

# 电子玩具设计与实例

仓诗建 李 方 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电子玩具设计与实例/仓诗建, 李方编著. —北京:  
化学工业出版社, 2006.7  
ISBN 7-5025-9154-0

I. 电… II. ①仓…②李… III. 电子玩具-设计  
IV. TS958.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 087221 号

## 电子玩具设计与实例

仓诗建 李方 编著

---

责任编辑: 丁尚林

文字编辑: 廉静

封面设计: 潘峰

责任校对: 战河红

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

经 销: 新华书店北京发行所

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

720mm×1000mm 1/16·22¼印张·400千字

2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-9154-0

---

购书咨询: 010-64982530; 010-64918013 购书传真: 010-64982630

网 址: <http://www.cip.com.cn>

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换, 电话 010-64982511

---

定 价: 45.00 元

# 前 言

当前玩具产业得到蓬勃发展，对玩具设计人才的需求日益紧迫。针对这个难得机遇，全国越来越多的大中专院校相继开设了玩具设计专业。对于电子玩具设计，国内很难发现一本系统讲授电子玩具设计原理的参考用书，为了迎合玩具设计行业的发展需要，并在化学工业出版社的支持下，特地编写了一本电子玩具设计的参考用书。本书是在考虑玩具专业的发展特点，结合近几年在对玩具设计专业的教学和实践过程中的经验编写而成的。

本书的特点是循序渐进，由浅入深，从基础讲起，逐步过渡到各种典型的电子玩具电路中，兼顾了基础较为薄弱的设计人员和高校学生。本书的重点是通过大量的玩具电路来讲述各种玩具的工作原理，并给出了部分电子玩具实例的制作过程。在讲述工作原理的同时，也可以用于实践中动手制作，使得理论知识和实践操作完整地统一。本书适合不同类型的工程技术人员和学生参考使用，也可以作为对电子玩具设计感兴趣的读者的入门参考用书。

全书共分八章，第一章主要讲述了电子电路中的一些基本概念和常见的电子元器件，第二章主要讲述了玩具设计中很常见的基本电路，第三章讲述了各种声控、光控、磁控、无线电遥控、红外线控制的玩具，第四章讲述了各种传声类玩具，第五章讲述了各种声乐类玩具，第六章讲述了各种智力玩具，第七章和第八章讲述了各种电子游戏玩具，并简要地介绍了电子游戏机。对于已经学过电子电路原理的读者，可以跳过第一章以及第二章中的部分基本电路，重点放在各种电子玩具的具体实例分析。全书第一章到第五章由仓诗建编写，第六章到第八章由李方编写，全书由仓诗建统稿完成。

本书是在天津科技大学玩具教研室主任靳桂芳的指导下完成的，由于本书参考了天津科技大学退休老教授刘文亮老师的部分书稿，在此向他们表示诚挚的谢意。同时感谢刘静、陈璐、吕晶等同学帮助录制了第三章的部分文字。由于时间仓促，加上学识水平有限，书中的不足在所难免，恳请有关专家和广大读者批评指正，并提出建议。

编著者

2006年7月于天津科技大学

# 目 录

第一章 玩具电子电路基础 .....	1
第一节 玩具电路的基本概念 .....	1
一、电路模型 .....	1
二、玩具电路中常用物理量 .....	2
第二节 组成玩具电路的基本电路组件 .....	5
一、电阻组件 .....	5
二、电容组件 .....	7
三、电感组件与变压器 .....	9
四、独立电源 .....	13
第三节 玩具电路分析的基本定律和方法 .....	15
一、玩具电路分析的基本定律 .....	15
二、电路等效变换和电路端口的概念 .....	16
三、基本组件的串并联电路 .....	16
四、基本电路的等效变换 .....	20
五、分析电路的方法 .....	22
第四节 组成玩具电路的基本电子器件 .....	28
一、半导体基础知识 .....	28
二、半导体二极管及其基本电路 .....	30
三、半导体三极管及其放大电路 .....	36
四、MOS 场效应管及其放大电路 .....	39
第二章 电子玩具基本电路 .....	46
第一节 电桥电路 .....	46
第二节 谐振及其微分和积分电路 .....	47
一、谐振电路 .....	47
二、RC 电路的充放电过程 .....	51
三、RLC 组成的动态电路及其脉冲响应 .....	52
第三节 基本晶体管电路 .....	54
一、晶体管的交直流电路特性 .....	54

