

高等学校适用教材

电工电子技术基础

沈阳农业大学等六院校合编

机械工业出版社

电工电子技术基础

沈阳农业大学等六院校 合编

※

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)

※

唐山市开平区文教局印刷厂印刷

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 · 30.5 · 字数723千字

印数 0001—3600 · 定价 6.20元

1986年7月第一版 * 1986年9月第一次印刷

统一书号: 15033 · 6481H

前 言

本教材是由沈阳农业大学、河北农业大学、山西农业大学、安徽农学院、内蒙古农牧学院、保定职工大学等六所院校联合编写的。编写这本教材主要出于以下两点考虑：

随着我国农业现代化建设和农村生产结构的变化，从事工农业工程的技术人员在电工、电子技术方面的要求日益提高，因此，农业工程类与机械类专业的电工学课程，有进一步改革和加强的必要，需要一本与这种新要求相适应的教材。

另外，农业工程类与机械类专业对电工学课程的具体要求，与一般工科院校非电专业有相同之处，也有不同之处。它要求学习掌握一定的电工基本理论，熟悉低压供电线路和电能的经济利用，而且要求比较熟练地掌握电机、电器电子元、器件的外部性能和实用技术。从这样的具体要求出发，重新审视电工学课程的各部分内容，我们认为也有必要编写一本充分反映专业特点的教材。

这本教材就是根据上述看法，并参照1980年修订的高等工业院校电工学教学大纲(草案)编写的。为了更确切地反映课程内容，把课程名称由原来的《电工学》，改为《电工电子技术基础》。

这本教材在内容上加强了下列各个部分：单、三相交流电路、交流电机拖动与控制，低压供电，集成电路与电子技术在工农业上的应用。各章、节都增加了应用举例。删去了重复、陈旧的内容，减少了与专业关系不大的内容。

本书可作为高等农业院校农业工程类本科、专科，以及职工大学的教材；也可作为工程技术人员和自学者的参考。为了适应各种不同学时的教学和学生自学的需要，本教材分基本内容和任选内容两部分。基本内容教学学时，约为120学时；全部内容约为140学时。

应邀参加本书初稿审阅，并提出宝贵意见的有：徐昶昕（沈阳农业大学），应太勇（河南农业大学），于有兴、刘贵恒（瓦房店农业机械化学校），王贺明（保定职工大学）齐同春（内蒙古农牧学院）等。在此表示感谢。

本书由张英书、孙国祉主编。业文孙、郭章信、吴显义为副主编。

参加编写的有：赵国忠（第一章），年福谦（第二章），叶文孙（第三、四章），吴桂珍（第五、八章），邢毅（第六章），李庆春（第七章），吴显义（第九章），赵希炎（第十章），郭章信（第十一、十三）高桦（第十二章），赵德新（第十四章），孙国祉（第十五、十六章），钟连生（第十七章）。

由于编者水平不高，缺少经验，编写时间短促，书中一定会有不少错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1986年7月

目 录

第一部分 电工技术基础

第一章 直流电路的分析方法

第一节 电路的组成和模型	1
一、电路的组成及其作用	1
二、电路模型和电路图	1
第二节 电路基本物理量的正方向	3
一、电流的正方向	3
二、电压与电动势的正方向	3
第三节 电路的工作状态	4
一、负载状态	4
二、断路状态	4
三、短路状态	5
第四节 电路中电位的计算	5
第五节 电压源与电流源的等效变换	8
一、电压源	8
二、电流源	9
三、电压源与电流源的等效变换	10
第六节 支路电流法	14
第七节 节点电压法	16
第八节 迭加原理	18
第九节 等效电源定理	21
一、二端网络	21
二、戴维南定理	22
三、诺顿定理	24
第十节 直流电桥	26
一、平衡电桥电路	26
二、不平衡电桥	28

第二章 单相正弦交流电路

第一节 正弦交流电的基本概念	34
一、正弦交流电的三要素	34
二、同频率正弦交流电的相位差	35
三、正弦交流电的有效值	36
第二节 正弦交流电的相量表示法	37
第三节 单一参数的交流电路	40
一、电阻元件的交流电路	40
二、电感元件的交流电路	42
三、电容元件的交流电路	44

第四节 RLC串联交流电路	46
一、广义的欧姆定律、复数阻抗	46
二、串联谐振	49
第五节 RL—C并联交流电路	52
一、RL—C并联交流电路的相量分析	52
二、并联谐振电路	55
第六节 交流电路的功率	57
一、瞬时功率,有功功率与功率因数	57
二、视在功率,无功功率和功率三角形	58
三、复数功率	59
四、功率因数的提高	60
第七节 RC电路的频率特性	63
第八节 交流电桥及其应用	65
第九节 非正弦周期性交流电路	68
一、周期函数分解为付里叶级数	68
二、非正弦周期量的有效值	69

第三章 三相交流电路

第一节 三相交流电源	76
一、三相对称电动势的产生	76
二、三相电源的联接	77
第二节 负载星形联接的三相电路	79
一、对称负载	80
二、不对称负载	81
第三节 负载三角形联接的三相电路	86
第四节 三相电路的功率	87

第四章 电路的时域分析

第一节 换路定则与电压和电流初始值的确定	91
第二节 R—C电路的时域响应	93
一、RC串联电路输入阶跃电压时的响应	93
二、RC串联电路的零输入响应	99
第三节 确定全响应的三要素法	100
第四节 微分电路和积分电路	101
一、微分电路	101
二、积分电路	101
第五节 RL电路的时域响应	103
一、零状态	103

