



中国电力科学研究院
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

中华人民共和国国家标准 电能质量 电压波动和闪变

主讲人：赵刚

中国电力科学研究院
2009年8月4日



目 录

- 1 概述
- 2 基本概念
- 3 标准执行中的问题及修订的主要内容
- 4 标准主要条文解释
- 5 电压波动和闪变的实用预测计算
- 6 电压波动和闪变的治理措施



1 概述

电压波动的危害：

- ①照明灯光闪烁（称为“闪变”）引起人的视觉不适和疲劳，影响工效；
- ②电视机画面亮度变化，垂直和水平幅度振动；
- ③电动机转速不均匀，影响电机寿命和产品质量；
- ④影响对电压波动较敏感的工艺或试验结果。



1 概述

- 为了控制电压波动和闪变的危害，早于1990年颁布了国标《电能质量 电压允许波动和闪变》（GB12326-90）。
- 于1999年对该标准进行了修订。该修订标准《电能质量 电压波动和闪变》（GB12326-2000）于2000年作为强制性国家标准在全国颁布执行。
- 但是通过几年的实践，在执行过程中也遇到了一些问题，有必要进行进一步的修订。



2 基本概念

电压波动是由一系列电压（方均根值）变动引起的。电压变动（或通称为电压波动）值为波动特性曲线上相邻两个极值电压之差（ $U_{\max} - U_{\min}$ ）以其标称电压的百分数表示，即：

$$d = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\%$$



2 基本概念

方均根值波动电压 $U(t)$ (每个波形的方均根值用竖线表示) 可以看作由一个调幅波电压 $v(t)$ 对正常电压[为常数]调制的结果;

