

铁路职工岗位培训教材

# 信号工

## (通用基础知识)

铁路职工岗位培训教材  
编审委员会

责任编辑：崔忠文  
封面设计：薛小卉

**XINHAOGONG  
(TONGYONG JICHU ZHISHI)**

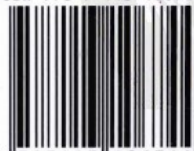


**中国铁道出版社**

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址：北京市宣武区右安门西街8号  
邮编：100054  
网址：WWW.TDPRESS.COM

ISBN 978-7-113-10674-4



9 787113 106744 >  
定 价：30.00 元

铁路职工岗位培训教材

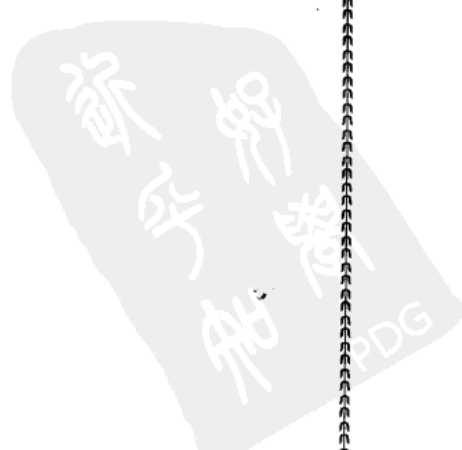
# 信 号 工

(通用基础知识)

铁路职工岗位培训教材编审委员会

中国铁道出版社

2009年·北京



## 内 容 简 介

本书为信号工岗位培训教材。全书分为十二章,包括:电子电路基础知识、电子电路应用、计算机应用基础知识、信号常用仪表、铁路运输组织及基础设备、铁路信号基础知识、色灯信号机、道岔转换与锁闭设备、站内轨道电路、安全型继电器、信号电源、信号设备综合防雷与接地。书中每章列有复习思考题。

本书针对铁路职工岗位培训、职业技能鉴定进行编写,是各单位组织职工进行各级各类岗位培训、技能鉴定的必备用书,对各类职业学校相关师生也有重要的参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

信号工:通用基础知识/铁路职工岗位培训教材编审委员会. —北京:中国铁道出版社,2009.12  
铁路职工岗位培训教材  
ISBN 978-7-113-10674-4

I. 信… II. ①铁…②铁… III. 铁路信号-技术培训-教材 IV. U284

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 198598 号

书 名: 铁路职工岗位培训教材  
信号工(通用基础知识)  
作 者: 铁路职工岗位培训教材编审委员会

责任编辑: 崔忠文 电话:(路) 021-73146 电子信箱: dianwu@vip.sina.com  
封面设计: 薛小卉  
责任校对: 张玉华  
责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)  
网 址: <http://www.tdpress.com>  
印 刷: 三河市华丰印刷厂  
版 次: 2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷  
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 15 字数: 371 千  
书 号: ISBN 978-7-113-10674-4/U·2586  
定 价: 30.00 元

## 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010) 51873170, 路电(021) 73170(发行部)  
打击盗版举报电话: 市电(010) 63549504, 路电(021) 73187



# 第一章 电子电路基础知识

## 第一节 直流电路

### 一、电路的基本概念

#### (一) 电路的构成

电流所流经的路径称为电路。若电路中通过恒定电流,称为直流电路;通过交变电流,则称为交流电路。任何电路,不论简单还是复杂,都是由若干个实际的电器装置或电器元件,根据某些特定需要,按一定的方式组合起来的整体,如图 1-1 所示。图 1-2 是图 1-1 实际电路的原理接线图。它是由电源、负载(负荷)、中间环节(导线、开关)三个基本部分组成的。当开关合上时,灯泡就会发光,这表明在电路中通过了电流。

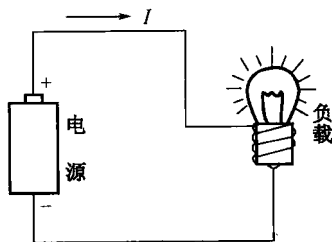


图 1-1 电路的构成

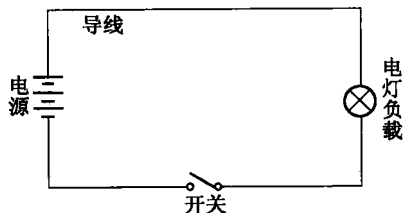


图 1-2 电路接线图

导线和开关是电源和负载之间必不可少的连接和控制部分,只有将开关合上把电路接通时,才能有电流通过负载。

#### (二) 电 流

##### 1. 电流的概念

在电场力的作用下,电荷有规则的定向运动就形成了电流。在导线中,电流实际上是带负电的电子的流动所形成的,但其效果与等量正电荷反方向流动完全相同,人们用每秒钟通过导线某一截面的电荷量的多少来衡量电流的强弱,叫做电流强度(简称电流),用符号  $I$  表示。电流的大小以安培为单位计量,简称安,用符号 A 表示。如果 1 秒钟(s)有 1 库仑(C)的电量通过导线的某一截面,这时的电流就是 1 安(A)。常用的还有毫安(mA)、微安( $\mu\text{A}$ ),它们之间的关系是:

$$1 \text{ 千安(kA)} = 1\,000 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 1\,000 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 1\,000 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

##### 2. 直流电流与交流电流

###### (1) 直流电流

如果电流的大小和方向都不随着时间变化,即在任何不同时刻,单位时间内通过导体横截面的电荷量均相同,其方向也始终不改变,则这种电流称为直流电流,如图 1-3(a)所示。

