

---

# 电力营销 业务与管理

---

濮贤成 程文 卜荣华 胡顶峰 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

---

# 电力营销 业务与管理

---

濮贤成 程文 卜荣华 胡顶峰 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书内容属于广大电力营销工作人员及供电企业员工必须了解和掌握的知识与技术,阅读本书能帮助读者增强办事能力,具有很强的实用性。

本书系统地讲述了电力营销业务中的电能质量、线损相关知识、用电营业管理、电费抄核收工作环节的管理、乡镇供电所的营业管理、供电企业经营理念等内容。

本书可作为电力企业职工培训教材,也可作为电力营销工作人员及其管理者学习使用的工具书,还可作为高等院校相关专业师生的教学参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力营销业务与管理/濮贤成等编著. —北京:中国电力出版社,2014. 1

ISBN 978-7-5123-4833-2

I. ①电… II. ①濮… III. ①电力工业—市场营销学  
IV. ①F407. 615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 193414 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2014 年 1 月第一版 2014 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 293 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

## 电力营销业务与管理



电力是现代文明的重要物质基础，电力是商品，但它又有其特殊性，它的计量、安全与其他商品不同，电力是工业，但又有公用事业的性质，电力供应事业面向全社会，服务于各行各业和千家万户，供用电行为可能涉及第三者的权利和义务，供电质量需要供用电双方配合来保证。供电企业的营销业务管理单位和业务工作人员在处理业务工作过程中都应严格遵守国家相关法律、法规及行业规范的要求，因此，必须依法进行电力供应与使用。

在目前的市场环境下，供电企业对售电量的可操作性很差，实际售电量受到潜在售电量和供电质量，尤其是可靠性等因素的影响，一般情况下潜在销售电量基本是既定数量，如季节性负荷、用户生产积极性、特别是消费性用电（照明、温调、电视音像及娱乐场所用电）如同时光过时即失，因而供电企业只有靠电能质量，特别是可靠性来增加实际售电量。线损是作为供电企业的一个主要技术经济指标，线损率是一个逆指标，即降低线损率意味着同样的售电量却可以少购电，从而直接降低供电经营成本，利润自然增加；线损率又是一个可控指标，它对利润影响很大。对于供电企业虽然必须强调自身的社会责任，但企业要生存、要发展，利润就是一个企业永恒的追求目标。当前对电价实行分类购销双向控制，电力企业的经营成果，最终是由回收电费来衡量的，电费是否按照规定及时、准确回收，账务是否清楚，统计数字是否准确，关键在于电费抄核收的质量，在于核算工作能否正确掌握和执行电价政策，因此，供电企业的电力营销管理是全盘工作中一个重要环节。总之，提高供电企业员工的现代化管理水平，严格执行政策、法律、法规和技术标准（规范）势在必行。

为了帮助电力企业员工了解、熟悉和掌握电力营销业务知识与技术，作者精心编写了本书，旨在提高读者的工作技能。

全书共分六章，主要内容包括：供电质量标准及其超标的危害与处理措施；线损相关知识；供用电营业管理；电费抄、核、收工作环节的管理；乡镇供电所的营业管理；供电企业经营理念等。各章主题突出，既能独立成为系统，又相互联系贯通，内容细致具体，属于广大电力营销工作人员及供电企业全员职工必须了解、熟悉与掌握的知识与技术，是一册有关方面书籍不曾具有内容素材系统的专业技术图书。阅读本书能帮助读者增强办事能力，具有很强的实用性和可操作性。

本书由濮贤成、程文、卜荣华、胡顶峰共同编写。本书在编写过程中得到舒城供电公司、六安市供电公司和安徽省电力公司、舒城县科技局、舒城县人事局、六安市电机工程学会等单位的有力支持；安徽省电力公司王吉灵、舒城供电公司王立胜、王少华、江柱、陈润