二、晶闸管及其组合电路 .....	59
三、单结晶体管及其组合电路 .....	61
第四节 信号放大及处理电路 .....	63
一、多级晶体管耦合放大电路 .....	63
二、场效应管放大电路 .....	65
三、集成运算放大电路 .....	67
四、互补对称电路功率放大电路 .....	72
五、变压器耦合推挽功率放大电路 .....	75
六、反馈放大电路 .....	77
七、滤波电路 .....	81
第五节 正弦振荡电路 .....	83
一、产生正弦波振荡的条件 .....	84
二、RC 振荡器 .....	85
三、LC 振荡电路 .....	89
四、变压器反馈式 LC 振荡器 .....	90
五、三点式 LC 振荡器 .....	91
六、石英晶体振荡器 .....	94
第六节 脉冲振荡电路 .....	97
一、脉冲振荡器的分类 .....	97
二、无稳态多谐振荡器 .....	98
三、单稳态多谐振荡器 .....	101
四、双稳态多谐振荡器 .....	104
五、晶体管间歇振荡器 .....	109
第七节 数字逻辑电路基础 .....	111
一、数字信号的表示和简单门电路 .....	111
二、用门电路组成的触发器 .....	114
三、组合和时序逻辑电路 .....	124
四、555 定时器及其组合电路 .....	138
第三章 控制类玩具 .....	144
第一节 控制类玩具的系统构成 .....	144
第二节 声控电子玩具 .....	146
一、声控电子玩具的工作原理和系统组成 .....	146
二、声控玩具的发声器 .....	146
三、声控玩具的接收电路 .....	147

四、声控玩具实例分析 .....	153
第三节 光控电子玩具 .....	162
一、发光器 .....	163
二、光敏组件 .....	165
三、光控玩具的工作原理 .....	166
四、光控玩具举例 .....	168
第四节 磁控电子玩具 .....	176
一、磁控原理 .....	176
二、磁控玩具举例 .....	176
第五节 无线电遥控玩具 .....	180
一、无线电遥控玩具的分类 .....	180
二、天线的工作原理 .....	181
三、无线电遥控发射原理 .....	182
四、无线电遥控接收原理 .....	183
五、单通道遥控电子玩具 .....	187
六、多通道遥控电子玩具 .....	200
第六节 红外线控制玩具 .....	204
一、红外线控制玩具的基础知识 .....	204
二、红外线遥控原理 .....	206
三、红外线遥控玩具举例 .....	208
第七节 其他控制方式的电子玩具 .....	211
一、电磁感应控制的电子玩具 .....	211
二、超声波控制的电子玩具 .....	213
第四章 电子传声类玩具及电子乐器 .....	215
第一节 扩音玩具 .....	215
一、扩音玩具的工作原理 .....	215
二、扩音玩具举例 .....	216
第二节 传声通讯玩具 .....	217
一、有线传声通讯玩具的工作原理 .....	218
二、有线传声通讯玩具的举例 .....	220
三、无线传声通讯玩具的工作原理和举例 .....	226
第三节 玩具电子乐器 .....	230
一、电子乐器发声原理及构成 .....	230
二、简易玩具电子琴 .....	232

