

高级电工 技术与技能 自学读本

白公 悦英 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高级电工技术与 技能自学读本

白 公 等编著
悦 英
李云鹏 主审
宋玉峰
梁啟勤 制图



机 械 工 业 出 版 社

本书从国家工人技术等级标准出发,结合作者亲身体会和培训电工技师的实践经验,继《电工操作技能自学读本》一书,详细介绍了高级电工必须掌握的技术与技能。本书将应知应会相结合,具有实用性和可操作性,通俗易懂,图文并茂,是中级工到高级工再到技师的阶梯。

本书共10章,主要内容有电工常用计算,电工识图基础,电工相关技术技能,常用电工设备器材的选择,电工常用仪器仪表、调整试验电工和运行值班电工的操作技能技巧和电工安全技术等。

本书可作为从事电工工作且具备高中文化水平的青年工人、中高级电工、电工爱好者的自学读本或电工技工、技师的培训教材,也可供工科院校、职业技术学院或中专、中技电气专业的师生实习中参考。

图书在版编目(CIP)数据

高级电工技术与技能自学读本/白公等编著. —北京:机械工业出版社, 2004.7

ISBN 7-111-14581-X

I. 高... II. 白... III. 电工—自学参考资料 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第050902号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国

责任编辑:姚光明 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛

封面设计:解辰 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·27.25印张·674千字

0 001—4 000册

定价:43.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

《电工操作技能自学读本》由机械工业出版社于2002年6月出版以来，受到了从事电工工作且文化程度较低的青年工人、初学者、转岗人员、电工爱好者的极大关注，同时也受到了工科院校、职业技术学院或中专、中技电气专业师生的青睐。很多青年、初学者及刚涉入工作岗位的院校毕业生从中学会了电工基本操作技能，这本书帮助他们度过了艰难的实践关，成了他们的良师益友。同时，有很多读者，更多的是已从事电工多年的读者，对该书充分肯定的同时，也提出了一些该书的缺憾，主要是一些技术技能较高的操作和知识未能编入，如电工计算、读图、设备元件选择、调整试验、运行值班、安全技术、电工仪表等内容。

目前，由于诸多的原因，技能型的人才，特别是高级技术工人严重短缺，各类院校的毕业生实践经验匮乏，技能断档，事实已经证明，他们难以担当生产一线的技能技术先锋。因此，造就一大批技能型人才和高级技术工人便成了当务之急。

当然，技能型人才和高级技术工人的产生并非朝夕之事，个人、社会、国家都要付出很大的代价和努力。尤其在当今的社会里，有部分人还看不起技术工人，重理论，轻实践，不重视操作技能的培养。

鉴于上述的原因，我们组织编写了这本《高级电工技术与技能自学读本》，供那些愿意从事电工工作并有志争当电工技师的朋友阅读，使她同样成为你的良师益友、可靠助手及技术技师字典。

本书与《电工操作技能自学读本》一书特点相同，同时弥补了其高级技术技能方面的缺憾，但同样具有实用性、可操作性、通用性，通俗易懂、图文并茂。具有初中文化程度的朋友，只要你按本书讲述的认真去做，不久，你一定会成为一名电工技师。

本书由教授级高级工程师白公主编，参加各章编写的人员有孙德和王雅琴（第一章）、赵玉春和周志祥（第二章）、张述声和孙静（第三章）、陈世林和赵范北（第四章）、刘大明和吴跃利（第五章）、刘洪明和王昆岳（第六章）、马国顺和李富宽（第七章）、王克勤和王建成（第八章），全书由悦英润色、加工。其中，孙德、赵玉春、张述声、赵范北、刘大明、刘洪明、马国顺、李富宽、王克勤等除了参加本书的编写工作外，还为本书的出版做了大量的工作，并提供了很多珍贵的资料和工程实例。这里向本书的主审李云鹏高级工程师、宋玉峰教授，审稿人员汪国安、耿锡肖、原峰、谢敏祥、苏润福、赵玲、薛明、刘