生、张在权、周霞、罗新、顾钊、梁波、王宁、魏征、陈化、詹昭、余晓东、李家腾、张学财、高林、孟德好、张鹏、王甫如、桂舒梅、李蒙、李宏霞、李桂霞、王祥林，王世应、熊鹏飞、李莉（大）、李莉（小）、束学琼、张成生、张舒生、朱勇、王丽娟、陶勇、卜晓晟，老同学余华平、徐德年、朱来权、杨邦常、张令铸等同志给予热情支持；钟丹、杨基琴、姜涛在书稿录入中付出艰辛贡献，在此一并表示衷心感谢，本书参考了国内部分相关技术文献，在此谨向相关作者和出版社深表谢意。

由于作者水平和时间有限，缺点和错误之处在所难免，恳请有关专家学者和读者赐教与指正。

作 者

2013年10月于安徽舒城




# 目 录

## 电力营销业务与管理

---

前言	1
<b>第一章 供电质量标准及其超标的危害与处理措施</b>	1
第一节 供电频率质量	1
第二节 供电电压质量	3
第三节 供电电源波形质量	7
第四节 供电可靠率	10
<b>第二章 线损相关知识</b>	18
第一节 线损及与线损相关量的概念	18
第二节 影响线损的基本因素与电力负荷基础知识	23
第三节 电能损耗	27
第四节 农村电网经济运行应达到的要求	27
<b>第三章 供用电营业管理</b>	29
第一节 供用电的特点与安全供用电	29
第二节 对供用电的要求及用户分类	30
第三节 电价管理制度	34
第四节 电费管理	41
第五节 用户申请用电的一般程序	44
第六节 县级供电企业的营销业务管理	48
第七节 用户变更用电及违约用电	85
第八节 供用电合同、并网协议及调度协议	86
第九节 几种电价的计费方法	90
<b>第四章 电费抄、核、收工作环节的管理</b>	95
第一节 抄表工作的管理	95
第二节 电费核算工作的管理	98
第三节 变更用电及违章用电的电费处理	101
第四节 电费回收工作的环节及其管理	103

第五节	大工业用户抄表、核算、收费管理·····	111
<b>第五章</b>	<b>乡镇供电所的营业管理·····</b>	<b>114</b>
第一节	乡镇供电所营业管理的基本原则·····	114
第二节	乡镇供电所的营销管理·····	115
第三节	乡镇供电所用电营业管理·····	116
第四节	装表接电及其管理工作·····	119
第五节	电能计量及其管理工作·····	122
第六节	违章用电与窃电的工作管理·····	129
<b>第六章</b>	<b>供电企业经营理念·····</b>	<b>130</b>
第一节	供电企业营业利润·····	130
第二节	峰谷分时电价与两部制电价·····	134
第三节	用电营销管理·····	135
第四节	欠费用户分类与防范电费拖欠措施·····	137
第五节	停电催缴电费新程序与法律新依据·····	139
第六节	影响供电企业经营效益的因素·····	141
第七节	农电线路断线事故分析及预防措施·····	146
附录 A	高压供用电合同（样本）·····	150
附录 B	低压三相供用电合同（样本）·····	168
附录 C	低压单相供用电合同（样本）·····	184



# 第一章

## 供电质量标准及其超标的危害与处理措施

供电质量是指供电频率的质量、电压质量与供电波形质量和供电可靠性等指标。

频率质量是以频率的允许偏差来衡量。电压质量是以电压偏离额定值的幅度、波动与闪变和电压正弦波畸变率的程度来衡量的。供电可靠性是持续供电能力的量度，通常从供电可靠率来衡量。

衡量供电质量的基准点是用户的受电端，即指供用电双方设施管理的分界点。具体讲，高压是指用户受电变压器输入侧；低压是指用户进户线引入用户计量的电源侧。

供电质量的好坏直接影响到经济的发展和人民生活。因此，当供电质量不符合国家或行业标准时，供电企业应立即采取措施予以改善，以维护用户权益，为用户提供质量合格的电力是供电部门的法定义务。

