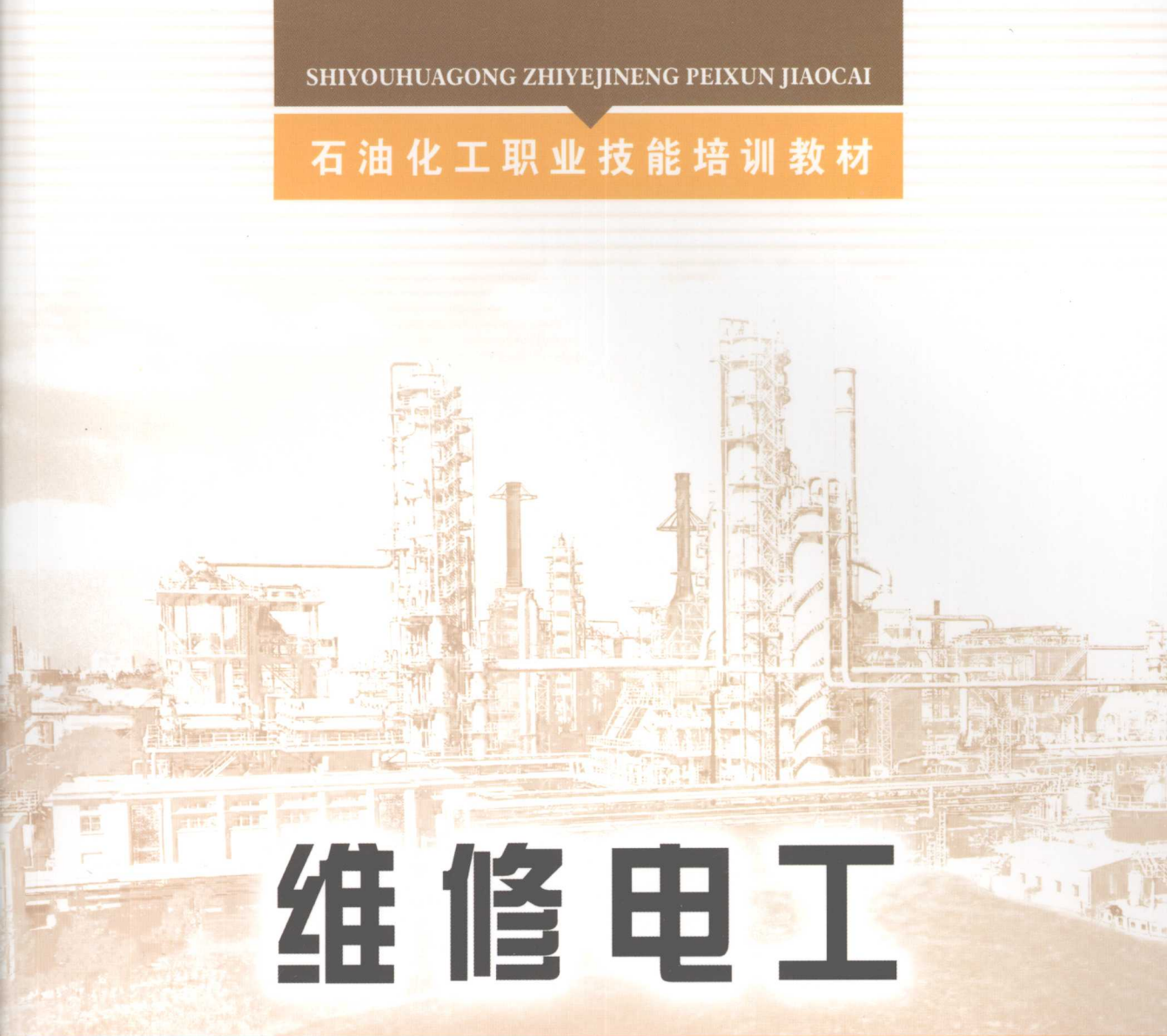


SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



维修电工

中国石油化工集团公司人事部
中国石油天然气集团公司人事服务中心

编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

要 點 客 內

石油化工职业技能培训教材

维 修 电 工

中国石油化工集团公司人事部 编
中国石油天然气集团公司人事服务中心

中国石化出版社

内 容 提 要

《维修电工》为《石油化工职业技能培训教材》系列之一,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》中,对该工种初级工、中级工、高级工、技师、高级技师五个级别的专业理论知识和操作技能的要求。主要内容包括电工基础知识、电工工具及仪表仪器的使用、常用电工材料、电器防爆、电动机、变压器、电力线路、继电保护、电力电子技术应用、电器照明、可编程序控制器应用、110kV 及以下高压开关设备、低压电器原理与检修等。

