

380310

建筑电工学

● 王明昌 主编 ● 重庆大学出版社



980310

建筑电工学

王明昌 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委颁布的工程专科《电工学课程教学基本要求》，结合建工类各非电专业的特点编写的。

全书共 8 章，分别介绍了电工基本知识和单相交流电路、三相交流电路、变压器、交流异步电动机、低压电器及控制电路、建筑施工现场供电、建筑电气照明、电子技术基础。每章均有小结、基本知识自检题、思考题与练习题，书后有实验指导书。

建筑电工学

王明昌 主编

责任编辑 韩洁 唐利

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆通信学院印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：20 字数：499 千

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷

印数：1—5000

ISBN 7-5624-1016-X/TM·44 定价：14.00 元

(川)新登字 020 号

前 言

目前出版的电工学教材一般都是针对本科或中专生编写的,因此在内容和深度、广度方面都不适宜于建工类高等专科学校的师生使用。鉴于这种情况,我们组织编写了这本适用于建工类的大专教材。

本教材是在国家教委颁布的工程专科《电工学课程教学基本要求》教学大纲的基础上编写的。考虑到各院校电工学教学时数不多,因此本教材力求结合建工类非电专业的实际,精选内容。同时本教材既注重电工学的基本理论,又突出专业性特点。为了巩固教学内容,加强对学生能力的培养,各章结合实际配备了适量的例题、基本知识自检题、思考题和练习题,章末均有小结。为了增加学生的感性认识,加深对理论的理解及培养学生的动手能力,书后附有实验指导书。

全书共八章,其中绪论、第一、二、八章及实验指导书(大部分)由王明昌编写;第三、六、七章由冯芳碧编写;第四、五章及实验指导书(部分)由赵宏家编写。全书由王明昌担任主编。重庆建筑高等专科学校杨光臣、唐琰年、王正勇、张保平分别对本书初稿不同章节进行了认真细致地审阅,并提出了许多宝贵意见,在此,编者特表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

1994年12月

2011/11

目 录

绪论	1
第一章 电工基本知识和单相交流电路	3
1-1 电路的组成及其基本物理量	3
1-2 电路的基本定律	5
1-3 电磁	9
1-4 正弦交流电的产生及其基本概念	13
1-5 正弦量的相量表示法	18
1-6 单一参数的交流电路	22
1-7 RLC 的串联交流电路	28
1-8 串联谐振与并联谐振	32
1-9 功率因数的提高	35
本章小结	37
基本知识自检题	39
思考题与练习题	41
第二章 三相交流电路	43
2-1 三相交流电源	43
2-2 三相负载的星形连接	46
2-3 三相负载的三角形连接	51
本章小结	55
基本知识自检题	56
思考题与练习题	57
第三章 变压器	59
3-1 变压器的用途及结构	59
3-2 变压器的工作原理	62
3-3 变压器的运行特性	65
3-4 三相变压器	67
3-5 特殊变压器	69
本章小结	73

基本知识自检题	74
思考题与练习题	74
第四章 交流异步电动机	76
4-1 三相异步电动机的构造	76
4-2 异步电动机的工作原理	78
4-3 异步电动机的电磁转矩与机械特性	81
4-4 异步电动机的起动、调速、反转和制动	84
4-5 异步电动机的铭牌和技术数据	89
4-6 异步电动机的选择	93
4-7 交流单相异步电动机	95
本章小结	97
基本知识自检题	98
思考题与练习题	99
第五章 低压电器及控制电路	100
5-1 常用低压电器	100
5-2 异步电动机电气控制的典型环节	110
5-3 建筑施工机械中的电气控制	119
5-4 水泵的电气控制	128
5-5 锅炉的电气控制	135
5-6 空调系统的电气控制	141
5-7 火灾自动报警系统	146
本章小结	159
基本知识自检题	161
思考题与练习题	161
第六章 建筑施工现场供电	164
6-1 电力系统概述	164
6-2 电力负荷的分类和计算	166
6-3 变电所及其主结线	171
6-4 低压配电线路的接线方式及其结构	182
6-5 配电导线截面与熔断器的选择	189
6-6 施工现场的电力供应	196
6-7 建筑物的防雷	205
6-8 电气设备的接地	211
本章小结	216
基本知识自检题	218
思考题与练习题	219