继亮、吴金环、宋智慧、石永平、柳俊田，负责制图的梁启勤教授及支持和帮助本书编写和出版的全体工作人员表示感谢。

由于作者水平的局限，书中不妥之处恳请各位专家同仁批评指正。

作者 白公
悦英

目 录

序

第一章 电工常用计算及应用	1
第一节 基础参数的计算	1
一、电阻 R 的计算	1
二、电容 C 的计算	5
三、电感 L 的计算	8
四、阻抗 Z 的计算	10
五、电动势/电压 E/U 的计算	13
六、电流 I 的计算	14
七、直流电路的计算	15
八、交流电路的计算	17
第二节 电动机的计算	19
一、电动机的原理	19
二、交流异步电动机及计算	20
三、异步电动机修理常用计算	26
第三节 变压器的计算	33
一、基本计算方法	33
二、小型变压器的计算	33
三、单相及三相干式电力变压器的 计算	39
第四节 电磁铁的计算	44
第五节 电力负荷的计算及应用	44
一、三相负荷的计算	44
二、单相负荷的计算	49
三、电力系统/工厂用户计算负荷的 确定	52
四、负荷计算的应用	55
五、尖峰电流的计算及应用	55
第六节 电力系统短路电流的计算及应 用	56
一、短路电流的计算	56
二、两相短路电流的计算	61
三、短路动稳定度的校验及计算	61
四、短路热稳定度的校验及计算	62
五、动稳定校验计算步骤	63
六、热稳定校验计算步骤	63
第七节 架空线路的计算	64

一、导线的力学计算	64
二、绝缘子的计算	69
三、横担的计算	72
四、电杆强度的计算	76
五、拉线的计算	80
六、基础的计算	81
第八节 直流电动机的计算	84
第九节 电子电路的计算	85
一、二极管及其整流电路的计算	85
二、晶体管及其模拟电路的计算	87
三、数字电路的计算	91
第二章 电工读图基础	98
第一节 电工读图要点	98
一、读图程序	98
二、读图要点	98
三、读图步骤及方法	110
四、读图注意事项	111
五、电工读图应具备的知识和技能	114
第二节 电气工程图的符号及标注	116
一、图形符号	116
二、文字符号	128
三、电气设备及线路的标注方法及其 使用	135
第三节 自动化仪表及自动装置工程图 的符号及标注	141
一、图形符号	141
二、文字符号	143
三、图形符号和仪表位号常用举例	147
第四节 民用住宅的电气线路	151
一、配电系统图的识读	152
二、平面图的识读	154
三、弱电系统图样的识读	160
四、防雷系统图样的识读	163
五、平房住宅的电气线路	163
六、高层住宅的电气线路	163
第五节 小型锅炉房的电气线路	163
一、电气系统图的识读	167

二、动力平面图的识读	168	一、基础的检查及验收	211
第六节 常用电动机起动控制电路及 分析	170	二、设备安装程序及要点	211
一、直接起动	170	第五节 架空线路路径测量技术简要	214
二、自耦减压器的间接起动	171	一、架空线路路径的选择要点	214
三、星/三角起动器的间接起动	172	二、测量仪器、器具及使用	214
四、串联阻抗的间接起动	173	三、线路的测量及杆塔定位	219
五、绕线转子电动机转子串接电阻 的起动电路	173	第四章 常用电工设备器材及其选 择	223
六、215kW、10kV 电动机直接起动 电路	174	第一节 工作条件及生产环境对电气设 备的要求	223
七、115kW 绕线转子电动机频敏变 阻器起动电路	176	一、工作条件及生产环境的类别	223
八、三台电动机循环定时工作控制 电路	177	二、爆炸和火灾危险环境的划分	223
九、多台电动机顺序起动控制电路	179	三、电气设备的防护等级	224
第三章 相关工种基本操作技能	182	四、工作条件及生产环境对电气设备 及器材的要求	234
第一节 钳工的基本操作技能	182	第二节 常用电气设备、元器件、导线 的选择方法	235
一、量具及其使用	182	一、变压器的选择	235
二、划线	183	二、电动机的选择	236
三、錾削	183	三、熔断器的选择	237
四、锉削	184	四、热继电器的选择	238
五、锯削	185	五、低压断路器的选择	238
六、钻孔	187	六、接触器的选择	239
七、攻螺纹和套螺纹	188	七、漏电保护装置的选择	239
八、刮削	189	八、电动机起动器的选择	240
九、矫正和弯曲	189	九、低压保护继电器的选择	241
第二节 吊装运输的基本技术技能	190	十、高压断路器的选择	242
一、工具及使用	190	十一、高压负荷开关的选择	242
二、绳索及器具	191	十二、高压隔离开关的选择	242
三、吊具	199	十三、导线的选择	242
四、地锚	201	第三节 爆炸和火灾危险环境电气设备 的选择及要求	249
五、滑车、滑轮及滑轮组	202	一、爆炸性气体环境	249
六、常用起重机具	204	二、爆炸性粉尘环境	255
七、人字架及三角架	206	三、防爆电气设备安装及运行的要求	257
八、起重机的选择及设置	208	四、火灾危险环境	260
九、运输车辆的选择	208	第四节 常用电工设备器材	262
十、电气设备吊装和运输作业的注意 事项	208	第五章 电工常用仪器仪表	281
第三节 焊接基础知识及操作	209	第一节 盘、柜计量检测仪表的选用、 接线及校验	281
一、交流弧焊机	209	一、交流电压、电流、电能表	281
二、手工电弧焊的基本操作	209	二、直流电压、电流、电能表	282
第四节 设备安装要点	211		

