

电能质量及无功补偿和 电压调整技术讲座

(提 纲)

林 海 雪

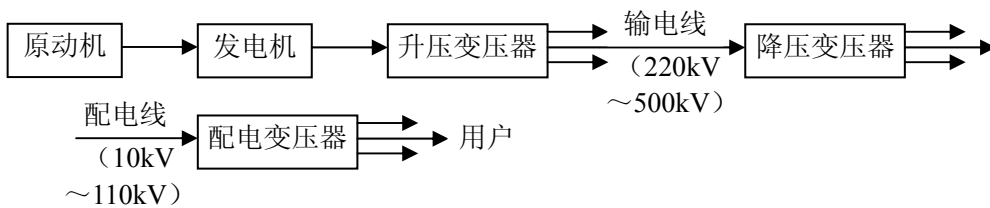
(中国电力科学研究院)

本讲座内容

1. 电能质量基本概念
2. 电能质量的影响
3. 电能质量标准
4. 电力系统无功补偿和电压调整

1 电能质量基本概念

1.1 电力系统的组成和特点



功率平衡 { 有功功率平衡(主要影响系统频率水平)
无功功率平衡(主要影响系统电压水平)

各种干扰：负荷变化；运行操作；故障；雷击

1.2 电力系统中的电磁现象

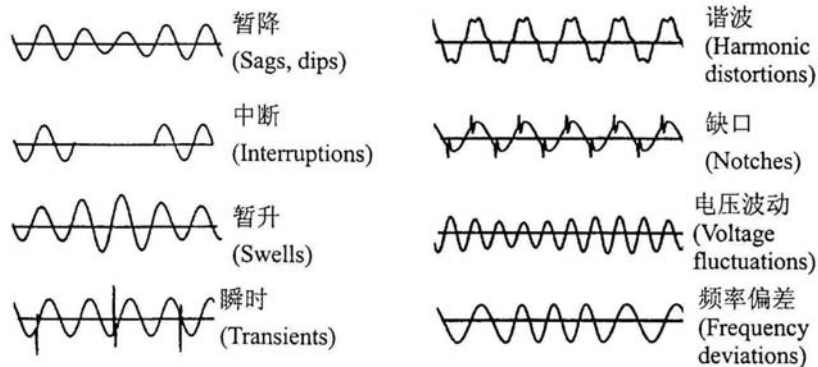


图 1 与不良电能质量有关的几个最重要的波形畸变

表 1 电力系统电磁现象的种类和特征

| 种 类 | | 典型频谱成分 | 典型持续时间 | 典型电压幅值/pu |
|------------|------|----------|-----------|-----------|
| 电磁瞬态 冲击 | ns 级 | 5ns 上升 | <50ns | |
| | μs 级 | 1μs 上升 | 50ns~1ms | |
| | ms 级 | 0.1ms 上升 | >1ms | |
| 电磁瞬态 振荡 | 低频 | <5kHz | 0.3~50ms | 0~4 |
| | 中频 | 5~500kHz | 20μs | 0~8 |
| | 高频 | 0.5~5MHz | 5μs | 0~4 |
| 瞬时电压 变动 | 中断 | | 0.5~30 周波 | <0.1 |
| | 暂降 | | 0.5~30 周波 | 0.1~0.9 |
| | 升高 | | 0.5~30 周波 | 1.1~1.8 |
| 暂时电压 变动 | 中断 | | 30 周波~3s | <0.1 |
| | 暂降 | | 30 周波~3s | 0.1~0.9 |
| | 升高 | | 30 周波~3s | 1.1~1.4 |
| 短时电压 变动 | 中断 | | 3s~1min | <0.1 |
| | 暂降 | | 3s~1min | 0.1~0.9 |
| | 升高 | | 3s~1min | 1.1~1.2 |
| 长期电压 变动 | 持续中断 | | >1min | 0.0 |
| | 欠电压 | | >1min | 0.8~0.9 |
| | 过电压 | | >1min | 1.1~1.2 |
| 电压不平衡 | | | 稳态 | 0.5%~2% |
| 波形失真 | 直流偏移 | | 稳态 | 0~0.1% |
| | 谐波 | 0~100th | 稳态 | 0~20% |
| | 间谐波 | 0~6kHz | 稳态 | 0~2% |
| | 缺口 | | 稳态 | |
| | 噪声 | 宽带 | 稳态 | 0~1% |
| 电压波动 | | <25Hz | 断续 | 0.1%~7% |
| 频率偏差* | | | <10s | |