第七章 建筑电气照明	220
7-1 电气照明的基本知识	220
7-2 电光源与灯具	225
7-3 电气照明计算	232
7-4 照明供电线路	237
7-5 电气照明识图	241
本章小结.....	249
基本知识自检题.....	249
思考题与练习题.....	250
 第八章 电子技术基础	 251
8-1 半导体的基本知识	251
8-2 半导体二极管	254
8-3 单相整流和滤波电路	256
8-4 稳压管及其稳压电路	261
8-5 晶体三极管	263
8-6 基本放大电路	268
8-7 放大电路静态工作点的稳定	272
8-8 放大电路的分析方法	275
8-9 多级放大电路	278
8-10 放大电路中的负反馈	282
8-11 功率放大电路	285
本章小结.....	287
基本知识自检题.....	289
思考题与练习题.....	290
 附录一 实验指导书	 293
附录二 常用电器图形符号和文字符号	310

绪 论

《建筑电工学》是建筑工程类各专业的一门重要的技术基础课,它是学好有关专业课程的重要基础。特别是当建筑业发展到目前的现代阶段,电在建筑工程中已得到广泛深入的应用。现代房屋建筑为了满足生产的需要,为了给生活、工作提供卫生、舒适的环境,要求在建筑物内设置完善的给水、排水、供热、通风、空调、通讯、闭路电视、火灾自动报警消防、供电等系统。这些设备设置在建筑物内,必然要求与建筑结构及生产设备等统筹安排、相互协调,因此要搞好建筑设计、结构设计及建筑施工就应掌握《建筑电工学》的基本知识,以便具有综合处理以上设备系统与建筑物主体之间关系的能力,从而作出优良的建筑设计或组织好建筑施工。

再说,要使建筑生产力向高度发展,就要研究先进技术,而先进的技术是与电工技术有着密切联系的。如上述给排水自动控制系统、火灾自动报警消防系统等都说明工作过程的自动化只有在电气化的条件下才有可能实现。因此,建筑业的革新与发展,也要求从事建筑工程的技术人员不仅要掌握本专业的知识,而且要学习《建筑电工学》。

学习《建筑电工学》这门课的主要目的,就是要掌握电工技术的基本理论、基本知识和基本技能;为学习有关专业课和从事专业技术工作以及进一步钻研新技术奠定初步基础。

本课程的主要内容和基本要求:

1. 电路

是全课程的理论基础,它包括电路的基本知识、单相正弦交流电路、三相交流电路。通过学习掌握其基本概念,并初步学会一般电路的分析、计算方法。

2. 电气设备

它包括变压器、交流异步电动机、低压电器及控制电路。要求在了解结构、弄懂原理的基础上,学会正确使用和选择电动机、变压器、低压控制电器和保护电器,并熟悉继电—接触器控制的基本电路,学会分析与本专业有关的典型控制电路。

3. 建筑施工供电与照明

它包括建筑施工现场供电、建筑防雷与安全用电、建筑电气照明。通过这部分的学习,使学生熟悉建筑施工现场的供电方式、主要设备、材料及其选择方法,掌握安全用电常识及建筑防雷措施;了解建筑电气照明的基本知识,能看懂一般建筑电气照明工程图。

4. 电子技术基础

主要介绍半导体器件、基本放大电路及其分析方法、多级放大电路、放大电路中的负反馈及功率放大电路。通过这部分内容的学习,要求搞清主要电子电路的工作原理及应用;初步学会分析计算基本放大电路的静态工作点、电压放大倍数和输入、输出电阻。了解放大电路中负反馈的作用及功率放大电路的组成及特点。为进一步学习有关电子技术打下基础。

5. 电工与电子实验

为了培养学生的动手能力,增加感性认识,加深对基本理论和基本概念的理解,本教材特增加了实验指导书,供参考使用。通过实验使学生受到必要的实际操作技能的训练;并要求能独立完成不太复杂的电工、电子实验;掌握电压表、电流表、万用表、稳压电源的使用方法,了解功率表、信号发生器、示波器的使用方法。培养学生分析问题和解决问题的能力,树立认真严谨和实事求是的工作作风。

第一章 电工基本知识和单相交流电路

为什么现代工农生产和日常生活中都普遍应用交流电呢?这是因为交流电具有容易产生、输送经济和利于使用等优点。例如交流电可以利用变压器把电压升高或降低,这就可以用高压远距离输电以减小线路中的电流,降低损耗、节省导线材料;而用低压配电,使用安全,可降低用电设备成本。此外,交流电动机与直流电动机相比,前者具有结构简单、成本低廉、工作可靠和维护方便等优点。因此,发电厂发出的都是交流电,故建筑施工现场也都是采用的交流电。