三、电表的检定或校验	283	事项	339
第二节 电工携带式检修仪表仪器的 使用	289	第七节 新型继电器柜的调整试验	340
一、电工携带式检修仪表的种类	289	一、控制器	341
二、钳形电流表的使用	291	二、面板按键功能	341
三、万用表的使用	292	三、系统总菜单	341
四、绝缘电阻表(兆欧表)的使用	294	四、具体参数设置方法	344
五、接地电阻测试仪的使用	295	五、绝缘巡检功能单元	349
六、电工携带式检修仪表的保管、 校验和检定	296	第七章 运行值班电工操作技能基 础	352
七、场强仪的使用	297	第一节 运行值班电工及操作规程	352
八、单臂电桥的使用	297	一、资质条件及工作内容、注意事项	352
九、万用电桥的使用	299	二、巡视检查中保证安全的规定及方 法	353
十、电压升压器的使用及耐压试验	300	三、倒闸操作的具体要求及操作票的 内容与注意事项	354
十一、电流升流器的使用	309	四、倒闸操作的步骤	356
第六章 调整试验电工操作技能技 巧	310	五、作业票的内容及注意事项	357
第一节 10kV 变配电装置的调试	310	第二节 变配电装置的巡视检查	360
一、设备及元器件的单体测试	310	一、巡视检查的总体要求	360
二、继电器、二次回路及系统调整 试验	317	二、高压配电装置及二次回路	361
三、冲击合闸试验和空负荷运行	325	三、电力变压器	371
第二节 低压配电系统	325	四、直流电源及仪表	381
一、低压配电柜/开关柜及元器件测试	325	第三节 变配电装置故障判断及处理	387
二、低压系统的送电及试运行	328	一、高压断路器异常运行及事故处 理	387
第三节 电动机及起动设备	328	二、高压电器异常运行及事故处理	388
一、电动机的试验	328	三、电力变压器异常运行及缺陷处 理	389
二、起动设备的试验	328	四、继电保护及自动装置异常运行 及事故处理	389
第四节 电动机及变压器的抽心检查	331	第四节 运行日志和值班记录	390
一、电动机的抽心检查	331	第八章 安全技术要点	392
二、变压器的抽心检查和干燥处理	333	一、保证电气安全的两大措施	392
第五节 电气线路的试验	337	二、电工的不安全行为和习惯性违 章作业	403
一、低压电气线路	337	三、电工安全注意事项	412
二、高压电气线路	337	参考文献	427
第六节 调整试验注意事项	338		
一、电气试验安全注意事项	338		
二、核相作业的安全规定	339		
三、电气试验时进行高压测量的安全			

第一章 电工常用计算及应用

电工是一种理论性很强的技术工种，因此，作为电工技师或优秀的电工必须掌握电工的常用计算方法。电工计算方法是提高技术能力、解决现场问题的理论基础，同时又是指导实践的有力武器，在工程中有着很大的应用领域。本章将详细讲述电工常用数据、参数、物理量的计算方法，并指出应用范围及在实践中应用的方法。

第一节 基础参数的计算

一、电阻 R 的计算

电阻是导体的固有性质，与导体的材质、几何形状有关。一般条件下，成线状的导体，其电阻除与材质有关外，与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比。也就是说，导线越长，其电阻越大，反之越小；导线越细，其电阻越大，反之越小。一般可用下式来表示：

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{1-1}$$

- 式中 R ——导线的电阻 (Ω)；
 ρ ——导线材质的电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)；
 L ——导线的长度 (m)；
 S ——导线的截面积 (mm^2)。

这里列出常用导线的电阻率及平均电阻温度系数，见表 1-1。

表 1-1 常用材料的电阻率和平均电阻温度系数

材 料	电阻率 ρ_{20} ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) (20°C)	平均电阻温度系数 α ($1/^\circ\text{C}$) ($0 \sim 100^\circ\text{C}$)
银	0.0162	0.0035
铜	0.0175	0.0041
铝	0.0285	0.0042
黄铜 (铜锌合金)	0.02~0.06	0.002
铁 (铸铁)	0.5	0.001
钨	0.0548	0.0052
铂	0.0266	0.00247
钢	0.13	0.00577
汞	0.048	0.00057
康铜	0.44	0.000005
锰铜	0.42	0.000005
镍铬合金	1.08	0.000013
铁铬铝合金	1.2	0.00008
碳	10.0	-0.0005
硬橡胶	1×10^{22}	