正弦调幅波, 其横坐标相当于 $U(t)$ 的平均值, d 值为 $v(t)$ 的峰谷差值, 以 $U(t)$ 的百分数表示。

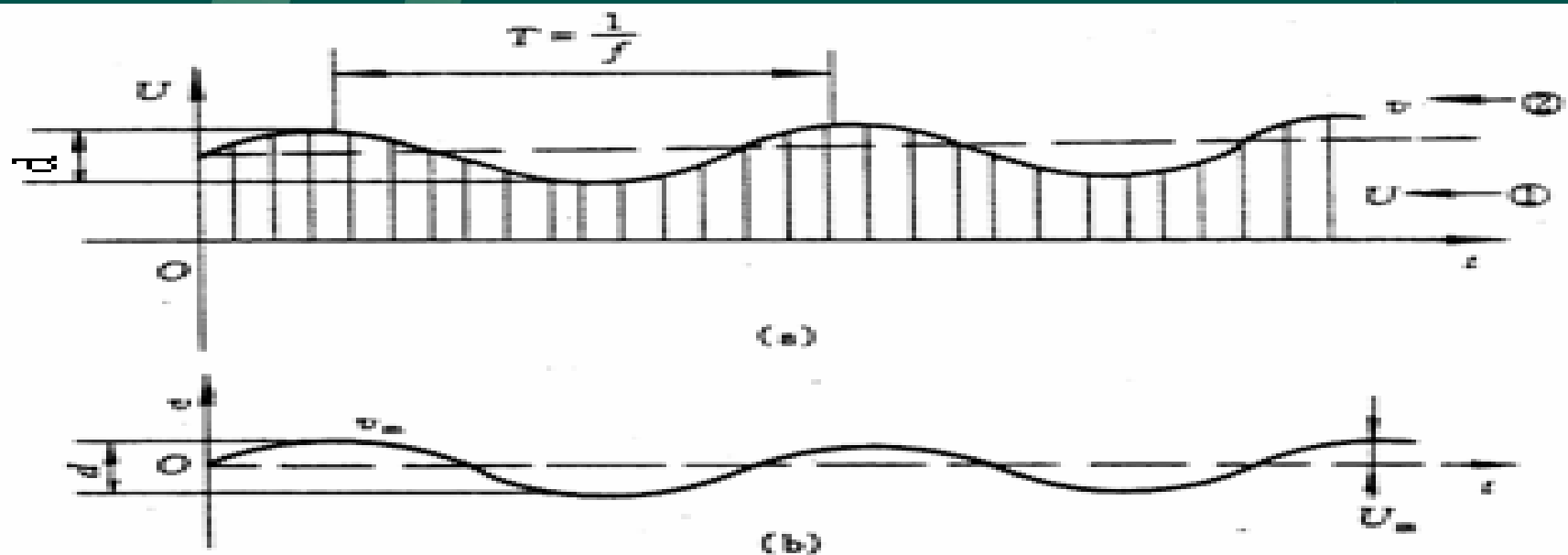


图 5-1 波动电压 v 对方均根值电压 U 的调制

(a) 电网方均根电压 $U(t)$; (b) 调幅波电压 $v(t)$

①—方均根值电压; ②—正弦调幅波



2 基本概念

单位时间内电压变动的次数称为频度 r ，一般用 min^{-1} 或 min 作为频度的单位。注意， s^{-1} 电压由大到小或由小到大各算一次变动，因此对于正弦波形频度 r 和频率 f 的关系为：

$$f(\text{Hz}) = \frac{r(\text{s}^{-1})}{2} = \frac{r(\text{min}^{-1})}{120}$$

当调幅波 $v(t)$ 为周期性任意波形时，可以将 $v(t)$ 按傅里叶级数分解为各频率的正弦波形分量，对于每个频率分量，都有其相应的 d 值和 r 值。



2 基本概念

灯光照度不稳定造成的视感叫闪变。闪变不仅与电压波动的大小（ d 值）有关，而且与波动频度、波形、照明灯具的型式和参数（电压、功率）有关，此外还和人的视感灵敏性有关。一般认为白炽灯照明对电压波动最灵敏。为了制定闪变标准，IEC工作组采用不同波形、频度和幅值的调幅波对正常工频电压进行调制，向230V、60W白炽灯供电，对观察者（>500人）的视觉反应作抽样调查，用下式求出闪变觉察率 F （%）的统计值：

$$F = \frac{C + D}{A + B + C + D} \times 100\%$$

式中

- A —没有觉察的人数；
- B —略有觉察的人数；
- C —有明显觉察的人数；
- D —不能忍受的人数。



2 基本概念

取作为瞬时闪变视感度（instantaneous flicker sensation level） s 的衡量单位，称为觉察单位（unit of perceptibility）。与 $s=1$ 觉察单位相应的不同频度的电压波动值 d （%）。

