

数字计算机线路



国营南京有线电厂

西安军事电讯工程学院教改实践队 7.27 工人教学班

南京大学教改实践队

前 言

伟大的七十年代第一年过去了，在社会主义革命和社会主义建设的新高潮中，迎来了战斗的一九七一年。

在过去的一年里，我厂革命职工在厂党的核心小组，军宣队，革委会直接领导和亲切关怀下，遵循伟大领袖毛主席“7.21”“7.27”的光辉指示，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路，以工人为主体，有革命干部、革命技术人员参加，和南京大学、西安军事电讯工程学院教改实践队实行革命的三结合，成立了“7.27 工人教学班”。工人阶级满怀革命豪情，牢记毛主席“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平**”的伟大教导，勇敢攀登电子技术高峰。

电子计算机的研制和使用是一门新兴的学科，目前，它已广泛使用在国防，科研和国民经济的各个部门。它以高速，精确的运算能力，极大的替代了人的复杂劳动，并使某些原来难以解决的计算和控制问题，得到及时而准确的解决，实现了大量过程控制的自动化，有力的推动了科学技术的发展。

在我国，电子计算机这一科技领域和一切科学技术一样，在由工人阶级领导它、掌握它，还是由资产阶级学术权威把持、垄断的根本问题上，充满着两个阶级、两条道路、两条路线的激烈斗争。我们“7.27工人教学班”就是为了执行和捍卫毛主席的无产阶级的革命路线，在阶级斗争的暴风雨中诞生的。从它成立的那一天起，就显示出新生事物所特有的无比生命力。工人阶级大踏步的走在毛主席的革命路线上，高举革命批判大旗，“**横扫千军如卷席**”，猛揭叛徒、内奸、工贼刘少奇的反革命修正主义路线，狠批“爬行主义”，

“洋奴哲学”，大破“技术神秘论”；树立“备战、备荒、为人民”的战略思想，大兴“官教兵、兵教官”，理论联系实际，学用结合的好学风。在研制、设计和生产的实践过程中，取得了初步的可喜成果。

在全民大办电子工业的大好形势鼓舞下，我们遵照毛主席关于“要认真总结经验”的伟大教导，经过一年多来的探索和实践，在这个基础上，编写了“数字计算机线路”和“数字计算机原理”两本书。为使广大工农兵更好的掌握计算机，因此本书的文字力求通俗易懂，避免冗长而繁琐的数学推导，而把其物理实质讲清讲透，使具有初中文化程度的同志就能阅读。

为适应赶超世界先进水平的需要，在内容的选取上力求反映当前的先进技术，而把那些已经过时或将要过时的东西尽量删去。

由于我们教学班成立的时间不长，实践经验还很少，编写本书也是我们的初步尝试，肯定会存在不少的缺点和错误，望同志们批评、帮助，以期日臻完善。我们决心沿着毛主席的无产阶级革命路线，努力攀登电子技术高峰，赶超世界先进水平，为伟大领袖毛主席争光！为伟大的社会主义祖国争光！

我们的目的一定要达到。

我们的目的一定能够达到。

“7.27”工人教学班

1970年12月26日

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

备战、备荒、为人民。

工人阶级必须领导一切。

大学还是要办的，我这里主要说的是理工科大学还要办，但学制要缩短，教育要革命，要无产阶级政治挂帅，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。要从有实践经验的工人农民中间选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去。

中国应当对于人类有较大的贡献。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

要打破洋框框，走中国自己工业发展的道路。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

团结起来，争取更大的胜利。

目 录

第一章 电 工 基 础

第一节 电的基本概念	(1)
一、电场和电位	(2)
二、电流和电源	(4)
三、电阻	(4)
四、电功和电功率	(6)
第二节 直流电路	(7)
一、欧姆定律	(7)
二、电阻的串并联	(8)
三、克希霍夫定律	(10)
四、等效发电机定理(戴文宁定理)	(12)
第三节 电容及其充放电	(15)
一、电容及电容器	(15)
二、电容器的串、并联	(16)
三、电容器的充电、放电过程	(17)
第四节 电感及其充放电	(19)
一、电感及 RL 串联电路	(19)
二、RLC 串联电路简单介绍	(20)
第五节 电工测量	(22)
一、磁的基本概念	(22)
二、载流导体在磁场中的运动	(23)
三、磁电式仪表	(24)
四、测量电流	(24)
五、测量电压	(25)
六、测量电阻	(25)

