

城镇(农村) 工矿企业电工培训教材

(高级工)

**变配电
设备检修**

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

城镇（农村）工矿企业电工培训教材

变配电设备检修

（高级工）

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是《城镇(农村)工矿企业电工培训教材》之一。

书中重点介绍了高次谐波、过电压及其保护设备、节能技术及高能耗设备的改造、机床电器控制与调速系统、变配电设备检修的管理等内容。全书共5章,为了便于培训和考核,各章之后均附有复习题。

本书适用于城镇(农村)工矿企业电工培训使用,也适于其他有关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变配电设备检修/山西省电力工业局编. —北京:中国电力出版社, 1998. 8

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

ISBN 7-80125-757-X

I. 变… I. 山… III. 配电装置-维修-技术培训-教材 IV. TM642

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第14019号

变配电设备检修(高级工)

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京梨园彩色印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年1月第一版 2000年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 6.625印张 143千字 1插页
印数 0001—5000册 全三册定价 42.00元 (本册 11.00元)

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

编 审 委 员 会

名 誉 主 任: 卞学海 李振生
主 任: 刘润来
常 务 副 主 任: 郭连邦
副 主 任: 程忠智 宗 健 徐 奇 贺至刚
张克让 王靖中 杨定鑫 程纪奎
顾希衍 王文杰 郑承平 刘玉柱
委 员: 周 新 郭林虎 李 禄 阎刘生
乔文普 李 波 吴秀初 杨 忠
卫克俭 苑连池 杨德水
办 公 室 主 任: 杨定鑫 (兼)
办 公 室 副 主 任: 乔文普 陈 涛 姜丽敏 郭林虎
办 公 室 工 作 人 员: 曹 璘 王荣辉 罗 琳

《变配电设备检修》(高级工)

编 写 人 员

主 编: 王培利
参 编: 容建伟 赵建中 畅绍敏
主 审: 赵宝权
审 核: 王复兴

前 言

根据原电力部教育工作会议的精神和中电联教培部《关于电力工业培训教材建设工作的意见》，在部领导的关怀下，山西省电力工业局和中国电力出版社经协商研究后，决定编写出版这套《城镇（农村）工矿企业电工培训教材》。

我国工矿企业和农村，目前约有 300 万电工在从事电力设施的安装、检修、运行维护和试验工作，他们是建设和发展供用电事业，维护供用电设施安全的一支重要生力军。随着我国电力事业的不断发展和电力科学技术的进步，对这支生力军的整体素质也相应地提出了更高的要求。为此，编写一套适用于城镇（农村）工矿企业电工培训学习的教材，是当务之急，也是我们电力管理和电力出版部门义不容辞的责任。

本套丛书的内容覆盖了变配电设备运行、检修、安装，供电线路施工、运行、检修，电机检修，电气试验，电气仪表及内线工程施工和检修等 8 个工种对初、中、高级工的技术要求，每个工种分初、中、高级工 3 个分册出版，共 24 个分册。

在编写本套丛书的过程中，着重根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半年余，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿。

和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的培训教材，深信是紧扣工人技术等级标准的实用性教材。

城镇（农村）工矿企业电工培训教材，体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则，尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法，其内容涉及电压等级从高压 110kV 到 3kV，低压 500V 及以下电工所需的技术基础知识和技能知识。与每一工种对应的初、中、高级工 3 个分册，自成一个小的系列，呈阶梯式递进，内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样，解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。

本分册是《变配电设备检修》高级工培训教材，全部内容共 5 章；第一至第三章由容建伟编写，第四章由赵建中编写，第五章由畅绍敏编写。全书由王培利主编，王复兴审核，赵宝权主审。

在编写这套丛书的过程中，得到了原电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或有需要修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1998 年 4 月

目 录

前 言

第一章 高次谐波	1
第一节 高次谐波的产生	1
第二节 高次谐波的危害及对策	4
复习题	8
第二章 过电压及其保护设备	12
第一节 过电压及其危害	12
第二节 过电压的保护设备	19
复习题	29
第三章 节能技术及高能耗设备的改造	32
第一节 节能技术	32
第二节 高能耗变压器的改造	53
复习题	64
第四章 机床电器控制线路与调速系统	67
第一节 机床电器的调速	67
第二节 机床电器控制线路	90
第三节 机床电器控制系统	141
第四节 电控设备的安装与调试	170
复习题	174
第五章 变配电设备的检修管理	179
第一节 电气设备的检修管理机构和组织形式	179
第二节 保证变配电设备检修安全的组织措施和	

