



中华人民共和国国家标准

GB/T 12326—2008
代替 GB 12326—2000

电能质量 电压波动和闪变

Power quality—Voltage fluctuation and flicker



2008-06-18 发布

2009-05-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 电压波动的限值 2

5 闪变的限值 3

6 电压波动的测量和估算 4

7 闪变的测量和计算 4

8 闪变的叠加和传递 5

附录 A（规范性附录） 闪变的测量和计算式 7

附录 B（资料性附录） 高压(HV)总供电容量 S_{HV} 的估算方法 9

附录 C（资料性附录） 电弧炉的闪变估算方法 10

附录 D（资料性附录） 闪变合格率统计方法 11

参考文献 12

前 言

本标准代替 GB 12326—2000《电能质量 电压波动和闪变》。

与 GB 12326—2000 相比,本次修订的主要内容有:

- 对闪变的限值进行了调整,以长时间闪变值 P_{lt} 作为闪变的限值,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。
- 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。
- 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 h)测量,单个波动负荷引起的闪变采用一天(24 h)测量,都取最大值为合格判据。
- 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。
- 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。
- 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。
- 增加了闪变合格率的统计方法,以便于闪变状况的评估。

本标准的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准由全国电压电流等级和频率标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:中国电力科学研究院、广东电网公司电力科学研究院、中机生产力促进中心、浙江省电力试验研究院、北京电力公司北京电力试验研究院、中冶京诚工程技术有限公司、武汉国测科技股份有限公司。

本标准主要起草人:赵刚、梅桂华、刘迅、张建平、于希娟、林海雪、曾幼云、于坤山、卜正良。

本标准所代替标准的历次版本发表情况为:

- GB 12326—1990, GB 12326—2000。

电能质量 电压波动和闪变

1 范围

本标准规定了电压波动和闪变的限值及测试、计算和评估方法。

本标准适用于交流 50 Hz 电力系统正常运行方式下,由波动负荷引起的公共连接点电压的快速变动及由此可能引起人对灯光闪烁明显感觉的场合。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 156—2007 标准电压(IEC 60038:2002,MOD)

GB 17625.2 电磁兼容 限值 对每相额定电流 ≤ 16 A 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,IEC 61000-3-3:2005,IDT)

GB/Z 17625.3 电磁兼容 限值 对额定电流大于 16 A 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,idt IEC 61000-3-5:1994)

IEC 61000-4-15:1996 电磁兼容 试验和测量技术 闪变仪-功能和设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

公共连接点 point of common coupling

PCC

电力系统中一个以上用户的连接处。

3.2

波动负荷 fluctuating load

生产(或运行)过程中周期性或非周期性地从供电网中取用变动功率的负荷。例如:炼钢电弧炉、轧机、电弧焊机等。

3.3

电压波动 voltage fluctuation

电压方均根值(有效值)一系列的变动或连续的改变。

3.4

电压方均根值曲线 R. M. S. voltage shape

$U(t)$

每半个基波电压周期方均根值(有效值)的时间函数。

3.5

电压变动 relative voltage change

d

电压方均根值曲线上相邻两个极值电压之差,以系统标称电压的百分数表示。

3.6

电压变动频度 rate of occurrence of voltage changes

r

单位时间内电压变动的次数(电压由大到小或由小到大各算一次变动)。不同方向的若干次变动,如间隔时间小于 30 ms,则算一次变动。

3.7

闪变 flicker

灯光照度不稳定造成的视感。

3.8

短时间闪变值 short term severity

P_{st}

衡量短时间(若干分钟)内闪变强弱的一个统计量值(见附录 A),短时间闪变的基本记录周期为 10 min。

3.9

长时间闪变值 long term severity

P_{lt}

由短时间闪变值 P_{st} 推算出,反映长时间(若干小时)闪变强弱的量值(见附录 A),长时间闪变的基本记录周期为 2 h。

3.10

累积概率函数 cumulative probability function

CPF

其横坐标表示被测量值,纵坐标表示超过对应横坐标值的时间占整个测量时间的百分数(见图 A.2)。

4 电压波动的限值

任何一个波动负荷用户在电力系统公共连接点产生的电压变动,其限值和电压变动频度、电压等级有关。对于电压变动频度较低(例如 $r \leq 1\,000$ 次/h)或规则的周期性电压波动,可通过测量电压方均根值曲线 $U(t)$ 确定其电压变动频度和电压变动值。电压波动限值见表 1。

表 1 电压波动限值

$r/(\text{次}/\text{h})$	$d/\%$	
	LV、MV	HV
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3*	2.5*
$10 < r \leq 100$	2	1.5
$100 < r \leq 1\,000$	1.25	1

