

电工

计算手册

张晓君 / 刘皓明 ● 主编



化学工业出版社

电工计算手册

张晓君 刘皓明 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电工计算手册/张晓君, 刘皓明主编. —北京:
化学工业出版社, 2012.7

ISBN 978-7-122-14177-4

I. 电… II. ①张…②刘… III. 电工—计算—
技术手册 IV. TM11-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 082691 号

责任编辑: 卢小林

文字编辑: 高 震

责任校对: 边 涛

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 18 字数 494 千字

2012 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为了帮助广大电工及电气工程技术人员，解决在生产实践中遇到的各种电工计算问题及生产技术问题，我们编写了这本《电工计算手册》，主要供具备电工基本计算能力的各类电气中、高级技术人员快速查阅，也可供相关专业的大中专师生使用。

本手册精选和收录了现代电工行业常用的计算公式和部分相关的数据，主要内容包括：电工学常用计算公式、电工测量常用计算公式、电动机和变压器常用计算公式、工厂供电常用计算公式、电子技术常用单元电路的计算公式、变频器实用计算公式及其他常用电气设备计算公式。本手册能够满足现代电工技术对计算的基本要求，所列举的各种数据表格及计算实例均是电气专业人员在生产实践中经常用到的，实用性较强。本书在阐述基本理论和概念时，深入浅出，计算公式及必要的图解或文字说明均以表格形式编排，读者能一目了然，达到“即查即用”的效果。书中的每个知识点都有相应的实例，以方便读者对知识的领会和应用。

本手册由张晓君、刘皓明主编，第一章及第七章部分内容由张晓君编写，第二章、第三章由刘作荣编写，第四章由刘皓明编写，第五章由路天航编写，第六章及第七章部分内容由张选正编写。在本书的编写过程中，陆娟娟、王西芝、陆秋云、刘霞、黄春燕、任飞、闫丽丽、周玉敏、刘炳杰、李秀芹、张晓欧、王秀洁、王旭提供了大力帮助，在此谨表感谢。

编者虽在收录计算公式和数据时反复推敲，力求准确可靠，但由于编者水平有限，难免有所疏漏，不妥之处恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 电工学常用计算公式	1
第一节 电工学常用定律	1
一、电磁学的基本定律及定则公式	1
二、电路的基本定律	5
第二节 常用电路参数的计算公式	10
一、电阻常用的计算公式	10
二、电感和感抗的常用计算公式	18
三、电容和容抗的常用计算公式	20
第三节 直流电路的分析计算	24
一、简单直流电路的分析计算	24
二、复杂直流电路的分析计算	29
第四节 正弦交流电路的分析计算	41
一、单相正弦交流电路的分析计算	41
二、阻抗的常用计算公式	58
三、三相正弦交流电路的分析计算	60
四、正弦交流电路的谐振分析计算	64
第五节 线性电路过渡过程的分析计算	69
一、电路过渡过程的产生及换路定律	69
二、一阶线性电路过渡过程的分析计算	69
三、二阶线性电路过渡过程的分析计算	74
第六节 磁路和电磁力的计算公式	82
第二章 电工测量常用计算公式	91
一、测量误差与仪表准确度的计算公式	91
二、电压与电流的测量计算公式	94
三、电阻的测量计算公式	99
四、电感和电容的测量计算公式	102

