

电工技术基础



成人中专试用教材



江苏省教育委员会编
顾仲圻 主编
高等教育出版社

成人中专试用教材

电工技术基础

江苏省教育委员会编

顾仲圻 主编

35.17.1(5)

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委成人教育司委托省市成人中专协作组制定的成人中专机电专业教学计划和电工技术基础教学大纲的要求编写的。

本书内容分为电路、电机与变压器、工厂用电等三篇。主要包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、磁路、变压器、电动机及电力拖动基础、电焊机、工厂供电与用电、电工测量和仪表、电气安全和实验要求等内容。每章附有思考题和习题，书末有附录和习题答案，附录中汇编了与教学有关的电工设备、材料的主要技术参数、现行的电工图形和文字符号等资料。

本书内容深浅适度，理论联系实际，便于教学和自学。书中图例和符号均按国家标准绘制。

本书可作为成人中等专业学校（包括职工中专、函授中专、广播电视中专、干部中专等）电工技术基础课程的教材，也可供普通中等专业学校、中等职业学校参考选用，还可供企业中等工程技术人员阅读与参考。

(京)112号

成人中专试用教材
电工技术基础
江苏省教育委员会编
顾仲圻 主编

高等教育出版社出版
新华书店上海发行所发行
商务印书馆上海印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 19.25 字数 438,000
1991年4月第1版 1991年10月第2次印刷
印数 17,001—23,500

ISBN7-04-003427-1/TM·174

定价 6.10元

出版说明

随着教育体制改革的深化,成人中专的教学质量在不断提高。为了保证成人中专的办学质量,满足各类成人中专(包括广播电视中专、干部中专、职工中专、函授中专等)对教材的要求,国家教委成人教育司委托省市成人中专协作组制定了成人中专部分专业的教学计划和教学大纲,并组织编写了配套的教材,由高等教育出版社出版。

本次组织编写的专业教材是,机电专业、工业企业财务专业、商业企业财务专业、工业企业管理专业、商业企业经营管理专业等五个专业的部分教材,具体课程见下表:

机 电 专 业	工业(商业)企业财务会计	工 业 企 业 管 理	商业企业经营管理
电工技术基础	实用统计	管理数学	商品知识与商品经营
电子技术基础	工业会计*	dBASEⅢ在经济管理中的应用	商业心理学
工程力学	商业会计*	工业企业经济活动分析*	商业法规常识
机械制图	经济法	* 工业技术基础	中国经济地理
公差配合与技术测量	审计学基础	会计原理与工业会计	市场学*
机械设计基础	会计原理*	统计原理与工业统计	商业财务与会计
工程材料及金属热加工	商业企业财务管理与分析	工业企业管理原理	商业计划与统计
	工业企业管理*	工业企业生产管理学	商业企业经营管理*
	商办工业会计	工业企业经营管理学	
	财政税务		
	建设单位会计		
	工业企业财务管理与分析		

* 已出版,待修订。

教材在编写时,力求突出成人教育的特点,教材内容以实例引路,深入浅出、应用为主,并注意必要的内容更新;在深浅度上,相当于全日制中等专业同类教材的水平,适合初中毕业程度的成人学习。在编排格式上考虑到便于自学的要求,每章的前面有本章学习指导或内容提要,每章末有本章小结,并附有思考题和练习题。

本批教材的编写工作是在部分省、市教育行政部门的直接组织和领导下进行的,每本教材在定稿前都按教学大纲的要求先后召开了编写提纲讨论会和审稿会,请各地的专家和有丰富教学经验的教师参加审定。在此我们向为本批教材作出贡献的部门、学校和有关同志表示衷心的感谢。