## (2) 交流电流

如果电流的大小和方向随时间按一定的规律反复交替地变化,即由小变大,又由大变小;一段时间电流方向是正的,一段时间变成负的,则这种电流称为交流电流,如图 1-3(b)所示。

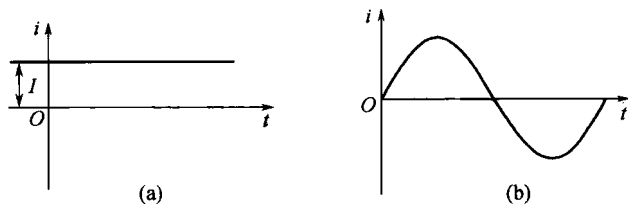


图 1-3 直流电流与交流电流

## (三) 电 压

### 1. 电压

在一个已知的电场中,电场力把单位正电荷从高电位移至低电位所做的功,就是该两点间的电压,用符号  $U$  表示,单位是伏(V)。如果搬移电荷量为 1 库仑(C)所做功为 1 焦耳(J)时,电压就为 1 伏(V)。常用的电压单位还有毫伏(mV),微伏( $\mu$ V)和千伏(kV)。它们之间的关系是:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千伏(kV)} &= 1\,000 \text{ 伏(V)} \\ 1 \text{ 伏(V)} &= 1\,000 \text{ 毫伏(mV)} \\ 1 \text{ 毫伏(mV)} &= 1\,000 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) \end{aligned}$$

### 2. 电位

电压又叫电位差,它表示电场中两点间电位的差别。实践和数学公式推导都证明:电场力将单位正电荷从电场中的某点移到参考点(参考点的电位规定为零)所做的功,叫做该点的电位。也可以说,电场中的某点和参考点之间的电压,就是该点的电位。

在电场中,当选中的参考点不同时,各点的电位也会不同,但任意两点之间的电位差(电压)却保持不变。这一点要特别注意。

## (四) 电阻和电阻率

电阻是电路中重要的参数之一,实际上是表征材料(或器件)对电流呈现阻力、损耗能量的一种参数。在实际电路中,电流的流动并不是畅通无阻的,如在金属材料绕制的电阻器中,电流通过导体时,不断和原子或分子碰撞受到阻碍作用,当然也就有能量损失,电阻元件就是表示某导体对电流阻碍作用大小的物理量。电阻用符号  $R$  表示。电阻大小以欧姆为单位计量,简称欧,用字母  $\Omega$  表示。常用的单位还有千欧(k $\Omega$ )、兆欧(M $\Omega$ ),它们之间的关系是:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} &= 1\,000 \text{ 欧}(\Omega) \\ 1 \text{ 兆欧(M}\Omega\text{)} &= 1\,000 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} \end{aligned}$$

导体的电阻不仅和导体的材料种类有关,而且还和导体的尺寸有关。实验证明,同一材料导体的电阻和导体的截面积成反比,而和导体的长度成正比。用公式表示为:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中  $l$ ——导线长度,单位是米(m);

$S$ ——导线截面积,单位是平方米( $\text{m}^2$ );

$\rho$ ——比例常数,叫做导体的电阻率,单位是欧·米( $\Omega \cdot \text{m}$ )。

**【例题】** 某信号电缆(铜芯)的单芯线径为 1 mm,试计算 1 km 此电缆的单芯电阻值。已知:单芯电缆长  $l=1 \text{ km}=1\,000 \text{ m}$ ,铜的电阻率  $\rho=0.017\,2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ,导线直径  $D=1 \text{ mm}=1 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

解:信号电缆的截面积  $S=\pi r^2=\pi(D/2)^2=3.14 \times (1 \times 10^{-3}/2)^2=0.785 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$$\text{电阻 } R=\rho \frac{l}{S}=0.017\,2 \times 10^{-6} \times \frac{1\,000}{0.785 \times 10^{-6}}=21.9 \Omega$$

几种常用材料在 20 °C 时的电阻率,见表 1-1 所列。

表 1-1 常用导电材料的电阻率

材料名称	20 °C 时的电阻率 $\times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数 (1/°C)	材料名称	20 °C 时的电阻率 $\times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数 (1/°C)
银	0.016	0.003 61	铁	0.097 8	0.006 25
铜	0.017 2	0.004 1	铂	0.105	0.003 98
金	0.022	0.003 65	锡	0.114	0.004 38
铝	0.029	0.004 23	铅	0.206	0.004 1
钨	0.047 7	0.004 79	汞	0.958	0.000 9
钨	0.049	0.004 4	康铜(54%铜,46%镍)	0.50	0.000 04
锌	0.059	0.003 9	锰铜(86%铜,12%锰,2%镍)	0.43	0.000 2
镍	0.073	0.006 21			

### (五) 欧姆定律

#### 1. 欧姆定律

当电阻两端有电压时,电阻中就有电流流过。当所加电压  $U$  一定时,电阻  $R$  越大,则电流  $I$  越小,它说明电阻对电流具有阻碍作用的物理性质。流过电阻  $R$  上的电流  $I$  与电阻两端的电压  $U$  成正比,与电阻  $R$  成反比,这就是欧姆定律。它是电路中一条很重要的基本定律,反映了电路中电压、电流与电阻三者之间的相互关系。用公式表示为:

$$I=\frac{U}{R}$$

式中电压的单位用伏(V),电阻的单位用欧( $\Omega$ ),则电流的单位是安(A)。欧姆定律还可以用三种不同的形式来表示:

(1) 已知电压、电阻,求电流

$$I=\frac{U}{R}$$

(2) 已知电流、电阻,求电压

$$U=IR$$

(3) 已知电压、电流,求电阻

$$R=\frac{U}{I}$$

#### 2. 全电路欧姆定律

流过负载电阻  $R$  上的电流  $I$  与电源电动势  $E$  成正比,与负载电阻  $R$  和电源的内电阻  $r$  之和成反比,这就是全电路欧姆定律,用公式表示为:

$$I = \frac{E}{R+r}$$

## (六)电功率

### 1. 电功率的计算

在分析或解决有关电路的实际问题中,有时需要考虑功率问题,就是根据已知的电压、电流或电阻值来计算一个电阻元件所消耗的电功率。

电流通过导体时电场力做的功称为电功,单位时间内的电功称为电功率,用  $P$  表示。设在  $t$  时间内电路转换的电能为  $W$ ,则用公式表示为:

$$P = \frac{W}{t}$$

电功率的单位是焦耳/秒(J/s),通常叫做瓦特(简称瓦),用字母  $W$  表示。常用的还有千瓦(kW)、毫瓦(mW),它们之间的关系是:

$$1 \text{ 千瓦(kW)} = 1\,000 \text{ 瓦(W)}$$

$$1 \text{ 瓦(W)} = 1\,000 \text{ 毫瓦(mW)}$$

实验证明,电功率还可以用三种不同的形式来表示:

(1)电功率等于电压与电流的乘积

$$P = UI$$

(2)对于一定的电阻,电功率与电流平方成正比

$$P = I^2 R$$

(3)在一定电压下,电功率与电阻成反比

$$P = U^2 / R$$

根据全电路欧姆定律,负载电阻消耗的功率为:

$$P = I^2 R = \left( \frac{E}{R+r} \right)^2 \cdot R = \frac{E^2 R}{(R-r)^2 + 4Rr} = \frac{E^2}{(R-r)^2 / R + 4r}$$

由上述公式可以看出,当电源内阻与负载电阻相等时,电源输出功率最大,此时功率  $P = E^2 / 4r$ 。

### 2. 电流的热效应

在正常情况下,任何一种导体都具有一定的电阻。因此当电流流经导体时,电能就不断地随着电流的流动而转变为热能,使导体温度升高,这种现象就叫做电流的热效应。

人们经过长期的实践和实验,发现电流通过导体时所产生的热量和电流值的平方、导体本身的电阻值以及电流通过的时间成正比。用公式表示为:

$$Q = 0.24 I^2 R t (\text{cal})$$

式中  $Q$ ——电流在电阻上产生的热量,单位是卡(cal), $1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$ ;

$I$ ——通过导体的电流,单位是安(A);

$R$ ——导体的电阻,单位是欧( $\Omega$ );

$t$ ——电流通过的时间,单位是秒(s);

0.24——热功当量,它相当于电阻为  $1 \Omega$  的导体中通过  $1 \text{ A}$  电流时,每秒钟产生的热量。

这个关系式又叫做楞次-焦耳定律。





## 二、简单直流电路

### (一) 电阻串联电路

#### 1. 串联电阻的计算

电路中若干个电阻依次连接,各电阻通过的电流是同一电流,这种连接方式叫做电阻的串联。如图 1-4 所示,两电阻  $R_1$ 、 $R_2$  串联之后,接在电源电压  $E$  的两端就组成了电阻串联电路。通过它们的电流是同一电流  $I$ 。

电流的方向可根据已知的电源电压的极性标出,电流通过外电路时,应该从高电位的正极流向低电位的负极,而在电源内部,电流则是从低电位流向高电位。图 1-4 表示的电路中,电流是按顺时针方向流动的。

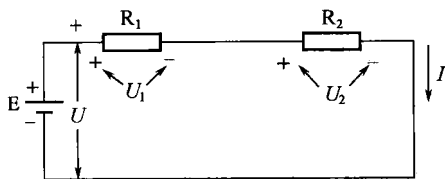


图 1-4 电阻的串联

根据电流的流动方向可以标出每个电阻上的电压  $U_1$ 、 $U_2$  的极性。这样根据欧姆定律可知

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2$$

所以

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

这样可以用一个电阻  $R$  来代替电路中原来的两个电阻,并保持电路中总的电压和电流都不变,于是又可将上式写成

$$U = IR$$

式中的电阻  $R$  就叫做串联电阻  $R_1$  与  $R_2$  的等效电阻(也可以叫做总电阻)。等效电阻的大小等于相串联的各电阻阻值之和,即

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

“等效”的意思就是电路的某一部分被替换之后,电路中其余部分的电压和电流并不发生变化。

#### 2. 串联电阻间的电压分配

从图 1-4 中可以看出,电阻  $R_1$  与  $R_2$  上的电压降,都是总电压的一部分。那么总的电压是按照什么样的规律分配在两串联的电阻  $R_1$  与  $R_2$  两端的呢? 根据欧姆定律可知,每个电阻上的电压分别是:

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2$$

所以电路中两电阻电压的比例是:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{IR_1}{IR_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