注 1: 很少的变动频度(每日少于 1 次),电压变动限值 d 还可以放宽,但不在本标准中规定。

注 2: 对于随机性不规则的电压波动,如电弧炉负荷引起的电压波动,表中标有“*”的值为其限值。

注 3: 参照 GB/T 156—2007,本标准中系统标称电压 U_N 等级按以下划分:

低压(LV)	$U_N \leq 1\text{ kV}$
中压(MV)	$1\text{ kV} < U_N \leq 35\text{ kV}$
高压(HV)	$35\text{ kV} < U_N \leq 220\text{ kV}$

对于 220 kV 以上超高压(EHV)系统的电压波动限值可参照高压(HV)系统执行。

5 闪变的限值

5.1 电力系统公共连接点,在系统正常运行的较小方式下,以一周(168 h)为测量周期,所有长时间闪变值 P_{lt} 都应满足表 2 闪变限值的要求。

表 2 闪变限值

P_{lt}	
$\leq 110\text{ kV}$	$> 110\text{ kV}$
1	0.8

5.2 任何一个波动负荷用户在电力系统公共连接点单独引起的闪变值一般应满足下列要求。

5.2.1 电力系统正常运行的较小方式下,波动负荷处于正常、连续工作状态,以一天(24 h)为测量周期,并保证波动负荷的最大工作周期包含在内,测量获得的最大长时间闪变值和波动负荷退出时的背景闪变值,通过下列计算获得波动负荷单独引起的长时间闪变值:

$$P_{lt2} = \sqrt[3]{P_{lt1}^3 - P_{lt0}^3} \dots\dots\dots (1)$$

- 式中:
- P_{lt1} ——波动负荷投入时的长时间闪变测量值;
 - P_{lt0} ——背景闪变值,是波动负荷退出时一段时期内的长时间闪变测量值;
 - P_{lt2} ——波动负荷单独引起的长时间闪变值。

波动负荷单独引起的闪变值根据用户负荷大小、其协议用电容量占总供电容量的比例以及电力系统公共连接点的状况,分别按三级作不同的规定和处理。

5.2.2 第一级规定。满足本级规定,可以不往闪变核算允许接入电网。

- a) 对于 LV 和 MV 用户,第一级限值见表 3。

表 3 LV 和 MV 用户第一级限值

$r/(\text{次}/\text{min})$	$k=(\Delta S/S_{sc})_{\text{max}}/\%$
$r<10$	0.4
$10\leq r\leq 200$	0.2
$200<r$	0.1

注:表中 ΔS 为波动负荷视在功率的变动; S_{sc} 为 PCC 短路容量。

- b) 对于 HV 用户,满足 $(\Delta S/S_{sc})_{\text{max}}<0.1\%$ 。
- c) 满足 $P_{lt}<0.25$ 的单个波动负荷用户。
- d) 符合 GB 17625.2 和 GB/Z 17625.3 的低压用电设备。

5.2.3 第二级规定。波动负荷单独引起的长时间闪变值须小于该负荷用户的闪变限值。

每个用户按其协议用电容量 S_i ($S_i=P_i/\cos\varphi_i$) 和总供电容量 S_t 之比,考虑上一级对下一级闪变传递的影响(下一级对上一级的传递一般忽略)等因素后确定该用户的闪变限值。单个用户闪变限值的计算方法如下:

首先求出接于 PCC 点的全部负荷产生闪变的总限值 G :

$$G = \sqrt[3]{L_P^3 - T^3 L_H^3} \dots\dots\dots (2)$$

- 式中:
- L_P ——PCC 点对应电压等级的长时间闪变值 P_{lt} 限值;
 - L_H ——上一电压等级的长时间闪变值 P_{lt} 限值;
 - T ——上一电压等级对下一电压等级的闪变传递系数,推荐为 0.8。不考虑超高压(EHV)系统对下一级电压系统的闪变传递。各电压等级的闪变限值见表 2。

单个用户闪变限值 E_i 为:

$$E_i = G \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_t} \cdot \frac{1}{F}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

F ——波动负荷的同时系数,其典型值 $F=0.2\sim 0.3$ (但必须满足 $S_i/F \leq S_t$),高压(HV)系统 PCC 总供电容量 S_{tHV} 确定方法见附录 B。

5.2.4 第三级规定。不满足第二级规定的单个波动负荷用户,经过治理后仍超过其闪变限值,可根据 PCC 点实际闪变状况和电网的发展预测适当放宽限值,但 PCC 点的闪变值必须符合 5.1 的规定。

6 电压波动的测量和估算

电压波动可以通过电压方均根值曲线 $U(t)$ 来描述,电压变动 d 和电压变动频度 r 则是衡量电压波动大小和快慢的指标。

电压变动 d 的定义表达式为:

$$d = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

ΔU ——电压方均根值曲线上相邻两个极值电压之差;

