

中华人民共和国国家标准

GB 12326—2000

电能质量 电压波动和闪变

代替 GB 12326—1990

Power quality—Voltage fluctuation and flicker

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闪明显感觉的场合。

2 引用标准

GB 156—1993 标准电压

3 定义

本标准采用以下定义。

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)过程中从供电网中取用快速变动功率的负荷。例如:炼钢电弧炉、轧机、电弧焊机等。

3.3 电压方均根值曲线 $U(t)$ R. M. S. voltage shape, $U(t)$

每半个基波电压周期方均根值(r. m. s.)的时间函数。

3.4 电压变动特性 $d(t)$ relative voltage change characteristic, $d(t)$

电压方均根值变动的的时间函数,以系统标称电压的百分数表示。

3.5 电压变动 d relative voltage change, d

电压变动特性 $d(t)$ 上,相邻两个极值电压之差。

3.6 电压变动频度 r 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)。同一方向的若干次变动,如间隔时间小于 30 ms,则算一次变动。

3.7 闪变时间 t_f flicker time, t_f

一个有时间量纲的值,表示电压变动的闪变影响,和波形、幅值以及频度均有关。

3.8 电压波动 voltage fluctuation

电压方均根值一系列的变动或连续的改变。

3.9 闪变 flicker

灯光照度不稳定造成的视感。

3.10 闪变仪 flickermeter

一种测量闪变的专用仪器(见附录 A)。

注:一般测量 P_w 和 P_f 。

3.11 短时间闪变值 P_{st} 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)。 $P_{st}=1$ 为闪变引起视感刺激性的通常限值。

3.12 长时间闪变值 P_{lt} 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)。

3.13 累积概率函数 cumulative probability function(CPF)

其横坐标表示被测量值(例如瞬时闪变值),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 A2)。

4 电压变动和闪变的限值

4.1 电力系统公共连接点,由波动负荷产生的电压变动限值和变动频度、电压等级有关,见表 1。

表 1 电压变动限值

r, h^{-1}	$d, \%$	
	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 r (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。
- 2 对于随机性不规则的电压波动,依 95% 概率大值衡量,表中标有“*”的值为其限值。
- 3 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)	$35\text{ kV} < U_N \leq 220\text{ kV}$

4.2 电力系统公共连接点,由波动负荷引起的短时间闪变值 P_{st} 和长时间闪变值 P_{lt} 应满足表 2 所列的限值。

表 2 各级电压下的闪变限值

系统电压等级	LV	MV	HV
P_{st}	1.0	0.9(1.0)	0.8
P_{lt}	0.8	0.7(0.8)	0.6

注

- 1 本标准中 P_{st} 和 P_{lt} 每次测量周期分别取为 10 min 和 2 h(下同)。
- 2 MV 括号中的值仅适用于 PCC 连接的所有用户为同电压级的用户场合。

4.3 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电压变动和闪变值一般应满足下列要求。

4.3.1 电压变动的限值如表 1 所列。

4.3.2 闪变限值根据用户负荷大小、其协议用电容量占供电容量的比例、以及系统电压,分别按三级作不同的规定和处理。

4.3.2.1 第一级规定。满足本级规定,可以不经闪变核算,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, min^{-1}	$k = (\Delta S / S_{sc})_{\max}, \%$
$r < 10$	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。
- 已通过 IEC 61000-3-3 和 IEC 61000-3-5 的 LV 设备均视为满足第一级规定。

b) 对于 HV 用户, 满足 $(\Delta S / S_{sc})_{\max} < 0.1\%$ 。

4.3.2.2 第二级规定。须根据用户闪变的发生值和限值作比较后确定。

每个用户按其协议用电容量 $S_i (S_i = P_i / \cos \varphi_i)$ 和供电容量 S 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)等因素后确定闪变限值。不同电压等级之间闪变传递系数 T 如表 4 所列。

表 4 不同电压等级间闪变传递系数

	HV-MV T_{HM}	HV-LV T_{HL}	MV-LV T_{ML}
范围	0.8~1.0	0.8~1.0	0.95~1.0
一般取值	0.9	0.9	1.0