供电质量实际就是对用户供应的电能质量。

### 第一节 供电频率质量

#### 一、标准频率

世界各国交流电的标准频率尽管各不相同，但大多数集中在 50Hz 和 60Hz 两个规格上。我国交流电标准频率为 50Hz。

#### 二、频率的允许偏差

电网频率的偏差应符合国家经济运行的规定，具体数值如表 1-1 所示。电网频率的合格率全年应达到 99.8% 以上。

表 1-1 我国电网频率允许偏差

运行工况	电网容量 (MW)	频率允许偏差 (Hz)	允许标准时钟误差 (s)
正常运行	3000 及以上	$\pm 0.2$	30
	3000 及以下	$\pm 0.5$	60
事故运行		$\pm 1.0$	

#### 三、频率超过允许偏差的危害

频率发生变化是用户用电负荷变化的结果。

频率变化超过允许偏差，过高或过低都是不允许的。必须及时采取措施使其恢复到正常范围。正常范围：大电网的正常频率范围为 49.8~50.2Hz；小电网的正常频率范围为



49.5~50.5Hz。

1. 频率过高的危害

- (1) 频率过高表明电网电力过剩，会多消耗燃料等能源，形成浪费和不经济。
- (2) 设备（元件）的铁损与频率成正比，频率过高将使损耗增大。
- (3) 将对频率敏感的用户（或设备）造成影响。

2. 频率过低的危害

- (1) 将使交流电动机的转速下降，出力降低。交流电动机的转速为

$$n = \frac{60f}{P} \tag{1-1}$$

式中  $n$ ——交流电动机的转速，r/min；

$f$ ——电源频率，Hz；

$P$ ——电动机的极对数。

由式（1-1）可知，电网频率下降，对风机、水泵等影响最大。

(2) 导致发电出力进一步减少。频率下降将使火电厂给水泵、风机出力降低，锅炉蒸汽减产，汽轮机组出力相应减小，从而引起频率继续下降。

(3) 造成电网电压下降。①频率降低时，发电机转速低，端电压低，无功出力下降。②频率降低时，无功补偿电容器出力  $Q_c = \omega U^2 C$  将下降。当无功出力不足将引起全网电压普遍下降，甚至造成电压崩溃，电网瓦解（解体），从而引起更为严重的后果。③频率降低时，引起汽轮机叶片振动加剧而损坏。

#### 四、引起频率异常的原因

1. 频率过高产生的原因

- (1) 电网发生故障，大量甩负荷或电网解列运行。
- (2) 调度不力，频率调整不及时。

2. 频率过低产生的原因

- (1) 发电装机容量不够，调峰能力不足。
- (2) 发电燃料短缺，电力减产，或主力发电机组跳闸。
- (3) 发供电部门发生事故，影响发电、输电、供电能力。
- (4) 调度及调频发电厂管理水平低，负荷调整不及时。
- (5) 用户计划用电不到位，电网负荷率低，峰谷差大。
- (6) 用电大户冲击性负荷超过了电网的承受能力。

#### 五、保证电网频率质量的措施

1. 确保发电装机容量，有效解决调峰问题

- (1) 电力建设投资速度应适当高于经济发展速度。
- (2) 确保发电装机容量及发展电网。
- (3) 有效解决调峰问题。

2. 制订保证电网频率质量的措施，并认真执行

(1) 正常情况下电网频率的调整措施。指定一批容量大、有调整能力的发电厂为电网的调频发电厂，负责电网频率的日常调整工作。对于 3000MW 及以上的电网其调整方法如下：

- 1) 频率在  $50 \pm 0.15\text{Hz}$  范围内变化时，由第一调频厂来调整频率。

2) 频率超过  $50 \pm 0.15\text{Hz}$  范围内变化时, 除第一调频厂进行调整外, 第二调频厂也要参加调整频率。

3) 频率超过  $50 \pm 0.2\text{Hz}$  范围变化时, 所有发电厂均参加调整, 使其恢复到  $50 \sim 49.8\text{Hz}$  之间。

(2) 异常情况下电网频率的调整措施。

1) 频率低于  $49.8\text{Hz}$  时, 电网必须在 1h 内恢复正常。在此期间采取一切手段进行处理, 如起动备用机组、压负荷等手段。

2) 频率低于  $49\text{Hz}$  时, 自动或手动限电拉负荷, 减少用电负荷, 使频率恢复到  $49.8\text{Hz}$  以上。

3) 安装自动低频减载装置, 当电网频率低于  $49\text{Hz}$  以下时, 分若干级分批动作跳闸, 使供电线路停电。低频减载的负荷总容量一般应不低于电网总容量的  $30\% \sim 40\%$ , 以准备应对电网特重大事故发生。