本书是维修电工进行职业技能培训的必备教材,也是专业技术人员必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

维修电工/中国石油化工集团公司人事部,中国石油
天然气集团公司人事服务中心编. —北京:中国石化出版
社,2008

石油化工职业技能培训教材
ISBN 978-7-80229-493-6

I. 维… II. ①中…②中… III. IV.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017553 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 23 印张 568 千字

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

定价:46.00 元

《石油化工职业技能培训教材》

开发工作领导小组

组 长：周 原

副组长：王天普

成 员：(按姓氏笔画顺序)

于洪涛	王子康	王玉霖	王妙云	王者顺	王 彪
付 建	向守源	孙伟君	何敏君	余小余	冷胜军
吴 耘	张 凯	张继田	李 刚	杨继钢	邹建华
陆伟群	周赢冠	苟连杰	赵日峰	唐成建	钱衡格
蒋 凡					

编审专家组

(按姓氏笔画顺序)

王 强	史瑞生	孙宝慈	李兆斌	李志英	岑奇顺
杨 徐	郑世桂	姜殿虹	唐 杰	黎宗坚	

编审委员会

主 任：王者顺

副主任：向守源 周志明

成 员：(按姓氏笔画顺序)

王力健	王凤维	叶方军	任 伟	刘文玉	刘忠华
刘保书	刘瑞善	朱长根	朱家成	江毅平	许 坚
余立辉	吴 云	张云燕	张月娥	张全胜	肖铁岩
陆正伟	罗锡庆	倪春志	贾铁成	高 原	崔 昶
曹宗祥	职丽枫	黄义贤	彭干明	谢 东	谢学民
韩 伟	雷建忠	谭忠阁	潘 慧	穆晓秋	

前言

为了进一步加强石油化工行业技能人才队伍建设,满足职业技能培训和鉴定的需要,中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心联合组织编写了《石油化工职业技能培训教材》。本套教材的编写依照劳动和社会保障部制定的石油化工生产人员《国家职业标准》及中国石油化工集团公司人事部编制的《石油化工职业技能培训考核大纲》,坚持以职业活动为导向,以职业技能为核心,以“实用、管用、够用”为编写原则,结合石油化工行业生产实际,以适应技术进步、技术创新、新工艺、新设备、新材料、新方法等要求,突出实用性、先进性、通用性,力求为石油化工行业生产人员职业技能培训提供一套高质量的教材。

根据国家职业分类和石油化工行业各工种的特点,本套教材采用共性知识集中编写,各工种特有知识单独分册编写的模式。全套教材共分为三个层次,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》各职业(工种)对初级、中级、高级、技师和高级技师各级别的要求。

第一层次《石油化工通用知识》为石油化工行业通用基础知识,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各职业(工种)共性知识的要求。主要内容包括:职业道德,相关法律法规知识,安全生产与环境保护,生产管理,质量管理,生产记录、公文和技术文件,制图与识图,计算机基础,职业培训与职业技能鉴定等方面的基本知识。

第二层次为专业基础知识,分为《炼油基础知识》和《化工化纤基础知识》两册。其中《炼油基础知识》涵盖燃料油生产工、润滑油(脂)生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识;《化工化纤基础知识》涵盖脂肪烃生产工、烃类衍生物生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识。

第三层次为各工种专业理论知识和操作技能,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各工种操作技能和相关知识的要求,包括工艺原理、工艺操作、设备使用与维护、事故判断与处理等内容。

《维修电工》包含第二、三层次的内容。它以提高维修电工的技能操作能力

为出发点,内容包括电工基础知识、电工工具及仪表仪器的使用、常用电工材料、电器防爆、电动机、变压器、电力线路、继电保护、电力电子技术应用、电器照明、可编程序控制器应用、110kV及以下高压开关设备、低压电器原理与检修等。该教材内容丰富,通俗易懂,涵盖中国石油化工行业维修电工的初级工、中级工、高级工、技师、高级技师五个级别的基础知识和操作技能训练项目。适用于本职业本工种各个等级的培训考核,对实际工作和日常操作亦有指导作用。