用户闪变限值的计算如下:

a) 对于 MV 和 LV 单个用户, 首先求出接于 PCC 的全部负荷产生闪变的总限值 G : (以 MV 用户为例写公式)

$$G_{MV} = \sqrt[3]{L_{MV}^3 - T_{HM}^3 L_{HV}^3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: L_{MV} 和 L_{HV} 分别为 MV 和 HV 的闪变限值(见表 2)。

T_{HM} 为 HV 对 MV 的闪变传递系数(见表 4)。

则单个用户闪变限值 $E_{i,MV}$ 为:

$$E_{i,MV} = G_{MV} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MV}} \cdot \frac{1}{F_{MV}}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: F_{MV} 为波动负荷的同时系数, 其典型值 $F_{MV} = 0.2 \sim 0.3$ (但必须满足 $S_i / F_{MV} \leq S_{MV}$)。式(1)、(2)中, 如将下标作适当替换(例如 MV 换为 LV, T_{HM} 换为 T_{HL} 或 T_{ML} 等)则可以用于 LV 用户的计算。式(1)、(2)对于短时间闪变(P_{st})和长时间闪变(P_{lt})均适用。

b) 对于 HV 单个用户, 闪变限值计算式为

$$E_{i,HV} = L_{HV} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{iHV}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: S_{iHV} 为接 S_i 的 PCC 总供电容量, 确定方法见附录 B。

c) 对于某些相对较小的用户, 利用式(2)、(3)求出的闪变限值可能过严, 如用户未超过表 5 规定的基本闪变值, 则仍允许接网。

表 5 基本闪变值

E_{psti}	E_{plti}
0.35	0.25

4.3.2.3 第三级规定了超标(超过第二级限值)用户和过高背景闪变水平的处理原则。

由于 PCC 上并不都是波动负荷,按第二级条件计算,某些用户若是超标的,但实际背景闪变水平比较低,或者超标的概率很低(例如每周不超过 1% 时间),电力企业可以酌情(包括考虑近期的发展)放宽限值。反之,如背景水平已接近于表 2 规定值,则应适当减少分配的指标,研究采用补偿设备的可能性,并应分析背景水平高的原因,采取必要的降低闪变水平措施。

5 电压变动和闪变的测量条件、取值

5.1 本标准电压变动值 d 、短时间闪变值 P_{st} 和长时间闪变值 P_{lt} 指的是电力系统正常运行的较小方式下,波动负荷变化最大工作周期的实测值。例如:炼钢电弧炉应在熔化期测量;轧机应在最大轧制负荷周期测量;三相负荷不平衡时应在三相测量值中取最严重的一相的值。

注

- 1 对于三相等概率波动的负荷可以任意选取一相测量。
- 2 设计所取的短路容量可以用投产时系统最大短路容量乘系数 0.7。

5.2 对于随机性不规则的电压波动,电压变动实测值应不少于 50 个,以 95% 概率大值作为判断依据。短时间闪变值测量周期取为 10 min,每天(24 h)不得超标 7 次(70 min);长时间闪变值测量周期取为 2 h,每次均不得超标。

注:95% 概率大值指的是将实测值按由大到小的次序排列,舍弃前面 5% 的大值,取剩余的实测值中最大值。

6 闪变的叠加和传递

根据新用户投入前后公共连接点实测的闪变值,可以利用以下有关计算公式,推算出新用户实际上产生的闪变值。

6.1 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:

$$P_{st} = \sqrt[m]{(P_{st1})^m + (P_{st2})^m + \dots + (P_{stm})^m} \quad \dots\dots\dots(4)$$

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。

6.2 如图 1 所示,电力系统不同母线结点上闪变的传递可按下式简化计算:

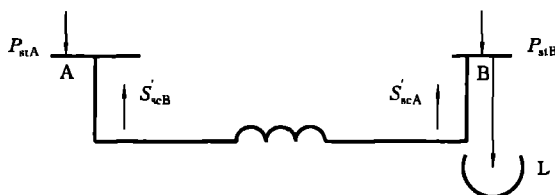


图 1 闪变传递计算示意

$$P_{stA} = T_{BA} \cdot P_{stB} \quad \dots\dots\dots(5)$$

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；

图 1 中 L 为波动负荷。

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

6.3 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：

$$P_{st1} = P_{st0} \cdot \frac{S_{sc0}}{S_{sc1}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

