

高等学校专修科试用教材

电工与电子技术基础

长沙铁道学院 瞿正德 主编

铁道出版社

内 容 简 介

本书共十章，分为电工技术与电子技术两部分。电工技术部分主要讲述基本电路元件的性质、电路的基本定律和分析计算电路的基本方法，变压器、异步电动机、常用低压电器的工作原理与使用，继电接触器自动控制系统典型电路的工作原理分析，以及供电与用电的基本知识。电子技术部分主要包括电子器件的性能和电子电路的结构、工作原理及其应用，各种门电路及触发器的逻辑功能，寄存器、计数器等时序逻辑电路的工作原理，以及编码、译码和数字显示电路的工作原理。每章附有习题。

本书除可作为高等学校专修科非电专业教材外，还可以作为成人高等教育有关专业的教学参考书。

高等学校专修科试用教材

电工与电子技术基础

长沙铁道学院 瞿正德 主编

中国铁道出版社出版

责任编辑 陆维真 封面设计 王毓平

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张：13.75 字数：363千

1988年2月第1版 第1次印刷

印数：0001—10000册 定价：2.95元

前 言

本书是根据1985年6月在北京召开的铁道部高等工科院校电工学教材会议通过的“关于加强电技术基础课教材建设的决定”编写的，是铁道部教育局选编的大专系列教材之一。为了适应科学技术的发展，有利于教学改革和提高教学质量的需要，过去为非电专业开设的《电工学》课程，现改为《电工技术基础》、《电子技术基础》和《电路与电子技术》三门课程，根据不同专业的需要，可选修其中的一门或两门课程。考虑到专科的特点以及本科专业门类多、学时多少不等等不同层次的教学需要，本书编入了“电工技术”与“电子技术”两门课程的主要内容，故定名为《电工与电子技术基础》，作为高等工科院校非电类专科教材，也可作为少学时类本科专业（如土建类、运输类专业）和成人高等教育有关专业的教材。

《电工与电子技术基础》是高等工科院校非电专业的一门技术基础课程。本课程的任务是使学生获得电工技术与电子技术方面必要的基本理论、基本知识和基本技能，了解用电技术的发展概况，为学习后续课程以及从事工程技术工作和科研工作打好基础。在编写中，我们参照原教育部颁发的“教学大纲”和高等学校工科电工学课程教学指导小组新制定的“教学基本要求”，本着加强基础、扩展知识面的原则，系统地阐述用电技术的基本理论、基本知识和基本技能。从非电专业的用电需要出发，在增加新内容的同时，对传统内容作了精选和更新，贯彻“少而精”的原则。在体例安排上，每节举有例题，其中有些是用以深化和扩展课程内容的；各章配有一定数量的习题，以巩固和加深对课程内容的理解；在相应章节后安排有附录，列出常用电器、电子元件的主要参数，培养学生查阅和运用手册资料的能力。书中打有

“△”号的内容供选学。

全书包括电工技术与电子技术两部分。电工技术部分讲述基本电路元件的性质，电路的基本定律和分析计算电路的基本方法；变压器、异步电动机、常用低压电器的工作原理与使用；继电器接触器自动控制系统典型电路的工作原理分析；以及供电与安全用电的基本知识。电子技术部分包括模拟电子技术和数字电子技术两类内容。前者讲述电子器件的性能和电子电路的结构，工作原理及其应用，做到“管”“路”结合，以“路”为主。后者讲述各种“门”电路及触发器的逻辑功能，寄存器、计数器等时序逻辑电路的工作原理，以及编码、译码和数字显示电路的工作原理。

本课程是一门实践性较强的课程，实验课是本课程的重要教学环节，应开出相应数量的实验，让学生通过实践，掌握使用常用电工仪表、电子仪器和测试方法等基本技能，这样才能达到教学基本要求所规定的目标和要求，培养出合格的人才。但由于各校实验条件差异较大，故本书没有将实验内容列入。

本书第一、七章由长沙铁道学院瞿正德执笔，第二、三、六、九章由长沙铁道学院霍照昇执笔，第八、十章由长沙铁道学院黄桂生执笔，第四、五章由华东交通大学钱碧云执笔。瞿正德主编，兰州铁道学院夏伯英主审。兰州、上海、大连、石家庄、长沙等铁道学院，华东交通大学、西南交通大学和北方交通大学的有关教师参加了1986年4月在上海召开的教材审稿会议，提出了许多修改意见，在此我们表示衷心感谢。

