

电 路 基 础

吴叔美 王济清 江金容 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书共分八章,内容有直流电路,交流电路,串并联谐振电路,耦合谐振电路,无线电信号的频谱特性及复杂信号通过线性电路的分析方法,电路的瞬变过程,双口网络和滤波器,磁路。每章均附有习题,书末给出了习题答案。全书内容丰富,论述严谨,文笔通俗,深入浅出。可作为高等院校无线电电子学类专业专修科,非电子类专业以及师范院校物理系的电路基础教材,也可供有关专业的工程技术人员参考。

电 路 基 础

吴叔美 王济清 江金泽 编著
责任编辑:张卫红

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号

北京顺义兴华印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 1987年3月第一版
印张: 18 20/32页数: 298 1987年3月北京第一次印刷
字数: 493千字 印数: 1—8,000册
统一书号: 15045·03292—无6389
定价: 3.90元

目 录

第一章 直流电路

第一节	电路的基本概念	1
第二节	直流负载的电特性 欧姆定律	3
第三节	电源的电特性	5
第四节	电功率	8
第五节	负载获得最大功率的条件	12
第六节	简单电路的计算电阻的串联和并联	13
第七节	电阻星形联接和三角形联接的等效变换	22
第八节	基尔霍夫定律	28
第九节	网络的拓扑结构	31
第十节	复杂电路的计算支路电流法	34
第十一节	节点电压法	40
第十二节	回路电流法	46
第十三节	叠加原理	51
第十四节	电源的电路模型——电压源和电流源	55
第十五节	代文宁定理	64
第十六节	受控源及含有受控源电路的分析	69
小 结	.....	78
习 题	.....	80

第二章 交流电路

第一节	交流电的基本概念	103
第二节	正弦量的相量表示法	110
第三节	电阻元件的交流电特性	122
第四节	动态元件的交流电特性	127
第五节	串联电路的计算阻抗	142
第六节	并联电路的计算导纳	150

第七节	复杂交流电路的计算	158
第八节	交流电路的功率及最大功率传输	164
第九节	电磁耦合互感	174
第十节	互感电路的计算	181
第十一节	互感耦合电路的去耦等效转换	188
第十二节	三相电路的基本知识	191
小 结	.....	205
习 题	.....	207
第三章 串联和并联谐振电路		
第一节	谐振电路	221
第二节	串联谐振	222
第三节	串联谐振电路的选频特性	228
第四节	串联谐振电路的通频带	236
第五节	并联谐振	242
第六节	并联谐振电路的选频特性与通频带	252
第七节	并接电阻对并联回路谐振特性的影响	255
第八节	谐振电路应用举例Q表	259
小 结	.....	264
习 题	.....	267
第四章 耦合谐振电路		
第一节	耦合谐振电路和耦合系数	273
第二节	耦合回路的分析方法 反映阻抗和等效电路	276
第三节	耦合回路的谐振	283
第四节	耦合回路的谐振曲线与通频带	290
第五节	耦合回路中的能量关系及功率传输效率	300
小 结	.....	304
习 题	.....	308
第五章 无线电信号的频谱特性及复杂信号通过线性电路的分析方法		
第一节	周期性非正弦信号	312
第二节	非正弦信号作用于线性电路的计算	324

第三节	非周期性信号	332
第四节	调幅波	339
第五节	调角波	348
第六节	不失真传输无线电信号的理想条件	357
小 结	.....	361
习 题	.....	364
第六章 电路的瞬变过程		
第一节	瞬变过程的概念换路定律	370
第二节	分析瞬变过程的一般法则	376
第三节	RC 电路的瞬变过程	378
第四节	RL 电路的瞬变过程	389
第五节	RLC 串联电路的瞬变过程	398
第六节	拉普拉斯变换	408
第七节	拉氏变换的基本性质	411
第八节	常用函数的拉普拉斯变换	416
第九节	拉普拉斯反变换	423
第十节	微分方程的拉氏变换	433
第十一节	等值运算电路	440
小 结	.....	445
习 题	.....	447
第七章 双口网络和滤波器		
第一节	双口网络的基本概念	457
第二节	双口网络的网络参数	459
第三节	双口网络的等效电路	471
第四节	双口网络的影象参数	477
第五节	阻抗匹配网络	485
第六节	影象参数滤波器的结构和传通条件	492
第七节	K 式滤波器	493
第八节	m 式滤波器	505
第九节	RC 选频网络	516
小 结	.....	524