也就是说,在电阻串联的电路中,每个电阻上分得的电压的大小,与电阻的大小成正比。即电阻大的分得的电压大,电阻小的分得的电压小。

还可以将  $I = \frac{U}{R_1 + R_2}$  代入  $U_1 = IR_1$  公式中,就可得到:

$$U_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U = \frac{R_1}{R} U$$

$$U_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U = \frac{R_2}{R} U$$

这组公式就称为两串联电阻的分压公式。

这两个式子说明,串联电阻中每个电阻上分得的电压决定于这个电阻和总电阻  $R$  的比

值。适当选择  $R_1$  和  $R_2$  的数值,就可以在每一个电阻上获得相应的电压。比值  $\frac{R_2}{R_1+R_2}$  和  $\frac{R_1}{R_1+R_2}$  又叫做分压比。

## (二)电阻并联电路

### 1. 并联电阻的计算

电路中若干个电阻连接在两个公共点之间,每个电阻两端所承受的是同一个电压,这种连接方式叫做电阻的并联。如图 1-5 所示,两电阻  $R_1$ 、 $R_2$  并联之后,接在电源电压的两端就组成了电阻并联电路,加在它们两端的电压是同一个电压。

两并联的电阻两端的电压是一样的,但由于电阻的阻值不同,其支路中流过的电流也就不同。根据欧姆定律可知

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

所以 
$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

这样可以用一个电阻  $R$  来代替电路中原来的两个电阻,并保持电路中总的电压和电流都不变,于是又可将上式写成  $I = U \left( \frac{1}{R} \right)$

式中的电阻  $R$  就叫做并联电阻  $R_1$  与  $R_2$  的等效电阻(也可以叫做总电阻)。等效电阻的倒数等于相并联的各电阻阻值的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

由图 1-5 可得到

$$\frac{1}{R} = \frac{R_2}{R_1 R_2} + \frac{R_1}{R_1 R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

由此可见,两个并联电阻的总电阻,比其中任何一个电阻的阻值都要小;如果两个阻值相等的电阻并联,其总阻值等于一个电阻阻值的一半;如果两个电阻内阻值相差悬殊,并联以后的总电阻就接近于小电阻的阻值,于是在估算总电阻时,就可以忽略那个高值电阻。

注意,当三个电阻并联时,也可先将任意两个电阻化简成一个等效电阻,然后再将它与第三个电阻并联化简。更多电阻并联则以此类推。在特殊情况下,当几个相同阻值的电阻并联时,它的等效电阻等于  $\frac{R_1}{n}$ 。

### 2. 并联电阻间的电流分配

从图 1-5 中可以看出,各支路中的电流由电源电压和它本身的阻值来决定。那么电路中总的电流是按照什么样的规律分配在两并联电阻所组成的各支路中的呢? 根据欧姆定律可知,每个支路中的电流分别是:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

所以两条支路中电流的比例是:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{U}{R_1}}{\frac{U}{R_2}} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}} = \frac{R_2}{R_1}$$

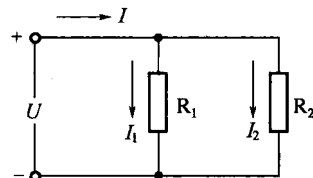


图 1-5 电阻的并联

也就是说,在电阻并联电路中,两条支路中的电流和两条支路的电阻成反比。即电阻大的支路分得的电流小,电阻小的支路分得的电流大。

还可以将  $U = I \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$  代入  $I = \frac{U}{R_1}$  的公式中,就可得到

$$I_1 = \frac{I \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{I \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

这组公式就称为两并联电阻的分流公式。

这两个式子说明,并联电阻中某一支路中的电流等于总电流乘上一个分数,这个分数的分母是两并联电阻的和,分子是另外一条支路中的电阻。从这里看出,总电流是按电阻值成反比例关系分配在两个电阻中的。

**【应用实例】** 在实际应用中,常常在小量程的微安表(毫安表)的两端并联一个电阻,使得被测电流的一部分或者大部分通过这个并联电阻,而通过微安表的电流并不超过它的最大量程,这样就扩大了微安表的测量范围。这个外加的并联电阻叫做分流电阻,或者叫做分流器。

### (三) 电阻复联(混联)电路

如果在一个电路中,既有互相串联的电阻,又有互相并联的电阻,那么这个电路就叫做混联电路。计算或分析复联电路,可以分成三个步骤:

1. 首先合并单纯的串联与并联部分,计算出电路的总电阻;
2. 根据总电阻和总电压算出电路中的总电流;
3. 根据串联电路中的分压关系和并联电路中的分流关系,逐步推算各部分的电压和电流。

**【应用实例】** 下面以分压器作为例子,来说明电阻复联电路的分析和计算方法。现有一个分压器电路,如图 1-6 所示。

A、B 两端之间的总电阻是  $100 \Omega$ ,额定电流是  $3 \text{ A}$ ,它的两个固定端钮 A 与 B 和  $220 \text{ V}$  电源相接,改变活动触头的位置,就可以使输出电压  $U_1$  在  $0 \sim 220 \text{ V}$  范围内变化。当活动触头置于分压器的中点 C 的位置时,输出电压  $U_1$  等于  $110 \text{ V}$ ,即为电源电压的一半。这是因为 AC 和 CB 之间电阻丝长度相等,所以  $R_1$  等于  $R_2$ ,在  $R_1$  上分得的电压为总电压的一半。也可以说,输出电压  $U_1$  与输出段 AC 之间的电阻成正比。