二、非零状态.....	105		145
三、零输入.....	105	一、机械特性.....	145
第五章 变压器		二、运行特性.....	146
第一节 磁性材料.....	111	第五节 异步电动机的使用.....	147
一、导磁性能.....	111	一、三相异步电动机的起动.....	147
二、磁饱和性.....	112	二、三相异步电动机的反转.....	150
三、磁滞性.....	112	三、三相异步电动机的调速.....	150
第二节 磁路及其基本定律.....	114	四、三相异步电动机的制动.....	153
一、磁路.....	114	第六节 异步电动机的选择.....	154
二、磁路的基本定律.....	114	一、电动机容量的选择.....	155
三、磁路计算举例.....	116	二、电动机转速的选择.....	157
第三节 变压器的基本结构.....	117	三、防护型式的选择.....	157
第四节 变压器的工作原理.....	118	第七节 单相异步电动机.....	158
一、变压器的空载运行.....	118	一、单相异步电动机的工作原理.....	158
二、变压器的负载运行.....	120	二、单相异步电动机的起动方式.....	160
第五节 变压器的特性.....	122	*第七章 同步电机	
一、变压器的外特性和电压调整率.....	122	第一节 同步电机的基本结构型式.....	168
二、变压器的损耗和效率.....	123	第二节 同步发电机的空载运行.....	169
第六节 单相变压器的极性.....	123	一、同步发电机的空载特性.....	169
第七节 三相变压器.....	124	二、相电动势的波形.....	170
一、三相变压器的联接.....	125	第三节 对称负载时的电枢反应.....	171
二、三相变压器的铭牌和额定值.....	128	一、 $\dot{I}$ 和 $\dot{E}_0$ 同相 ($\psi=0$) 时的电枢反应.....	171
*第八节 特殊用途变压器.....	129	二、 $\dot{I}$ 落后 $\dot{E}_0 90^\circ$ ($\psi=90^\circ$) 时的电枢反应.....	172
一、自耦变压器.....	129	三、 $\dot{I}$ 超前 $\dot{E}_0 90^\circ$ ($\psi=-90^\circ$) 时的电枢反应.....	172
二、仪用互感器.....	130	四、一般情况 (ψ 为任意值) 时的电枢反应.....	172
第九节 电磁铁.....	131	第四节 同步发电机的运行特性.....	172
一、直流电磁铁.....	132	一、外特性 $V=f(I)$	172
二、交流电磁铁.....	132	二、调整特性 $I_L=f(I)$	173
第六章 异步电动机		第五节 同步发电机并网的条件和方法.....	173
第一节 三相异步电动机的结构.....	136	一、投入并网的条件.....	173
一、三相异步电动机的定子结构.....	136	二、投入并网的方法.....	174
二、三相异步电动机的转子结构.....	136	第六节 同步发电机与无穷大电网并联运行时的功率调节.....	175
三、空气隙.....	137	一、同步发电机的电压平衡方程式、简化相量图和等效电路.....	176
第二节 三相异步电动机的工作原理.....	138	二、同步电机的电磁功率和功角关系.....	177
一、旋转磁场.....	138		
二、异步电动机的转动原理.....	140		
第三节 异步电动机的电磁转矩.....	141		
一、电磁转矩公式.....	141		
二、转矩特性曲线.....	143		
第四节 异步电动机的机械特性和运行特性.....			

三、有功功率的调节	178
四、无功功率的调节	178
五、V形曲线	179
六、静态稳定	180
第七节 同步电机的励磁方式	180
一、直流励磁机励磁	180
二、静止的交流整流励磁系统	181
三、旋转的交流整流励磁系统	182

第八章 直流电机

第一节 直流电机的构造和工作原理	184
一、直流电机的构造	184
二、直流电机的工作原理	185
第二节 直流电机的电磁转矩和电动势	186
第三节 直流电机按励磁方式分类	187
第四节 汽车拖拉机用直流发电机	188
一、并励直流发电机	188
二、硅整流交流发电机	190
第五节 汽车拖拉机用直流串励电动机	192
一、直流串励电动机的特点	192
二、直流串励电动机的机械特征	193

第九章 电气控制线路

第一节 常用控制电器	196
一、组合开关	196
二、按钮	197
三、交流接触器	198
四、中间继电器	200
五、热继电器	201
六、熔断器	203
第二节 继电器接触控制的基本线路	205
一、鼠笼式电动机直接起动控制线路	205
二、鼠笼式电动机正反转的控制线路	207
三、点动控制线路	208
四、次序控制线路	209
第三节 电力拖动的基本控制方法	209
一、行程控制	210
二、时间控制	213
三、速度控制	215
第四节 控制线路应用举例	216
一、C620车床的电气自动控制线路	216

二、 $\times 53T$ 立式铣床升降台的控制线路	217
三、藁秆青饲切碎机的自动控制线路	219
第五节 三相异步电动机的断相保护装置	220
一、关于断相运行	220
二、断相保护装置	221
第六节 继电器接触器控制线路的设计	224
一、控制线路设计的程序和一般原则	224
二、设计控制线路的基本方法和步骤	228
三、控制线路设计举例	229
第七节 电气接线图	231

第十章 低压供电

第一节 供电的基本概念	244
第二节 变电所及低压配电网	246
一、负荷计算	246
二、变电所	248
三、低压配电网	250
第三节 低压配电屏	251
一、自动空气开关	251
二、电度表	252
第四节 室内布线设计	254
一、室内布线方式	254
二、导线截面的选择	255
三、熔断器的选择	257
第五节 节约用电与安全用电	259
一、节约用电	259
二、安全用电	260

第二部分 电子技术基础

第十一章 常用半导体器件

第一节 PN结	271
一、纯净半导体的晶体结构	271
二、P型半导体和N型半导体	271
三、PN结的形成	272
四、PN结的单向导电性	273
第二节 晶体二极管	273
一、简单结构	273
二、伏安特性	274
三、主要参数	274
第三节 稳压管	275
一、伏安特性	275

