

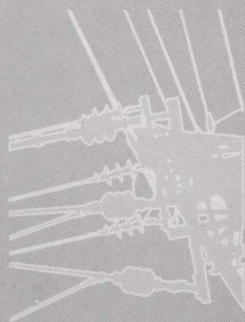
DIANGONG ZUOYE KAOSHI ZHIDAO

全国特种作业人员安全技术培训考试辅导教材

《电工作业》

考试指导

江志德 ©编著



气象出版社
China Meteorological Press

《电工作业》考试指导

江志德 编著

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书以本社出版的全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材《电工作业》为基础,按照《电工作业》的章节顺序,采用一问一答的形式,对其中涉及的主要问题和难点进行详细讲解,以期对特种作业人员的电工作业考试提供指导。本书用语通俗易懂,结构简单明了,既可作为特种作业考试辅导的培训用书,也可用于指导电工作业人员的实际工作。

图书在版编目(CIP)数据

《电工作业》考试指导/江志德编著. —北京:气象出版社, 2009. 10

全国特种作业人员安全技术培训考试辅导教材
ISBN 978-7-5029-4827-6

I. 电… II. 江… III. 电工-安全技术-技术培训-
自学参考资料 IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 177122 号

Diangong Zuoye Kaoshi Zhidao

《电工作业》考试指导

江志德 编著

出版发行: 气象出版社

地址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总编室: 010-68407112

网址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑: 彭淑凡 张盼娟

封面设计: 王伟

印刷: 北京中新伟业印刷有限公司

开本: 850 mm×1168 mm 1/32

字数: 149 千字

版次: 2009 年 10 月第 1 版

定价: 15.00 元

邮政编码: 100081

发行部: 010-68408042

E-mail: qxcbs@263.net

终审: 黄润恒

责任技编: 吴庭芳

印张: 5.75

印次: 2009 年 10 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

这本小册子可作为《电工作业》(气象出版社)一书的补充资料,也算是一些注释。因《电工作业》部分章节个别地方说得比较简略,不够详细透彻,为给读者提供一点便利,将这本小册子奉献给大家,想帮读者更容易理解《电工作业》的内容。

本资料所列出的问题,按《电工作业》的章节顺序来加以说明,很可能挂一漏万,也可能还没说清楚,甚至有错误不妥之处,恳请读者批评指正!

参与编写本书的人员还有孙隆福、陈少科、王进军、王海勇、梁锋、薛艳梅等同志,在此表示感谢!

编者

2009.8

目 录

前言

第一章	电工基础	(1)
第二章	触电伤害	(17)
第三章	电气安全工作措施	(21)
第四章	安全标识、用具	(32)
第五章	直接接触电击防护	(34)
第六章	间接接触电击防护	(41)
第七章	防 火	(48)
第八章	防雷保护	(52)
第九章	高压配电装置	(59)
第十章	变压器	(66)
第十一章	互感器	(82)
第十二章	变配电与倒闸操作	(91)
第十三章	无功补偿	(107)
第十四章	低压电器	(118)
第十五章	电气线路	(126)
第十六章	异步电动机	(137)
第十七章	手持式电动工具和移动设备	(154)
第十八章	照 明	(160)
第十九章	电工测量	(171)

第一章 电工基础

1. 欧姆定律

《电工作业》书中介绍的这个定律是部分电路欧姆定律,它适用于库仑电场,金属导电体,电解液导电,但不适用于气体导电。

还有全电路的欧姆定律,如图 1-1 所示为只含有一个直流电源的电路,电源 E 内部有电阻 $r_{\text{内}}$, U 表示电阻 R 上的电压降, $U_{\text{内}}$ 表示内阻 $r_{\text{内}}$ 上的电压降,全电路中电位升高的数值即电动势的大小等于电压降落的数值

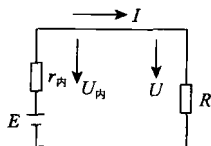


图 1-1 欧姆定律
全电路示意

$$E = U + U_{\text{内}} = IR + I r_{\text{内}}$$

$$\therefore I = \frac{E}{R + r_{\text{内}}}$$

含有电源的电路中,电流的大小与电路中电源电动势的大小成正比。

当电路开路时: $I = 0$, $I r_{\text{内}} = 0$, $U = E$, 电源两端电压等于电源电动势。

当电源被短路时: 外电阻 $R = 0$, $U = 0$, $I = \frac{E}{r_{\text{内}}}$, 而 $r_{\text{内}}$ 极小, 此时电流极大, 称为短路电流。

