

供电中级工培训教材

配电网运行与检修

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训

辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社

编 著 者：纪瑞明

审 稿 者：徐德敏

责任编辑：柏 森 张宗源

责任校对：王兆文

东北电业管理局供电中级工培训教材编审委员会

主 任：张凤逸

副 主 任：胡恩喜 刘宗祥

编 委：范克文 郭素容

郭嘉毅 冀升山

高 莉

供电中级工培训教材
配电网运行与检修

东北电管局供电中级工培训教材编审委员会

辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社出版发行（北京安外六铺炕）

济南印刷三厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7.875 字数：171千字

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数：1—52,150册

ISBN 7-5008-0070-8/TM·1 定价：1.50元

前 言

为适应电力工业中级工培训的需要, 供电中级工培训教材和读者见面了, 这套教材是根据水利电力部指示, 由东北电业管理局供电中级工培训教材编审委员会组织东北电管局机关、供电企业、学校的高级工程师、工程师、讲师编写校核、审定, 由辽宁省职工教育教材编审委员会编辑、发行, 工人出版社出版, 全套教材包括:《数学》、《无机化学》、《有机化学》、《工程力学》、《机械制图》、《电工基础》、《电子技术基础》、《电气设备》、《变压器》、《高电压技术》、《继电保护及自动装置》、《电气仪表》、《分析化学》、《绝缘油及监督》、《送电线路电气及机械计算》、《调相机》、《配电网运行与检修》、《高压并联电容器》、《带电作业》等共二十种, 供不同专业、工种选用。

这套教材适用于供电系统各主要技术工种, 用电单位和企业电工、农村电工, 部分教材也适用于水、火电厂, 地方热电厂, 企业自备电厂以及电力建设单位相应的技术工种; 亦可作为有关技工学校、职业学校的参考教材, 同时可供从事电气运行、检修、安装的各级技术工人自学。

《配电网的运行与检修》(原拟名为配电设备) 由沈阳电业局纪瑞明高级工程师主编, 其中第一、二、三、四、十二章由纪瑞明执笔, 第三、五章由王学众工程师执笔, 第六、七、八章由何宗义工程师执笔, 第九、十三章由王乃增工程师执笔, 第十一章由朱文波工程师执笔, 第十章由林学宇助理工程师执笔, 第十四章由王庆凡助理工程师执笔, 由东北电业管理局徐德敏工程师审阅、校订。

本书内容在广度和深度方面有些部分超出供电类中级工培训教材教学计划和教学大纲, 故在培训教学中可适当删减, 编写过程中得到有关方面领导和同志们帮助, 在此表示衷心感谢。配电工作涉及面广, 各地情况也不统一, 再加受经验与水平所限, 不妥之处在所难免, 欢迎读者批评指正。

东北电业管理局
供电中级工培训教材编审委员会

辽宁省职工教育教材编审委员会

一九八七年八月

目 录

第一章 概述	(1)
第二章 负荷及负荷预测	(6)
第一节 功率、负荷曲线、需量	(6)
第二节 与负荷、需量有关的一些系数和率	(12)
第三节 各类用户的负荷特性	(18)
第四节 各种不同性质的负荷	(21)
第五节 不平衡负荷的分解	(23)
第六节 非正弦波的分解	(26)
第七节 负荷预测	(29)
第三章 中压配电网	(32)
第一节 中压配电网设计、规划特点	(32)
第二节 中压配电网的结线方式	(38)
第三节 架空与电缆线路的结构	(45)
第四章 配电变压器	(54)
第一节 基本工作原理	(54)
第二节 结构	(60)
第三节 型号与参数	(63)
第四节 极性与结线组别	(67)
第五节 并列运行与经济运行	(72)
第六节 日常运行维护	(75)
第七节 低压变电站、开闭所	(77)
第五章 低压配电网	(80)
第一节 低压架空配电网的结线方式	(80)
第二节 低压电缆配电网的结线方式	(83)