第二章 晶体管的基本工作原理

第一节 半导体的基本知识	(27)
一、半导体的结构及载流子的形成	(27)
二、半导体的导电性能	(28)
三、P 型和N型半导体	(28)
第二节 PN 结及二极管的伏安特性	(29)

一、異型半导体的接触现象	(30)
二、PN 結加偏压时的电流	(31)
三、晶体二极管的伏安特性	(32)
第三节 結电容及二极管的动态特性	(33)
第四节 二极管的参数和使用	(35)
第五节 三极管的基本工作原理	(36)
一、晶体管的构成和用于放大时的工作情况	(36)
二、晶体三极管里的电流	(36)
三、晶体管载流子密度分布和电流的关系	(37)
四、共发射极电路	(38)
第六节 晶体管的静态特性	(39)
一、共发射极特性曲线	(39)
二、晶体管放大器及偏置电路	(41)
第七节 晶体管的动态特性	(43)
一、延迟时间 t_d	(43)
二、上升时间 t_r	(44)
三、存貯时间 t_s	(44)
四、下降时间 t_f	(44)
第八节 晶体管的参数与使用	(45)

第三章 脉 冲 电 路

第一节 概述	(48)
一、什么叫脉冲	(48)
二、脉冲电路的特点	(49)
三、典型的脉冲波形和参数	(49)
四、脉冲技术的应用	(51)
第二节 R—C 电路	(51)
一、R—C 电路的过渡过程	(53)
二、R—C 积分电路	(54)
三、R—C 微分电路	(56)
四、R—C 分压电路	(58)
五、R—C 耦合电路	(60)
第三节 限幅与箝位电路	(61)
一、限幅电路	(62)
二、箝位电路	(68)
第四节 反相器	(70)
一、飽和式反相器	(70)
二、限飽和反相器綫路	(77)

第五节 射极跟随器	(78)
一、静态工作分析	(78)
二、动态分析	(80)
第六节 晶体管双稳态触发器	(82)
一、晶体管饱和式对称触发器	(82)
二、晶体管发射极耦合双稳态触发器	(92)
第七节 晶体管单稳态触发器	(94)
一、集基耦合的单稳态触发电路	(95)
二、发射极耦合单稳态触发电路	(98)
第八节 自激多谐振荡器	(104)
一、自激多谐振荡器的分析	(104)
二、多谐振荡器的同步	(108)
三、射极定时电路	(109)
第九节 锯齿电压形成电路	(111)
一、电压作线性变化的基本原理	(112)
二、简单的锯齿电压产生电路	(112)
三、带有恒流元件的锯齿电压产生电路	(114)
四、自举电路(正向锯齿电压产生电路)	(115)
五、负反馈锯齿波电路(负向锯齿波产生电路)	(116)
六、锯齿波的同步	(117)
第十节 脉冲示波器	(120)
一、脉冲示波器的工作原理	(120)
二、脉冲示波器的使用	(122)

第四章 逻辑电路

第一节 或门	(124)
一、二极管或门电路	(124)
二、二极管正向电阻及反向漏电流的影响	(125)
三、输出信号的边沿	(126)
四、直流负载能力	(128)
五、或非门	(129)
第二节 与门	(130)
一、二极管与门电路	(130)
二、二极管与门电路性能分析	(130)
三、与非门	(132)
第三节 正负逻辑的关系	(132)
第四节 数字集成电路	(133)
一、集成电路制造过程简介	(134)

二、二极管——三极管逻辑 (DTL) 电路	(136)
三、晶体管——晶体管逻辑 (TTL) 电路	(137)
四、其它形式的数字集成电路	(138)
第五节 晶体管——晶体管逻辑电路的分析和应用	(141)
一、晶体管——晶体管逻辑单与非门的分析	(141)
二、TTL 单与非门的参数和测试	(144)
三、扩展器和驱动器	(148)
四、数字集成电路的外形与命名	(150)
第六节 用与非电路构成的触发器	(152)
一、R—S 触发器	(152)
二、可控 RS 触发器	(154)
三、计数触发器	(155)
四、主从触发器的变型	(159)
第七节 集成触发器电路原理及分析	(161)

第五章 半导体直流稳压电源

第一节 交流电	(165)
一、什么叫交流电	(165)
二、周期与频率	(165)
三、瞬时值、振幅值、有效值、功率	(166)
四、相位和相位差	(167)
第二节 不控整流电路	(168)
一、单相半波纯电阻负载整流电路	(168)
二、单相全波纯电阻负载整流电路	(169)
三、单相桥式纯电阻负载整流电路	(170)
四、滤波电路	(172)
五、倍压整流电路	(174)
六、整流变压器	(175)
第三节 可控硅整流电路	(177)
一、可控硅特性与工作原理	(177)
二、可控硅的阳极伏安特性	(180)
三、单相可控硅整流电路	(181)
第四节 半导体直流稳压电路	(184)
一、硅稳压二极管(齐纳二极管)稳压电路	(184)
二、串联式晶体管稳压电路	(185)
三、可控硅稳压电路	(188)
第五节 功率晶体管的散热	(191)