(一) 电阻的单位

电阻的单位是欧姆 (Ω)，工程中则常用兆欧 ($M\Omega$)、千欧 ($k\Omega$)、欧姆 (Ω)、毫欧 ($m\Omega$) 来表示不同的电阻量。

1. $M\Omega$ 常用来作为绝缘电阻的单位。因为绝缘电阻是表示绝缘材料及电气设备、线路在不同电压下绝缘强度的量，因此，这个量在一般条件下应越大越好，越能表示绝缘强度越强。如，低压系统的绝缘电阻规定为不小于 $0.5M\Omega$ ， $10kV$ 系统的绝缘电阻规定为不小于 $300M\Omega$ ， $35kV$ 系统的绝缘电阻规定为不小于 $500M\Omega$ 。所不同的是，绝缘电阻是用绝缘电阻测试仪（习称兆欧表）测出来的。而在电子电路中，常用 $M\Omega$ 来作为较大电阻的计量单位。这些电阻可用来限流、分流、稳压及组成阻容耦合或产生不同的脉冲电路。

实际上，绝缘电阻表测出来的是漏电流（或绝缘电流），对绝缘材料及电气设备线路来说，这个漏电流越小越好。这个量与绝缘电阻正好是成反比，因此，在绝缘电阻表内用比率计将其换算成了绝缘电阻值，用来衡量绝缘强度。

2. $k\Omega$ 常用来作为电子电路中电阻的单位。电阻除限流、分流、稳压、阻容耦合外，还用来作为数字电路的元件，与其他元件组成不同功能的电路。

3. Ω 常用来作为接地电阻的单位。接地电阻是表示接地装置（一般指打入地下的钢钎）与大地接触的电阻。这是一个很重要的量，关系到电气系统的安全运行及人身的安全。一般情况下，要求接地电阻越小越好，能安全迅速地将事故电流引到大地中，使故障点的电位为零。如，变压器中性点的工作接地的接地电阻不大于 4Ω ；重复接地工作零线的接地电阻不大于 4Ω ；电气设备机架及外壳的保护接地的接地电阻不大于 4Ω ；电子设备的接地电阻不大于 1Ω ；防雷接地的接地电阻一般为不大于 10Ω ，最大不得大于 30Ω ；防静电接地的接地电阻一般为不大于 100Ω 。接地电阻是用接地电阻测试仪（习称为接地摇表）来测量的，有时也用电流表-电压表法。另外，在电气工程中及电子线路中，一般自动保护装置也常用 Ω 来衡量，如限流电阻、保护电阻等。有时 Ω 也常用来表示长导线的阻抗，见表 1-2。

表 1-2 LJ 型铝绞线的主要技术数据

标称截面积/ mm^2	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
50℃ 的电阻 $\frac{R_0}{\Omega/km}$	2.07	1.33	0.96	0.66	0.48	0.36	0.28	0.23	0.18	0.14
线间几何均距/mm	线路电抗 $\frac{X_0}{\Omega/km}$									
600	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28
800	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30
1000	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31
1250	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33
1500	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33
2000	0.44	0.43	0.41	0.40	0.40	0.39	0.37	0.37	0.36	0.35
室外气温 25℃ 导线最高允许 温度 70℃ 时的允许载流量/A	105	135	170	215	265	325	375	440	500	610

4. $m\Omega$ 常用来作为电气连接接触电阻的单位，如开关触头闭合的接触电阻、导线连接的接触电阻、线鼻子压接的接触电阻、导线与接线柱/螺栓压接的接触电阻等。接触电阻是一个很重要的量，关系到设备及线路的安全运行，要求越小越好。如果接触电阻较大，接点

就会在运行中发热或把导线或设备端子烧坏，给运行带来很大的麻烦。因此，我们规定，接触电阻应在 $0.01\text{m}\Omega$ 以下。接触电阻测量起来较麻烦，一般情况下应用电桥来测量，也可用电流表-电压表法。

变压器绕组、电动机的绕组、电磁铁的线圈一般在 $\text{m}\Omega\sim\Omega$ 数量级之间，一般用电桥或精密数字万用表来测量。

5. 电阻的进位关系

$1\Omega (\text{欧}) = 1000\text{m}\Omega (\text{毫欧})$
 $1\text{k}\Omega (\text{千欧}) = 1000\Omega (\text{欧})$
 $1\text{M}\Omega (\text{兆欧}) = 1000000\Omega (\text{欧})$