公式(4)、(5)、(6)原则上也可用于长时间闪变值的相关计算。

7 电压变动的计算

对于平衡的三相负荷

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

式中： ΔS_L 为负荷容量的变化量；

S_{sc} 为考察点（一般为 PCC）的短路容量。

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_L 和 ΔQ_L 时，则用下式计算：

$$d = \frac{R_L \Delta P_L + X_L \Delta Q_L}{U_N^2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中： R_L 、 X_L 分别为电网阻抗的电阻和电抗分量。

在高压电网中，一般 $X_L \gg R_L$ ，则

$$d \approx \frac{\Delta Q_L}{S_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(7)~(9)中， ΔS_L 、 ΔP_L 和 ΔQ_L 要根据负荷变化性质确定。

对于由某一相间单相负荷变化引起的电压变动

$$d \approx \frac{\sqrt{3} \Delta S_L}{S_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

8 闪变的评估

不同类型的电压波动， P_{st} 有不同的评估方法，如表 6 所列。

表 6 闪变的评估方法

电压变动类型	P_{st} 评估方法
各种类型电压波动(在线评估)	直接测量
$U_i(t)$ 已确定的所有电压波动	仿真法, 直接测量
周期性等间隔电压波动(图 2、图 3)	利用 $P_{st}=1$ 曲线
电压变动间隔时间大于 1 s 的电压波动(图 4、图 5、图 6)	闪变时间分析法、仿真法、直接测量

8.1 闪变仪

各种类型的电压波动均可以用符合 IEC 61000-4-15 的闪变仪直接测量来评估，这是闪变量值判定的基准方法。

8.2 仿真法

当负荷变动特性和 PCC 的系统阻抗已知时，可以计算负荷引起的电压变动 $d(t)$ ，然后由闪变仪的模拟程序求出相应的 P_{st} 。本法需要专门的程序，其精度主要取决于负荷特性的数学模型。

8.3 用 $P_{st}=1$ 曲线分析

对于周期性等间隔矩形波(或阶跃波)、正弦波和三角波的电压变动，当已知电压变动 d 和频度 r

时,可以利用图 2(或表 7)由 r 查出对应于 $P_{st}=1$ 的电压变动 d_{Lim} ,则:

$$P_{st} = F \cdot \frac{d}{d_{Lim}} \dots\dots\dots(11)$$

式中: F 为波形系数。对于矩形波(或阶跃波) $F=1$;对于正弦波和三角波查图 3。

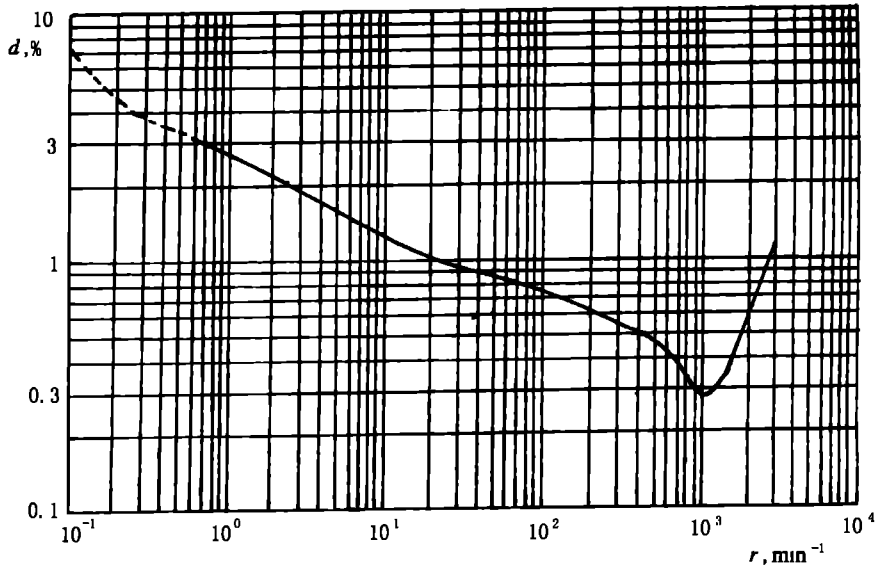


图 2 周期性矩形(或阶跃)电压变动的单位闪变($P_{st}=1$)曲线

表 7 周期性矩形(或阶跃)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, min^{-1}	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, min^{-1}	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, min^{-1}	110	175	275	380	475	580	690	795	1 052	1 180	1 400	1 620	1 800