本批教材自1991年秋季起陆续供应,并对主要教材陆续配套出版学习辅导书,欢迎广大读者选用并提出宝贵意见。

高等教育出版社职业教育成人教育部

前 言

在成人中等专业学校机械、电子电器等类专业的知识体系和教学计划中,电工技术基础是一门实践性较强的专业基础课程。为了适应现代科学技术和工农业生产发展对中等专业技术人才电工技术基础知识的要求,本书按照教学大纲的基本精神,针对成人中等技术教育的特点,精选教学内容,在介绍必备的基础理论知识的时候,注重联系实际,讲述生产实践中常见的电工知识。在内容的阐述方法上,以讲清物理概念为宗旨,尽量避免复杂的数学运算和公式推导,力求文字简炼、条理清楚,便于教学和读者自学。

本书主干内容由电路基础、电机与变压器、工厂用电等三部分组成,书中带*号的为选学内容,可根据不同专业、不同学制的需要选用。实验是本课程教学中的重要实践环节,本书编写了教学大纲规定的主要实验,简要说明了实验目的、实验原理、实验内容和实验设备,在教学过程中应根据实际的实验条件,补充详细的实验指导书。

根据教学大纲,完成本书全部教学内容(包括实验)共需108学时。学时少的专业可根据专业特点,选学本书的部分内容。全部课程的教学安排建议如下:

课 程 内 容		教 学 环 节		
		讲 课	实 验	小 计
		教 学 时 数		
结 论		1		1
电路部分	直流电路	11	2	39
	单相交流电路	14	2	
	三相交流电路	8	2	
电机与变压器部分	变压器	10	2	40
	电动机及电力拖动基础	20	2	
	电焊机	6		
工厂用电部分	工厂供电与用电	12		28
	电气测量和仪表	8	2	
	电气安全	6		
合 计		96	12	108

本书由江苏省教育委员会主持编写工作,南通市职工大学顾仲圻副教授担任主编,并编写第一、三篇,苏州轻工职工中等专业学校朱德昌高级讲师编写第二篇;参加编写工作的还有施春泉、陆士冲、陈宝林、冀平等同志。

本书由南通职业大学朱克定教授主审,并由高等教育出版社、江苏省教委1990年6月在南

通召开的审稿会议审定通过。山东省惠民纺织工业学校戴林高级讲师、扬州轻工职工中等专业学校夏忆欧高级讲师参加了审稿工作。审稿者提出了许多宝贵的修改意见和建议。在本书编写过程中,得到江苏省教委成人教育局、南通市教育局、苏州市教育局、扬州市教育局、南通职业大学、南通市职工大学等单位 and 有关同志的大力支持和帮助,编者在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,加之成人中专教材的统编工作尚属起步,书中可能仍有错误和不当之处,殷盼期望使用本书的师生和广大读者给予批评指正,以期今后修订提高,在此预致谢意。

编者

一九九〇年八月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 电 路

第一章 直流电路 3

§ 1-1 电路及其工作状态	3
§ 1-2 电阻及其联接	6
§ 1-3 简单电路的计算	10
§ 1-4 电功率、电能和电流的热效应	11
§ 1-5 电压源和电流源	14
§ 1-6 基尔霍夫定律	16
§ 1-7 电路中的电位及其计算	19
§ 1-8 复杂电路的计算	21
§ 1-9 叠加原理*	26
§ 1-10 戴维南定理*	28
§ 1-11 电容器及其充电与放电	30
本章小结	35
思考题和习题	37、38

第二章 单相交流电路 40

§ 2-1 交流电路的基本概念	40
§ 2-2 正弦量的三要素·有效值	42
§ 2-3 正弦量的相量表示法	45
§ 2-4 正弦量的相加和相减	48

§ 2-5 交流纯电阻电路	50
§ 2-6 交流纯电感电路	52
§ 2-7 交流纯电容电路	54
§ 2-8 串联电路的阻抗	56
§ 2-9 交流电路的功率	60
§ 2-10 功率因数及其提高	62
§ 2-11 交流电路的谐振*	66
§ 2-12 交流电路的趋表效应*	69
本章小结	70
思考题和习题	72、73

第三章 三相交流电路 75

§ 3-1 三相交流电路的基本知识	75
§ 3-2 三相电源的绕组联接	77
§ 3-3 三相负载的星形联接	80
§ 3-4 三相负载的三角形联接	83
§ 3-5 三相电路的功率	85
§ 3-6 三相四线制电路及中线的作用	87
本章小结	90
思考题和习题	92