二、主要参数	257
*第四节 特殊二极管	276
一、变容二极管	276
二、发光二极管	276
三、光电二极管	276
第五节 晶体三极管	277
一、基本结构	277
二、电流放大作用	277
三、特性曲线	278
四、主要参数	280
第六节 场效应管	281
一、结型场效应管	281
二、绝缘栅场效应管	282
第七节 可控硅	285
一、基本结构	285
二、工作原理	285
三、伏安特性	286
四、主要参数	287
第十二章 交流放大电路	
第一节 交流放大电路的组成	289
一、单管共射交流放大电路	289
二、电源的简化和放大电路的习惯表示法	290
三、其他类型的基本放大电路	291
第二节 交流放大电路的偏置	292
一、为什么要设置偏置?	292
二、常用的偏置电路	293
第三节 交流放大电路的静态分析	295
一、用图解法求静态工作点	295
二、电路参数对静态工作点的影响	297
三、温度对静态工作点的影响	297
四、静态工作点的稳定	298
第四节 交流放大电路的动态分析	301
一、近似计算法	301
二、图解分析法	305
三、放大电路的微变等效电路法	311
第五节 阻容耦合多极放大电路	316
一、电路的联接	317
二、电压放大倍数	317
第六节 阻容耦合放大电路的频率特性	319
一、频率特性和失真	319

二、低频特性	320
三、高频特性	321
第七节 负反馈放大电路	322
一、一个实际的负反馈电路	322
二、负反馈放大电路的框图及一般关系式	324
三、负反馈放大电路的特例——射极输出器	326
四、负反馈放大电路类型及判别	329
五、负反馈对放大电路性能的改善	332
第八节 场效应管放大电路	334
一、特点	334
二、静态工作点的设置	335
三、放大倍数及输入、输出电阻	338
四、源极输出器	339

第十三章 功率放大电路

第一节 单管功率放大电路和推挽功率放大电路	346
一、单管功率放大电路	346
二、推挽功率放大电路	349
第二节 互补对称功率放大电路	349
第三节 应用举例	351
一、5瓦晶体管扩音机	351
二、电视机伴音低放电路	353

第十四章 直流放大电路与运算放大器

第一节 直流耦合放大电路分析	354
一、前后级静态工作点相互牵制	354
二、零点漂移	355
第二节 差动式直流放大电路	356
一、差动放大电路的基本工作原理	356
二、具有恒流源的差动放大电路	358
三、差动放大电路的输入输出方式	358
第三节 集成运算放大器	360
一、集成运算放大器简介	360
二、基本运算电路	364
*三、应用举例	368

第十五章 振荡电路

第一节 自激振荡电路原理	372
---------------------	------------

一、幅度平衡条件.....	372	第一节 脉冲波形及其参数.....	412
二、相位平衡条件.....	372	第二节 晶体管的开关作用.....	413
第二节 LC振荡电路.....	373	一、开关状态.....	413
一、LC并联选频网络.....	373	二、饱和与截止状态.....	414
二、变压器反馈式振荡电路.....	374	三、开关速度.....	415
三、电感反馈式振荡电路.....	375	第三节 基本门电路.....	415
四、电容反馈式振荡电路.....	376	一、二极管“与”门电路.....	416
第三节 RC振荡电路.....	378	二、二极管“或”门电路.....	417
一、RC串并联网络的选频特性.....	378	三、晶体管“非”门电路.....	417
二、RC桥式振荡电路.....	378	四、DTL电路.....	418
实用电路举例.....	379	第四节 TTL“与非”门电路.....	419
第十六章 直流电源电路		一、工作原理.....	419
第一节 整流电路.....	381	二、电路参数.....	420
一、单相桥式整流电路.....	381	第五节 MOS逻辑门电路.....	422
* 二、三相桥式整流电路.....	384	一、NMOS“非”门电路.....	423
第二节 滤波电路.....	386	二、CMOS门电路.....	424
一、电容滤波电路.....	386	第六节 逻辑门电路的组合.....	426
二、电感滤波电路.....	389	一、逻辑代数.....	426
三、LC滤波电路.....	390	二、卡诺图化简法.....	429
四、 π 型滤波电路.....	390	三、组合逻辑电路的设计举例.....	431
第三节 稳压管稳压电路.....	391	第七节 触发器.....	436
一、稳压原理.....	391	一、R—S触发器.....	436
二、稳定度与内阻.....	392	二、J—K触发器.....	440
三、稳压管稳压电路元件选择.....	393	三、D触发器.....	442
第四节 串联型晶体管稳压电路.....	394	四、T触发器及三种类型触发器的相互转换.....	443
一、串联型晶体管稳压电路的引出.....	394	第八节 单稳态触发器.....	445
二、具有放大环节的串联型晶体管稳压电路.....	395	第九节 无稳态触发器.....	446
* 三、提高稳压电源性能的电路.....	396	第十节 射极耦合双稳态触发器.....	447
* 四、过流保护电路.....	397	第十一节 寄存器.....	448
* 五、应用举例.....	398	一、并入——并出寄存器.....	448
六、集成稳压电路.....	399	二、串入——串出寄存器.....	449
第五节 可控整流电路.....	400	第十二节 计数器.....	450
一、单相半波可控整流电路.....	401	一、二进制计数器.....	450
二、单相桥式半控整流电路.....	402	二、十进制加法计数器.....	453
第六节 可控硅的触发电路.....	406	第十三节 译码器和数字显示.....	455
一、单结晶体管的构造和特性.....	406	一、译码电路.....	455
二、弛张振荡电路.....	407	二、显示电路.....	459
三、单结晶体管触发电路.....	408	第十四节 模拟量和数字量的转换.....	463
第十七章 脉冲数字电路		一、数——模转换器.....	463
		二、模——数转换器.....	465

第一章 直流电路的分析方法

本章是在物理电学的基础上讨论电路的问题。首先概要地复习有关电路必要的基本概念，然后着重讨论由欧姆定律和克希荷夫定律所导出的几种最常用的电路分析方法；支路电流法是欧姆定律和克希荷夫两定律的直接应用；节点电压法适用于支路多，节点少的电路；迭加原理既是电路的基本原理，也是计算复杂电路的一种方法。等效电源定理提供了分析与计算复杂电路中特定支路电流的捷径。上述的基本方法虽然在直流电路中讨论，然而这些方法同样适用于交流电路。至于电路的基本物理量（电流、电压、电动势）曾有多次地重复，故在本章中就没有必要再加赘述。