#### 六、频率异常时用户的应对办法

(1) 电网频率低到  $49\text{Hz}$  时, 用户自备发电厂应与电网解列, 保护自身不受电网低频率的影响, 保证本厂的安全。

(2) 电网频率降低时, 部分用户因电网低频率减载装置动作而停电, 此时, 用户电工应注意本单位的停电情况, 并进行以下检查:

- 1) 紧急备用电源, 如柴油发电机组是否起动。
- 2) 保安电源、事故照明是否切换及正常。
- 3) 不间断电源 UPS 工作是否正常。
- 4) 了解停电后的运行方式及设备情况, 随时准备恢复正常供电。

## 第二节 供电电压质量

### 一、我国的电压标准

#### 1. 额定电压标准

我国电气设备的额定电压  $U_n$  分为:  $220$ 、 $380\text{V}$ ,  $1$ 、 $3$ 、 $6$ 、 $10$ 、 $35$ 、 $63$ 、 $110$ 、 $220 \sim 500\text{kV}$  等。

#### 2. 供电电压

各级输、配电供电电压, 应比设备额定电压高  $5\% \sim 10\%$ , 以其高出值补偿电压损失引起的电压降低。

### 二、各级电压允许偏差

#### 1. 电压偏差的定义

在某一时间段内, 电压幅值缓慢变化, 而偏离额定值的程度, 叫做电压偏差。一般它以电压实际值与额定值之差  $\Delta U$  或其百分数  $\Delta U\%$  来表示。

#### 2. 我国各级电压允许偏差的标准

根据调度权限的划分, 电网电压分别由中调及区调分级进行电压调整和管理, 其偏差应符合国家标准的规定, 如表 1-2 所示。

表 1-2 各级电压允许偏差数值表

运行工况	额定电压 $U_e$	电压允许偏差值
正常运行	35kV 及以上	正负偏差之和不大于 $10\%U_e$
	10kV 及以下	$\pm 7\%U_e$
	220V 单相供电	$(+7\% \sim -10\%) U_e$
事故运行		$\pm 10\%U_e$

3. 电压的参考点

(1) 输变电电压考核点。电网各中枢点的 110kV 及以上母线电压。

(2) 供电电压考核点。供电部门与用户产权分界点的电压，或供用电合同（协议）所规定的用户电能计量点的电压。

三、电压偏离的计算

电压偏离的计算公式如下：

$$\Delta U = U - U_e \text{ 或 } \Delta U\% = \frac{U - U_e}{U_e} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $\Delta U$ ——电压偏差绝对值，kV；  
 $U_e$ ——额定电压值，kV；  
 $U$ ——考核点实际运行电压，kV；  
 $\Delta U\%$ ——电压偏差百分数值。

四、电压允许波动值及闪变值

1. 电压波动与电压闪变的定义

(1) 电压波动。在某一时间段内，电压急剧变化而偏离额定值的现象，称为电压波动。电压变化速度大于每秒 10% 的，即为电压急剧变化。电压波动程度以电压在急剧变化过程中相继出现的电压最大值与最小值之差或其百分数表示。

(2) 电压闪变。周期性电压急剧变化引起电光源光通量急剧波动而造成人眼视觉不舒适的现象，称为电压闪变。通常用引起闪变刺激性程度的电压波动值，即闪变电压限值  $\Delta U_b$  或电压调幅波中不同频率的正弦波分量的均方根值等效为 10Hz 值的 1min 平均值，即等效闪变值  $\Delta U_{10}$  以  $U_e$  的百分数来表示。