U_N ——系统标称电压。

当电压变动频度较低且具有周期性时,可通过电压方均根值曲线 $U(t)$ 的测量,对电压波动进行评估。单次电压变动可通过系统和负荷参数进行估算。

当已知三相负荷的有功功率和无功功率的变化量分别为 ΔP_i 和 ΔQ_i 时,可用下式计算:

$$d = \frac{R_L \Delta P_i + X_L \Delta Q_i}{U_N^2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中: R_L 、 X_L 分别为电网阻抗的电阻、电抗分量。

在高压电网中,一般 $X_L \gg R_L$,则:

$$d \approx \frac{\Delta Q_i}{S_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

S_{sc} ——考察点(一般为 PCC)在正常较小方式下的短路容量。

在无功率的变化量为主要成分时(例如大容量电动机启动),可采用式(7)、式(8)进行粗略估算。

对于平衡的三相负荷:

$$d \approx \frac{\Delta S_i}{S_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

ΔS_i ——三相负荷的变化量。

对于相间单相负荷:

$$d \approx \frac{\sqrt{3} \Delta S_i}{S_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

ΔS_i ——相间单相负荷的变化量。

注:当缺正常较小方式的短路容量时,设计所取的系统短路容量可以用投产时系统最大短路容量乘系数 0.7 进行计算。

7 闪变的测量和计算

闪变是电压波动在一段时期内的累计效果,它通过灯光照度不稳定造成的视感来反映,主要由短时

间闪变 P_{st} 和长时间闪变值 P_{lt} 来衡量。短时间闪变值 P_{st} 的计算方法见附录 A, 长时间闪变值 P_{lt} 由测量时间段内包含的短时间闪变值 P_{st} 计算获得:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} (P_{stj})^3} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

P_{stj} ——2 h 内第 j 个短时间闪变值。

各种类型电压波动引起的闪变均可采用符合 IEC 61000-4-15:1996 的闪变仪进行直接测量, 这是闪变量值判定的基准方法。对于三相等概率的波动负荷, 可以任意选取一相测量。

当负荷为周期性等间隔矩形波(或阶跃波)时, 闪变可通过其电压变动 d 和频度 r 进行估算。已知电压变动 d 和频度 r 时, 可以利用图 1(或表 4)用 $P_{st}=1$ 曲线由 r 查出对应于 $P_{st}=1$ 时的电压变动 d_{Lim} , 计算出其短时间闪变值:

$$P_{st} = \frac{d}{d_{Lim}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

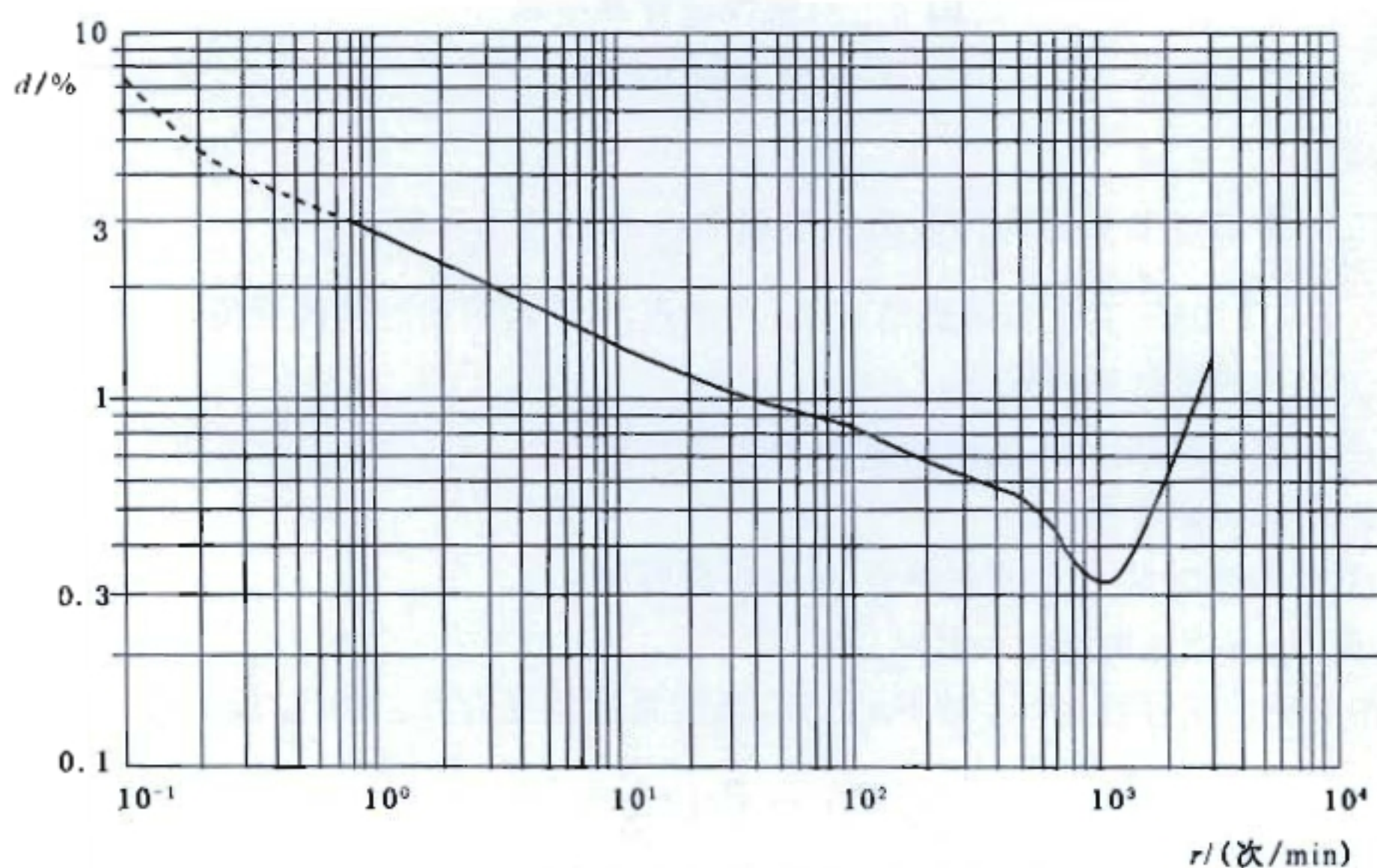


图 1 周期性矩形(或阶跃波)电压变动的单位闪变($P_{st}=1$)曲线

表 4 周期性矩形(或阶跃波)电压变动的单位闪变($P_{st}=1$)曲线对应数据

$d/\%$	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
$R/(\text{次}/\text{min})$	0.76	0.84	0.95	1.06	1.20	1.36	1.55	1.78	2.05	2.39	2.79	3.29	3.92
$d/\%$	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
$R/(\text{次}/\text{min})$	4.71	5.72	7.04	8.79	11.16	14.44	19.10	26.6	32.0	39.0	48.7	61.8	80.5
$d/\%$	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.29	0.30	0.35	0.40	0.45
$R/(\text{次}/\text{min})$	110	175	275	380	475	580	690	795	1 052	1 180	1 400	1 620	1 800

8 闪变的叠加和传递

8.1 n 个波动负荷各自引起的闪变及背景闪变在同一节点上相互叠加, 其短时间闪变值可按下式计算:

$$P_{st} = \sqrt[m]{(P_{st1})^m + (P_{st2})^m + \dots + (P_{stn})^m} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

m ——值取决于主要闪变源的性质及其工况的重叠可能性；

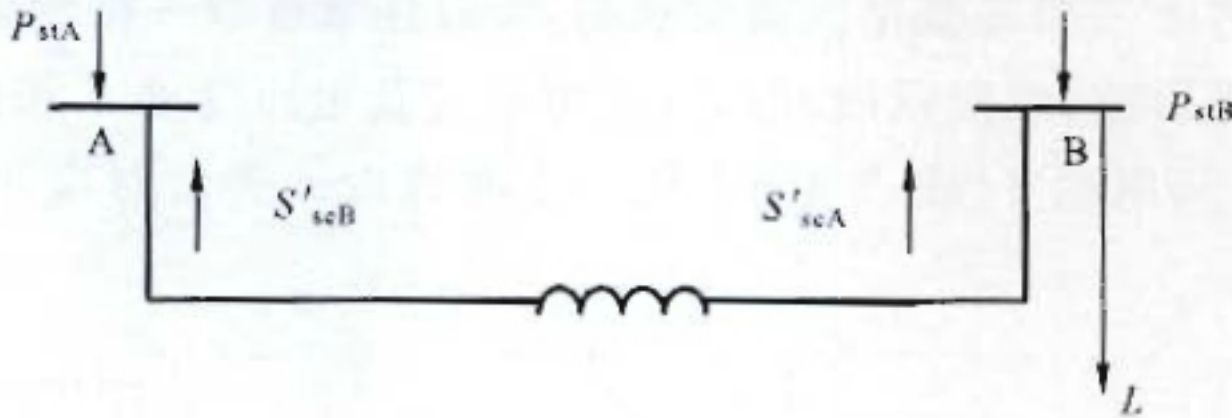
$m=1$ ——用于波动负荷引起电压变动同时发生重叠率很高的状况；

$m=2$ ——用于随机波动负荷引起电压变动同时发生的状况(例如熔化期重叠的电弧炉)；

$m=3$ ——用于波动负荷引起的电压变动同时发生的可能性很小的状况(比较常用)；

$m=4$ ——仅用于熔化期不重叠的电弧炉所引起的电压变动合成。

8.2 电力系统不同母线结点上闪变的传递如图 2 所示,可按下式简化计算：



L ——波动负荷。

图 2 闪变传递计算示意

$$P_{stA} = T_{BA} \cdot P_{stB} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$T_{BA} = \frac{S'_{scA}}{S_{scA} - S'_{scB}}$ 为结点 B 短时间闪变值传递到结点 A 的传递系数；