* 频率偏差一般控制在±1%范围内。

1.3 电能质量定义

Power Quality——电能质量（电源质量、电力质量、电力品质）

- 导致用户设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率偏差。
- 合格电能质量的概念是指给敏感设备提供的电力和设置的接地系统是都适合于该设备正常工作的。
- 在电力系统中某一指定点上电的特性，这些特性可根据预定的基准技术参数来评价。
- 电压质量、电流质量、供电质量、用电质量。

实际上电能质量就是供电电压特性，即关系到用电设备工作（或运行）的供电电压各种指标偏离理想值（额定值或标称值）的程度。

1.4 电能质量问题的由来

- 随电力工业诞生而存在的一个传统问题；
- 现代用电负荷结构发生了质的变化。电力电子技术广泛应用，家用电器普及，炼钢电弧炉和轧机的发展等，由于其非线性、冲击性以及不平衡的用电特性引起电能质量的恶化。
- 计算机的普及、IT 产业的发展、微电子控制技术应用导致对电能质量要求越来越高。

例如：一个计算中心失电 2s 就可能破坏几十个小时数据处理结果，导致几十万美元产值损失；

1~2 周波供电电压暂降，就可能破坏半导体生产线，导致上百万美元损失。

据统计美国因电能质量问题造成的损失每年高达 1500~2000 亿美元。

欧盟统计（2008 年 11 月）每年损失高达 1500 亿欧元以上。

2005 年由国际铜业协会（中国）的一次“中国电能质量行业现状与用户行为调研报告”中，调查了 32 个行业，共 92 个企业中有 49 个企业，因电能质量问题，在经济上损失 2.5~3.5 亿元（人民币），每个企业年经济损失约 10 万~100 万（人民币）（其中有四家年损失 1000 万元以上）。

2 电能质量的影响

2.1 电能质量指标

电压偏差、频率偏差、谐波、电压波动和闪变、三相电压不平衡度、暂时过电压和瞬态过电压、电压暂降、波形缺口、……

2.2 电能质量指标特点

- a. 空间上、时间上不断变化
- b. 需要供、用电双方共同合作维护

2.3 超标的危害

（1）供电电压偏差

照明设备的发光和寿命。从图 2 中可看到：当电压较额定电压降低 5% 时，白炽灯的光通量减少 18%；当电压降低 10% 时，光通量减少 30%，使照度显著降低。当电压比额定电压升高 5% 时，白炽灯的寿命减少 30%；当电压升高 10% 时，寿命减少一半以上。

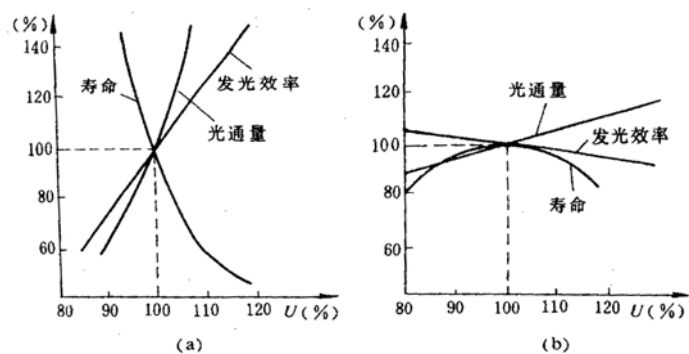


图2 照明灯的电压特性
(a) 白炽灯; (b) 荧光灯

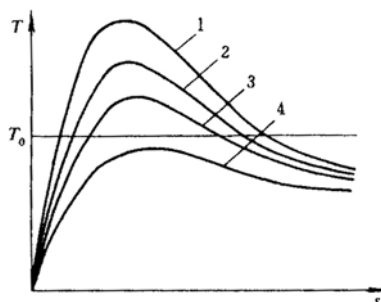


图3 不同端电压时异步电动机的转矩—转差特性

1— $U=100\%U_N$; 2— $U=90\%U_N$
3— $U=80\%U_N$; 4— $U=70\%U_N$

电动机的力矩、转速、发热、工效以及产品质量受影响（图3）；变压器的发热、损耗；并联电容器无功出力、寿命；家用电器如电视机的视感、寿命；电子计算机和控制设备不正常；工业设备（如电解、电热）效率降低（表2）；电力系统稳定性降低，线损增加。

