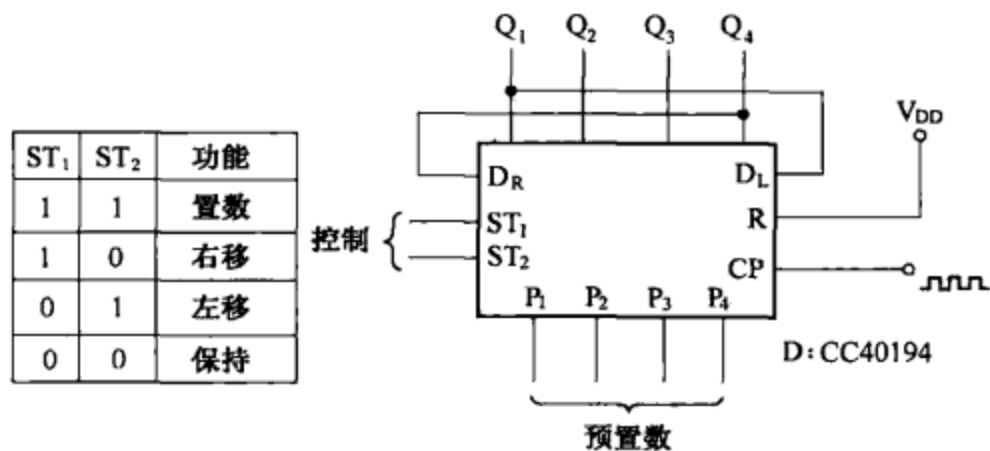


图 8-65

▼ 表 8-8

CC40194 控制功能表

控制端		功能
ST_1	ST_2	
1	1	置 数
1	0	右 移
0	1	左 移
0	0	保 持

3. 串行/并行数据转换

图 8-66 所示为 8 位串行/并行数据转换电路。IC₁ 为串入/并出移位寄存器 CD4015，内含两组独立的 4 位移位寄存器，将其级联使用构成 8 位移位寄存器。IC₁ 的 8 个并行数据输出端 Q₁~Q₈ 分别经 8 个与门 D₁~D₈ 输出。IC₂ 为八进制计数分配器 CD4022，其输出端 Y₀ 控制着 8 个与门。

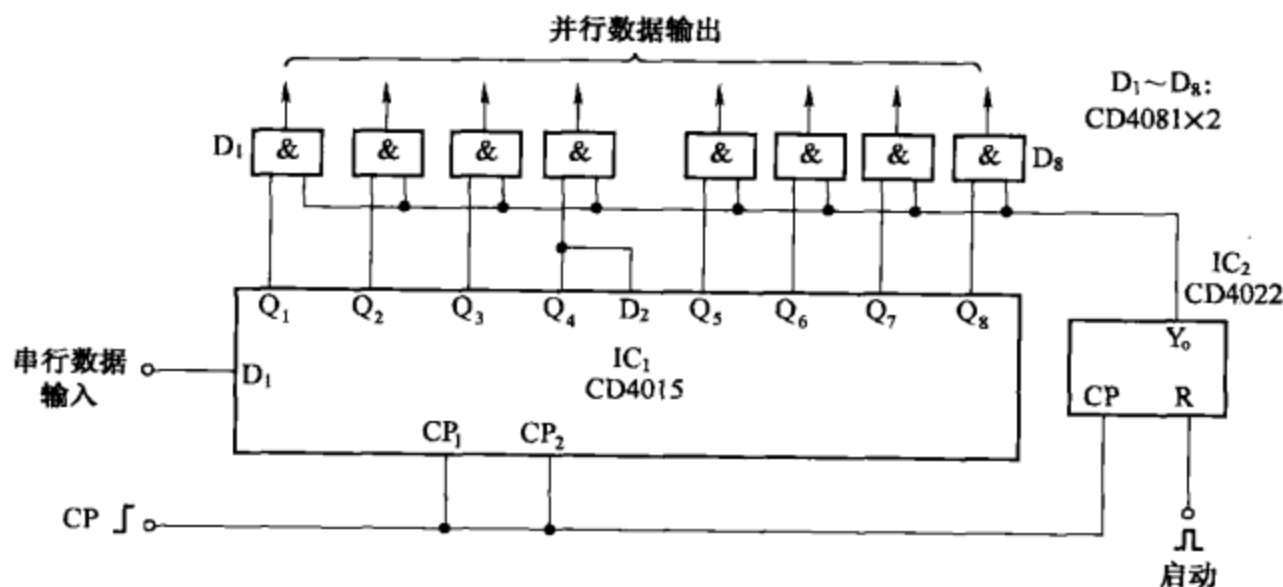


图 8-66

当在 IC₂ 的启动端加上一正脉冲时，Y₀ = 1，与门 D₁~D₈ 打开，IC₁ 输出端 Q₁~Q₈ 的数据并行输出。在时钟脉冲 CP 上升沿的作用下，串行输入数据由 D₁ 端逐步移入 IC₁，每经过 8 个时钟脉冲，IC₁ 中的数据全部更新一次。同时，每经过 8 个时钟脉冲，IC₂ 的 Y₀ 端输出一个“1”信号，打开 8 个与门使数据并行输出。

4. 并行/串行数据转换

图 8-67 所示为 8 位并行/串行数据转换电路。IC₁ 为八进制计数分配器 CD4022。IC₂ 为 8 位并入/串出移位寄存器 CD4014，并行数据由 P₁~P₈ 端输入，串行数据由 Q₈ 端输出。P/S 端为并行/串行控制端，它受 IC₁ 输出端 Y₀ 的控制。

