

汽车维修电工

汽车运输职工教育研究会主编

中级技术培训教材

工

Qiche

Weixiu

Diangong

Zhongji

Jishu

Peixun

Jiaocai

上海科学技术出版社

汽车维修电工

中级技术培训教材

汽车运输职工教育研究会 主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书共四篇:第一篇介绍汽车电工与电子技术基础知识;第二篇介绍汽车电器设备的结构与原理;第三篇介绍汽车电器的检测、故障诊断与修理;第四篇介绍中级(四级、五级、六级)汽车维修电工应会考核内容及其实例。

本书的内容是在初级技术培训基础上的进一步加深。全书文字通俗易懂,条理清晰,实用性强,可作为汽车维修电工中级技术培训教材,也可供汽车修理工、驾驶员和有关技术人员及有关专业学校师生自学阅读。

汽车维修电工中级技术培训教材

汽车运输职工教育研究会 主编
上海科学技术出版社出版、发行
(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所经销 常熟市印刷八厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 391 000

1994年1月第1版 1999年10月第4次印刷

印数 23 001—28 200

ISBN 7-5323-3388-4/U·64

定价:17.70元

如遇印装质量问题,可直接向承印厂调换

地址:常熟市梅李镇通江路21号 邮编:215511

前 言

《汽车维修电工中级技术培训教材》是我会编写的汽车类技工培训系列教材的一种。该系列教材包括汽车维修工、汽车驾驶员、汽车维修漆工、汽车轮胎维修工、汽车维修钣金工等工种。在编写过程中,得到交通部教育司的支持。

《汽车维修电工中级技术培训教材》系由本会委托湖南省汽车运输总公司、上海市交通运输局人教处,根据交通部 1992 年下发的《交通行业工人技术等级标准》(送审稿)的中级汽车维修电工应知应会内容,和本研究会制定的《汽车维修电工中级技术培训教学计划、教学大纲》组织编写。

本书的编写注重职后培训的教学特点,并做到与初级技术培训教材的有机衔接。本书既以国内的实际情况为主要出发点,又考虑到新技术的发展前景,所以也介绍了国外一些先进技术。全书共分四篇,含应知与应会两大部分。前三篇应知部分由刘才中同志编写;第四篇应会部分的第一章由江荣生同志编写,第二章由叶梦伟同志编写,第三章由夏令伟同志编写,第四篇由夏国栋同志审定。

汽车维修电工技术等级标准中要求的机械识图、钳工基本知识,可选用汽车修理工相应等级的培训教材。

由于我们水平有限,不足之处恳请广大读者指正。

汽车运输职工教育研究会

1993 年 7 月

目 录

第一篇 汽车电工与电子技术基础知识

第一章 电工基础	1
第一节 磁路的欧姆定律	1
第二节 磁路的基尔霍夫定律	2
第三节 楞次定律和法拉第电磁感应定律	3
第四节 正弦交流电	4
复习思考题	12
第二章 晶体管 and 整流电路	13
第一节 简单直流稳压电路	13
第二节 三相整流电路	13
第三节 交流放大电路的组成和基本原理	15
第四节 振荡电路	17
复习思考题	19
第三章 晶闸管及其整流电路	20
第一节 晶闸管结构及其工作原理	20
第二节 晶闸管整流电路	21
复习思考题	22
第四章 常用电工仪表	23
第一节 功率表	23
第二节 电度表	23
第三节 兆欧表	24
复习思考题	24
第五章 汽车用导线与选择原则	25
复习思考题	27