第二篇 电机与变压器

第四章 磁路与变压器 95

§ 4-1 电流的磁场	95
§ 4-2 电磁感应	99
§ 4-3 铁磁材料的性质和用途	102
§ 4-4 电磁吸力和交直流电磁铁	104
§ 4-5 单相变压器的工作原理	107
§ 4-6 变压器的工作特性	110
§ 4-7 单相变压器绕组的同极性端及其测定	112
§ 4-8 三相电力变压器	113
§ 4-9 自耦变压器和仪用互感器	116
本章小结	120
思考题和习题	121、123

第五章 电动机及电力拖动基础 124

§ 5-1 常用低压控制电器	124
§ 5-2 直流电动机的工作原理和结构	137
§ 5-3 并励直流电动机的起动、调速、反转和制动	141
§ 5-4 三相异步电动机的结构	146
§ 5-5 旋转磁场	148
§ 5-6 鼠笼式异步电动机的工作原理及转差率	150
§ 5-7 异步电动机的电磁转矩	152
§ 5-8 异步电动机的机械特性	154
§ 5-9 异步电动机的启动	156
§ 5-10 异步电动机的调速、反转和制动	162

§ 5-11 异步电动机的铭牌	165
§ 5-12 电气控制原理图	168
§ 5-13 单相异步电动机	170
§ 5-14 同步电动机	174
§ 5-15 控制电机*	175
§ 5-16 电力拖动的基本知识	181
§ 5-17 电力拖动中电动机的选择	184
本章小结	187
思考题和习题	190

第六章 电焊机	192
§ 6-1 焊接技术的基本知识	192
§ 6-2 交流弧焊变压器	193
§ 6-3 直流弧焊发电机	195
§ 6-4 弧焊电源的选择	196
§ 6-5 焊接安全用电	197
本章小结	199
思考题	199

第三篇 工厂用电

第七章 工厂供电和用电	201
§ 7-1 工厂供电和用电系统的基本知识	201
§ 7-2 工厂常用电气设备	204
§ 7-3 架空电力线路	208
§ 7-4 电缆线路	210
§ 7-5 建筑物内部线路	212
§ 7-6 导线和电缆截面的选择	215
§ 7-7 电光源和照明装置	219
§ 7-8 工厂自备发电机组和其他电源	222
§ 7-9 计划用电	224
§ 7-10 节约用电	226
本章小结	229
思考题和习题	230、231
第八章 电工测量和仪表	232
§ 8-1 电工测量的基本知识	232
§ 8-2 电工仪表的结构和工作原理	235
§ 8-3 电压和电流的测量	238
§ 8-4 万用表的原理及其使用	241
§ 8-5 功率和电能的测量	243
§ 8-6 电阻和绝缘电阻的测量	247
本章小结	251
思考题和习题	252
第九章 电气安全	254
§ 9-1 雷电和防雷保护	254

§ 9-2 接地和接零	257
§ 9-3 触电保护与急救	261
§ 9-4 电气安全	265
本章小结	268
思考题和习题	269、270
实验	271
电工实验须知	271
实验一、直流电路实验	272
实验二、单相交流电路及其功率因数的提高	273
实验三、三相交流电路	274
实验四、变压器	275
实验五、异步电动机及控制线路	277
实验六、电工测量仪器仪表的使用	278
附录	281
附录 I、常用 Y 系列电动机技术数据	281
附录 II、常用导线、电缆技术数据	283
附录 III、绝缘导线穿管配合表	284
附录 IV、常用熔丝规格表	285
附录 V、低压电网电压损失表	286
附录 VI、常用电气图用图形符号	287
附录 VII、电气设备常用文字符号	292
附录 VIII、国家法定计量单位	294
习题答案	296