P_{stA} ——结点 B 短时间闪变值传递到结点 A,在结点 A 引起的短时间闪变值；

P_{stB} ——结点 B 上的短时间闪变值；

S'_{scA} ——结点 B 短路时结点 A 流向结点 B 的短路容量；

S_{scA} ——结点 A 的短路容量；

S'_{scB} ——结点 A 短路时结点 B 流向结点 A 的短路容量；

当 $S'_{scA} = 0$, 而 $S_{scA} = S'_{scB}$ 时 $P_{stA} = P_{stB}$

8.3 某台设备在系统短路容量为 S_{sc0} 时 P_{st0} 已知,当短路容量变为 S_{sc1} 时 P_{st1} 按下式计算：

$$P_{st1} = P_{st0} \cdot \frac{S_{sc0}}{S_{sc1}} \dots\dots\dots (13)$$

式(11)、式(12)、式(13)也可用于长时间闪变值的相关计算。

附录 A
(规范性附录)
闪变的测量和计算式

根据 IEC 61000-4-15:1996 制造的 IEC 闪变仪是目前国际上通用的测量闪变的仪器,有模拟式的也有部分或全部是数字式的结构,其简化原理框图如图 A.1 所示。

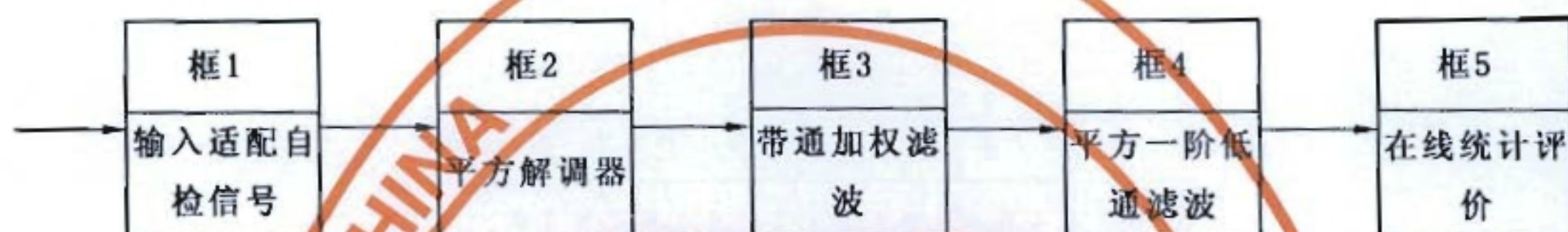
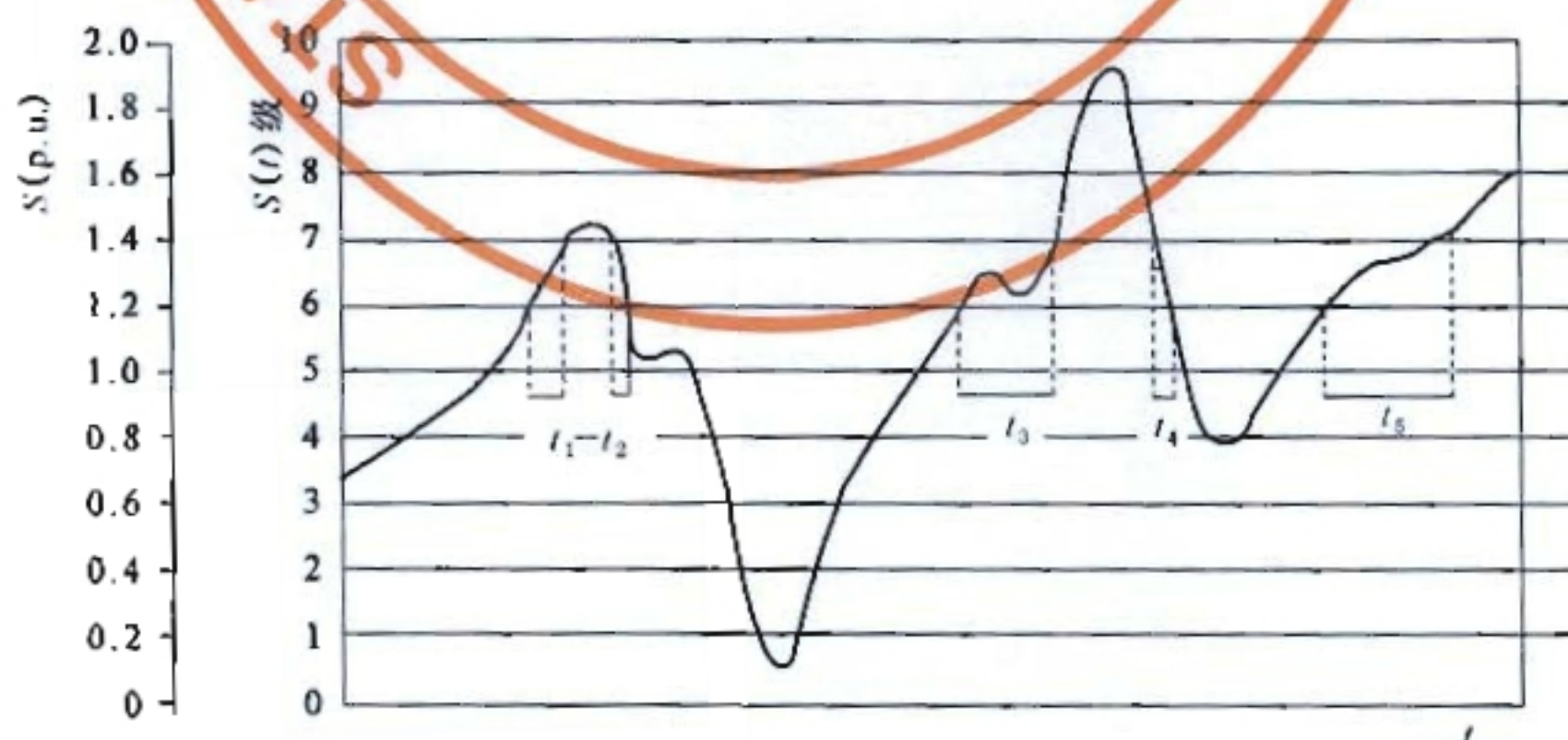