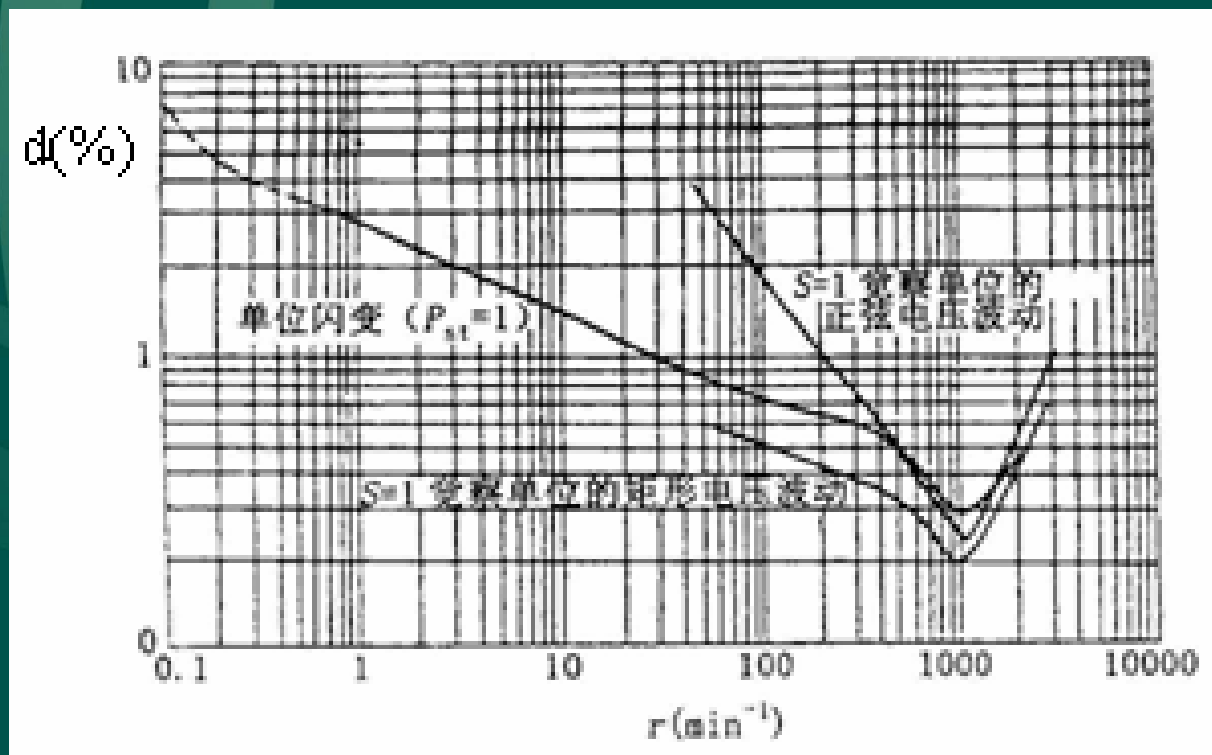


图5-2 $s=1$ 觉察单位的电压波动与频度的关系曲线

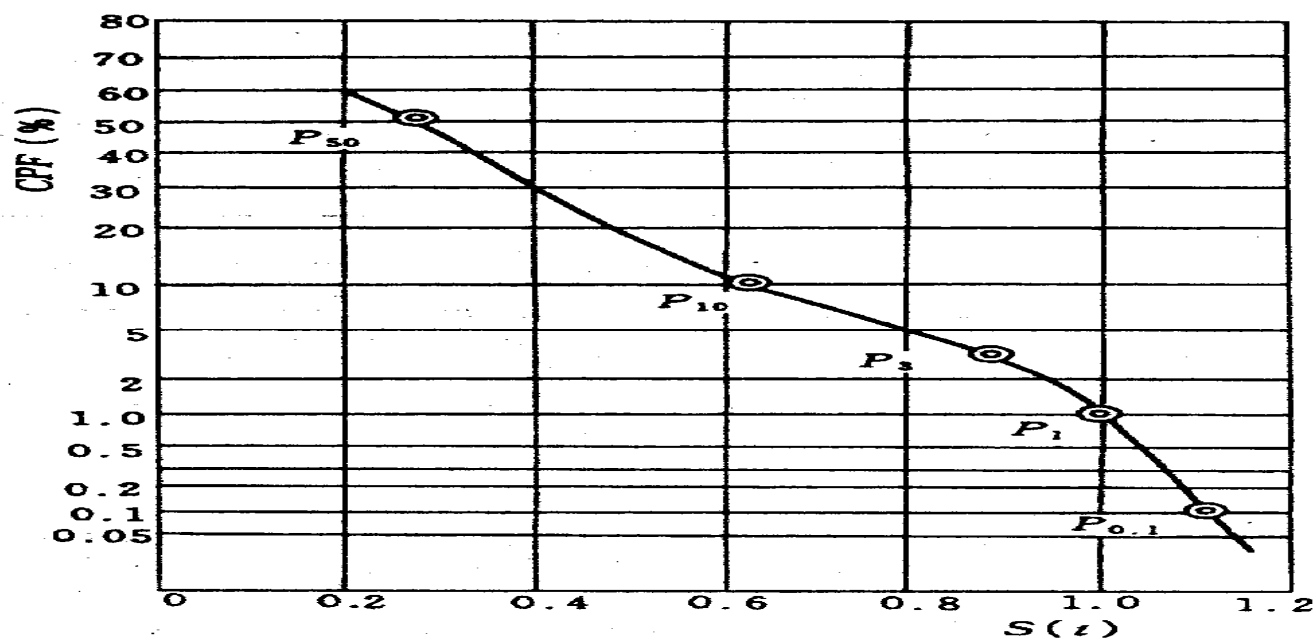


2 基本概念

由于人的视感有一定的记忆效应，对于闪变影响的评定必须取足够长的时间。国标规定，对于Pst短时间闪变值求法为：取10min内 $s(t)$ ，作出 $s(t)$ 的累积概率函数（CPF）曲线。CPF曲线的纵坐标为超过相应横坐标 $s(t)$ 值的时间占测量时段（10min）的百分数。Pst值用下式计算：

$$P_{st} = \sqrt{0.0314 P_{0.1} + 0.0525 P_1 + 0.0657 P_3 + 0.28 P_{10} + 0.08 P_{50}}$$

式中：P0.1、P1、P3、P10和P50分别为CPF曲线上等于0.1%、1%、3%、10%和50%时间的值。





2 基本概念

短时间闪变值 P_{st} 是反映规定时段（10min）内闪变强度的一个综合统计量。研究指出，对于采用230V、60W的白炽灯照明，当 $P_{st} < 0.7$ 时，一般觉察不出闪变；当 $P_{st} > 1.3$ 时，则闪变使人普遍感到不舒服，所以IEC推荐 $P_{st} = 1$ 作为低压供电的闪变限值，称为单位闪变（unit flicker）。