《维修电工》教材由扬子石化负责组织编写,天津石化参与编写。主编王辛夷(扬子石化),参加编写的人员有尹学中(扬子石化)、乔庆芳(扬子石化)、朱曦伟(扬子石化)、刘建强(扬子石化)、许鸿先(扬子石化)、孙绍寿(扬子石化)、严兆兴(扬子石化)、杨玉萍(扬子石化)、高义强(扬子石化)、章新(扬子石化)、熊飏(扬子石化)。本教材已经中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心组织的职业技能培训教材审定委员会审定通过。主审陈英涛,参加审定的人员有单正阜、任红军、吕英。审定工作得到了天津石化的大力支持;中国石化出版社对教材的编写和出版工作给予了通力协作和配合,在此一并表示感谢。

由于石油化工职业技能培训教材涵盖的职业(工种)较多,同工种不同企业的生产装置之间也存在着差别,编写难度较大,加之编写时间紧迫,不足之处在所难免,敬请各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议,以便教材修订时补充更正。

目 录

第1章 电工基础

1.1 直流电路	(1)
1.1.1 欧姆定律	(1)
1.1.2 基尔霍夫定律	(2)
1.1.3 支路电流法	(4)
1.1.4 戴维南定理	(4)
1.2 正弦交流电路	(6)
1.2.1 正弦交流电的基本概念	(6)
1.2.2 正弦交流电的表示方法	(7)
1.2.3 电阻、电感、电容的串联电路	(8)
1.2.4 电阻、电感串联再与电容并联的电路	(12)
1.2.5 三相交流电路的基本概念	(13)
1.2.6 对称三相交流电路的计算	(15)
1.2.7 交流电路的功率因数	(17)
1.3 磁与磁路	(18)
1.3.1 磁的基本知识	(18)
1.3.2 磁场对通电导体的作用	(20)
1.3.3 铁磁性材料的磁性能	(22)
1.3.4 电磁感应	(24)
1.3.5 磁路与磁路定律	(27)

第2章 电工工具、量具及仪器、仪表

2.1 常用电工工具	(29)
2.1.1 验电器	(29)
2.1.2 电工钳	(30)
2.1.3 电工刀	(31)
2.1.4 电烙铁	(31)
2.1.5 螺钉旋具	(32)
2.1.6 压接钳	(33)
2.2 万用表	(33)
2.2.1 万用表的结构	(33)
2.2.2 万用表的工作原理	(34)
2.3 兆欧表	(35)
2.3.1 兆欧表的选择	(35)

2.3.2 兆欧表的正确使用与维护	(35)
2.4 钳形电流表	(36)
2.4.1 交流钳形电流表	(36)
2.4.2 交直流两用钳形表	(36)
2.4.3 钳形电流表的正确使用	(36)
2.5 电桥	(37)
2.5.1 直流单臂电桥	(37)
2.5.2 直流双臂电桥	(38)
2.6 示波器	(39)
2.6.1 示波器面板功能键、钮的标示	(39)
2.6.2 一般使用方法	(40)
2.7 速测仪	(40)
2.8 SPM 测振仪及数据分析	(41)
2.8.1 冲击脉冲法(SPM)的原理	(41)
2.8.2 冲击脉冲法(SPM)的特点	(41)
2.8.3 数据分析	(41)
2.9 红外线测温仪	(43)
2.9.1 红外线测温仪的原理	(43)
2.9.2 红外线测温仪的组成与分类	(44)
2.9.3 红外线测温仪的主要参数	(44)
2.9.4 红外线测温仪使用中需要注意的问题	(44)
2.10 测量误差及减少误差的方法	(45)
2.10.1 测量方法	(45)
2.10.2 测量误差与消除	(45)

第3章 常用电工材料

3.1 绝缘材料	(47)
3.1.1 固体绝缘材料	(47)
3.1.2 变压器油	(50)
3.2 导线与电缆的选用	(53)
3.2.1 导电材料的选择	(53)
3.2.2 导线与电缆截面的选择	(53)
3.2.3 电缆型号编制方法	(56)
3.3 滚动轴承	(61)
3.3.1 滚动轴承的基本代号	(61)
3.3.2 类型代号	(62)
3.3.3 尺寸系列代号	(62)
3.3.4 内径代号	(62)
3.3.5 基本代号编制规则	(63)
3.3.6 轴承公差等级	(63)

