



国家职业技能鉴定最新指导丛书

电工 (高级)

国家职业资格证书 **取证问答**



依据 **劳动和社会保障部**
制定的《国家职业标准》要求编写



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

王 建 刘 伟 主编

国家职业技能鉴定最新指导丛书

电工（高级）国家职业资格 证书取证问答

主 编 王 建 刘 伟
副主编 王建军 李 伟 王保良 张 宏 胡建平
李春峰
参 编 周幼强 周 方 徐洪亮 冯百钢 张新勇
朱颜齐 陈清华 王惠元 王春晖
主 审 周宝龙
参 审 张 援



机械工业出版社

本书是根据国家职业技能鉴定电工试题库鉴定要素表,以问答的形式详细介绍了每个鉴定点所涉及的理论知识和操作技能,涵盖了电路知识、电子技术、电机与变压器、仪器仪表、内外线电路的安装与维修、变配电设备的安装与维修、变配电所运行及管理等相关内容,并配有试题选解和数套模拟试卷,是高级电工鉴定考试的必备用书。本书可供相关的技术人员参考,还可作为职业技能鉴定培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工(高级)国家职业资格证书取证问答/王建,刘伟主编. —北京:机械工业出版社,2009.5

(国家职业技能鉴定最新指导丛书)

ISBN 978-7-111-26941-0

I. 电… II. ①王…②刘… III. 电工—职业技能鉴定—问答
IV. TM-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第065037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:朱华 责任编辑:王华庆

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:饶薇 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2009年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·537千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26941-0

定价:37.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379083

封面无防伪标均为盗版

读者信息反馈表

感谢您购买《电工（高级）国家职业资格证书取证问答》一书。为了更好地为您服务，有针对性地为您提供图书信息，方便您选购合适图书，我们希望了解您的需求和对我们教材的意见和建议，愿这小小的表格为我们架起一座沟通的桥梁。

姓 名		所在单位名称	
性 别		所从事工作（或专业）	
通信地址			邮 编
办公电话		移动电话	
E-mail			
1. 您选择图书时主要考虑的因素：（在相应项前画√） （ ）出版社 （ ）内容 （ ）价格 （ ）封面设计 （ ）其他 2. 您选择我们图书的途径（在相应项前画√） （ ）书目 （ ）书店 （ ）网站 （ ）朋友推介 （ ）其他			
希望我们与您经常保持联系的方式： ☐ 电子邮件信息 ☐ 定期邮寄书目 ☐ 通过编辑联络 ☐ 定期电话咨询			
您关注（或需要）哪些类图书和教材：			
您对我社图书出版有哪些意见和建议（可从内容、质量、设计、需求等方面谈）：			
您今后是否准备出版相应的教材、图书或专著（请写出出版的专业方向、准备出版的时间、出版社的选择等）：			

非常感谢您能抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们，您的意见和建议一经采纳，我们将有礼品回赠。我们愿以真诚的服务回报您对机械工业出版社技能教育分社的关心和支持。

请联系我们——

地址 北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社技能教育分社

邮编 100037

社长电话 (010) 88379080 88379083 68329397（带传真）

E-mail jnfs@mail.machineinfo.gov.cn

前 言

《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》中明确指出：“要严格实施就业准入制度，加强职业教育与劳动就业的联系”。职业资格证书已逐步成为就业的通行证，是通向就业之门的金钥匙。国家职业资格证书的取证人员日益增多，为了更好地服务于就业，推动职业资格证书制度的实施和推广，加快技能人才的培养，丛书编委会组织有关专家、学者和高级技师编写了这套“国家职业技能鉴定最新指导丛书”，为广大的取证人员提供了有价值的参考资料。

在本套丛书的编写过程中，我们始终坚持了以下几点原则：一、严格遵照国家职业标准中关于各专业和各等级的标准，坚持标准化，力求使内容覆盖职业技能鉴定的各项要求；二、坚持以培养技能型人才为方向，从职业（岗位）分析入手，将考核国家技能鉴定题库作为丛书的编写重点，注重理论联系实际，力求系统而又全面，以满足各个级别取证人员的需求，突出丛书的实用性；三、内容新颖，突出时代感，力求较多地介绍新知识、新技术、新工艺、新方法等内容，树立以取证人员为主体的编写理念，力求使丛书的内容有所创新，使丛书简明易懂，为广大的读者所乐用。