编者

1986年6月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路的组成与电路模型	1
第二节 理想电阻元件	4
第三节 电源模型及其等效互换	11
第四节 电路的工作状态	19
第五节 电路中电位的计算	23
第六节 克希荷夫定律	27
第七节 支路电流法	32
第八节 叠加定理	35
第九节 戴维南定理	38
习 题 一	42
第二章 正弦交流电路	51
第一节 交流电的基本概念	51
第二节 正弦交流电的特征量	52
第三节 正弦交流电的有效值	59
第四节 正弦量的表示法	60
第五节 单一元件电路	66
第六节 电阻、电感、电容串联电路	79
第七节 交流电路中功率的分析	84
第八节 并联交流电路和功率因数的提高	88
第九节 混联电路的计算	93
第十节 电路中的谐振	96
习 题 二	104
第三章 三相交流电路	112
第一节 三相电源	112

第二节	三相负载	114
第三节	三相电路的功率	122
习题三	.....	125
第四章	变压器	128
第一节	单相变压器的构造和工作原理	128
第二节	三相变压器	136
第三节	特殊变压器	138
第四节	低压供电的基本知识	142
第五节	安全用电	147
习题四	.....	152
第五章	异步电动机的原理和使用	155
第一节	三相异步电动机的结构和工作原理	156
第二节	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	163
第三节	三相异步电动机的使用	170
第四节	单相异步电动机	180
第五节	控制电器	183
第六节	三相异步电动机的单向启动和正反转 控制电路	192
第七节	时间控制电路	196
第八节	行程控制与顺序控制电路	198
习题五	.....	200
第六章	晶体二极管和整流电路	205
第一节	PN结及其单向导电性	205
第二节	晶体二极管	209
第三节	单相整流电路	217
第四节	滤波电路	225
第五节	硅稳压管和并联型稳压电路	231
习题六	.....	241
第七章	晶体管和交流放大电路	245
第一节	晶体管	245

第二节	基本交流放大电路	259
第三节	交流放大电路的图解法	266
第四节	放大电路的小信号模型分析法	272
第五节	放大器静态工作点的稳定	281
第六节	阻容耦合多级放大电路	290
第七节	放大器的频率特性	293
第八节	负反馈放大电路	296
第九节	功率放大器	311
	习题七	323
第八章	直流放大器与运算放大器	330
第一节	直流放大器的零点漂移	330
第二节	差动放大电路	331
第三节	单端输入、单端输出的差放电路	337
第四节	集成运算放大器	338
第五节	基本运算电路	340
第六节	应用举例	345
	习题八	349
第九章	晶闸管电路	353
第一节	晶闸管的结构及其工作原理	353
第二节	可控整流电路	359
第三节	晶闸管的保护	371
第四节	晶闸管的触发电路	373
	习题九	380
第十章	数字电路	382
第一节	分立元件门电路	383
第二节	TTL与非门集成电路	390
第三节	组合逻辑电路	393
第四节	R—S 触发器	395
第五节	J—K (主从型) 触发器	399
第六节	D、T与T' 触发器	402

第七节	寄存器	.....	403
第八节	计数器	.....	405
第九节	译码和数码显示器	.....	411
习题十		.....	427

第一章 直流电路

本章讨论直流电路的组成及其模型，电路的基本联接方式，基本电路元件及其特性，电路的基本定律，电路中电位的计算以及支路电流法、叠加定理和戴维南定理等分析电路的基本方法。

本章虽然讲的是直流电路，但只要把所涉及到的这些理论和方法稍加扩展，即可用来分析交流电路。因此，本章是进一步学习电机、电器和电子技术的共同基础。

第一节 电路的组成与电路模型

一、电路的组成和作用

电路是电流的通路。电路或称网络^{*}，是由电气元件或设备按一定方式组成的系统。

电路的作用是实现电能的传输和转换。典型的例子是照明电路和动力电路。其示意图如图 1—1 所示。

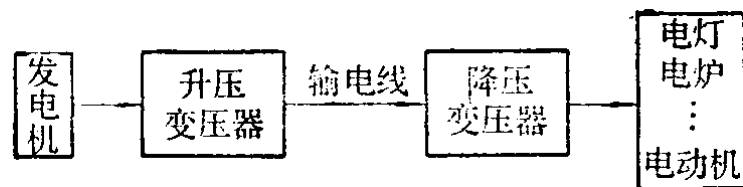


图 1—1 电能的传输和转换

发电机是供给电能的设备，它把热能、水能和原子能等转换成电能，我们把供给电能的设备称为电源，如发电机、电池等；电灯、电动机和电炉等是取用电能的设备，它们把电能转换为光