表2 电压偏差与电解铝生产工况的统计表

| | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 电压偏差 (%) | 0 | -4.0 | -6.7 | -8.6 |
| 电耗 (kWh/t) | 17200 | 17600 | 18250 | 18600 |
| 电解槽生产率 (%) | 100 | 96.0 | 90.0 | 87.0 |

(2) 电力系统频率偏差

电动机转速变化，影响纺织、造纸等产品质量；传动机械出力变化，影响生产效率；对测量、控制和计时等电子设备精度和性能影响；使感应式电能表计量误差加大；影响发电机和电力系统安全；冲击负荷对近区电网的危害。

(3) 谐波

降低电力设备的利用率，使电气设备（如旋转电机、电容器、变压器）以及导线（如低

压中性线、电缆、母排等) 过载运行(发热、振动、异常声响等), 缩短使用寿命、增加线损; 降低断路器遮断容量, 例如, 馈供给整流负荷的普通电力变压器, 其出力应相应的降低。降低值和变压器的杂损比(即附加损耗与基本损耗之比)有关, 如表 3 所列。

表 3 馈供整流负荷时变压器容量降低 (%)

| 杂损比 \ 整流器脉动数 | 0.5 | 1.0 | 1.5 |
|--------------|-----|-----|-----|
| 6 | 33 | 40 | 45 |
| 12 | 20 | 24 | 28 |

干扰继电保护、自动装置和计算机系统; 使电子设备工作不正常; 使测量和计量仪器(感应式电度表)、仪表误差加大; 降低信号传输质量, 干扰通信系统; 增加电力网中谐振可能性, 诱发过电压或过电流的危害; 减少白炽灯使用寿命。

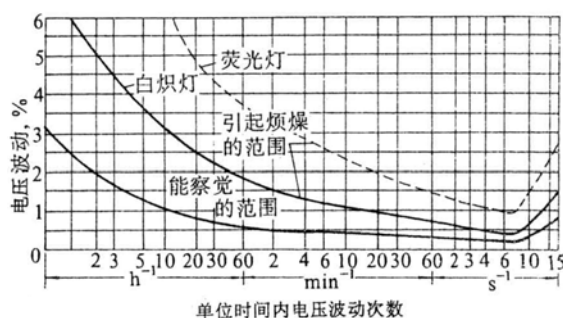


图 4 照明允许电压波动与其允许波动频度之间的关系曲线

(4) 电压波动和闪变

照明灯光闪烁, 引起人的视觉疲劳; 电视机屏幕图像失真、摆动翻滚和亮度变化; 电动机转速不均匀、振动、异响, 影响产品质量; 电子计算机、监测和控制设备等工作不正常(见图 4)。

(5) 三相电压不平衡

电机附加发热, 并引起二倍频的附加振动力矩使电机负载能力降低(图 5、表 4); 引起以负序分量为启动元件的多种保护误动作; 换流设备产生附加的谐波电流(非特征谐波); 变压器负载能力下降; 在低压配电线路中, 引起照明灯的寿命缩短或烧损、电视机损坏、中性线过负荷等; 引起线损及线路电压损失增大; 影响正常通信质量。

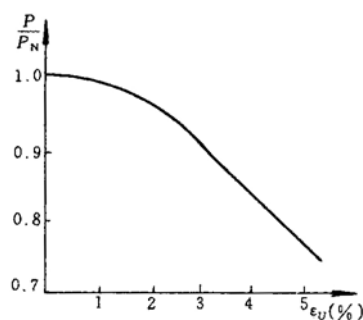


图 5 感应电动机的降容系数曲线

表 4 4kW 笼式感应电动机实测数据

| 三相电压不平衡度 | | $\varepsilon_U=0$ | | | $\varepsilon_U=5.34\%$ | | |
|-----------|--------------------|-------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
| 三相线电压 (V) | | AB | BC | CA | AB | BC | CA |
| | | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 350 |
| 空载 | 空转损耗 p_0 (W) | 156.5 | | | 220 | | |
| | 铁损 p_{Fe} (W) | 708.3 | | | 1994.7 | | |
| | 定子铜损 p_{Cu0} (W) | 93.7 | | | 95.3 | | |
| 额定负载 | 输入功率 P_1 (W) | 4880 | | | 4960 | | |
| | 定子铜损 p_{Cu1} (W) | 683.5 | | | 744.9 | | |
| | 转差率 s (%) | 4.06 | | | 4.26 | | |
| | 功率因数 $\cos\phi$ | 0.7 | | | 0.63 | | |
| | 定子相电流 (A) | A | B | C | A | B | C |
| | | 8.8 | 8.8 | 9.4 | 11 | 10 | 7.4 |