三、无键玩具电子琴 .....	236
四、无线玩具电子琴 .....	237
五、玩具电子吉他 .....	238
<b>第五章 拟声拟形类电子玩具 .....</b>	<b>241</b>
<b>第一节 拟声电子玩具 .....</b>	<b>241</b>
一、音频间歇振荡器的工作原理 .....	241
二、单结晶体管音频间歇振荡器 .....	243
三、拟声电子玩具举例 .....	244
<b>第二节 模拟音乐集成电路 .....</b>	<b>250</b>
一、音乐集成电路简介 .....	250
二、音乐集成电路内部结构和工作原理 .....	250
三、几种常见的音乐集成电路接线方式 .....	252
<b>第三节 拟形类电子玩具 .....</b>	<b>255</b>
一、吹电蜡烛 .....	255
二、电子萤火虫 .....	256
<b>第四节 拟声拟形类电子玩具 .....</b>	<b>257</b>
<b>第六章 智力电子玩具 .....</b>	<b>259</b>
<b>第一节 提高观察和反应能力的电子玩具 .....</b>	<b>259</b>
一、找蝴蝶电子玩具 .....	259
二、“顺手牵羊”电子游戏 .....	261
三、锻炼人对信号反应速度的玩具 .....	262
四、激光打靶游戏机 .....	263
五、歌曲快速点唱器 .....	265
六、“碰数”电子玩具 .....	266
<b>第二节 锻炼协调能力的电子玩具 .....</b>	<b>268</b>
一、铁弹走迷宫 .....	268
二、移环比赛游戏机 .....	270
三、导弹打飞机 .....	271
<b>第三节 培养计算能力的电子玩具 .....</b>	<b>273</b>
一、算术卡电子玩具 .....	273
二、碰百分电子玩具 .....	275
<b>第四节 增强逻辑思维能力的电子玩具 .....</b>	<b>277</b>
一、“石头、剪刀、布”电子游戏 .....	277

二、“渡河”电子玩具 .....	278
<b>第七章 电子游戏玩具 .....</b>	<b>281</b>
<b>第一节 简易型电子游戏玩具 .....</b>	<b>281</b>
一、得分电子游戏玩具 .....	281
二、火箭模拟发射器 .....	282
<b>第二节 单人电子游戏玩具 .....</b>	<b>283</b>
一、捉小鸟电子游戏玩具 .....	283
二、米老鼠游戏机 .....	285
三、攻碉堡游戏机 .....	287
四、音乐滚珠游戏机 .....	289
<b>第三节 双人电子游戏玩具 .....</b>	<b>291</b>
一、鸡、虫、老虎、棒电子游戏 .....	291
二、电子裁判军棋 .....	292
三、踢足球电子游戏玩具 .....	295
<b>第四节 多人电子游戏玩具 .....</b>	<b>298</b>
一、电子飞行棋 .....	298
二、传球游戏机 .....	300
三、钓鱼游戏机 .....	302
四、钓蛙游戏机 .....	303
五、拔河比赛游戏机 .....	304
六、歌曲点唱游戏机 .....	307
七、电子扑克游戏机 .....	308
八、电子骰子游戏机 .....	312
<b>第五节 袖珍式电子游戏玩具 .....</b>	<b>314</b>
一、“猎狐”电子游戏玩具 .....	314
二、“森林孩子”电子游戏玩具 .....	318
<b>第八章 电子游戏机 .....</b>	<b>322</b>
<b>第一节 引言 .....</b>	<b>322</b>
<b>第二节 从显示设备到电子游戏机 .....</b>	<b>323</b>
一、图像信号的产生 .....	323
二、电视信号的传输 .....	326
三、电视信号的接收与图像重现 .....	326
四、彩色电视系统的要点 .....	327

五、从电视系统到电子游戏机 .....	328
第三节 单片微型计算机与电子游戏机 .....	328
一、单片机的基本知识 .....	328
二、单片机的工作过程 .....	329
三、单片机与电子游戏机 .....	330
第四节 8500 系列电子游戏机 .....	330
一、DY-1 型电子游戏机 .....	330
二、DY-2 型电子游戏机 .....	334
第五节 8700 系列电子游戏机 .....	336
第六节 任天堂家用电子游戏机 .....	338
一、游戏机的组成 .....	339
二、游戏机的使用 .....	340
三、工作原理 .....	340
参考文献 .....	346

# 第一章

## 玩具电子电路基础

在电子玩具中会用到各种各样的电子电路，这些电子电路都是由基本的电路组件构成。设计、安装这些电子电路的目的是实现玩具特定的动作。任何一种电子玩具完成一个特定的动作都是由设计好的电子电路完成的，而这些电路都是由基本电子电路的最小单元构成，因而设计电子玩具电路需要首先认识电子电路的基本电路组件、电子器件以及分析这些电路的基本物理量。

