

汽车拖拉机电工

上册

电工电子学基础

机械工业出版社

本书分上下两册出版。

上册主要介绍电工电子学基础知识。内容包括交直流电路、电磁的基本概念与计算；交流电机、变压器的结构和工作原理及三相异步电动机的继电接触控制；以晶体管为主的整流、放大、稳压、振荡电路及可控硅整流元件和应用等。

下册主要介绍汽车拖拉机电气设备。包括汽车、拖拉机电器的结构、基本原理及运用特性等。对现代科学的新成就如晶体管点火、硅整流发电机、新型蓄电池等也作了简要介绍。

本书供汽车拖拉机驾驶员、修理工及技术人员参考，也可作为汽车拖拉机专业的教学参考用书。

汽车拖拉机电工

上册

电工电子学基础

吉林工业大学^{汽运}电工教研室编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787 × 1092 ¹/₁₆ · 印张 16 ¹/₂ · 字数 400 千字

1975年3月北京第一版·1976年4月北京第二次印刷

印数 120,001—220,000 · 定价 1.15 元

*

统一书号：15033 · 4215

目 录

第一章 直流电路	1	二、磁场能量	29
第一节 电路及其组成	1	三、互感	29
一、电源	2	第四节 载流导体在磁场中受力——电流 的力效应	30
二、负载	2	第五节 铁磁物质	32
三、连接导线	2	一、高导磁性	32
第二节 电路中的一些物理量	3	二、磁饱和性	33
一、电流	3	三、磁滞性	33
二、电动势和电压	4	四、涡流及涡流损耗	35
三、电位和电位差	5	第六节 磁路概述	35
第三节 欧姆定律	6	一、磁化力	35
一、局部电路的欧姆定律	7	二、磁阻	36
二、简单回路的欧姆定律	8	三、磁路欧姆定律	37
第四节 电功率与电能	9	第三章 单相交流电路	38
第五节 克希荷夫定律	11	第一节 交流电的应用	38
一、克希荷夫第一定律	11	第二节 交流电动势的产生	39
二、克希荷夫第二定律	11	第三节 描述正弦交流电特性的基本量	40
第六节 电阻和电源的连接	12	一、正弦量的三要素	41
一、电阻的串联	12	二、相位与相位差	42
二、电阻的并联	14	第四节 正弦交流电的有效值	43
三、电阻的复联	15	第五节 正弦交流电的矢量表示法	44
四、电源的串联	16	第六节 纯电阻交流电路	47
五、电源的并联	16	第七节 日光灯的电路	49
六、电源的复联	17	一、日光灯电路的组成	49
第七节 复杂电路计算	17	二、各组成部分的作用	49
第八节 电路的工作状态和故障	18	三、工作原理	51
一、电路的工作状态	18	第八节 纯电感交流电路	51
二、常见电路故障	19	第九节 电阻电感串联交流电路	54
第九节 电阻器、导体与绝缘体	20	第十节 电容器和电容交流电路	57
第二章 电磁	22	一、电容器	57
第一节 磁和磁场	22	二、电容器的连接	58
一、磁	22	三、RC 电路的充放电	59
二、电流的磁效应	23	四、电容交流电路	62
三、磁场的基本物理量	24	第十一节 功率因数的提高和并联谐振	64
第二节 电磁感应	25	一、功率因数的提高	64
一、电磁感应现象	25	二、并联谐振	66
二、感应电动势的方向	25	第四章 三相交流电路和安全用电	68
三、感应电动势的大小	26	第一节 三相交流电势的产生	68
第三节 自感与互感	27	第二节 三相交流发电机绕组的连接	70
一、自感	27		

第三节 三相负载的连接、线值与 相值的关系.....71	二、三相异步电动机的技术数据104
一、负载的星形连接 (Y 接)71	第七节 三相异步电动机常见的故障、 发生原因和解决方法113
二、负载的三角形连接.....74	第八节 三相异步电动机定子绕组同名端 的简易判别114
第四节 三相交流电路的功率.....75	一、绕组串联检查法114
第五节 安全用电.....76	二、万用电表检查法114
一、触电事故.....76	三、转子旋转法115
二、保护接地与保护接零.....77	第九节 排斥式电动机115
第五章 变压器79	第十节 三相异步电动机的继电接触 控制116
第一节 概述.....79	一、手动控制电器116
第二节 变压器的工作原理.....80	二、自动电器119
一、变压器的空载运行.....80	三、几种常见的继电接触器控制线路124
二、变压器的负载运行.....82	第七章 晶体管整流电路139
第三节 三相变压器.....83	第一节 晶体管二极管139
第四节 自耦变压器.....84	一、晶体管二极管单向导电性实验139
第五节 变压器的铭牌.....85	二、半导体的导电机构140
一、额定电压 U_{1e} 和 U_{2e}85	三、PN 结的形成及其单向导电性141
二、额定电流 I_{1e} 和 I_{2e}85	四、二极管的种类及型号143
三、额定容量 S_e85	五、二极管的伏安特性143
第六节 小型变压器的计算和绕制.....85	六、二极管的参数、选择和使用知识144
第六章 交流电动机及继电接触控制93	七、用万用表判别二极管的管脚及 质量好坏的方法146
第一节 三相异步电动机的基本构造和 接线方法.....93	第二节 单相整流电路146
一、定子 (固定部分)94	一、单相半波整流电路147
二、转子 (旋转部分)94	二、单相全波整流电路148
第二节 三相异步电动机的工作原理.....94	三、单相桥式整流电路151
第三节 三相异步电动机的机械特性.....97	第三节 三相整流电路152
一、机械特性曲线上的三个特殊点—— 三个转矩.....98	一、三相半波整流电路152
二、电源电压对机械特性的影响.....98	二、三相桥式整流电路154
三、转子电路串电阻对机械特性的 影响.....99	第四节 滤波器157
第四节 三相异步电动机的起动、反转、 制动和调速.....99	一、电容滤波器157
一、起动性能及起动方法.....99	二、电感滤波器159
二、三相异步电动机的反转101	三、复式滤波器159
三、三相异步电动机的制动101	第五节 倍压整流电路161
四、三相异步电动机的调速103	一、二倍压整流电路161
第五节 三相异步电动机的效率、功率 因数与输出功率的关系103	二、多倍压整流电路161
第六节 三相异步电动机的技术数据104	第八章 晶体管放大器.....166
一、系列和型号104	第一节 晶体三极管166
	一、晶体三极管的结构166
	二、晶体三极管的放大作用167