本章主要讨论单相正弦交流电的产生、基本概念和单相交流电路的分析计算方法。但是,为了解决物理学与电工技术课的衔接问题,我们先来回顾一下电路与磁路的基本概念和基本定律。读者应该注意对一些重要概念从工程观点出发重新给以的阐述和工程计算的方法。

1-1 电路的组成及其基本物理量

一、电路的组成

电路就是电流通过的路径。它一般由电源、控制与保护环节、负载和连接导线 4 部分组成。图 1-1 是一个简单的电路模型。所谓电路模型就是把实际的电路元件,在一定条件下近似看成理想的电路元件,如干电池用电动势 E 和内阻 r_0 。串联组合表示,灯泡、电炉等负载主要耗能,用电阻元件 R 表示。以后分析和计算电路时,直接对象不是实际电路,而是实际电路的理想化模型。

电源是供应电能的源泉,它的作用是把非电形式的能量转换成电能。例如,电池把化学能转换成电能;发电机把机械能转换成电能。

完好的闭合电路中有了电源(即电压或电动势),就会使电荷作有规则的运动而形成电流。所以又说电源是推动电荷流动的“动力”。

负载即用电设备,它是将电能转换成其它形式能量的装置。例如,电炉是把电能转换成热能,电动机是把电能转换为机械能。

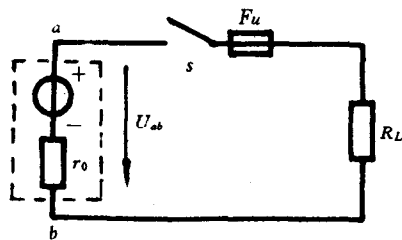


图 1-1 电路的组成

控制与保护电器是用来控制电路接通或断开的装置,称为控制电器。最简单的控制电器是刀开关,用 S 表示。所谓保护电器就是当电路出现故障(如短路、过流、过压、欠压等)时,能及时将电路切断,保护线路或设备不致于损坏,或者使故障限制在一定范围的装置。最简单的保

护电器就是图 1-1 中的熔断器 FU 。

上述 3 个部分要构成闭合回路,需要用导线连接,所以导线起着连通电路、传输电能的作用。常用的导线为铜线和铝线。

二、电路的基本物理量

1. 电流强度(简称电流)

衡量电流强弱的物理量称电流强度。它在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。

如果流过导体横截面电荷量 Q 的大小和方向都不随时间 t 而变化,则称直流电流,简称直流,用 I 表示。即:

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

如果电流的大小和方向随时间作周期性的变化,我们称其为交流电流,用 i 表示。设在极短的时间 dt 内通过导体横截面的微小电荷量为 dq ,则:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流在国际单位制中的基本单位是安培,简称安(A)。比安培小的单位常用的有毫安(mA)、微安(μA)。

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流的方向习惯上规定为正电荷运动的方向,但在有些情况下,电流的实际方向往往难以事先判定,这时可任意假定一个电流的方向,称为参考方向。按照参考方向分析计算的电流,为正值时表明实际方向与参考方向一致,为负值时表明电流的实际方向与参考方向相反。

2. 电源的电动势

由物理学知道,在电源内存在着一种非静电力,又称电源力。电源力能使电源内部导体中的正负电荷分离,并把正电荷推向正极,负电荷推向负极。为了衡量电源力分离电荷能力的大小,我们引入电动势这个物理量。电源的电动势在数值上就等于电源力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移到正极电源力所做的功。电动势用 E 表示,即:

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

式中 W ——电源力所做的功,焦耳(J);

Q ——在电源内部被电源力移动的电荷量,库仑(C)。

在国际单位制中,电动势的单位是伏特,简称伏(V)。较大或较小的单位是千伏(kV),毫伏(mV),

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

我们规定电动势的方向,在电源内部由电源的负极“-”指向正极“+”。在分析计算过程中,电动势的方向和电流一样,也可假设一个参考方向。

3. 电压

由上可知,在电源力的作用下,电源正负极板上都聚集了相当数量的正负电荷,因此正负极之间就具有一定的电场。如电源两端用导线连通负载,如图 1-1。在电场力的作用下,正电荷