图 A.1 IEC 闪变仪模型的简化框图

框 1 为输入级,它除了用来实现把不同等级的电源电压(从电压互感器或输入变压器二次侧取得)降到适用于仪器内部电路电压值的功能外,还产生标准的调制波,用于仪器的自检。框 2、3、4 综合模拟了灯-眼-脑环节对电压波动的反应。其中框 2 对电压波动分量进行解调,获得与电压变动成线性关系的电压;框 3 的带通加权滤波器反映了人对 60 W 230 V 钨丝灯在不同频率的电压波动下照度变化的敏感程度,通频带为 0.05 Hz~35 Hz;框 4 包含一个平方器和时间常数为 300 ms 的低通滤波器,用来模拟灯-眼-脑环节对灯光照度变化的暂态非线性响应和记忆效应。框 4 的输出 $S(t)$ 反映了人的视觉对电压波动的瞬时闪变感觉水平。如图 A.2a) 所示,可对 $S(t)$ 作不同的处理来反映电网电压引起的闪变情况。进入框 5 的 $S(t)$ 值是用积累概率函数 CPF 的方法进行分析。在观察期内(10 min),对上述信号进行统计。图中为了简明起见,分为 10 级。以第 7 级为例,由图 A.2a), $T_7 = \sum_{i=1}^5 t_i$,用 CPF_7 代表 S 值处于 7 级(或 1.2 p.u.~1.4 p.u.)的时间 T_7 占总观察时间的百分数,相继求出 $CPF_i (i=1\sim 10)$ 即可作出图 A.2b) CPF 曲线。实际仪器分级数应不小于 64 级。



a)