※ 一般把含元件较多的电路称为网络。但通常把网络与电路混称，而不予区分。

能、机械能和热能，这些用电设备统称为负载；电源与负载之间的输电线、变压器起着沟通电路，达到输送和分配电能的作用，是电路的中间环节。对这类电路的一般要求是具有尽可能高的效率和尽可能小的能量消耗。

电路的另一个重要作用是信号的传递和处理。例如常见的扩音机，其电路示意图如图 1—2 所示。

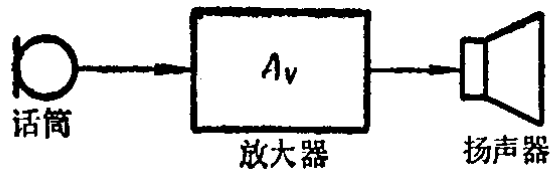


图 1—2 信号的传递和处理

话筒把语言或音乐（通称为信息）转换为相应的电信号，经放大后推动扬声器发音。信号的转换和放大，称为信号的处理。话筒是输入信号的设备，称为信号源，相当于电源。扬声器是接受和转换信号的设备，也就是负载。在收音机或电视机中还有所谓调谐电路，其功能是从接收到的许多不同信号中选择出所需要的信号而排除其它信号。调谐电路的作用就是把输入信号（称为激励）加工处理成为所要求的输出信号（称为响应）。在这类电路中，自然也有能量的输送和转换问题，不过数量很小，我们更关心的是如何准确地传送和处理信号等问题（如保证信号不失真）。

在自动控制、信息处理和计算机等方面，还有种类繁多、形形色色的各种电路，不同功能的电路其繁杂程度也是不同的。

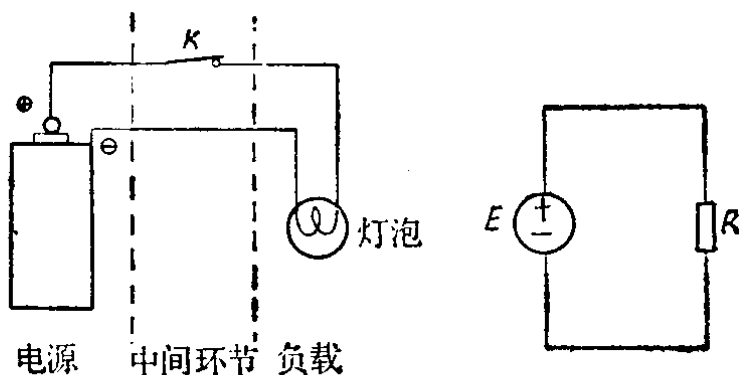
不论电路结构有多么复杂，一个完整的电路，均由电源、负载以及联接电源和负载的中间环节三部分所组成。如图 1—3 (a) 所示。

对于电源来说，由负载和中间环节（联接导线和开关）组成的电流通路叫做外电路；电源内部的电流通路叫做内电路。

二、电路模型

实际电路部件种类繁多，而且在电路中表现出多种电磁性质。在物理学中大家已经知道有电压就有电场，有电流就有磁场，而载有电流的导体，总会由于发热而消耗电能。例如，一个

实际的电阻器在有电流流过时，除了表现为对电流呈现阻力的性质即电阻外，还会产生磁场，因而兼有电感的性质；连接导线具有一定的电阻和电感。这样就给分析电路带来困难。



(a) 电源、中间环节和负载 (b) 电路模型

图 1—3 简单照明电路

因此，必须在一定条件下，对实际电路部件加以近似化，用一个足以表征其主要性能模型来表示。例如，灯泡的电感是极其微小的，可以把它看作一个理想电阻元件（纯电阻），其文字符号及相应的图形符号如图 1—3 (b) 所示，这个理想电阻元件简称电阻，就构成了灯泡的模型；一个新的干电池，其内阻和负载灯泡相比，可以忽略不计，把它看作一个电压恒定的理想电压源，这个理想电压源就构成了干电池的模型，其符号如图 1—3 (b) 所示；在连接导线很短的情况下，它的电阻可以忽略不计，看作是理想导体。各种实际部件都可以由一些理想元件构成（基本理想元件有五种。即：理想电阻、理想电容、理想电感、理想电压源和理想电流源，以后将陆续讨论它们的性能）。由理想元件构成的电路叫电路模型。对应图 1—3 (a) 所示实际电路，其电路模型如图 1—3 (b) 所示。今后我们所讨论的电路都是这种电路模型。对电路模型进行分析就能预测实际电路的性能，并设计出更好的电路。