第二篇 汽车电器的结构与原理

第一章 铅蓄电池	28
第一节 铅蓄电池的电化学反应过程	28
第二节 铅蓄电池的工作特性	29
第三节 铅蓄电池的容量及其影响因素	32

第四节 汽车用其他型蓄电池简介	35
复习思考题	37
第二章 直流发电机及其调节器	38
第一节 直流发电机的工作原理及特性	38
第二节 三联调节器	40
复习思考题	43
第三章 硅整流交流发电机及其调节器	44
第一节 硅整流交流发电机	44
第二节 交流发电机配用的触点式调节器	46
第三节 晶体管调节器	48
复习思考题	50
第四章 起动机	51
第一节 直流串激式起动机的工作特性	51
第二节 电磁操纵强制啮合式起动机	53
第三节 进口车用起动机的简介	55
复习思考题	56
第五章 点火系	57
第一节 影响蓄电池点火系次级电压的因素	57
第二节 晶体管点火装置	59
复习思考题	62
第六章 灯光系	63
第一节 荧光灯简介	63
第二节 警报装置	64
第三节 照明开关	65
复习思考题	68
第七章 辅助电器设备	69
第一节 除霜设备和挡风玻璃洗涤设备	69
第二节 晶体管电动汽油泵的工作原理	70
第三节 汽车电动减速器和制动防抱死装置	71
第四节 柴油机的起动预热装置	74
第五节 汽车电气设备对无线电装置的干扰及其防止措施	75
第六节 开关与保险装置	77
复习思考题	78
第八章 汽车电气设备总线路	79

第一节 汽车电气线路的分析与识读	79
第二节 汽车电气线路图实例	89
第三篇 汽车电器的检测与修理	
第一章 铅蓄电池	90
第一节 铅蓄电池的使用	90
第二节 铅蓄电池的修理	93
第三节 充电类型及其应用	97
第四节 铅蓄电池的充电设备	99
复习思考题	102
第二章 直流发电机及其调节器	103
第一节 直流发电机的检测与修理	103
第二节 调节器故障的检测与调整	109
第三节 充电系故障的判断与排除	113
复习思考题	116
第三章 硅整流发电机及其调节器	118
第一节 硅整流发电机故障的检测与修理	118
第二节 调节器故障的检测与调整	122
第三节 充电系故障的判断与排除	126
第四节 国产调节器代替进口调节器简介	129
复习思考题	129
第四章 起动机	131
第一节 起动机的检测与修理	131
第二节 起动机故障的判断与排除	137
复习思考题	140
第五章 点火系	141
第一节 蓄电池点火系的故障判断与排除	141
第二节 利用晶体管示波器检查点火系的故障	143
第三节 蓄电池点火系主要元件的检修	146
第四节 蓄电池点火系的试验	148
复习思考题	152
第六章 灯光、仪表及辅助电器设备	153
第一节 汽车前照灯的调整	153
第二节 灯光系的故障与排除	154
第三节 汽车仪表的检查与调整	156
第四节 辅助电器设备的故障排除与检验	159
复习思考题	161

第四篇 应会考核内容

第一章 四级汽车维修电工应会考核内容	162
第一节 试题一览表	162
第二节 分厘卡的使用及漆包线线径测量与选择	162
第三节 百分表的使用	165
第四节 晶体管的测量方法	166
第五节 直流电机电枢检测仪的使用	170
第六节 声级计的使用	171
第七节 硅整流交流发电机的检修	172
第八节 起动机的检修	175
第九节 触点式分电器的检修与调试	178
第十节 振动式电喇叭的散件装复及检修	183
第十一节 仪表电路故障的诊断与排除	185
第十二节 起动点火电路故障的诊断与排除	187
第十三节 硅整流交流发电机定子线圈的绕制	190
第十四节 起动机电磁式开关线圈的绕制	192
第十五节 起动机激磁绕组的修复与包扎	193
第二章 五级汽车维修电工应会考核内容	195
第一节 试题一览表	195
第二节 用万用表测量晶体三极管特性电路	196
第三节 钳形表的正确使用	197
第四节 兆欧表的正确使用	198
第五节 识读机械零件图与装配图	200
第六节 蓄电池的修复和组装	200
第七节 硅整流交流发电机的拼装和校验	204
第八节 起动机的拼装和校验	206
第九节 铃木、丰田型汽车发电机充电系故障诊断与排除	208
第十节 硅整流发电机配用晶体管调节器故障诊断和排除	211
第十一节 晶体管点火系故障诊断和排除	212
第十二节 起动机自我保护控制电路故障诊断和排除	214
第十三节 起动机电枢绕组的绕制	216
第十四节 车用雨刷直流电机转子线圈绕组的绕制	219
第十五节 桑塔纳轿车散热风扇电机转子线圈绕组的绕制	221
第十六节 国产常用车型线束的制作和安装	223
第十七节 汽车电器万能试验台的检修	227
第十八节 蓄电池充电机的检修	231
第三章 六级汽车维修电工应会考核内容	234
第一节 试题一览表	234
第二节 示波器的使用	234
第三节 简单零件的测绘	239