2. 电流的热效应

电流通过电阻时,电阻的温度要升高,此时电阻吸收的电能转换成为热能。

$$\text{电能 } W = UI t = (IR) I t = I^2 R t$$

$$\text{热能 } Q = W$$

$$\therefore Q = I^2 R t$$

电功、电能的单位是瓦·秒(W·s)即焦耳(J)。

常用千瓦·小时(kW·h)计算电流所做的功,而 1 kWh = 860 千卡,换算成焦耳为 1 kWh = 3.6×10^6 J (1 卡 = 4.1868 J)

3. 电阻的串联

$$U_1 = IR_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} \cdot R_1$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

外加电压在各串联电阻上按电阻值大小成正比例分配,即电阻大的得到的电压高,电阻小的电压低(见图 1-2)。

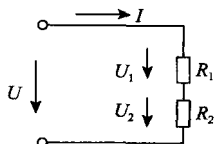


图 1-2 串联电阻

4. 电阻的并联

当电压不变时,电阻并联得越多,总电流就越大,且为各支路电流之和。

各支路电流与总电流之比等于相应支路电阻与总电阻的反比(见图 1-3)。

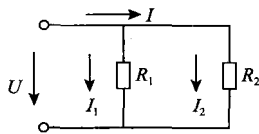


图 1-3 并联电阻

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$$

5. 磁感应强度(磁通密度)

磁铁和载流导线周围的磁场是通过它对另一导线的作用力而表现出来的,这叫电磁力,用磁感应强度 B (单位:T)表示,这个物理量说明磁场强度的大小和方向。

$$B = \frac{F}{IL}$$

式中 F ——电磁力, N(牛顿);

I ——导线电流, A;

L ——导线长度, m。

1 T(特斯拉) = 10^4 GS(高斯)。

6. 磁通

磁感应强度 B 和垂直于磁场方向的面积 S 的乘积叫做通过这块面积的磁通 Φ , 其单位为韦伯(Wb)。

$$\Phi = B \cdot S$$

式中 B ——Wb/m²;

S ——m²。

1 Wb = 10^8 MX(马克斯威尔)。

7. 电磁力

载流导线在磁场中会受到电磁力的作用, 其作用力的方向可以用电动机左手定则确定,

$$F = BLI$$

两根平行载流导线间有电磁力的作用时, 若电流方向相同, 则相互吸引; 反向时则互相排斥。

8. 角频率

正弦量交流电交变的快慢可用角频率 ω 来表示, 常以弧度/秒(rad/s)为单位。

我们常说的弧度就是弧度角, 它与角度制换算公式为 $180^\circ = \pi \times \text{弧度}$ 。弧度角的定义是圆周上取一段弧, 令弧长等于半径, 则其所对的圆心角就叫弧度角, π 是圆周率, 是圆周长与直径的比值, 圆周长 = $\pi \times \text{直径} = 2\pi \times \text{半径}$, 所以 $360^\circ = 2\pi$ 弧度角。用弧度来测量角的时候, “弧度”两字常略去不写, 如 $\pi = 180^\circ$, $\frac{\pi}{2} = 90^\circ$ 。但应注意在运算时, 弧度与角度不能直接加减, 需换算成统一单位后计算, $1^\circ = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \text{弧度}$ 。

线圈在磁极下旋转一圈所需的时间是 T , 经历的角度是 360° 。

$$\therefore 360^\circ = \omega T \quad \omega = \frac{360^\circ}{T}$$

$$\text{又} \because 360^\circ = 2\pi \quad \therefore \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

周期 T 、频率 f 和角频率 ω , 只要知道其中一个就可以求出另外两个的数值。

9. 有效值

指交流电在一个周期内通过某一电阻产生的热量与同一时间内直流电通过这一电阻产生的热量相等的等效值。

交流电的有效值又称方均根值, 是所含基波、各高次谐波及直流量三种量的平方和开方。

为什么交流电要用有效值来表示呢? 因电流的主要表现是它的热效应和机械效应, 用有效值表示, 则和同样大小的直流电流具有相同的热效应和机械效应, 因此用有效值更能清楚表明交流电的实际作用。