第三节	低压配电网的设计要求·····	(87)
第四节	低压配电网的经济供电半径·····	(89)
第五节	低压接户线·····	(91)
第六节	三相五线制·····	(92)
第六章 中、低压配电网的短路	·····	(93)
第一节	导线的性能参数·····	(93)
第二节	短路电流中的非周期、周期分量·····	(97)
第三节	中、低压配电线路短路电流计算·····	(98)
第四节	短路电流效应·····	(103)
第五节	中、低压配电线路动、热稳定的校验·····	(106)
第六节	提高中压配电线路动、热稳定的措施·····	(113)
第七章 开关设备	·····	(115)
第一节	开关·····	(115)
第二节	熔断器·····	(122)
第三节	隔离开关·····	(123)
第八章 中、低压配电网的过流保护	·····	(126)
第一节	中压变电站线路出口断路器与跌落式熔断器的配合·····	(126)
第二节	配电变压器的过流保护·····	(133)
第三节	低压配电线路的过流保护·····	(135)
第九章 中、低压配电网的接地与防雷	·····	(136)
第一节	工频电流在地中的扩散情况与接地电阻·····	(137)
第二节	接地装置的计算与材料的选择·····	(140)
第三节	接地电阻测量·····	(145)
第四节	零线辅助接地与电压偏移的关系·····	(147)

第五节 中、低压配电网防雷·····	(151)
第十章 电压变动及无功补偿·····	(157)
第一节 电压损耗和电压损耗率·····	(157)
第二节 电压波动的原因和调整措施·····	(161)
第三节 并联电容器的安装与计算·····	(164)
第十一章 中低压配电网的电能损耗·····	(169)
第一节 均方根电流法·····	(169)
第二节 中、低压配电网电能损耗计算步骤·····	(175)
第三节 计算实例·····	(176)
第四节 目前统计线损率的计算方法·····	(183)
第五节 降低电能损耗的技术措施·····	(186)
第十二章 中、低压配电网设计·····	(187)
第一节 规划·····	(187)
第二节 路径勘察·····	(188)
第三节 电气设计·····	(190)
第四节 机械设计·····	(191)
第五节 其它注意事项和施工图纸·····	(204)
第十三章 中、低压配电网施工·····	(205)
第一节 施工常用工具·····	(205)
第二节 电杆组立·····	(212)
第三节 拉线施工·····	(216)
第四节 导线架设·····	(218)
第五节 接户线施工·····	(226)
第十四章 中、低压配电网的运行维护·····	(229)
第一节 运行管理·····	(229)
第二节 检修·····	(240)
第三节 事故处理·····	(242)

第一章 概 述

随着电力系统容量的不断增长,电压水平愈来愈高,送电和配电范畴也有了新的概念。当前已趋向只将220千伏及以上电压等级的线路称为送电线路,例如:我国有500、330、220千伏送电线路;而将110千伏及以下电压等级的线路称为配电线路,如把110~35千伏的叫高压配电线路,把10千伏(包括6千伏、3千伏)的叫中压配电线路,把380/220伏的叫低压配电线路。对于变电站,则将一次电压为送电电压的降压为配电电压的变电站称为高压配电变电站,简称高压变电站,例如:330/110、220/110、220/63、220/35、330/110/10、220/110/10、220/63/10、220/35/10千伏等高压变电站;一次电压为高压配电电压降压为中压配电电压的变电站称为中压配电变电站,简称中压变电站,例如:110/10、63/10、35/10千伏等中压变电站;由中压配电电压降压为低压配电电压的变电站称为低压配电变电站,简称低压变电站。高压变电站和高压配电线路统称为高压配电系统;中压变电站和中压配电线路统称为中压配电系统;低压变电站和低压配电线路统称为低压配电系统。本教材讨论的范围是中压配电系统的中压配电线路和低压配电系统,即中低压配电线路。