第四节	交流发电机大修	239
第五节	充电系故障排除	241
第六节	电子点火系故障排除	243
第七节	灯光系故障排除	245
第八节	晶体管调节器的制作与调试	250
第九节	晶体管闪光器的制作与调试	251
第十节	逆变电源的制作与调试	253
第十一节	可控硅调压充电机的检修	254

第一篇 汽车电工与电子技术基础知识

第一章 电工基础

第一节 磁路的欧姆定律

在论述磁路的欧姆定律时,应首先弄清磁路概念。我们知道,为了使较小的激磁电流产生足够大的磁通量,在电机、变压器、电磁铁、继电器中常用铁磁性材料做成各种形状的铁芯。因为铁磁物质具有很高的磁导率,即铁磁性材料在磁场中,受磁场力的作用,其内部会产生一个个排列整齐的定向附加小磁场,使原磁场大大加强。故能够把绝大部分的磁通量(磁力线)约束在一定的闭合路径上。把磁力线通过的闭合路径称为磁路。如图 1-1-1 所示,就是几种常见的磁路。

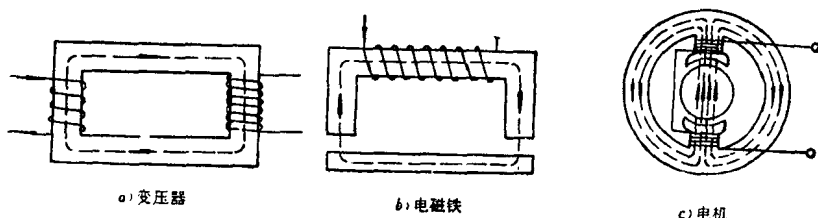


图 1-1-1 几种常见的磁路

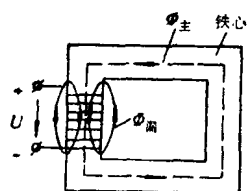


图 1-1-2 主磁通与漏磁通

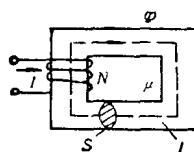


图 1-1-3 磁路的欧姆定律

由于磁感应线总有一部分不通过铁磁材料,而是经过空气或其他材料闭合,这称为漏磁,如图 1-1-2 所示。通过铁芯的磁通量叫主磁通,铁芯外的磁通量叫漏磁通。在一般情况下,考虑漏磁通磁路的计算是非常复杂的,另一方面漏磁通比主磁通小几千倍,因此常将漏磁通略去不计。图 1-1-3 所示是一个简单的无分支磁路,设绕在铁芯上线圈的匝数为 N ,通过的电流 I ,铁芯的平均长度(即中心线的长度)为 l ,横截面积处处相同为 S 。通过实验可知道通电线圈产生的磁场强度为 $H = \frac{NI}{l}$ 。因为 $\Phi = BS$,又 $B = \mu H$ 。

所以

$$\Phi = \mu \frac{NI}{l} S = \frac{NI}{\frac{l}{\mu S}}$$

令

$$F = NI, R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (1-1-1)$$

可得

$$\Phi = \frac{F}{R_m} \quad (1-1-2)$$

式中 F ——磁通势(安);

R_m ——磁阻(亨⁻¹);

Φ ——磁通量(韦);