三、晶体三极管的输入特性和输出特性	170	四、应用线路举例	216
四、晶体三极管的主要参数	172	第十章 振荡器	218
五、用万用表检查晶体三极管	175	第一节 LC 振荡器	218
第二节 单管放大器	177	一、LC 振荡回路中的电磁振荡	218
一、静态(直流)工作点的图解	178	二、LC 振荡器的工作原理	219
二、晶体管基本放大电路放大过程的图解分析	179	三、几种常见的 LC 振荡器及其应用	221
三、静态工作点的选择和晶体管放大器的偏置电路	181	第二节 RC 振荡器	224
第三节 多级放大器	186	一、RC 电桥式振荡器的工作原理	224
一、耦合与匹配	187	二、RC 移相式振荡器	226
二、阻容耦合放大器	188	第三节 方波振荡器(自激多谐振荡器、无稳态电路)	226
三、变压器耦合放大器	190	一、RC 耦合的方波振荡器	226
第四节 功率放大器	190	二、变压器耦合的方波振荡器	229
一、单管功率放大器	191	第十一章 可控硅整流元件及其应用	230
二、推挽功率放大器	192	第一节 可控硅	230
第五节 对放大器中负反馈的判别	195	一、从科学实验中认识可控硅导通及关断的条件和控制极的“点燃”作用	230
第六节 直流放大器	197	二、可控硅的工作原理	232
第九章 晶体管稳压电路	205	三、可控硅的阳极伏安特性	233
第一节 硅稳压管稳压电路	205	四、可控硅的型号、参数及使用注意事项	234
一、硅稳压管稳压电路的工作原理	207	第二节 可控硅的主回路	235
二、硅稳压管稳压电路中各元件的选择	207	一、可控整流电路	235
第二节 串联型晶体管直流稳压电路	209	二、可控硅无触点开关	238
一、串联型稳压电路的稳压原理	209	第三节 可控硅元件的选择、测判和保护	241
二、单管串联型晶体管稳压电路	209	一、可控硅元件的选择	241
三、带有放大环节的串联型晶体管稳压电路	210	二、可控硅元件的测判	242
第三节 提高串联型晶体管稳压电路性能的一些措施及应用电路举例	212	三、可控硅元件的保护	243
一、改善稳压电路稳定性的措施	212	第四节 可控硅的触发电路	246
二、提高稳压电路对温度的稳定性的措施	214	一、阻容移相桥触发电路	246
三、过电流保护	215	二、双基极二极管触发电路	247
		三、晶体管脉冲触发电路	250
		四、双稳态触发电路	254
		五、单稳态触发电路	256

第一章 直流电路

第一节 电路及其组成

电路，简单的说，就是电流所流经的路径。在学习开始时，我们从简单的电路入手，先熟悉一下解放牌汽车的前大灯（头灯）的电路。

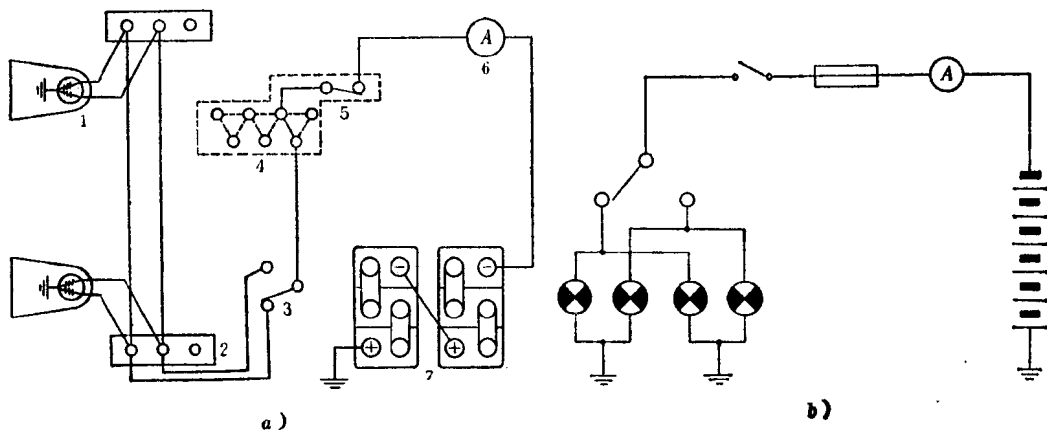


图1-1 解放牌汽车前大灯电路

a) 电路连接； b) 简化图

1—前大灯； 2—接线板； 3—变光开关； 4—总灯开关； 5—保险器； 6—电流表； 7—蓄电池

由图1-1可见，蓄电池的负极柱，用电线依次连接电流表6，保险器5，总灯开关4，变光开关3到前大灯1，蓄电池的正极柱，用电线和车体钢铁部分相连(叫做搭铁)。将总灯开关合上，电流便从蓄电池正极柱流出，经车体钢铁部分进入头灯，通过灯泡中的灯丝，变光开关，总灯开关，保险器及电流表回到蓄电池负极柱成为完整的回路。

前大灯的开亮与熄灭，由总灯开关4控制。

前大灯灯泡中有大光和小光两个灯丝，用足踏变光开关3进行变换。熔断器（保险器）5用来防止短路或电流过大时烧坏电线和设备。电流表6指示蓄电池供电电流的大小或充入蓄电池的电流的大小。

在工农业生产、国防建设中广泛应用的许多电气设备连成的电路更加复杂。不管复杂程度如何，任何电路都包括三个部分：电源、负载、连接导线。这三个部分见图1-2。

今后要经常讨论电路的问题，如果都按照实物把电路画出来，那是很麻烦也是不必要的。一

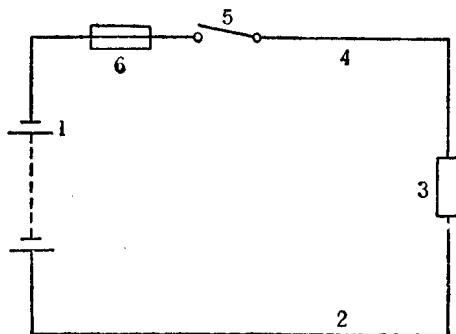


图1-2 电路的组成

1—电源； 2、4—导线； 3—负载；
5—开关； 6—熔断器

般我们把电路中的实物用简单的符号来表示, 这样的图叫做电路图。

在图 1-2 中导线 2、4 和连接到其两端的负载一起组成电源的外电路。

下边分别介绍电路中电源、负载和导线的作用。

一、电源

汽车、拖拉机和康拜因上的电源是发电机和蓄电池。房屋内电灯及工业用电动机、电炉等的用电, 由发电厂供给, 电源也是发电机。电源是将其他形式的能量转化为电能的设备。发电机是由其他动力机械如内燃机、汽轮机、水轮机等拖动, 而将机械能转化为电能; 蓄电池和干电池是把化学能转化为电能的设备。