我们真诚地希望本套丛书能成为取证人员的良师益友，能很好地为广大的取证人员服务。

由于本套丛书涉及内容较多，新技术、新装备发展较迅速，加之作者水平有限，书中难免有错误之处，恳请广大读者批评指正，以便修订时加以完善。

编 者

目 录

前言

一、应知单元

鉴定范围 1 电路知识	1
鉴定点 1 复杂直流电路的分析计算	1
鉴定点 2 交流电路的分析计算	2
鉴定点 3 电子电路分析	7
鉴定点 4 简单电子电路的计算	9
鉴定范围 2 磁路知识	11
鉴定点 1 磁场的基本性质	11
鉴定点 2 磁场的概念	11
鉴定点 3 磁感应强度的概念	11
鉴定点 4 磁通的概念	11
鉴定点 5 磁导率的概念	11
鉴定点 6 磁场强度的概念	11
鉴定点 7 磁路的概念	13
鉴定点 8 磁阻的概念	13
鉴定点 9 磁路的欧姆定律	14
鉴定点 10 磁路基尔霍夫第一定律	14
鉴定点 11 磁路基尔霍夫第二定律	15
鉴定范围 3 电磁感应知识	16
鉴定点 1 电磁感应	16
鉴定点 2 自感系数	16
鉴定点 3 自感的概念	16
鉴定点 4 互感系数	17
鉴定点 5 互感的概念	17
鉴定点 6 涡流的概念	18
鉴定点 7 楞次定律	18
鉴定点 8 电流的磁效应	19
鉴定点 9 磁场对通电导体的作用	19
鉴定范围 4 直流电动机	21
鉴定点 1 直流电动机的结构	21
鉴定点 2 直流电动机的工作原理	21
鉴定点 3 直流电动机的过载能力	22
鉴定点 4 直流电动机的故障分析方法	23
鉴定点 5 直流电动机的故障排除方法	23

鉴定点 6	换向器的使用、保养方法	25
鉴定点 7	换向器的维护方法	25
鉴定点 8	电刷的使用方法	26
鉴定点 9	电刷的维护、保养方法	26
鉴定点 10	轴承的使用	27
鉴定点 11	轴承的维护、保养方法	27
鉴定范围 5	变配电系统电气设备及附属设备的构造性能和原理	29
鉴定点 1	电力变压器的构造和性能	29
鉴定点 2	断路器的构造和性能	29
鉴定点 3	互感器的构造和性能	30
鉴定点 4	隔离开关的构造和性能	32
鉴定点 5	负荷开关的构造和性能	32
鉴定点 6	附属设备的构造和性能	33
鉴定点 7	电力变压器的工作原理	34
鉴定点 8	断路器的工作原理	36
鉴定点 9	附属设备的工作原理	37
鉴定点 10	正确选用高压设备	38
鉴定点 11	正确选用低压设备	40
鉴定范围 6	变配电系统电气设备的检修	43
鉴定点 1	电力变压器的大修	43
鉴定点 2	断路器的大修	44
鉴定点 3	互感器的大修	44
鉴定点 4	隔离开关的大修	45
鉴定范围 7	35kV 架空线路施工知识	46
鉴定点 1	编制施工方案	46
鉴定点 2	组织备料	46
鉴定点 3	组织施工	47
鉴定点 4	运行前的检查和试验	47
鉴定范围 8	35kV 电力电缆施工知识	49
鉴定点 1	终端盒的制作知识	49
鉴定点 2	中间盒的制作知识	49
鉴定点 3	电力电缆的故障检测知识	50
鉴定范围 9	常用电子电路的应用和特点	53
鉴定点 1	直流放大器的应用和特点	53
鉴定点 2	交流放大器的应用和特点	53
鉴定点 3	运算放大器的应用和特点	54
鉴定点 4	门电路的应用和特点	55
鉴定点 5	触发器的应用和特点	56
鉴定点 6	计数器的应用和特点	57
鉴定点 7	集成稳压电路的应用和特点	58
鉴定点 8	晶闸管触发电路的应用和特点	58
鉴定点 9	晶闸管移相电路的应用和特点	58