### 第一节 玩具电路的基本概念

#### 一、电路模型

在分析、设计玩具电路时，只需要认识不同基本元器件之间的电压与电流的关系，而不需要认识各个元器件内部发生的物理过程。在分析设计玩具电路时一般采用的是电路模型，不是实际电路。在理想条件下，把若干电路组件和电子器件模型按照一定方式通过导线连接起来，形成一个完整的连接体称之为电路模型，简称电路，其主要作用是产生或处理电信号及功率。电路模型用来表征各个元器件之间的相互连接关系，为分析电路的工作原理提供模型参考。用电路模型代替实际电路的优点是避免了实际电路复杂的结构，简化了元器件的连接关系。图 1-1 为手电筒实际电路，图 1-2 为一个简单的电路模型，其中

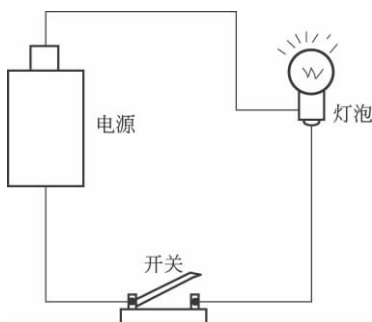


图 1-1 手电筒实际电路

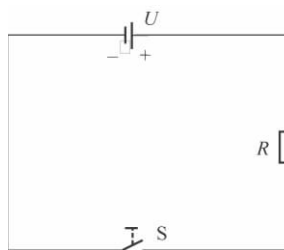


图 1-2 手电筒的电路模型



## 电子玩具 设计与实例

$U$  表示电源,  $S$  表示开关,  $R$  表示电阻, 是灯泡的等效形式。

在设计电路时, 采用各种各样的理想元器件组合成电路模型, 但实际元器件与理想元器件之间仍然存在差异, 因此建立模型时需要考虑实际情况, 只有选择恰当的电路模型, 才能准确分析和设计电路, 使设计的结果符合实际情况, 实现玩具的动作要求, 如果电路模型选择不恰当就会造成电路分析的矛盾和计算的误差。因此设计一个较好的玩具电路必须建立恰当的电路模型。本书中涉及的玩具电路结构图皆为电路模型, 简称玩具电路, 而不是玩具电路的实物图。

### 二、玩具电路中常用物理量

为了掌握一个电子玩具电路的工作原理, 在认识玩具电路的模型后, 下一步就需要认识玩具电子电路中涉及到的一些基本物理量, 这些基本物理量包括电压、电流、电功率和电能等, 借助这些基本物理量才能恰当分析玩具电路。

#### 1. 电压

单位正电荷由电场中某点移到“无穷远”处, 电场力对该电荷所做的功称该点的电势, 也称为电位, 它是一个标量, 可正可负, 当电场力做正功时该点电势为正, 反之为负; 电场力做功大则该点电势高, 反之电势低。电路中的“无穷远”为选定的“参考点”, 参考点的电位通常选为 0。

电压是指处于电场中的两点间电势之差, 即在电场中以某一点为参考点, 电场力把单位正电荷由一点移动到另外一点时所做的功。用公式表示:

$$U_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-1)$$

式(1-1)中  $A$  点和  $B$  点为电场中的两点,  $W$  表示电场力把电荷从  $A$  点移到  $B$  点做的功,  $q$  为电荷的电量。对于电场中任何点相对于参考点(零电势点)的电势差就是该点的电压。在电路中, 计算各点的电压, 都是以参考点为基准的。电压的单位是伏特, 简称伏, 符号为  $V$ 。

实际电路中由高电势指向低电势称为电压的方向, 电压的极性常用“+”和“-”标注, “+”表示高电势点, “-”表示低电势点。例如电压源的极性标注如图 1-3,  $A$  点为高电势点,  $B$  点为低电势点,  $A$ 、 $B$  两点的电势差就是电源的电压。分析电路时, 对电路中任意两点的电压极性假定的标定称为电压的参考极性。例如图 1-4 中, 电路  $A$ 、 $B$  两点的极性标注为参考极性, 而不是