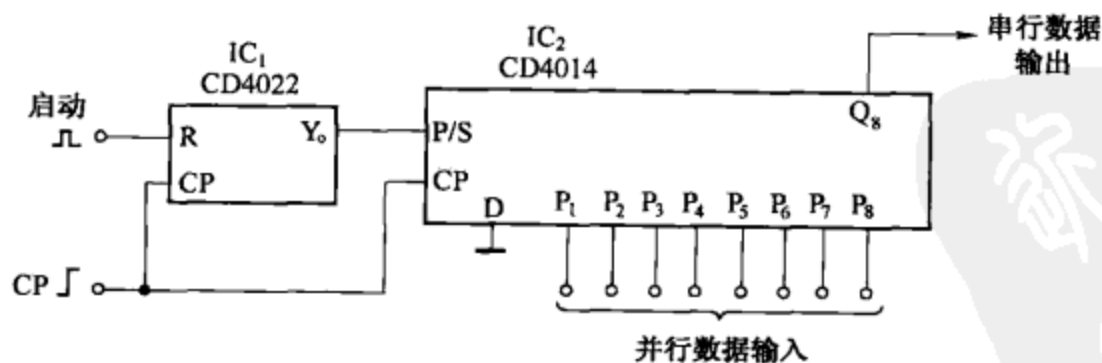


图 8-67

每经过 8 个时钟脉冲，IC₁ 的 Y₀ 端便输出一个“1”，使 IC₂ 的控制端 P/S = 1，P₁~P₈ 端的输入数据并行进入 IC₂；然后 Y₀ = P/S = 0，IC₂ 中的数据在时钟脉冲 CP 上升沿的作用下右移并

从 Q_8 端串行输出。

5. 脉冲序列发生

图 8-68 所示为由 6 位移位寄存器组成的伪随机码脉冲序列发生器电路。第五位和第六位移位寄存器的 Q 输出端接到异或非门 D_7 的输入端， D_7 的输出信号反馈到第一位移位寄存器的数据输入端。R 为清零端。该电路可产生脉冲序列长度为 63 的伪随机码。

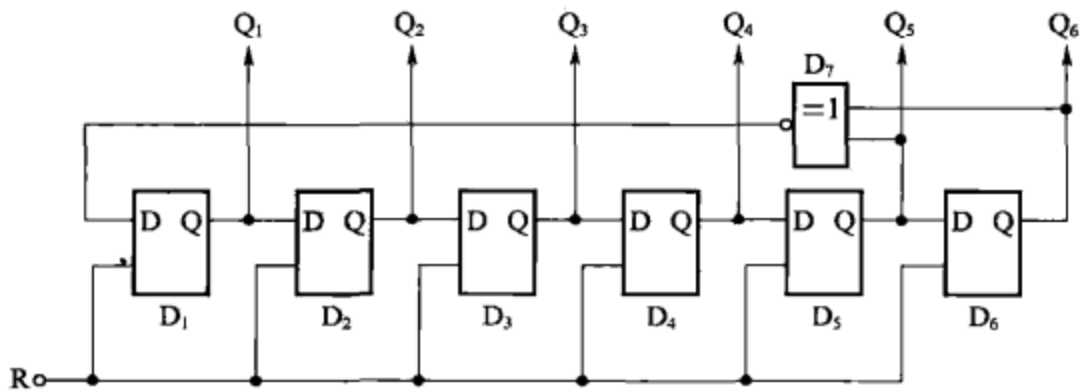


图 8-68

门老师：移位寄存器同学们都懂了吧。王小帅同学，请你归纳一下。

王小帅：我认为移位寄存器的主要知识点有以下几个。

- (1) 移位寄存器是一种时序电路，它不仅可以寄存数据，而且还具有移位的功能，即移位寄存器里存储的数据，可以在时钟脉冲的作用下逐步右移或左移。
- (2) 移位寄存器有串行输入、并行输入、串/并行输入，串行输出、并行输出、串/并行输出，右移、左移、双向移位等种类。
- (3) 移位寄存器的主要作用是数据寄存移位、串/并行数据转换、并/串行数据转换和脉冲序列发生等。

第5讲 模拟开关与运算电路

门老师：下面我们讲第 8 课的第 5 讲模拟开关与运算电路，主要包括模拟开关的概念、种类和特点，模拟开关的应用，运算电路的概念、种类和特点，运算电路的应用等。

8.5.1 什么是模拟开关

模拟开关是用 CMOS 电子电路模拟开关的通断，起到接通信号或断开信号的作用。由于模拟开关具有功耗低、速度快、体积小、无机械触点、使用寿命长等特点，在模拟或数字信号控制、选择、模/数或数/模转换以及数控电路等领域得到越来越多的应用。

8.5.2 模拟开关的种类与特点

模拟开关品种较多，较常用的有双向模拟开关、多路模拟开关、数据选择器等。模拟开关有常开型和常闭型两类，它们的电路符号如图 8-69 所示。A 和 B 为信号端，既可作输入端也可作输出端，使用时一个作为输入端，另一个作为输出端即可。e 为控制端，由数字信号（“1”或“0”）控制 A、B 间的通断。