· 鉴定点 10 脉冲产生电路的应用和特点	60
鉴定范围 10 常用电子电路的故障寻找及排除	61
鉴定点 1 电压测量法	61
鉴定点 2 电流测量法	61
鉴定点 3 波形测量法	62
鉴定点 4 电阻测量法	62
鉴定点 5 替代法	63
鉴定点 6 逻辑判断法	63
鉴定范围 11 晶体管电路的特点和主要电路形式	64
鉴定点 1 晶体管特性曲线	64
鉴定点 2 晶体管的主要参数	65
鉴定点 3 交流电压放大器	66
鉴定点 4 直流放大器	67
鉴定点 5 射极输出器	68
鉴定点 6 功率放大器	69
鉴定点 7 电感耦合振荡器	71
鉴定点 8 电容耦合振荡器	73
鉴定点 9 阻容振荡器	74
鉴定范围 12 数字电路的特点和主要电路形式	75
鉴定点 1 晶体管的开关特性	75
鉴定点 2 与门	76
鉴定点 3 非门	76
鉴定点 4 或门	77
鉴定点 5 与非门	77
鉴定点 6 或非门	78
鉴定点 7 异或门	79
鉴定点 8 多谐振荡器	79
鉴定点 9 单稳态电路	82
鉴定点 10 双稳态电路	82
鉴定点 11 数字电路的特点	83
鉴定范围 13 晶闸管电路的特点和主要电路形式	84
鉴定点 1 晶闸管的工作原理	84
鉴定点 2 晶闸管的主要参数	85
鉴定点 3 单结晶体管触发电路	85
鉴定点 4 晶体管触发电路	86
鉴定点 5 阻容移相触发电路	87
鉴定点 6 单相半波可控整流	88
鉴定点 7 单相桥式半控整流	89
鉴定点 8 三相半波可控整流	89
鉴定点 9 三相桥式半控整流	90
鉴定点 10 晶闸管电路的特点	91
鉴定点 11 晶闸管开关电路	91

鉴定范围 14 变配电设备的安装基本知识	92
鉴定点 1 变压器的安装与调试知识	92
鉴定点 2 断路器的安装与调试知识	93
鉴定点 3 隔离开关的安装与调试知识	95
鉴定点 4 室外线路的安装知识	96
鉴定点 5 接地网的施工知识	97
鉴定点 6 开关柜的安装与调试知识	99
鉴定点 7 电容柜的安装与调试知识	100
鉴定点 8 控制柜的安装与调试知识	101
鉴定点 9 仪表盘的安装与调试知识	103
鉴定点 10 附属设备的安装知识	104
鉴定点 11 母排的安装知识	104
鉴定点 12 控制电路的安装知识	105
鉴定点 13 电压互感器的安装知识	106
鉴定点 14 电流互感器的安装知识	106
鉴定点 15 附属电源的调试知识	107
鉴定点 16 线路自动重合闸装置的调试知识	108
鉴定点 17 线路自动重合闸装置的原理	108
鉴定点 18 线路自动重合闸装置的结构	109
鉴定点 19 高低压短路电流的计算与匹配	110
鉴定点 20 继电保护装置的调试整定	111
鉴定范围 15 分析设备的异常现象及故障排除方法	112
鉴定点 1 变压器的异常现象及故障排除方法	112
鉴定点 2 断路器的异常现象及故障排除方法	112
鉴定点 3 隔离开关的异常现象及故障排除方法	113
鉴定点 4 保护电路的异常现象及故障排除方法	114
鉴定点 5 控制电路的异常现象及故障排除方法	114
鉴定点 6 直流回路的异常现象及故障排除方法	115
鉴定点 7 测量回路的异常现象及故障排除方法	116
鉴定范围 16 同步电动机知识	118
鉴定点 1 同步电动机的安装知识	118
鉴定点 2 同步电动机的结构	118
鉴定点 3 同步电动机的工作原理	119
鉴定点 4 同步电动机的起动知识	119
鉴定点 5 同步电动机的励磁方法	120
鉴定点 6 自动电力拖动设备的安装知识	120
鉴定点 7 电力拖动设备的基本知识	121
鉴定范围 17 发电设备知识	124
鉴定点 1 发电机的结构	124
鉴定点 2 发电机的工作原理	125
鉴定点 3 发电机的安装知识	126
鉴定点 4 发电机的检查知识	127