(6) 暂时过电压和瞬态过电压

使设备绝缘破坏，引发事故。

(7) 电压暂降 (包括短时中断)

引起变速驱动装置 (ASD) 跳闸、程序逻辑控制器 (PLC) 损坏、各种数字式自动控制装置误动、计算机系统失常，数据丢失；导致相关加工生产线 (例如塑料、玻璃、石化、纺织、造纸、半导体以及橡胶等) 停顿，大型场所照明失电 (例如镝灯，灯灭后需冷却好几分钟后才能启动) 等等。图 6 为国外统计的一次电压暂降对不同行业可能造成的经济损失。表 5 为电压暂降对一些设备的危害。

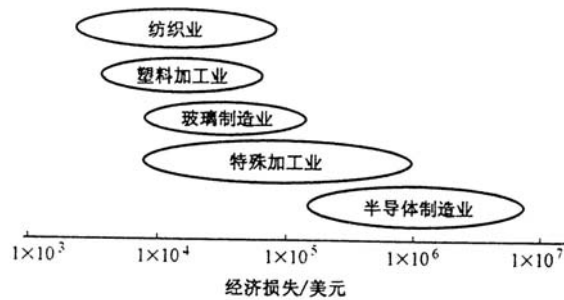


图 6 一次电压暂降对不同用户造成的损失

表 5 电压暂降对一些设备的危害

| 设备 | 电压暂降造成的影响结果 |
|-------|-----------------------------------|
| 冷却控制器 | 当电压低于 80% 时，控制器动作将制冷电机切除，导致巨大生产损失 |
| 芯片测试仪 | 当电压低于 85% 时，测试仪停止工作，芯片、主板被毁坏 |

| 设 备 | 电压暂降造成的影响结果 |
|--------|--|
| 可编程控制器 | 当电压低于 81%时, PLC 停止工作; 一些 I/O 设备, 当电压低于 90%、持续时间仅几十毫秒, 就会被切除 |
| 机器人 | 由机器人控制对金属部件进行钻、切割等精密加工的机械工具, 为保证产品质量和安全, 工作电压阈值一般设为 90%, 当电压低于此值、持续时间超过 40~60ms 时, 被跳闸 |
| 直流电机 | 当电压低于 80%时, 直流电机被跳闸 |
| 变频调速器 | 当电压低于 70%且持续时间超过 120ms 时, ASD 被切除。而对于一些精细加工业中的电机, 当电压低于 90%且持续时间超过 60ms 时, 电机就会跳闸而退出运行 |
| 电动机接触器 | 当电压低于 50%、持续时间超过 20ms, 接触器就会脱扣; 而有的研究表明, 当电压低于 70%、甚至更高, 接触器就会脱扣 |
| 计算机 | 当电压低于 60%, 持续时间超过 240ms 时, 计算工作将受到影响, 如数据丢失 |

(8) 电压波形缺口

由变流装置换相过程造成的电压波形缺口可能影响交流装置的同步或以电压过零进行控制的电子装置正常工作。注意, 电压缺口虽然属于波形畸变, 但不能用谐波分析来说明它的影响。一般用缺口的深度和面积描述。