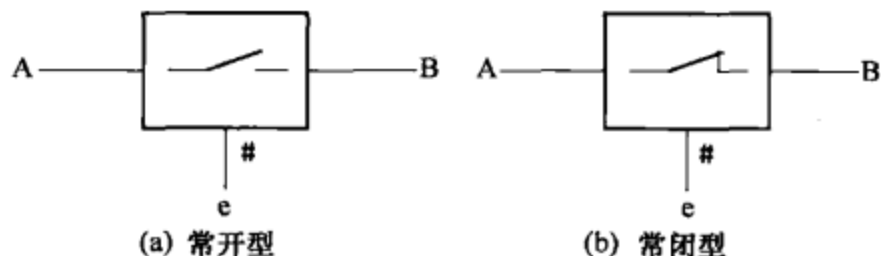


图 8-69



李蕾蕾：门老师，电路的通断也可以用普通的开关呀，那模拟开关的优势体现在哪里呢？



门老师：模拟开关与普通开关相比，最大的优势就是可以用数字信号控制通断，这给自动控制和远程控制提供了极大的方便和可能。

8.5.3 怎样应用模拟开关

模拟开关的作用是用数字信号控制电路的通断和信号源的选通。

1. 控制电路通断

(1) 图 8-70 所示为采用四双向模拟开关 CD4066 和运算放大器组成的数控增益放大器。该放大器用数控电阻网络代替了运放的反馈电阻，而数控电阻网络的阻值，由 4 位二进制数控制，从而实现了由 4 位二进制数控制增益（放大倍数）的放大电路。双向模拟开关 $D_1 \sim D_4$ 及电阻 $R_1 \sim R_5$ 构成数控电阻网络，数控输入端 A、B、C、D 接二进制控制数，某位控制数为“1”时，使该位模拟开关导通，将相应的电阻短接，从而达到电阻网络数字控制的目的。表 8-9 所列为二进制控制数与放大倍数的对应关系。

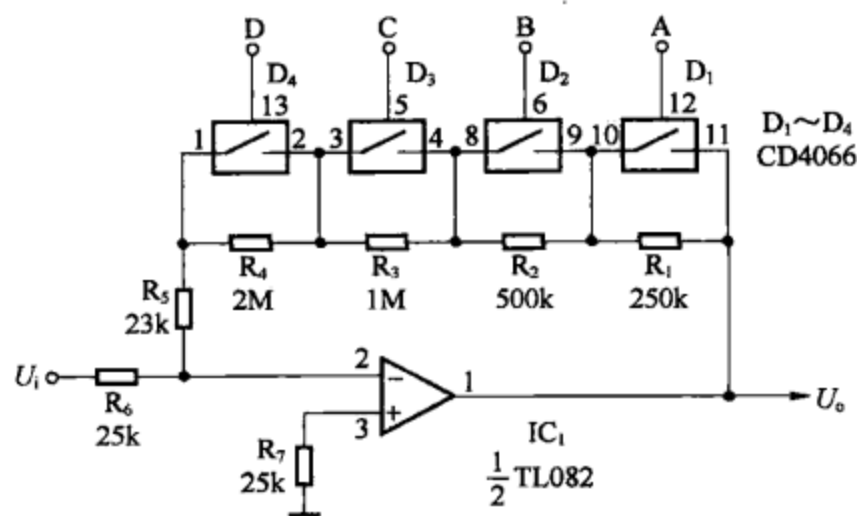


图 8-70

▼ 表 8-9 控制数与放大倍数的关系

控制数	放大倍数	控制数	放大倍数
DCBA		DCBA	
0000	150	1000	70
0001	140	1001	60
0010	130	1010	50
0011	120	1011	40
0100	110	1100	30
0101	100	1101	20
0110	90	1110	10
0111	80	1111	1

(2) 图 8-71 所示为数控频率多谐振荡器电路，其振荡频率由 4 位二进制数控制。图中，双向模拟开关 $D_1 \sim D_4$ 及电容 $C_1 \sim C_4$ 组成数控电容网络，并接在振荡电容 C_5 上， $C_1 \sim C_4$ 是否接入电路取决于 $D_1 \sim D_4$ 的导通与否，而 $D_1 \sim D_4$ 的导通与否由 A、B、C、D 4 个控制端的二进制数控制，在不同的 4 位二进制数控制下， $C_1 \sim C_4$ 的接入状态相应地发生变化，也就改变了振荡频率。4 位二进制数与振荡频率的对应关系见表 8-10。

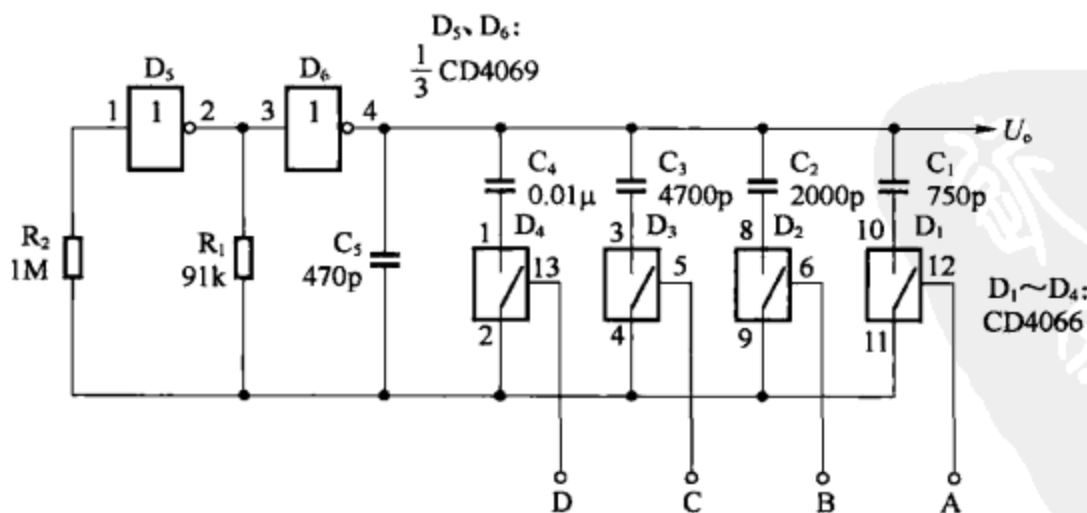


图 8-71

▼ 表 8-10

控制数与振荡频率的关系

控制数	振荡频率 (Hz)	控制数	振荡频率 (Hz)
DCBA		DCBA	
0000	10k	1000	500
0001	4k	1001	450
0010	2k	1010	400
0011	1.5k	1011	360
0100	1k	1100	330
0101	850	1101	300
0110	700	1110	290
0111	600	1111	280