习 题	526
第八章 磁路	
第一节 描述磁场和磁路的几个主要物理量	534
第二节 铁磁物质的磁特性	537
第三节 直流磁路的计算	540
第四节 交流电路中的铁芯线圈	548
第五节 铁芯变压器	555
第六节 小功率变压器的设计	561
小 结	571
习 题	572
部分习题答案	574
参考书目	586

第一章 直流电路

第一节 电路的基本概念

在日常生活中，经常接触到各种用电设备，如手电筒、电灯、电动机、电烙铁、电视机、收音机等。这些设备在使用时，都要构成电流的通路。我们把电流所流经的闭合通路称为电路。当开关闭合，接通电源时，电路中就有电流流通，使设备处于工作状态。

以手电筒为例，它是由于电池、小电珠和连接导体（金属外壳）组成的电路，用一个开关控制电路的开闭。由此可知，一个简单的电路是由三部分组成的：电源（如干电池、蓄电池等）、用电设备，又称负载（如电灯、电烙铁等）和把负载与电源连成电流通路的导线。

电源是电路中电能的供给者。负载是接受电能的设备，它把电能转换成其它类型的能量。如电烙铁把电能转换成热能，电动机把电能转换成机械能等等。而导线的作用则是把电源和负载连接起来，通过它传送电能。

为了分析一个电路的工作，我们常用规定的图形符号代表真实的电路元件，画成电路图或叫电路模型，如图1-1所示。

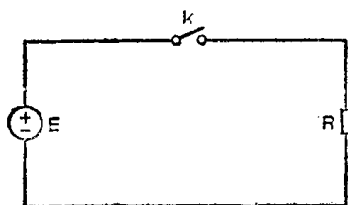


图 1-1 电路图

当图1-1的开关 K 闭合后，电源与负载通过导线构成了闭合通路。在电源的作用下，电路中就产生了电流，如图1-2所示。

电路图简单明了。在电子技术中，我们总是把设备

的实际电路画成电路图，然后对电路图进行分析及计算。比较复杂的电路图，象鱼网一样，故有时也称为网络。“电路”和“网络”这两个名词在本书中将互相通用，不加区分。

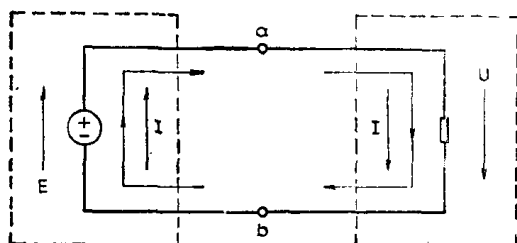


图 1-2 开关接通时的电路图

电路中的电源电势，各个负载上的电压、电流等物理量，若大小和方向都随时间作有规律的变动，即是时间的函数，则称为交流，一般常用 $e(t)$ 、 $u(t)$ 及 $i(t)$ 表示，或简单地表示为 e 、 u 及 i 。如果它们不随时间变化，则称为直流，常用大写的字符 E 、 U 及 I 来表示。本章只分析直流电路。

在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安（A）。在电子技术中，有时用安作单位太大了，可用毫安（mA）或微安（ μA ）作单位，它们的关系是：

$$1 \text{ 毫安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = 10^{-6} \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 毫安}$$

电势和电压的单位用伏特，简称伏（V）。在电子技术中，对于较高或较低的电压还采用千伏（kV）或毫伏（mV）、微伏（ μV ）作单位，它们的关系是：

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 微伏} = 10^{-6} \text{ 伏} = 10^{-3} \text{ 毫伏}$$