五、电功率的测量计算公式	107
六、有功电量的计算公式	112
第三章 电动机和变压器常用计算公式	115
第一节 直流电动机的常用计算公式	115
一、直流电动机的基本计算公式	115
二、直流电动机调速系统常用的计算公式	121
三、直流电动机暂态过程参数的计算公式	128
四、直流电动机改电压的计算公式	135
五、直流电动机绕组重绕的计算公式	139
第二节 交流电动机的常用计算公式	141
一、交流异步电动机的基本计算公式	141
二、三相交流异步电动机启动控制常用的计算公式	152
三、三相交流异步电动机制动控制常用的计算公式	164
四、三相交流异步电动机调速有关参数的计算公式	168
五、交流电动机空壳重绕计算公式	173
六、三相异步电动机改电压的计算公式	196
七、绕组导线替代的计算公式	199
第三节 变压器常用的计算公式	210
一、小型单相变压器的计算公式	210
二、小型三相变压器的计算公式	225
三、变压器容量的估算法	235
四、变压器试验及计算	237
第四章 工厂供电常用计算公式	272
第一节 电力负荷常用计算公式	272
一、三相用电设备组的计算负荷	272
二、单相设备组等效三相负荷的计算	281
三、工厂供电功率损耗和电能损耗计算	285
四、工厂计算负荷及年耗电量的计算	289
五、尖峰电流的计算	291
第二节 短路电流计算公式	293
一、三相短路电流的计算	293
二、两相短路电流和单相短路电流的计算	302
第三节 高低压电器选择与校验的计算公式	303

一、电气设备选择与校验的一般原则	303
二、电力变压器的选择	304
三、互感器的选择与校验	306
四、高压熔断器的选择与校验	315
五、低压熔断器的选择与校验	316
六、低压断路器选择与校验	319
七、高低压设备选择与校验项目表	325
第四节 导线与电缆的选择计算公式	326
一、按允许载流量选择导线和电缆截面	326
二、按经济电流密度选择导线和电缆截面	335
三、按允许电压损失选择导线和电缆截面	337
四、线路施工计算	344
第五节 接地、防雷装置的设计计算公式	352
一、自然接地体工频接地电阻的近似计算	352
二、人工接地体工频接地电阻的近似计算	356
三、接地电流的计算与接地电阻的要求	363
四、接地装置的设计计算步骤及公式	364
五、变电所及电力线路避雷针保护范围的计算	366
六、变电所及电力线路避雷线保护范围的计算	371
七、建筑物年预计雷击次数的经验计算	372
八、单避雷针及单避雷线对建筑物的保护范围计算	374
第六节 照度计算	376
第七节 无功功率的补偿计算公式	384
一、并联电容器的型号	384
二、并联电容器补偿容量和电容器台数的确定	385
三、异步电动机无功补偿容量的确定	386
四、异步电动机无功补偿节电计算	389
第五章 电子技术常用单元电路的计算公式	392
第一节 晶体管单元放大电路的计算公式	392
一、基本接法放大电路的计算公式	392
二、四种基本类型负反馈放大电路的计算公式	399
三、差分放大电路的计算公式	406
四、常用功率放大电路的计算公式	412

第二节 集成运放基本单元电路的计算公式	415
一、常用信号运算电路的计算公式	415
二、常用信号滤波电路的计算公式	426
三、常用信号发生电路振荡频率的计算公式	435
第三节 常用整流滤波电路的分析计算公式	443
一、常用整流电路的分析计算公式	443
二、常用整流滤波电路的分析计算公式	452
第四节 常用数字电路单元的计算公式	453
一、逻辑代数的数制及其相互转换	453
二、逻辑代数的基本运算公式	455
三、常用逻辑门电路的符号、表达式和功能	459
四、触发器电路的逻辑符号、特性方程及说明	465
第五节 常用晶闸管电路的计算公式	468
一、晶闸管整流电路的基本电量公式	468
二、晶闸管主电路元件参数的计算公式	474
三、常用晶闸管触发电路参数的选择与计算	475
第六章 变频器实用计算	477
一、变频器应用	477
二、变频器启动时间与制动时间的确定	483
三、变频器的三种电气制动参数计算	485
四、电抗器和滤波器的计算	496
五、载波频率对运行影响和正确选择	507
六、动态调节功率的 U 形外特性变频器节电计算	508
七、电压型变频器直流环节滤波电容的计算	511
第七章 其他常用电气设备计算公式	515
第一节 常用电气设备计算公式	515
一、电阻炉计算	515
二、弧焊变压器计算	527
第二节 各种机械设备动力计算	530
一、电动机容量的选择方法	530
二、金属切削机床用电动机功率计算	533
三、起重机电动机功率计算	542
四、输送机电动机功率计算	545