第一节 电路的组成和模型

一、电路的组成及其作用

电路是由若干电工设备或电气元件所组成的电流通路，简言之，电路即为电流所通过的闭合路径。在工农业生产、日常生活、科学研究和国防建设中，电能的应用日益广泛，随着电工技术的发展，按着不同需要在各个领域的实际应用中可以组成繁简不同，形式与功能各异的电路。例如手电筒、收音机、电力系统、汽车与拖拉机电气系统或是利用电信号进行通讯和实现自动控制的各种电路等都是具体电路。现就如图 1-1-1 所示的最简单的手电筒电路为例来讨论电路问题。

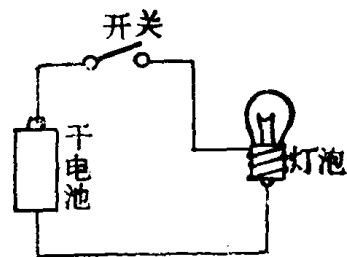


图1-1-1 手电筒电路

图 1-1-1 是根据实物所画的联接电路图。由该图可知，手电筒电路是由导线、干电池、灯泡和开关等组成。其中干电池是电源，灯泡为负载，余者均为中间环节。任何一个电路，无论其复杂程度如何，都无一例外的包括电源、负载和中间环节这样三个组成部分。

汽车、拖拉机和康拜因上的电源是发电机和蓄电池、日常生活的照明或家用电器及工业用的电动机、电炉等的用电是由电力系统中电厂的发电机供给的，诸如上述的干电池、蓄电池和发电机等皆称为电源，电源是一种供应电能的设备，它将热能、水能、风能、化学能和原子能等转换为电能。

电灯、电动机、电炉和电喇叭等都是负载，负载是取用电能的设备，它们分别将电能转换为光能、机械能、热能和声能。

电路中除去电源和负载之外的其余部份都称为中间环节，在具体电路中的输电导线、开关设备、熔断器、测量仪表、信号装置等都属于中间环节，是联接电源和负载的部份，它起输送与分配电能和保护等作用。

电路的主要作用是传输和变换电能与传递和处理电信号这两个方面。

二、电路模型和电路图

在电工技术中，当人们进行分析电路问题时，通常是根据电路图来讨论的，所谓电路图

就是按国家统一规定的各种电气设备和器件的符号所绘制的图形，例如图 1-1-1 可用图 1-1-2 所示的电路图来表示，其中左边为干电池，右边为电珠（小灯泡）。

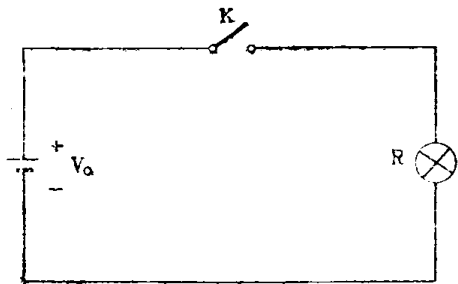


图1-1-2 用电路符号绘制的电路图

任何一个实际部件的物理性质总是有主有次的，例如一个实际电阻器除具有对电流呈现阻力的性质即电阻之外，尚在高频时还兼有电感性质；一个电源一方面具有对外提供定值电压的性质之外，另一方面因其总有一定的内阻，故在使用中又有不能保持定值电压的性质；一个联接导线除具有良好导电性质之外，总还具有一定的电阻，甚至还有电感。这样就给分析电路带来了困难。为此在电工技术中需要在一定条件下，将实际部件加以近似化与理想化，忽略其次要性质，用一个足以能表征其主要物理性质的模型来代替。各种实际部件都可以求出它的模型，例如灯泡的电感是极其微小的，将其看作为理想电阻元件是完全可以的，其模型就是理想电阻元件，故模型是由一些理想元件构成的。从一些实际部件的物理性质中可抽象出五种理想元件，即电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。其中理想电压源和理想电流源两种理想元件的电路符号可用图 1-1-3 a 和 b 来表示。余者的电路符号读者都已熟知，就不必再画了。

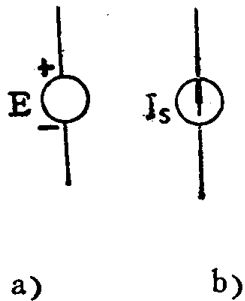


图1-1-3

理想电压源和理想电流源

电阻元件消耗电能，电感元件以磁场形式储存能量，电容元件以电场形式储存能量，它们的性质可分别用称为电路参数的物理量来表示，如电阻 R 就是表示电阻元件物理性质的电路参数，同样电感 L 和电容 C 是分别表示电感元件和电容元件物理性质的电路参数（其含义将在第二章中讨论）。

理想电压源和理想电流源是分别能够提供一定电压和电流，而无内部电能损耗的理想化电源。一个实际电源往往都有一定的内阻，所以一个电压源的模型可以由理想电压源（恒压源）与电阻串联来构成；若电源内阻为无穷大时，其输出电流与负载无关，这种电源就是理想电流源（恒流源），而实际电源不可能有无穷大的内阻，所以一个电流源的模型可以由一个理想电流源与内阻并联来构成，（参看本章第五节）。

本着用模型代替实体的原则，每种实际电路都可看作是由理想电路元件组成的理想化的电路，这样的电路就称为电路模型。譬如图 1-1-4 所示的电路就是图 1-1-2 手电筒电路的电路模型，电路模型也称为原理电路图，简称电路图。

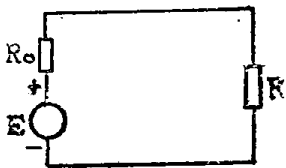


图1-1-4 用理想元件绘出的手电筒电路

图中 E 和 R_0 分别表示干电池的电动势和内阻。因灯泡是把电能转换为热能和光能，所以可用电阻 R 来表示。其联接导线表示为理想导体，可以不计电阻，将实际电路画出其电路模型之后，就可以通过对电路模型的讨论来找出实际电路的性能。