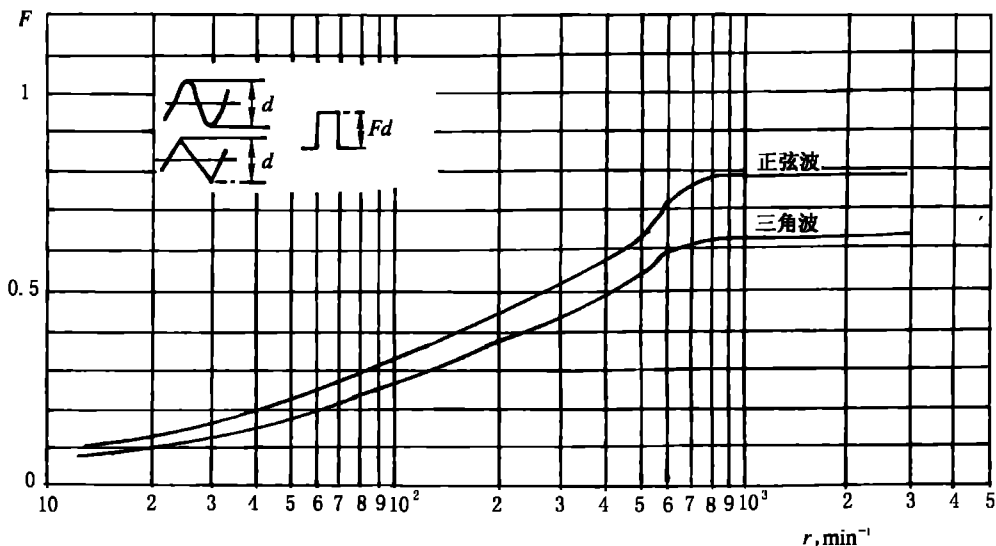


图 3 周期性正弦波和三角波电压波动的波形系数

8.4 闪变时间分析法

在求 P_{st} (或 P_{lt}) 时分别选取产生闪变较严重的 10 min (或 2 h) 时段的 $d(t)$ 作分析, 把各种变动波形利用波形系数等值为阶跃变动波形, 求出闪变时间 t_f (s) 来评估 P_{st} (或 P_{lt})。

对每个波形

$$t_f = 2.3 \times (F d_{max})^3 \dots\dots\dots (12)$$

式中: F 为波形系数。对于阶跃波 $F=1$; 对于双阶梯波、斜坡波、三角波和矩形波, 查图 4、图 5; 对于直接起动的电动机, $F \approx 1$; 对于采取缓冲措施的电动机, 查图 6。