第三节 变频器应用及计算	552
一、负载的机械特性及节电率估算	552
二、空气压缩机用变频调速实现节能计算	557
三、锅炉引风机与鼓风机的节电计算	559
四、阀门开度与流量的关系计算	561
五、几种典型负载电动机功率的计算	564
参考文献	568

第一章 电工学常用计算公式

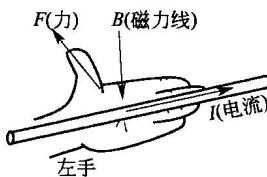
第一节 电工学常用定律

一、电磁学的基本定律及定则公式

表 1-1 电磁学的基本定律、定则与说明

序号	项目	公式与说明
1	电荷守恒定律	<p>在一个与外界隔离的系统内,无论进行怎样的物理过程,其中正负电荷的代数和始终保持不变。例如两个物体相互摩擦,一个物体带正电荷时,另一个物体必带等量的负电荷。又如一个负电荷与一个正电荷在适当的条件下相遇时,会发生“湮灭”而转化为两个光子,正负电荷的代数和为零。</p>
2	库仑定律	<p>在真空中,两个点电荷 q_1、q_2 间相互作用力 F 的大小,与 q_1、q_2 的乘积成正比,与 q_1、q_2 之间距离 r 的二次方成反比,即</p> $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$ <p>式中 F——两点电荷间的作用力,简称静电力,又称库仑力, N; K——静电力恒量, $K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$; q_1、q_2——两个点电荷所带的电荷量 C; r——两个点电荷间的距离, m; F 的方向沿着 q_1、q_2 的连线,且同性电荷相斥,异性电荷相吸。</p>
3	电场强度	<p>为了描述电场中不同位置点电荷受力的差异,规定对电场中的某一确定点,点电荷所受到的电场力与它所带电荷量的比值称为该点的电场强度,简称场强,用符合 E 表示,其公式为</p> $E = \frac{F}{q}$ <p>式中 E——电场强度, N/C;</p>

续表

序号	项目	公式与说明
4	电位	<p>为了描述电场的能的性质,把电场中某点电荷的位能与该电荷所带电荷量之比,定义为该点的电位,用 V 表示,即</p> $V = \frac{A}{q}$ <p>式中 A——电场中某确定点电荷的位能, J; V——电场中某确定点电位, V;</p>
5	电压	<p>若电场中有 a、b 两点,设 a 点电位为 V_a, b 点电位为 V_b,把 $(V_a - V_b)$ 叫 a、b 两点的电位差,又叫 a、b 两点间的电压,用 U_{ab} 表示,即</p> $U_{ab} = V_a - V_b$ <p>a 点的位能是 qV_a, b 点的位能是 qV_b,当点电荷从 a 点移到 b 点时,电场力将对电荷做功 W,使其位能的减小量为 $q(V_a - V_b)$,即</p> $W = A = q(V_a - V_b) = qU_{ab}$ $U_{ab} = \frac{A}{q}$ <p>电场中 a、b 两点间的电压等于电场力将单位电荷从电场中 a 点移到 b 点所做的功。</p>
6	楞次定律	<p>闭合回路中或线圈中感生电流的方向,总是要使感生电流所产生的磁场阻碍引起感生电流的磁通量的变化。 此定律表明电磁现象也符合普遍的“能量守恒定律”。</p>
7	法拉第电磁感应定律	<p>闭合回路或线圈中感应电动势 e 的大小,与穿过闭合回路或线圈的磁通量的变化率 $d\Phi/dt$ 成正比,即</p> $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$ <p>式中 e——感应电动势, V; N——线圈匝数; 负号——反映感应电动势的方向; Φ——线圈磁通, Wb; t——磁通或磁通链发生变化的时间, s。 此式亦为楞次定律的数学表达式。</p>
8	左手定则	<p>载流导体在磁场中受力(电磁力)的方向,与磁场方向和电流方向之间符合下列关系:伸开左手手掌,使拇指与其他四指垂直,使掌心迎着磁力线方向,四指指向导体电流方向,则拇指所指即导体受力(电磁力)的方向,见图 1-1。</p> <p>此定则亦称“电动(机)定则”。</p>  <p>图 1-1 左手定则示意图</p>