电力系统接线原理图见图1—1。

根据电能生产和销售的特点,电能要经过发、送、变、配电几个生产环节最后送到用户,而中、低压配电是电能生产的最后环节。中、低压配电系统的结构和运行状态直接影

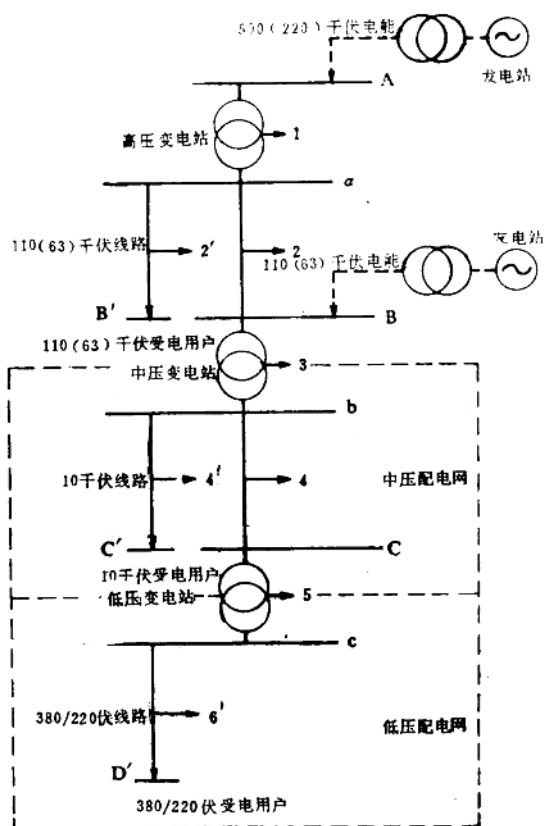


图 1—1 电力系统结线原理图

响电能的质量。衡量电能质量有四个指标，即：周波、谐波、电压和供电可靠率。周波一般取决于发电站；谐波除了和电力系统各元件有关外，还和用户用电设备有关，但目前

我国还未正式列为严格的考核指标；电压和供电可靠率则很大程度上与中、低压配电系统有关。

一、电压质量

由于用电设备大都在某一额定电压下工作，所以，电压的波动和变化往往引起用电设备运行不正常或不经济。严重的电压波动或变化会使产品质量下降、出次品、甚至不能继续生产。电压偏高能烧损设备，电压偏低电机不能启动或转速下降，等等。然而，由于电力系统各元件都是有损元件，存在电阻和电抗，因此，要想在负荷变化的情况下使电压保持在一个额定值上，是做不到的。为此，“全国供用电规则”规定了用户受电端的电压变动幅度的允许范围。具体是：35千伏及以上供电和对电压质量有特殊要求的用户为额定电压的 $\pm 5\%$ ；10千伏及以下中压供电和低压电力用户为 $\pm 7\%$ ；低压照明用户为额定电压的 $+5\%$ 、 -10% ；低压灯、力用户为额定电压的 $+5\%$ 、 -7% 。为了能基本满足上述要求，部颁“架空配电线路设计规程”规定：对于高压配电线路（即本教材指的中压配电线路），自供电的变电所二次侧出口至线路末端变压器或末端变电所（即低压变电站）一次侧入口允许电压降为供电变电所二次侧额定电压（6、10千伏）的 5% ；对于低压线路，自配电变压器（低压变电站）二次侧出口至线路末端（不包括接户线）的允许电压降为额定低压电压（220/380伏）的 4% 。应该注意的是，大部分中、低压配电线路所带的负荷是沿线分布的，除了要满足供电末端用户或变电站电压质量要求外，对于首端的用户或变电站也要校验电压变动范围，调整好变压器分接

大。

二、供电可靠性

随着工农业生产的发展和人民生活用电水平的提高，人们对电的依赖愈来愈多。因此也希望电业部门能为他们可靠地和连续不断地提供电能。在现代化社会中，突然停电将引起生产的巨大损失、人民正常生活秩序的破坏和电力系统经济效益的下降。为了提高供电可靠程度，我国城乡建设环境保护部和水利电力部于1985年公布了“城市电力网规划设计导则”。其中规定：高压配电网中市区电网的年平均供电可用率应争取达到99.9%以上，即每户年平均停电小时数在9小时以下，10千伏电压域网中市区的年平均供电可用率最低应争取达到99.5%，即每户年平均停电小时数不超过44小时，大城市的主要市区10千伏域网的年平均供电可用率应逐步达到99.9%以上。该导则推荐采用的年平均供电可用率R(%)是用下式计算的

$$R = \left(1 - \frac{\sum n t}{8760N} \right) \times 100\%$$

式中 N——统计用户总数；

n——一年中每次停电（包括计划检修和事故停电，但不包括由于电源不足引起的限电）影响的户数；

t——一年中每次停电的持续小时数。

为了提高供电可靠性，要研究改善配电网的结构，特别是大、中城市配电网，要建设或改建成具有互供能力的双电源配电线路，使其形成网架，并在线路上设分段开关，这

样，即使发生事故，也能有效的把停电线路限制在一个最小范围内，并通过操作能对大部分用户保持继续供电；另外，还要使电网逐步实现自动化、远动化，以缩短开关操作时间。在检修工作方面，要采取集中检修和带电作业。为了延长检修周期，还要提高配电网基本元件的质量，研制和采用不需检修的变压器和开关设备，以及抗污秽力强的瓷件等。