3.4 润滑脂	(63)
3.4.1 润滑脂的组成	(63)
3.4.2 润滑脂的特性	(64)
3.4.3 常用润滑脂的种类和性能	(64)
3.4.4 润滑脂的主要指标	(65)
3.4.5 润滑脂的填充量	(65)
3.4.6 润滑脂的混合	(65)

第4章 电气防爆

4.1 电气防爆常识	(66)
4.1.1 电气爆炸的条件	(66)
4.1.2 各种防爆类型电气设备的基本要求	(66)
4.1.3 爆炸性危险场所的区域分类	(67)
4.2 电气气体防爆	(67)
4.2.1 气体类危险场所的分组和分级	(67)
4.2.2 气体、蒸气类爆炸危险场所的分区	(67)
4.2.3 气体、蒸气类防爆电气设备的选型	(68)
4.2.4 气体、蒸气类防爆电气线路	(70)
4.3 电气粉尘防爆	(70)
4.3.1 粉尘类危险场所的分组和分级	(71)
4.3.2 粉尘爆炸危险场所的分区	(71)
4.3.3 粉尘防爆电气设备的选型	(71)
4.3.4 粉尘防爆电气线路	(71)
4.4 防爆电气设备安装前的检查	(72)
4.5 防爆标识、防爆合格证编号	(73)
4.5.1 防爆标志的构成	(73)
4.5.2 防爆合格证编号	(73)

第5章 电动机

5.1 异步电动机	(75)
5.1.1 异步电机结构原理	(75)
5.1.2 异步电动机安装调试	(78)
5.1.3 异步电动机故障处理	(80)
5.1.4 异步电动机检修试验	(83)
5.2 同步电动机	(86)
5.2.1 同步电动机结构原理	(86)
5.2.2 同步电动机安装	(88)
5.2.3 同步电动机故障处理	(89)
5.2.4 同步电动机检修试验	(90)
5.3 直流电动机	(93)

5.3.1	直流电动机结构原理	(93)
5.3.2	直流电动机安装调试	(96)
5.3.3	直流电动机故障处理	(96)
5.3.4	直流电动机的检修试验	(97)
5.4	电动机控制电路	(100)
5.4.1	电动机单向启动控制	(100)
5.4.2	电动机正反转控制	(101)
5.4.3	Y— Δ 启动交流电动机	(101)
5.4.4	反接制动控制电路	(102)

第6章 变压器

6.1	变压器的工作原理	(104)
6.1.1	变压器的运行原理	(105)
6.1.2	变压器的运行特性	(111)
6.1.3	变压器的并联运行	(112)
6.2	变压器的结构	(114)
6.2.1	油箱和冷却装置	(114)
6.2.2	器身	(114)
6.2.3	保护装置	(115)
6.2.4	调压装置	(116)
6.2.5	出线装置	(117)
6.3	变压器的故障及诊断	(117)
6.3.1	变压器故障的分类	(117)
6.3.2	常见变压器故障	(117)
6.3.3	变压器故障的检测	(119)
6.3.4	变压器内部故障的诊断	(121)
6.4	变压器的检修	(122)
6.4.1	变压器的小修项目	(122)
6.4.2	变压器大修项目	(122)
6.4.3	吊芯检修	(123)
6.5	变压器的试验和投运	(125)
6.5.1	变压器的试验项目	(125)
6.5.2	变压器的试验方法	(126)
6.5.3	变压器的投运	(131)
6.6	干式变压器	(132)
6.6.1	类型	(132)
6.6.2	检修	(132)
6.6.3	试验	(132)
6.7	互感器	(133)
6.7.1	互感器的检修	(133)

6.7.2 互感器的试验	(134)
--------------------	-------

第7章 电力线路

7.1 架空线路	(136)
7.1.1 架空线路巡视的主要内容	(136)
7.1.2 架空线路各元件的要求	(138)
7.2 电缆线路	(139)
7.2.1 电缆的敷设和维护	(140)
7.2.2 电缆接头与终端头制作	(149)
7.2.3 电缆线路故障及探测	(152)
7.2.4 电缆试验	(155)