续表

序号	项目	公式与说明
9	右手定则	<p>导体在磁场中作切割磁力线的运动时,导体内会感应出电动势,此感应电动势的方向,与导体运动的方向及磁力线的方向之间符合下列关系:伸开右手手掌,使拇指与其他四指垂直,使掌心迎着磁力线方向,拇指指向导体运动的方向,则四指所指即导体内感应电动势的方向,见图 1-2。此定则亦称“发电(机)定则”。</p> <p>图 1-2 右手定则示意图</p>
10	右手螺旋定则	<p>1. 载流线圈产生的磁场(磁力线)方向,可用右手螺旋定则[图 1-3(a)]确定:用右手握住线圈,四指指向电流方向,则与四指垂直的拇指所指即线圈内磁场(磁力线)的方向。</p> <p>2. 载流直导体周围的磁力线方向,也可用右手螺旋定则[图 1-3(b)]确定:用右手握住导体,与四指垂直的拇指指向导体电流方向,则四指所指即导体周围磁力线的方向。</p> <p>图 1-3 右手螺旋定则示意图</p>

实例

【实例 1-1】 在图 1-4 中,导体 cd 沿着导电滑轨运动到 $c'd'$, 试用楞次定律判定 cd 中感应电流的方向。

解: 运用楞次定律判定 cd 中感应电流方向可按如下步骤进行。

(1) 确定原磁通方向: 如图 1-4 所示,原磁通方向垂直于纸面向内。

(2) 确定原磁通变化趋势: cd

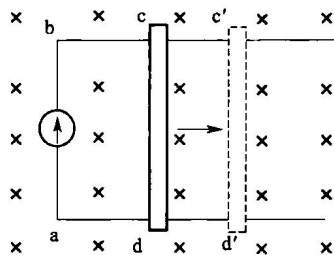


图 1-4 实例 1-1 图

右滑，abcd 闭合回路内原磁通增加。

(3) 判断感应电流产生的磁通方向：因原磁通增加，感应电流将产生与其反向的磁通阻止原磁通增加，所以感应电流产生的磁通垂直于纸面向外。

(4) 利用右手螺旋定则判定出感应电流方向为由 d 到 c。

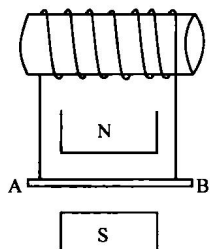


图 1-5 实例 1-2 图

【实例 1-2】 如图 1-5 所示，置于磁场中的导体 AB 通过导线与线圈接头相连且可自由摆动。在条形磁铁的 N 极迅速插入和拔出线圈的两种情况下，导体 AB 将怎样运动？

解：运用电磁感应定律、右手螺旋定则和右手定则判定

导体 AB 运动方向可按如下步骤进行。

(1) 在条形磁铁的 N 极迅速插入线圈的情况。

① 根据电磁感应定律、右手螺旋定则可知，当条形磁铁的 N 极迅速插入线圈时，导体 AB 中产生感应电流的方向为：由 B 指向 A。

② 根据右手定则可知，导体 AB 在磁场中受磁场力的作用向纸面里运动。

(2) 在条形磁铁的 N 极迅速拔出线圈的情况。

① 根据电磁感应定律、右手螺旋定则可知，当条形磁铁的 N 极迅速拔出线圈时，导体 AB 中产生感应电流的方向为：由 A 指向 B。

② 根据右手定则可知，导体 AB 在磁场中受磁场力的作用向纸面外运动。

【实例 1-3】 穿过某线圈的磁通在 0.2s 内，均匀地由 1.8×10^{-3} Wb 减小到 0，线圈中感应电动势为 3.6V，试求该线圈的匝数 N 。

解：由电磁感应定律可知：

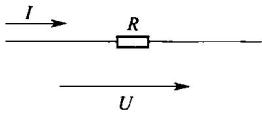
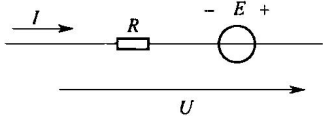
$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