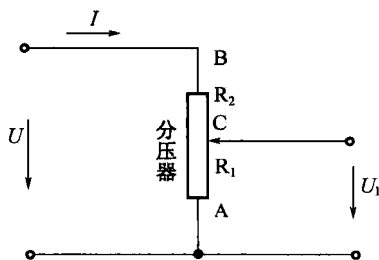


图 1-6 分压器电路

但是,如果把负载电阻( $R_L = 50 \Omega$ )接在此时的输出端时,输出电压  $U_1$  是否仍然是  $110 \text{ V}$  呢?为了分析这个问题,我们在图中画出接上负载后的分压器电路,如图 1-7(a)所示。

这是一个由三个电阻组成的复联电路。为了求出分压器的输出电压  $U_1$ ,首先应该求出电阻  $R_1$  与  $R_L$  并联后的等效电阻  $R'_L$ 。

已知 
$$R_1 = \frac{1}{2} \times 100 = 50 \Omega$$

所以 
$$R'_L = \frac{R_1 \cdot R_L}{R_1 + R_L} = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25 \Omega$$

这时电路可以简化,如图 1-7(b)所示。为了求出电路中的总电流  $I$ ,需求出串联电路的总电阻  $R$ :

$$R = R'_L + R_2 = 25 + 50 = 75 \Omega$$

这时电路可以简化,如图 1-7(c)所示,所以电路中的总电流为:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{75} \approx 2.93 \text{ A}$$

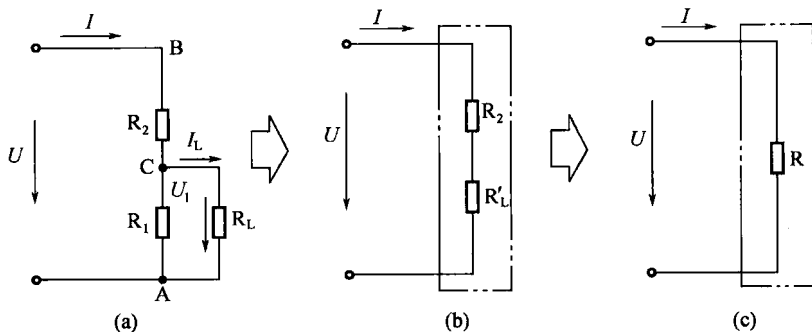


图 1-7 接上负载的分压器电路及等效电路

又根据图 1-7(b)所示,负载两端的电压为:

$$U_1 = IR'_L = 2.93 \times \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 73.3 \text{ V}$$

负载中通过的电流为:

$$I_L = I \frac{R_1}{R_1 + R_L} = 2.93 \times \frac{50}{50 + 50} \approx 1.47 \text{ A}$$

计算结果表明,由于接入了  $50 \Omega$  的负载电阻,A、C 两点之间的等效电阻从  $50 \Omega$  减少到  $25 \Omega$ ,所以分得的电压下降为  $73.3 \text{ V}$ 。又因为电路的总电阻由  $100 \Omega$  减少到  $75 \Omega$ ,所以电路中的总电流由  $2.2 \text{ A}$  上升到  $2.93 \text{ A}$ 。

如果负载电阻不是  $50 \Omega$  而是  $5 \text{ k}\Omega$ ,分压器的输出电压  $U_1$  又将发生什么变化呢? 首先还是计算负载电阻  $R_L$  为  $5000 \Omega$  并入后,A、C 两点之间的等效电阻  $R'_L$ ,即

$$R'_L = \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L} = \frac{50 \times 5000}{50 + 5000} = 49.5 \approx 50 \Omega$$

$R'_L$  与不接负载时的电阻  $R_1$  相比仅相差  $1\%$ 。可以认为  $5000 \Omega$  的负载电阻接入前后,电路的总电阻基本上没有变化。因为电源电压不变,所以电路中的总电流  $I$  基本不变,输出电压  $U_1$  也接近于  $110 \text{ V}$ 。

根据以上的分析计算可知,只有当负载电阻比分压器电阻大得多时,分压器的输出电压才和分压器输出段的电阻成正比。

电阻的串并联在实际电路的设计中得到广泛应用,可以根据计算,掌握供电电路的电压是否符合设备的电气特性,以利于及时调整。

**【例题】** 某临近车站的道口,交流  $220 \text{ V}$  电源由站内信号机械室经单芯信号电缆线提供,传输距离  $1170 \text{ m}$ ;在道口设备为最大负荷时,测量道口引入端交流电压为  $176 \text{ V}$ 。

①请计算该处道口信号设备的最大负荷电流为多少?

②在道口最大负荷电流不变情况下,如果将其中一股电源线由单芯改为双芯,道口电源电压可提升到多少伏?

③道口引入电源防护熔丝若无具体规定,应采用多大容量?

解:①信号电缆芯线电阻可按  $23.5 \Omega/\text{km}$  计算,传输电缆总长度为  $1\ 170 \text{ m} \times 2 = 2.34 \text{ km}$ 。全部单芯传输时,电缆回路总电阻为  $2.34 \times 23.5 = 54.99 \approx 55 \Omega$ 。

所以,电缆回路总压降  $= 220 - 176 = 44 \text{ V}$ ;道口最大负荷电流  $= 44 \div 55 = 0.8 \text{ A}$ 。

②单侧采用双芯电缆供电时:

$$\text{线路等效电阻} = (1.17 \times 23.5) \times 1.5 = 41.2425 \Omega$$

$$\text{电缆回路压降} = 0.8 \times 41.2425 = 32.994 \approx 33 \text{ V}$$

$$\text{道口电源电压} = 220 - 33 = 187 \text{ V}$$

③可按最大负荷电流  $0.8 \text{ A}$  的  $1.5 \sim 2$  倍,即  $1.2 \sim 1.6 \text{ A}$ 。根据信号熔丝规格系列,可以采用  $2 \text{ A}$  熔丝。