第8章 110kV 及以下高压开关设备

8.1 电弧的产生及灭弧方法	(159)
8.1.1 电弧的形成	(159)
8.1.2 电弧熄弧过程和灭弧方法	(160)
8.2 高压开关典型控制回路	(161)
8.2.1 控制回路的类型组成及要求	(161)
8.2.2 断路器的控制回路	(164)
8.3 少油断路器	(167)
8.3.1 少油断路器的结构和原理	(167)
8.3.2 少油断路器的常见故障	(169)
8.3.3 少油断路器的检修	(172)
8.3.4 少油断路器的试验	(174)
8.4 真空断路器	(176)
8.4.1 真空断路器的基本结构	(176)
8.4.2 真空断路器的维护与检修	(179)
8.4.3 真空断路器的试验	(182)
8.5 SF ₆ 断路器	(183)
8.5.1 SF ₆ 断路器的结构和原理	(183)
8.5.2 SF ₆ 断路器的常见故障	(187)
8.5.3 SF ₆ 断路器和组合电器的运行与维护	(187)
8.6 隔离开关	(188)
8.6.1 隔离开关的结构和原理	(188)
8.6.2 隔离开关的常见故障	(190)
8.6.3 隔离开关的检修、试验	(191)
8.7 成套设备介绍	(192)
8.7.1 西门子 12kV 户内 8BK20 型金属铠装移开式户内交流开关柜 (配 3AF 或 3AH 型真空断路器)	(192)
8.7.2 40.5kV 8DA 系列 GIS 开关柜	(192)

第9章 低压电器原理与检修

9.1 熔断器	(195)
9.1.1 熔断器的用途和分类	(195)
9.1.2 熔断器的工作原理	(197)
9.1.3 常用的熔断器	(197)
9.2 低压断路器	(198)
9.2.1 低压断路器的分类	(198)
9.2.2 低压断路器的工作原理	(199)
9.2.3 低压断路器的结构	(200)
9.2.4 常用低压断路器的技术性能	(201)
9.2.5 低压断路器的保护特性	(202)
9.2.6 低压断路器的选用	(202)
9.2.7 低压断路器的接线	(204)
9.2.8 低压断路器常见故障及维修	(205)
9.3 接触器	(206)
9.3.1 交流接触器	(206)
9.3.2 直流接触器	(207)
9.3.3 接触器的选用	(208)
9.3.4 交流接触器的常见故障及维修	(208)
9.4 刀开关和转换开关	(209)
9.4.1 刀开关的用途和分类	(209)
9.4.2 常用的刀开关	(209)
9.4.3 HZ 系列转换开关	(211)
9.5 控制继电器	(212)
9.5.1 电磁式继电器	(212)
9.5.2 时间继电器	(213)
9.5.3 热继电器	(217)
9.5.4 速度继电器	(219)
9.6 低压综合保护继电器	(220)
9.6.1 低压综合保护继电器的原理	(220)
9.6.2 低压综合保护继电器的应用	(222)
9.7 漏电保护器	(225)
9.7.1 漏电保护器原理	(225)
9.7.2 漏电保护器的应用	(226)
9.8 低压电器的故障及维修	(229)
9.8.1 触头的故障及维修	(229)
9.8.2 电磁机构的故障及维修	(231)
9.8.3 线圈的故障及维修	(232)

第 10 章 可编程序控制器应用

10.1 可编程序控制器的基本组成及工作原理	(234)
10.1.1 可编程序控制器的基本组成	(234)
10.1.2 PLC 的工作原理	(236)
10.1.3 PLC 的编程语言	(238)
10.2 可编程序控制器的程序设计	(239)
10.2.1 FX _{2N} 系列 PLC 的主要软元件	(239)
10.2.2 FX _{2N} 系列 PLC 的指令系统	(242)
10.2.3 状态转移图(SFC 图)	(252)
10.3 可编程序控制器的应用	(256)
10.3.1 可编程序控制器的应用步骤	(256)
10.3.2 梯形图的编程规则及技巧	(257)
10.3.3 典型的单元程序	(260)
10.3.4 可编程序控制器的应用实例	(264)