2.4 案例

- 上海某高层大厦一台变压器设计为全部带空调负荷, 但投运后由于大量谐波的存在, 使得变压器根本就没有办法正常运行。
- 1990 年亚运会期间网球中心电压暂降造成照明失电 10 余分钟 (照明灯为镝灯, 需冷却启动), 使场内照明黑了一半, 这次事故在国际上造成了非常不好的影响。
- 某商厦工程大量采用日光灯, 全部采用电子镇流器, 正常情况下, 零线中产生很大电流, 造成电缆发热, 变压器温升过高 (典型的谐波问题)。
- 某证券公司由于谐波使得网络速度变慢、数据出错, 实时交易的动态信息显示屏幕出现大片空白, 数据刷新和交易的速度都极慢, 且经常中断, 根本无法进行交易。
- 某宽带运营商由于突然断电造成宽带网络客户不能正常上网, 客户索赔几百万元。
- 北京某化工厂 2005 年 1 月 18 日, 外网波动引起断电, 聚氯乙烯装置爆炸, 停电 5-6 小时, 直接损失 30 万元。
- 某钢铁企业 2004 年一次停电导致所有生产线上的产品作废, 损失上亿元。
- 2004 年 3~8 月吉林省农电局一条 10kV 配电线 (约 40km) 末端 49 个台区先后发

生了 500 多次低压电器设备（包括电视机、计算机、冰箱温控器、交换机模块、VCD、加油机电源板等等）烧损事故，经测试分析，是某钢厂中频炉谐波，因长线“谐波容升电压”效应所致。

- 1993 年 2 月河南省信阳和驻马店地区 220kV 计驻线（双回线，一回线停电检修）因电气化铁路牵引站的谐波引发高频保护误动，引起大面积停电事故（两个 220kV \times 240MVA 变电站停电）。
- 河南省 220kV 柳林变电站原 10kV8 组 6600kVar 并联电容器，因 3 次谐波影响原串联电抗器选配不当等原因大量损坏，不得不全部更换（现为 8 \times 8000kVar）。

2.5 结论

电能质量涉及国民经济各行各业和人民生活用电，优质电力可以提高用电设备效率，增加使用寿命，减少电能损耗和生产损失，电能质量关系到电力可持续发展，也关系到国民经济总体效益，是实现节约型社会的必要条件之一。

3 电能质量标准

3.1 电能质量国家标准

- **电能质量指标国家标准**
 - (1) 供电电压偏差（GB/T 12325—2008）
 - (2) 电压波动和闪变（GB/T 12326—2008）
 - (3) 公用电网谐波（GB/T 14549—1993）
 - (4) 三相电压不平衡（GB/T 15543—2008）
 - (5) 电力系统频率偏差（GB/T 15945—2008）
 - (6) 暂时过电压和瞬态过电压（GB/T 18481—2001）
 - (7) 公用电网间谐波（GB/T 24337-2009）
- **电能质量测量国家标准**
 - (1) 供电系统及相连设备的谐波、谐间波的测量和测量仪器导则（GB/T 17626.7—2008）
 - (2) 电能质量监测设备——通用要求（GB/T 19862—2005）
- **相关的设备国家标准**
 - (1) 谐波电流发射限值（设备每相输入电流 \leq 16A）（GB 17625.1—2003）
 - (2) 对每相额定电流 \leq 16A 且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制（GB 17625.2—2007）
 - (3) 对额定电流大于 16A 的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁的限制（GB/Z 17625.3—2000）

(4) 对额定电流大于 16A 的设备在低压供电系统中产生谐波电流的限制(GB/Z 17625.6-2003)

(5) 半导体变流器与供电系统的兼容及干扰防护导则 (GB/T 10236—2006)

➤ 电能质量治理设备(装置)国家标准

(1) 输配电系统静止无功补偿器用晶闸管阀的试验(待批)

(2) 静止型无功功率补偿装置(SVC)功能特性(GB/T 20298—2006)

(3) 静止型无功功率补偿装置(SVC)现场试验(GB/T 20297—2006)

(注:电力行业标准 DL/T 1010.1~1010.5-2006《高压静止无功补偿装置》)