#### (四) 电路中电位的计算

##### 1. 电位的计算

在电路分析计算中,特别是在电子线路中经常会遇到电位的计算问题。在电场或电路中任选一点作为参考点,参考点电位为零电位,则电路中某点电位定义为:该点到参考点之间的电压。通常选择大地或某公共点(例如:仪表外壳)作为零电位点。

图 1-8 中 d 点画以接地符号“ $\perp$ ”表示规定这一点是零电位。假定电源电压、各个电阻以及其中的电流都是已知的,且  $E_1 > E_2$ ,则其他各点的电位也都能求出。先看 a 点,它与零电位的 d 点只差一个电源电压  $E_1$ ,而且 d 点是低电位的负极,a 点是高电位的正极,因此 a 点的电位就等于正的  $E_1$ ,即  $V_a = E_1$ 。其次看 b 点,它与零电位的 d 点之间隔着一个电阻  $R_3$ ,其中所流过的电流  $I_3$  是从 b 点流向 d 点的,因此 b 点的电位比 d 点高,即 b 点的电位也是正的,就等于  $R_3$  上的电压,  $V_b = I_3 R_3$ 。再看 c 点,它与 d 点之间隔着一个电源电压  $E_2$ ,但这里 c 点是低电位的负极,d 点却是高电位的正极,而 d 点是被指定为零电位的,因此 c 点的电位是负的  $E_2$ ,即  $V_c = -E_2$ 。

综上所述,要计算某点的电位,只要从这一点通过一定的路径绕到零电位的点,该点的电位即等于此路径上全部电压的代数和。但要注意每一项电压的正、负值,如果在绕行过程中从正极到负极,此电压便是正的;反之,从负极到正极的电压则是负的。电压可以是电源电压,也可以是电阻上的电压。电源上的电压正负极是直接给出的,电阻上电压的正负极则是根据电流的方向来确定的,因为电流是从高电位流向低电位的,故电流进入电阻的一端是正极,而电流从电阻出来的一端是负极。

上面 a、b 及 c 三点的电位是分别通过三条最简单的路径而求出的。通过电源  $E_1$  求出了 a 点的电位;通过电阻  $R_3$  上的电压 ( $I_3 R_3$ ) 求出了 b 点的电位;通过电源  $E_2$  则求出了 c 点的电位。但应认识到,电位与所选择的路径无关,通过其他路径所求出的同一点的电位是完全相同的。

分析以上结果可以看出:

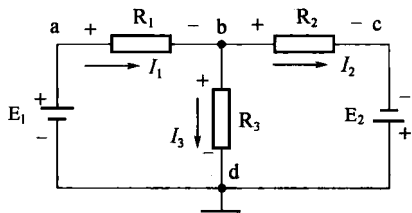


图 1-8 电路中的各电位差和各点电位

(1)在电路中,某点电位的高低是相对的,当电位的参考点改变时,电位的高低也就随着发生变化;

(2)电位参考点的选择是任一点,但是一个电路里只能有一个参考点;

(3)不论选择哪一点作为电路的参考点,任意两点间电压的数值是不会改变的。

### 2. 同电位

在特殊情况下,电路中的某两点会有相同的电位,如图 1-9 所示。设其中 a、b 两点间是不连接的,分别算出 a 点及 b 点的电位是:

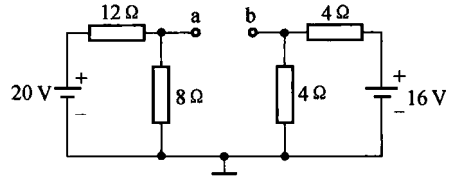


图 1-9 同电位的电路

$$V_a = \frac{20}{12+8} \times 8 = 8 \text{ V}$$

$$V_b = \frac{16}{4+4} \times 4 = 8 \text{ V}$$

表明 a、b 两点尽管没有接在一起,但却是同电位的,也就是 a、b 两点之间的电压为零。这种情况如果用导线把这两点短路起来也不会产生任何影响,因为两点间没有电压,导线中也不会有电流,这根导线接上去或拿掉都没有关系。当然,在这两点之间接上任意电阻 R 也是没有影响的。

## 第二节 电 容 器

### 一、电容器的基本概念

#### (一)电容器的构成

电容器就是储存电荷的容器。任何两个互相靠近而又彼此绝缘的导体,都具有可以积聚电荷的功能,因此,都可以看成一个电容器。如图 1-10(a)所示,两块金属导体,中间用不导电的绝缘材料隔开,就形成了一个电容器。

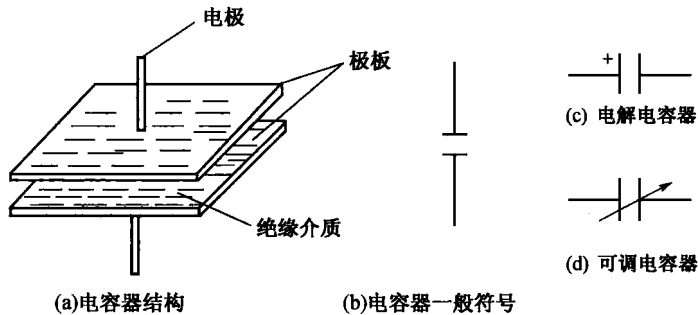


图 1-10 平板电容器结构原理

被绝缘物隔开的金属板叫做电容器的两个极或极板,它们可以通过电极接到电路中去;用来隔开极板的绝缘材料叫做绝缘介质,如空气、纸、云母、油、塑料等,都可以作为电容器的介质。图 1-10(b)是电容器在电路中的一般表示符号。在电路图中还有电解电容器和可调电容器,如图 1-10(c)、(d)所示。