电源提供的电流, 有交流电流、直流电流之分。直流电流通常指大小和方向不随时间而变的电流 (稳定电流); 交流电流指大小和方向随时间而变的电流。蓄电池和直流发电机发出的是直流电流, 交流发电机发出的是交流电流。发电厂发出的是交流电流。拖拉机上的发电机有交流 (如东方红-75) 也有直流 (如丰收-35) 的。汽车上过去多数装用直流发电机。随着汽车工业的发展, 近几年来装用交流发电机逐渐增多。如解放、黄河牌汽车都已装用交流发电机, 它们发出的交流电经过整流装置变成直流后使用。

二、负载

负载就是用电设备。如电灯、电动机、电喇叭、电炉等都是电路中的负载。它们将电能转化为其他形式的能量。如电灯将电能转化为光, 电动机将电能转化为机械能, 电炉将电能转化为热能, 电喇叭将电能转化为声能等等。

三、连接导线

为把电源产生的电能输送给负载, 必须用导线 (即电线, 一般用铜或铝制成) 将电源和负载连接起来。电流从电源 1 (图 1-2) 经导线 2 通过负载 3 后, 还必须用另一根导线 4 和电源相连, 成为完整的电路, 电流才能有流通的路径。例如室内电灯, 必须用两根导线连接, 才能发光, 如一根切断, 灯便熄灭。

但是, 在汽车、拖拉机和康拜因上, 通常只用一根导线将电源和负载连接, 另一根导线则由车体金属部分代替。这种电路称为“单线制”。图 1-3 是车辆上单线制的示意图。单线制可以节约电线, 并使电路连接简化。

为了保证电路安全、可靠、正常的工作, 在实际电路中还需装开关、熔断器等控制、保护装置, 如图 1-2 所示。开关 5 是用来控制电流的通断的, 熔断器 6 是用来保护电路中用电设备正常工作的。

从以上对电路各组成部分分析可见, 电路中有电流条件是: 1) 一定要有电源存在; 2) 电路一定是闭合的。电路中有电流时将发生能量的转换、输送、分配等

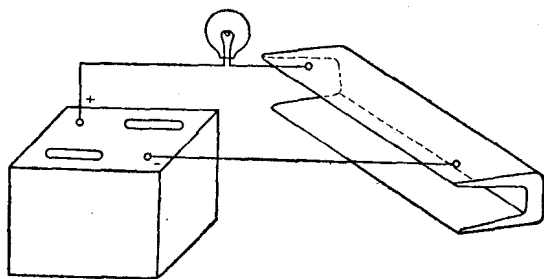


图1-3 车辆上单线制示意图

过程。所有这些过程是同电流、电压、电动势等物理量有关的, 只有人们掌握了它, 学会正确分析和使用电路, 才能更好地为社会主义建设服务。在分析使用电路之前, 首先讨论电路中这几个基本物理量。

第二节 电路中的一些物理量

一、电流

电流究竟是什么？由于电这个东西，看不见摸不着，过去就成为资产阶级学者故弄玄虚的根据。电虽然看不见摸不着，但是人们却可以从它的各种现象观察到。如接通电灯开关，灯便发光。又如合上马达开关，马达便旋转起来，由此知道电还能变为机械能，对外做功。

透过现象看本质，一切物质都是由分子组成的，而分子又由原子组成。每个原子，都是由一个带正电的原子核和若干带负电的电子组成。正常情况下各个原子内全部电子所带负电荷量和原子核所带正电荷量相等，它们都处于不规则的热运动状态，因而，物质对外不显示电的性质。

但平衡不是绝对的，在一定条件下，电子可以脱离原子核，并且是可以流动的。通过导线和灯丝中的电流，就是电子的有规则的定向移动，在蓄电池内的电解液中是带正电荷的正离子和带负电荷的负离子的定向移动。因此，人们把电荷有规则的定向运动叫做电流。

电荷怎样做有规则的移动呢？由图 1-4 可见，当合上开关接通电源后，导线中便产生了电场。在电场力的作用下，正电荷沿着电场的方向运动，而负电荷则沿着电场相反的方向运动。可见产生电流的根本原因是金属导体内有可以移动的电子，电解质内有可以移动的正负离子，而电场是使电荷做有规则移动的条件。

为了计算电流的强弱，规定电流强度一量。电流强度是在电场的作用下，单位时间内通过某一导体截面的电量。电流强度简称“电流”，它是电工技术中极常用的物理量之一。

电流的大小，用电流表测量。如测量图 1-4 电路中的电流时，将电流表接在蓄电池和灯之间即可。电流的大小，以单位时间内流过导线横截面的电荷的数量（简称电量）来衡量。电量的单位是“库伦”，电流的单位叫“安培”（常用字母 A 表示），当每秒流过导线横截面的电量为—库伦时，导线中的电流就是一安培。