μ ——磁导率(亨/米),

真空中磁导率为 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (亨/米)。

式(1-1-2)说明,磁路中的磁通量与磁通势成正比,与磁阻成反比,这与电路中的欧姆定律相似,故称为磁路的欧姆定律。其中,磁通量 Φ 相当于电路的电流 I ; 磁通势相当于电动势 E ; 磁阻 R_m 相当于电阻 R 。

由式(1-1-1)可看出,磁路越长,磁阻 R_m 越大; 磁路的横截面积 S 越大,磁阻 R_m 越小。另外,磁阻还与磁路媒介质的磁导率 μ 成反比。

由于磁路通常是由几段截面不同的铁磁性材料构成的,加之铁磁性材料的导磁系数又不是常数,所以使用磁阻来计算磁路是很不方便的。因此,磁路的欧姆定律一般仅用来对磁路作定性分析。

第二节 磁路的基尔霍夫定律

磁路的基尔霍夫定律有第一定律和第二定律。

1. 磁路的基尔霍夫第一定律

对于有分支磁路,如图 1-1-4 所示,任取一个闭合面 S , 根据磁通量的连续性原理可知,进入闭合面的磁通量,一定等于离开闭合面的磁通量,或者说,通过闭合面磁通量的代数和必为零 即

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi_2 + \Phi_3 \\ \text{或} \quad -\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 &= 0 \end{aligned}$$

或
即

$$\sum \Phi = 0 \quad (1-1-3)$$

式中规定,穿进闭合面的磁通量取负号,离开闭合面的磁通量取正号。式(1-1-3)就叫做磁路基尔霍夫第一定律。

2. 磁路的基尔霍夫第二定律

有一个环形螺线管,如图 1-1-5 所示。通过实验可知,环形螺线管磁场内的磁场强度是

$$H = \frac{NI}{l}$$

或

$$NI = Hl \quad (1-1-4)$$

式(1-1-4)说明,沿着磁路的磁场强度和磁路平均长度的乘积等于磁动势。这个关系式不仅

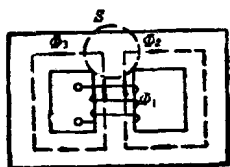


图 1-1-4 磁路基尔
霍夫第一定律

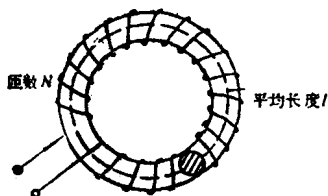


图 1-1-5 环形螺线管内的
磁场强度

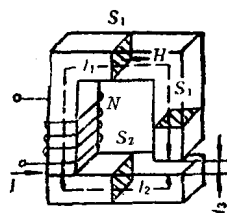


图 1-1-6 磁路基尔
霍夫第二定律

对于环形螺线管的磁路是适用的，而且对任何闭合的磁路都是适用的。通常把这个关系式叫安培环路定律。式中 Hl 也常称为磁路的磁压降。

现讨论图 1-1-6 所示的磁路。把这个磁路分成三段，每一段的材料及截面均相同。如第一段为铁磁物质，截面为 S_1 ，平均长度为 l_1 ；第二段仍为铁磁物质，截面为 S_2 ，平均长度为 l_2 ；第三段是空气隙，平均长度为 l_3 。若各段的材料不同，则磁感应强度 B 也应不同，且三段材料的导磁系数也尽不相同，故磁路各部分的磁场强度也就可能不同。现设这三段的磁场强度分别为 H_1 、 H_2 和 H_3 。对于这样一个分三段的闭合磁路，安培环路定律应写成为

$$NI = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3$$

将其应用到任意闭合磁路可得

$$\Sigma(NI) = \Sigma(Hl) \quad (1-1-5)$$

式中，各磁压降和磁通势的正负是这样确定的，任意选取闭合回线 l 的方向，若磁场强度 H 的方向（即磁通 Φ 的方向）与 l 的方向一致，磁压降 Hl 前面取正号，反之取负号；若电流 I 的方向与闭合回线的方向符合右手螺旋定则，则磁动势 NI 前面取正号，反之取负号。式 (1-1-5) 就叫做磁路的基尔霍夫第二定律。其表达意思是，以一特定方向沿一闭合磁路，磁压的代数和等于磁通势的代数和。