VIII

鉴定点 5	发电机的控制知识	128
鉴定点 6	发电机的保护电路	130
鉴定点 7	发电机的冷却方式	132
鉴定点 8	发电机的运行维护知识	132
鉴定点 9	发电机并网运行的条件	133
鉴定范围 18	高压电气试验知识	135
鉴定点 1	变压器试验知识	135
鉴定点 2	互感器试验知识	136
鉴定点 3	电力电缆试验知识	139
鉴定点 4	电容器试验知识	140
鉴定点 5	避雷器试验知识	141
鉴定点 6	绝缘油试验知识	142
鉴定点 7	电气安全用具试验知识	143
鉴定点 8	断路器试验知识	144
鉴定范围 19	微机知识	145
鉴定点 1	微机基本工作原理	145
鉴定点 2	微机控制系统的基本构成	146
鉴定点 3	微机控制的基本原理	146
鉴定点 4	微机检测的基本原理	146
鉴定范围 20	变配电所运行和管理知识	148
鉴定点 1	变配电所的运行制度	148
鉴定点 2	变配电所的管理制度	149
鉴定点 3	国家供用电规则	150
鉴定点 4	评介本企业合理用电导则	151
鉴定范围 21	提高劳动生产率知识	153
鉴定点 1	工时定额的组成	153
鉴定点 2	缩短机动时间的措施	153
鉴定点 3	缩短辅助时间的措施	154

二、应会单元

鉴定范围 1	电气接线	155
鉴定点 1	晶闸管可控整流电路的接线	155
鉴定点 2	电动机自动控制电路的接线	161
鉴定点 3	交流电动机制动控制电路的接线	165
鉴定点 4	直流电动机制动控制电路的接线	168
鉴定点 5	可编程控制器控制的电动机拖动系统的接线	170
鉴定点 6	发电机、变压器及配用电设备的差动保护接线	177
鉴定点 7	备用电源投入装置的接线	179
鉴定点 8	自动重合闸装置的接线	181
鉴定范围 2	故障判断与处理	185
鉴定点 1	整流与逆变电路的故障判断与处理	185
鉴定点 2	交流电动机自动控制电路的故障判断与处理	188

鉴定点 3	直流电动机制动控制电路的故障判断与处理	193
鉴定点 4	可编程控制器控制的电动机拖动系统的故障判断与处理	195
鉴定点 5	发电机、变压器及配用电设备的差动保护接线故障判断与处理	199
鉴定点 6	备用电源投入装置的接线故障判断与处理	201
鉴定点 7	自动重合闸装置的接线故障判断与处理	203
鉴定范围 3	电气安装与调试	206
鉴定点 1	电弧炉控制系统的设备安装与调试	206
鉴定点 2	中高频感应炉控制设备的安装与调试	211
鉴定点 3	可编程控制器控制的电动机拖动系统的安装与调试	214
鉴定点 4	10kV 开关柜的安装与调试	220
鉴定点 5	电容柜的安装与调试	225
鉴定点 6	控制屏的安装与调试	228
鉴定点 7	保护屏的安装与调试	231
鉴定点 8	直流屏的安装与调试	235
鉴定点 9	中央信号屏的安装与调试	238
鉴定点 10	高压配电线路的施工与测量	240
鉴定点 11	电缆终端头的制作	244
鉴定范围 4	钳工基础	248
鉴定点 1	钻孔与铰孔	248
鉴定点 2	校直与弯曲	252
鉴定点 3	钻头刃磨	257
考核重点		260
附表1	理论知识鉴定考核重点表	260
附表2	操作技能鉴定考核重点表	265
模拟试卷		268
应知试卷		270
应会试卷		321
参考文献		336

一、应知单元

鉴定范围1 电路知识

鉴定点1 复杂直流电路的分析计算

鉴定要求：掌握复杂直流电路的分析计算方法。

问：何谓复杂电路？何谓支路电流法和节点电压法？

答：不能用串、并联关系进行简化的电路称为复杂电路。解决复杂电路的依据是欧姆定律和基尔霍夫定律。解决复杂电路常用的方法有支路电流法、节点电压法和回路电压法等。

(1) 支路电流法 支路电流法就是以各支路电流为未知量，应用基尔霍夫定律列出方程式，联立方程组求解各支路电流的方法。其步骤为：

1) 首先标出各支路电流的参考方向和回路绕行方向。

2) 列节点电流方程。假设有 n 个节点， m 条支路，则可列出 $(n-1)$ 个节点电流的独立方程。

3) 根据基尔霍夫第二定律列回路电压方程，可列出 $m-(n-1)$ 个独立回路电压方程式。

4) 联立方程组求解得出各支路电流。

(2) 节点电压法 在复杂电路计算中，对支路较多而节点很少的电路，用节点电压法计算较为简便。节点电压法是以节点电压为未知量，先求出节点电压，再根据含源电路欧姆定律求出各支路电流。用节点电压法解题的步骤如下：