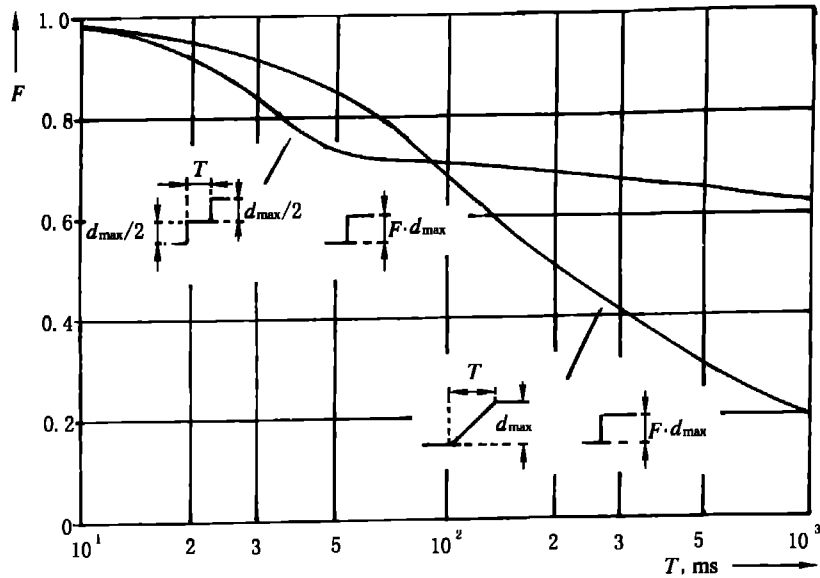


图 4 双阶梯波和斜坡波电压变动的波形系数

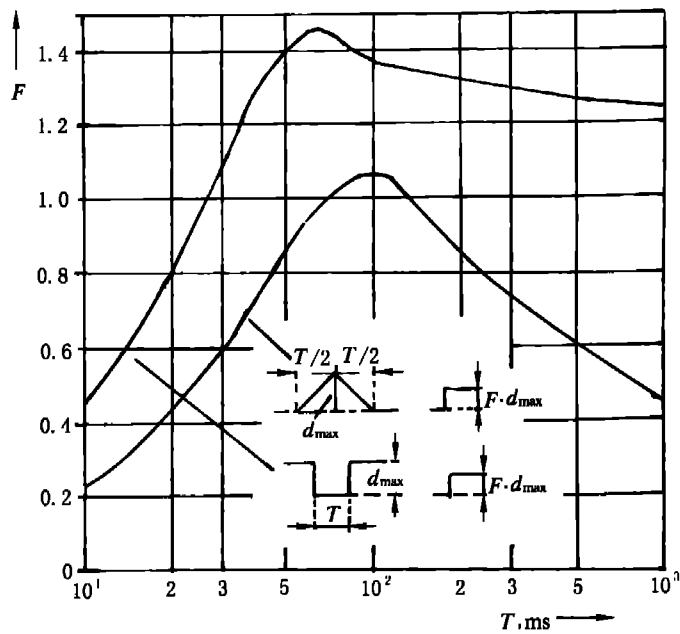


图 5 三角波和矩形波电压变动的波形系数

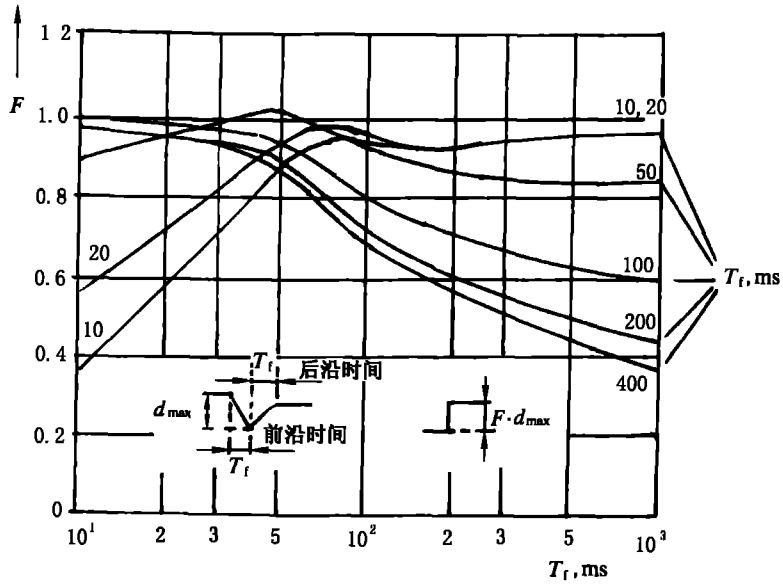


图 6 具有不同前后沿的电动机起动电压波形系数

将规定时段(10 min, 2 h)内 $d(t)$ 的 t_i 总和求出, 则

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_i}{600}} \dots\dots\dots (13)$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_i}{120 \times 60}} \dots\dots\dots (14)$$

闪变时间分析法一般用于电压变动间隔大于 1 s 且电压变动波形为上列几种的组合, 所求的 P_{st} 、 P_{lt} 值和直接测量结果相比, 误差在 $\pm 10\%$ 以内。电压变动间隔小于 1 s, 不推荐用此法。