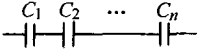
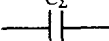
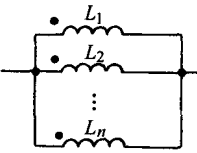
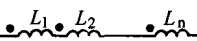
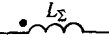
(二) 电阻连接的计算及应用

- 1. 电阻的串联 (见表 1-3)
- 2. 电阻的并联 (见表 1-3)

表 1-3 电阻、电容、电感的连接

类型 元件	连接 方式	图 形	等效图形	基本计算公式	特性、用途及要求
电 阻	并联			$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$ $R_1 = R_2 = R_n \text{ 时}$ $R_{\Sigma} = \frac{1}{n} R_1$	电阻越并越小，并且小于其中最小的阻值（因越并截面积越大） 并联电阻电路的电压相等 $U_{R_1} = U_{R_2} = \cdots = U_{R_n}$ 并联电阻电路有分流作用，总电流为各分路电流之和，即 $I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$ 一般的电器都是并联使用的，电器两端的电压与额定电压相等
	串联			$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$ $R_1 = R_2 = R_n \text{ 时}$ $R_{\Sigma} = n R_1$	电阻越串越大，且大于其中最大阻值（因越串越长） 串联电阻电路的电流相等 $I_{R_1} = I_{R_2} = \cdots = I_{R_n}$ 串联电阻电路有分压作用，总电压为各电阻上电压之和，即 $U_{\Sigma} = U_1 + U_2 + \cdots + U_R$ 常用于电子电路或分压电路
电 容	并联			$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$ $Z_{\Sigma} = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n$ 当 $C_1 = C_2 = \cdots = C_n$ 时 $C_{\Sigma} = n C_1, Z_{\Sigma} = n Z_1$	电容越并越大，且大于其中最大电容值（因极板面积越并越大） 并联电容电路的电压相等 $U_1 = U_2 = \cdots = U_n$ $Z = X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ 常用于功率因数补偿电路

(续)

类型 元件	连接 方式	图 形	等效图形	基本计算公式	特性、用途及要求
电 容	串联			$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ $\frac{1}{Z_{\Sigma}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}$ 当 $C_1 = C_2 = \dots = C_n$ 时 $C_{\Sigma} = \frac{1}{n}C_1$ 、 $Z_{\Sigma} = \frac{1}{n}Z_1$	电容越串越小，且小于最小电容值（因 d 越来越大） 串联电容电路的充电电流相等 $I_1 = I_2 = \dots = I_n$ $Z = X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 常用于电子电路或分压电路中
电 感	并联		 只讨论没有互感作用下的并联	$\frac{1}{L_{\Sigma}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$ $\frac{1}{Z_{\Sigma}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}$ 当 $L_1 = L_2 = \dots = L_3$ 时 $L_{\Sigma} = \frac{1}{n}L_1$ 、 $Z_{\Sigma} = \frac{1}{n}Z_1$	电感越并越小，总阻抗也越来越小， $Z = X_L = 2\pi fL$ 并联电感的电压相等 常用于电动机绕组的制作，连接时首尾必须正确
	串联		 只讨论没有互感作用下的串联	$I_{\Sigma} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ $Z_{\Sigma} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$ 当 $L_1 = L_2 = \dots = L_n$ 时， $L_{\Sigma} = nL_1$ 、 $Z_{\Sigma} = nZ_1$	电感越串越大，总阻抗也越来越大， $Z = X_L = 2\pi fL$ 串联电感的电流相等 常用于电动机绕组的制作，连接时首尾必须正确

(三) 电阻计算的应用

(1) 高压系统短路电流的计算，若为小截面架空线路或电缆线路时，通常要计算该线路的直流电阻，用截面积 Ω/km 乘以导线长度千米数即可。通过短路电流的计算，正确选用电气设备及材料，使其具有足够的动稳定性和热稳定性，以保证在发生最大短路电流时而不致损坏。同时选择切除短路故障的断路器或限制短路电流的电抗器或整定短路保护继电器。这样，在发生短路时，可自动切断短路电流或限制短路电流增加的速度或整定短路保护继电器动作，保护电气设备及线路。高压系统短路电流的计算在后边还要详细说明。

(2) 低压系统保护接零。为了线路上的保护装置能在漏电或短路时迅速切断电源，必须保证有足够大的单相短路电流。因此，相零回路的直流电阻必须限制在一定的范围之内，通常用单位长度的直流电阻 Ω/km 乘以导线长度即可。低压单相回路有时使用低压断路器或熔断器，该设备的动作电流必须满足单相短路电流。