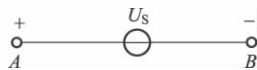


图 1-3 电压源的极性

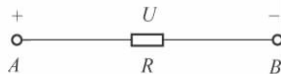


图 1-4 电压  $U$  的参考极性



实际极性。如果分析电路得到电压  $U_{AB} > 0$ ，说明电压的实际极性与参考极性相一致，A 点极性为“+”，B 点极性为“-”，也就是说电势  $U_A > U_B$ ；如果得到电压  $U_{AB} < 0$ ，则说明参考极性与真实极性相反，A 点极性为“-”，B 点极性为“+”，也就是说电势  $U_A < U_B$ 。

## 2. 电流

电流是指单位时间内通过某一导体横截面的电荷量，用公式表示

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位安培，简称安，符号为 A。电流的方向是以导体中正电荷移动的方向为参考方向。一般电路图中标出电流方向不一定是实际电流的流向，而是分析电路时假定的电流流向，称为电流的参考方向。电流的参考方向可以任意选取，可以与实际电流的方向相同，也可以相反。要确定实际电流的方向，需要知道该电流在参考方向下的正、负值，才能确定该电流的真实方向，如图 1-5。

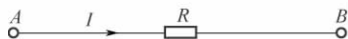


图 1-5 电流  $I$  的参考方向

图 1-5 中以电流  $I$  的方向为参考方向，

若分析电路解出  $I$  为正值，这说明  $I$  参考方向的取向与实际电流的流向一致；若  $I$  为负值，这说明  $I$  参考方向的取向与实际电流的方向反向。注意电压的极性和电流参考方向的选取不会影响结果的正确性。按照导体中电流的方向是否可变，可以把电流分为直流电和交流电，玩具电路中能量供给一般用到直流电，而不用交流电。

## 3. 关联和非关联参考方向

因为电压的参考极性和电流的参考流向可以任意确定，所以对于某一电路而言，电压  $U$  的极性和电流  $I$  的参考方向选择可以有四种组合，如图 1-6。

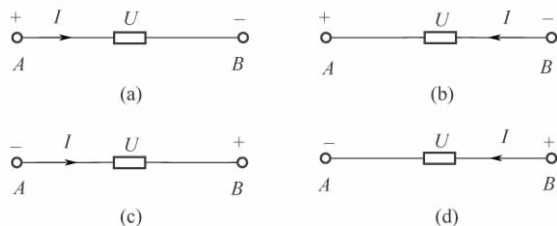


图 1-6 电压  $U$  的参考极性与电流  $I$  参考方向的不同组合

$U$  表示 A、B 两点的电压， $I$  表示标注方向上的电流。若电流  $I$  的流向是从高电势点流到低电势点，即两者的参考方向的选取是一致的，如图 1-6 中的 (a) 和 (d)，则把电压和电流的这种参考方向称为关联参考方向；若电流  $I$  的流向是从低电势点流到高电势点，即两者的参考方向的选取不一致，如图 1-6



## 电子玩具 设计与实例

中的 (b) 和 (c), 则把电压和电流的这种参考方向称为非关联参考方向。

关联参考方向和非关联参考方向的确定, 在电路分析时很重要, 它们是电路分析中的一些基本定理和原则的出发点。

### 4. 功率和电能

功率准确的说是电功率, 在本书中简称功率。功率、电能与电压和电流密切相关, 在电场中, 电场力把正电荷从组件上的高电势点“+”运动到低电势点“-”需要做功, 反之电场力把正电荷从组件上的低电势点“-”运动到高电势点“+”同样也需要做功, 把电场力对电荷做功称为电能。在电压和电流取非关联参考方向时, 即正电荷由低电势点运动到高电势点, 电场力做负功表示组件释放能量; 在电压和电流取关联参考方向的情况下, 即正电荷由高电势点运动到低电势点, 电场力做正功表示组件吸收能量。