毛主席语录

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

第一章 电工基础

本章介绍了有关电子及电路的基础知识，是学好电子线路的基础。本章内容仅包含直流电路部份，有关交流电部份，在第五章电源里介绍。

第一节 电的基本概念

劳动人民经过长时间的生产斗争和科学实验，发现自然界的一切物体，都是由许多叫做分子的微粒组成的。分子又由原子组成，原子又由一个原子核和以很高的速率在它周围旋转着的电子组成，正象行星绕着太阳运动一样。最简单的原子结构如图 1—1 所示。原子非常微小，在 1 毫米的长度上可以排下一亿个原子，原子核的直径只相当于原子的几万分之一。原子核带有正电荷（用符号“+”表示），电子则带有负电荷（用符号“-”表示）。平时的物体都表现为中性（不带电），因为各个原子核所带正电的总量和各个电子所带负电的总量相等。每一物体中都有等量的正电荷和负电荷，它们是互相吸引着的。假如要从一物体中取出一些电子，就必须设法克服正电荷和负电荷之间的吸引力。例如我们用丝织物摩擦玻璃棒，就是强使玻璃棒原子中的一部份电子，转移到丝织物上，这样，玻璃棒上少了电子，相对的正电荷就多了出来，丝织物上多了电子，负电荷便多起来，因而丝织物带负电而玻璃棒带正电。

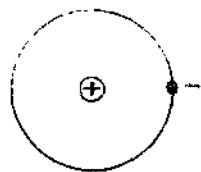


图1—1 最简单的原子结构图

物体中的原子核，一般是不能移动的，至于外层电子能否在外力作用下移动，则要看物体性质不同而不同的。有些物体（例如铜、银等）其外层电子与原子核的吸引力比较弱，这些电子可以脱离原子而移动，这些电子我们叫它为自由电子。由于这些自由电子在外力作用下能作定向运动，即具有比较好的导电能力。这类物体，我们称作导体，

各种金属、碳、盐类，酸碱的溶液以及潮湿的土壤等，都属于导体。还有另外一类物体，原子核把其周围的电子牢牢吸引住，不容易让它们自由的离开，这是导电性能不良的物体，称为绝缘体。绝缘体是有一定条件的，在低压应用时为绝缘体，若电压加得太高，就会产生所谓击穿，此时绝缘体就变成导体了。所以绝缘体都有一个工作的限度，叫做绝缘强度。在正常状态下的各种气体，及除了金属和碳以外的大部份固体，都属于不良导体，如橡胶、玻璃、塑料、云母、丝、瓷等都可作绝缘体。另外还有一类物质，如硅、锗、硒等，其导电性能介于导体和绝缘体之间的，我们称之为半导体，这在以后再详细介绍。

电荷的单位叫库仑，每库仑的电量含有 6.25×10^{18} 个电子的电量。电荷的符号用 Q 来表示。

一、电场和电位

由实验证明，两个物体带有同性电时，就互相排斥；带有异性电时，就互相吸引。任何电荷靠近一带电体时，总要受到这带电体的电力作用。经过多次实验，得出结论：在空气中，两带电物体间相互作用力的大小，同它们的电荷多少成正比，而与它们之间的距离平方成反比。这个定律叫做库仑定律。用数学式子表示，即

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

其中 F 为作用力， Q_1 和 Q_2 是互相作用的二个电荷量， r 是它们之间的距离，而 K 是一个比例常数。

若把一个带电的物体①（图 1—2），移近不带电的物体②，则②也将带电，在面面对带电体①的一面发生和①异性的电荷，在②的另一面发生和①同性的电荷。这是由于平时不表现带电的物体②靠近带电体①时，受到带电体①的影响，物体②的电子就发生移动。若物体①带有正电，那么物体②中的自由电子被它吸引，聚集在靠近①的一侧，而出现过剩电子，而在②的另一侧，电子将变成不足而出现带正电。这种物体在另一带电体的影响下产生电荷的现象，叫做静电感应。在物体②上产生的电荷，叫感应电荷。这时，若把带电体①移去，那么，物体②中原来聚集在靠近带正电荷的物体①的一侧的电子，因为失去了吸引力，又重新均匀地分布在物体②的全部份上，也就是说，感应电荷互相中和而消失。