技术措施.....	183
第三节 变配电设备检修管理.....	192
第四节 变配电设备大修改造后的验收.....	197
复习题.....	199
参考文献.....	201

高 次 谐 波

第一节 高次谐波的产生

一、概述

电能质量的好坏除了用电压波动率和频率来衡量外,还要看电压、电流的正弦波形是否畸变,在现代工业生产中,许多自动化生产线和精密电子仪器对电能的波形质量都提出了严格的要求。

目前应用晶闸管或其他半导体器件的电器设备不仅广泛地使用在工矿企业和电力系统中,并且逐步应用到家用电器中了。由于采用了晶闸管等半导体器件,因而很容易制造出体积小、电压高、电流大的电器,也可以制成内压降小、效率高的电器,并能通过微小的电功率快速地控制大功率的电力设备,同时也提高了使用寿命。

但是,晶闸管等半导体器件有个很大的缺点就是会产生高次谐波,劣化电能质量,对电力网产生“污染”作用。随着这类电器的广泛使用,其高次谐波对于电力系统中的电气设备、电子设备以及通信、信号等网络都会产生不可忽视的影响,甚至产生危害。

供电电压波形应该是正弦波形,但是由于供电网络中存

在包括半导体器件在内的非线性元件，使得供电电压的波形并不是正弦波。这些非线性元件在供电电压作用下吸收非正弦电流，而非正弦电流含有一系列谐波成分，各次谐波电流在网络的阻抗上会产生谐波压降，这些谐波压降叠加在基波上，致使正弦电压波形发生畸变。

电力系统中产生谐波电流的非线性元件主要是变压器、交直流转换站的晶闸管控制元件、晶闸管控制的电容器组和电抗器组等。电力系统谐波来源的更主要部分仍是各种非线性负荷用户，如各种化工整流设备、调节设备、电弧炉、轧钢机以及电气拖动设备。

现代化电子设备的发展所带来的谐波“污染”问题日益突出。谐波能引起各种电器设备的障碍，如并联电容器和电抗器的过负荷，电抗器和变压器中的附加损耗，继电保护的误动作，控制设备失控，产生通信干扰，在电网的局部地段发生谐波谐振等。

无论从用户还是从电力系统本身来看，电网存在的谐波问题都有必要进行管理和抑制，使电网存在的谐波限制在一定的水平以下，以做到对用户安全、经济地供电。

二、谐波的来源

在电力系统中产生高次谐波的设备大致包括以下几个方面。

1. 应用晶闸管等半导体器件的电器设备

产生谐波电流的半导体器件设备可分为以下三种类型：

- (1) 整流设备（交直流变换装置）；
- (2) 交流电力调整装置；
- (3) 频率变换装置。

2. 变压器和电抗器

变压器和电抗器产生谐波的主要原因是铁芯磁饱和现

象,变压器空载电流中谐波分量较大,一般是3次谐波和5次谐波,数量最多的是3次谐波。理论上讲,零序分量可用变压器的 Δ 接线消除,但实际上由于磁路不对称,3次谐波并不平衡,它不同于三相同相位的零序分量,故一部分3次谐波还是可以通过变压器感应到 Δ 侧来。

施加于变压器的电压愈高,铁芯愈趋近于饱和,高次谐波成分增加愈剧烈,当电压提高8%时,高次谐波电流将增加1倍。

变压器空载电流中的谐波成分还与铁芯材料有关,见表1-1。

表 1-1 空载电流中高次谐波电流的比例 (基波电流为1)

次 数	热轧硅钢片	冷轧硅钢片
基波	1	1
3次	0.15~0.55	0.14~0.50
5次	0.03~0.25	0.1~0.25
7次	0.02~0.1	0.05~0.1

3. 电弧炉

具有代表性的电弧性负荷为电弧炼钢炉、电弧焊接机等。在电弧炉运行期间,由于电极的短接和打开等频繁的变化,电流呈现不规则的变动。一般在熔化初期,奇次谐波和偶次谐波均较多。在溶解期,奇次谐波的比重较大。在冶炼期,高次谐波的含量就非常小了。