则该线圈的匝数为 $N = -e \frac{dt}{d\Phi} = -3.6 \times \frac{0.2}{-1.8 \times 10^{-3}} =$

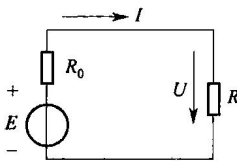
400 匝

二、电路的基本定律

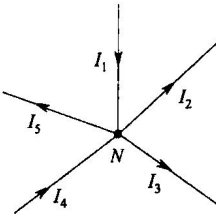
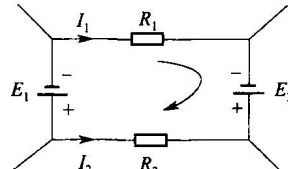
表 1-2 电路的基本定律、公式与说明

序号	项目	公式与说明
1	欧姆定律	这是表征线性电路中电流与电压(或电动势)间存在着线性关系这一规律的定律。由德国物理学家欧姆在 1827 年发现。
1.1	一段电路的欧姆定律	<p>通过一段电路的电流 I, 等于该段电路两端的电压 U 除以该电路的电阻 R 或阻抗 Z;</p> <p>(1) 对直流电路 $I = U/R$</p> <p>(2) 对交流电路 $\dot{I} = \dot{U}/Z$ 或 $I = U/ Z$</p>  <p style="text-align: center;">图 1-6 一段电路</p>
1.2	一段包含电源电路的欧姆定律	<p>见图 1-7, 通过一段电路的电流 I, 等于该段电路两端的电压 U 与电源电动势 E 代数和除以该电路的电阻:</p> <p style="text-align: center;">对直流电路 $I = (\pm U \pm E)/R$</p> <p>式中 E——电源的电动势, V;</p> <p>\pm——当电压 U 的方向和电流 I 的方向一致时, 电压 U 取正值(+); 反之, 电压 U 取负值(-)。当电动势 E 的方向和电流 I 的方向一致时, 电动势 E 取正值(+); 反之, 电动势 E 取负值(-)。</p>  <p style="text-align: center;">图 1-7 一段包含电源电路</p>

续表

序号	项目	公式与说明
1.3	全电路欧姆定律	<p>通过有源闭合回路的电流 I, 等于该电路的电动势 E 除以该电路总电阻 R_{Σ} (含电源内阻和外电路电阻) 或总阻抗 Z_{Σ} (含电源内阻和外电路的阻抗);</p> <p>(1) 对直流电路 $I = E/R_{\Sigma}$</p> <p>(2) 对交流电路 $\dot{I} = \dot{E}/Z_{\Sigma}$ 或 $I = E/ Z_{\Sigma}$</p> <div style="text-align: right;">  <p>图 1-8 全电路</p> </div>
2	电功	<p>亦称为电能, 电流在一段电路上所做的功, 与这段电路两端的电压、通过的电流以及通电时间成正比, 可用下式表示为</p> $W = IUt$ <p>式中 W——电功, 亦称电能, J; I——通过的电流, A; U——电路两端的电压, V; t——通电时间, s。</p> $1\text{J} = 1\text{V} \times 1\text{A} \times 1\text{s}$ <p>这就是说, 若负载两端的电压为 1V, 通过的电流为 1A, 在 1s 内所做的功就是 1J(焦耳)。工程上常用千瓦小时(kW·h)作单位, 1kW·h 也称为 1 度电。</p> <p>电功亦可表示为</p> $W = \frac{U^2}{R}t \quad \text{或} \quad W = I^2Rt$
3	电功率	<p>电流的功率在数值上等于电流在每秒钟内所做的功, 可用下式表示:</p> $P = \frac{W}{t};$ <p>式中 P——电流的功率, W; W——电流的功, J; t——时间, s。</p> <p>1W 就是 1s 内做 1J 的功。</p> <p>上式也可表示为</p> $P = \frac{W}{t} = IU = \frac{U^2}{R} = I^2R$

