

铁道行业高技能人才培养系列教材

变电值班员

杨正洪 李美英 曹宇东 主编



西南交通大学出版社

[Http://www.xnjdcbs.com](http://www.xnjdcbs.com)

铁道行业

列教材

变电值班员

主编 杨正洪 李美英 曹宇东



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

变电值班员 / 杨正洪, 李美英, 曹宇东主编. 一成都: 西南交通大学出版社, 2014.7
铁道行业高技能人才培养系列教材
ISBN 978-7-5643-3098-9

I. ①变… II. ①杨… ②李… ③曹… III. ①电气化
铁道—牵引变电所—技术培训—教材 IV. ①U224

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 121407 号

铁道行业高技能人才培养系列教材

变电值班员

Biandian Zhibanyuan

主编 杨正洪 李美英 曹宇东

责任编辑	黄淑文
助理编辑	张少华
封面设计	原谋书装
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	17.5
字 数	448 千字
版 次	2014 年 7 月第 1 版
印 次	2014 年 7 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3098-9
定 价	36.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

高技能人才培训系列教材编审委员会

顾 问	康宏玲		
主 任	孟毅军		
副主任	杨建民	陈 光	刘欣宇
	李美英	蒋晓茹	
委 员	计宝辉	姜颂东	郝宝强
	曹宇东	计建军	牛 刚
	杨正洪	王 荣	张怀丽
	陈淑珍	康雪花	李月娥
	杨 乐		

序 言

近年来,按照党中央、国务院的统一部署和要求,我国高技能人才工作的政策措施逐步完善,工作机制逐步健全,发展环境逐步优化,高技能人才工作取得了新进展。

2006年,中共中央办公厅、国务院制定出台了《关于进一步加强高技能人才工作的意见》(中办发〔2006〕15号),对今后一个时期高技能人才工作做出了总体部署。2010年《国家中长期人才发展规划纲要(2010—2020年)》出台,将高技能人才队伍建设纳入国家人才队伍建设总体规划。为落实规划要求,中共中央组织部、人力资源和社会保障部共同制定了《高技能人才队伍建设中长期规划(2010—2020年)》,明确了到2020年我国高技能人才工作的主要任务和措施。2010年,《国务院关于加强职业培训促进就业的意见》(国发〔2010〕36号)出台,也对做好高技能人才工作提出了相应要求。2011年,人力资源和社会保障部、财政部制定了《关于印发国家高技能人才振兴计划实施方案的通知》(人社部发〔2011〕109号),提出实施技师培训、高技能人才培训基地建设、技能大师工作室建设三个工作项目。2012年,《国务院办公厅转发人力资源社会保障部、财政部、国资委关于加强企业技能人才队伍建设意见的通知》(国办发〔2012〕34号)。这些政策对今后一个时期高技能人才队伍建设的目标任务、重要举措以及体制机制创新提出了明确要求,为做好新时期高技能人才工作指明了方向。

目前,已基本形成以企业行业为主体、技工院校等职业院校为基础、学校教育与企业培养紧密联系、政府推动与社会支持相结合的高技能人才培养体系。技工院校作为后备技能人才培养的重要阵地,承担着通过学制教育和社会培训等方式培养高技能人才的重要任务。

教材是劳动者终身教育和职业生涯发展的重要学习工具,教材开发是构建完备、系统的高技能人才培养体系的重要环节。技工院校在高技能人才培训工作中如何体现“以提高素质为基础,以职业能力为本位,以提高技能水平为核心”的教学指导思想,如何处理职业岗位需要与终身学习需要的关系,如何处理提高人才素质与加强职业岗位针对性的关系,这些都是职教工作者需要思考的问题。

正是在这样一个背景下,我校联合企业专家,结合新疆铁路事业蓬勃发展、大规模铁路建设全面展开、牵引动力装备电气化的实际,按照铁道行业特有职业(工种)国家职业标准,注重应用性、普适性和前瞻性,以够用、实用为原则,共同开发编写了这套教材。