第 11 章 电力电子技术应用

11.1 电子元器件	(269)
11.1.1 二极管	(269)
11.1.2 三极管	(270)
11.1.3 晶闸管	(271)
11.1.4 集成运算放大器	(274)
11.2 数字电路	(277)
11.2.1 逻辑门电路	(277)
11.2.2 基本 RS 触发器	(278)
11.2.3 555 定时器	(279)
11.3 整流电路	(281)
11.3.1 单相桥式全控整流器	(281)
11.3.2 三相全控桥式整流电路	(282)
11.4 不间断电源	(284)
11.4.1 三相输入型 UPS 的工作原理	(284)
11.4.2 UPS 的使用与维护	(285)
11.4.3 UPS 常见故障及维修	(287)
11.4.4 UPS 设备管理	(288)
11.4.5 UPS 检修内容	(288)
11.5 直流电源	(290)
11.5.1 硅整流装置	(290)
11.5.2 高频开关	(291)

11.5.3 直流系统运行维护	(291)
11.5.4 常见故障及维修	(292)
11.6 蓄电池	(294)
11.6.1 阀控式密封铅酸蓄电池	(294)
11.6.2 固定型铅蓄电池	(295)
11.7 变频器	(297)
11.7.1 变频器的原理及应用	(297)
11.7.2 变频器的定期维护	(300)
11.7.3 变频器故障及处理	(302)

第12章 照明电路

12.1 照明的基本概念	(305)
12.2 常用电光源	(306)
12.3 照明灯具	(308)
12.3.1 灯具的分类	(308)
12.3.2 灯具的选用	(313)
12.4 照明配电	(314)
12.4.1 电气照明施工图设计程序	(314)
12.4.2 车间动力电气平面布线图	(315)
12.4.3 照明配电箱	(316)
12.4.4 照明供电线路的接地	(317)
12.4.5 动力、照明线路与质量检验	(319)

第13章 继电保护

13.1 继电保护的基本原理和保护装置的组成	(322)
13.1.1 继电保护的基本原理	(322)
13.1.2 继电保护装置的构成	(322)
13.1.3 电流、电压互感器的接线方式	(323)
13.2 线路保护	(325)
13.2.1 无时限电流速断保护	(325)
13.2.2 限时电流速断保护	(326)
13.2.3 时限过电流保护	(327)
13.2.4 中性点不接地系统的单相接地保护	(328)
13.3 电力变压器保护	(329)
13.3.1 变压器的瓦斯保护	(329)
13.3.2 变压器电流速断保护	(330)
13.3.3 变压器的纵联差动保护	(331)
13.3.4 变压器相间短路的后备保护和过负荷保护	(336)
13.4 高压电动机保护	(339)
13.4.1 电流速断保护	(340)

13.4.2	过负荷保护	(341)
13.4.3	电动机的纵联差动保护	(342)
13.4.4	电动机的低电压保护	(342)
13.5	微机型继电保护的构成	(345)
13.5.1	微机保护硬件的构成	(345)
13.5.2	微机保护装置软件的构成	(349)

第1章 电工基础

1.1 直流电路

1.1.1 欧姆定律

1.1.1.1 部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律是研究不包含电源的一段电路中的电流与这段电路两端的电压及电阻三者的关系。其内容是：流过导体的电流强度与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比。即