第二节 电路基本物理量的正方向

在电工技术中,实验和理论分析是解决电路问题的两种主要方法,理论分析方法是对具体电路先画出电路模型(即等效电路),然后即可做定性分析或是定量分析,在做定量分析时,就要根据基本电磁定律列出一些基本方程式,为了列出基本方程就必须先确定电路基本物理量的正方向(即正值方向),正方向不同,基本方程中的正负号也就不同。所谓基本物理量的正方向就是对各物理量人为假设的正值方向(也称参考方向),正方向在电路分析中是一个极为重要的概念。有时正方向就是实际方向,有时则不然。

一、电流的正方向

电荷的定向运动,形成电流。习惯上规定正电荷运动的方向作为电流的实际方向,电流的方向是客观存在的,但在分析比较复杂的直流电路时,往往难以判断出某支路电流的实际方向;交流电是随时间交变的,更难于表示出实际方向,所以在实际分析电路时,事先可以不考虑实际方向如何,而应先假定出电流的正方向。电流正方向一般可用箭头来表示,如图1-2-1所示。电流的正方向也可用表示电流的文字加双下标来表示,如 I_{ab} 或 I_{ba} , I_{ab} 表示电流的正方向是由a向b, I_{ba} 则表示电流的正方向是由b向a。

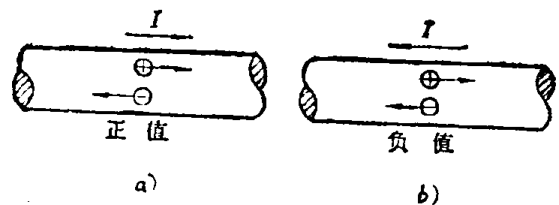


图1-2-1 用箭头表示电流的正方向

选定电流正方向之后电流即为代数量,电流的正值与负值就有确定的意义,如果电流为正值,如图1-2-1 a所示,即说明电流正方向与电流的实际方向相同,若为负值,如图1-2-1 b所示,则说明电流正方向与实际方向相反。

电流正方向是任意假定的,不过在直流电路中,若电流实际方向能够判定时,一般将正方向选为与实际方向一致。

二、电压与电动势的正方向

为了研究问题方便,将手电筒电路再画成如图1-2-2所示的形式。

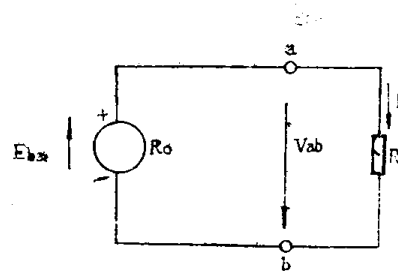


图1-2-2 电压和电动势的正方向

电压是衡量电场力的作功能力的一个物理量。电场力把单位正电荷从电源正极移到负极所作的功称为电源两极的电压;而电动势是衡量电源力(外力)作功能力的一个物理量。电源力把单位正电荷从电源负极移动到正极所作的功称为电源的电动势。

习惯上规定,电压的实际方向是从高电位端指向低电位端,而电动势的实际方向是从低电位端(电源负极)指向高电位端(电源正极)。

电压和电动势也都是代数量,也必须选定正方向,电压与电动势的正方向可用表示其物理量的文字附以箭头来表示或用表示其物理量的文字加双下标来表示,如 V_{ab} 、 V_{ba} 和 E_{ab} 、 E_{ba} 等。在图1-2-2中 V_{ab} 表示从a到b的电压, E_{ba} 则表示从b到a的电动势。此外,电压

和电动势的正方向尚可用在元件上的两个端点分别标注“+”、“-”号的方法来表示，如图1-2-2所示。由于电压的方向是电位降的方向，而在图1-2-2中，选取电压正方向由a指向b，说明假定a端为正极，b端为负极，这时的正负极称为电压的参考极性，不一定是电压的真实极性，当电压为正值时，电压的真实极性与参考极性一致，当电压为负值时两者则相反。

综上所述，在分析电路时，既要为通过元件的电流选定正方向，又要为元件两端的电压选定正方向（参考极性），它们本来是可以互不相干的，任意选取的，但为了方便起见，在实际运用中，通常都是采取关联的正方向，如在图1-2-2中所标定的正方向就是关联的正方向，就是把电流、电压和电动势的正方向标为一致的原则。

第三节 电路的工作状态

电路在使用中只可能呈现三种工作状态，即负载状态、断路状态和短路状态。现仅以如图1-3-1所示电路为例来讨论电路的三种工作状态。

一、负载状态

在图1-3-1电路中当将开关K合上时，电路即处于负载状态。此时电路中即有电流通过，电流值为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-3-1)$$

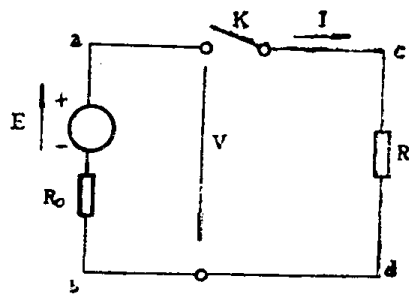


图1-3-1 最简单的电路

一般电源的电动势 E 和内阻 R_0 是一定的，由式(1-3-1)可知：电流 I 的大小决定于负载电阻 R 。 R 越小电路中电流 I 便越大，负载功率（即电源输出功率）也越大，我们将这种情况叫做负载增大，显然所谓负载的大小绝不是负载电阻的大小而是负载电流和功率的大小，显而易见负载电阻增大时负载变小，而负载电阻减少时负载却变大。电源输出的功率和电流取决于负载的大小，随负载的变化而变化。