图 A.2 由 $S(t)$ 曲线作出的 CPF 曲线示例

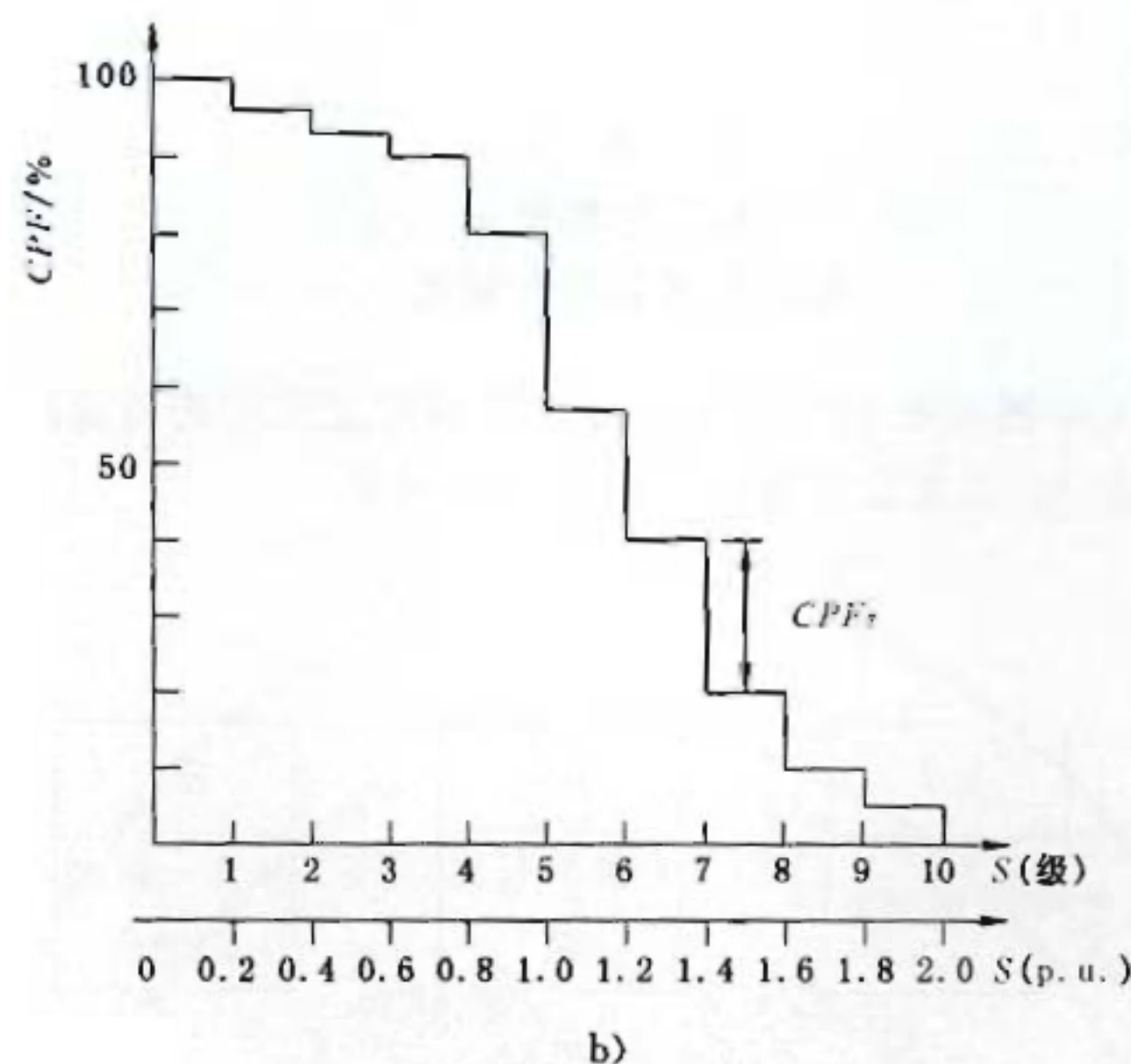


图 A.2 (续)

由 CPF 曲线获得短时间闪变值：

$$P_{st} = \sqrt{0.031\,4P_{0.1} + 0.052\,5P_1 + 0.065\,7P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad \cdots\cdots(A.1)$$

式中：

$P_{0.1}$ 、 P_1 、 P_3 、 P_{10} 、 P_{50} 分别为 CPF 曲线上等于 0.1%、1%、3%、10% 和 50% 时间的 $S(t)$ 值。

长时间闪变值 P_{lt} 由测量时间段内包含的短时间闪变值计算获得：

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{stj})^3} \quad \cdots\cdots(A.2)$$

式中：

n ——长时间闪变值测量时间内所包含的短时间闪变值个数。

P_{st} 和 P_{lt} 由图 A.1 框 5 输出。

每计算获得一个 P_{st} 可依据式(A.2)进行递推计算, 获得一个 P_{lt} 。

附录 B

(资料性附录)

高压(HV)总供电容量 S_{tHV} 的估算方法

高压(HV)总供电容量 S_{tHV} 即为主变压器的供电容量。对于某些用户(特别是 220 kV 级用户),其 PCC 可能有多个供电电源, S_{tHV} 可以用下列方法估算:

第一种近似估算:在 PCC 最大需求日(或计及将来发展),所供给的 HV 用户总容量为 $\sum S_{\text{tHV}}$,就取为 S_{tHV} 。但当 PCC 附近有较大的波动负荷时,则按第二种近似估算。

第二种近似估算:如图 B.1 所示。设 1 为所考虑的结点,2、3 为其附近有较大波动负荷的结点。先按第一种估算法,求出 S_{tHV1} 、 S_{tHV2} 、 S_{tHV3} 。然后求出工频下传递系数 K_{2-1} 、 K_{3-1} 。“传递系数” K_{j-1} 是结点 j 注入 1 p. u. 电压时在 i 结点引起的电压。 K_{j-1} 计算一般需要计算机程序,但 8.2 给出简化的算法,在许多情况下能很快求出近似的结果。由此得:

$$S_{\text{tHV}} = S_{\text{tHV1}} + K_{2-1} \times S_{\text{tHV2}} + K_{3-1} \times S_{\text{tHV3}}。$$