对电路进行分析，主要是求出电路中各元件上的电压和电流。由于电压有极性，电流有流向，需要在电路图上标明。简单的电

路，在电路图上标明电压及电流方向并不困难，如图1-2。但在一些较复杂的电路中，正确地判断方向是很困难的，为此，引入参考方向的概念。将电压、电流看成为代数量。例如，在图1-3中，预先选定任一个方向作为电压（电流）的参考方向，若计算出的电压（电流）是正的，则表示其真实方向与参考方向相同；若是负的，则表示其真实方向与参考方向相反。只有指定了参考方向，量值的正和负才有明确的物理意义。

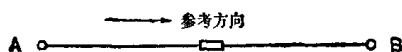


图 1-3 参考方向

注意：参考方向可以任意指定。但一经指定，在整个分析计算过程中就不能变动。为处理问题方便，常把同一元件上的电压与电流的参考方向取为一致，称为关联的参考方向，如图1-2所示。

第二节 直流负载的电特性 欧姆定律

在负载两端加上电压 U ，负载中就有电流 I 流过，我们可通过实验来找出负载上电流和电压的关系。实验电路如图1-4所示。电

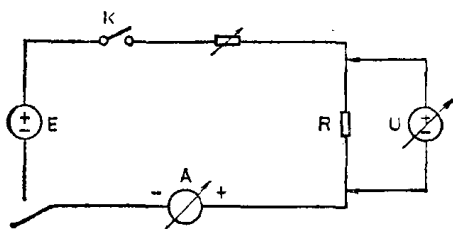


图 1-4 测量电阻特性的实验电路

阻 R 为负载，调节通过电阻的电流大小，并测量在不同电流值时电阻上的电压降，测得下列一组数据：

为直观起见，把测得的数据画在 $U-I$ 平面上，以电流 I 为纵坐

$I(\text{mA})$	0	5	10	15	20	25
$U(\text{V})$	0	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5

标, 电压 U 为横坐标 (或以 U 为纵坐标, I 为横坐标), 画出负载的伏安特性曲线, 如图1-5所示。由图可见, 得到的曲线是一条通

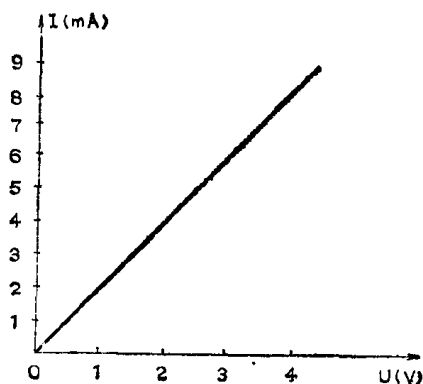


图 1-5 直流负载的伏安特性

过原点的直线。它表示负载上的电压与电流成正比关系, 其比值是一个常数。写成函数关系式为:

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

式 (1-1) 称为欧姆定律。它表示, 线性电阻元件上的端电压与电流的关系为 $U = RI$ 。对于一个给定阻值的线性电阻, 只要知道 U 、 I 中的任一个, 即可根据欧姆定律求出另一个。例如, 当2欧电阻元件两端电压为10伏时, 产生5安的电流, 如通过4安的电流, 则端电压为8伏。

R 为负载电阻的电阻值, 表示电阻元件对电流呈现阻力的大小, 阻值越大, 在一定电压下通过的电流就越小。如电压的单位用伏, 电流的单位用安, 则 R 的单位为欧姆 (Ω)。凡是伏安特性曲线为通过坐标原点的直线的电阻元件都称为线性电阻元件。线性电阻元件的特性可以用它的阻值 R 表示。例如, 若在一个5欧姆的电

阻上，外加 5 伏的电压，便得到 1 安的电流；当外加电压为 10 伏时，电流便为 2 安。

在电子电路中，所用电阻的阻值一般都比较小，故还采用千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$) 作单位。

$$1 \text{ 千欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 10^3 \text{ 千欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