例如一方形铁芯磁路中，磁路平均长度为 0.09 米，线圈匝数为 350，电流为 1.2 安，求磁通势和磁场强度。

根据题意和已知数解得

$$F = NI = 350 \times 1.2 = 420 (\text{安})$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{420}{0.09} = 4667 (\text{安/米})$$

第三节 楞次定律和法拉第电磁感应定律

通过大量的实验发现，当导体相对磁场运动而切割磁力线或通过线圈的磁通发生变化时，在导体中会有感生电动势产生。若导体或线圈是闭合回路的一部分，则就有电流产生，这是发电机、变压器工作的理论基础。下面讨论线圈回路磁通变化时的感生电动势。

1. 楞次定律

在线圈中因磁通变化而产生的感生电动势（电流）的方向，可以用楞次定律来判定。楞次定律指出：当闭合线圈回路中的磁通量发生变化时，回路中就有感生电流产生。感生电流的方向总是要使它产生的磁场阻碍闭合回路中原来磁通量的变化。或简单地说，线圈中感应电动势引起感生电流产生的磁场总是阻止原磁场的变化。

这样, 根据楞次定律确定感生电流方向的步骤如下:

(1) 首先判断回路原磁通的方向及变化.

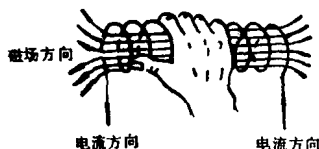
(2) 根据感生电流的磁场方向总是和原磁通变化方向相反的原则, 确定感生电流的磁场方向.

(3) 利用右手螺旋定则确定感生电流的方向. 即按图 1-1-7 所示, 将右手握住螺旋线圈, 大拇指指向产生感生电流的磁场方向, 那么弯曲的四指所指的方向就表示感生电流的方向(见图 1-1-7).

2. 法拉第电磁感应定律

由实验得知, 线圈回路中因磁通量变化而产生的感应电动势的大小与通过线圈回路的磁通量变化率的负值成正比. 如果线圈有 N 匝, 则感应电动势大小为

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1-1-6)$$



式中 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ —— 磁通量对时间的变化率(韦/秒);

N —— 线圈匝数;

e —— 感应电动势(伏).

图 1-1-7 右手螺旋定则

式(1-1-6)称为法拉第电磁感应定律.

第四节 正弦交流电

我们知道, 电流可分为直流电和交流电. 直流电是指其大小、方向与时间无关且数值保持恒定不变的电流; 所谓交流电是指其大小、方向随时间作周期性变化的电流. 交流电按其形状又可分为正弦交流电和非正弦交流电, 如图 1-1-8 所示. 正弦交流电是按正弦规律变化的交流电, 如图 1-1-8a 所示. 非正弦交流电是指不按正弦规律变化的交流电, 如图 1-1-8b~图 1-1-8f 所示. 但是, 任何一个非正弦的交流波形, 都可以看成是由若干个正弦波形合成的. 日常生活中的照明用电和生产中的动力用电都是正弦交流电.

一、正弦交流电的特征及有效值

1. 正弦交流电的特征

正弦交流电有三个基本特征, 即: 大小、变化速度和变化起点.