2 基本概念

长时间闪变值 P_{lt} 由测量时间段（规定为 2h）内短时间闪变值 P_{st} 推算出。

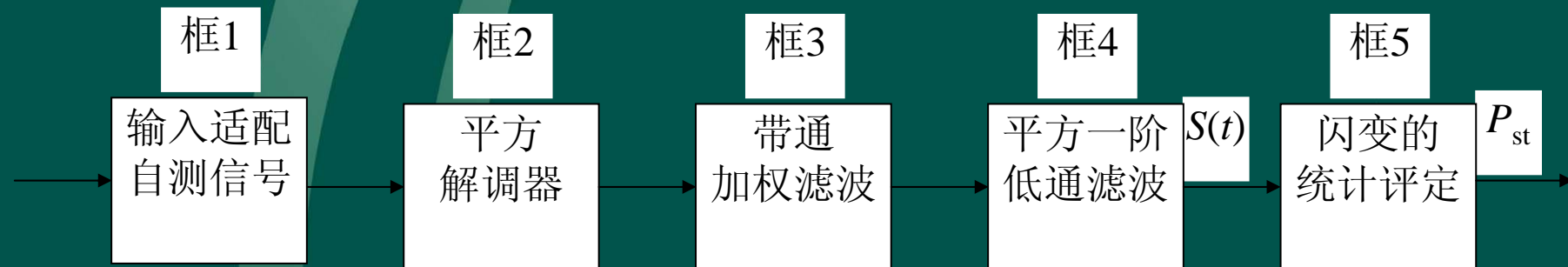
$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{stj})^3}$$

式中： n 为 P_{lt} 测量时间段内所包含的 P_{st} 个数（ $n=12$ ）。



2 基本概念

实际上Pst和Plt一般均可以由闪变仪直接测量输出。



根据IEC标准关于闪变的定义,闪变可通过以下框图计算:

框1: 将输入的电压测量信号适配成适合仪器的电压数值,并发生标准调制波,用于自检。

框2~4: 灯—眼—脑模拟环节。框2模拟灯的作用,用平方检测方法从工频电压中解调出反映电压波动的调幅波;框3为35Hz低通滤波器,对不同频率成分按闪类敏感度加权。另外用截止频率为0.05Hz的一阶高通滤波器抑制直流分量;框4模拟人脑神经对视觉反映和记忆效应:闪变信号的平方,模拟非线性的眼—脑觉察过程;闪变信号的平滑平均,模拟人脑的记忆效应,其积分功能由一阶RC低通滤波器来实现,其传递函数的时间常数为300ms。

框5为闪变统计分析,根据框4输出的瞬时闪变值 $S(t)$ 进行在线统计分析,输出闪变值



3 标准执行中的问题及修订的主要内容

《电能质量 电压波动和闪变》（GB12326-2000），在执行过程中遇到的问题主要为：

- （1）闪变限值过严。限于通用的动态补偿技术（如SVC）调节响应性能，其闪变改善率约为50%，因此实际配电网中有些冲击性较大的电弧炉负荷在治理后能达标的不多。
- （2）电压波动的测量方法不明确，又加上95%概率大值取值的规定，使得电压波动在测量、合格判断上缺乏可操作性（特别是对于快速不规则的电压波动）。
- （3）标准包含内容较繁杂，不够简洁、明确。



3 标准执行中的问题及修订的主要内容

和GB12326-2000相比，这次修订的主要内容有：

(1) 对闪变的限值进行了调整，以长时间闪变值作为闪变的限值，并以110kV电压等级作为分界，较原闪变限值有一定程度的放宽。对单个波动负荷引起的闪变，根据实际情况仍分三级处理，但有一定简化，并对超标用户提出明确的治理要求。

(2) 对电压波动限值的判据进行了调整。对于电压变动频度较低或规则的周期性电压波动，仍采用现行限值作为其判据；对于随机性不规则的电压波动，规定了电压变动的最大值作为判据，并调整了原限值。这样增强了电压波动测量和判断是否合格的可操作性。



3 标准执行中的问题及修订的主要内容

(3) 对闪变的测量持续时间、取值方法进行了调整。电力系统公共连接点的闪变采用一个星期（168小时）测量，单个波动负荷引起的闪变采用一天（24小时）测量，都取最大值为合格判据。