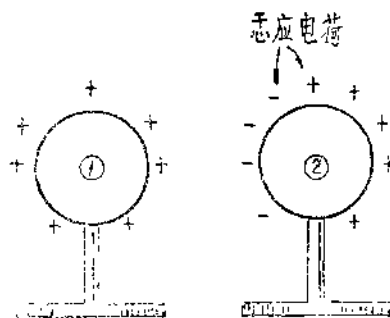


图1—2 静电感应

在带电体周围具有电力作用的空同，叫做电场。

电力作用的空同，常常用电力线来表示。电力线的方向，就是带正电的质点在电场中运动的方向，它发自正电荷而终止于负电荷。图 1—3 表示了几种电场的电力线，①带正电体；②带负电体；③带异性电的二物体；④带同性电的二物体。⑤二块平行板中间。

电场是物质的一种特殊形式，它存在于电荷的周围。电场是具有能量的，电场中各个区域里能量的大小，可由被搬进这区域中的电荷需用的能量的大小来判定。

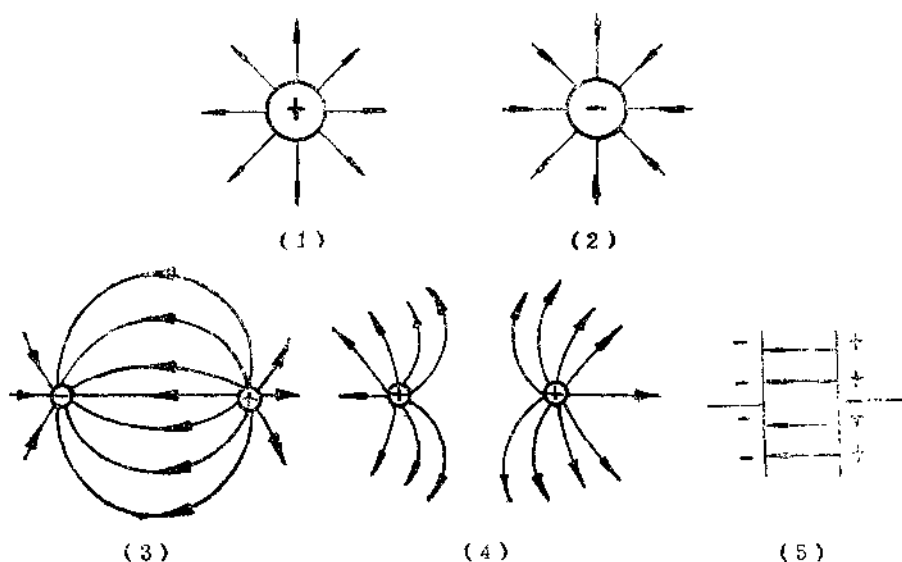


图1—3 带电体的电力线

假设有一由正电荷所产生的电场，我们将一正试验电荷携到电场中任意一点，我们就要作某些功，以抵抗电场对试验电荷的作用力。所作之功，是增加试验电荷在电场中的位能。正如同在地面上举起重物至某一高度时，所用的功是用于增加重物对于地面的位能一样。

物理学中，要决定一物体在重力场中的位能的大小，就得规定一个能量为零的水平面，再根据这水平面来决定各物体的位能。这个水平面可以是海面、地面、或桌面等等。同样，我们现在假定，地球表面上电荷的能量作为位能为零的水平面。这样一来，电场中任何一点上的电荷的位能的大小，就等于将这电荷从地面移到这点所做的功。若有一正试验电荷，大小为 Q ，它在电场中某点的位能为 A ，它们之间的比值 $A/Q=U$ 。 U 的数值就等于单位正电荷的位能，叫做电场中该点的电位。

电场中某点的电位的大小，等于把单位正电荷从地面移到电场中该点所要作的功。如将正试验电荷往正电场移动所作的功为正，那么，往负电场移动所作的功便为负，因此，靠近正电荷的电位为正，靠近负电荷的电位为负，地球的电位当作零，无穷远处的电位也当作零。

如果在电场中把一单位正试验电荷由 A 点移至 B 点所作的功为 U_{AB} ，我们就把 U_{AB} 叫做 AB 两点间的电位差。所以两点间的电位差，表示单位正电荷由一点至另一点所作的功。在均匀电场中，若电荷沿电力线移动，则 AB 之间电位差 U_{AB} ：

$$U_{AB} = E \cdot l_{AB} \quad (1-2)$$

其中 l_{AB} 为 AB 间的距离， E 为电场强度。电位差又称电压，也用 U 代表，它们实用单位是伏特或伏。1 伏特的电位差等于在电场内移动 1 库仑正电荷作 1 焦耳的功。即