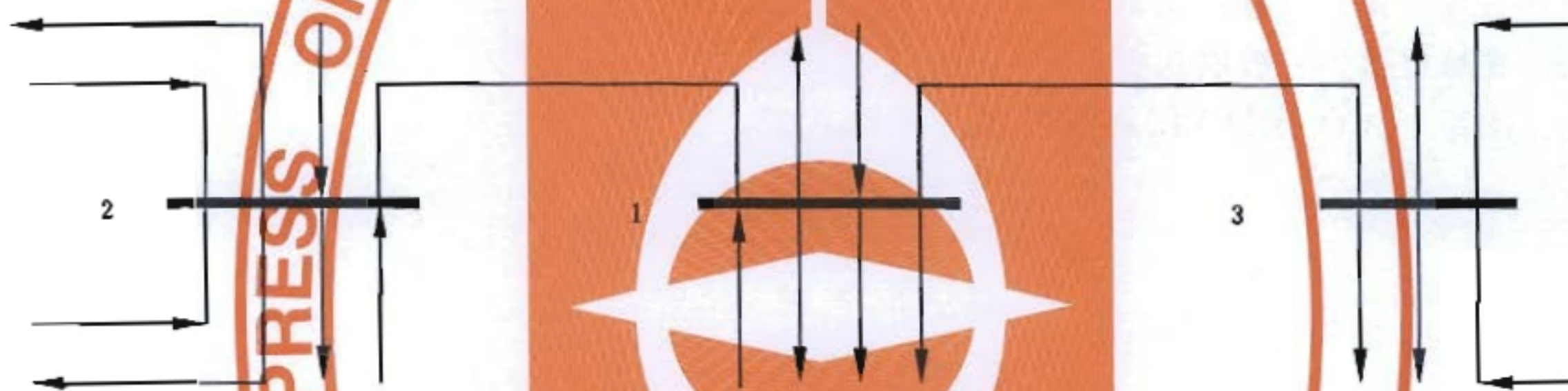


图 B.1 第二种近似估算 S_{tHV} 示意

附 录 C
(资料性附录)
电弧炉的闪变估算方法

电弧炉在运行过程中,特别是在熔化期,随机且大幅度波动的无功功率会引起供电母线严重的电压波动和闪变。电弧炉在熔化期电极和炉料(或熔化后钢水)接触可以有开路和短路两种极端状态,当相继出现这两种状态时,其最大无功功率变动量 $\Delta Q_{\max}$ 就等于短路容量 S_d 。

电弧炉在 PCC 点引起的最大电压变动 $d_{\max}$ 可通过其最大无功功率变动量 $\Delta Q_{\max}$ 由式(6)计算获得。电弧炉在 PCC 点引起的闪变大小主要与 $d_{\max}$ 有关,也与电弧炉的类型、炉变参数、短网、冶炼的工艺、炉料的状况等有关。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:

$$P_{lt} = K_{lt} \cdot d_{\max} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:
 K_{lt} ——交流电弧炉一般取 0.48;
 K_t ——直流电弧炉一般取 0.30;
 K_l ——精炼电弧炉一般取 0.20;
康斯丁(CONSTEEL)电弧炉 K_{lt} 一般取 0.25。

附录 D

(资料性附录)

闪变合格率统计方法

闪变合格率是指实际运行电压在闪变合格范围内累计运行时间与对应的总运行统计时间的百分比,计算式如下:

$$\text{闪变合格率} = \left(1 - \frac{\text{闪变超限时间}}{\text{总运行统计时间}}\right) \times 100\% \quad \cdots \cdots \cdots (\text{D.1})$$

闪变状况通常可通过闪变合格率的统计方法进行评估。监测点的闪变合格率通常以月度的时间为闪变监测的总运行统计时间。

电网的闪变合格率为各监测点闪变合格率的平均值:

$$\text{电网闪变合格率}(\%) = \sum_{i=1}^n \text{监测点闪变合格率} / n \quad \cdots \cdots \cdots (\text{D.2})$$

式中:

n ——闪变监测点个数。

电网年(季)度闪变合格率计算式如下:

$$\text{年(季)度闪变合格率}(\%) = \sum_{i=1}^m \text{电网闪变合格率} / m \quad \cdots \cdots \cdots (\text{D.3})$$

式中:

m ——年(季)度的闪变合格率统计月数。

参 考 文 献

- [1] GB/Z 17625.5—2000 电磁兼容 限值中、高压电力系统中波动负荷发射限值的评估
(idt IEC 61000-3-7:1996)
- [2] EN 50160:2000 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution system
-