(1) 正弦交流电的大小 当你比较图 1-1-9 中的 a 图和 b 图这两个电压波形时, 就发

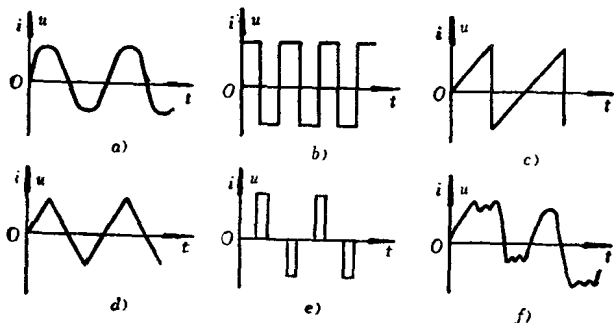


图 1-1-8 交流电波形图

a) 正弦波; b) 矩形波; c) 锯齿波; d) 三角波;
e) 脉冲波; f) 复杂的非正弦波

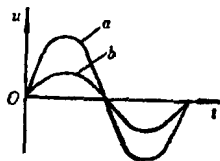


图 1-1-9 交流电的大小

现其电压最大值各不相同, 即这两个正弦交流电电压的大小不一样。为了表示正弦交流电的大小, 常常使用交流电的瞬时值、最大值、有效值和平均值。

正弦交流电在每一时刻所具有的值叫做正弦交流电的瞬时值。正弦交流电的电动势、电压和电流的瞬时值分别用字母 e 、 u 、 i 表示。

正弦交流电中最大的瞬时值叫做正弦交流电的最大值(又称峰值、振幅), 最大值用符号 E_m 、 U_m 、 I_m 表示。

在电工技术中, 通常是以热效应或机械效应相等的直流电大小来表示交流电的大小。例如, 使交流电和直流电分别通过电阻相同的两个导体; 如果在相同的时间内产生的热量相等, 那么这个直流电的大小就叫做交流电的有效值, 用符号 E 、 U 、 I 表示。电工仪表测出交流电的数值都是有效值。

在正弦交流电的有效值(U)与最大值(U_m)之间有如下的关系, 即

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \\ I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \end{aligned} \right\} \quad (1-1-7)$$

交流电的瞬时值在整个周期内的平均数值称为交流电的平均值, 用符号 E_a 、 U_a 、 I_a 表示, 如图 1-1-10a 所示。由于其瞬时值在正半周与负半周内, 大小相等而方向相反, 所以, 在整个周期内的平均值 $I_a = 0$, 它的意义并不大。但有些情况下, 例如在交流电的全波整流电路中, 脉动电流的大小要按它的平均值来计算, 如图 1-1-10b 所示。这时脉动电流的波形和正弦交流电的半波形一样, 此时计算正弦量在半个周期内的平均值是有意义的。经计算结果表明, 正弦交流电平均值与最大值之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} U_a &= \frac{2}{\pi} U_m \approx 0.637 U_m \\ I_a &= \frac{2}{\pi} I_m \approx 0.637 I_m \end{aligned} \right\} \quad (1-1-8)$$

(2) 正弦交流电的变化速度如图 1-1-11 所示, 不同的正弦交流电其变化速度是不同的。图中 u_1 和 u_2 是大小相等的正弦交流电压波形, 但两个电压波形的变化速度不一样。电压 u_2 的变化速度是电压 u_1 的两倍。正弦交流电变化速度的快慢, 可用正弦交流电的频率、角频率和周期来表示。

正弦交流电每秒内作周期性变化的次数称为频率, 用 f 表示, 单位为赫。电力标准频率在我国采用 50 赫, 在美国、日本采用 60 赫。

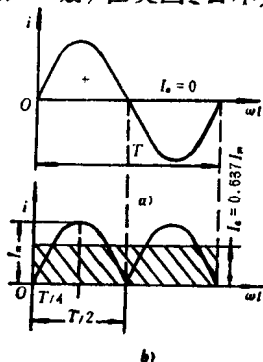


图 1-1-10 正弦交流电的平均值。

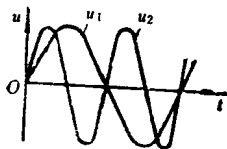


图 1-1-11 正弦交流电的变化速度

正弦交流电每秒内变化的电角度称为角频率,用 ω 表示,单位为弧度/秒。根据角频率的定义,有

$$\omega = 2\pi f \quad (1-1-9)$$

正弦交流电作周期性变化一周所需的时间称为周期,用 T 表示,单位为秒。

频率 f 和周期 T 是互为倒数的关系。即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-1-10)$$