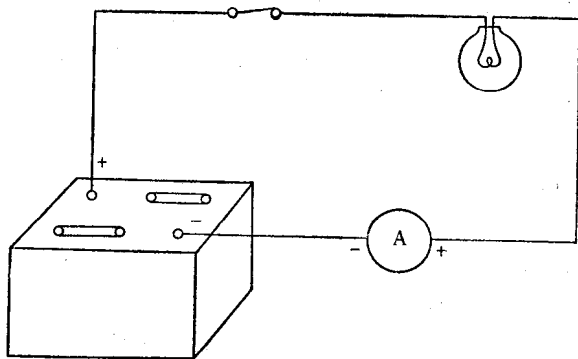


图1-4 电流的测量

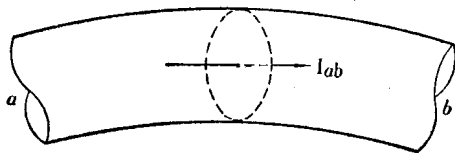


图1-5 导线中的电流

对电流强度随时间不断变化的电流，设在极短的时间 dt 内通过导体横截面（图 1-5）的微小电量为 dq ，电流强度用 i 表示，则

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

通常所用的是交变电流，简称交流。

对电流强度不随时间而变化的电流, 设在 t 秒内流过导线横截面的电量为 q 库伦, 电流强度用 I 表示, 则

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

电流的方向, 习惯上规定正电荷运动的方向或电子运动的相反方向为电流的方向 (实际方向)。但在分析与计算电路时, 常任意假定某一方向作为电流的正方向。电流的假定正方向并不一定与其实方向一致。当电流的假定正方向与其实方向一致时, 则电流为正值 (图1-6 a); 反之, 当电流的假定正方向与其实方向相反时, 则电流为负值 (图1-6 b)。

书中电路图上所标的电流方向都是假定正方向。电流的正方向除用箭头表示外, 还可用双注脚表示。如图 1-5 中的 I_{ab} 即表示正方向是由 a 向 b 的电流。如果所假定的正方向与实际方向不同, 则二者之间差一负号, 即

$$I_{ba} = -I_{ab} \quad (1-3)$$

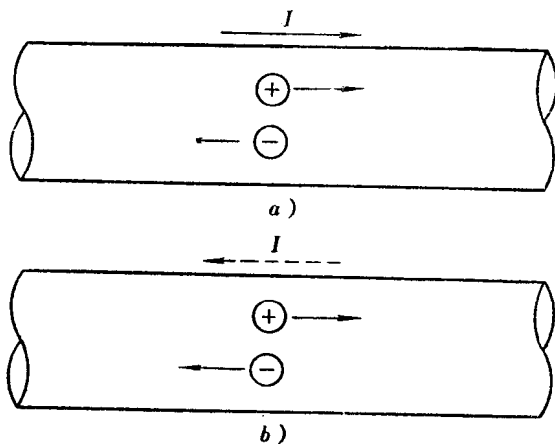


图1-6 电流的方向

衡量微小电流时, 常用安培的 $\frac{1}{1000}$ 为单位, 叫做“毫安” (常用符号 mA 表示)。有时用安培的一百万分之一为单位, 叫做“微安” (常用符号 μA 表示)。

举几个电流数量的例子: 解放牌汽车发电机额定电流是18安; 起动机起动时的电流为200~600安; 40瓦的电灯泡电流约为0.18安。收音机真空管中的电流是几个毫安。当0.005安的电流通过人体就有感觉, 超过0.05安就有生命危险。只要我们掌握了电, 在社会主义建设中加强安全用电的教育, 就一定能够让电为社会主义建设服务。

二、电动势和电压

图 1-4 所示的是简单的直流电路, 人们日常用的手电筒就相当于这样的电路。当开关合上, 灯泡就亮, 我们说, “有了电”, 表明有电流从电池出来, 流过导线和灯泡。为什么电池能产生电呢? 又为什么开关合上后电路中有电流呢? 这是由于电池内的化学药品相互作用产生一种力, 叫做化学力, 它强行把带负电的电子与带正电荷的原子核分开, 并把电子推到电池的外壳上去, 这就使得外壳积累电子而形成电子过剩, 因而呈现负极性, 称为负极。同时在电池的芯子 (炭精棒) 上的电子不足而呈现正极性, 称为正极。

电池两极聚集了过剩的正、负电荷之后, 由于电荷间有电场力的作用 (同性相斥、异性相吸), 以便反抗电子继续移至外壳。直到化学力与电场力相平衡时, 电子就不再往外壳上聚集了。合上开关时, 电池外部电路没有化学力的作用, 而只有电场力的作用, 它驱使电池外壳上 (负极) 的电子通过导线和灯泡所构成的电路而往芯子 (正极) 移动, 在电路中产生电流, 使灯泡发亮。外壳上的过剩电子减少, 芯子上 (正极) 的正电荷由于其中一部分被移来的电子所中和, 电池两极所呈现的电性能便逐渐减弱。此时, 电池内部电场力减弱, 化学力居于优势, 它重新继续把电子移至外壳, 补充两极上消耗的电荷, 从而维持电池两极对外电

路的电性能，维持电路中电流连续不断地流动。象电池这类驱使电流不断地在电路中流动的源泉，简称为电源。用符号 $\text{---} \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} \text{---}$ 代表电池。

为了表达电池内部由于化学力（电源力）把电子推到负极而使电池对外呈现电的性能，引入电动势这一物理量。电源力把单位正电荷从电源的负极（B点）经电源内部搬运到正极（A点）所做的功，叫做电源的电动势，用字母“ E ”表示。它的单位是“伏”，记为“V”。它的方向规定为，在电源内部推动正电荷移动的方向，即规定为负极指向正极的方向。

电源两极上积累了过剩的正、负电荷形成电场，电荷在电场力的作用下移动做功，在电路中形成电流，正如水管中的水需要一定的压力（水压）才能流动一样。为了衡量电场做功的能力，引入电压这一物理量。电场力把单位正电荷从正极经外电路移动到负极所作的功，叫做电源正负极两端的电压，用字母“ U ”表示，它的单位也是“伏”。电压的方向（实际方向）为：由高电位经外电路指向低电位。电动势与电压的方向如图 1-7 所示。

电压的大小，可用电压表测量，如测量图（1-7）中 a 、 b 两点间的电压时，将电压表的两个接线柱分别和 a 、 b 两点相连即可。

和电流一样，电路图中所标的电压和电动势的方向也都是假定正方向。在正方向已假定之下，其值可为正，也可为负。在直流电路中，所假定的电动势、电压及电流的正方向通常是与实际方向一致的，除非在分析与计算复杂电路时，不能确定实际方向的情况下，正方向才可任意假定。

测微小电压，常用 1 伏的 $\frac{1}{1000}$ 为单位，称为“毫伏”（用 mV 符号代表）；或用 1 伏的百万分之一，称为“微伏”。测量高电压用 1000 伏为单位，称为千伏（用符号 KV 表示）。