绪 论

一、电能社会主义建设中的重要作用

电工技术基础是研究电的基本规律及其在工程技术领域中应用的一门学科。

电能是一种最重要的二次能源。在工业、农业和交通运输等国民经济各部门中,在现代科学技术的各个领域,在人民日常生活中,电能被越来越广泛地应用。电气化和自动化的程度已成为衡量一个国家强盛和文明的重要标志之一。

电能各个领域中能发挥其他形式的能源不可替代的作用,是因为它具有下面的一些优越性。

(1) 转换方便。电能可以方便地转换成机械能、热能、光能和化学能等;反之,其他形式的能量也可以方便地转换成电能。

电能通过电动机转换为机械能。例如,在工业生产中的机床、起重机、各种风机和泵等,农业生产中的电力排灌设备、粮食和饲料加工设备,交通运输中的电力机车、电车,家用电器中的风扇、洗衣机、冰箱压缩机等都要用电动机来工作。电炉将电能转换为热能,电灯将电能转换为光能。它们的应用早已为大家熟知。

(2) 传输经济。电能远距离输送的设备简单,效率高,这样可以充分利用动力资源,有利于工业合理布局。我国目前兴建的超高压输电线路电压高达50万伏,输电距离长达几千公里。此外,电能分配上也有独到的优点,通过高低压配电线路,电能送到每一个企业和千千万万的家庭之中,直至每一个用电设备。

(3) 控制灵活。电气设备启动和停止迅速,各种电量和非电量的检测和转换比较容易实现,电气控制又不受距离的限制,采用电气技术控制生产过程,就为实现自动化创造了有利的条件。尤其是在电子计算机得到广泛应用以后,电能控制灵活的优越性更为显著。

二、电工技术基础课程的性质、目的和任务

《电工技术基础》是一门实践性较强的专业基础课程。通过本课程的学习,可使学员获得电工技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,为今后学习后续课程和毕业后从事工程技术工作打下一定的基础。

现代科学技术的发展使电气技术领域必须了解和掌握的知识范畴日益增多,为了使成人中等专业学校的学员更好地学习必备的电气技术知识,电工技术基础课程主要讲述电路、电机与变压器和工厂用电等三方面的知识,而电子技术、工厂电气设备控制技术 etc 知识分别在其它相应的课程中介绍。

电路部分是全课程的基础,主要介绍直流电路、单相和三相交流电路的基本知识、简要分析方法和实际应用。

电机与变压器部分重点介绍各行业中均有应用的变压器、异步电机和电焊机等。

工厂用电部分包括工厂供用电、电气测量和仪表、安全用电等内容。

针对成人中等专业学校教学特点,本书侧重于讲述有关内容的物理概念、基本分析方法和实际应用知识。一般不要求学员进行繁琐的理论推导证明和复杂的分析计算。

2015年12月15日

[illegible]

例 1 求函数 $y = \frac{1}{x^2}$ 的导数.

1997年12月，中國政府與美國政府簽署了《中美關於保護和促進投資的雙邊投資條約》，該條約旨在保護和促進兩國之間的投資，並為投資者提供法律保障。

...and the *Journal of the American Medical Association* (JAMA) ...

1. 本行在 2013 年 12 月 31 日及 2014 年 6 月 30 日，均無任何未償還的或有負債。
 2. 本行在 2013 年 12 月 31 日及 2014 年 6 月 30 日，均無任何未償還的或有資產。
 3. 本行在 2013 年 12 月 31 日及 2014 年 6 月 30 日，均無任何未償還的或有負債。
 4. 本行在 2013 年 12 月 31 日及 2014 年 6 月 30 日，均無任何未償還的或有資產。

1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 26

1. 教师应引导学生通过观察、比较、分析、综合、抽象、概括等思维过程，发现并掌握长方体、正方体的特征。

1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 26

我于 1991 年 10 月 10 日, 在《中国环境报》上看到《中国环境报》创刊 10 周年纪念特刊, 其中有一幅《中国环境现状》的统计图, 图上显示: 中国环境现状是“污染严重, 生态破坏, 资源短缺, 环境恶化”。

[illegible]

1952年10月，在“三反”运动期间，王德林因“生活腐化”、“作风不正”、“不遵守纪律”等罪名，被开除党籍，并调离工作岗位。此后，王德林在政治上一直受到排斥，生活上也陷入困境。1955年，王德林再次被开除党籍，并调离工作岗位。此后，王德林在政治上一直受到排斥，生活上也陷入困境。1955年，王德林再次被开除党籍，并调离工作岗位。此后，王德林在政治上一直受到排斥，生活上也陷入困境。

...and the

Journal of Management Studies, 19(1), 67-80.