在我国的供电系统中,交流电的频率为 50 赫,周期为 0.02 秒,角频率为 100π 弧度/秒。

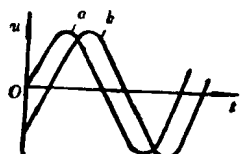


图 1-1-12 正弦交流电的变化起点

(3) 正弦交流电的变化起点 如图 1-1-12 所示, a 和 b 分别表示两个大小和变化速度都相等的正弦交流电压波形。但是,在时间为零时,即在变化起点时, a 波形的电压是从零点出发,而 b 波形的电压则从非零的地方出发,所以,认为波形 a 和波形 b 的变化起点不同。在电工中,是用初相位或初相角来表示正弦交流电的变化起点的。

2. 正弦交流电的表示方法

综上所述,正弦交流电有大小、变化速度和变化起点三个特征,且有与这三个特征有关的量最大值(有效值)、频率和初相位三个要素。为了表示正弦交流电三要素,这里用三角函数式方法表示其电动势 e 、电压 u 和电流 i 的解析式为

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_3)$$

式中 E_m 、 U_m 和 I_m ——最大值;

ω ——交流电的角频率;

φ_1 、 φ_2 和 φ_3 ——初相位。

二、单相交流电路

电源是由两个输出端(两根导线)与负载联接的,这种电路习惯上称为单相交流电路。如日常生活中的照明电路就是属于这种电路,且电路中的电流属于正弦交流电。

在分析各种正弦交流电路,都要确定电路中电压与电流之间的关系(大小和相位)以及讨论电路中的功率问题。为分析复杂的交流电路,首先必须掌握单一参数(电阻、电感、电容)元件电路中电压与电流之间的关系,因为其他电路均可视为单一参数元件的组合。

1. 纯电阻电路

(1) 纯电阻电路中电压与电流的关系 白炽灯泡、电炉、电热器等都可以认为是纯电阻。图 1-1-13 所示为一纯电阻电路。当在电阻的两端施加交流电压 $u = U_m \sin \omega t$ 时,电阻 R 中将通过电流 i 。电压 u 和电流 i 的关系仍满足欧姆定律,即

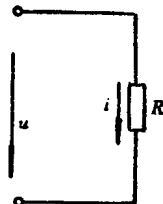


图 1-1-13 纯电阻电路

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

其中

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad \text{或} \quad U_m = I_m R$$

如果用电流和电压的有效值表示, 则有

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR.$$

(2) 纯电阻电路中的功率 在纯电阻电路中, 电压的瞬时值与电流的瞬时值的乘积叫瞬时功率, 用 p 表示, 即

$$p = ui$$

因为 $u = U_m \sin \omega t$, $i = I_m \sin \omega t$, 所以 p 为

$$\begin{aligned} p &= U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t \\ &= U_m I_m \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \\ &= \frac{U_m I_m}{2} - \frac{U_m I_m}{2} \cos 2\omega t = UI - UI \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1-1-11)$$

由式(1-1-11)可知, 瞬时功率 p 由两个分量构成. 一个是恒量 UI ; 另一个是变量 $UI \cos 2\omega t$. 由于 $UI \cos 2\omega t$ 是一个周期函数, 由计算得知, 周期函数在一个周期内的平均值为零, 所以, 在纯电阻电路中, 瞬时功率在一个周期内的平均值等于式(1-1-11)中的恒定分量 UI , 即

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-1-12)$$

式(1-1-12)就是 R 所消耗的交流平均功率 P 的计算公式.

2. 纯电感电路

(1) 纯电感电路中电压与电流的关系 图 1-1-14 所示是一个由无铁芯的电感线圈构成的纯电感电路. 当电感线圈加上正弦电压 u 时, 线圈中就有电流 i 通过.