实际用电中，电压数值的实例如下：室内电灯的电压为 110 伏或 220 伏；汽车、拖拉机电路的电压为 6 伏、12 伏或 24 伏；工厂用电动机电压为 380 伏；高压输电线路的电压为 10 千伏、60 千伏、110 千伏、220 千伏等。

三、电位和电位差

电荷在电场力的作用下移动做功，有能量的消耗，这表明电荷在电路中不同的位置具有不同的能量，人们称电路中各个位置（各点）具有不同的电位。正如河流各处具有不同的水位一样。所以，电位和水位的概念相似，水位高，水的能量大，水位低，水的能量小。因此，水总是从高水位向低水位的地方流，两水位之差叫做水位差。电位高，电荷的能量大，电位低，电荷的能量小。因此，电流是从高电位点流向低电位点。在图 1-4 所示的电路中，电流从电池的正极出发沿着导线流，经过灯泡到电池的负极，即电池正极是高电位，负极是低电位。电路中两点间的电位之差，叫做电位差（也叫电压）。因此，电路中两点间电压的数值也等于单位正电荷在两点间所具有的能量之差。

水位是以海面为基准点，即以海面的高度当作零。电位是以大地为基准点，即以大地的

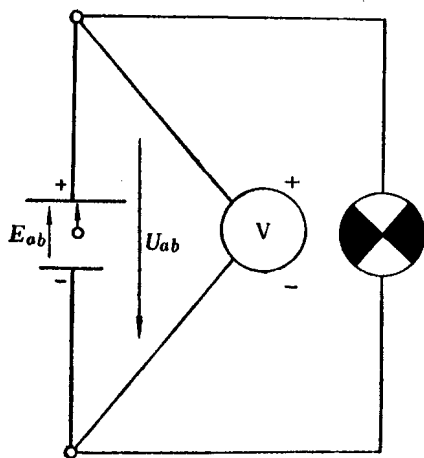


图1-7 电动势与电压的方向

电位为零。在汽车、拖拉机上电气设备接铁和电子电路中常会遇到电位这个概念。为了便于分析和计算电路，在汽车、拖拉机电器设备中人们选定接铁处作为基准点；在电子电路中常任意选定某一点作为基准点。因此，电路中某点的电位数值等于该点对基准点的电位差。

例 1 如图 1-8 所示一段电路，是由两个电池（各为 1.5 伏）串联起来，分别以 C 和 B 为基准点，求出各点的电位和两点间的电位差（电压）的数值。

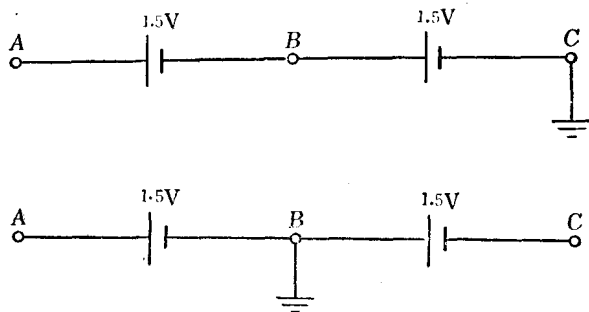


图 1-8

解 若以 C 点电位 φ_c 为基准点，即 $\varphi_c = 0$ ，则 A 点电位

$$\varphi_A = 1.5 + 1.5 = 3 \text{ 伏}$$

B 点电位

$$\varphi_B = 1.5 \text{ 伏}$$

A、B 间的电压

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 3 - 1.5 = 1.5 \text{ 伏}$$

A、C 间的电压

$$\varphi_{AC} = \varphi_A - \varphi_c = 3 - 0 = 3 \text{ 伏}$$

若以 B 点为基准点，即 $\varphi_B = 0$ ，同理可得

$$\varphi_A = 1.5 \text{ 伏}$$

$$\varphi_c = -1.5 \text{ 伏}$$

$$U_{AB} = 1.5 \text{ 伏}$$

$$U_{AC} = 3 \text{ 伏}$$

综上所述，电压是电路中两点间的量，不管电位的基准点如何选定，电压的数值是不变的。若两点间的电压在指定了其中一点为电位的基准点的条件下，就转化为另一点的电位。电位是电路中某一点的量，它相对于基准点而言，基准点不同，各点的电位也不同。基准点可以任意选定，一般选大地为基准点。为了安全用电，常把电器的外壳接地，以保证人站在地上用手接触电器的外壳时不至“触电”。

第三节 欧姆定律

为了对各种电气电路进行分析与计算，必须讨论电路的两个基本定律，即欧姆定律和克希荷夫定律。本节只讨论欧姆定律。

欧姆定律是用来确定电路中电压与电流关系的。下边用实验的方法找出这个关系。

一、局部电路的欧姆定律

如图 1-9，将电源（6 伏蓄电池） E 用导线和滑线变阻器 R_1 ，电流表 A 和负载电阻 R （定值电阻）连接起来。将电压表跨接在电阻 R 的两端，测量电阻两端之间的电压。

首先，用 2 欧的电阻 R ，调节变阻器 R_1 ，使电压表 V 的读数依次为 2 伏、4 伏和 6 伏，从电流表读出相应的电流，如表 1-1 所示。当电阻不变时，电流和电压成正比地变化。

其次，用变阻器 R_1 将 a 、 b 间电压调到 6 伏，保持不变。将电阻 R 依次换装 1 欧、2 欧、3 欧的，从电流表读出相应的电流，如表 1-2 所示。当电压不变时，电流和电阻成反比地变化。