(3) 电压调幅波，即工频 50Hz 电压幅值包络线的波形。

2. 电压波动值及电压允许波动值

(1) 电压波动值的计算。电压调幅波中，相邻两极值电压均方根值之差称为电压波动值，电压波动值的计算公式如下：

$$\Delta U_{bd} = \frac{\Delta Q}{S_K} + \frac{R}{X} \cdot \frac{\Delta P}{S_K} \quad (1-3)$$

$$\Delta Q = Q_{\max} - Q_{\min}$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$$

式中  $\Delta U_{bd}$ ——电压波动值；  
 $\Delta Q$ ——无功冲击负荷，Mrar；  
 $\Delta P$ ——有功冲击负荷，MW，  
 $S_K$ ——母线系统的短路容量，MVA；

$R/x$ ——母线系统的阻抗比,  $R/x$  一般取  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15} \sim \gamma_{15}$ 。

(2) 电压允许波动值的标准。由冲击性负荷产生的电压波动值, 不得超过国家标准, 如表 1-3 所示。

表 1-3 冲击负荷产生的电压波动允许值

$U_e$ (kV)	电压波动允许值 $\Delta U_{bd}$ (%)
10 及以下	2.5
35~110	2
220 及以上	1.6

表 1-4 等效闪变电压允许值

负荷名称	$\Delta U_{10}$ 允许值 (%)
要求高的白炽灯照明	0.4
一般性照明	0.6

(3) 等效闪变电压值的标准。等效闪变电压值  $\Delta U_{10}$  不应超过表 1-4 的规定。

## 五、三相电压的不平衡度

### 1. 三相电压不平衡度的规定

正常情况下由负序电压引起的三相电压不平衡度 ( $U_F/U_1 \times 100\%$ ) 应符合国家标准, 如表 1-5 所示。

表 1-5 三相电压不平衡度允许值

设备地点	三相电压不平衡度允许值 (%)
电力系统母线	正常时: 2
	短时: 4
每个用户	1.3

### 2. 三相电压不平衡度的计算

当三相电压的不平衡度比较大时, 在 10% 以下时也可用下式计算:

$$\Delta U_{bp} (\%) = \frac{U_{\max} - U_{pj}}{U_{pj}} \times 100\% \quad (1-4)$$

$$U_{pj} = (U_{ab} + U_{ac} + U_{bc}) \div 3$$

式中  $\Delta U_{bp} (\%)$  ——三相电压不平衡度, 百分数;

$U_{\max}$  ——三相电压不平衡电压中的最大值, V;

$U_{pj}$  ——三相不平衡电压平均值, V。

此时, 三相电压不平衡应控制在 3% 以内。

## 六、电压超过允许偏差的危害性

电压变化是用户负荷变化、无功变化在供电回路阻抗上共同作用的结果。电气设备对电压的变化很敏感, 一旦超过允许值, 就会给运行带来不利影响和危害。

### 1. 电压过高的危害

(1) 电压过高影响电气设备的寿命。

1) 白炽灯使用寿命与电压的关系。白炽灯的使用寿命约与  $1/U^{14}$  成正比, 即在  $U=U_e=220\text{V}$  时寿命一般为 1000h; 如果电压升高 10%, 即  $U=1.1U_e=242\text{V}$ , 发光率提高 17%; 寿命却降低为  $1/1.1^{14} \times 1000 = 263\text{h}$ , 即缩短寿命 3/4, 灯泡提前报废。

2) 电压对电力电容器的寿命影响也很大。电容器的容量  $Q_c = \omega U_c^2$ ，其寿命与电压的关系约与  $1/U^{7\sim 8}$  成正比。当  $U = 1.1U_c$  时，寿命只有额定电压时的 50%；当  $U = 1.15U_c$  时，寿命只有额定电压时的 1/3。

(2) 增加电气元件铁芯损耗。电气设备（元件）铁芯损耗与磁感应强度  $B^2$  成正比，而  $B$  又与  $U$  成正比，故铁芯损耗与  $U^2$  成正比。当电压升高运行，将使交流回路所带铁芯的设备（如发电机、变压器、电动机、电磁式互感器等）损耗普遍升高，温度增加，运行条件恶化。