正弦电流的有效值等于最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 或 0.707 倍。

直流电流为 I , 电阻为 R , 则消耗的功率 $P_d = I^2 R$ (相当于正弦电流一个周期的时间内)。如图 1-4 所示。

同一电阻交流电流为 i 时, 消耗的功率 $P_A = i^2 R$, i 在一个周期内有正有负, 但电阻上消耗的功率总是正值, $P_A = \frac{1}{2} P_m = \frac{1}{2} I_m^2 R$ 。如图 1-5 所示。

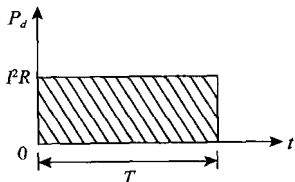


图 1-4 直流电流消耗功率

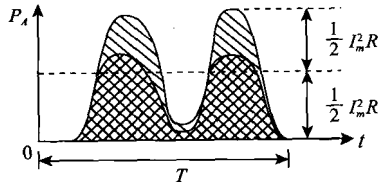


图 1-5 交流电流消耗功率

$$\text{则 } I^2 R = \frac{1}{2} I_m^2 R \quad \therefore I = \sqrt{\frac{1}{2} I_m^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m = 0.707 I_m$$

10. 欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 写成 $R = \frac{U}{I}$ 时, 其电阻 R 是否与电压 U 成正比变化呢?

电阻 R 只与材料的性质、长度及横截面积有关, 而与导体两端的电压或通过的电流无关。虽然导体两端没有电压存在, 导体中没有电流通过, 但是该导体的电阻是客观存在的, 其阻值是不变的。导体电阻是常数, 不随 U 和 I 的变化而改变。

11. 在磁铁外部, 磁力线的方向由 N 极出发回到 S 极, 而在磁铁内部磁力线则由 S 极到 N 极。同性磁极相互排斥, 异性磁极相互吸引。

12. 磁铁插入线圈时, 线圈中的磁通将增加。磁铁从线圈中抽出时, 线圈感应电流产生磁通的方向与磁铁磁通方向相同。这就是楞次定律所说: 感应电流的磁场方向和原磁通变化趋势相反, 即当线圈中磁通要减少时, 感应电流产生的磁场将阻碍它减少。

13. 若干个电阻串联, 总电阻为各个电阻之和, 当电压不变时, 电路中的电阻串联得越多, 电流越小。

14. 若干个电阻并联, 总电阻小于参加并联的电阻中最小的阻值, 当电压不变时, 电路中电阻并联得越多, 总电流越大。

15. 串联电阻中, 各处的导体粗细不一样, 截面不同, 但通过各导体的电流是相等的。

16. 有 3 个电阻,阻值为 $R_1 > R_2 > R_3$, 并联后 R_3 消耗的功率最大。

有 3 个电阻,阻值仍为 $R_1 > R_2 > R_3$, 串联接到电压为 U 的电源上,电阻 R_1 消耗的电功率最大。

从并联计算公式 $R = \frac{U^2}{P}$ 可看出,电阻负载并联时因为电压相等,所以功率与电阻成反比。

17. 载流导线周围的磁场是由导线中通过的电流产生的,磁场的强弱决定于电流的大小,磁场的方向决定于电流的方向(可由单导线右手定则和右螺旋定则判定),磁场对载流导体有作用力,其方向与电流方向有关(可用左手定则判断)。