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

式中 I ——电路中的电流，A；

U ——导体两端的电压，V；

R ——导体的电阻， Ω 。

1.1.1.2 全电路欧姆定律

全电路是含有电源的闭合电路，如图 1-1 所示。虚线框中的 E 代表电源电动势； r 代表电源内阻。通常把电源内部的电路称为内电路，电源外部的电路称为外电路。

全电路欧姆定律的内容是：全电路中的电流强度与电源的电动势成正比，与整个电路（包括内路和外电路）的电阻成反比。即

$$I = \frac{E}{R + r}$$

由上式可得

$$E = IR + Ir = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

式中 I ——电路中的电流强度，A；

E ——电源电动势，V；

R ——外电路电阻， Ω ；

r ——内电路电阻， Ω ；

$U_{\text{外}}$ ——外电路电压；

$U_{\text{内}}$ ——内电路电压，V。

其中，外电路电压是指电路接通时电源两端的电压，又称路端电压，简称端电压。这样，全电路欧姆定律又可叙述为电源电动势在数值上等于闭合电路中的各部分的电压之和。

根据全电路的欧姆定律分析电路，应有以下三种工作状态：

(1) 负载状态 即电路处于通路状态时

$$U_{\text{外}} = E - Ir$$

根据上式可做出图 1-2 所示电源外特征曲线。由图可知，电源的外特征性曲线是一条

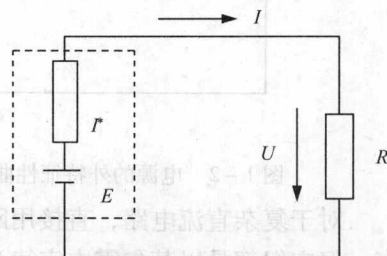


图 1-1 含有电源的闭合电路

向下倾斜的直线,随着 I 的增大, $U_{\text{外}}$ 由 E 沿直线下降,电源内阻越大, $U_{\text{外}}$ 下降越多。当电源内阻为零时,其外特性为一平行横轴的直线(见图1-2中虚线)。通常直流负载都需要恒定电压供电,所以总希望电源内阻越小越好。

(2) 开路状态 当外电路空载时,相当于 $R \rightarrow \infty$,则电路电流 $I=0$, $U_{\text{内}}=0$, $U_{\text{外}}=E$,即电路的端电压在数值上等于电源电动势。

(3) 短路状态 当电路处于短路状态时,相当于 $R \rightarrow 0$,此时的电路电流叫短路电流 I_s 。由于 r 一般都很小,所以 I_s 很大。短路时 $U_{\text{外}}=0$, $U_{\text{内}}=E$ 。

短路是一种严重事故,应尽力避免,短路时的短路电流 I_s 很大,可能使电源和电路遭受机械的与热能的损坏或损毁。为防止短路,可在电路中接入自动断路器或熔断器,一旦发生短路,能够及时切断电源。

1.1.2 基尔霍夫定律

直流电路根据其结构的不同,可分为两大类:一类是简单电路;另一类是复杂电路。一般认为,凡不能用电阻串、并联关系简化为无分支电路的就称为复杂电路,否则就是简单电路。图1-3所示就是一个复杂电路。虽然它的结构看起来简单,元件数很少,但由于 R_1 、 R_2 、 R_3 之间既不是串联关系,也不是并联关系,故无法用串、并联进行简化。

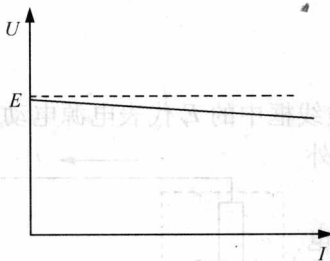


图1-2 电源的外特征性曲线

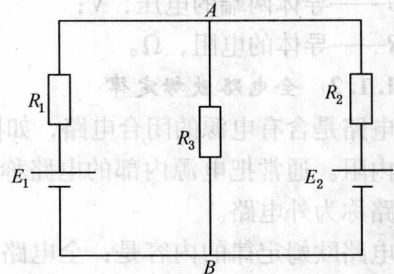


图1-3 复杂直流电路

对于复杂直流电路,直接用欧姆定律求解显然是不可能的。求解复杂直流电路的方法很多,但它们都是以基尔霍夫定律为基础的。

基尔霍夫定律是复杂电路分析计算的基本定律,在学习基尔霍夫定律的内容前,应先了解几个常用术语:

(1) 支路 由一个或几个元件串联组成的无分支电路称为支路。同一条支路中,各元件上流过的电流相等。图1-3中 R_1 、 E_1 构成一条支路, R_3 单独构成一条支路。

(2) 节点 三条或三条以上的支路的交汇点称为节点。图1-3中 A 点和 B 点都是节点。

(3) 回路 电路中的任一闭合路径称为回路。图1-3中 $A-R_1-E_1-B-R_3-A$ 构成一个回路。

(4) 网孔 不能再分的最简单的回路称为网孔。图1-3中 $A-R_1-E_1-B-R_3-A$ 和 $A-R_3-B-E_2-R_2-A$ 构成的都是最简单回路,也称为网孔。

1.1.2.1 基尔霍夫第一定律(KCL定律)

基尔霍夫第一定律是关于节点电流的。其内容是:电路中,流进任一节点的电流之和恒等于流出该节点的电流之和。如图1-4(a)中流入节点的电流之和为 $I_1+I_2+I_5$;流出节点的电流之和为 I_3+I_4 。因此