4. 家用电器

家用电器所产生的谐波可以从低压系统馈入电网,一般家用电器所产生的高次谐波电流含量如表1-2所示。

从表1-2中可以看出,谐波含量最高的是电视机,尤其是彩色电视机。随着家用电器的普及和发展,其产生的谐波

“污染”已日益成为不可忽视的问题。

表 1-2 一般家用电器产生的谐波电流含量

谐波率 (%)	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	总谐波率 (%)
日光灯	14.1	2.9	1.8	—	—	14.4
鼓风机	8.5	1.4	0.9	—	—	8.7
洗衣机	10.8	5.3	—	—	—	12.1
彩色电视机	87.9	68.3	45.2	23.5	6.8	122.61
黑白电视机	89.1	16.9	2.1	2.1	1.2	90.7
电磁灶	14.6	1.7	1.0	—	—	14.7

注 $I_3 \sim I_{11}$ 是 3~11 次谐波电流。

5. 其他

电力系统中还有一种短时或瞬时出现的高于工业频率的波形，如音频控制装置注入到电力系统中的高频波，电力系统运行方式改变时产生的操作过电压波等，这里不再详述。

第二节 高次谐波的危害及对策

当电力系统的短路容量远远大于高次谐波发生装置的容量时，从高次谐波源产生的谐波电流大部分要流入电源系统内。因此，对于高次谐波有可能流入的地方，都应该注意其所产生的影响与危害。

一、并联电容器的谐波放大

从电网谐波对电容器的影响来看，主要存在两个问题：①并联电容器组可以使电网谐波扩大，甚至发生谐振；②由于电网电压中存在谐波分量，因而电压畸变，使电容器长期运

行的电压峰值上升，因而电容器内部绝缘介质容易产生局部放电，最后导致电容器的损坏。下面主要介绍电容器组运行使谐波放大的机理。

如图 1-1 (a) 所示，接于电网运行的非线性负荷可以看做为一个谐波电流源 I_n ，即在一定工况下产生的谐波电流是一定的，如果没有并联电容器组，其等值电路为图 1-1 (b) 所示。

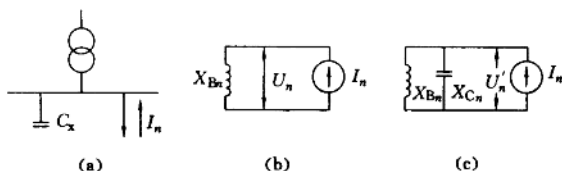


图 1-1 电网谐波等值电路

(a) 谐波电流源注入电网原理接线图；(b) 无并联电容器组的等值电路；

(c) 有并联电容器组的等值电路

谐波电流 I_n 流过系统，在系统的谐波阻抗上产生压降为

$$U_n = I_n \cdot X_{Bn} \quad (1-1)$$

式中 U_n —— 谐波压降；

I_n —— 谐波电流；

X_{Bn} —— 阻抗。

当存在并联电容器组时，其等值电路为图 1-1 (c)，此时系统的谐波阻抗上并联了一个电容，因此总阻抗为

$$X'_n = \frac{X_{Bn} \cdot X_{Cn}}{X_{Bn} - X_{Cn}} \quad (1-2)$$

式中 X'_n —— 总阻抗；

X_{Bn} —— 无并联电容器组时的阻抗；

X_{Cn} —— 电容器组阻抗。

由式(1-2)可知,总的谐波阻抗在一定条件下是加大了,而 I_n 是一定的,此时的谐波电压为

$$U'_n = I_n \cdot X'_n = I_n \cdot \frac{X_{Bn} \cdot X_{Cn}}{X_{Bn} + X_{Cn}} \quad (1-3)$$

式中 U'_n ——有并联电容器组时的谐波压降。

显然 $U'_n > U_n$, 所以并联电容器组会使电网的谐波放大。

并联电容器组投入电网后使电网谐波放大的现象是普遍存在的,如果系统短路容量大,则短路阻抗小,电网电压畸变不严重;反之,电网电压可能严重畸变。

如果电容器组的 n 次谐波阻抗与系统的 n 次谐波阻抗相等,就会形成第 n 次谐波的并联谐振,谐波电流突增,电网电压波形严重畸变。

二、对电气计量仪表的影响

一般来说,由于回路中电流、电压、波形、频率、功率因数等因素的影响,会使指示仪表产生误差。各种指示仪表的动作原理各有不同,一般常用的指示仪表为可动铁片型或整流型。

电流表受高次谐波的影响而产生误差的原因主要是由于固定线圈附近的金属部件上产生涡流所引起;电压表受高次谐波的影响除涡流影响外,还由于频率的增加使电压线圈内流过的电流减少,因而产生误差。

交流电能表一般都是感应型的,高次谐波引起的误差主要有三类表现:第一类是相位调整线圈与回转圆盘的磁力线反作用而产生的驱动力矩的误差;第二类是伴随相位角变化产生的误差;第三类是圆盘制动力的变化误差。其中第一类误差占的比重最大。