18. 磁链

磁链 Ψ 是线圈匝数 N 和磁通 Φ 的乘积。 $\Psi = N\Phi$, 即磁通与线圈的每一匝相互环链起来。

$$\text{自感电动势 } e_L = \frac{\Delta \Psi}{\Delta t} \text{ (磁链变化率)}$$

19. 电感

磁通和电流之间的关系是这样的:通过线圈的电流愈大产生的磁场愈强,穿过线圈的磁通愈多,磁链愈大,线圈的磁链与电流成正比。其比值叫自感系数,又叫电感。

$$L = \frac{\Psi}{i}$$

式中磁链 Ψ 单位是韦,电流 i 单位是安,电感 L 单位叫亨(H)。

当一个空心线圈结构一定时,电感是一个常数,不随线圈中电流的大小而变化,决定于线圈的尺寸和匝数。

一个铁芯线圈的电感却随电流变化而变化,此为非线性电感。

20. 互感电动势是 A 、 B 两个线圈通过磁通来联系——磁耦合。

引起线圈互感电动势的磁通是由另外一个线圈中的电流产生的。

$$e_m = -M \frac{\Delta i}{\Delta t} (M \text{ 为互感系数})$$

互感电动势的方向与互感磁通及线圈 B 的绕向有关, 当电流由一个线圈的“*”端流入时, 在另一个线圈中电流由“*”端流出。

21. 磁场能量与线圈电流的平方及线圈电感成正比

$$W_L = \frac{1}{2} I^2 L$$

线圈电流愈大, 电感愈大, 磁场中储存的能量愈多。

电感线圈的物理性质如下:

- (1) 电感线圈能储存磁场能量;
- (2) 电感线圈中的电流不能突变;
- (3) 电感线圈中通以恒定电流不产生自感电动势。

22. 只有在线圈中通有变化的电流 i 时, 线圈两端才会产生自感电压 u_L , 所以不能说先有电压 u_L 才有电流 i 。

u_L 的大小决定于 i 的变化率。

$$u_L = -e_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

当 i 最大时, 变化率 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 为 0, 此时 $u_L = 0$;

当 $i = 0$ 时, 变化率 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 最大, 此时 u_L 最大。

23. 正弦电量瞬时值、最大值、有效值、平均值

正弦电量瞬时值: 是指该电量随时间按正弦规律变化过程中

任意瞬间的值,它是时间的函数,具有大小和方向的含义。

正弦电量最大值:指瞬时值中的最大者,它决定了正弦量的变化范围,也就是振幅大小。

正弦电量有效值:是正弦电量的瞬时值在一个周期内的方均根值,其大小等于最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍。它表明正弦电量的实际作用,在做功效应上与同等大小的有效值直流电量等价。

正弦电量平均值:等于最大值的 $\frac{2}{\pi}$ 倍,即 0.637 倍,那么最大值等于平均值的 $\frac{\pi}{2}$,即 1.57 倍。

24. 正弦交流电瞬时值函数式

按时间正弦函数的规律而变化称为正弦电流、电压,对应的波形为正弦波。

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi)$$

(1) 纯电阻电路

① 电压与电流相位相同时,

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin \omega t$$

② 电流电压瞬时值关系服从欧姆定律 $u = iR$

(2) 纯电感电路

① 电路电流相位滞后电压相位 90° 时,

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

② 电感元件两端电压的有效值(或最大值)与通过电感元件的电流有效值(或最大值)之比等于感抗 X_L 。

$$X_L = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}$$

③感抗与电感 L 和频率 f 成正比。

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

(3) 纯电容电路

①电路电流相位超前电压相位 90° 时,

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

②电容元件两端电压的有效值(或最大值)与通过电容元件的电流有效值(或最大值)之比为容抗 X_C 。

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}$$

③容抗与电容 C 和频率 f 的乘积成反比。

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

25. 欧姆定律表明电流与电压的实际方向总是一致的。

$$I = \frac{U}{R}$$

U 为正值, I 也为正值。若 U 的实际方向与其正方向相反为负值时, I 也为负值, $I = -\frac{U}{R}$ 。 U 和 I 总是同号的代数量。

26. 电感电路中电流滞后电压 90° 。

纯电感正弦电路中的电流滞后于电感电压 90° , 是由于自感电动势正比于电流变化率的缘故。

电压超前电流是否先有电压后有电流呢? 而在线电容电路中电流超前电压, 又是否先有电流后有电压呢?