1) 选定参考点 B 和节点 A 电压的参考方向。

2) 求出节点电压，即

$$U_{AB} = \frac{\sum \frac{E}{R}}{\sum \frac{1}{R}}$$

如果用电导表示电阻，则上式可为

$$U_{AB} = \frac{\sum EG}{\sum G}$$

上述两个公式中分母中各项的符号都是正号；分子各项的符号按以下原则确定：凡电动势的方向指向节点时取正号，反之取负号。

3) 根据含源支路欧姆定律求出各支路电流。

试题选解：

如图 1-1-1 所示电路中, $E_1 = 140\text{V}$, $E_2 = 90\text{V}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 6\Omega$, 试求各支路电流。

解: 1) 标出各支路电流的参考方向和回路绕行方向。

2) 根据基尔霍夫电流定律列节点电流方程。

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

3) 根据基尔霍夫电压定律列回路电压方程。

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$$

4) 代入已知数解方程组

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$20I_1 + 6I_3 = 140$$

$$5I_2 + 6I_3 = 90$$

解得: $I_1 = 4\text{A}$ $I_2 = 6\text{A}$ $I_3 = 10\text{A}$

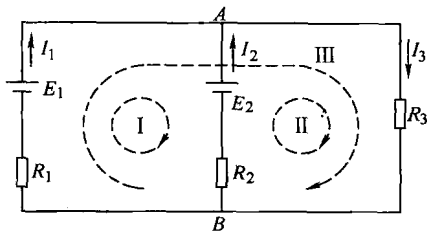


图 1-1-1 支路电流法示例

鉴定点 2 交流电路的分析计算

鉴定要求：掌握复杂交流电路的分析计算方法。

问：如何进行正弦交流电路的分析计算？

答：正弦交流电路的分析计算如下：

(1) 正弦交流电路的基本概念 凡大小和方向随时间改变的电流（电压、电动势）称为交流电。大小和方向随时间作周期性变化的电流（电压和电动势）称为周期性交流电，简称交流电。其中随时间按正弦规律变化的交流电称为正弦交流电；随时间不按正弦规律变化的交流电称为非正弦交流电。平时所说的交流电是指正弦交流电。正弦交流电动势是由三相正弦交流发电机产生的。正弦交流电的三要素有：

1) 最大值。

① 瞬时值。正弦交流电在某一时刻的值称为在这一时刻正弦交流电的瞬时值。电动势、电压和电流的瞬时值分别用小写字母 e 、 u 和 i 表示。

② 最大值。最大的瞬时值称为最大值，也称为幅值或峰值。电动势、电压和电流的最大值分别用符号 E_m 、 U_m 、 I_m 表示。

③ 有效值。交流电的有效值是根据电流的热效应来规定的。相同时间内热效应与交流电等效的直流值称为这一交流电的有效值。交流电动势、电压和电流的有效值分别用大写字母 E 、 U 和 I 表示。

交流电最大值与有效值的关系为

$$E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m$$

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m$$

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

2) 频率、周期和角频率。交流电在单位时间内周期性变化的次数称为交流电的频率, 用符号 f 表示, 单位为 Hz。频率的单位还有 kHz、MHz。

在我国的电力系统中, 国家规定动力和照明用电的频率为 50Hz, 习惯上称为工频。

交流电完成一次周期性变化所需的时间称为交流电的周期, 用符号 T 表示, 单位为 s。周期较小的单位还有 ms、 μ s。工频交流电的周期为 0.02s。根据定义可得

$$f = 1/T$$

交流电每秒所变化的电角度称为交流电的角频率, 用符号 ω 表示, 单位是 rad/s。周期、频率和角频率的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

3) 初相位。在正弦交流电路中, 任意 t 时刻线圈平面与中性面的夹角 ($\omega t + \varphi$) 称为正弦交流电的相位或相角。 $t=0$ 时刻的相位称为初相位, 简称为初相。通常 $|\varphi| \leq 180^\circ$ 。