各种电气设备的电压、电流和功率都有一个长期工作的允许值，称之为额定值。例如一个电灯的电压是220V，功率是100W，这就是它的额定值，它是由制造厂规定的，按着额定值来使用是最经济合理和安全可靠的，还能使电气设备保证有一定的使用寿命。大多数电气设备（例如电机、变压器等）的寿命与其绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当电流超过额定值时称为过载，小于额定电流时称为欠载，达到额定值称为满载或叫额定工作状态。如有短时过载还是可以的，长时间过载是不允许的，使用时应当特别注意。

二、断路状态

在图1-3-1所示的电路中当开关K打开时，亦即电源不接负载时，这时电路处于断路（空载）状态，也叫做开路状态，如图1-3-2所示。

开路时电路的电阻对电源而言相当于无穷大，故电路中电流为零，这时电源的端电压即

空载电压或开路电压就等于电源的电动势。电源不输出电能。显然开路时的电路特征可用下列各式表示

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ V &= V_0 = E \\ R &= \infty \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-3-2)$$

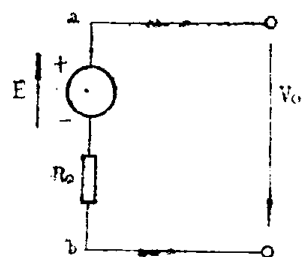


图 1-3-2 开路

三、短路状态

在图 1-3-1 所示的电路中，当电源两端 a 和 b 由于某种原因而联接在一起时，电源即被短路，如图 1-3-3 所示。电路所处的状态称为短路。

此时外电路的电阻可认为是零，电流就不再流过负载。由于电源内阻往往很小，故此时电流很大，这个电流称为短路电流，常用 I_s 来表示。短路电流可能使电源遭到严重损坏。这时电源所产生的电能完全被其内阻所消耗。由于外电路电阻为零，所以端电压就是零，电源电动势全部降在内阻上。其电路特征可用下列各式表示。

$$\left. \begin{aligned} R &= 0 \\ V &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= I_s R_0, \quad P = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-3-3)$$

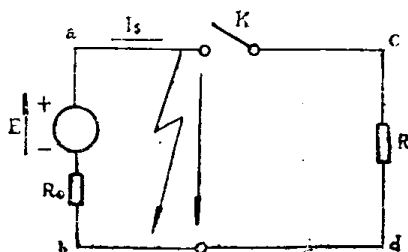


图 1-3-3 短路

短路通常是一种事故，应该竭力避免。造成短路的原因很多，一般是由于绝缘损坏或接线不慎，因此应该经常检查电气设备和线路的绝缘情况。此外为了防止短路引起设备的毁坏往往要求在电路中接入熔断器或者自动断路器，以保护设备的安全。

如前所说短路是一种事故状态，但有时为了某种需要对某设备人为地进行短路，此时习惯上称为短接。

第四节 电路中电位的计算

在分析电路特别是分析电子线路时，除了计算电压之外还常常要涉及到各点电位问题。如一个二极管只有当它的阳极电位高于阴极电位时，管子才能导通。否则截止。电位与电压这两个概念是既有联系又有区别，电压是指两点而言的，两点间的电压就是两点间电位之差。那么某点的电位又该如何计算呢？这是本节要讨论的问

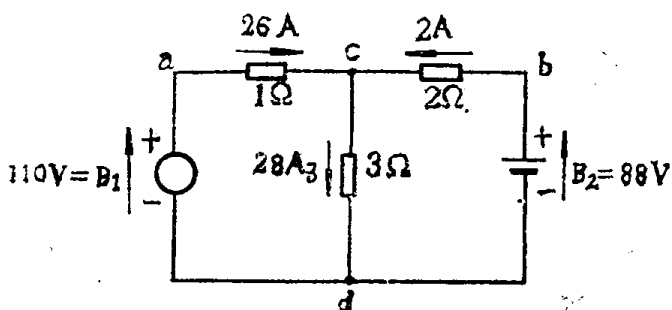


图 1-4-1 计算两点电压电路

题，现以图 1-4-1 所示电路为例来研究电位的计算问题。

由图 1-4-1 可得

$$V_{cd} = 28 \times 3 = 84 \text{ V}$$

$$V_{ac} = 26 \times 1 = 26 \text{ V}$$

$$V_{bc} = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$$

$$V_{ad} = 110 \text{ V}$$

$$V_{bd} = 88 \text{ V}$$

上面所计算的都是电路中两点间的电压值，而尚未计算出各点的电位。欲计算各点电位故须在电路中先选定某一点作为电位参考点，所谓电位参考点即是假设电位为零的点。以参考点的电位作为基准来与其它各点进行比较，比其高的电位为正，比其低电位为负。正值越大者电位越高，负值越大者电位越低。

在电路中把选定的电位参考点用“接地”符号加以标记，所谓“接地”并非实际接地。

在图 1-4-1 中如果选 d 点作为电位参考点，则 $V_d = 0$ ，此时电路图可画成如图 1-4-2 所示。

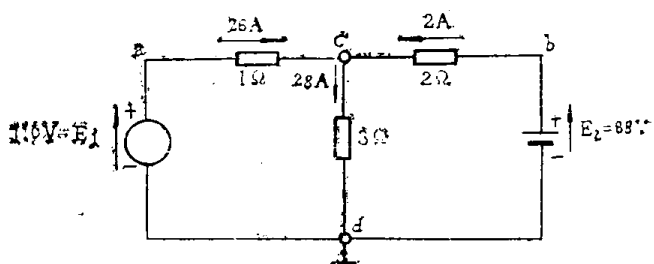


图 1-4-2 d 为参考点计算电位的电路

由图 1-4-2 可得

$$V_{ad} = V_a - V_d, \quad V_a = V_{ad} = 110 \text{ V}$$

$$V_{bd} = V_b - V_d, \quad V_b = V_{bd} = 88 \text{ V}$$

$$V_{cd} = V_c - V_d, \quad V_c = V_{cd} = 84 \text{ V}$$

a、b、c、三点的电位分别比 d 点的电位高 110 V、88 V 和 84 V，据此可计算出

$$V_{ab} = V_a - V_b = 110 - 88 = 22 \text{ V}$$

$$V_c = V_b - V_c = 88 - 84 = 4 \text{ V}$$

如再选 C 点作为电位参考点，则

$V_{bc} = 0$ ，此时电路如图 1-4-3 所示。

由图 1-4-3 可得

$$V_{ac} = V_a - V_c, \quad V_a = V_{ac} = 26 \text{ V}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c, \quad V_b = V_{bc} = 4 \text{ V}$$