在电压和电流取关联参考方向的情况下, 在时间  $t_0 \sim t_1$  内, 电场力对电荷做正功, 也就是组件吸收能量, 可用公式表示为

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t_1)} u dq \quad (1-3)$$

而  $i = \frac{dq}{dt}$ , 得到以下表达式

$$W(t) = \int_{t_0}^{t_1} u(t)i(t)dt \quad (1-4)$$

电能的单位是焦耳, 简称焦, 符号为 J。

功率是对电能时在域内的微分, 反过来电能是对功率在时域上的积分。由此可得功率的表达式

$$P(t) = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \times \frac{dq}{dt} \quad (1-5)$$

根据  $u = \frac{dW}{dq}$ 、 $i = \frac{dq}{dt}$  可以推出瞬时功率表达式

$$P(t) = u(t)i(t) \quad (1-6)$$

功率也可以定义成电压和电流的乘积。功率的单位是瓦特, 简称瓦, 符号为 W。

若在电压和电流取非关联参考方向的情况下, 在时间  $t_0 \sim t_1$  内, 电场力对电荷做负功, 也就是组件放出能量, 这与吸收能量的公式相似, 它的具体实现就是在上式中添加一个负号。对于用直流电供电的系统, 电源发出的电能为

$$W(t) = u(t)i(t)t \quad (1-7)$$

由此可知, 计算电路中的任意电路组件的功率时会有以下两种情况, 如图 1-7, 当  $U$ 、 $I$  为关联参考方向, 则电路组件吸收的功率为  $P=UI$ , 在实际电

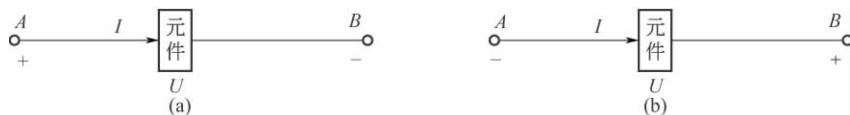


图 1-7 组件的功率

路中，如果计算结果  $P > 0$ ，说明组件吸收功率，反之  $P < 0$  说明发出功率；当  $U$ 、 $I$  为非关联参考方向，则电路组件吸收的功率为  $P = -UI$ ，实际电路的计算结果  $P > 0$  说明组件吸收功率，反之  $P < 0$  说明发出功率。

在一个电路中，一些组件上发出的功率一定被消耗在该电路的其他一些组件上，这就是电路中的功率平衡原理。

## 第二节 组成玩具电路的基本电路组件

电路组件是玩具电子电路中最小的单元，电路组件之间通过导线相互连接组成电路。这些电路组件只有连接到电路中才能体现它的特性，并且通过有关物理量来描述。电路组件有不同的划分方式，按是否需要电源分为有源组件和无源组件；按是否是线性组件可以分为线性组件和非线性组件；按是否随着时间的变化分为时变组件和时不变组件。在这里，只考虑在理想条件下的线性电路组件：电阻、电容、电感、独立电源。

### 一、电阻组件

电阻，用符号  $R$  表示。其最基本的作用就是阻碍电流的流动。电阻组件是电阻器、灯泡和电炉等在一定条件下的参考模型。衡量电阻器的参数是电阻的阻值，它与导体的横截面积、长度以及导体的材质有关，导体的材质影响电阻的大小，就是指不同导体有着不同的电阻率，通常对于材料粗细均匀的导体而言，导体的横截面积越小，长度越长，导体的电阻值就越大；反之当导体的横截面积越大，长度越短，导体的电阻值就越大。根据电阻值是否可变可分为微调电阻、可调电阻、电位器等。