以上的电路只有一个闭合路径，称为单回路电路或无分支电路。当电路中的电流是不随时间变化的恒定电流时，这种电路称

为直流电路。

电路问题，可以看成是确定由一个或多个电源和一个或若干个元件所组成的网络的因果关系。电源（称为激励）是引起电路各部份产生响应的原因。待求的结果是由电源在电路的各部分引起的电压、电流（称为响应）。解决这类问题称为电路分析。本章讨论的是工作于稳定状态下的直流线性电阻电路，即纯电阻电路。一般只包含三种理想元件，即：理想电阻、理想电压源和理想电流源（理想电容元件和理想电感元件将在第二章中讨论）。分析和计算的依据是电路的两个基本定律——欧姆定律和克希荷夫定律。

第二节 理想电阻元件

理想电阻元件以及表征电阻特性的欧姆定律，已经在物理学中学过，这里我们从电路分析的观点进行复习和补充。

一、电阻元件和欧姆定律

电阻元件具有阻碍电流流动的特性。电流流过电阻就会沿着电流方向产生电压降，电压与电流的关系服从欧姆定律。即：电阻两端的电压与流过电阻的电流成正比。其数学表达式可由图 1—4(a) 列出

$$U = IR \quad (1-1)$$

式中 R ——称为元件的电阻。它是反映电阻元件对电流呈现阻力的电路参数。

电阻 R 是一个与电压和电流大小无关的常数，其值等于电压与电流值之比，即

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，电压的单位是伏[特]，符号为 V；电流的单位是安[培]，符号为 A；电阻的单位为欧[姆]，符号为 Ω 。

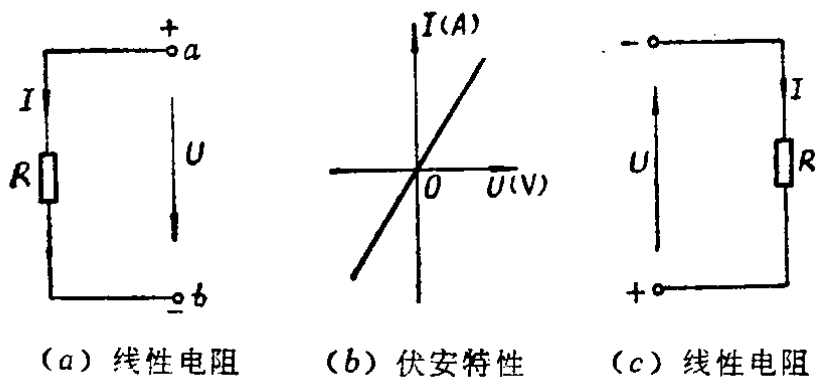


图 1—4 线性电阻及其伏安特性

通过实验可得到电阻的伏安特性是一条通过坐标原点的直线，如图 1—4 (b) 所示。因此，遵循欧姆定律的电阻元件称为线性电阻元件，简称电阻。由线性电阻组成的电路称为线性电路※。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。对于简单电路，直流电源的极性是已知的，根据电源的极性就能容易地确定电流的实际方向。但是，在复杂直流电路中，往往难以判断各个电流的实际方向。因此，在电路分析中，采用“先假定、后判断”的方法。即：在解题之前，首先在电路图上画箭头符号标明假设的电流方向（称为参考方向），然后根据假定的参考方向对电路进行分析计算，最后根据计算出的电流值的正负，就可方便地确定电流的实际方向。若电流值为负，则电流的实际方向与假设的参考方向相反；若电流值为正，则电流的实际方向与参考方向一致。所以，参考方向又叫作正方向。