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}} \quad (1-3)$$

二、电流和电源

电路是由电源、负载和它们之间的联接线所组成。

电路中的电源是用来供给电能的设备，它的电能是由其它形式的能量变换而来的。

例如，发电机是把机械能变为电能的设备，而电池是把化学能变为电能的设备等。这些是最常用的电源。前者可以产生交流电，即其输出的电压是周期地变化的，常用的有50周及400周二种，我们平时生活用电，都是属于220伏50周的交流电，其符号及波形如图1—4。后者的电池是直流电源，其输出电压基本上是不变的，用符号 $\begin{array}{|c|} \hline + \\ \hline \end{array} \parallel \begin{array}{|c|} \hline - \\ \hline \end{array}$ 代表。

电路中的负载是消耗电能的器件，例如电灯泡、电阻、电动机等均称为负载。联接导线的目的是用来输送电能，最常用的是铜导线或铝导线。

通常情况下，金属中的自由电子，是处于不规则的杂乱运动，没有一定的移动方向。如果把负载接到电源的两端，这时外电路中的电子，受到电源电场力的作用，开始沿一定的方向从负极移向正极，这样就在电路中形成了电流。在电工中规定，正电荷移动的方向，称作电流的方向。因此电流的方向，同电子的移动方向相反。电流的大小是用单位时间内通过导体横截面的电量来度量的。它的实用单位是安培(a 或 A)，1安培就是每秒钟通过导体截面1库仑电荷的电流。用 I 代表电流， t 代表时间。则

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-4)$$

有时用安培做单位太大，使用不便，就用千分之一安培做单位，称毫安(mA)。

用来测量电流的仪表，叫安培表。由于要测量电路的电流，需把电流表串接于电路，如图1—5所示，这样就要求安培表具有非常小的内阻，以不影响电路中电流的数值。使用电流表时，必须注意把电表串接于电路，如错将电表跨接于负载的二端，这种误接将会导致电表因通过电流太大而烧毁。在测量时应注意二点：

1. 必须使电流从表的正极(+)流入，而从负极(-)流出。

2. 电路中电流，不得超过电流表的测量范围。

三、电阻

在一切导体中，除了被原子核拉得很紧的电子外，总有若干个在外力的影响下可以自由移动的电子。受到外来的电力作用时，与原子核联系较弱的电子(自由电子)就将沿着反对电力线的方向而移动。可是导体的分子和原子常在不断的运动中，因此，电子的流动，势将被导线中运动着的分子和原子搅扰。所以沿导线流动的电子，总是从导线方向受到阻力，阻碍着它的行进。导线对于电流所显示的阻力，叫做导线的电阻。用字母 R 来表示。在接线图中的符号为 $\sim\sim\sim$ 或 $\square$ 。

电阻的单位为欧姆(Ω)，有时嫌欧姆太小，就用1000欧姆作单位，称千欧($K\Omega$)。

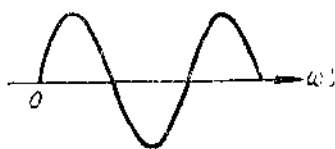


图1—4 交流电源

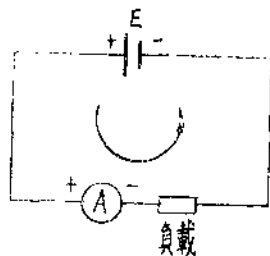


图1—5

导线的电阻和导线的长度成正比，和它的截面积成反比。这就是说，导线长，又细，对于电流的阻力就大；导线短，又粗，对于电流的阻力就小。但二根长度及粗细一样的导线，其材料不同，则它们的电阻并不相同。为了表达各种物体电阻的大小，用电阻系数来表示。取1米长，截面积为1平方毫米导线，其电阻的欧姆数，叫做电阻系数，用字母 ρ 代表。下表就是几种物质的电阻系数(20°C)。

导线的材料	电阻系数 ρ (20°C)	温度系数 α
银	0.016	0.004
铜	0.0175	0.004
铝	0.029	0.004
鎢	0.056	0.0046
钢铁	0.13	0.005
铅	0.217	0.004
锰铜	0.43	0.000015