• **1994, 2001** – **2001**

第一篇 电 路

第一章 直流电路

内 容 提 要

本章介绍直流电路的基本知识, 主要包括: 电路的组成及基本物理量; 电路的工作状态; 全电路欧姆定律; 电流的热效应、电能和电功率; 电阻、电源的特性、联接方式和等效变换; 电路的基本定律——基尔霍夫定律; 电路的基本分析方法(支路电流法); 电位及其计算; 叠加定理, 戴维南定理; 电容的充放电等。本章的重点是全电路欧姆定律和基尔霍夫定律, 必须正确理解和熟练运用; 叠加定理和戴维南定理作为分析电路的一种有效方法加以介绍, 不要求进行复杂的计算。

§1-1 电路及其工作状态

一、电路的组成

电路就是电流流经的路径。电路的形式多种多样, 复杂程度各不相同, 根据组成电路的元件的作用来说, 可归纳为三个基本组成部分, 即电源、负载和联接导线(包括一定的控制、保护和测量装置)。

在分析电路时, 按照国家标准《电气图用图形符号(GB 4728.1~13-85)》的规定, 将各种电路元件用相应的图形符号来替代(参见本书附录Ⅶ), 这样画成的图称为电路图。图1-1就是一个最基本的简单电路。它包括了电源、负载、开关、导线等基本元件。

电源是一种把其他形式的能量转换为电能的装置。常见的电源, 如干电池、蓄电池和发电机等, 它们分别将化学能和机械能转换为电能。

负载也就是用电设备, 它们把电能转换为其他形式的能量。电灯、电炉、电动机、扬声器等都是电路中的负载。

电源和负载之间要靠导线来联接, 也要有接通和分断电路的开关, 还有许多保护用电设备用的熔断器、自动开关和继电器等自动装置, 以及测量电压、电流的电工仪表, 指示信号等元件, 它们可统称为中间环节, 这在以后的章节中将陆续加以介绍。

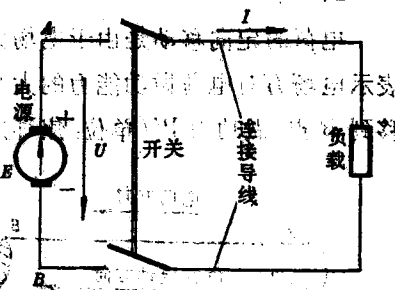


图1-1 简单的电路示意图

二、电路中的基本物理量

1. 电流

物质内部有正、负两种电荷，电荷的定向运动就产生了电流。电流具有一定的方向，我们

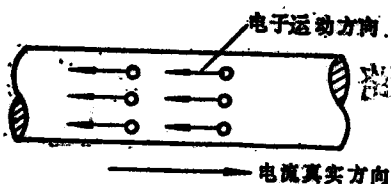


图 1-2 电流的真实方向

规定正电荷定向移动的方向为电流的真实方向。例如，在电解槽中电流的真实方向就是正离子移动的方向。但在金属导体中是带负电荷的电子在运动，负电荷运动的效果与等量正电荷在相反方向上的运动效果相同，因此电流的真实方向与电子运动方向相反，见图 1-2 所示。