2. 信号源选择

图 8-72 所示为采用双 4 路模拟开关 CC4052 构成的双通道 4 路音源选择电路，可用于立体声放大器输入音源的选择。左、右声道均有 4 路输入端，各有 1 个输出端。A、B 为控制端，由两位二进制数选择接入的输入音源，具体接入状态见表 8-11。被选中的左、右声道输入端信号分别接通至各自的输出端（L_o、R_o端），送往后续电路进行放大。

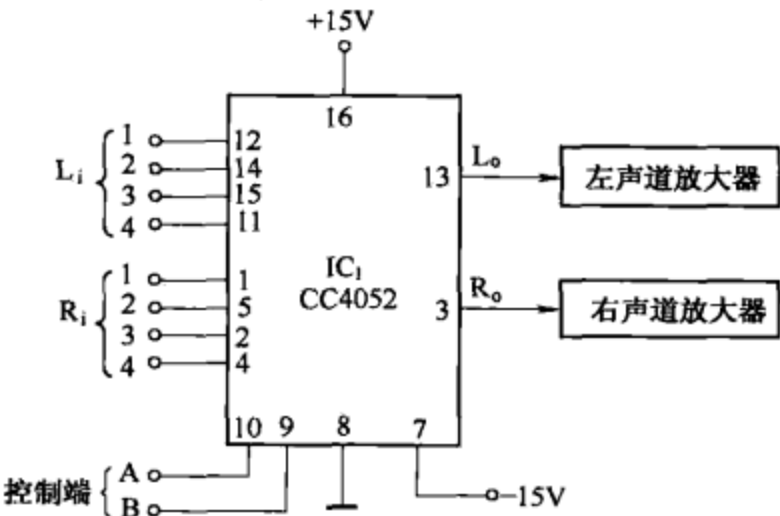


图 8-72

▼ 表 8-11

控制端与接入状态的关系

控制端		接通的输入端
B	A	
0	0	1
0	1	2
1	0	3
1	1	4

8.5.4 什么是运算电路

数字运算电路是指能够完成逻辑运算或算术运算功能的集成电路，在数字系统中主要用来对数据进行控制、加工和处理。

8.5.5 运算电路的种类与特点

数字运算电路可分为逻辑运算电路和算术运算电路两大类。逻辑运算电路包括异或门、数值比较器等。算术运算电路包括加法器、减法器、乘法器等。

1. 异或门

图 8-73 所示为异或门电路符号，A、B 为输入端，Y 为输出端。异或门的逻辑关系为 $Y = A\bar{B} + \bar{A}B$ ，即只有当两个输入端 A 与 B 的信号不同时（一个为“1”而另一个为“0”），输出端 Y 才为“1”；当 $A = B$ 时， $Y = 0$ 。

2. 异或非门

图 8-74 所示为异或非门电路符号，A、B 为输入端，Y 为输出端。异或非门的逻辑关系为 $Y = \overline{A\bar{B} + \bar{A}B}$ ，即只有当两个输入端 A 与 B 的信号不同时（一个为“1”而另一个为“0”），输出端 Y 才为“0”；当 $A = B$ 时， $Y = 1$ 。

3. 全加器

图 8-75 所示为全加器电路符号，A、B 为被加数、加数输入端， C_i 为上一位向本位的进位数输入端；S 为和数输出端， C_o 为本位向下一位的进位数输出端。

4. 减法器

图 8-76 所示为减法器电路符号，A、B 为被减数、减数输入端， B_i 为下一位向本位的借位数输入端；D 为差数输出端， B_o 为本位向上一位的借位数输出端。

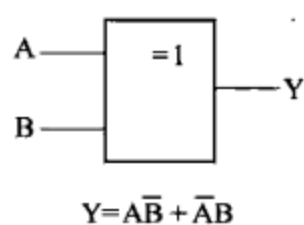


图 8-73

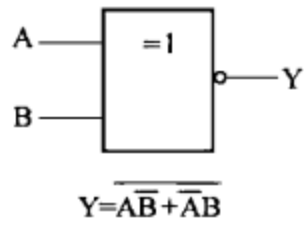


图 8-74

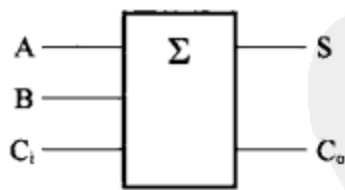


图 8-75

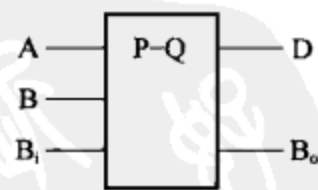


图 8-76

8.5.6 怎样应用运算电路

运算电路主要应用在逻辑运算和算术运算电路中。

1. 奇偶校验电路

图 8-77 所示为 8 位奇偶校验电路，由异或门电路 CC4070 构成，可用来检验输入数码有否出错。“W”端为奇偶转换控制端，当 $W = 1$ 时检测偶数，当 $W = 0$ 时检测奇数。

2. 8 位并行加法器

图 8-78 所示为 8 位并行加法器电路，由两块二进制全加器电路 CC4008 构成。连接中将低位的进位输出端 C_0 接高位的进位输入端 C_i 即可，并可依此方法扩展为 12 位或更多位并行加法器。