没有高质量的教材,就没有高质量的教学。希望这套教材能为新疆铁路建设大发展服务,为高技能人才队伍建设服务。

孟毅军

2013年12月

前 言

为更好地落实“十二五”铁路人才发展规划，强化人才培养和实践锻炼，加快建设一支数量充足、结构合理、素质过硬的铁道施工与养护专业技术人才队伍，尽快满足新疆铁路安全运营对专业技术人才的需要，特结合新疆铁路运营和建设实际，依据《铁路线路工国家职业标准》《铁路职业技能鉴定参考丛书》和有关技术规章的要求，本着立足当前、着眼长远、瞄准前沿、务求实用的原则，编写了本书。

本书遵循以职业能力为导向、以胜任工作为重点的原则，在教材内容组织上采用项目和任务的形式，加强实践性教学内容，以满足企业对专业技术人才岗位工作能力的要求。

本书共有三个单元十个项目，由新疆铁道职业技术学院电气工程教学部和哈密供电段共同完成，其中第一单元项目一电工基础知识、项目二电工基本操作由张怀丽老师编写，项目三触电救护及防触电技术由杨乐老师编写，第二单元项目四供电系统由陈淑珍老师编写，项目五牵引变电所电气设备由杨正洪老师编写，项目六变电所主接线和倒闸作业由哈密供电段曹宇东编写，项目七二次回路由李月娥老师编写，项目八继电保护由王荣老师编写，项目九变电所综合自动化技术由康雪花老师编写，第三单元由李美英老师编写。

本书由新疆铁路高级技术学校组织筹划，采取校企合作的方式，联合乌鲁木齐铁路局工务处和各工务段专业处室的骨干技术力量共同编写，在此对他们的辛苦努力和大力支持表示衷心感谢！

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 12 月

目 录

第一单元 基础知识

项目一 电工基础知识	3
任务一 交直流电路的认知	3
任务二 电与磁	37
任务三 电子技术基础知识	48
项目二 电工基本操作	59
任务一 电工工具的使用	59
任务二 电工仪表的使用	63
项目三 触电救护及防触电技术	71
任务一 触电救护	71
任务二 防触电技术	79

第二单元 专业知识

项目四 供电系统	95
任务一 电力系统概述	95
任务二 牵引供电系统特点	98
项目五 牵引变电所电气设备	106
任务一 牵引变压器	106
任务二 互感器	115
任务三 高压开关	145
任务四 断路器	148
任务五 熔断器	152
任务六 防雷保护设备	159
任务七 并联电容器	165

项目六 变电所主接线和倒闸作业	174
任务一 电气主接线概述	174
任务二 高压侧电气主接线	176
任务三 牵引侧电气主接线	186
项目七 二次回路	194
任务一 二次回路基础知识	194
任务二 牵引变电所二次回路	200
任务三 直流电机	211
项目八 继电保护	225
任务一 继电保护的基础知识	225
任务二 变压器保护	230
任务三 牵引网的保护	232
任务四 并联电容补偿装置保护	236
任务五 故障测距	238
项目九 变电所综合自动化技术	240
任务一 变电所综合自动化技术	240
任务二 远动技术	246

第三单元 职业道德

项目十 职业道德	257
任务一 职业道德基本知识	257
任务二 职业守则	260
任务三 劳动安全守则	261
任务四 相关法律法规知识	263
参考文献	270

第一单元

基础知识

项目一 电工基础知识

任务一 交直流电路的认知

【任务目标】

知识目标：了解正弦交流电、功率因数和三相交流电的相关概念。

能力目标：掌握正弦交流电路、功率因数和三相交流电的相关计算。

【相关知识】

一、电路的基本概念及基本定律

1. 电 流

(1) 电流的形成：在电场力的作用下，电荷有规则的定向移动，形成了电流。

(2) 电流的概念：定义单位时间内流过导体截面面积的电荷为电流强度，用以衡量电流的大小，简称为电流，用 $i(t)$ （交流电）或 I （直流电）表示，单位安培（A）。

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中 q ——随时间 t 变化的电荷量。

(3) 直流电流：大小和方向不随时间改变，即 $i(t) = dq/dt = \text{常数}$ 的电流称为恒定电流，简称直流。用大写字母 U 、 I 表示直流电压、直流电流。

(4) 电流的方向：规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。电流的方向可用箭头表示，也可用字母表示，如图 1.1 所示为电流 i_{AB} 。