#### (二)电容器的电容量

电容器的电容量(简称电容或容量),是衡量电容器储集电荷能力标准的一个数量值。如

果把电容器接到直流电源上,在电源电动势的作用下,电容器的两块极板就分别带上数量相等、符号相反的电荷。

如图 1-11 所示。与电源正极相连的极板带正电荷,与电源负极相连的极板带负电荷,加在电容器两块极板上的电压越高,极板上储存的电荷也越多。也就是说,电容器极板上的带电量  $Q$  与两极板间的电压  $U$  成正比。我们把两极板在单位电压作用下,每块极板上所储存的电荷量叫做该电容器的电容,用字母  $C$  来表示,即

$$C = \frac{Q}{U}$$

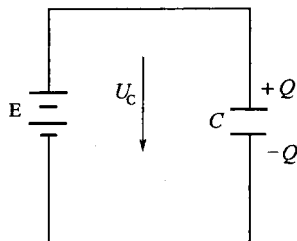


图 1-11 电容器接入电源

这个式子表明, $C$ 的数值越大,电容器所能储集的电量越多。上面式子中,电量  $Q$  的单位是库(C),电压  $U$  的单位是伏(V),电容量  $C$  的单位是法拉(简称法),用符号 F 表示。如果电容器两极板间的电压是 1 V,每个极板上的电荷量是 1 C 时,该电容器的电容就等于 1 F。实际应用中常常感到法拉这个单位太大,所以通常用微法( $\mu\text{F}$ )或皮法(pF)等较小的单位来表示电容器的容量。它们之间的关系是:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 法(F)} &= 1\,000\,000 \text{ 微法}(\mu\text{F}) \\ 1 \text{ 微法}(\mu\text{F}) &= 1\,000\,000 \text{ 皮法(pF)} \end{aligned}$$

## 二、电容器的充电和放电

### (一) 电容器的充电

当把电容器接到电源上时,电容器极板上就储存了电荷,我们先做一个电容器充电过程的电路,如图 1-12 所示。图中 E 是电源, K 是开关。首先将开关合在 1 端,可以看到下面的现象:

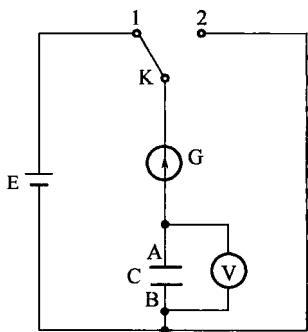


图 1-12 电容器的充、放电电路

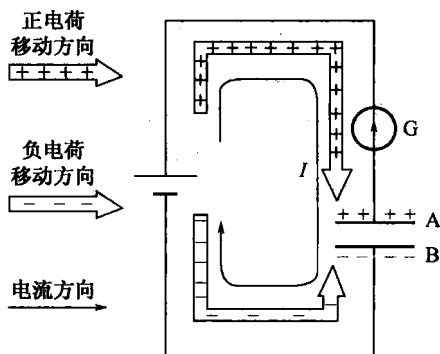


图 1-13 电容器的充电过程

1. 当开关刚合到 1 端时,检流计 G 的读数很大,说明电路中出现了很大的电流,以后就逐渐减小到零。
2. 在电流由大变小的同时,伏特表 V 的读数由零逐渐增加,当电流等于零时,电容器两端的电压  $U_c$  等于电源电压  $E$ 。

上述现象说明,当电容器接到电路的初始时,两极板上没有电荷,接通电源后,电源的正极

就向极板 A 供给正电荷,电源的负极就向极板 B 供给负电荷,如图 1-13 所示。这样,电荷在电路中移动,就形成了电流。随着极板上电荷的增多,由于同性电荷之间具有排斥作用,极板上积累的电荷将阻止后来的电荷的移动,电流逐渐减小,而极板上电荷的增加又使电容器两端电压增高。当电容器电压等于电源电压时,电路中再没有电荷的移动,电流也就为零了。我们把电荷从电源移到电容器的极板上的过程叫做电容器的充电。

可见,把电容器接在直流电路中时,只是在电路接通后很短的一段时间内电路中有充电电流流过,充电结束后,电路就成为断路了。所以电容器在电路中有隔断直流的作用。

### (二)电容器的放电

如图 1-12 所示,当电容器充完电以后,将开关合在 2 端,可以看到下面的现象:

1. 检流计又有读数,说明电路里有电流。但是检流计的偏转方向与充电时相反,说明电流方向相反。指针偏转到某一位置后又逐渐返回零点,说明电流由大变小,最后减小到零。

2. 与此同时,伏特表 V 指示出的电容器两端电压的数值由  $E$ (此时  $U_C = E$ ) 逐渐减小到零。

上述现象说明,电容器充电以后再构成放电回路,极板 B 上的负电荷(即电子)就经由导线与极板 A 上的正电荷互相中和,因此出现了放电电流,如图 1-14 所示。随着正、负电荷的不断中和,极板上的电荷不断减少,电容器两端的电压就随着下降,放电电流也由大变小。当正、负电荷完全中和,即两极板上都不带电荷时,电容器电压  $U_C$  下降到零,电流也就为零了。我们把电荷从电容器极板上流出的过程叫做电容器的放电。