3.2 电能质量国外标准简介

3.2.1 欧盟

1999 年欧盟(欧共体)颁布了《公用配电系统供电电压特性》(EN50160),包括 5 大类 13 个指标。

1. 频率

(1) 互联电网: (50 ± 0.5) Hz

(2) 孤立电网: (50 ± 1) Hz

2. 电压幅值

(1) 慢速电压变化: $\pm 10\%U_N$

(2) 电压波动: 低压系统 $5\% U_N$; 中压系统: $4\% U_N$ 。闪变: $P_{fl}=1.0$

(3) 电压暂降: 每年可能发生几十至一千次,大部分持续时间小于 1s,幅值不大于 $60\% U_N$ 。

(4) 短时断电: 每年可发生几十次至几百次,约 70%的短时断电小于 1s。

(5) 长时断电: 超过 3 分钟的长时断电,每年在 10 次以内或不超过 50 次。

(6) 暂时工频过电压: 低压系统一般不超过 1.5kV (rms),中压系统不超过 1.7~2.0 倍相电压(和中性点接地情况有关)。

(7) 瞬态过电压: 低压系统一般不超过 6kV (峰值)。

3. 电压不平衡

负序分量占正序分量的 2%。

4. 电压波形

(1) 整数次谐波: 40 次谐波以下的总畸变率(THD)不超过 8%,且各次谐波上限均有明确规定。

(2) 间谐波: 缺乏公认的实验数据,未作规定(但 IEC 61000-2-4 规定一般限值为 0.2%)

5. 电源信号电压

指的是工频电压上又叠加的一个正弦传输信号电压。低频段幅值小于 $10\%U_N$,中频段

幅值小于 $5\%U_N$ 。

实际上欧盟各国都有相关的国家标准，例如 2001 年英国颁布《英国电气协会（EA）工程导则 G5/4》，就是英国现行的谐波标准。

2.6.2 美国

计算机和商用设备制造商协会（Computer and Business Equipment Manufacturers Association，即 CBEMA）出于大型计算机及其控制装置对电能质量要求，提出了电压容限曲线（称为 CBEMA 曲线）。该协会后改称为信息技术工业协会（Information Technology Industry Council，即 ITIC），并将电压容限曲线作了一定改进，如图 7 所示。

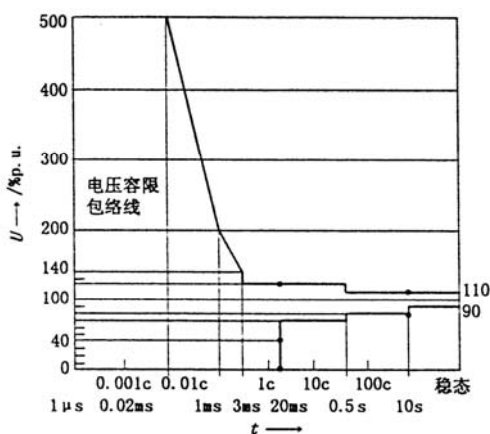


图 7 ITIC 曲线

美国的标准相当全面和丰富，基本由美国国家标准局（ANSI）和各个协会（例如 IEEE）制定。现行的谐波标准为 IEEE Std 519-2005《IEEE 关于电力系统中谐波控制的推荐规程和技术要求》。