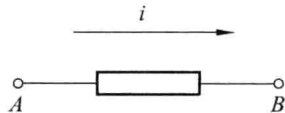


图 1.1 电流的方向

2. 电 压

(1) 电压的概念：电场力把单位正电荷从电场中的 A 点移到 B 点所做的功称为 A 、 B 间的电压，用 u_{AB} （ U_{AB} ）表示，单位为伏特（V）。

(2) 电压的方向：习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向，可用“+、-”号表示，也可用字母双下标表示，有时也用箭头表示，如图 1.2 所示为电压 u_{AB} 。

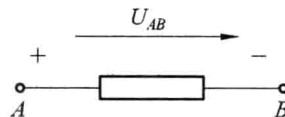


图 1.2 电压的方向

(3) 参考点：规定电路中某一点的电位能为零即为参考点。参考点的电位能为零可用符号“ $\perp$ ”表示。

(4) 电位：电路中任一点与参考点之间的电压，叫作该点的电位，如 U_A 表示 A 点的电位，电位的单位也是伏特 (V)。

(5) 电路中两点间的电压也可用两点间的电位差来表示，如图 1.3 所示， $U_{AB} = U_A - U_B$ 。

3. 电动势

(1) 电动势：非电场力即局外力把单位正电荷在电源内部由低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功，称为电动势，用字母 e (E) 表示，单位为伏特 (V)。

(2) 电动势的方向：电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位，如图 1.4 所示为电动势 E 。

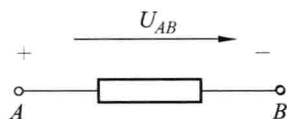


图 1.3 两点间的电压

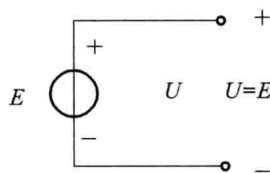


图 1.4 电动势的方向

4. 电流、电压的参考方向

假定的电流、电压方向称作电流、电压的参考方向。

(1) 参考方向：在分析与计算电路时，常任意选定某一方向为电流的参考方向，又称正方向。

(2) 选定正方向的原因：在分析一些复杂电路，往往不知道某一支路电流的实际方向，为计算分析方便，故假定一正方向。

(3) 参考方向选定后，电压、电流才有正负之分。

电流的参考方向与实际方向一致， $i > 0$ ；电流的参考方向与实际方向相反， $i < 0$ 。如图 1.5 所示，虚线箭头表示实际方向，实线箭头表示参考方向，有时也用 “+、-” 极性表示电压参考方向。

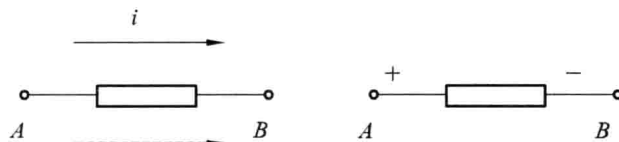


图 1.5 电流的参考方向

电压的参考方向与实际方向一致， $u > 0$ ；电压的参考方向与实际方向相反， $u < 0$ 。

电流和电压的参考方向选取一致时，称为关联参考方向；反之，称为非关联参考方向，如图 1.6 所示为电压的参考方向。



图 1.6 电压的参考方向

5. 电阻的串、并联

(1) 电阻的串联: n 个电阻 R_1 、 R_2 、 $\cdots$ 、 R_n 顺序相连, 其中没有分流, 称为 n 个电阻串联。

串联电路的特点:

① 通过每个电阻的电流相同, 即 $I_1 = I_2 = \cdots = I_n$ 。

② n 个串联电阻的总电压等于各个电阻上的电压降之和。

③ n 个串联电阻的总电阻等于各个电阻之和。

④ n 个串联电阻吸收的总功率等于它们的等效电阻所吸收的功率。

⑤ 各串联电阻的电压与电阻值成正比, 以两个电阻串联为例: $U_1/U_2 = R_1/R_2$, $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ 。

(2) 电阻的并联: n 个电阻 R_1 、 R_2 、 $\cdots$ 、 R_n 并排连接, 承受相同的电压, 称为 n 个电阻并联。

并联电路的特点:

① 加在每个电阻两端的电压相同。

② n 个并联电阻的总电流等于各个并联电阻上的电流之和。

③ n 个并联电阻的总电阻的倒数等于各个电阻倒数之和。

④ n 个并联电阻吸收的总功率等于它们的等效电阻吸收的功率。

⑤ 并联电阻中, 各电流流过的电流与电阻值成反比, 以两个电阻并联为例: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$,

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I。$$

6. 基尔霍夫定律

支路: 通常情况下, 通以相同的电流无分支的一段电路叫支路。

节点: 三条或三条以上支路的连接点称为节点。

回路: 电路中任一闭合路径称为回路。

网孔: 不含交叉支路的回路称为网孔。

1) 基尔霍夫电流定律 (KCL)

表述一: 在任一瞬时, 流入电路某一节点的电流之和必等于从该节点流出的电流之和, 即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}。$$

表述二: 在任一瞬时, 通过任一个节点的电流的代数和恒等于零, 即 $\sum I = 0$ 。

应用上式列方程时, 可假定流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负; 也可以作相反的假定, 即流出节点的电流为正, 流入节点的电流为负。

【例 1】如图 1.7 所示的电路图, 列出其电流方程。

解: $I_1 + I_2 = I_3$

或 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

如图 1.8 所示为 KCL 的扩展应用。

解: $i_1 = i_{12} - i_{31}$

$$i_2 = i_{23} - i_{12}$$

$$i_3 = i_{31} - i_{23}$$

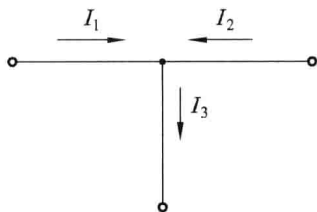


图 1.7

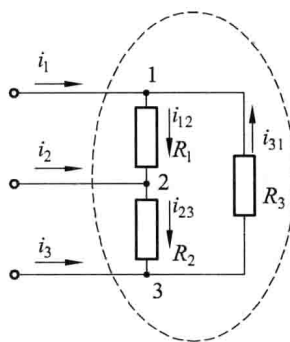


图 1.8

三式相加，得 $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ ，即电流定律可由一个节点引申到闭合面或闭合体。不论包围部分的电路结构如何，流入此封闭面的电流代数和恒等于零。

2) 基尔霍夫电压定律 (KVL)

表述一：在任一瞬时，电路中任一回路沿绕行方向升高的电压之和等于降低的电压之和，即 $\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$ 。

表述二：在任一瞬时，电路中任一回路沿绕行方向各段电压的代数和恒等于零，即 $\sum U = 0$ 。

【例 2】如图 1.9 所示的电路图，列出其电压方程。

解： $U_s - U_2 + U_1 = 0$

应用 KVL 定律来求解的解题步骤如下：

- ① 假设各支路电流的参考方向和回路的绕行方向。
- ② 对于回路中电阻上的电压，若通过电阻的电流方向与绕行方向一致，则将该电阻上的电压取正，反之取负。
- ③ 当电动势的方向与绕行方向相反时，该电动势取正，反之取负。

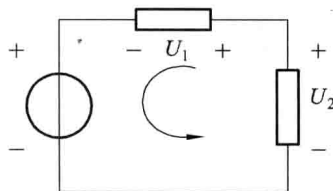


图 1.9

综上所述，凡电压的参考方向与绕行方向相同就在该电压前面取“+”号，反之则取“-”号。

【例 3】如图 1.10 所示，求开口电压 U_{ab} 。

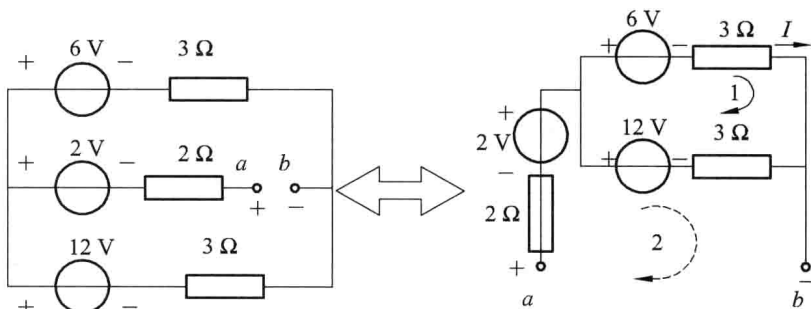


图 1.10

解：先把原图（左图）改画成右图，求电流 I 。

在回路 1 中, 有 $6I = 12 - 6$, 即 $I = 1 \text{ A}$ 。

根据基尔霍夫电压定律, 在回路 2 中, 得 $U_{ac} + U_{cb} - U_{ab} = 0$, 即 $-2 + 12 - 3 \times 1 - U_{ab} = 0$, 得 $U_{ab} = 7 \text{ V}$ 。