就会从电源正极 a 通过导线经负载而移到负极 b , 于是便形成了电流。如负载是灯泡便发光, 这就说明电场力做了功。为了衡量电场力做功的能力, 我们引入电压这个物理量。其定义如下: 电路中任意两点 a 、 b 之间的电压 U_{ab} , 在数值上等于电场力将单位正电荷从 a 点推到 b 点 (在图 1-1 中是从 a 点经 R_L 到 b 点) 所做的功。即:

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

式中 W_{ab} ——电场力把电荷量 Q 从 a 点推到 b 点所做的功, 单位是焦耳(J);

Q ——电荷量, 单位是库仑(C)。

电压的单位与电动势相同。

在图 1-1 中, 正电荷在电场力的推动下从 a 点经过负载移到 b 点时, 就把电能转换成了其它形式的能量, 所以说正电荷在 a 点具有的能量比在 b 点大, 我们把单位正电荷在电路中某点所具有的能量称为该点的电位。电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点沿任意路径推到参考点 (假设的零电位点) 所做的功, 用 φ 表示。例如 a 点电位用 φ_a 表示, b 点电位用 φ_b 表示, 显然 $\varphi_a > \varphi_b$ 。由此可见, 电场力对正电荷做功的方向就是电位降落的方向, 因此我们规定电压的方向由高电位指向低电位。如图 1-1 由 a 点指向 b 点。可见 a 、 b 两点之间的电压可表示为:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-5)$$

4. 电功率

一秒钟内负载消耗 (电源输出) 的电能叫做负载 (电源) 的电功率。电功率是衡量用电设备或电源做功本领的物理量。用电设备铭牌上的电功率越大, 说明它自电源取用的电能转换为非电能的本领越大。

在直流电路中, 负载消耗的电功率 P 等于负载两端的电压 U 与通过负载电流 I 的乘积。即:

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

电压的单位是伏特(V), 电流的单位是安培(A); 功率的单位为瓦特(W)。功率较大或较小时, 可用千瓦(kW)或毫瓦(mW)作单位,

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}, \quad 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

1-2 电路的基本定律

电路的基本定律主要有欧姆定律和克希荷夫定律。它们是分析计算电路的重要工具, 因此必须掌握和熟练地应用。

一、欧姆定律

图 1-2 是闭合电路中一段仅含有电阻的电路。德国物理学家欧姆(1787~1854)用实验的方法得出下述结论: 电阻中电流的大小与加在电阻两端的电压成正比, 而与电阻值成反比, 即:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-7)$$

应用欧姆定律时要注意以下两点：一是式(1-7)只有在电压、电流参考方向选得一致(如图1-2)时才适用。如果电压、电流参考方向选得相反时，其表示式应为 $I = -U/R$ 。二是欧姆定律只适用线性电阻(电阻值不随其两端电压及通过的电流而变化)。

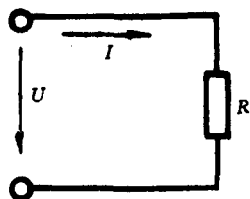


图 1-2 一段电阻电路

二、克希荷夫定律及其应用

能利用欧姆定律和电阻串并联公式就能求解的电路称为简单电路，否则就是复杂电路。求解复杂电路，要应用克希荷夫定律。克希荷夫定律共有两个：第一定律应用于节点，又称节点电流定律(KCL)；第二定律应用于回路，又称回路电压定律(KVL)。

这里首先介绍本节涉及的名词或术语：

支路：电路中一段无分岔的电路称为支路。如图1-3中的 ADF 、 BEG 、 CH 条都是支路。

节点：3条或3条以上支路的连接点称为节点。如图1-3中的 B 点与 G 点都是节点。

回路：电路中任一闭合路径称为回路。如图1-3中虚线环形箭头所示都是回路。

1. 克希荷夫电流定律

克希荷夫电流定律指出，在任一瞬时，对于电路中任意一个节点，流入节点的电流之和必等于从该节点流出的电流之和。即：

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-8)$$

由图1-3中的 B 节点得：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

若设流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，由 B 节点可得：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