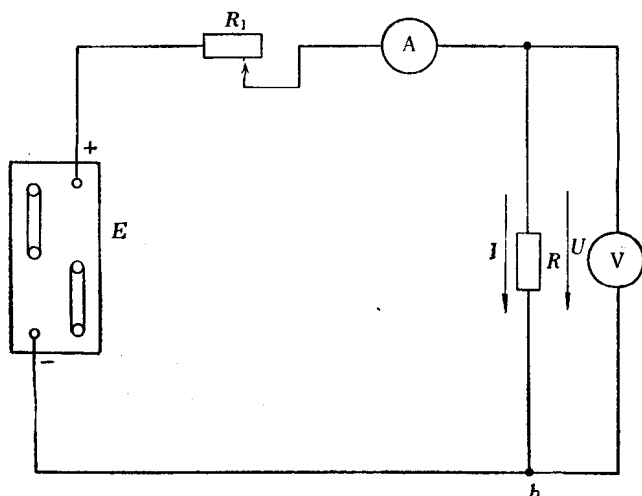


图1-9 求电流、电压数量关系的实验

表 1-1

电 压 (伏)	电 阻 (欧)	电 流 (安)
2	2	1
4	2	2
6	2	3

表 1-2

电 压 (伏)	电 阻 (欧)	电 流 (安)
6	1	6
6	2	3
6	3	2

通过上述实验，可以得出下面的规律：在局部电路中，电流强度与它两端的电压成正比，和这部分电路的电阻成反比。这个规律，称为“局部电路的欧姆定律”，通常叫做欧姆定律。用公式表示：

$$\frac{U}{I} = R \quad (1-4)$$

式中 U 的单位为伏， I 的单位为安，比值 R 是一个常数，一般地说，它与电压、电流大小无关，称之为这段电路的电阻，单位为欧，它表示这段电路对电流的阻力大小。（1-4）式还可写成下列形式：

$$\begin{aligned} \frac{U}{R} &= I \\ IR &= U \end{aligned} \quad (1-5)$$

这些关系式表明：在电路中，电流的大小与电压的高低成正比，而与电阻的大小成反比。欧姆定律是计算电路的一个最基本最重要的定律，已知式中任意两个量，就可求出第三个量。

电路中电流通过电阻时，由于“流”和“阻”的矛盾斗争结果消耗了电能，引起了电位的降低。电路中电流流进的一端电位高于流出的一端电位，其差值等于电流与电阻的乘积，通常称为电阻上的电压降。正如水沿着水管里流动，水压逐步的下降一样。因此（1-5）式可以理解为：某一部分电路中电压降的数值，等于流过这一部分电路的电流与这部分电路

的电阻的乘积。

例 2 有一只线圈, 接在 220 伏直流电源上, 并测得通过的电流为 0.22 安, 求该线圈的电阻 R 。

解

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.22} = 1000 \text{ 欧}$$

线圈电阻为 1000 欧。

二、简单回路的欧姆定律

图 1-10 为一简单闭合回路, 为了分析方便起见, 把发电机的内阻和导线电阻都独立表示出来。要使电流 I 能够通过这个回路, 发电机的电动势 E 必须能克服电路中的全部电压降, 即

$$\begin{aligned} E &= IR + Ir_1 + Ir_2 + Ir_0 \\ &= I(R + r_1 + r_2 + r_0) \\ &= IR_s \end{aligned}$$

或

$$I = \frac{E}{R_s} \quad (1-6)$$

(1-6) 式中电动势 E 的 Ir_0 部分, 是消耗在克服发电机的内阻 r_0 上面的, 称为发电机的机内阻电压降。电动势 E 的另一部分, 等于 $(IR + Ir_1 + Ir_2)$, 是消耗在外电路的电阻上面的, 称为发电机的端电压, 用 U_1 表示。

很显然, 发电机的端电压小于它的电动势, 相差的数值即为发电机的内阻电压降:

$$U_1 = E - Ir_0 \quad (1-7)$$

当外电路电阻 $(r_1 + r_2 + R)$ 减小时, 电流 I 增加。这时发电机端电压 U_1 降低。关系式 $U = f(I)$ 称为发电机的外特性, 如图 (1-11)。

因为发电机与负载是用两条导线连接的, 那么, 当电流沿着导线流通时, 在导线上产生电压降 $\Delta U_x = Ir_1 + Ir_2$ 。因此, 负载端电压 U_2 比发电机端电压 U_1 小 ΔU_x , 即

$$U_2 = E - Ir_0 - \Delta U_x \quad (1-8)$$

若图 1-10 电路中再接入电源 E_2 , 如图 1-12, 则有

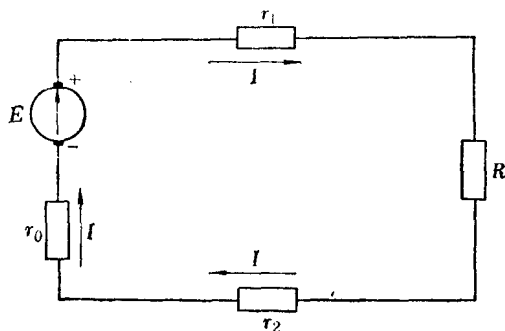


图 1-10 简单回路

r_0 —电源内阻; r_1, r_2 —导线电阻;
 R —负载电阻; E —电源电动势

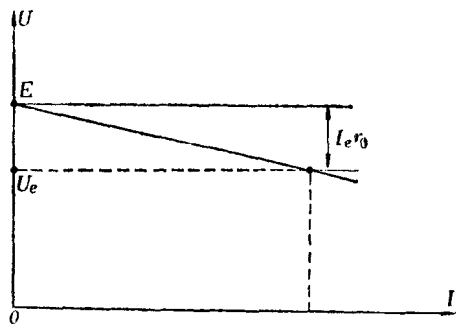


图 1-11 外特性

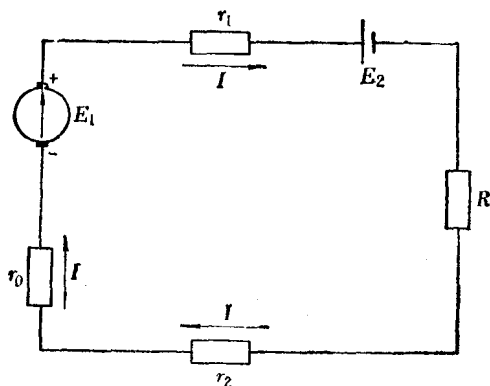


图 1-12

$$E_1 - E_2 = I r_0 + I r_1 + I r_2 + I R$$

$$E_2 = I R_2$$

$$\text{或} \quad I = \frac{E_2}{R_2} \quad (1-9)$$

上式表示在简单回路中，电流等于各个电动势的代数和与回路总电阻的比值。这个关系称为“简单回路的欧姆定律”或“全电路的欧姆定律”。

在(1-9)式中，凡电动势的方向与电流方向相同的取正值，反之取负值。

第四节 电功率与电能

电源的作用是产生电能的，电动势或电压是推动电流的原动力。电流能使电灯发光，电炉发热，电动机转动，扩音器发出声音，这些都是电流做功的表现。做功的效果是由电流的功率和电能这两个量来衡量的。而用电的目的就是要把电能转变为光能、热能、机械能、声能……。所以功率和能量的计算就成为电路中的重要问题。