参考方向是任意假定的。但是，一经选定之后，就不得随意变更。

同样，电压的实际方向也是根据电压值的正负，结合参考方向（或参考极性）来判断的。

※ 非线性电阻元件的电阻值是电流（或电压）的函数，而不是常量，不服从欧姆定律，其伏安特性不是直线而是曲线。例如，二极管是一种非线性元件，其伏安特性是一条曲线。包含非线性元件的电路称为非线性电路，电路的分析计算是直接以元件的伏安特性为依据的。

电流和电压的参考方向可以独立地分别加以任意假定。但考虑到电流和电压的实际方向总是一致的，为了方便起见，常采用关联参考方向，即电流的参考方向和电压的参考方向一致。如图 1—4 (a) 所示。在采用关联参考方向的前提下，欧姆定律的数学表达式才能用公式 (1—1) 表示。如果电压和电流的参考方向相反，如图 1—4 (c) 所示，则欧姆定律的数学表达式应为

$$U = -IR \quad (1-3)$$

所以，公式必须与参考方向配套使用。由此可见，参考方向在电路分析中具有十分重要的作用。本书电路图上所标注的电流（电压）方向均为参考方向。

电流（电压）的参考方向，除了在电路中用箭头表示外，也可用双下标表示，如： I_{ab} 和 U_{ab} ，表示它们的参考方向是由 a 指向 b 。若参考方向假定为由 b 指向 a ，则应写为 I_{ba} 、 U_{ba} 。显然

$$I_{ab} = -I_{ba}$$

$$U_{ab} = -U_{ba}$$

【例 1—1】求图 1—5 (a)、(b)、(c)、(d) 中的电压 U ，并在 (c)、(d) 图上标出电压的实际方向。

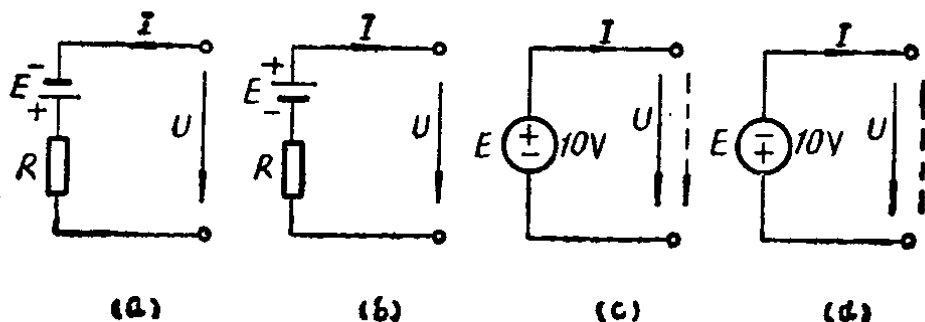


图 1—5 例 1—1 的电路

【解】根据图中实线箭头所示的参考方向，可求得电压 U 为

对于图 (a) $U = IR - E$

对于图 (b) $U = E - IR$

对于图 (c) $U = E = 10V$

对于图 (d) $U = -E = -10V$

图(c)、(d)中电压的实际方向如虚线箭头所示。当电压值为正,则电压的实际方向与参考方向相同,如图(c)所示;当电压值为负,其实际方向与参考方向相反,如图(d)所示。

电流流过电阻势必消耗电能而发热,在电压和电流的关联方向下,电阻消耗的功率为

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1-4)$$

功率P恒为正值,所以,电阻是耗能元件。它把吸收的电能全部转换为热能。

在国际单位制中,功率的单位名称为瓦[特],简称瓦(W)。在计算大功率时以千瓦(kW)为单位;计算小功率时以毫瓦(mW)为单位。1千瓦等于 10^3 瓦,1毫瓦等于 10^{-3} 瓦。国内曾经应用“毫微(mμ)”、“微微(μμ)”、“千兆(kM)”等辅助单位,按照国际标准化组织的规定,统一改用“纳(n)”、“皮(p)”、“吉(G)”替代。其换算关系如表1-1所示。

国际制辅助单位词冠

表 1-1

词 冠 名 称	中文代号	国际代号	因 数
吉伽 (giga)	吉	G	10^9
兆 (mega)	兆	M	10^6
千 (kilo)	千	k	10^3
毫 (milli)	毫	m	10^{-3}
微 (micro)	微	μ	10^{-6}
纳诺 (nano)	纳	n	10^{-9}
皮可 (pico)	皮	p	10^{-12}