## 2. 电压过低时的危害性

(1) 发供电设备的出力 ( $S = \sqrt{3}UI$ ) 将降低，达不到铭牌额定数值。

(2) 在输送相同有功功率时，电压低电流则大，线损增加 ( $I^2Rt$ )。

(3) 电动机启动困难，运行中的电动机过电流，发热增加而超温，甚至烧毁。

(4) 用电设备的使用效果变坏。效率降低。

1) 如白炽灯电压降低 10% 时，即  $0.9U_c = 198V$  运行，寿命虽可延长，但发光效率减少 19%，灯光发红，亮度不够；对于加热器来说，用电功率  $P = U^2/R = (0.9U_c)^2/R = 0.81P_c$ ，从而加热时间大大延长。

2) 影响通信、广播、电视的收视效果变坏。

## 七、引起电压异常的原因

### 1. 电压过高的引起原因

(1) 无功功率调整手段落后，调整能力低。

1) 无功补偿电容器手动投切不及时，过补偿，无功倒送。

2) 发电机、调相机、同步电动机等无功电源的调整手段落后，满足不了无功负荷需要。

3) 发电机不能深度进相运行，吸收无功。

(2) 中心变电站的主变压器不能带负荷调整分接头；用户配电变压器分接头位置选择不合适。

(3) 无功电源分布不合理。

### 2. 电压过低的原因

(1) 无功电源容量小，补偿能力不足：①无功不能分层、分级就地平衡；②补偿电容器损坏多，退出运行多，无功补偿达不到设计要求；③补偿电容器投入不及时。

(2) 供电线路运行及结构不合理，电压损失大：①输送功率大；②过负荷运行；③导线截面积小；④供电半径大；⑤功率因数低。

(3) 变压器方面造成的原因。

1) 中心变电站的主变压器不能带负荷调整电压；用户变压器分接头位置选择不合适。

2) 配电变压器阻抗电压选择太高。

3) 过负荷运行。

(4) 用户功率因数达不到供用电合同上的要求。

## 八、保证电网供电电压质量的措施

保证电网供电电压质量，主要应从提高电源电压、改进电压调整手段及降低电压损失三方面入手，发电、供电、用电要一齐抓。

### 1. 提高电源电压的措施

(1) 做好无功电源分级、分层的就地平衡工作。

(2) 安装足够的无功补偿装置。其容量在高峰时应能满足稳定电压的需要；在低谷时又有一定的调整能力。

(3) 定期检查无功补偿装置及其容量，及时更换已损坏的电容器。保证电容器组达到100%的完好率及100%的投运率。

(4) 安装有载调压变压器。

### 2. 改进电压调整手段的措施

其工作重点主要是改手动调整电压为自动调整电压。

(1) 安装 AVR（自动电压调整器），根据电压的设定，调整发电机、调相机、同步电动机的无功出力或改变有载调压变压器的分接头。

(2) 在条件允许时采用 ACR（自动控制电容器）的投切，满足稳定电压的需要。

(3) 安装静止无功补偿装置，利用可调电感，改变补偿度，进行电压调节。

### 3. 降低电压损失的措施

(1) 按允许电压损失进行工程设计：①按允许电压损失确定合理的导线截面及供电距离、供电半径；②工程设计应留有一定余地，以满足负荷自然增长的需要。

(2) 变压器的阻抗电压值不宜选择过大。用户配电变压器的阻抗电压值宜为：

1) 10/0.4kV 的变压器，容量在 30~500kVA 之间的， $U_K = 4\%$ ；容量在 630~1600kVA 之间的， $U_K = 4.5\%$ 。

2) 35/0.4kV 的变压器，容量在 50~1600kVA， $U_K = 6.5\%$ 。

3) 35/10kV、35/6kV、35/3kV 的变压器，容量在 800~2500kVA 之间的， $U_K = 6.5\%$ ；容量在 3150~5000kVA 之间的， $U_K = 7\%$ ；容量在 6300~10 000kVA 之间的， $U_K = 7.5\%$ 。