(3) 电压表扩大量程要计算串联的电阻值，这也是万用表电压档的分压测量原理。

如图 1-1 所示，电压表 $\textcircled{V}_1$ 可测量 U_1 ，其内阻为 r_1 ，内阻可以测出或由产品文件中查出，现在要测量 U_2 且 $U_2 > U_1$ ，试计算串联电阻 R 的值。

由题可知

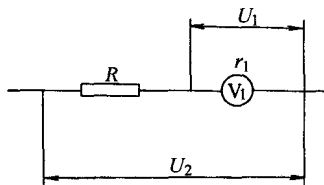


图 1-1 电压表扩大量程的计算

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \frac{U_1}{r_1} R + \frac{U_1}{r_1} r_1 \\
 U_2 &= \frac{U_1}{r_1} R + U_1 \\
 R &= \frac{U_2 - U_1}{U_1} r_1
 \end{aligned} \tag{1-2}$$

这里用到了串联电阻分压和串联电路电流相等的规则。

(4) 电流表扩大量程要计算并联的电阻值, 这也是万用表电流档分流测量的原理。

如图 1-2 所示, 电流表 $\textcircled{A}_1$ 可测出 I_1 , 其内阻为 r_1 , 现在要测量 I_2 且 $I_2 > I_1$, 试计算并联电阻 R 的值。

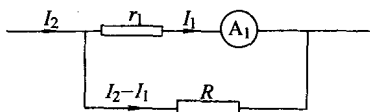


图 1-2 电流表扩大量程的计算

由题可知

$$\begin{aligned}
 I_1 r_1 &= (I_2 - I_1) R \\
 R &= \frac{I_1}{I_2 - I_1} r_1
 \end{aligned} \tag{1-3}$$

这里用到了并联电阻分流和并联电路电压相等的规则。

(5) 电阻是随温度变化的量, 一般条件下可忽略这个变化。但当需要时则要考虑由于温度变化而引起电阻变化的这个量, 通常用式 (1-4) 来表示。

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \tag{1-4}$$

式中 R_t ——任意温度下导体的电阻 (Ω);

R_{20} ——20℃ 时导体的电阻 (Ω);

α ——电阻温度系数, 见表 1-1;

t ——任意温度 (℃)。

(6) 电路中其他电阻的计算还很多, 通常用欧姆定律的较多, 如电子电路、电动机的启动电阻等, 计算也较复杂。因此, 我们将其放到欧姆定律及应用中去讲述, 敬请读者翻阅后述内容。

二、电容 C 的计算

“电容”就是能把电能储存起来的意思, 我们把这种能够把电能储存起来的装置叫做电容器。实际的电容器是被绝缘体分隔开的两个导体的总成, 其中, 导体叫做极板, 中间的绝缘体叫做介质。电容是电容器固有的性质, 与电容器的结构有关, 而与所加的电压无关。一般条件下, 电容器的电容与极板的面积成正比, 与极板的间距成反比, 并且与介质有关。也就是说, 极板的面积越大, 其电容值越大, 反之越小; 而极板的间距越小, 其电容值越大, 反之越小。一般可用下式来表示:

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \tag{1-5}$$

式中 C ——电容 (F);

S ——极板面积 (m^2);

d ——极板距离 (m);

ϵ ——电容率, 也称介电常数, 与介质有关的量, 常写成 $\epsilon_0 \epsilon_r$ 的形式, ϵ_0 为真空电

容率, ϵ_r 相对电容率, $\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$, 常用介质的相对电容率 ϵ_r 见表 1-4。

表 1-4 常用电介质相对电容率

材料	空气	六氟化硫	变压器油	硅油	瓷	环氧树脂	有机玻璃
ϵ_r	1.00058	1.002	2.3~2.5	2.6	5.5~6.5	3.8	3~3.6

(一) 电容的单位

电容的单位是法拉 (F), 因为法拉这个单位很大, 工程中常用微法 (μF)、微微法 (pF) 来表示不同的电容量。我们定义, 极板电压为 1V, 而储存的电荷为 1C 时, 电容器的电容为 1F。

1. μF 常用来作为电力补偿电容的单位, 而在工程选用电力补偿电容时则是按式 (1-6) 来计算的。

$$C = \frac{P \times 10^{-6}}{2\pi f U^2} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi) \quad (1-6)$$

式中 C ——补偿电容的电容量 (μF);

P ——系统的有功功率 (W);