第二章 负荷及负荷预测

第一节 功率、负荷曲线、需量

一、功率

功率是单位时间内电路某点发出或取用的电能。在直流线路中，功率

$$P = W \times 1000 / t \quad (2-1)$$

或 $P = EI \quad (2-2)$

式中：P是功率，单位是瓦；W是电能，单位是千瓦时；t是时间，单位是小时；E是电压，单位是伏；I是电流，单位是安。

但在交流中，就比较复杂，功率有瞬时功率、视在功率、有功功率、无功功率等。

1. 瞬时功率

在交流线路中，电压和电流都是随时间作正弦变化的。我们把每一瞬时电压和电流的乘积叫做瞬时功率，瞬时功率可以是正也可以是负，分别表示取用和发出。习惯上用小写字母表示瞬时值，大写字母表示等效值。和2-2式类似，单相两线制的瞬时功率

$$p = E_m \cos(\omega t + \alpha) I_m \cos(\omega t + \beta) \quad (2-3)$$

经过三角函数变换，则为

$$p = EI [\cos(2\omega t + \alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)] \quad (2-4)$$

式中： E 、 I 是相电压、相电流的最大值； E 、 I 是相电压、相电流的等效值；因为是正弦波，等效值是最大值的 $\sqrt{2}$ 分之一，即 $E = E_m / \sqrt{2}$ ， $I = I_m / \sqrt{2}$ ； ω 是角频率； t 是时间； α 是相电压的初相角； β 是相电流的初相角。

三相三线制或三相四线制三相负荷平衡、功率因数相同时，瞬时功率是单相瞬时功率的三倍，三相负荷不平衡、功率因数不相同，瞬时功率

$$\begin{aligned}
 p = & E_a I_a [\cos(2\omega t + \alpha_a + \beta_a) + \cos(\alpha_a - \beta_a)] \\
 & + E_b I_b [\cos(2\omega t + \alpha_b + \beta_b) + \cos(\alpha_b - \beta_b)] \\
 & + E_c I_c [\cos(2\omega t + \alpha_c + \beta_c) + \cos(\alpha_c - \beta_c)]
 \end{aligned}
 \quad (2-5)$$

式中下角标表示相别。

2. 视在功率

交流供电时，电流由负到正过零的时间往往並不恰巧是电压由负到正过零的时间，有功功率並不一定就是电压等效值和电流等效值的乘积。为了需要和便于区别，把电压等效值和电流等效值的乘积叫做视在功率，单相两线制的视在功率

$$S = EI \quad (2-6)$$

三相负荷平衡时，三相的视在功率

$$S = 3EI \quad (2-7)$$

三相负荷不平衡时，三相视在功率

$$S = E_a I_a + E_b I_b + E_c I_c \quad (2-8)$$

式中： S 是视在功率，单位是伏安或千伏安； E 、 I 是相电压、相电流的等效值，下角标表示相别。

3. 有功功率

单相两线制电路某点的有功功率等于交流一个周波内瞬时功率的平均值，把式 2-4 积分， $\cos(2\omega t + \alpha + \beta)$

的值是零，再把 $\alpha - \beta$ 用 ϕ 代替，其表达式为

$$P = EI \cos \phi \quad (2-9)$$

三相三线制或三相四线制电路某点的有功功率同样可以应用交流一个周波内瞬时功率平均值这个概念。

当三相负荷平衡时

$$P = 3 EI \cos \phi \quad (2-10)$$

当三相负荷不平衡时

$$P = E_a I_a \cos \phi_a + E_b I_b \cos \phi_b + E_c I_c \cos \phi_c \quad (2-11)$$

式中： P 是有功功率，单位是瓦或千瓦； E 、 I 是相电压、相电流的等效值； ϕ 是相电流滞后或超前于相电压的相位差，取名相位角。下角标表示相别。

有功功率是负荷所需要的有效能量，必须由发电站的电机供应。

4. 无功功率

在交流电路中，单项两线制电路某点的无功功率 Q 可以写成

$$Q = EI \sin \phi \quad (2-12)$$

三相三线制或三相四线制电路某点的无功功率，当三相负荷平衡时

$$Q = 3 EI \sin \phi \quad (2-13)$$

当三相负荷不平衡时

$$Q = E_a I_a \sin \phi_a + E_b I_b \sin \phi_b + E_c I_c \sin \phi_c \quad (2-14)$$