4) 10/6kV、10/3kV 的变压器，容量在 800~6300kVA 之间的， $U_K = 5.5\%$ 。

(3) 把用户的功率因数提高到 0.9~0.95。

(4) 平衡三相负荷，使电流不平衡度不超过 20%。

(5) 提高供电电压等级，将铝导线换成铜导线。

## 第三节 供电电源波形质量

### 一、电源波形的标准

我国交流电力电源的波形应为正弦波。只有正弦函数在变换（微分、积分）或相加后，其函数图形，即波形仍可保持正弦，不会发生畸变；而别的任何波形都不具备这种性质。

### 二、波形畸变率

谐波是造成电源波形畸变、失真的主要原因，谐波是电网的污染源。其中有影响的有 5、7、11、13 等次谐波。其中 5 次谐波影响最为显著。电压波形失真的程度以电压波形畸变率来衡量。

#### 1. 电源电压波形畸变率

我国规定电力电源电压波形畸变率的标准，如表 1-6 所示。

表 1-6 国家规定谐波电压的限制值

U <sub>c</sub> (kV)	电压谐波总畸变率 THD <sub>u</sub> (%)	各次谐波电压含有率 (%)	
		奇次	偶次
0、380	5	4	2.0
6、10	4	3.2	1.6
35、66	3	2.4	1.2
110 (220)	2	1.6	0.8

2. 电压谐波总畸变率及其计算

电压谐波总畸变率 THD<sub>u</sub> 计算公式如下：

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (U_n)^2}}{U_1} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 THD<sub>u</sub>——电压谐波总畸变率，%；

U<sub>n</sub>——第 n 次谐波电压有效值，kV；

U<sub>1</sub>——基波电压有效值，kV；

n——谐波次数。

3. 用户注入电网的谐波电流的限值

用户注入电网的谐波电流，不应超过表 1-7 的规定。当系统短路容量与基准折算容量 S<sub>j</sub> 不相等时，表 1-7 中的允许电流应进行折算。

表 1-7 用户注入电网的谐波电流允许值

U <sub>n</sub> (kV)	S <sub>j</sub> (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5
60	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2

三、谐波电流与电压波形畸变的关系

1. 谐波源

产生谐波电流的非线性负荷称为谐波源。

2. 谐波电流产生谐波电压

谐波源注入电网的谐波电流产生谐波电压，并引起母线电压源波形畸变，同时对不产生谐波电流的其他负荷的运行带来影响。谐波电压计算公式如下：

$$U_n^* = n I_n^* Z_s \quad (1-6)$$

$$I_n^* = \frac{I_n}{I_j}, \quad I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3}U_j}$$

$$Z_s = \frac{S_j}{S_k}$$

式中 U<sub>n</sub><sup>\*</sup>——n 次谐波电流以 I<sub>n</sub><sup>\*</sup> (标么值) 产生谐波电压标么值；

n——谐波次数；

$I_n^*$ —— $n$ 次谐波电流标么值；

$I_j$ 、 $U_j$ 、 $S_j$ ——基准计算电流、电压及功率；

$Z_s$ ——系统阻抗标么值；

$S_k$ ——母线实际短路容量。

**【例 1-1】** 某炼钢厂用 35kV 电炉，测得 3 次谐波电流  $I_3 = 16\text{A}$ ，系统实际短路容量  $S_k = 300\text{MVA}$ ，问 3 次谐波电压为多少？

**解** 设  $S_j = 100\text{MVA}$ ， $U_j = 37.5\text{kV}$ ， $I_j = S_j / \sqrt{3} U_j = 1540 \text{ (A)}$

3 次谐波电流以标么值  $z_3^* = \frac{I_3}{I_j} = \frac{16}{1540} = 0.0104$

系统阻抗标么值  $Z_s = \frac{S_j}{S_k} = \frac{100}{300} = 0.333$

3 次谐波电压标么值为  $U_3^* = 3 \times 0.0104 \times 0.333 = 0.0104$ ，即为基波电压的 1.04%。

#### 四、波形畸变超过允许值时的危害

谐波源所产生的高次谐波电流，注入母线系统，使所有与其相连的设备均受到影响和危害。主要有以下几方面：

(1) 波形失真，导致电能质量变坏。

(2) 设备附加损耗增加而产生过热，效率下降，噪声增大。电气设备中，谐波电流影响显著的直接后果是：①电动机过热；②电容器过电流发热；③三相四线制的中性线谐波电流（为 3 次谐波电流及其 3 的倍数谐波电流）大增，引起过热或烧断。