(4) 对闪变的估算方法进行了简化，删除了原标准中不常用的正弦波、三角波电压波动 $P_{st}=1$ 曲线分析法以及难于执行的仿真法和闪变时间分析法。



3 标准执行中的问题及修订的主要内容

- (5) 简化了原标准附录C涉及的闪变分析实例和评估方法，用较简洁的方式给出了各种电弧炉闪变评估系数。
- (6) 电压波动和闪变的限值的适用范围扩展到超高压（EHV）系统，但不考虑EHV对下一电压等级的闪变传递。闪变的传递系数统一修改为推荐值0.8。
- (7) 增加了闪变合格率的统计方法，以便于闪变状况的评估。



4 标准主要条文解释

(1) 在修订标准的“闪变限值”中，以长时间闪变值作为闪变的主要限值，参照IEC61000-3-7的规定，将110kV电压等级以上的高压系统长时间闪变值的限值定为0.8，并可以用到超高压系统，将110kV电压等级及其以下的中、低压系统长时间闪变值的限值定为1。这样，电力系统公共连接点的闪变限值相较原国家标准的Pst就有所放宽。



4 标准主要条文解释

(2) 对电压波动限值的合格判据进行了调整，对于电压变动频度较低或规则的周期性电压波动，采用电压波动限值作为其合格判据。由于电压波动是周期性的，其测量就相当简单方便。对于随机性不规则的电压波动，由于其电压方均根曲线难于描述，电压波动的数据更难于统计，因此规定用闪变值作为其合格判据，同时规定了电压波动的最大限值。这样就不再按原标准中电压变动值 d 的95%值为合格判据，使电压波动测量和判断更具可操作性。



4 标准主要条文解释

(3) 原标准中有关正弦波、三角波电压波动 $P_{st}=1$ 曲线分析法是引用IEC技术报告的内容，在实际执行过程中很少用到。正弦波主要在不规则的电压方均根曲线的傅里叶分解后用到；三角波的电压波动实际情况中很少出现且不易测量和确定，因此在标准的执行过程中意义不大。而矩形电压波动是实际系统中经常出现，且易于测量、统计。矩形电压波动闪变值 $P_{st}=1$ 曲线已成为标准检验方法。因此修订标准中予以保留且从曲线和表格两个方面进行描述。