之所以这样定义是表示正弦电路进入稳态后, 电压与电流变化步调不一致。两者存在相位差, 看谁先到达最大值, 在所有时间里, 电压和电流同时存在, 并不是谁先谁后。

27. 有电流是否就有电压呢？反之呢？

电路中有电流流过就有电压存在，电流流过导体，导体两端就有电压，根据电流形成条件可知，只有在导体两端存在电压时，导体中才会有电流通过。

没有电流就无电压这一说法不确切。因为对电源来说，当电源开路时，虽然电源无电流通过，但电源两端存在电压，其大小为电源电动势的大小；而对负载而言，若负载中无电流通过，说明负载两端没有电压。

28. 相序、相别

相序是相位的顺序，即三相电动势达到最大值的先后次序。

相别是区别不同相，用不同的颜色来表示。

同相序所对应的各相不一定同相位：如一组交流电，三相的初相角分别为 -120° ， 0° ， $+120^\circ$ ，另一组为 0° ， $+120^\circ$ ， -120° ，相序相同但对应的相位却不相同。

29. 电角度

电角度是把电机一对极在定子内圆上所占的空间定义为 360° 。与机械角度不同，他们之间的关系是：

$$\text{电角度} = P \times \text{机械角度}$$

其中， P 是电机的极对数。

30. 同相反相

同相是指其相位差为零。

反相是指相位差为 180° 。

31. 中性线的作用

中性线的作用在于当负荷不对称时，使其各相电压仍然对称，能正常工作，如果一相断线，也只影响该相负荷，不会影响其他两

相,而且在电路发生故障时,还能减小严重程度。

32. 负载的星形连接

指将三相负载的末端连成节点(中性点),负载的首端分别接到三相电源上。

(1)线电流等于负载的相电流, $I_L = I_\phi$;

(2)各相负载所承受的电压为对称的电源相电压。三相四线制中,线电压等于 $\sqrt{3}$ 倍相电压, $U_L = \sqrt{3}U_\phi$ 。

33. 负载的三角形连接

指三相负载分别接在三相电源的两根相线之间。

(1)各相负载所承受的电压为对称的电源电压, $U_L = U_\phi$;

(2)当负载对称时,线电流等于负载相电流的 $\sqrt{3}$ 倍, $I_L = \sqrt{3}I_\phi$ 。

34. 对称三相负载

对称三相负载就是三相负载的阻抗相等,阻抗角相等。

35. 电容器能“隔直通交”

如果电容器两端的电压大小和方向都是恒定不变的直流电压,则电容器不会有电流流过;但在交流电路里,由于交流电压的大小和方向随时间不断地变化,电容器就会出现电流。

36. 电容器充电后,在极板上储集了电荷,正负电荷在介质中建立了电场,就有电场能

$$W_c = \frac{1}{2} C U_c^2 \quad (\text{J})$$

式中 C ——电容器容量,F;

U_c ——电压器电压,V。

37. 感性电路

含有 R 、 L 和 C 的正弦交流电路中,电路端电压超前于电流,此电路中电感的作用大于电容的作用,整个电路呈感性,称为感性电路。

38. 容性电路

R 、 L 和 C 电路中,电路的端电压滞后于电流,电压滞后于电流的相角差 ϕ 为负值,则电路呈现容性,即称为容性电路。

39. R 、 L 和 C 三个参数的影响

在交流电路中,除电阻 R 外, L 和 C 对电路都有作用,电感 L 中的感应电动势和电容 C 中的电流均不等于零。在直流电路中, L 和 C 仅在电路断开和接通等切换状态瞬间对电路有作用,而在稳定状态下, L 可视为短路, C 可视为开路。

40. 电容器的物理性质

(1) 电容器能储存电场能量;

(2) 电容器两端的电压不能突变;

(3) 电容器在直流电路中相当于断路,在交流电路中则有变化的电流通过。

41. 电容器在充放电过程中,电路中有电流流过,但其大小在每一瞬间是不同的

$$I_c = \frac{\Delta Q_c}{\Delta t}$$

电容器极板上储存的电荷愈多,电容器电压愈高, $Q = CU$ 。

电容器电量的变化是 ΔQ_c ,对应的电容器电压变化为 ΔU_c 。

$$\Delta Q_c = C \Delta U_c \qquad I_c = \frac{\Delta Q_c}{\Delta t} = C \frac{\Delta U_c}{\Delta t}$$

上式说明任一瞬间电容器充放电电流与其两端电压的变化速