2.6.3 电能质量标准和电磁兼容标准的关系

- (1) 电磁兼容的概念
- (2) IEC 61000 系列标准

六大部分：《总论》、《环境》、《限值》、《试验和测量技术》、《安全装置和抑制导则》和《其他》。

- (3) 标准限值的协调

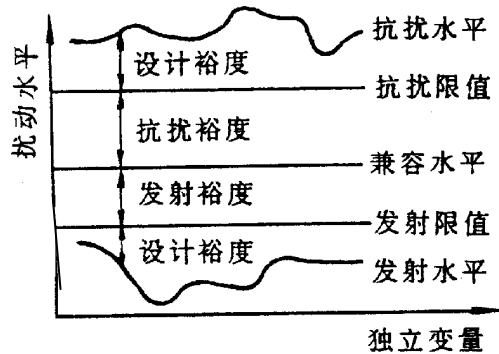


图 8 电磁兼容协调中的有关参数

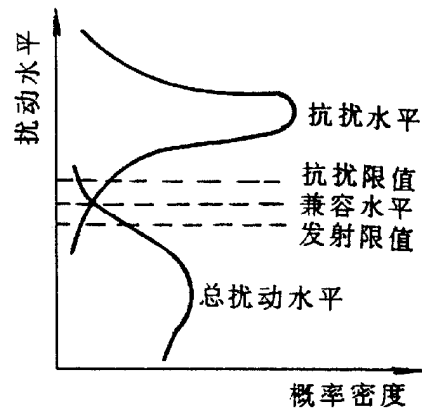


图 9 扰动水平和概率密度关系

表 6 已采用为国标的与谐波相关的 IEC 61000 标准文件

| 国标编号 | 国家标准名称 | 相应的 IEC 标准 | 采用程度 |
|-------------------|--|----------------------------------|------|
| GB/T 17626.7—2008 | 电磁兼容 试验测量技术 供电系统及所连设备谐波、谐间波的测量和测量仪器导则 | IEC 61000-4-7: 2002 (国际标准) | 等同 |
| GB 17625.1—2003 | 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值 (设备每相输入电流≤16A) | IEC 61000-3-2: 2001 (国际标准) | 等同 |
| GB/Z 17625.4—2000 | 电磁兼容 限值 中、高压电力系统中畸变负荷发射限值的评估 | IEC 61000-3-6: 1996 (第三类技术报告) | 等同 |
| GB/Z 18039.1—2000 | 电磁兼容 环境 电磁环境的分类 | IEC 61000-2-5: 1995 (第二类技术报告) | 等同 |
| GB/Z 18039.2—2000 | 电磁兼容 环境 工业设备电源低频传导骚扰发射水平的评估 | IEC 61000-2-6: 1995 (第三类技术报告) | 等同 |
| GB/Z 17625.6—2003 | 电磁兼容 限值 额定电流大于 16A 的设备在低压供电系统中产生的谐波电流发射的限制 | IEC 61000-3-4: 1998 (第三类技术报告) | 等同 |

4. 电力系统无功补偿和电压调整

4.1 概念

(1) 标称电压

国家标准 GB/T 156-2007《标准电压》规定了系统标称电压和设备额定电压。

(2) 电压偏差 (损耗)

高压电网中造成运行电压变化的主要因素是无功，无功大致从电压高处流向低处。电压偏差是指电压缓慢变化，电压快变化属电压波动和闪变范畴。

4.2 基本公式

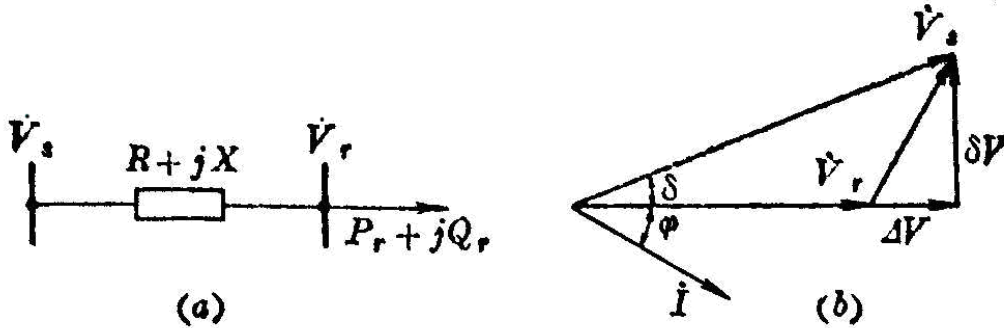


图 10 简单输电线路

(a) 等值电路；(b) 相量图

$$\left. \begin{aligned} \Delta V &= \frac{P_r R + Q_r X}{V_r} \\ \delta V &= \frac{P_r X - Q_r R}{V_r} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

从图 10 (b)，当已知 \dot{V}_r, P_r, Q_r ，始端电压 \dot{V}_s 可由下式求得 (\dot{V}_r 作为参考相量)。

$$\dot{V}_s = \dot{V}_r + \Delta V + j\delta V = V_r + \frac{P_r R + Q_r X}{V_r} + j \frac{P_r X - Q_r R}{V_r} \quad (2)$$

$$V_s (\cos \delta + j \sin \delta) = V_r + \frac{P_r R + Q_r X}{V_r} + j \frac{P_r X - Q_r R}{V_r} \quad (3)$$

高压输电线路 $R \ll X$ ，因而上式可简化为

$$V_s \cos \delta + j V_s \sin \delta = V_r + \frac{Q_r X}{V_r} + j \frac{P_r X}{V_r} \quad (4)$$

即

$$\left. \begin{aligned} V_s \cos \delta &= V_r + \frac{Q_r X}{V_r} \\ V_s \sin \delta &= \frac{P_r X}{V_r} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