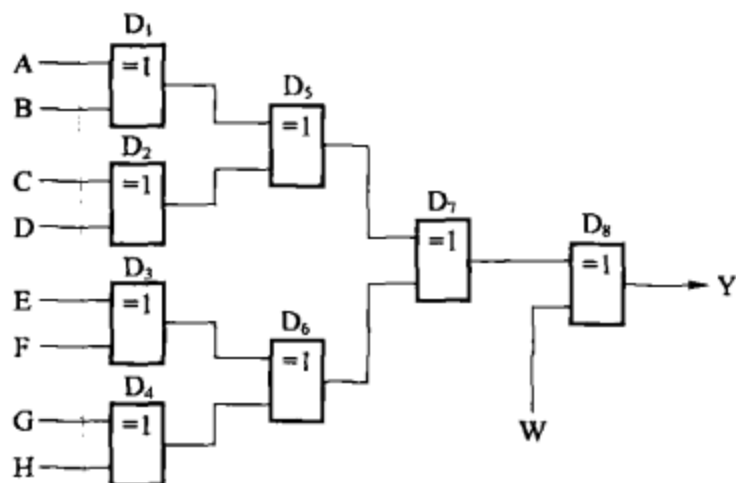


图 8-77

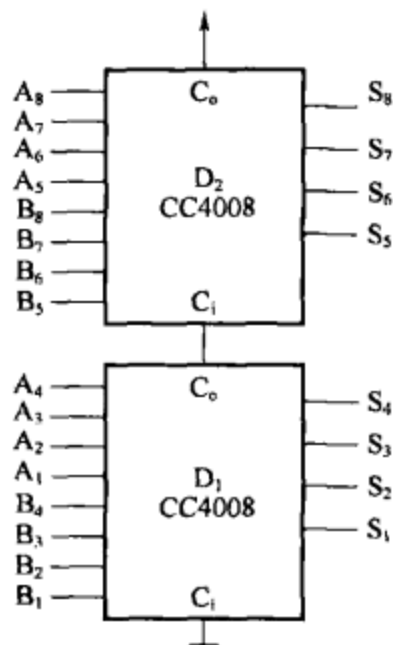


图 8-78

3. BCD 码加/减运算器

图 8-79 所示为两位并行 BCD 码加/减运算器电路，由 CC14560 和 CC14561 构成。当加/减控制端为“0”时，电路执行加法运算；当加/减控制端为“1”时，电路执行减法运算。