电流的大小叫做电流强度，简称电流，用 I 表示。它的数值等于流过导体横截面的电荷量 Q (单位：库仑) 和所用时间 t (单位：秒) 之比

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

电流的单位为安培，简称安，用字母 A 表示。对于较小的电流可以用毫安 (mA) 和微安 (μA) 表示。它们的关系为

$$1 A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

电工学上物理量的单位及其代号都统一采用与国际单位制 (SI 制) 一致的国家法定计量单位，可参见本书附录 IV 的有关规定。

在电路计算时，很多情况下事先不能确定电路中电流的真实方向，为了计算方便，常先假定一个电流方向，称为参考方向或假定正方向 (简称正方向)，用箭头表示。如果计算结果电流为正值，表明电流的真实方向与参考方向一致；计算结果为负值时，则表明电流的真实方向与参考方向相反。

2. 电压

电荷的定向移动是由于电场力的作用。在这一过程中，电场力推动电荷运动做功。为了表示电场力对电荷做功能力的大小，我们引入了“电压”这一物理量。图 1-3 中电荷 Q 由 A 点移到 B 点，做功为 W (单位：焦耳)，则 AB 两点间电压为

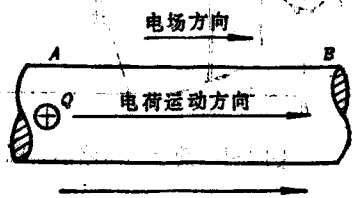


图 1-3 电压的概念

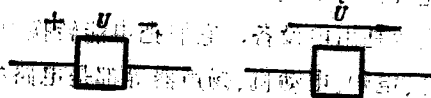


图 1-4 电压参考方向的表示方法

$$U_{AB} = \frac{W}{Q} \quad (1-2)$$

电压的单位为伏特，简称伏，用字母 V 表示。大电压可用千伏(kV)、小电压可用毫伏(mV)、微伏(μ V)表示。

和电流相似，电压的数值也可有正有负。例如，图 1-3 中，电场方向相反时， U_{AB} 就成为负值。为了分析计算的方便，也事先假定一个电压的正方向，即参考方向。电压的参考方向用箭头或正、负号表示，如图 1-4 所示。

3. 电动势

电动势是表示电源性质的物理量，用 E 表示。电动势的单位与电压相同，用伏(V)表示。电荷在电源内部由“-”极流向“+”极，是由于电源内部非电场力的作用，如电池内部的化学力，发电机内部的电磁力等，统称为电源力。电源力做功能力的大小用电动势来表示。

电动势的正方向规定由电源“-”极指向“+”极，用箭头表示，如图 1-1 所示。而电源两端的电压的正方向则由“+”极指向“-”极，图 1-1 中同时表示了电源两端的电压和电动势的正方向，两者箭头方向正好相反。

三、电路的工作状态

1. 空载状态

图 1-5 中，电源的电动势为 E ，电源本身的电阻为 R_0 ，也称为内电阻。负载用电阻 R 表示。图中开关 S 打开，电路不通，电流 I 为零。电路的这种状态称为空载，或开路状态。其主要特点是：电流为零；电源两端的电压 U 等于电源的电动势 E ，这个电压称为空载电压，用 U_0 表示。

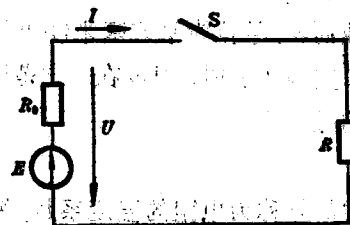


图 1-5 电路的空载状态

2. 负载状态

图 1-5 中的开关 S 闭合，则电路接通，有电流通过负载 R ，这种状态称为负载状态，电路中的电流称为负载电流。

例如，手电筒的按键按下，电路接通，电珠发光，称为负载状态；反之，按键复位，电路断开，就是空载状态。

3. 短路状态

图 1-6 中，由于某种原因，电源两端直接接通，电源以外的电路电阻为零，这时电路中将流过很大数值的短路电流 I_s 。电路的这种状态称为短路状态。

一般情况下，短路时的大电流会损坏电源和导线，应该尽量避免。为了防止短路事故的发生，通常在电路中安装有熔断器或自动开关等保护装置，一旦发生短路，能迅速切断故障电路，从而防止事故扩大，保护电气设备和供电线路的安全。