两个同频率交流电的相位之差称为相位差。设 $e_1 = E_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$, $e_2 = E_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$, 则其相位差为

$$\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

注意: 初位相的大小与时间起点的选择密切相关, 而相位差与时间起点的选择无关。

(2) 单相正弦交流电路的分析与计算 分析和计算单相正弦交流电路的方法如下:

1) 纯正弦交流电路的分析与计算。纯正弦交流电路是指纯电阻正弦交流电路、纯电感正弦交流电路和纯电容正弦交流电路。

① 纯电阻正弦交流电路。正弦交流电路中如果只有线性电阻, 这种电路就称为纯电阻正弦交流电路。在纯电阻正弦交流电路中, 电压与电流同相位, 即电压与电流的相位差 $\varphi = 0$ 。

电压与电流有效值的关系为

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

电压瞬时值 u 和电流瞬时值 i 的乘积称为瞬时功率, 用 p 表示。

$$p = ui$$

平均功率是指瞬时功率在一个周期内的平均值, 用 P 表示。平均功率又称为有功功率。

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

② 纯电感正弦交流电路。在正弦交流电路中, 如果只用电感线圈作负载, 而且线圈的电阻和分布电容均可忽略不计, 这样的电路就叫做纯电感正弦交流电路。

纯电感电路中, 电感两端的电压超前电流 90° 。

设

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

则

$$u_L = U_{Lm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

电流与电压的最大值及有效值之间也符合欧姆定律, 即

$$U_{Lm} = \omega L I_m$$

$$U_L = \omega L I$$

$$I = \frac{U_L}{X_L}$$

X_L 称为感抗, 表明电感具有阻碍交流电流流过电感线圈的性质。感抗 X_L 等于电感元件上电压与电流的最大值或有效值之比, 不等于它们的瞬时值之比。

感抗的计算公式为

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

感抗的单位为 Ω 。

纯电感电路的功率:

- a. 瞬时功率等于电流瞬时值与电压瞬时值的乘积。
- b. 平均功率等于零, 即 $P=0$, 也就是说电感元件在交流电路中不消耗电能。
- c. 无功功率。电感线圈不消耗电源的能量, 但在电感元件与电源之间不断地进行周期性的能量交换。为了反映电感元件与电源之间进行能量交换的规模, 把瞬时功率的最大值叫做电感元件上的无功功率, 用符号 Q_L 表示, 其表达式为

$$Q_L = U_L I = I^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L}$$

无功功率的单位为 var。

注意: “无功”的含意是交换而不是消耗, 是相对“有功”而言的, 绝不能理解为“无用”。

③ 纯电容正弦交流电路。在交流电路中, 如果只用电容器作负载, 而且电容器的绝缘电阻很大, 介质损耗和分布电感均可忽略不计, 这样的电路称为纯电容电路。在纯电容电路中: 电流在相位上超前电压 90° ; 电流与电压的最大值及有效值之间也符合欧姆定律; X_C 起着阻碍电流通过电容器的作用, 所以把 X_C 称为电容器的电抗, 简称容抗。其计算式为

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

容抗的单位为 Ω 。容抗 X_C 等于电容元件上电压与电流的最大值或有效值之比, 不等于它们的瞬时值之比。

纯电容电路的功率:

- a. 纯电容电路的瞬时功率同样可用 $p = ui$ 求出。
- b. 平均功率为零, 即电容器不消耗能量。
- c. 无功功率等于瞬时功率的最大值, 用 Q_C 表示, 即

$$Q_C = U_C I = I^2 X_C = \frac{U_C^2}{X_C}$$

无功功率的单位为 var。

2) RLC 串联电路。电阻、电感和电容的串联电路称为 RLC 串联电路。 RLC 串联电路中:

- ① 电压与电流的相位关系为

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

$X_L > X_C$ 时, 总电压超前电流, 电路呈感性。

$X_L < X_C$ 时, 总电压滞后电流, 电路呈容性。

$X_L = X_C$ 时, 总电压与电流同相位, 电路发生串联谐振, 电路呈阻性。

② 总电压与总电流、总电压与各分电压之间的关系为

$$U = IZ = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

U 、 U_R 、 U_C 组成电压三角形。

③ 总阻抗

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

式中 $X_L - X_C$ ——电抗。

Z 、 R 、 X 组成阻抗三角形。阻抗角为

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

④ 电路中的功率。

a. 有功功率。电阻消耗的功率为总电路的有功功率, 即平均功率。

$$P = I^2 R = UI \cos \varphi$$

有功功率的单位为 W。

b. 无功功率。总的无功功率等于电感和电容上的无功功率之差。

$$Q = Q_L - Q_C$$

无功功率的单位为 var。

当 $X_L > X_C$ 时, Q 为正, 表示电路中为感性无功功率; 当 $X_L < X_C$ 时, Q 为负, 表示电路中为容性无功功率; 当 $X_L = X_C$ 时, 无功功率 $Q = 0$, 电路处于谐振状态, 只有电感与电容之间进行能量交换。

c. 视在功率。电路的总电压与总电流的有效值的乘积称为电路的视在功率, 用 S 表示, 即

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

视在功率的单位为 $V \cdot A$ 。

有功功率为

$$P = S \cos \varphi$$

无功功率为

$$Q = S \sin \varphi$$

视在功率、有功功率和无功功率组成功率三角形。

d. 功率因数。有功功率与视在功率的比值称为功率因数。

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

功率因数还可由阻抗三角形或电压三角形得到, 即

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U}$$

(3) 三相交流电路

1) 概念。最大值相等、频率相同、相位互差 120° 的三个正弦电动势称为对称三相电动势。若以三相对称电动势中的 U 相为参考正弦量, 则它们的瞬时值表达式、波形图和相量

图分别为

$$\begin{aligned}e_U &= E_m \sin \omega t \\e_V &= E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\e_W &= E_m \sin (\omega t + 120^\circ)\end{aligned}$$

2) 三相电源的联结。

① 三相电源的星形联结。将三相电源的三相绕组的末端 U2、V2、W2 连在一起，始端作为输出线的引出端，这种接线方式叫做星形联结。有中性线的三相制叫做三相四线制，无中性线的三相制叫做三相三线制。电力系统中，一般都采用三相四线制方式供电。

电源每相绕组两端的电压称为电源的相电压。有中性线时，各相线与中性线之间的电压就是相电压。相线与相线之间的电压称为线电压。线电压与相电压之间的关系为：

- a. 数量关系：线电压等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$U_L = \sqrt{3} U_P$$

- b. 相位关系：线电压超前相应的相电压 30° ，即

$$U_L = \sqrt{3} U_P e^{-j30^\circ}$$

② 三相发电机一般不采用三角形联结而采用星形联结。

3) 三相负载的联结。通常把各相负载相同的三相负载叫做三相对称负载。三相负载的连接也有星形 (Y) 联结与三角形 (Δ) 联结两种。

① 三相负载的星形联结。将三相负载分别接到三相电源的相线和中性线之间的接法称为三相负载的星形 (Y) 联结。规定：每相负载两端的电压称为负载的相电压，流过每相负载的电流称为负载的相电流；流过相线的电流称为线电流，相线与相线之间的电压称为线电压；负载为星形联结时，负载相电压的参考方向与相电压的参考方向一致，线电流的参考方向为由电源端指向负载端，中性线电流的参考方向规定为由负载中性点指向电源中性点。

负载作星形联结时有以下特点：

- a. 负载端的相电压就等于电源的相电压，负载端的线电压就等于电源的线电压。
b. 线电压的相位仍超前对应的相电压 30° ，即

$$U_{YL} = \sqrt{3} U_{YP}$$

- c. 相电流与线电流相等，即

$$I_{YL} = I_{YP}$$

② 三相负载的三角形联结。把三相负载分别接在三相电源的每两根端线之间就称为三相负载的三角形 (Δ) 联结。负载作三角形连接时，有以下特点：

- a. 负载的相电压就是线电压，即

$$U_{\Delta P} = U_{\Delta L}$$

- b. 负载的线电流为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，并且线电流的相位滞后与其对应的相电流 30° 。

总之，线电压一定时，负载作三角形联结时的相电压是星形联结时的 $\sqrt{3}$ 倍。因此，三相负载接到三相电源中，做星形联结还是三角形联结，应根据三相负载的额定电压而定。若各相负载的额定电压等于电源的线电压，则应做三角形联结；若各相负载的额定电压是电源线电压的 $1/\sqrt{3}$ ，则应做星形联结。