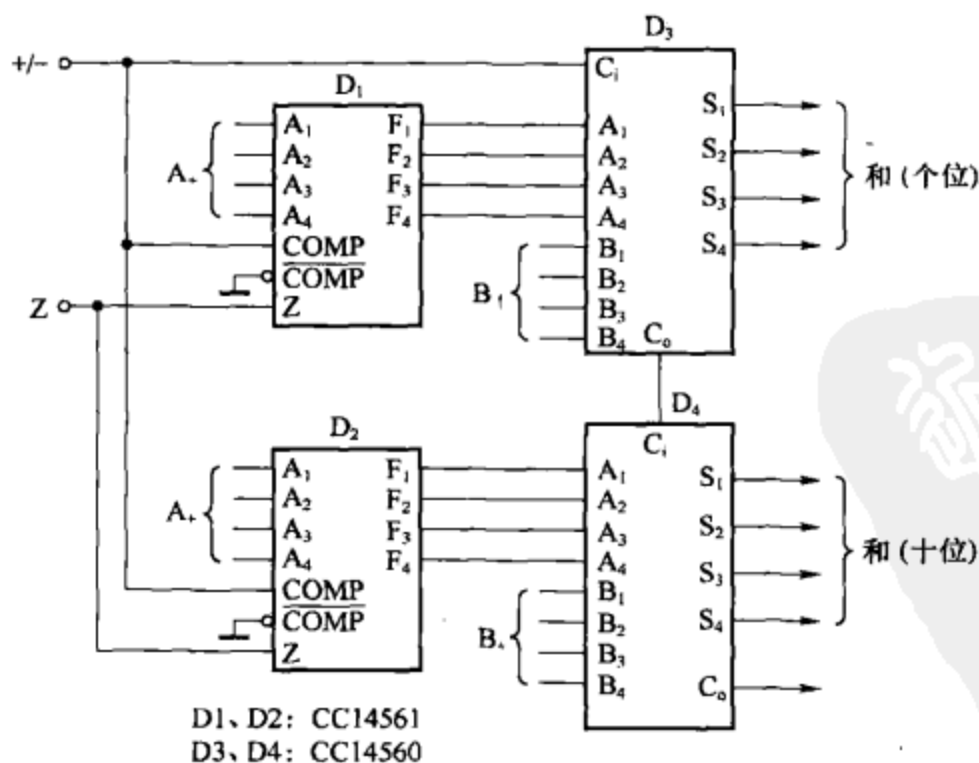


图 8-79

4. 3 个二进制数比较电路

图 8-80 所示为采用两块数值比较器 CC14585 等构成的比较电路，可对 3 个 4 位二进制数进行比较，并判断出这 3 个二进制数的大小或是否相等。

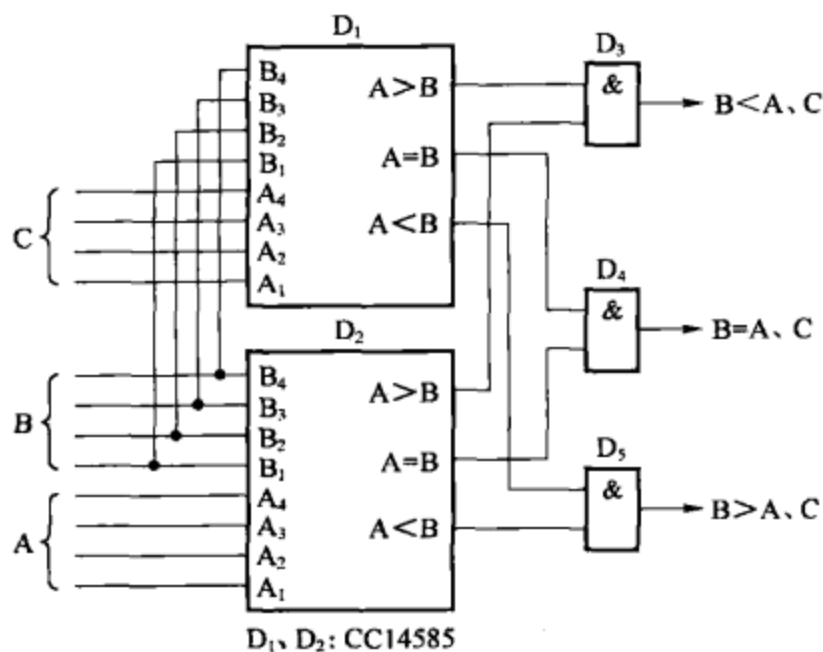


图 8-80

门老师：第 5 讲讲完了，下面请李蕾蕾同学来归纳一下模拟开关的知识点，王小帅同学归纳一下运算电路的知识点。

李蕾蕾：模拟开关的主要知识点有 3 点。

- (1) 模拟开关是用 CMOS 电子电路模拟开关的通断，起到接通信号或断开信号的作用。
- (2) 模拟开关主要有双向模拟开关、多路模拟开关、数据选择器等，包括常开型和常闭型两类。
- (3) 模拟开关的作用是用数字信号控制电路的通断和信号源的选通。

王小帅：运算电路的主要知识点有 4 点。

- (1) 运算电路是指能够完成逻辑运算或算术运算功能的集成电路，在数字系统中主要用来对数据进行控制、加工和处理。
- (2) 运算电路可分为逻辑运算电路和算术运算电路两大类。
- (3) 逻辑运算电路包括异或门、数值比较器等。
- (4) 算术运算电路包括加法器、减法器、乘法器等。



门老师：两位同学归纳得很好。同学们，第8课数字集成电路到这里就全部结束了。以下是第8课的思考题，可以帮助同学们复习和巩固已学的知识。

- (1) 什么是数字集成电路，数字集成电路包括哪些种类？
- (2) 怎样认识数字电路的符号？
- (3) 什么是门电路，门电路包括哪些种类，具有哪些用途？
- (4) 什么是触发器，触发器包括哪些种类，各有什么特点？
- (5) 什么是计数器，计数器具有什么特点和用途？
- (6) 什么是译码器，译码器的分类和用途是什么？
- (7) 什么是移位寄存器，移位寄存器具有哪些用途？
- (8) 什么是模拟开关，模拟开关具有哪些用途？
- (9) 什么是运算电路，运算电路具有哪些用途？



封面
书名
版权
前言
目录

第 1 课 电阻器与电容器

第 1 讲 电阻器

- 1 . 1 . 1 什么是电阻器
- 1 . 1 . 2 怎样识别电阻器
- 1 . 1 . 3 怎样理解电阻器的参数
- 1 . 1 . 4 电阻器有什么特点
- 1 . 1 . 5 电阻器有哪些作用
- 1 . 1 . 6 怎样检测电阻器

第 2 讲 敏感电阻器

- 1 . 2 . 1 什么是敏感电阻器
- 1 . 2 . 2 怎样识别敏感电阻器
- 1 . 2 . 3 压敏电阻器有何特点与作用
- 1 . 2 . 4 热敏电阻器有何特点与作用
- 1 . 2 . 5 光敏电阻器有何特点与作用

第 3 讲 电位器

- 1 . 3 . 1 什么是电位器
- 1 . 3 . 2 怎样识别电位器
- 1 . 3 . 3 怎样理解电位器的参数
- 1 . 3 . 4 电位器有什么特点
- 1 . 3 . 5 电位器有哪些作用
- 1 . 3 . 6 怎样检测电位器

第 4 讲 电容器

- 1 . 4 . 1 什么是电容器
- 1 . 4 . 2 怎样识别电容器
- 1 . 4 . 3 怎样理解电容器的参数
- 1 . 4 . 4 电容器有什么特点
- 1 . 4 . 5 电容器有哪些作用
- 1 . 4 . 6 怎样检测电容器

第 5 讲 可变电容器

- 1 . 5 . 1 什么是可变电容器
- 1 . 5 . 2 怎样识别可变电容器
- 1 . 5 . 3 怎样理解可变电容器的参数
- 1 . 5 . 4 可变电容器有什么特点
- 1 . 5 . 5 可变电容器有哪些作用
- 1 . 5 . 6 怎样检测可变电容器

第 2 课 电感器与变压器

第 1 讲 电感器

- 2 . 1 . 1 什么是电感器
- 2 . 1 . 2 怎样识别电感器
- 2 . 1 . 3 怎样理解电感器的参数
- 2 . 1 . 4 电感器有什么特点
- 2 . 1 . 5 电感器有哪些作用
- 2 . 1 . 6 怎样检测电感器

第 2 讲 变压器

- 2 . 2 . 1 什么是变压器
- 2 . 2 . 2 变压器有什么特点
- 2 . 2 . 3 变压器有哪些基本作用
- 2 . 2 . 4 电源变压器
- 2 . 2 . 5 音频变压器
- 2 . 2 . 6 中频变压器
- 2 . 2 . 7 高频变压器