上式也可写成：

$$\sum I = 0 \quad (1-9)$$

上式说明，在电路中任一节点上电流的代数和恒等于零。因此，克希荷夫电流定律体现了电流的连续性。

克希荷夫电流定律不仅适用于节点，而且也适用于某些闭合区域，称为广义节点。如可把图1-4中晶体三极管看作一个广义节点。由 $\sum I = 0$ 得：

$$I_b + I_c - I_e = 0$$

如已知基极电流 $I_b = 0.02\text{mA}$ ，集电极电流 $I_c = 2\text{mA}$ ，则发射极电流：

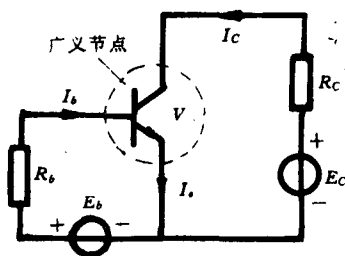


图 1-4 晶体三极管可等效为广义节点

$$I_s = I_c + I_b = 2.02\text{mA}$$

2. 克希荷夫电压定律

克希荷夫电压定律指出:在任一瞬时,沿任一回路绕行一周,回路上各电动势的代数和必等于各段电压降的代数和。即:

$$\sum E = \sum U \quad (1-10)$$

如果电路中的电压降都是电阻电压降,则上式可写成:

$$\sum E = \sum IR \quad (1-11)$$

公式(1-11)中各项的正负号应按下述原则来确定:

(1) 电动势正负号的确定

必须把回路中所有的电动势写在等号的一边,而把所有的电阻上的压降写在等号的另一边。任选一回路绕行方向,如图 1-3 中虚线环形箭头所示。当电动势的方向与回路绕行方向一致时,电动势取正号,反之取负号。

(2) 电阻上压降正负号的确定

先假定各支路电流的方向,若电流的方向与回路绕行方向一致时,电阻上的压降取正号,反之取负号。

根据上述原则,在图 1-3 中沿回路 I 得:

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

沿回路 II 得

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

3. 克希荷夫定律的应用

(1) 利用两定律求解复杂电路中的电流

任何复杂电路都可用克希荷夫两定律来求解。在求解时,首先要分析电路中共有几个未知电流,然后根据克希荷夫两定律列出相应个独立方程。由于利用第一定律列出的方程比较简单,所以,应根据第一定律列出尽可能多的独立方程,若有 n 个节点,可由第一定律列出 $(n-1)$ 个独立方程。不足的方程再用第二定律列出。在应用第二定律列方程式时,每次所取的回路若能包含一条新的支路(即其它方程式中没有利用过的支路),则所列方程式必然是独立的。下面举例说明两定律的具体应用。

例 1-1 图 1-5 是一直流电桥电路,利用它可以较精确地测量电阻,也可用来测量一些能够通过电阻的变化而反映出来的非电学量,例如温度、压力等。设图中 $R_1 = R_2 = R_3 = 100\Omega$, $r_g = 1\text{k}\Omega$, $E_c = 6\text{V}$, R_4 在测量温度时可用热敏电阻,现用可调电阻,若调到 200Ω ,求检流计中的电流 I_g 。

解:在已知条件下,电桥未达到平衡,因此是一个无法用串、并联简化的复杂电路,我们用克希荷夫两定律求解。

由图可知,电路共有 4 个节点,6 条支路,因此相应应有 6 个未知电流,需列出 6 个独立方程式才能求解。列方程前,还需将各支路中的电流参考方向标定出来,如图中箭头所示。

应用克希荷夫第一定律可列出 3 个方程式。

由节点 a: $I = I_1 + I_4$

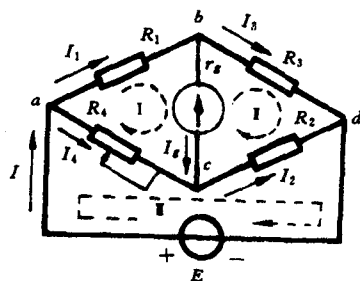


图 1-5 例 1-1 的电路

由节点 b : $I_1 = I_3 + I_g$

由节点 c : $I_2 = I_4 + I_g$

再利用克希荷夫第二定律列出 3 个方程式。

由回路 I 得: $I_1 R_1 + I_g r_g - I_4 R_4 = 0$

由回路 II 得: $I_3 R_3 - I_2 R_2 - I_g r_g = 0$

由回路 III 得: $I_4 R_4 + I_2 R_2 = E$

将以上 6 个方程联立求解,便可求出 I 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 和 I_g ,方程组的求解方法已在数学中讨论过,此处从略。计算结果是:

$$I_g \approx 0.895(\text{mA})$$

上述计算方法是以支路电流为未知量,而后列出与未知量数目相等的方程式,再联立求解之。这种求解电路的方法,称为支路电流法。

上述电路的基本定律,虽然是在直流电路中得出,实际上均可推广到交流电路中去。

(2) 电路中电位的计算

在进行电路分析时,经常要研究电路中各点的电位高低。例如在晶体管电路中,常需要计算晶体管各极的电位,由电位的高低,确定晶体管的工作状态。要计算某点的电位,简单的说,就是从该点出发,沿着任选的一条路径“走”到零电位点(也称参考点),该点的电位就等于“走”这条路径所经过的全部电位降(即电压)的代数和。具体方法和步骤是:

①若电路中没有已知的接地点,则可任意选取一个零电位点,用符号“ $\perp$ ”表示。

②标出电阻上电压的极性:若已知其电流的方向,则将电流入端标为正极,电流出端标为负极。

③求某点电位时,就选定一条从该点到参考点的路径(尽可能选最简单的路径)。一路上经过的不论是电源还是电阻,只要是从元件的正极到负极,就取该电位降为正值,反之取负值。然后将所经过的全部电位降(即电压)相加(求代数和),就得该点的电位。

例 1-2 在图 1-6 中,已知 $E_1 = 15\text{V}$, $E_2 = 12\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 0.5\Omega$, $R_3 = 10\Omega$,试求 A 、 B 、 C 点的电位。

解:

(1)求各支路的电流。电流的参考方向见图 1-6,利用支路电流法,求得:

$$I_1 = 2.42\text{A}, \quad I_2 = -1.16\text{A}, \quad I_3 = 1.26\text{A}$$

(2)求 A 点、 B 点、 C 点的电位。设 D 点为参考点,即 $U_D = 0$ 。根据 E 或 I 的参考方向标出各元件的极性如图 1-6 所示。各点的电位计算如下:

A 点的电位:

$$\varphi_A = E_1 = 15(\text{V})$$

$$\text{或 } \varphi_A = I_1 R_1 + I_3 R_3 = 2.42 \times 1 + 1.26 \times 10 = 15(\text{V})$$

B 点的电位:

$$\varphi_B = I_3 R_3 = 1.26 \times 10 = 12.6(\text{V})$$

$$\text{或 } \varphi_B = E_1 - I_1 R_1 = 15 - 2.42 \times 1 \approx 12.6(\text{V})$$

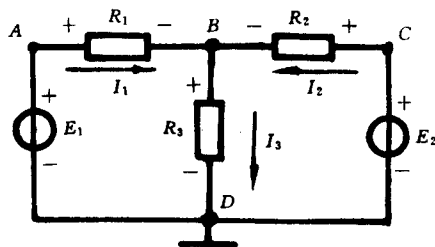


图 1-6 例 1-2 的电路

C 点的电位:

$$\varphi_c = E_2 = 12(\text{V}) \quad \text{或} \quad \varphi_c = I_3 R_3 + I_2 R_2 = 1.26 \times 10 - 1.16 \times 0.5 \approx 12(\text{V})$$

1-3 电 磁

在变压器、电动机和各种带线圈的电气设备中,不仅有电路的问题,同时还有磁路的问题。因此我们有必要重温一下电磁的基本概念,以便能运用它去分析电磁现象。

一、磁路的基本物理量

1. 磁感应强度和磁通

磁感应强度 B 是描述磁场中某点磁场强弱与方向的物理量。

我们知道,把一根长度为 l (在磁场中的长度),通入电流为 I 的直导体,垂直于磁力线方向放入磁场中,其受到的作用力为:

$$F = BIl$$

因而磁感应强度 B 为:

$$B = \frac{F}{Il} \quad (1-12)$$

上式表明,磁感应强度 B 的大小,等于同磁力线方向垂直、载有单位电流、单位长度的直导体在该点受到的电磁力。

磁感应强度的国际单位制单位为特斯拉,简称特(T),工程中常用较小的非国际单位制单位高斯,简称高(Gs), $1\text{Gs} = 10^{-4}\text{T}$ 。

磁通 Φ 是描述磁场中某一范围内磁场强弱的物理量。其大小等于磁感应强度 B 与垂直于 B 某一横截面积 S 的乘积,即:

$$\Phi = B \cdot S \quad (1-13)$$

磁通的国际单位制单位是韦伯(Wb),工程中常用的较小非国际单位制单位是麦克斯韦,简称麦(Mx), $1\text{Mx} = 10^{-8}\text{Wb}$ 。