U ——系统的电压 (V);

f ——电源的频率 (Hz), 一般为 50Hz;

φ_1 ——并联电容前功率因数角;

φ ——并联电容后功率因数角。

其中, 功率因数角是利用功率因数 $\cos \varphi$ 的反函数查出的。如 $\cos \varphi_1 = 0.85$, $\varphi_1 = \arccos (\cos \varphi_1) = 32^\circ$, $\cos \varphi = 0.95$, $\varphi = \arccos (\cos \varphi) = 18^\circ$ 。

μF 在电子电路也常用来作为较大电容的单位, 如电解电容。

2. pF 常用来作为电子电路中较小电容的单位, 如旁路电容、耦合电容等。

3. 电容的进位关系

$$1\text{F (法)} = 10^6 \mu\text{F (微法)}$$

$$1\mu\text{F (微法)} = 10^6 \text{pF (皮法)}$$

$$1\text{F (法)} = 10^{12} \text{pF (皮法)}$$

(二) 电容连接的计算及应用

1. 电容的串联 (见表 1-3)

2. 电容的并联 (见表 1-3)

(三) 分布电容及计算

分布电容的形成较为复杂, 我们常把高压带电体 (线路或设备) 与地之间形成的电容称为分布电容, 分布电容是由于空气为绝缘材料而形成的。因此, 可以用以下方法计算。

(1) 单根架空输电导线对地电容 (F) 由式 (1-7) 计算。

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \left[\frac{h}{a} + \sqrt{\left(\frac{h}{a} \right)^2 - 1} \right]} \quad (1-7)$$

当 $h \gg a$ 时

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \left(\frac{2h}{a} \right)} \quad (1-8)$$

式中 h ——导线中心轴线与地面的距离 (m);

a ——导线的半径 (m);

L ——输电导线的长度 (m);

ϵ ——电容率, 见表 1-4 和式 (1-5)。

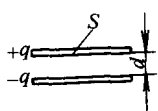
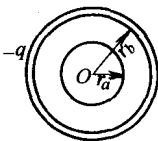
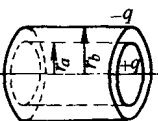
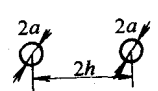
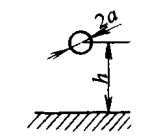
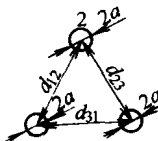
(2) 三相输电线路每相的电容 (F) 由式 (1-9) 计算。

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)} \quad (1-9)$$

式中 $d = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}}$, 导线轴线间距的几何平均值 (m)。

(3) 这里将几种典型结构形式的电容计算方法列入表 1-5, 供读者参考。

表 1-5 几种典型结构的电容计算公式

项 目	图 形	电 容 C	说 明
平板电容		$C = \frac{\epsilon S}{d}$	S ——极板面积 (m^2) d ——极板间的距离 (m), 且远小于 S 每边的尺寸
球形电容		$C = \frac{4\pi\epsilon r_a r_b}{r_b - r_a}$ $r_b \rightarrow \infty$ 时, 即为孤立导体球的电容 $C = 4\pi\epsilon r_a$	r_a 、 r_b ——内球外表面与外球内表面的半径 (m)
圆柱形电容		$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\frac{r_b}{r_a}}$	l ——电容器长度 (m) r_a 、 r_b ——内柱外表面与外柱内表面的半径 (m)
两输电线间的电容 (地面影响忽略不计)		$C = \frac{\pi\epsilon l}{\ln\left[\frac{h}{a} + \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 - 1}\right]}$ $a \ll h$ 时 $C = \frac{\pi\epsilon l}{\ln\left(\frac{2h}{a}\right)}$	l ——输电线长度 (m) $2h$ ——导线轴线间的距离 (m) a ——导线的半径 (m)
单根架空输电线的对地电容		$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\left[\frac{h}{a} + \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 - 1}\right]}$ $a \ll h$ 时 $C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\left(\frac{2h}{a}\right)}$	h ——导线轴线与地面的距离 (m) a ——导线的半径 (m) l ——输电线长度 (m)
三相输电线的电容 (地面影响忽略不计)		每相电容 $C_\phi = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)}$	d ——导线轴线间距离的几何平均值 (m), $d = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}}$