根据上面所述，导线的电阻，可由下式计算得：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 R ——导线电阻(欧姆)， ρ ——电阻系数， l ——导线长度(米)， S ——导线截面积(平方毫米)。

例：计算截面为2.5平方毫米的铝质导线在10千米(即10公里)的电阻(20°C)。

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0.029 \times 10000}{2.5} = 116 \Omega$$

导线的温度，也能影响它的电阻。温度升高，金属的电阻就加大，这是由于原子的热运动妨害了电子的定向运动。物体这种性质，用电阻的温度系数 α 来表示。 α 表示每单位电阻(1欧姆的电阻)温度升高1°C时的增加量。常用导体的温度系数 α 的数值列于上表。

由此可见，导线的电阻决定于：①导线的长度②导线的截面积③导线的材料④导线的温度。

常用电阻分线绕的及薄膜的二种。线绕电阻器，型号为 RX ，线绕电位器(为转动式可变电阻)型号为 WX ，这种电阻是用温度系数很小和电阻系数很大的电阻合金丝，绕在瓷管或绝缘片上做成的，其特点是精确度较高，温度系数较小，稳定性好，且可制成功率很大的电阻。薄膜的又分为炭膜电阻(型号为 RT)及金属膜电阻(型号为 RJ)二种，这种电阻是在瓷棒上喷导电薄膜制成。金属膜电阻比碳膜电阻稳定，体积小，准确度高。

设计电路中选用电阻时，除考虑阻值、型号以外，还必须考虑到电阻的功率，若选用电阻的功率过小，则就会发热以致烧坏。关于功率问题，在下节介绍。

为了使电阻能在长时间的使用过程中，保持其性能的稳定，所以在电路装配以前，往往要对电阻进行老化处理。所谓老化处理，就是给电阻加上为其额定功率几倍的电功

率达几秒至几分钟。通常使电阻器表面的保护漆致微焦，就认为老化得差不多了。

下面简单介绍一下薄膜电阻的色圈表示法，即在电阻体积很小，其阻值难以用阿拉伯字写清或为防止阻值数字被磨损的情况下，电阻器的电阻值用色圈来表示，基本色标如下：

顏 色	第一色标	第二色标	3	4
黑	0	0		
棕	1	1	0 (百)	
紅	2	2	00 (K)	
橙	3	3	00 (十K)	
黃	4	4	0000 (百K)	
綠	5	5	00000 (M)	
兰	6	6	000000 (十M)	
紫	7	7	--	
灰	8	8	--	
白	9	9	--	
金	--	--	--	± 5 %
銀	--	--	--	± 10 %

电阻值用三个色标来表示，前二个色标为数字，第三个色标表示后面零的个数，单位为欧，第四个色标表示准确度，即实际电阻值与标称值的误差。

如一个电阻，第一色标为紅，第二色标为紫，第三色标为紅，第四色标为銀，則电阻值为 2700 欧，即 2.7^K 误差 ±10%。

四、电功和电功率

在物理学上，把一个重物从地面举起所付出的力量，叫做做功。物体越重，举得越高，作的功也越大。同样，水泵把水从低水位升到高水位，也要做功。水泵輸送的水越多，水位差越大，則水泵做的功亦就越大。电工中的电源相当于水泵，它不断地把电荷从低电位送到高电位。若輸送的电荷越多，升的电位越高，則电源作的功就越大。我們称电源把 1 庫仑的电荷，升高 1 伏所作的功，为 1 焦耳。

功不能表示电源做功的能力。因为功仅仅說明电源做了多少功，但是并没有說明这些功是在多长时间內完成的。我們把单位時間內做的功，称作功率。电工中，把 1 秒钟作 1 焦耳的功作为功率的单位，称为 1 瓦特(W)，即

$$\text{功率(瓦)} = \frac{\text{功}}{\text{時間}} = \frac{\text{焦耳}}{\text{秒}} = \frac{\text{伏特} \cdot \text{庫仑}}{\text{秒}} = \text{伏特} \cdot \text{安培}$$

所以 1 瓦即为 1 伏特乘 1 安培。电阻上消耗的功率亦用瓦来表示，即为电阻二端的电压与流过电阻的电流相乘积。在选用电阻时，应把电阻所能散放的功率，大于电阻消耗的功率，这样电阻才不致烧坏。

电流流过电阻后，要消耗一定的功率，这些功率就使电阻发热，所以瓦数越大的电阻，要求体积越大，即它的散热面积越大。由于电流有发热的效应，所以一定粗細的导

綫只能通过一定大小的电流，如果电流太大了，导綫就要发烫。由于电流有热效应，常常用易熔的导綫接在电路中，如果电流太大，易熔导綫就烧断，使电路断开，不致损坏其它电器，这就是保险絲的原理。由于电流有热效应，我們可以用电阻絲构成电炉和电烙鉄等各种电热设备。