2. 磁导率和磁场强度

磁导率是用来表示物质导磁性能的物理量。由实验测得真空中的磁导率 μ_0 为一常数,即:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (\text{H/m}) \quad (1-14)$$

而其它材料的磁导率 μ 和真空中的磁导率 μ_0 的比值,称为该物质的相对磁导率 μ_r ,即:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{或} \quad \mu = \mu_0 \mu_r \quad (1-15)$$

铁、钴、镍及其合金等铁磁材料的 μ_r 值很高,是 μ_0 的几百至几千倍。这就是变压器、电机和多种带线圈的电器都有铁心的缘故。在这种带有铁心的线圈中通入很小的励磁电流就能产生很强的磁场,这是因为铁磁材料在磁场的作用下被磁化,被磁化的铁磁物质具有助磁作用;另一方面因为铁磁材料的磁导率很大,磁通容易通过,它具有使磁通集中通过的性能。

当磁场中充满了不同的铁磁材料时,由于铁磁材料在磁场的作用下会受到不同的磁化,这就使磁感应强度 B 的计算变得比较复杂。为了计算方便,引入一个辅助量,称磁场强度 H 。它与磁感应强度 B 的关系是:

$$B = \mu H \quad \text{或} \quad H = \frac{B}{\mu} \quad (1-16)$$

磁场强度也是一个矢量;它的方向与 B 的方向相同。单位是: A/m、A/cm。

$$1 \text{ A/m} = 10^{-2} \text{ A/cm}$$

磁场强度与磁导率无关,只与线圈的形状、匝数及通过电流的大小有关。

如图 1-7 所示环形线圈,其几何形状一定,若线圈绕的很密,则磁通基本全部集中通过线圈内部。实验和理论都可证明,在螺线管内任一点的磁场强度 H 与匝数 N 、电流 I 成正比,若 N 、 I 一定,则 H 与螺线管(中心)长度 l 成反比,即:

$$H = \frac{IN}{l} \quad (1-17)$$

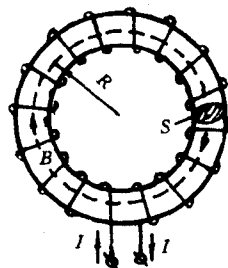


图 1-7 环形线圈电流的磁场

二、磁路及磁路欧姆定律

磁路就是磁通通过的路径。它主要由铁磁材料构成。

由式(1-13)和式(1-17),得:

$$\Phi = BS = \mu HS = \mu \frac{IN}{l} \cdot S = \frac{IN}{l/\mu S} \quad (1-18)$$

与电路中的欧姆定律: $I = \frac{E}{R}$ 相比较,也可以把公式(1-18)写成:

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \quad (1-19)$$

公式(1-19)是无分支磁路的欧姆定律。式中磁通 Φ 好比电路中的电流 I ; IN 称为磁动势,是产生磁通的源泉,它好比电路中的电动势;与电阻 R 相对应的 $R_m = l/\mu S$ 称为磁阻,它反映了磁路对磁通的阻力,磁阻的单位是 $1/H$ (即 A/Wb)。公式(1-19)表明,电流在磁路中产生磁通 Φ 的大小与磁动势 IN 成正比,与磁路中的磁阻 R_m 成反比。

例 1-3 在图 1-7 所示的环形线圈内放置 $\mu_r = 1000$ 的铁心,铁心的中心长为 100cm ,横截面为 10cm^2 ,环形线圈为 1000 匝,试求:(1)铁心的磁阻;(2)当铁心中的磁通为 $12.56 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ 时,线圈中的电流是多少?(3)当铁心中开有长度 $l_0 = 0.1\text{cm}$ 的空气隙,如果仍维持 $12.56 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ 的磁通不变,问线圈中的电流应是多大?

解:

$$(1) R_m = \frac{l}{\mu S} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S} = \frac{100 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 10 \times 10^{-4}} = 7.96 \times 10^5 (\text{A/Wb})$$

(2)由公式(1-19),得:

$$I = \frac{\Phi R_m}{N} = \frac{12.56 \times 10^{-4} \times 7.96 \times 10^5}{1000} = 1 (\text{A})$$

(3)当铁心中有空气隙时,则气隙段磁阻 R_{m0} 与铁心段磁阻 R_m 是串联关系,铁心段磁阻