伏安特性曲线不成直线关系的电阻元件称为非线性电阻元件。对于非线性电阻就无法用一个简单的量值来表示其特性。因为当电压电流变动时，它们的比值也是变动的。通常直接用伏安特性曲线来表示其电特性。例如，常用的晶体二极管就是一种非线性元件。由线性元件组成的电路称为线性电路。本书中只讨论线性电路。

电阻元件的电特性，除用电阻 R 表示外，也可用它的倒数 G 来表示：

$$I = GU \quad (1-2)$$

G 称为电导，在国际单位制中，电导的单位是西门子，简称西 (S)。电阻 R 和电导 G 表示电阻元件的同一个电特性。电阻元件在电路中有时用 R 表示，有时用 G 表示，视分析和计算上的方便而定。

下面给出欧姆定律的三种表达式：

$$\begin{cases} U = RI \\ I = \frac{U}{R} \\ R = \frac{U}{I} \end{cases} \quad \begin{cases} I = GU \\ U = \frac{I}{G} \\ G = \frac{I}{U} \end{cases} \quad (1-3)$$

第三节 电源^①的电特性

一、电源的电动势

注^① 作为能源形式的电源，在电路中起激励作用，又叫激励源，简称激励。激励源在电路中产生的电压和电流叫作响应。

电源是一种能量转换装置，它把其它类型的能量转换成电能。例如蓄电池和干电池就是将化学能转换成电能，发电机是将机械能转换为电能。在电源内部，外力把单位正电荷由负极移到正极所作的功称为电源的电动势，用字母 E 表示，单位和电压相同。电动势 E 的方向是从低电位指向高电位，就是电位升高的方向，与电压相反。

在电动势 E 的作用下，电路中有电流流通，电流从电源的正极经过负载 R 流向电源的负极，经过电源内部，形成一个闭合回路。

二、电源的端电压、内阻

在实际工作中常发现，当电源未接负载时，端电压为 U_0 ；当接上负载后，端电压下降，而且电流愈大，端电压下降也愈多。这一事实说明，电源具有内电阻。因此，一个实际的电源特性可用电动势 E 和内电阻 R_s 串联的电路模型表示，如图1-6(a)所示。一般在电源的正常工作范围内，其外接端口上的伏安关系近似于一条向下倾斜的直线，如图1-6(b)，称为电源的外特性曲线，其函数关系可

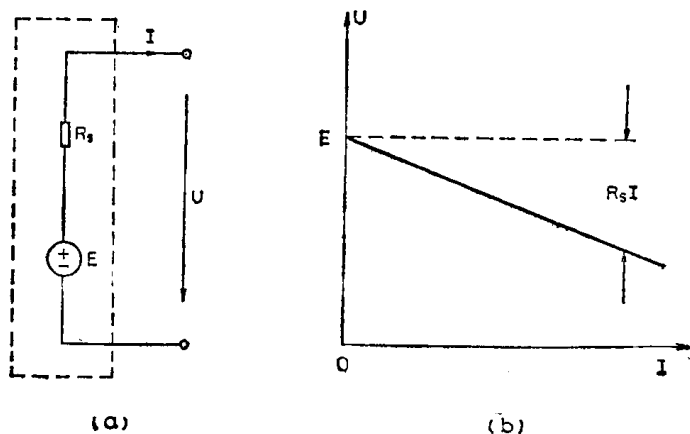


图 1-6 电源的电路模型及外特性

写成

$$U = E - R_s I \quad (1-4)$$

当电源和负载相接时，它们应有相同的电压和电流，由图1-7可得以下关系式

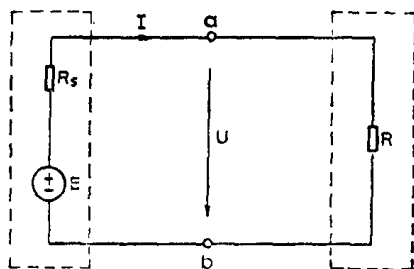


图 1-7 电源接负载情况

负载端 $U = RI$

电源端 $U = E - R_s I$

解得

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{E}{R_s + R} \\ U &= RI = \frac{R}{R_s + R} \cdot E \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