基尔霍夫电压定律不但适用于闭合回路, 对开口回路同样适用, 但需在开口处假设电压 (例中 U_{ab})。在列电压方程时, 要注意开口处电压方向。

二、交流电的基本概念

在交流电路中, 电流和电压的大小和方向随时间做周期性变化, 这样的电流、电压分别称作交变电流、交变电压, 统称为交流电。随时间按正弦规律变化的交流电, 称作正弦交流电。

交流电的电流或电压在变化过程的任一瞬间, 都有确定的大小和方向, 叫作交流电在该时刻的瞬时值, 分别用 i 、 u 来表示。在直角坐标系中。用横坐标表示时间 t , 纵坐标表示交流电的瞬时值, 把某一时刻 t_z 和与之对应的 u 或 i 作为平面直角坐标系中的点, 用光滑的曲线把这些点连接起来, 就得到交流电 $u(t)$ 或 $i(t)$ 随时间变化的曲线, 即波形图。通过它可以直观地了解电流和电压随时间变化的规律。如图 1.11 所示为几种常见交流电的电流波形图。

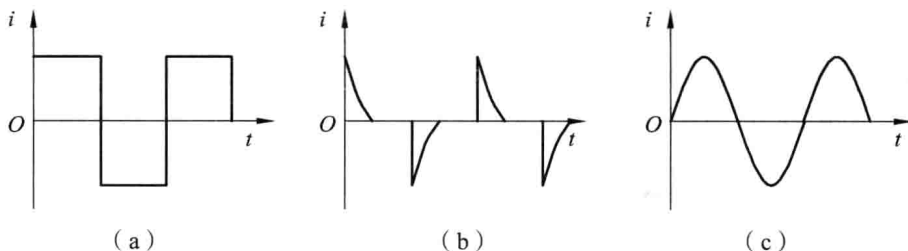


图 1.11 几种常见交流电的电流波形图

交流电和直流电比较有三个主要优点:

- (1) 交流电可以用变压器改变电压, 便于远距离输电。
- (2) 交流电机比相同功率的直流电机结构简单, 造价低。
- (3) 可以应用整流装置, 将交流电变换成所需的直流电。

因此, 在生产和生活中交流电得到广泛使用。

三、正弦交流电的基本概念

(一) 正弦交流电的产生

正弦交流电是由交流发电机产生的。如图 1.12 所示是最简单的交流发电机的原理示意图, 可用来说明交流发电机工作的基本原理。

将一个可以绕固定转动轴转动的单匝线圈放置到匀强磁场中, 为了避免在线圈转动过程中两根引出线扭绞到一起, 把线圈的两根引线分别接到与线圈一起转动的两个铜环上, 铜环通过电刷与外电路连接。当线圈在外力作用下, 在匀强磁场中以角速度 ω 匀速转动时, 线圈的 ab

边和 cd 边作切割磁力线运动，线圈中产生感应电动势。如果外电路是闭合的，闭合回路中将产生感应电流。 ad 和 bc 边的运动不切割磁力线，不产生感应电流。通过计算，可知整个线圈产生的感应电动势为