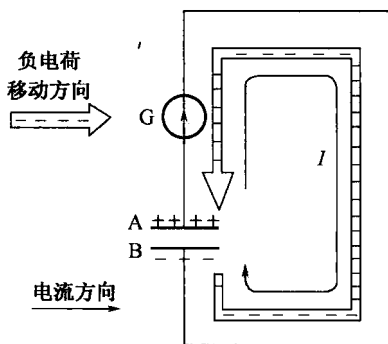


图 1-14 电容器的放电过程

如果把电容器接在正弦交流电路中,情况就不同了,在电源电压的正半周中,当电压上升时,电容器就被充电,电路中有充电电流;当电压下降时电容器就通过电源放电,电路中有放电电流,方向与充电电流相反。在电源电压的负半周时,根据上述道理电路中会有反方向充电和放电电流。因此电路中有不停的充、放电电流流过,好像电容器可以通过交流电流一样。所以说,电容器在电路中有沟通电流的作用。

### (三)电容器中的电场能量

电容器充电以后,极板上充满了电荷,也就储存了电能,如图 1-15 所示。先把开关合到 1 端,使电容器充电( $R$  是限制充电电流的电阻),然后将开关合到 2 端,可以看到小灯泡发亮,但很快就暗淡下去而熄灭了。这说明充过电的电容器中有能量释放出来。

当电容器充电时,电源通过移动电荷做功,把电源能量转换成电场能量,储存在电容器中;而在放电时,电容器里储存的电能转化为灯泡的发热和发光,电能被消耗完之后,电容器又恢复到未充电时的状态。这就是充过电的电容器中能量的由来。同时也

说明电容器本身只进行能量的吞吐,并不消耗能量,所以说电容器是一种储能元件。电阻则与此不同,它在电路中的作用是把电能转换为热能,然后将热能辐射至空间或传给别的物体,

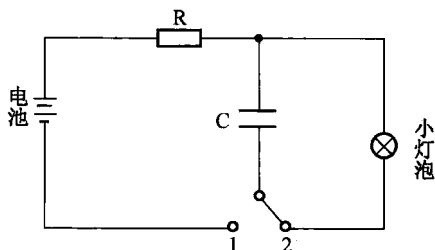


图 1-15 电容器放出能量



即在电阻器上所进行的电能与热能之间的能量转换是不可逆的,因此说电阻器是耗能元件。这就是电容器和电阻器这两种元件的根本区别。

由于能量在传送和转换的过程中,不能发生突变,只能从一种稳定状态逐渐变化到另一种稳定状态,因此电容器两端的电压不能发生突变,只能逐渐地变化。这是一个很重要的概念,在分析电容器在电路中的作用时,经常会用到这个概念。

**【应用实例】** 电容的充放电在信号电路中得到广泛应用。如图 1-16 所示,6502 电气集中的轨道反复示继电器(FDGJ)电路,就运用了电容充放电的原理。在电路中,平时 FDGJ 失磁落下,当办理进路时(QJJ 吸起),轨道区段有车占用(DGJ 落下)时,它才能吸起并自闭,此时电容 C 充电;当车出清轨道区段,切断 FDGJ 的自闭电路,电容 C 向继电器线圈放电,经缓放 3~4 s 后,FDGJ 才失磁落下。

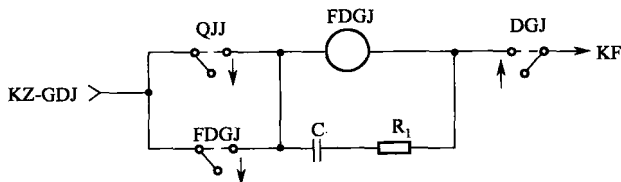


图 1-16 轨道反复示继电器电路

### 三、电容器的连接

电容器是按一定规格生产的,所以在实际工作中常常会遇到现有的电容器不能满足需要,因此把几只电容器接成串联或并联的形式,以满足不同的需要。

#### (一) 电容器的串联

如果单独使用一只电容器,它的容量满足要求,但耐压不能满足要求时,就需要把电容器串联起来使用,以获得较高的耐压水平。

几只电容器接成一个无分支电路的连接方式叫做电容器的串联。

如图 1-17 所示就是两只电容器的串联电路。两只电容器  $C_1$ 、 $C_2$  的容量分别为  $C_1$  和  $C_2$ 。下面我们来分析电容器串联时的总电容(也称等效电容)如何计算。

如果把这组串联电容器接到电压为  $U$  的直流电源上,电容器就被充电。充电结束后,在和电源相接的两块极板上分别出现等量的正电荷和负电荷,其余两块极板由于静电感应的结果,也分别产生了与两块极板等量的感应电荷。所以,当电容器串联时,各电容器上的电荷量相等。 $Q=CU=C_1U_1=C_2U_2$ 。

根据电容定义,可将每只电容器两极板之间的电压表示为:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ 及 } U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

因为串联电路中的总电压等于该电路中各段电压之和,即

$$U = U_1 + U_2$$

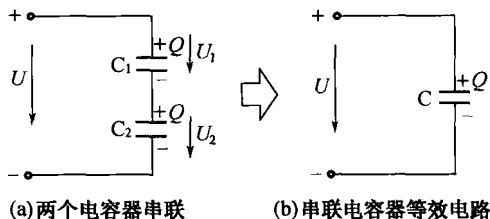


图 1-17 电容器的串联