2 . 2 . 8	怎样检测变压器	
第3课	晶体二极管与单结晶体管第1讲	晶体二极管
3 . 1 . 1	什么是晶体二极管	
3 . 1 . 2	怎样识别晶体二极管	
3 . 1 . 3	怎样理解晶体二极管的参数	
3 . 1 . 4	晶体二极管有什么特点	
3 . 1 . 5	晶体二极管有哪些作用	
3 . 1 . 6	怎样检测晶体二极管	
第2讲	稳压二极管	
3 . 2 . 1	什么是稳压二极管	
3 . 2 . 2	怎样识别稳压二极管	
3 . 2 . 3	怎样理解稳压二极管的参数	
3 . 2 . 4	稳压二极管有什么特点	
3 . 2 . 5	稳压二极管有哪些作用	
3 . 2 . 6	特殊稳压二极管	
3 . 2 . 7	怎样检测稳压二极管	
第3讲	发光二极管	
3 . 3 . 1	什么是发光二极管	
3 . 3 . 2	怎样识别发光二极管	
3 . 3 . 3	怎样理解发光二极管的参数	
3 . 3 . 4	发光二极管有什么特点	
3 . 3 . 5	发光二极管有哪些作用	
3 . 3 . 6	特殊发光二极管	
3 . 3 . 7	怎样检测发光二极管	
第4讲	单结晶体管	
3 . 4 . 1	什么是单结晶体管	
3 . 4 . 2	怎样识别单结晶体管	
3 . 4 . 3	怎样理解单结晶体管的参数	
3 . 4 . 4	单结晶体管有什么特点	
3 . 4 . 5	单结晶体管有哪些作用	
3 . 4 . 6	怎样检测单结晶体管	
第4课	晶体三极管与晶体闸流管第1讲	晶体三极管
4 . 1 . 1	什么是晶体三极管	
4 . 1 . 2	怎样识别晶体三极管	
4 . 1 . 3	怎样理解晶体三极管的参数	
4 . 1 . 4	晶体三极管有什么特点	
4 . 1 . 5	晶体三极管有哪些作用	
4 . 1 . 6	特殊晶体三极管	
4 . 1 . 7	怎样检测晶体三极管	
第2讲	场效应管	
4 . 2 . 1	什么是场效应管	
4 . 2 . 2	怎样识别场效应管	
4 . 2 . 3	怎样理解场效应管的参数	
4 . 2 . 4	场效应管有什么特点	
4 . 2 . 5	场效应管有哪些作用	
4 . 2 . 6	怎样检测场效应管	
第3讲	单向晶闸管	
4 . 3 . 1	什么是晶体闸流管	
4 . 3 . 2	怎样识别晶体闸流管	
4 . 3 . 3	怎样理解晶体闸流管的参数	
4 . 3 . 4	晶体闸流管有什么特点	
4 . 3 . 5	晶体闸流管有哪些作用	
4 . 3 . 6	怎样检测单向晶闸管	
第4讲	双向晶闸管	
4 . 4 . 1	什么是双向晶闸管	
4 . 4 . 2	怎样识别双向晶闸管	

- 4 . 4 . 3 双向晶闸管有什么特点
- 4 . 4 . 4 双向晶闸管有哪些作用
- 4 . 4 . 5 怎样检测双向晶闸管

第5讲 可关断晶闸管

- 4 . 5 . 1 什么是可关断晶闸管
- 4 . 5 . 2 可关断晶闸管有什么特点
- 4 . 5 . 3 可关断晶闸管有哪些作用
- 4 . 5 . 4 怎样检测可关断晶闸管

第5课 光电器件与电声器件第1讲 光电二极管与光电三极管

- 5 . 1 . 1 什么是光电二极管
- 5 . 1 . 2 怎样识别光电二极管
- 5 . 1 . 3 怎样理解光电二极管的参数
- 5 . 1 . 4 光电二极管有什么特点
- 5 . 1 . 5 光电二极管有哪些作用
- 5 . 1 . 6 怎样检测光电二极管
- 5 . 1 . 7 什么是光电三极管
- 5 . 1 . 8 怎样识别光电三极管
- 5 . 1 . 9 怎样理解光电三极管的参数
- 5 . 1 . 1 0 光电三极管有什么特点
- 5 . 1 . 1 1 光电三极管有哪些作用
- 5 . 1 . 1 2 怎样检测光电三极管

第2讲 光电耦合器

- 5 . 2 . 1 什么是光电耦合器
- 5 . 2 . 2 怎样识别光电耦合器
- 5 . 2 . 3 怎样理解光电耦合器的参数
- 5 . 2 . 4 光电耦合器有什么特点
- 5 . 2 . 5 光电耦合器有哪些作用
- 5 . 2 . 6 怎样检测光电耦合器

第3讲 扬声器与耳机

- 5 . 3 . 1 什么是扬声器
- 5 . 3 . 2 怎样识别扬声器
- 5 . 3 . 3 怎样理解扬声器的参数
- 5 . 3 . 4 电动式扬声器
- 5 . 3 . 5 球顶式扬声器
- 5 . 3 . 6 号筒式扬声器
- 5 . 3 . 7 怎样检测扬声器
- 5 . 3 . 8 什么是耳机
- 5 . 3 . 9 怎样识别耳机
- 5 . 3 . 1 0 怎样理解耳机的参数
- 5 . 3 . 1 1 怎样检测耳机

第4讲 电磁讯响器与压电蜂鸣器

- 5 . 4 . 1 什么是电磁讯响器
- 5 . 4 . 2 怎样理解电磁讯响器的参数
- 5 . 4 . 3 电磁讯响器有什么特点
- 5 . 4 . 4 电磁讯响器有哪些作用
- 5 . 4 . 5 怎样检测电磁讯响器
- 5 . 4 . 6 什么是压电蜂鸣器
- 5 . 4 . 7 怎样理解压电蜂鸣器的工作原理
- 5 . 4 . 8 压电蜂鸣器有什么特点
- 5 . 4 . 9 压电蜂鸣器有哪些作用
- 5 . 4 . 1 0 怎样检测压电蜂鸣器