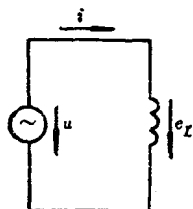


图 1-1-14

根据电磁感应定律, 在线圈两端产生了自感电动势 e_L . 即

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -L \frac{\Delta(I_m \sin \omega t)}{\Delta t}$$

经计算整理得

$$e_L = I_m \omega L \sin(\omega t - 90^\circ)$$

在纯电感电路中, 由于忽略电感的电阻, 因此电路的电压降为零. 根据基尔霍夫第二定律, 外电源加在电感上的电压降与自感电动势之和等于零. 即

$$u + e_L = 0$$

或

$$u = -e_L$$

这说明, 外电压的大小和自感电动势的大小相等而方向相反, 于是

$$u = I_m \omega L \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (1-1-13)$$

式中

$$U_m = I_m \omega L \quad (1-1-14)$$

上式两边同除以 $\sqrt{2}$, 得

$$U = I \omega L \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{\omega L} \quad (1-1-15)$$

由上可见, 在纯电感电路中, 电压有效值与电流有效值之间的关系是满足欧姆定律的, 其比值为 ωL , 当电压一定时, ωL 越大, 则电流越小, 说明电感对电流起阻碍作用. 故 ωL 称

为电感线圈的感抗,用 X_L 表示. 即

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1-1-16)$$

式中 ω ——交流电的角频率(弧度/秒);

f ——交流电的频率(赫);

L ——电感线圈的电感(亨);

X_L ——感抗(欧).

由式(1-1-16)可知,感抗 X_L 与电感 L 、频率 f 成正比,这是因为 L 越大,通过线圈的电流的 f 越高,则电流变化就越快,线圈中产生的 e_L 也就越大;自感电动势 e_L 对电流变化的阻碍作用就是由 X_L 来反映的. 由于感抗 X_L 与外加交流电的频率成正比,因此,电感线圈对高频电流的阻碍作用很大;反之,电感线圈对低频电流的感抗很小. 对直流电而言,其频率 f 等于零,则感抗也为零,这说明纯电感对直流无阻碍作用.

同时,电压 u 和电流 i 是同频率的正弦量,其频率和电源频率相同. 另外,电感上的电压较电流超前 90° ,或者说,电流滞后电压 90° . 由此可见,电感在交流电路中的作用是改变电流的大小及电流的相位,使之滞后外加电压 90° ,但电感不改变正弦量的频率.

(2) 纯电感电路的功率 在纯电感电路中,瞬时功率 p 是瞬时电压 u 和瞬时电流 i 的乘积,即

$$p = ui$$

设

$$u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ), \quad i = I_m \sin \omega t$$

于是

$$\begin{aligned} p &= U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin \omega t \cos \omega t \\ &= \frac{1}{2} U_m I_m \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t \end{aligned} \quad (1-1-17)$$

由于瞬时功率 p 是一个周期函数,因此, p 在一个周期内的平均值等于零,即在纯电感电路中,有功功率等于零. 其物理意义是,电感线圈和电源之间只有能量互换而没有能量消耗. 为衡量其互换规模,故引入电感的无功功率,它等于纯电感电路中瞬时功率的最大值,用符号 Q_L 表示,单位为瓦或千瓦. 根据无功功率的定义,有

$$Q_L = UI = I^2 X_L = \frac{U^2}{X_L} \quad (1-1-18)$$

式中 U ——线圈两端电压(伏);

I ——流过线圈的电流(安);

X_L ——感抗(欧);

Q_L ——电感的无功功率(瓦).

3. 纯电容电路

所谓纯电容电路,就是将电容接在交流电源上的电路,如图 1-1-15 所示.

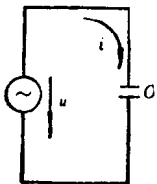


图 1-1-15 纯电容电路

(1) 纯电容电路中电压与电流的关系 根据电容的定义,有

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{或} \quad Q = CU$$

其中 Q 是电容器的每个极板上储存的电荷数量. 当加以交流电时,因 U 不断变化, Q 也不断变化的,所以在电路中形成电流,根据电流的定义,有