续表

序号	项目	公式与说明
4	焦耳-楞次定律	<p>电流通过导体时,导体中所产生的热量与导体本身的电阻、电流的平方和电流通过的时间成正比,这个关系叫做焦耳-楞次定律。</p> <p>1844—1845年,俄国科学家楞次和英国科学家焦耳,由大量实验得出:电阻为 1Ω 的导体内,通过的电流为 $1A$ 时,在 $1s$ 内能产生 $0.24cal$ 的热量。焦耳-楞次定律的公式为</p> $Q=0.24I^2Rt=0.24IU_t$ <p>式中,Q 的单位是 $cal(卡)$, $1000cal=1kcal$</p> <p>以上为非法定计量单位,应改用我国法定计量单位,则有如下公式:</p> $Q=I^2Rt=IU_t$ <p>式中,Q 的单位为 J, $1cal=4.1868J$。</p>
5	基尔霍夫第一定律	<p>又称“基尔霍夫电流定律”(KCL),是表征电路中“电流连续性”这一规律的定律。</p> <p>KCL 表述:对电路中的任一节点,在任一瞬间,流入或流出节点的电流代数和恒等于零。</p> <p>(1)对直流电路 $\Sigma I=0$</p> <p>(2)对交流电路 $\Sigma i=0$ 或 $\Sigma \dot{i}=0$</p> <p>如流入节点的电流取正,则流出节点的电流取负,对图 1-9 所示的节点 N 有下列关系(直流)。</p> $I=I_1-I_2-I_3+I_4-I_5=0$ <div style="text-align: right;">  <p>图 1-9 基尔霍夫第一定律</p> </div>
6	基尔霍夫第二定律	<p>又称“基尔霍夫电压定律”(KVL),是表征电路中“电位单值性”这一规律的定律。</p> <p>KVL 表述:对电路中的任一回路,在任一瞬间,沿此回路的各段电压的代数和恒等于零:</p> <p>(1)对直流电路: $\Sigma U=0$</p> <p>(2)对交流电路: $\Sigma u=0$ 或 $\Sigma \dot{U}=0$</p> <p>电压的参考方向与所取回路绕行方向一致时取正,参考方向与绕行方向相反时取负。对图 1-10 所示的回路,有下列关系</p> $E_1+I_1R_1-E_2-I_2R_2=0$ <div style="text-align: right;">  <p>图 1-10 基尔霍夫第二定律</p> </div>

实例

【实例 1-4】 如果人体最小的电阻为 800Ω ，已知通过人体的电流为 50mA 时，就会引起呼吸器官麻痹，不能自主摆脱电源。试求安全工作电压是多少？

解：由欧姆定律可知安全电压为

$$U = IR = 0.05 \times 800 = 40\text{V}$$

【实例 1-5】 某电炉，已知炉丝电阻为 10Ω ，如接在 220V 电路上，求电流为多少？如改接到 380V 电路上，电流又为多少？

解：当电压为 220V 时，电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{10} = 22\text{A}$$

如改接到 380V 电路上，电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{380}{10} = 38\text{A}$$

【实例 1-6】 相距 1000km 的甲乙两地架两条导线，电阻共为 800Ω 。如果在甲乙间的某处两导线发生短路，则用如下办法可以测出短路处距甲地的距离。即分别将甲乙两地的电器与导线断开，在甲处将 20V 的电压接在两导线端点上，测得电流为 32mA ，请你根据这些数据求出短路处距甲地的距离。

解：由 $U=20\text{V}$ 、 $I=0.032\text{mA}$ ，求出甲地到短路处两导线的电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{20}{0.032} = 625\Omega$$

双导线每千米导线电阻为 $R' = 8\Omega/\text{km}$ ，所以短路处距甲地的距离为

$$S = \frac{R}{R'} = \frac{625}{8} = 78.125\text{km}$$

【实例 1-7】 如图 1-8 所示，已知电源电动势 $E=150\text{V}$ ，负载两端的电压 $U=100\text{V}$ ，电源内阻 $R_0=1\Omega$ ，求电流 I 、负载电阻 R 和电源内部电压降 U_0 。

解：由欧姆定律可知，电流为