很多电器设备都标出它的功率值，以说明它作功能力的大小。例如常见的 100 瓦的灯泡，或 40 瓦的灯泡，2.8 千瓦的电动机或 1.7 千瓦的电动机等。

根据电压的定义，在图 1-13 中 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} ，就是电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所作的功。因此，在 t 秒钟内将电量 q 从 a 点移到 b 点所作的功 A 便等于 Uq ，即

$$A = Uq = UI t \quad (1-10)$$

根据欧姆定律， $U = IR$ ，所以也可写成下式：

$$A = I^2 R t \quad (1-11)$$

(1-11) 式中 A 表示 t 秒时间电场力作的功，也就是消耗在电阻 R 上的电能。这个电能将转为热能在电阻上发热而消耗。

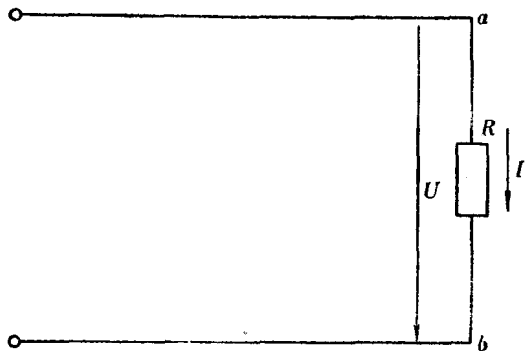


图 1-13

电流通过导体使导体发热的现象，称为“电流的热效应”。

由于电能电阻中转变为热能，以热量的形式出现，因此要把电能的单位换成热量的单位。而电能的单位为瓦·秒，又称焦耳，1 焦耳就等于电压为 1 伏，电流为 1 安，在 1 秒时间内消耗的电能。由实验得出，1 焦耳 = 0.24 卡。所以，在时间 t 内，电阻产生的热量为：

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-12)$$

上式表明，电流通过电阻 R 所产生的热量，与电流的平方成正比。这个关系称为焦耳——楞次定律。

例 3 一个电炉的电流为 5 安，热电阻为 20 欧，通电时间为半小时，问此电炉产生的热量是多少？

解 一个电炉 $I = 5$ 安， $R = 20$ 欧， $t = 30 \times 60 = 1800$ 秒，代入公式(1-12)：

$$Q = 0.24 I^2 R t = 0.24 \times 5^2 \times 20 \times 1800 = 2.16 \times 10^5 \text{ 卡}$$

在工程上常用功率这一术语。发动机作功能力的大小，用单位时间所做的功即“功率”来比较，功率的单位是“马力”。

用电设备耗用电能的多少，用电功率来衡量。电功率是单位时间内所作的功或单位时间内消耗在电路内的电能。

由(1-10)式可知， t 秒时间所耗用的电能为 $UI t$ ，则1秒时间内所耗用的电能

$$P = \frac{UI t}{t} = UI = I^2 R \quad (1-13)$$

即消耗在一段电路内的电功率，等于加在电路两端的电压和流过电路的电流的乘积，或等于电流的平方和电阻的乘积。

功率的单位叫瓦特，简称瓦（常用符号W来表示）。在电路两端加上1伏电压，通过的电流为1安时，电功率就是1瓦。即瓦 = 伏 × 安。或 $W = VA$ 。功率大时用千瓦为单位（符号用KW表示， $1KW = 1000W$ ）。电功率用功率表（或称瓦特表）测量。1马力 = 736瓦 = 0.736千瓦。

为什么电流的功率决定于电压 U 和电流 I 的乘积？这可以作定性的解释如下：单有电压而无电流，电路不会作功，如一个干电池，不用时，虽有电压，但无电流送出，就不会作功；有了电流才能作功，但光看电流的大小还不足以说明作功的多少，举例来说：一个手电筒中小电珠是2.5V，0.3A，一个灯泡是220V，0.182A，哪个消耗电功率大呢？显然小电珠发的光比灯泡暗的多。经计算可知两者的功率是：

$$\text{小电珠 } P = 2.5V \times 0.3A = 0.75W$$

$$\text{灯泡 } P = 220V \times 0.182A = 40W$$

所以单看电流的大小，不足以说明电功率的大小，必须看电压和电流的乘积。

供电部门计量用户的用电数量用“电度表”，它是记录消耗电能的。表上一度电，就是1千瓦小时。

例4 教室中一盏电灯为100瓦。由于大家注意节电，每晚使用2小时人走灯灭；宿舍中有一盏电灯为40瓦，瓦数虽小，但由于未注意节电，每晚使用6小时，问哪一盏灯消耗的电能多？

$$\text{解 } A_{100} = Pt = 100 \times 2 = 200 \text{ 瓦小时} = 0.2 \text{ 度}$$

$$A_{40} = Pt = 40 \times 6 = 240 \text{ 瓦小时} = 0.24 \text{ 度}$$

一度电看起来数字很小，但火电厂每发一度电就要消耗0.5公斤的煤；若把一度电用于生产，据统计能采煤105公斤，炼铁178公斤，织布30尺，灌溉农田半亩。我们一定要认真执行节约闹革命的方针，节约每一度电，支援社会主义建设。

今仍以图1-10所示的电路为例，来讨论整个电路的功率平衡，即能量的转换问题。利用公式：

$$E = Ir_0 + Ir_1 + Ir_2 + IR$$

每项再乘以 I ，则得到

$$EI = I^2 r_0 + I^2 r_1 + I^2 r_2 + I^2 R \quad (1-14)$$

乘积 EI 是发电机所发出的全部电功率 P_e 。这个功率的一部分 $\Delta P_0 = I^2 r_0$ 消耗在电源内，使它发热。差值 $P_e - \Delta P_0 = P_1$ ，是发电机输送给外电路的有用功率。在发电机与负载连接的导线上，也损耗（以热的形式）一部分功率 $\Delta P_s = I^2 r_1 + I^2 r_2$ 。其余的功率 $P_2 = I^2 R$ 进入负