$$V_{dc} = V_d - V_c, \quad V_d = V_{dc} = -84 \text{ V}$$

据此得

$$V_{ab} = V_a - V_b = 26 - 4 = 22 \text{ V}$$

$$V_{cb} = V_b - V_c = 4 - 0 = 4 \text{ V}$$

由上面两种情况计算的结果可以得出如下的结论：

1. 电路中某一点的电位在数值上就等于该点与电位参考点之间的电压；
2. 电路中各点的电位值是相对的，它是随着电位参考点位置的改变而改变，然而电位

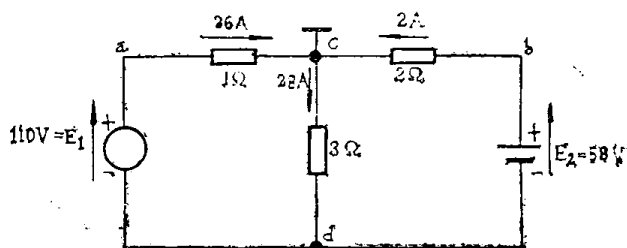


图 1-4-3 c 为参考点计算电位的电路

参考点一旦选定后，电路中各点电位却随之而定；

3. 电位参考点是可随意选定的，无论电位参考点选在哪，都不能改变电路中任意两点间的电压，两点间的电压值是绝对的。

此外，为了使电路简单清楚，往往将电路进行简化。如图1-4-1可以简化成如图1-4-4所示的电路，简化时不画出电源，各点只标出其电位值。

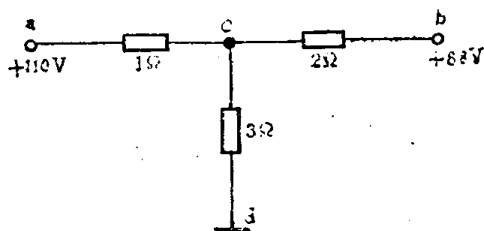


图1-4-4 图1-4-1 的简化电路

例1-4-1 求图1-4-5 a所示电路中的开关K断开和接通时a、b点的电位。

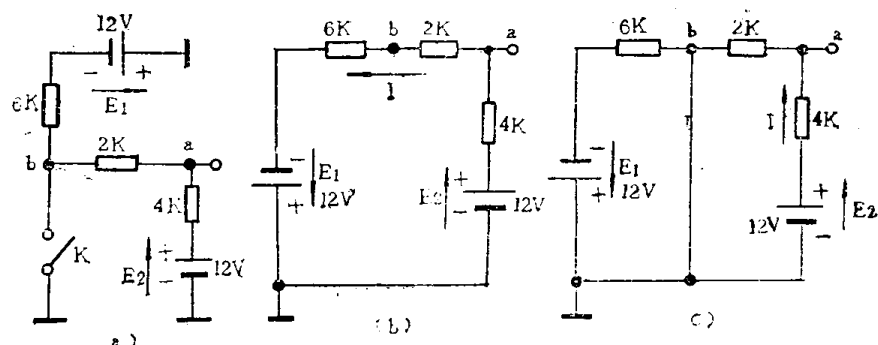


图1-4-5 例1-4-1的电路

解：电路中接地符号代表零电位点，这些点事实上是相互接在一起的，实为一点，因此当开关K断开和接通时其电路分别如图1-4-5b、c所示。

1. 由图b求开关K断开时a、b点的电位

根据图示电路参数，首先求其电流I，其正方向如图b)中所示。则

$$I = \frac{12 + 12}{(6 + 2 + 4) \times 10^3} = 2 \times 10^{-3} \text{ A}$$

沿电动势 E_2 和 4 K 电阻这条路经求出a点的电位：

$$V_a = 12 - 4 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3} = 4 \text{ V}$$

再沿电动势 E_1 和 6 K 电阻这条路径求出b点的电位

$$V_b = -12 + 6 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3} = 0 \text{ V}$$

2. 由图c求出开关K接通时a、b点的电位

由图c显见，b点和电位参考点已短接，此时使电路变成了两个彼此无关的两个回路，a点电位只与右边回路中的电流有关，此电流为

$$I = \frac{12}{(4 + 2) \times 10^{-3}} = 2 \times 10^{-3} \text{ A}$$

则

$$V_a = 12 - 4 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3} = 4 \text{ V}$$

显然， $V_b = 0 \text{ V}$

第五节 电压源与电流源的等效变换

在本章第一节就已经概要地叙述了关于电压源和电流源的基本概念，在电路中这两种电源具有同等的重要性，而且它们之间又可进行等效变换，故应对它们再作比较详尽的讨论，了解它们的特性和相互的变换问题。