有时为了运行的需要，人为地将电路某一部分短路，例如图 1-7，为防止电动机启动电流对电流表的冲击，在启动时用开关将电流表短路，使启动电流从开关 S_2 电路中流过。待启动结束，再打开 S_2 ，恢复电流表的作用。这种人为将电路某一部短路可称为“短接”。

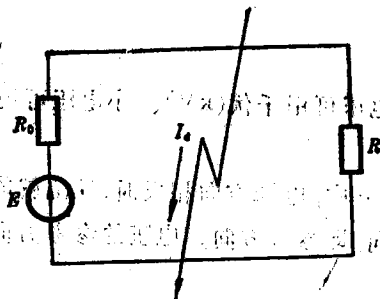


图 1-6 电路的短路状态

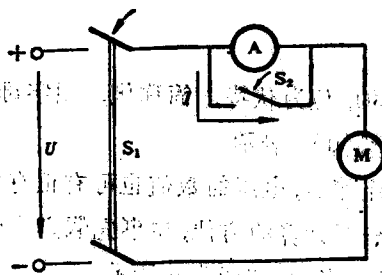


图 1-7 开关将电流表短接

§1-2 电阻及其联接

一、电阻

导体阻碍电流通过的能力称为电阻,用 R 表示,单位是欧姆,简称欧(Ω)。实际应用中还常用千欧($k\Omega$),兆欧($M\Omega$)等表示。

实验表明,导体的电阻取决于导体材料的物理性质、几何尺寸和温度等因素。可用下式表示

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-3)$$

式中 ρ 是电阻率,实用单位为欧·毫米²/米($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$); l 为导体长度,单位为米(m); s 为导体横截面积,单位为平方毫米(mm^2)。

实验还表明,温度在一定范围内(如 $0 \sim 100^\circ\text{C}$),同一导体在温度 t_1, t_2 时,电阻 R_1, R_2 之间的关系为

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-4)$$

式中的 α 称为电阻的温度系数,等于温度每变动 1°C 时,每欧电阻的增量。几种常用导体的电阻率和温度系数见表 1-1 所示。

表 1-1 几种常用导电材料的电阻率和电阻温度系数

性 质	材料名称	电阻率 $\rho(20^\circ\text{C})$ (欧·毫米 ² /米)	电阻温度系数 α ($1/^\circ\text{C}$)	用 途
导 电 材 料	银	0.0165	0.0036	导线镀银
	铜	0.0175	0.004	导线,主要导电材料
	铝	0.0283	0.004	导线
	碳	10	-0.0005	电刷
电 阻 材 料	钨	0.055	0.005	白炽灯的灯丝,电器的触头
	康铜	0.44	0.000005	标准电阻
	锰铜	0.42	0.000005	标准电阻
	镍铬铁合金	1.12	0.00013	电炉丝
	镍铬铁合金	1.3~1.4	0.00005	电炉丝
	铂	0.106	0.00398	热电偶或电阻温度计

[例 1-1] 一圈长度为 100 米, 截面为 2.5 毫米^2 的塑料铜芯线, 试计算其在 80°C 时的电阻 R 。

解: 先计算 20°C 时的电阻为 (ρ 查表 1-1 为 $0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

$$R_{20} = \rho \frac{l}{s} = 0.0175 \times \frac{100}{2.5} = 0.7 \Omega$$

再计算 80°C 时的电阻为 (α 查表 1-1 为 $0.004/^\circ\text{C}$)

$$R = R_{20}[1 + \alpha(t - 20)] = 0.7[1 + 0.004 \times (80 - 20)] = 0.868 \Omega$$

二、电阻的伏安特性

图 1-8 电路中, 电阻 R 上电压、电流的参考方向相同, 即所谓采用关联方向。欧姆定律表明了电阻 R 上电压、电流的相互关联为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-5)$$