4 标准主要条文解释

(4) 修订标准相对于原标准在结构上进行了调整，使标准更加清晰。



5 电压波动和闪变的实用预测计算

电弧炉的闪变估算方法

通过经验公式，由电弧炉的类型和其 d_{\max} 可对其闪变值进行粗略地估算，经验公式如下：

$$d_{\max} = \frac{S_d}{S_{sc}} \times 100\%$$

$$P_{lt} = K_{lt} \cdot d_{\max}$$

式中：

S_d

—电弧炉最大短路容量（MVA）；

S_{sc}

—公共供电点（PCC）正常最小短路容量（MVA）。

P_{lt}

—长时间闪变值；

K_{lt}

—电弧炉闪变系数：

—交流电弧炉一般取0.48；

—直流电弧炉一般取0.30；

—精炼电弧炉一般取0.20；

—康斯丁（CONSTEEL）电弧炉一般取0.25。



5 电压波动和闪变的实用预测计算

电动机起动引起的电压变动

(1) 异步电动机起动引起电压变动的简化分析

异步电机起动过程中，电压的降低与电网参数密切相关。异步电机起动过程中电压暂降分析的等值电路，图中 Z_S 为系统阻抗， Z_M 为起动时的电机阻抗。

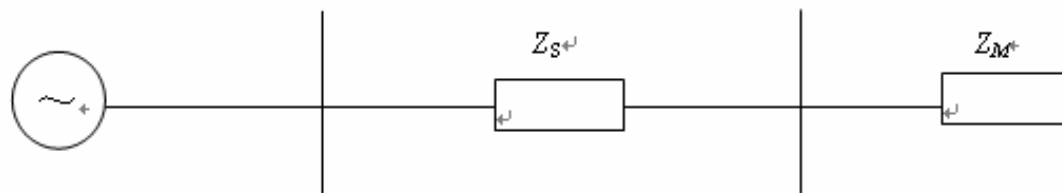


图 5-5 异步电机起动引起电压暂降分析的等值电路



5 电压波动和闪变的实用预测计算

电动机起动引起的电压变动

(1) 异步电动机起动引起电压变动的简化分析

假设系统电压标么值为1，同一母线（PCC）上其它负荷所承受的电压为

$$U_d^* = \frac{Z_M}{Z_S + Z_M}$$

假设电机额定功率为 S_M ，系统短路容量 S_{sc} ，则系统阻抗为

$$Z_S = \frac{U_n^2}{S_{sc}}$$

起动期间的电机阻抗为

$$Z_M = \frac{U_n^2}{\beta S_{sc}}$$

感应电机起动引起的电压暂降可近似表达为

$$U_d^* = \frac{S_{sc}}{S_{sc} + \beta S_M}$$



5 电压波动和闪变的实用预测计算

电动机起动引起的电压变动

(2) 按电源容量估计允许全压起动的电动机功率

从电源容量出发，允许全压起动的异步电机的最大功率如表5-4所列。

表5-4 按电源容量估算的允许全压起动电机最大功率

电动机连接处电源容量的类别	允许全压起动的电动机最大功率
配电网在连接处的三相短路容量 S_{sc} (kVA)	$(0.2\sim 0.3) \textcircled{1} S_{sc}$
10 (35) /3.15 (6.3) kV变压器的额定容量 S_T (kVA) (假定变压器高压侧短路容量 $\geq 50S_T$)	经常起动 $0.2S_T$ 不经常起动 $0.3S_T$
小型发电机功率 P_g (kW)	$(0.12\sim 0.15) P_s$



5 电压波动和闪变的实用预测计算

电动机起动引起的电压变动

(3) 按闪变条件，可以直接起动的低压电动机

表5-5和表5-6给出可自行接入电网的电动机试用标准。

表5-5 可接入低压系统的电动机

电动机类型		容量 (kVA)	起动的间隔时间 (min)
单相	220V	≤ 1	≥ 1
单相	220V	≤ 1.5	≥ 5
三相	380V	≤ 3	≥ 1
三相	380V	≤ 6	≥ 5



表5-6 接在配电变压器低压母线公共供电点的电动机

配电变压器容量 (kVA)	380V电动机	
	容量 (kVA)	起动的间隔时间 (min)
25	≤ 1	≥ 5
	≤ 2	≥ 20
	≤ 3	≥ 60
50	≤ 2	≥ 5
	≤ 4	≥ 20
	≤ 6	≥ 60
100	≤ 3	≥ 5
	≤ 6	≥ 20
	≤ 10	≥ 60
160	≤ 6	≥ 5
	≤ 12	≥ 20
	≤ 20	≥ 60
250	≤ 10	≥ 5
	≤ 20	≥ 20
	≤ 30	≥ 60
400	≤ 12	≥ 5
	≤ 25	≥ 20
	≤ 40	≥ 60
630	≤ 20	≥ 5
	≤ 40	≥ 20
	≤ 60	≥ 60



6 电压波动和闪变的治理措施

静止无功补偿器，简称SVC，TCR型的SVC是目前最为通用和技术最为成熟的动态无功补偿设备。它通过晶闸管控制的电抗器（TCR）发出平滑可调的感性无功功率，通过2、3、4、5、7等次滤波器组发出固定容性无功功率，总体上发出动态容性无功，补偿负荷的感性无功，实现无功补偿、提高功率因数、稳定电压、滤除谐波、抑制电压波动和闪变的作用。由于采用晶闸管的触发角进行动态无功调节，SVC的控制器最快动态响应时间可达到10ms。



6 电压波动和闪变的治理措施

静止无功发生器，简称STATCOM，是较为先进的动态无功补偿装置，它通过可关断半导体器件（GTO、IGBT或IGCT）控制发出平滑可调的容性和感性无功功率，进行动态无功补偿，实现提高功率因数、滤除谐波、抑制电压波动和闪变的作用。由于采用可关断半导体器件进行动态无功调节，SVG的最快动态响应时间可达5ms。该技术在目前国内对大容量装置尚处于工业样机试用阶段。



6 电压波动和闪变的治理措施

磁控式电抗器，简称MCR，是较为简单廉价的电压调节装置，它通过直流分量调节铁芯电抗器的饱和度以改变电抗器电抗值，配合滤波器组进行动态无功补偿，以稳定电压。该技术由于采用磁饱和特性进行动态无功调节，其动态响应时间最长，一般要达到60ms以上。



6 电压波动和闪变的治理措施

其它电压波动和闪变的治理措施还包括自饱和电抗器（SR），有源电力滤波器（APF）等。



中国电力科学研究院
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

谢谢大家!