对式 (1-5) 可简单讨论如下

1. 当电源的外电路短路时， $R = 0$ ，由式 (1-5) 得短路电流为

$$I = I_s = \frac{E}{R_s}$$

由于一般电源的内阻 R_s 很小，将导致很大的短路电流，若未加保护装置，则可能使电源损坏。

2. 当外电路开路时， $R = \infty$ ， $I = 0$ ，由式 (1-5) 得电源的开路电压为

$$U_{I=0} = U_0 = E$$

即电源的开路电压等于电源的电动势。

3. 当电源接至任意负载时, 输出电压小于 E 。减小愈多, 表示电源的内电阻愈大。

一般提供电能的电源, 在其正常工作范围内, 内阻都是较低的, 当电流改变时, 端电压的变动很小, 在理想情况下, 电源的内阻 $R_s = 0$, 这种内阻等于零的电源称为理想电压源。它对外供给一个恒定的电压, 输出电压与电流大小无关, 即 $U = E$, 其电路模型及外特性如图1-8所示。

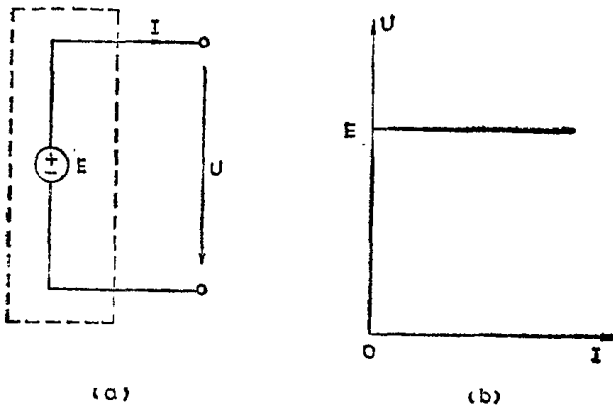


图 1-8 理想电压源

第四节 电 功 率

电路是用来传送和分配电能的。在日常生活和工程技术中, 经常遇到功率问题。例如常用的灯泡、电烙铁等, 它们的规格都是同时给出电压和功率, 如220V, 45W或220V, 75W等。另外, 为了正确地选用电路元件, 也涉及到功率问题。因此, 有必要搞清功率的意义以及它与电流、电压、电阻的关系。

在物理学中已经学过, 单位时间内所作的功叫做功率, 一般用符号 P 表示, 它的单位是瓦特, 简称瓦 (W)。

一、负载接受的功率

若一个负载中通过的电流为 I ，负载两端的电压为 U ，在电压和电流为关联参考方向时（见图1-9），该负载接受的电功率等于

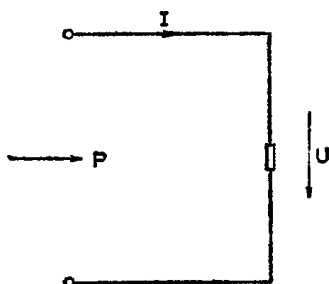


图 1-9 功率计算

电压和电流的乘积，即

$$P = UI \quad (1-6)$$

式中电压的单位是伏，电流的单位是安，功率的单位是瓦（W）。功率 $P > 0$ ，表示这部分电路吸收功率，能量从电源输入电路；如果 $P < 0$ ，表示电路实际是释放电能。

在工程计算中，也常用千瓦（kW）、毫瓦（mW）作单位。

$$1 \text{ 千瓦} = 10^3 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 毫瓦} = 10^{-3} \text{ 瓦}$$

当负载是线性电阻时，电阻上的电压、电流满足欧姆定律，即 $U = RI$ ，代入式（1-6）得：

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

式（1-7）说明，对于一定大小的电流， R 越大消耗功率越大；而在一定大小的电压条件下， R 越小，消耗的功率越大。

电流在电阻上消耗的电能转化为热能，使电阻发热。我们可以利用它制成各种电热器，如电炉、电烙铁等等。但如果电流过大，超过容许的量值，设备的温升将会过高，从而使设备的性能变坏，