三、对通信线的影响

高次谐波对于通信线路的干扰影响可分为静电干扰影响与电磁干扰影响两种。对于对称运行的输电线路，可以仅考虑高次谐波电压的静电感应影响。对于不对称运行的输电线路，应综合考虑谐波电压的静电感应影响与谐波电流的电磁干扰影响。

减低高次谐波对通信线路的杂音干扰影响大致有以下几种方法：

(1) 增加整流相数可以降低等值谐波干扰电流的数值，降低杂音电压水平。

(2) 减少通信线路的地中返回电流，三相电力线路与通信线路均应采用均匀换位，将通信线路上的谐波感应电压与电流分量减至最小程度。

(3) 减小电力线路与通信线路的平行接近距离，增加通信线路屏蔽效果。

(4) 在产生谐波的用户与电力系统连接点处加装适当的滤波装置，但要慎重考虑，以防止产生谐振现象。

四、电力网高次谐波的对策

为了消除谐波的干扰，采取的措施如下：

(1) 减少高次谐波的发生量。

(2) 受影响的地方采取相应的措施，增加设备裕度。

(3) 在系统结构上进行考虑。

(4) 安装交流滤波器。

从这些措施来看，第(2)、第(3)条的实施是困难的或不可能的，这些办法只限于特殊的场合。作为积极控制高次谐波干扰的方法，加装交流滤波器是行之有效的。

为了防止电力系统发生谐振现象和高次谐波的放大现

象，可以选择加装使所发生的最低次谐波的电容器回路阻抗成为电感性阻抗的串联电抗器。在电力系统普遍存在着高次谐波电流中，以 5 次谐波的含有率为最大，因此，对于标准的电容器设备应该具有相当于电容器容抗 6% 的串联电抗器，以防止 5 次及以上的高次谐波电流在电容器回路中的放大作用。但对于 3 次谐波，则应加装 12% 以上的串联电抗器，以防止 3 次谐波的放大现象。

必要时，增加滤波回路，是防止各次谐波电流进入电力系统中最有效的对策。

滤波器的设计及制作需要较复杂的技术，因此需要事先充分计算，为了防止其高次谐波过负荷，可采用高次谐波过电流继电器。

接入供电系统的用户在接入供电系统前，应测量系统已存在的谐波电流和电压，接入系统后再测量合成的谐波电流和电压，要求不超过规定值。

由于系统结构是经常变化的，并且谐波电流和电压符合规定允许值时不能绝对避免发生故障。因此要经常进行现场测量，分析系统性能及设备运行工况，在系统中谐波分量较高的各处安装谐波报警指示器，以助于决定是否有必要进一步分析谐波分量。

复 习 题

一、填空题

1. 电能质量的三要素是指_____、_____和_____。
2. 供电电压波形应该是_____波形，电压波形发生畸变的原因是电力系统存在_____。

3. 变压器和电抗器产生谐波的主要原因是_____造成的。
4. 高次谐波对于通信线路的干扰影响可分为_____干扰影响和_____干扰影响两种。
5. _____等半导体器件的使用会产生_____, 对电力网产生_____作用。
6. 防止 5 次谐波应加装相当于电容器容抗_____的串联电抗器; 对于 3 次谐波应加装_____的串联电抗器以便防止谐波放大现象。
7. 电力网谐波对电容器的影响主要有两方面: 一是并联电容器组可使电网谐波_____, 甚至发生_____; 二是由于谐波分量使_____畸变, _____加大, 因而使电容器内部绝缘介质容易产生_____, 最后导致电容器的损坏。
8. 施加于变压器的电压愈_____, 铁芯愈趋近于_____, 高次谐波成分增加愈_____。

二、选择题

1. 在正弦电源作用下, 当系统自振频率与电源频率相等或接近时, 可能产生_____。
- (1) 线性谐振; (2) 非线性谐振; (3) 铁磁谐振; (4) 共振。
2. 电力系统普遍存在的高次谐波电流中以_____谐波含有率为最大。
- (1) 3 次; (2) 5 次; (3) 7 次; (4) 7 次以上。
3. 施加于变压器的电压提高_____, 则高次谐波电流将增加一倍。
- (1) 10%; (2) 18%; (3) 8%; (4) 5%。
4. 谐振是一种_____性质的现象。
- (1) 周期; (2) 稳态; (3) 暂态; (4) 冲击。