(3) 干扰电子装置工作。

1) 常使自动装置、微机保护及信号装置误触发、误动作、误报警、误启动、误跳闸、误停机。

2) 严重影响通信的通话质量。

3) 对广播、电视产生干扰。

4) 加速电介质老化，影响设备绝缘寿命。

5) 引发系统高次谐波谐振。

6) 使测量仪器指示不准，测量精度及可靠性下降。

#### 五、引起波形畸变的原因

变压器及非线性负荷是产生高次谐波电流的发生器。引起波形畸变超过允许值的原因，主要有谐波源容量大及系统容量小两方面因素。

1. 谐波源容量大

由于生产规模不断扩大和自动控制设备的广泛使用，谐波源的数量和容量也随着扩大。从而注入系统的谐波电流也在不断增加。其中使用多、影响大的设备有：

(1) 铁磁饱和型的变压器、电抗器及气体放电灯用的镇流器。

(2) 电子开关型的半控全控整流器、逆变器、双向晶闸管等各种交直流装置，变频调速装置。

(3) 电弧型的各种交流电弧炉、交流电弧焊机及电气化铁道的电气机车等。

2. 系统容量小

容量小的系统阻抗  $Z_s$  大，从式 (1-6) 可知，谐波电压必然高。换句话说，也就是容



量大的系统容纳谐波电流能力高。

在系统容量不能扩大的前提下，唯一可选择的办法就是限制谐波源的电流值。

## 六、控制波形畸变的措施

### 1. 限制谐波源的容量

减少或限制谐波源的容量，可以减少注入电网系统的谐波电流值。但容量小的设备可放宽。例如，电视机的总谐波电流甚至可达到基波电流的 100%，只要电源线路设计合理，压降合格，也不会有大的危害。

### 2. 采用 Dy 或 Yd 的变压器

变压器其中一侧绕组为三角形接线，就给 3 次谐波及 3 的倍数次的谐波电流构成通路，流入电网的谐波电流仅剩 5、7、11、13、17 次等，故谐波电流大为减少。

(1) 配电变压器一般采用 Dyn11。

(2) 整流变压器一般采用 Dy11；Dy1 或 Yd11；Yd1。

### 3. 增加整流器的脉波次数限制控制角

(1) 整流后的脉动越小，直流越平坦，奇次谐波电流含有率就越低。因而可以通过三相电源组成 6 脉波、12 脉波的整流电路，来降低谐波电流。

(2) 限制控制角  $\alpha$ 。晶闸管整流电路，控制角  $\alpha$  越大，谐波电流就越高。因此要限制控制角，避免深度控制。

### 4. 限制谐波源的接线方式

(1) 将谐波源接入容量大的系统母线上。

(2) 减小系统电源内阻。

### 5. 采用滤波电路

给谐波源加装专用的滤波装置，利用  $L$ 、 $R$ 、 $C$  串并联谐振原理，组成分频回路，想去掉哪次谐波，可按  $X_L = X_C$  及  $n\omega L = \frac{1}{n\omega C}$ ，而滤波回路的电感  $L$ 、电容  $C$  计算公式如下：

$$L = \frac{1}{(n\omega)^2 C} \quad (1-7)$$

或

$$C = \frac{1}{(n\omega)^2 L} \quad (1-8)$$

从而吸收该次谐波电流，使其避免注入电网。

## 第四节 供电可靠率

供电可靠性是持续供电能力的量度。通常以供电可靠率来衡量。供配电系统可靠性的评价指标可分为主要指标和参考指标两类。

### 一、供电可靠性主要指标

#### 1. 供电可靠率

供电可靠率是指某一统计期间内，对用户有效供电时间总小时数与统计期间小时数的比值。即

$$R_k = \left(1 - \frac{1 - T_d}{T_{tq}}\right) \times 100\% \quad (1-9)$$