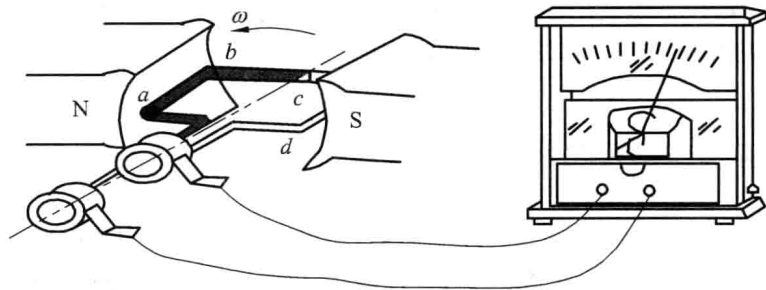


图 1.12 交流发电机原理示意图

$$e = E_m \sin(\omega t + \phi_0) \tag{1.2}$$

式中 E_m ——感应电动势的最大值，又叫振幅；
 ω ——线圈转动的角频率；
 ϕ_0 ——初始相位。

可见，发电机产生的电动势按正弦规律变化，可以向外电路输送正弦交流电。应当指出，实际的发电机构造比较复杂，线圈匝数很多，而且嵌在硅钢片制成的铁芯上，叫作电枢；磁极也不止一对，是由电磁铁构成的。一般多采用旋转磁极式，即电枢不动，磁极转动。

(二) 正弦交流电的基本物理量

1. 周 期

由于结构的对称性，我们知道，在线圈每转动一周的过程中，电流要完成一次从“零→最大→零→反向最大→零”的变化过程。每转一周，电流都将按同样规律变化。这种周而复始的变化，叫作周期性变化，完成一次周期性变化所用的时间，叫作周期，用 T 表示，单位是秒。

2. 频 率

交流电在单位时间内（1 s）完成周期性变化的次数，叫作频率，用字母 f 表示，单位是赫，符号为 Hz。频率常用的单位还有千赫（kHz）和兆赫（MHz）。

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

周期和频率之间有倒数关系，即

$$T = \frac{1}{f}$$

我国发电厂发出交流电的频率都是 50 Hz，习惯上称为“工频”。这种交流电完成一次周期性变化的时间是 $1/50$ （0.02）s。

频率和周期都是反映交流电变化快慢的物理量，如果周期越短（频率越高），那么交流电变化就越快。

3. 角频率

在仅有一对磁极的情况下，线圈转动一周，线圈中感应电动势也变化一周，也就是电动势的电角度变化了 2π 弧度，因此， ω 是单位时间内电角度的变化量，叫作角频率。显然，角频率和周期、频率有如下关系

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1.3)$$

式中 2π ——线圈转动一周，电角度的变化量，rad；

T ——周期，s；

f ——频率，Hz；

ω ——角频率，rad/s。

4. 相位和相位差

1) 相位

t 时刻线圈平面与中性面的夹角为 $(\omega t + \phi_0)$ ，叫作交流电的相位。因为 $(\omega t + \phi_0)$ 里含有时间 t ，所以相位是随时间变化的量。当 $t = 0$ 时，相位 $\phi = \phi_0$ ， ϕ_0 叫作初相位（简称初相），它反映了正弦交流电起始时刻的状态。

初相的大小和时间起点的选择有关，习惯上初相的绝对值用小于 π 的角表示，凡大于 π 弧度的正角就改用负角表示。同理，绝对值大于 π 弧度的负角化成正角表示。

相位是表示正弦交流电在某一时刻所处状态的物理量，它不仅决定瞬时的大小和方向，还能反映正弦交流电的变化趋势。

2) 相位差

设有两个同频率的正弦交流电流：

$$I_1 = I_m \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$I_2 = I_m \sin(\omega t + \phi_2)$$

那么两个同频率正弦交流电，任一瞬间的相位之差就叫作相位差，用符号 $\Delta\phi$ 来表示。即

$$\Delta\phi = (\omega t + \phi_1) - (\omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2$$

由此可见，两个同频率的正弦交流电的相位差，就是初相之差。它与时间无关，在乎弦量变化过程中的任一时刻都是一个常数。它表明了两个正弦量之间在时间上的超前或滞后关系。在实际应用中，规定用绝对值小于 π 的角度来表示相位差。

如果已知正弦交流电的振幅、频率（或周期、角频率）和初相（三者缺一不可），就可以用解析式或波形图将它表示出来。因此，振幅、频率（或周期、角频率）、初相叫作正弦交流电的三要素。

应当指出，相位和相位差的概念在直流电中从未出现过，交流电的复杂性多半表现在这里。因此，不要把直流电路的规律简单地套用到交流电路中。要特别注意相位和相位差在交流电路中所起的重要作用。