第二节 直 流 电 路

一、欧姆定律：

在閉合的电路內，电源的电动势是产生电流的原因，但是电流的数值，不但与电动势有关，而且还与电路的电阻有关。电路中电动势不变的情况下，增大电路的电阻，电路中的电流就减小，如减小电路中的电阻，电路中的电流就增大。

在电路中电阻不变的情况下，电源的电动势愈大，电路中电流的值就越大。

因此，对整个閉合电路来讲，电流、电源的电动势以及整个电路的电阻的关系，可用全电路的欧姆定律說明如下：閉合电路內，电流的大小与电源的电动势成正比，而和整个电路的电阻成反比。用数学式子表示：

$$I = \frac{E}{r_0 + r} = \frac{E}{R} \quad (1-6)$$

式中： E ——电源的电动势， r_0 ——电源的内阻， r ——外电路的电阻， R ——全电路的电阻。

如果电动势的单位是伏，电流单位是安，則电阻单位即为欧。

从全电路的欧姆定律可知，电源的电势等于电流和整个电路的总电阻的乘积，即

$$E = IR \quad (1-7)$$

或者说，整个电路的电阻，等于电源的电动势被电流值除，即

$$R = \frac{E}{I} \quad (1-8)$$

欧姆定律不但可以用于全电路中，而且还可以应用于电路中任何一个单独部分。表示部分电路中电流、电压和电阻之間的关系的欧姆定律，叫局部电路的欧姆定律，数学表示式如下：

$$I = \frac{U}{r} \quad (1-9)$$

就是说，通过某段电路中的电流与该段电路两端的电压成正比，与该段电路的电阻成反比。局部电路的电压和电阻可表示如下：

$$U = Ir, \quad r = \frac{U}{I}$$

即当电流 I ，通过电阻 r 时，产生电压降落，其数值等于电流与电阻的乘积。

下面来说明一下电源的电动势与端电压的关系。见图 1-6。根据全电路欧姆定律：

$$E = I(r_0 + r) = Ir_0 + Ir \quad (1-10)$$

又从局部电路的欧姆定律可知， Ir 的值，等于 AB 两端的电压 U ，即电源的两端电

压。而 $I r_0$ 为电源内部的电压降。因此，电源的电动势等于电源两端电压和电源的内部压降之和。若图 1—6 的电阻 r 断开，则电路中的电流为另，这时 $E=U$ 。即电源的电动势等于电源两端的开路电压。

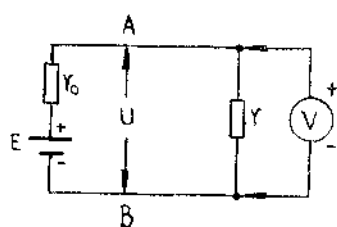


图1—6

用来测量电压的仪表，叫伏特表(电压表)。由于要测量电路任两点的电压，需把电压表的两端直接接在该两点上。因此，电压表是跨接(并联)在电路的两端。这

就要求它有很高的内阻，以不影响电路的工作。在测量直流电压时，应注意以下几点：

1. 若测量电路中 A, B 两点的电压，需将电压表跨接(并联)在电路的 A, B 两点上。
2. 必须使电压表的正端(+)接于高电位点，而负端(-)接于低电位点。
3. 必须考虑电路的电压不超过电压表的测量范围。

二、电阻的串并联：

若把电阻的末端与第二个电阻的首端相联，第二个电阻的末端与第三个电阻相联，依此数推，这样联接，称之为串联，见图 1—7。流过三个电阻的电流是一样的为 I ，按欧姆定律，电阻 r_1, r_2 及 r_3 上的电压降，分别为 $I r_1, I r_2$ 及 $I r_3$ 。三个电阻上的电压降之和等于总电压降 U ，即

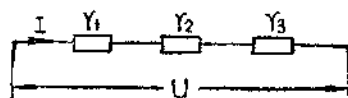


图1—7 电阻串联

$$U = I r_1 + I r_2 + I r_3 = I (r_1 + r_2 + r_3) = I R. \quad (1-11)$$

其中 $R = r_1 + r_2 + r_3$ 。

从(1—11)式可见，若用一个总电阻，其阻值为三个电阻之和，去代替三个电阻，其电流电压关系不变。由此可见，几个串联电阻的总电阻，等于各个串联电阻阻值之和。可见几个电阻串联，阻值越串越大。