载, 并转变为这里所需要的能量形式。

所研究电路的功率平衡, 可以很直观地用能流图(1-14)表示出来。

在给负载输送同一功率 P_2 的条件下, 提高输电电压, 则导线中电流减小, 连接导线上的功率损耗降低。因此, 采用高压输电。

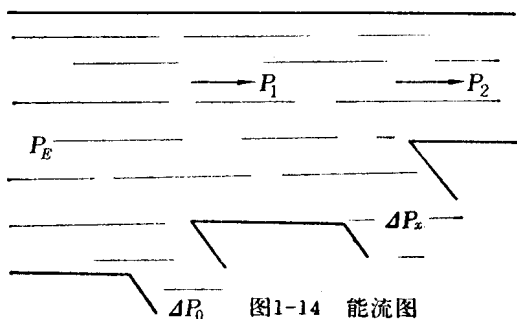


图1-14 能流图

第五节 克希荷夫定律

应用欧姆定律只能分析和计算单回路的简单电路, 对于多回路的复杂电路要用克希荷夫定律才能进行分析和计算。为了分析方便起见, 先介绍电路的几个名词。图1-15是汽车直流电源供电原理图。

图1-15电路中每一段不分岔的电路, 称为支路。如 cd , $cefd$, $cabd$ 段电路都称为支路。电路中三个或三个以上支路相连接的点称为节点。如 c 及 d 都是节点。电路中任一闭合路径称为回路, 如 $abdca$, $cefdc$, $acefdbca$ 都是回路。

一、克希荷夫第一定律

克希荷夫第一定律是用来确定连接在同一节点上的各支路中电流间关系的定律。

根据电流的连续性, 对电路中任一节点而言, 流入节点的电流必等于流出节点的电流。对图1-15中节点 c , 可写成:

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-15)$$

或将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \text{ 即, } \sum I = 0 \quad (1-16)$$

就是在一个节点上所有电流的代数和恒等于零。如规定正方向流入节点的电流取正号, 则流出节点的电流取负号。

根据计算的结果, 有些支路的电流有时可能具有负值, 这是由于所假定的电流的正方向与实际方向相反所致。

二、克希荷夫第二定律

克希荷夫第二定律是用来确定回路中各部分电压间关系的定律。

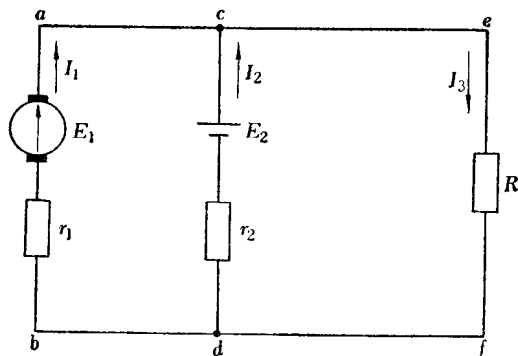


图1-15 汽车直流电源供电原理图

E_1 —发电机; E_2 —蓄电池; r_1 —发电机内阻;
 r_2 —蓄电池内阻; R —负载

根据电位的单值性, 对于图1-15中, 各节点在选定电位基准点之后都具有一定的电位。因此, 沿着任何一个回路巡行一周, 所有电动势的代数和等于该回路中各个电阻上电压降的代数和, 即

$$\sum E = \sum I r \quad (1-17)$$

这就是克希荷夫第二定律。

第六节 电阻和电源的连接

在汽车、拖拉机和康拜因上, 在工厂、农村和日常生活中根据实际需要, 电源和负载电阻往往不是单独使用, 而常将若干电源或若干负载电阻按不同的方式连接在一起, 其中最简单和最常用的是串联与并联。

一、电阻的串联

如果电路中有两个或更多个电阻顺序一个接一个地相连, 并且在这些电阻中通过同一电流, 则这样的连接法叫电阻的“串联”。图1-16中灯泡1和灯泡2顺次相连, 便是串联。

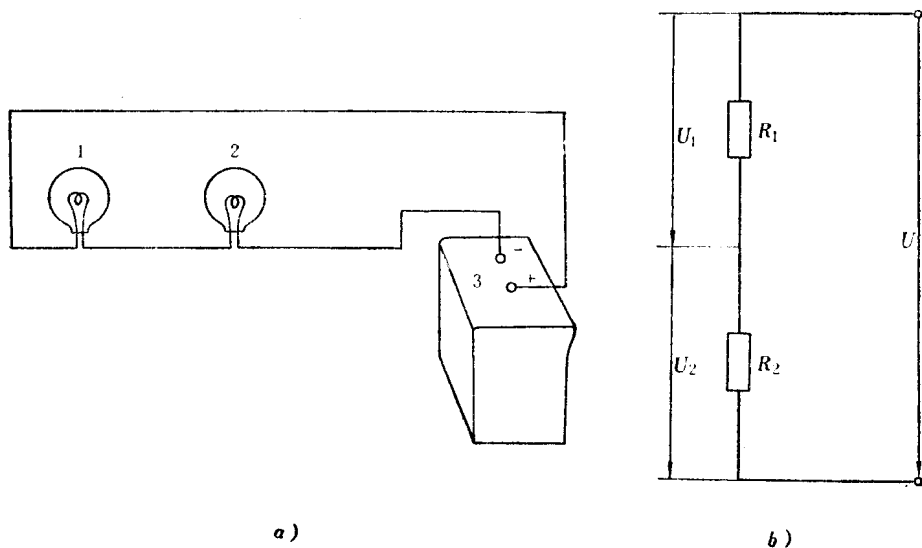


图 1-16

a) 两个负载或电阻串联; b) 串联的简化图

1、2—负载; 3—电源

首先看一看电压 U 和灯泡的电阻 R_1 及 R_2 上的电压降 U_1 及 U_2 的关系。

$$\text{电阻 } R_1 \text{ 上的电压降} \quad U_1 = I R_1 \quad (1-18)$$

$$\text{电阻 } R_2 \text{ 上的电压降} \quad U_2 = I R_2 \quad (1-19)$$

应用局部电路的欧姆定律求电流 I

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (1-20)$$

由此可得

$$U = I R_1 + I R_2 = U_1 + U_2 \quad (1-21)$$

即在电阻串联的电路中, 总电压等于各个电阻上电压降之和。

再看一看串联电路的总电阻 R_{Σ} 和电阻 R_1 及 R_2 的关系。