例如: 1 吉瓦(GW) = 1×10^9 瓦(W)

2 兆欧(MΩ) = 2×10^6 欧(Ω)

3 千伏(kV) = 3×10^3 伏(V)

4 毫亨(mH) = 4×10^{-3} 亨(H)

5 微安(μA) = 5×10^{-6} 安(A)

6 纳秒(ns) = 6×10^{-9} 秒(s)

7 皮法(pF) = 7×10^{-12} 法拉(F)

二、电阻的串联和并联

(一) 电阻的串联

在电路中，若两个或多个电阻依次顺序相联，通过同一电流，叫做电阻的串联。如图 1—6 所示。 R 是代替两个串联电阻的等效电阻，其值为串联电阻之和。即

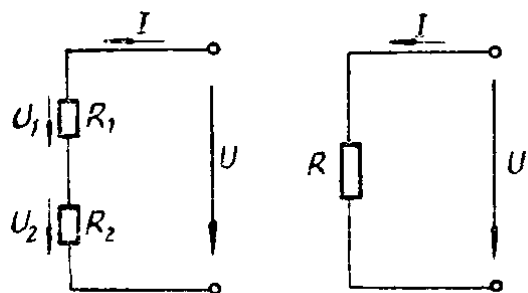
$$R = R_1 + R_2 \quad (1-5)$$

串联电阻起分压作用，各个串联电阻上的分压为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \\ \frac{U_1}{U_2} &= \frac{R_1}{R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

可见，电阻串联时，各电阻上的分压与其电阻值成正比。当其中某个电阻的值较其它电阻小得多时，该电阻的分压作用可以忽略不计。在生产实践中，串联电阻的应用很广。如：应用电阻的串联组合获得所需要的电阻值；当负载的额定电压低于电源电压时，可选一个合适的降压电阻与负载串联；当需要限制负载电流时，可与负载串联一个限流电阻等等。

【例 1—2】图 1—7 所示电路是一个用作分压的可变电阻（称做电位器，它有 a 、 b 和 c 三个接线端，其中 c 为滑动触



(a) 串联电路 (b) 等效电路

图 1—6 电阻的串联

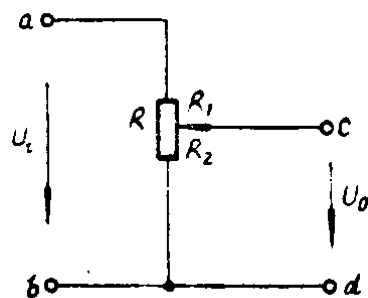


图 1—7 电位器

点，调节此触点，改变 R 的值，输出电压 U_0 即随之而变)。当输入电压为 U_i 时，求输出电压 U_0 的变化范围。

【解】输出电压与 R_2 成正比地变化，即

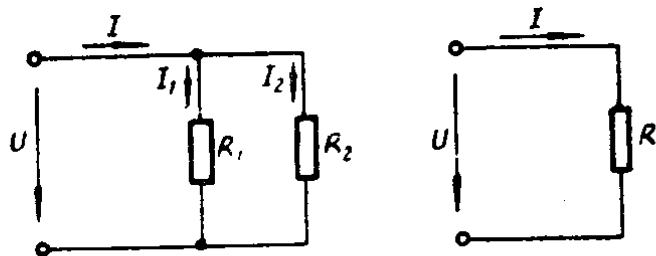
$$U_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_i = \frac{R_2}{R} U_i$$

因为 R_2 的变化范围为 $0 \sim R$ ，所以， U_0 的变化范围为 $0 \sim U_i$ 。

收音机等音响设备就是利用电位器来调节音量的大小。

(二) 电阻的并联

在电路中，若两个或多个电阻的首端和末端分别联在一起，承受同一电压，叫做电阻的并联。今以两个电阻 R_1 与 R_2 并联为例，如图 1—8 所示。 R 是代替两个并联电阻的等效电阻，等效电阻值的倒数等于各个并联电阻值的倒数之和。即



(a) 并联电路

(b) 等效电路。

图 1—8 电阻的并联

$$\left. \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right\} \quad (1-7)$$

或写成

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

式中 $R_1 // R_2$ —— 表示 R_1 和 R_2 并联。

并联电阻起分流作用，各个并联电阻上的电流为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I \\ \frac{I_1}{I_2} &= \frac{R_2}{R_1} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$