从第二式可得

$$P_r = \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta \quad (6)$$

这说明输电线路传输的有功功率和线路两端电压的夹角有关，其最大值为 $P_M = \frac{V_s V_r}{X}$ 称为输电线路的功率极限。

从式(5)的第一式可得

$$V_s \cos \delta - V_r = \frac{Q_r X}{V_r}$$

或

$$Q_r = \frac{V_r}{X} (V_s \cos \delta - V_r) \quad (7)$$

这说明输电线路所传输的无功功率的大小和方向主要取决于 V_s 和 V_r 的大小。一般输电线路的 δ 较小, 可认为 $\cos \delta \approx 1$, 故无功功率将由电压高的一端流向电压低的一端。电压差值愈大, 流过的无功功率 Q_r 愈大。

4.3 电压水平和无功平衡以及节能降耗关系

电力系统运行在任何瞬间均保持有功功率和无功功率平衡, 整个电网电压水平和无功平衡关系很大, 无功电源充足, 系统维持较高的电压水平, 否则维持较低的电压水平。地区也应保持无功大致平衡。

无功电源: ①同步发电机; ②同步电动机; ③线路对地电容; ④并联电容器(滤波器); ⑤调相机。

无功负荷: ①变压器; ②线路的电感; ③异步电动机; ④并联电抗器; ⑤欠励磁的发电机、同步电动机、调相机。

静止无功补偿器(SVC)可以运行在电源或负荷状态。

$$\text{自然无功负荷系数 } k = \frac{Q_M}{P_M} \approx 1 \sim 1.4$$

Q_M ——无补偿时的最大无功负荷;

P_M ——最大的有功负荷。

减少无功功率流动就是减小电流, 从而减小电网功率损耗(线损), 这是用户内部节能降耗措施之一, 也是电力公司实行功率因数(力率)奖罚制度的基础。

4.4 供电电压偏差——国家标准 GB/T12325-2008

- (1) 35kV 及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过标称电压的 10%。
- (2) 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为标称电压的 $\pm 7\%$ 。
- (3) 220V 单相供电电压允许偏差为标称电压的 $+7\%$ 、 -10%

以上标准适用于正常运行条件, 衡量点为供电部门与用户分界处(供电点)。

制订《标准》的依据

- (1) 国外标准情况

照明用户以 $\pm 5\%$ —— $\pm 6\%$ 为多, 最大为 $\pm 10\%$ 。动力用户以 $\pm 10\%$ 为多。要求最严的

如德国，照明 $\pm 3\%$ ，动力 $\pm 5\%$ 。

国际电工委员会（IEC）、国际发供电联盟（UNIPED）定为 $\pm 10\%$ 。

（2）国内情况

与国际先进水平比较还有不小差距。

存在问题（供讨论）：①容性补偿设备仍偏少；②超高压线路感性补偿设备不足；③缺乏无功电压调节设备；④用户电容器可控性差，没有作到日投夜切；⑤发电机吸收无功的能力没有很好开发；⑥有载调压变压器尚嫌不足；⑦动态无功补偿设备应用较少。

（3）电力部门颁发的几个重要文件：

①《电力系统电压和无功电力管理条例》1988年9月20日开始实行。该条例的前身是《电力系统电压和无功电力管理条例》（试行），1980年电力部颁发。

②《电力系统电压和无功电力技术导则（试行）》1989年3月20日能源部发布，同年8月1日开始实行。

③《电力系统电压质量和无功电力管理规定（试行）》1993年3月17日能源部颁发实行。是为了贯彻以上两个文件而制定的。

④《电压监测仪订货技术条件》（DL500-92）

⑤ 国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则[国家电网生（2004）435号]

4.5 电力系统电压调整

（1）中枢点电压管理

调压方式：逆调压、顺调压和恒调压

对电力用户的供电距离和供电容量有一定范围，范围太大了很难满足电压要求。

（2）发电机调压

发电机可发无功，有调压功能，是很经济的调压手段。

发电机进相运行，吸收无功，受定子端部绕组发热及电网稳定性的限制。

（3）变压器调压

用调变压器分接头（无载或有载）调压，用加压变压器调压

（4）改变电力网无功分布

并联电容器，并联电抗器，同步调相机，静止无功补偿器（SVC），静止调相机（SVG，STATCOM）。

（5）改变电力网参数

分裂导线，串联电容，可控串补

（6）变电站无功电压综合控制

4.6 无功电压管理

（1）建立专职岗位，进行人员培训；

- (2) 电压偏差的统计考核和电压监测点的选择;
- (3) 力率的统计考核;
- (4) 无功及调压设备的管理。