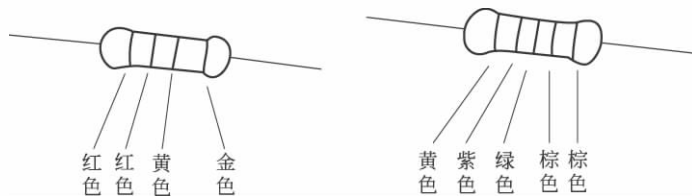


图 1-8 色环电阻的外形图



# 电子玩具 设计与实例

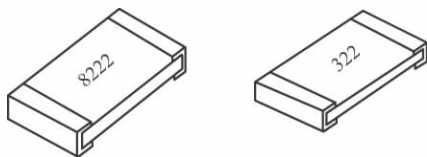


图 1-9 片状电阻外形图

根据电阻的外形，常见的电阻有色环电阻、片状电阻。色环电阻如图 1-8，其中色环用来表示电阻的阻值与误差。

片状电阻如图 1-9，片状电阻的阻值以数字法表示，数字标示于电阻

表面。

在温度等影响阻值变化的条件不变的情况下，电阻组件可以看成线性的。假设一段导体的横截面积为  $S$ ，导体的长度为  $l$ ，电阻率为  $\rho$ ，则这段导体的电阻值  $R$  可用公式表示

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-8)$$

$R$  为电阻值，单位为欧姆，符号为  $\Omega$ ；横截面的面积  $S$ ，单位为平方米，符号为  $m^2$ ；导体的长度  $l$ ，单位为米，符号为  $m$ ；电阻率  $\rho$ ，单位为欧姆·米，符号为  $\Omega \cdot m$ ；电阻的倒数称为电导  $G$ ，单位为西门子，简称西，符号为  $S$ 。电阻和电导都可以用来表征电阻组件。

在电压与电流取关联参考方向时，任何时刻电阻两端的电压与电路的关系都服从欧姆定律：

$$u = Ri \quad (1-9)$$

线性电阻组件的电气符号及特性曲线如图 1-10 所示。

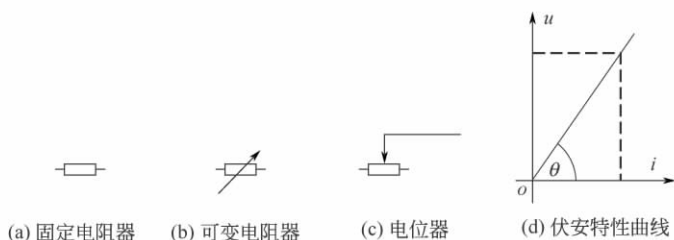


图 1-10 不同电阻组件的电气符号及其伏安特性曲线

由于电压和电流的单位是  $V$  和  $A$ ，因而电阻组件的特性被称为伏安特性。在直角坐标系中，线性组件电阻组件的伏安特性如图 1-10(d) 所示，它是一条过原点的直线，直线斜率的大小与电阻的阻值有关。 $R$  越大，特性曲线的斜率也就越大；反之  $R$  越小，特性曲线的斜率也就越小。

若直角坐标系中坐标轴取相同的标度，则电阻值在伏安特性上可表示为



$$R = \frac{u}{i} = \frac{\overline{ou}}{\overline{oi}} = \tan\theta \quad (1-10)$$

由此可知，当  $\theta=0^\circ$  时， $\tan\theta=0$ ， $R=0$ ，特性曲线与  $i$  轴重合，即当  $R=0$  时，不论  $u$  有多大， $i$  都为  $\infty$ ，这种情况称为短路；当  $\theta=90^\circ$  时， $\tan\theta=\infty$ ， $R=\infty$ ，特性曲线与  $u$  轴重合，即当  $R=\infty$  时，不论  $u$  有多大， $i$  都为 0，这种情况称为开路。

电阻组件是一个耗能组件，它用来吸收电能，把电能转化为热能并消耗掉，当不考虑温度对电阻的阻值影响时，流过电阻的电流与电阻两端的电压取关联参考方向时，电阻组件消耗的功率为

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-11)$$

## 二、电容组件

在电子玩具中，电容组件用途十分广泛。电容组件的种类很多，但是它们的工作原理基本一样。要认识电容组件的工作原理，首先需要掌握孤立导体的电容是如何确定的。

对于孤立导体而言，当导体带电时，导体所带的电量  $q$  与导体的电压  $U$  的比值是一个常数，这个常数与导体的带电量  $q$  以及导体的电压  $U$  无关的物理量，是正值，通常用符号  $C$  表示，这就是孤立导体的电容，用公式表示：

$$C = \frac{q}{U} \quad (1-12)$$

孤立导体的电容  $C$  是一个恒量，只与导体的大小和形状有关，而与  $q$  和  $U$  无关，它反映的是  $q$  和  $U$  之间的一种关系。当电荷的单位和电压的单位分别取库仑 C 和伏特 V 表示时，电容  $C$  的单位为法拉，符号为 F。