一、电压源

一个实际的电源我们最习惯于将它们表示成为电压源，电压源在电路中是用具有电动势 E 的恒压源与其内阻 R_0 串联的组合来表示，如图 1-5-1 所示。

图中 V 是电源端电压， R_L 是负载电阻， I 是负载电流。由图 1-5-1 所示电路可列方程

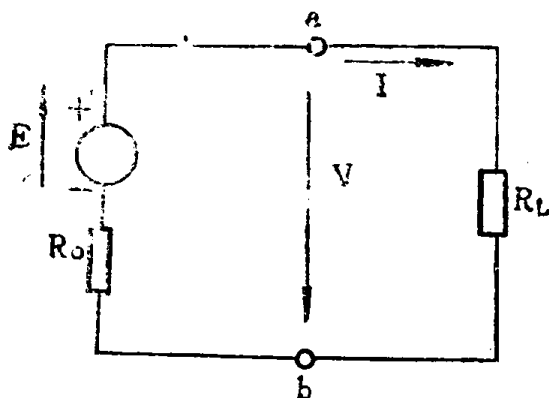


图1-5-1 电压源电路

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

$$V = E - IR_0 \quad (1-5-1)$$

式 (1-5-1) 说明了电源端电压与负载电流之间的关系，叫做电压源的伏安特性。伏安特性实际是反应了电压源的外部特性，所以也称为电压源的外特性。表征电源电压与负载电流关系的曲线叫做外特性曲线。当 E 和 R_0 为常数时，显然外特性曲线便是一条直线，做出这条曲线比较容易，只用电路的两种极端情况就可确定这条直线的两个特殊点。

空载时， $I = 0$ ， $V = V_0 = E$ ，便在纵轴上得到空载点 A 。

短路时， $V = 0$ ， $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ ，

便在横轴上得到短路点 B 。

连接 A 和 B 就可得到如图 1-5-2 所示的外特性曲线，此直线的斜率为 $\tan \alpha = -R_0$ ，它只与内阻有关，内阻越小直线则越平。

若 $R_0 = 0$ 时，由图 1-5-1 可见输出电压 V 恒等于电动势 E ，是一个恒定值，这即是前面所提过的恒压源，也称为理想电压源，其输出电流是任意的，其大小电源本身不能确定，而只能由外电路来确定，电压源符号可用图 1-5-3 来表示，其外特性曲线是一条平

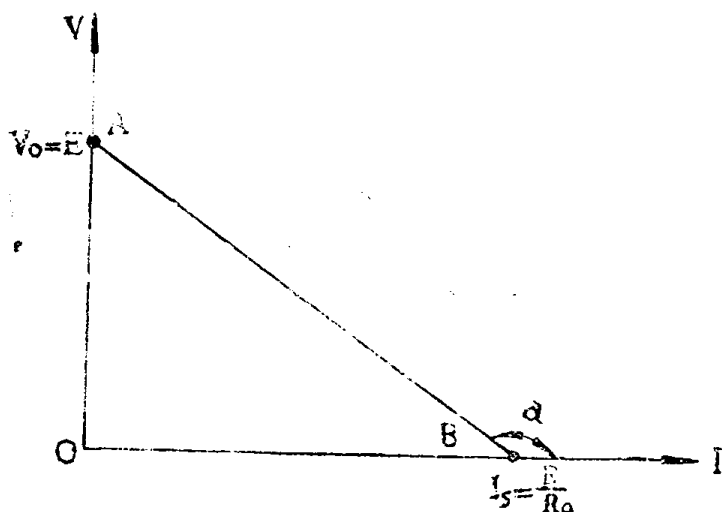


图1-5-2 电压源的外特性曲线

定，而只能由外电路来确定，电压源符号可用图 1-5-3 来表示，其外特性曲线是一条平

行于横轴的一条直线，如图 1-5-4 所示。

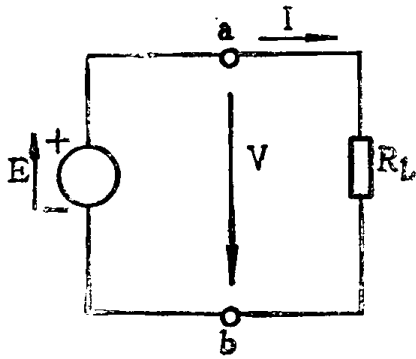


图1-5-3 恒压源电路

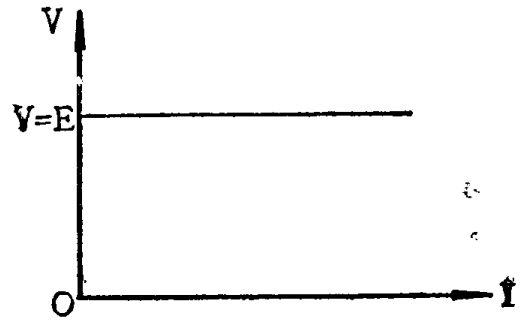


图1-5-4 恒压源的外特性曲线

内阻为零的电源实际上是不存在的，此仅是作为理想化的电路元件抽象出来的，在实际中如果电源内阻比负载电阻小得多 ($R_0 \ll R_L$) 时，在电气工程上就将这样的电源视为电压源，如稳压电源或干电池等。理想电压源绝对不准短路 ($\because I = \infty$)。

二、电流源

一个实际电源除用电压源表示外，尚可用电流源来表示。前面曾经指出，所谓电流源就是恒流源与内阻并联的组合。这是很容易得到证明的，下面就讨论这个问题，如将式 (1-5-1) 两边除以 R_0 即得

$$\begin{aligned} \frac{V}{R_0} &= \frac{E}{R_0} - I = I_s - I, \\ I_s &= \frac{V}{R_0} + I \end{aligned} \quad (1-5-2)$$

式 (1-5-2) 中 $I_s = \frac{E}{R_0}$ 为电源产生的定值电流，也就是短路电流， $\frac{V}{R_0}$ 是在电源内部流动被内阻分走的电流。按三者电流关系可用如图 1-5-5 所示的电路来表示，此即为电流源。

式 (1-5-2) 也反映出了电源端电压与负载电流之间的关系，表征这种关系的曲线也称为外特性曲线，当 I_s 和 R_0 为常数时，显然这条曲线也是一条直线，其作法也与前相同。

空载时， $I = 0$ ， $V = V_0 = I_s R_0$ ，便在纵轴上得空载点 A。

短路时， $V_0 = 0$ ， $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ ，便在横轴上得短路点 B，连接 A 和 B 两点便得到如图 1

5-6 所示的电流源的外特性曲线。

由图 1-5-6 可知，当 R_0 支路断开时 ($R_0 = \infty$)，输出电流 I 恒等于 I_s ，是个恒定