三、电感 L 的计算

“电感”就是能把电感应出来的意思，我们把这种能够感应出电来的装置叫做电感器，简称电感。实际上电感器就是用导线绕制的线圈。电感是电感器的固有性质，它与线圈的匝数、几何形状及线圈内的材料有关，与所加的电压无关，但感应出来的电压则与电源有关。这里以长螺管线圈的电感公式为例，说明电感（H）的特性，见式（1-10）。

$$L \approx \frac{\mu N^2 \pi R^2}{l} \quad (1-10)$$

式中 μ ——线圈内材料的磁导率（H/m）；

N ——线圈匝数；

R ——螺线管的半径（m）；

l ——螺线管的长度（m）；

$l/R > 40$ 。

常用材料的相对磁导率见表 1-6。

表 1-6 常用材料的相对磁导率

材 料	相对磁导率（近似值）	材 料	相对磁导率（近似值）
铝	略大于 1	镍	50~60
铋	略小于 1	坡莫合金	3000~30000
钴	60~70	银	略小于 1
铁氧体	100~3000	钢	300~600
自由空间	1	超坡莫合金	100000~1000000
铁	60~100	石蜡	略小于 1
提纯的铁	3000~8000	干木材	略小于 1

（一）电感的单位

电感的单位是亨利（H），工程中常用亨利（H）、毫亨（mH）、微亨（ μ H）来表示不同的电感量。我们定义，流过线圈的电流为 1A，线圈则产生 1Wb 磁通的变化，该线圈的电感为 1H。

1. H 常用来作为大型线圈（如电力变压器、电动机、电抗器）电感的单位。

2. mH 及 μ H 常用来作为小型或微型线圈电感的单位，如电子电路或小型电子电路中电源变压器等。

3. 电感的进位关系

$$1\text{H（亨）} = 1000\text{mH（毫亨）}$$

$$1\text{mH（毫亨）} = 1000\mu\text{H（微亨）}$$

$$1\text{H（亨）} = 1000000\mu\text{H（微亨）}$$

（二）电感连接的计算方法及应用

1. 电感的串联（见表 1-3）

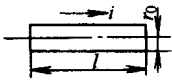
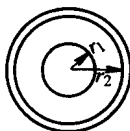
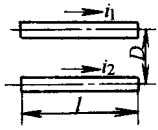
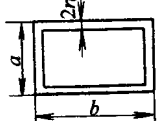
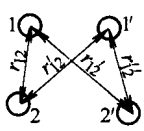
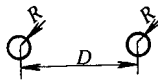
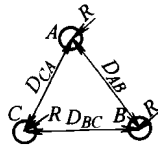
2. 电感的并联（见表 1-3）

3. 典型结构形式的电感计算方法（见表 1-7）。

小结：电阻、电容、电感是电工学中的三大元件，任何电路都可用其模拟出来。由于三大元件的特性不同，因此在电路中，对交流、直流的作用也不同。但是，对交流和直流来

讲,电阻是耗能元件,电流流过后要做功;电容是储能元件,电流流过后要将电能储存起来,当条件满足时再释放出来;电感也是储能元件,电流流过后要将电能转变成磁能储存起来,当条件满足时再将磁能转变成电能释放出来。在今后的计算中要特别注意这几点。

表 1-7 典型结构的电感计算公式

项 目	图 形	电 感 L	说 明
圆截面直导线段的自感		$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 0.75 \right)$	$r_0 \ll l$
同轴电缆的电感		$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{r_2}{r_1} \right)$	l ——电缆长度 电缆外层导体厚度忽略不计
两平行直导线段间的互感		$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{D} - 1 \right)$	导线半径 $\ll D$ $D \ll l$
矩形线圈的自感		$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left[a \ln \frac{2ab}{r_0(a+d)} + b \ln \frac{2ab}{r_0(b+d)} - 2(a+b-d) \right] + \frac{\mu_0}{\pi} \left(\frac{a+b}{4} \right)$	r_0 ——圆形导线半径 $d = \sqrt{a^2 + b^2}$ $r_0 \ll a$ $r_0 \ll b$
两对输电线路间的互感		$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{r_{12} r_{1'2'}}{r_{12} r_{1'2'}}$	l ——输电线长度 导线半径 $\ll$ 线间距离 线间距离 $\ll l$
两线制输电线的电感		$L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \left(\ln \frac{D}{R} + \frac{1}{4} \right)$	l ——输电线长度 $R \ll D$ $D \ll l$
三线制输电线的电感		三线间距离不等时, 一相等效电感 $L_\varphi = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{D'}{R} + \frac{1}{4} \right)$ 三线间距离相等时, 一相等效电感 $L_\varphi = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{D}{R} + \frac{1}{4} \right)$	l ——输电线长度, $R \ll D$ $D' = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{CA}} \quad D \ll l$ $D = D_{AB} = D_{BC} = D_{CA} \quad D \ll l$