把电阻 R 上的电压 U 取为横坐标(或纵坐标), 电流 I 取为纵坐标(或横坐标), 画出 $U \sim I$ 的关系曲线, 称为电阻元件的伏安特性曲线。图中的曲线为一直线, 表明这一电阻元件上的电压、电流比值为一常数, 称为线性电阻元件。本书以后主要讨论线性电阻元件。

有些元件, 如二极管, 其伏安特性曲线具有明显的非线性(图 1-9), 这些元件称为非线性电阻元件。

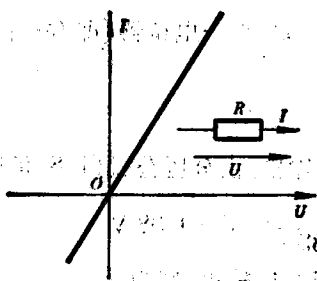


图 1-8 线性电阻的伏安特性

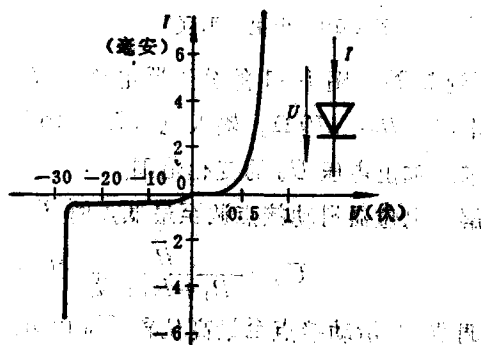


图 1-9 二极管的伏安特性

三、电阻的串联

图 1-10 所示电路中, 几个电阻首尾相接, 中间无分支电路, 这种连接方式称为串联。

串联电路的特点是:

- (1) 流经各个电阻的电流相同;
- (2) 几个电阻串联, 可用一个等效电阻来代替, 其阻值等于各电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-6)$$

- (3) 总电压等于各个元件上的电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-7)$$

而且,各元件电压与总电压之间的关系可表示为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R} U \\ U_3 &= \frac{R_3}{R} U \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

上式也称为串联电路的分压公式。它表明,通过电阻串联可以实现分压的目的,电阻越大,分压值越高。在电子电路中,常由串联电阻组成分压器,以分取部分信号电压。

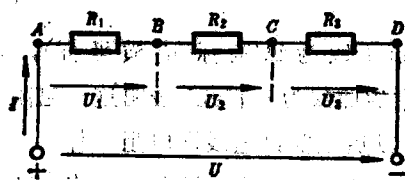


图 1-10 电阻的串联

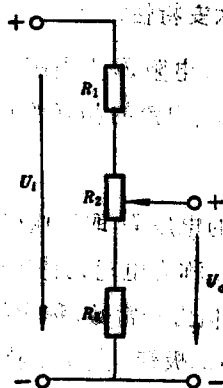


图 1-11 分压器电路

[例 1-2] 图 1-11 的分压器电路中, $R_1 = R_3 = 330 \Omega$, R_2 为一电位器(即有一滑动接点的可变电阻), $R_2 = 470 \Omega$ 。输入电压 $U_i = 15 \text{ V}$ 。

求: 输出电压 U_o 的变化范围。

解: 电位器滑动接点调至最低点时, U_o 由 R_3 上分压输出, 由分压公式(1-8)可得

$$U_o = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_i = \frac{330}{330 + 470 + 330} \times 15 = 4.38 \text{ V}$$

调节 R_2 滑动接点至最高位置, U_o 由 R_2 和 R_3 串联后分压输出, 则为

$$U_o' = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_i = \frac{470 + 330}{330 + 470 + 330} \times 15 = 10.62 \text{ V}$$

由此可知, 输出电压 U_o 的变化范围为 $4.38 \sim 10.62$ 伏。

四、电阻的并联

图 1-12 的电路中, 各个电阻都相似地接到电路的 A, B 两点上, 这种连接方式叫做并联。

并联电路的特点是:

- (1) 各并联支路两端的电压相等;
- (2) 几个电阻并联, 可用一个等效电阻 R 来代替, 其电阻值满足下式

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-9)$$

- (3) 并联电路的总电流等于各支路电流之和