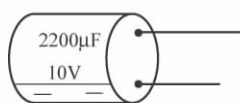
当导体周围有其他导体存在时，这个导体的电压  $U$  不仅与自己的带电量有关，而且还取决于其他导体的位置和形状。在这种情况下，孤立导体的电容常数  $C$  不能反映  $q$  和  $U$  之间的关系，为了消除其他导体对本导体的影响，可以把导体组合起来，消除静电屏蔽。实际采用的各种电容组件是依据这个原理制成的，即电容组件是由导电板中间夹杂不同的介质（空气、云母、电解质、绝缘纸等）组成。

按电容组件有无极性可分为有极性电容和无极性电容；按制作材料分，电容组件有铝电解电容、钽电解电容、瓷片电容、聚丙烯电容、纸质电容以及金属膜电容等，其中铝电解电容、钽电解电容是有极性的，连接电容时注意极性，否则在通电后会炸裂，极性在电容上标出；瓷片电容、聚丙烯电容、金属膜电容无极性。按电容组件的容量是否可变为固定电容和可调电容。

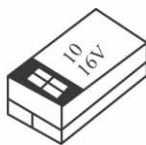
有极性电容的外形如图 1-11。其中图 (a) 是铝电解电容，图 (b) 是钽



# 电子玩具 设计与实例



(a)

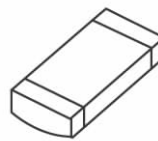


(b)

图 1-11 有极性电容的外形图



(a)



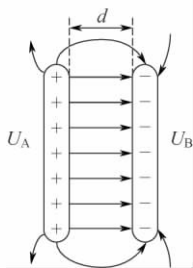
(b)

图 1-12 无极性电容的外形图

电解电容。

无极性电容的外形如图 1-12。其中图 (a) 为瓷片电容，图 (b) 为无极性片状电容。

电容的内部结构如图 1-13，当给电容组件的导电板上加上电压，相对的导电板上就会集聚等量、极性相反的正、负电荷，并且在介质中形成具有电场能的电场。当把电源移除后，电荷会继续存在于导电板上，介质中的电场也会继续存在。电容组件的电容是这样定义的，当电容组件的导电板上有等量、极性相反的电荷时，电量  $q$  与导电板之间的电压差  $\Delta U(U_A - U_B)$  的比值即为电容组件的电容。用公式表示

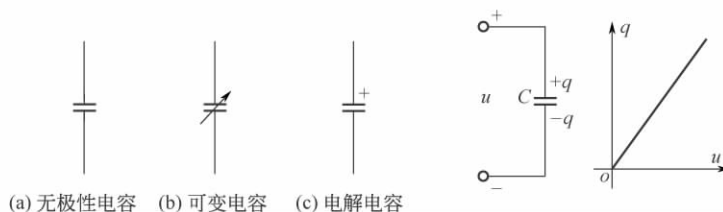
图 1-13 电容组件  
内部结构

$$C = \frac{q}{\Delta U} = \frac{q}{U_A - U_B} = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-13)$$

$C$  同样是一个正的常数，它只与导电板之间的介质的介电系数  $\epsilon$ 、导电板之间的距离  $d$  和导电板的面积  $S$  有关，而与导电板的带电量  $q$  和导电板之间的电压差  $\Delta U$  无关。

在直角坐标系中，若以  $q$  为纵坐标， $u$  为横坐标，可以画出电容组件的库伏特性。对于线性电容的库伏特性而言，它是一条通过原点的直线。图 1-14 为电容组件及其库伏特性。

如果电容两端的电压为  $u$ ，流过该电容组件的电流为  $i$ ，取  $u$  和  $i$  的方向



(a) 无极性电容 (b) 可变电容 (c) 电解电容

图 1-14 电容组件及其库伏特性