式中： Q 是无功功率，单位是乏或千乏； E 、 I 是相电压、相电流的等效值； ϕ 是相电流滞后或超前于相电压的相位角。下角标表示相别。

无功功率是建立电路必需的磁通用的励磁功率，更全面地说，是建立磁场和电场用的功率，除由发电站的发电机供应一部分外，绝大部分是由调相机、静电电容器等就地提供的。

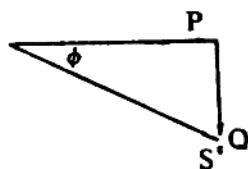
5. 视在功率、有功功率、无功功率三者的相互关系

从式 2—6、2—9、2—12 可以看出

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2-15)$$

或 $S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2-16)$

视在功率、有功功率、无功功率三者的相互关系也可以用一个直角三角形来表示。当相电流滞后相电压一个相位角



ϕ 时，有功功率 P 与相电压同相位，是直角三角形的底边，视在功率 S 与相电流同相位，是直角三角形的斜边，无功功率 Q 滞后相电压 90 度，是直角三角形的对边，图 2—1 就是这个功率三角形。

图 2—1 功率三角形图

二、负荷曲线

在一天、一月、一年等一定的时间段里，每个时间段的有功功率，也就是有功负荷，简称负荷，并不一定完全一样。如果用时间做横坐标，有功功率做纵坐标，把电路某点一天内每个时间段的有功功率画出来，就叫做这一天的日负荷曲线。把一年内每天的最大有功功率，也就是最大负荷画出来，或者把每天的最大和最小有功功率，也就是最大和最小负荷画出来，就是这年的年负荷曲线。日负荷曲线的纵坐

标是负荷，负荷曲线下面包含的面积是电量，如果纵坐标的单位是千瓦，横坐标的单位是小时，面积也就是电量的单位将是千瓦小时。由于日负荷曲线能显示负荷与电量的函数关系，通过它可以知道最大负荷、最小负荷、平均负荷和日负荷率；而年负荷曲线能显示最大负荷和最大、最小负荷的季节变化，通过它可以决定设备定检的合理时期，调峰压荷的具体措施等，所以说负荷曲线是很重要的。图 2—2 是一台 315 千伏安配电变压器的日负荷曲线，图 2—3 是同一台配电变压器的年负荷曲线。

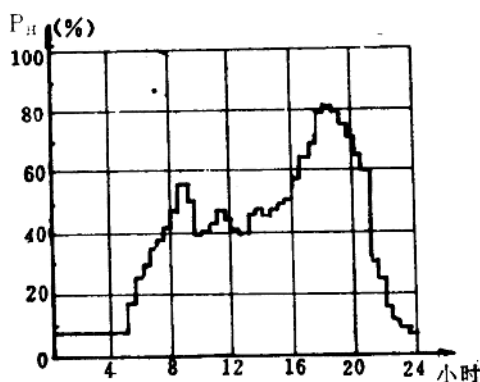


图 2—2 配电变压器日负荷曲线图

三、需量和最大需量

某一设备在某一规定时间段内在电路某点从系统上取用的平均负荷叫做需量，这个平均负荷可以是有功功率千瓦、无功功率千乏、视在功率千伏安或电流安，因此需量必须说

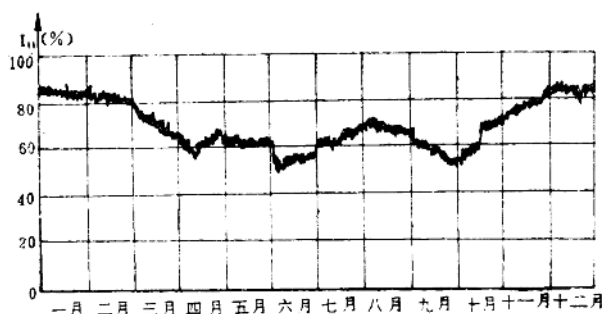


图 2-3 配电变压器年负荷曲线图

明是那种功率或电流。根据设备的热时间常数不同，时间段可以规定为15分钟、30分钟或1小时，一般说来，时间段短的需量要大于时间段长的需量。我国规定的计算需量的时间段是15分钟。这里要注意的是不要把设备铭牌的额定连续负荷和需量混淆起来，额定连续负荷是设备在规定条件下不超过某些限值——例如温度——的可以连续承受的负荷，而需量则是设备在某一规定时间段内从系统上取用的平均负荷，如果不过负荷运行，后者的限值就是前者。

最大需量是某一规定时间周期内出现的各个需量的最大值。最大需量除要有需量要求的规定时间段外，还要有一个比规定时间段长的时间周期，一般为一天、一月或一年，例如日15分钟最大需量。前面说的日负荷曲线，一般就是根据日15分钟或60分钟需量绘制的；而月负荷曲线、年负荷曲线一般就是根据日15分钟或60分钟最大需量（或最大、最小需量）绘制的。由于最大需量关系到设备容量、电压降，因此它也是我们最感兴趣的一个数据。

最后应该指出，负荷、需量、最大需量还有一个电力系