第5讲 传声器

- 5 . 5 . 1 什么是传声器
- 5 . 5 . 2 怎样识别传声器
- 5 . 5 . 3 怎样理解传声器的参数
- 5 . 5 . 4 动圈式传声器

5 . 5 . 5	驻极体传声器	
5 . 5 . 6	近讲传声器	
5 . 5 . 7	无线传声器	
5 . 5 . 8	怎样检测传声器	
第6讲	磁头与晶体	
5 . 6 . 1	什么是磁头	
5 . 6 . 2	怎样理解磁头的参数	
5 . 6 . 3	怎样理解磁头的工作原理	
5 . 6 . 4	磁头有哪些作用	
5 . 6 . 5	怎样检测磁头	
5 . 6 . 6	什么是晶体	
5 . 6 . 7	怎样识别晶体	
5 . 6 . 8	怎样理解晶体的参数	
5 . 6 . 9	晶体有什么特点	
5 . 6 . 1 0	晶体有哪些作用	
5 . 6 . 1 1	怎样检测晶体	
第6课	显示、控制与保护器件第1讲	L E D数码管
6 . 1 . 1	什么是L E D数码管	
6 . 1 . 2	怎样识别L E D数码管	
6 . 1 . 3	L E D数码管有什么特点	
6 . 1 . 4	L E D数码管有哪些作用	
6 . 1 . 5	怎样检测L E D数码管	
第2讲	液晶显示屏	
6 . 2 . 1	什么是液晶显示屏	
6 . 2 . 2	液晶显示屏有哪些种类	
6 . 2 . 3	怎样理解液晶显示屏的工作原理	
6 . 2 . 4	液晶显示屏有哪些作用	
6 . 2 . 5	怎样检测液晶显示屏	
第3讲	继电器	
6 . 3 . 1	什么是继电器	
6 . 3 . 2	怎样识别继电器	
6 . 3 . 3	怎样理解继电器的参数	
6 . 3 . 4	怎样理解继电器的工作原理	
6 . 3 . 5	继电器有哪些作用	
6 . 3 . 6	怎样检测继电器	
第4讲	开关	
6 . 4 . 1	什么是开关	
6 . 4 . 2	怎样理解开关的参数	
6 . 4 . 3	怎样检测开关	
第5讲	接插件	
6 . 5 . 1	什么是接插件	
6 . 5 . 2	怎样检测接插件	
第6讲	保险器件	
6 . 6 . 1	什么是保险器件	
6 . 6 . 2	怎样理解保险丝的参数	
6 . 6 . 3	怎样理解保险丝的工作原理	
6 . 6 . 4	怎样检测保险器件	
第7课	集成电路	
第1讲	认识集成电路	
7 . 1 . 1	什么是集成电路	
7 . 1 . 2	集成电路有哪些种类	
7 . 1 . 3	集成电路的符号	
7 . 1 . 4	集成电路有哪些封装形式	
7 . 1 . 5	怎样识别集成电路的引脚	
第2讲	集成运算放大器	
7 . 2 . 1	什么是集成运算放大器	

- 7 . 2 . 2 集成运算放大器有哪些种类
- 7 . 2 . 3 集成运算放大器的符号
- 7 . 2 . 4 集成运算放大器的参数
- 7 . 2 . 5 集成运算放大器的电路结构
- 7 . 2 . 6 怎样理解集成运算放大器的工作原理
- 7 . 2 . 7 集成运算放大器有哪些作用

第3讲 时基集成电路

- 7 . 3 . 1 什么是时基集成电路
- 7 . 3 . 2 时基集成电路有哪些种类
- 7 . 3 . 3 时基集成电路的符号
- 7 . 3 . 4 时基集成电路的参数
- 7 . 3 . 5 时基集成电路的结构特点
- 7 . 3 . 6 怎样理解时基集成电路的工作原理
- 7 . 3 . 7 时基集成电路的基本电路
- 7 . 3 . 8 怎样应用时基集成电路

第4讲 集成稳压器

- 7 . 4 . 1 什么是集成稳压器
- 7 . 4 . 2 集成稳压器有哪些种类
- 7 . 4 . 3 集成稳压器的符号
- 7 . 4 . 4 集成稳压器的参数
- 7 . 4 . 5 怎样理解集成稳压器的工作原理
- 7 . 4 . 6 集成稳压器有哪些作用

第8课 数字集成电路

第1讲 认识数字集成电路

- 8 . 1 . 1 什么是数字集成电路
- 8 . 1 . 2 数字集成电路的种类
- 8 . 1 . 3 数字集成电路的符号
- 8 . 1 . 4 数字集成电路的参数

第2讲 门电路与触发器

- 8 . 2 . 1 什么是门电路
- 8 . 2 . 2 基本门电路的种类与特点
- 8 . 2 . 3 怎样应用门电路
- 8 . 2 . 4 什么是触发器
- 8 . 2 . 5 触发器的种类与特点
- 8 . 2 . 6 怎样应用触发器

第3讲 计数器与译码器

- 8 . 3 . 1 什么是计数器
- 8 . 3 . 2 计数器的种类与特点
- 8 . 3 . 3 怎样应用计数器
- 8 . 3 . 4 什么是译码器
- 8 . 3 . 5 译码器的种类与特点
- 8 . 3 . 6 怎样应用译码器

第4讲 移位寄存器

- 8 . 4 . 1 什么是移位寄存器
- 8 . 4 . 2 移位寄存器的种类与特点
- 8 . 4 . 3 怎样应用移位寄存器

第5讲 模拟开关与运算电路

- 8 . 5 . 1 什么是模拟开关
- 8 . 5 . 2 模拟开关的种类与特点
- 8 . 5 . 3 怎样应用模拟开关
- 8 . 5 . 4 什么是运算电路
- 8 . 5 . 5 运算电路的种类与特点
- 8 . 5 . 6 怎样应用运算电路