若把串联的二个电阻 r_1, r_2 接于电压 U ，如图 1—8。现在要求电阻 r_2 上的电压。则按欧姆定律，求出电路的电流 I ：

$$I = \frac{U}{r_1 + r_2}, \text{ 于是电阻 } r_2 \text{ 上电压降为: } U_2 = I \cdot r_2 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} U.$$

通常把图 1—8 电路，称为分压电路， U_x 为 U 的分压，分压系数即为

$\frac{r_2}{r_1 + r_2}$ 。由此可见，若用二个电阻对一电压进行分压，阻值大的电阻，分到的电压就比较大。

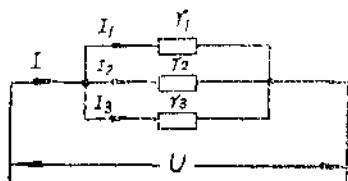


图1—9 电阻并联

将各电阻的一端联在一起，将各电阻的另一端亦联在一起的接法，称之为并联。如图 1—9，从图中可以看到，电阻二端电压是相等的为 U ，而各支路的电流和，等于总电流 I ，即

$$U = I_1 r_1 = I_2 r_2 = I_3 r_3.$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \frac{U}{r_3}$$

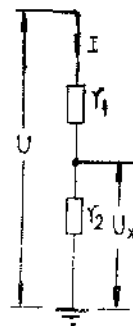


图1—8
分压电路

$$= U \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) = U \cdot \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

由式(1-12)可见,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}, \quad R \text{ 即为三个并联电阻的总电阻。}$$

如有二个电阻 r_1 与 r_2 并联, 则总电阻

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{r_2 + r_1}{r_1 r_2}$$

即 $R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$ 。就是说, 两个并联电阻的总电阻, 等于两个电阻的乘积除以它们的和。可见几个电阻并联, 电阻越并越小。

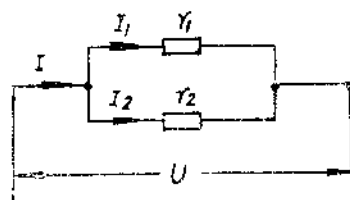


图1-10 分流电路

由图 1-10 可见, 电阻二端电压为 $I \cdot \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$, 那么

$$I_1 = \frac{U}{r_1} = I \cdot \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \cdot \frac{1}{r_1} = I \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

$$I_2 = \frac{U}{r_2} = I \cdot \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \cdot \frac{1}{r_2} = I \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

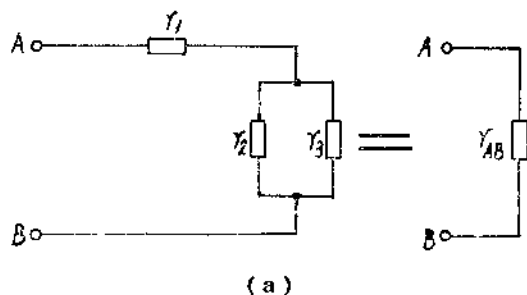
通常把图 1-10 称为分流电路, r_1 支路上的分流系数为 $\frac{r_2}{r_1 + r_2}$, 而电阻 r_2 支路上的分流

系数为 $\frac{r_1}{r_1 + r_2}$ 。可见在分流电路中, 阻值大的支路, 分得的电流少。

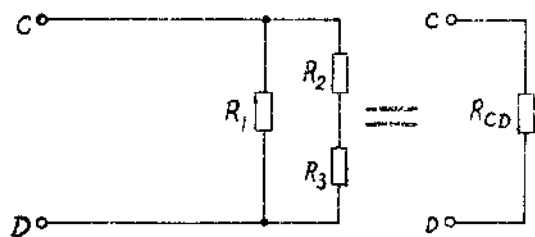
如果在一个电路中, 既有电阻的串联, 又有并联, 这样的电路, 就称为混联电路。在计算混联电路的总的等值电阻时, 必须先把几个电阻相串联的部分或几个电阻相并联的部分, 分别用等值电阻来代替, 使电路简化, 然后再根据简化后的电路作进一步的计算。图 1-11(a) 是由三个电阻组成, r_2 和 r_3 并联后, 再同 r_1 串联, 所以电路的等值电阻为:

$$r_{AB} = r_1 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}$$

图 1-11(b) 亦由三个电阻组成, 其中 R_2 与 R_3 串联后同 R_1 并联, 所以电路的等值电阻为



(a)



(b)

图1-11