严重时会烧坏设备。因此，在选用电阻或其它电路元件时，不仅要选取适当的阻值，而且要顾及其功率容量，根据运用时通过电流的大小进行功率计算，以免元件过热损坏。

例 1-1 一个 100Ω 、 1W 的碳膜电阻，在使用时电流、电压不得超过多大量值？

解 由式(1-7)可得

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = \frac{1}{10} \text{ A} = 100\text{mA}$$

$$U = RI = 100 \times 100 \times 10^{-3} = 10\text{V}$$

故在使用此电阻时电流不得超过 100mA ，电压不得超过 10V ，否则，不能正常工作。超过太多，电阻将被烧坏。

例 1-2 电路如图1-10所示，其中 $U = 10\text{V}$ ， $E = 15\text{V}$ ， $R = 50\Omega$ ，试问该电路是吸收功率还是供给功率？

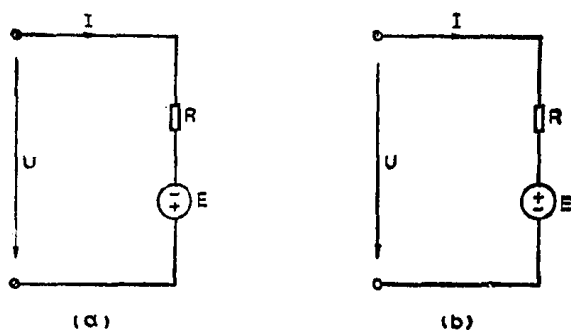


图 1-10 例题1-2图

解 1. 在图 (a) 所示参考方向下：

$$U = RI - E$$

$$I = \frac{U + E}{R} = \frac{10 + 15}{50} = 0.5\text{A}$$

$$P = UI = 10 \times 0.5 = 5\text{W}$$

在关联参考方向下， $P > 0$ ，说明该电路吸收电功率，是一负载。

2. 在图 (b) 所示参考方向下：

$$U = RI + E$$

$$I = \frac{U - E}{R} = \frac{10 - 15}{50} = -0.1 \text{ A}$$

$$P = UI = 10 \times (-0.1) = -1 \text{ W}$$

在关联参考方向下, $P < 0$, 说明该电路是供给功率。

二、电源供给的功率

负载消耗的电功率是由电源供给的。若电源的端电压为 U , 电流为 I , 则该电源输出的电功率 P 等于端电压 U 和电流 I 的乘积, $P = UI$, 亦即负载接受的电功率。

在电源内部, 电流从负极流向正极, 将正电荷从低电位移到高电位, 需要外力克服电场力作功。外力克服电场力所作的功, 大部分转变为电能, 输出到负载去, 有一部分在电源的内部消耗掉。

电源本身消耗的功率, 一般不能用 $R_S I^2$ 来计算。因为电源用电势 E 串联电阻 R_S 表示, 只是电源的等效电路, 它是根据电源的外特性得出的, 并不反映电源内部的实际情况。

例 1-3 一个用电势 $E = 3 \text{ V}$, 串联内电阻 $R_S = 2 \Omega$ 表示的电源, 接有 $R_L = 20 \Omega$ 的负载, 见图1-11, 求电路中的电流和电源的端电压, 以及电源输出的电功率。

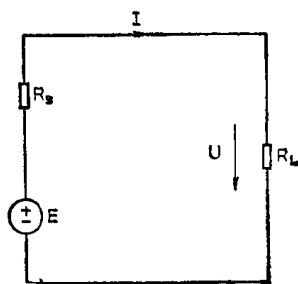


图 1-11 例题1-3电路图

$$\text{解 } I = E / (R_L + R_S) = \frac{3}{20 + 2} = \frac{3}{22} \approx 0.136 \text{ A}$$

$$U = E - R_S I = 3 - 2 \times 0.136 \approx 2.73 \text{ V}$$

它即是负载电阻上的电压

$$U = R_L I = 20 \times 0.136 = 2.72 \text{ V}$$

上式中计算得出的两个 U 略有差异是计算中的舍入误差所致。