8.3.8.4 中方法仅适用于特定的电压波动场合。一些典型的实例分析见附录 C。

附录 A

(标准的附录)

闪变的测量和计算式

根据 IEC 61000-4-15 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两种结构,其简化原理框图如图 A1 所示。

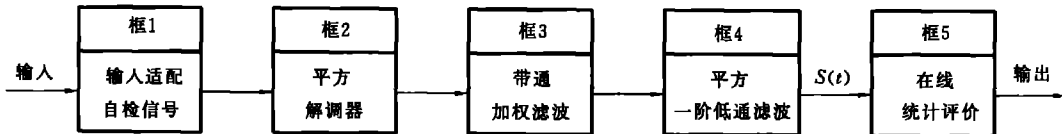
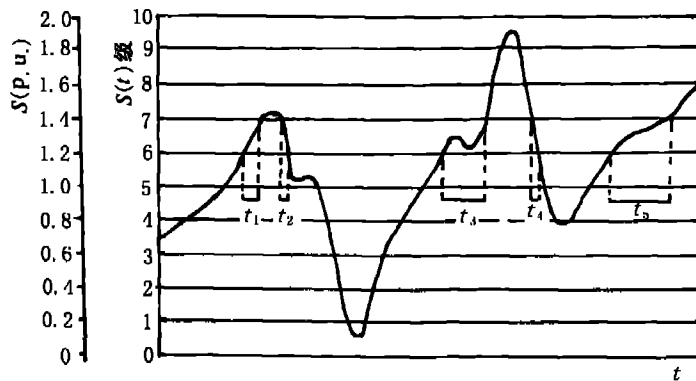


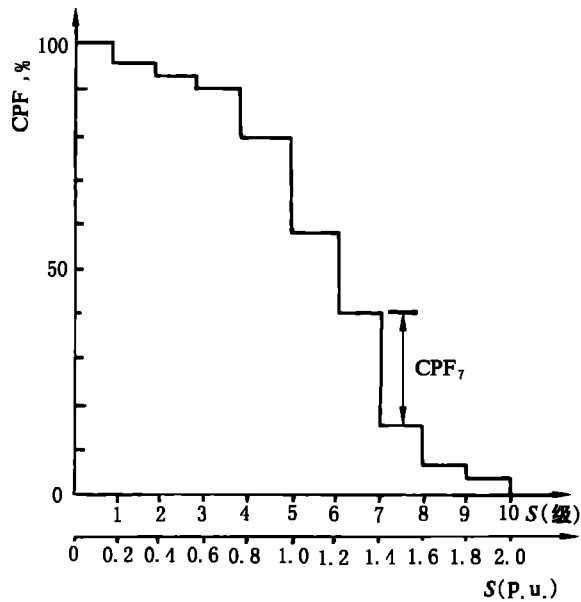
图 A1 IEC 闪变仪模型的简化框图

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 60W230V 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 A2 a)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 A2 a), $T_7 = \sum_{i=1}^5 t_i$,用 CPF_7 代表 S 值处于 7 级(或 1.2~1.4 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 A2 b) CPF 曲线。实际仪器分级数应不小于 64 级。



a)

图 A2 由 $S(t)$ 曲线作出的 CPF 曲线示例



b)

图 A2(完)

由 CPF 曲线获得短时间闪变值:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \dots\dots\dots (A1)$$

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:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{stj})^3} \dots\dots\dots (A2)$$

式中: n 为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 A1 框 5 输出。

附录 B

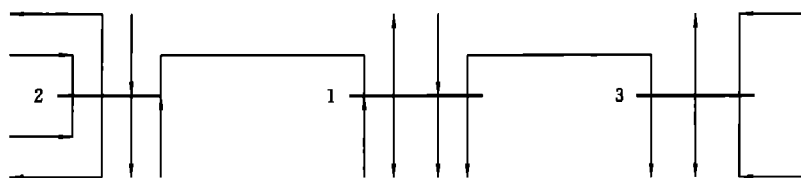
(标准的附录)

高压(HV)总供电容量 S_{tHV} 的估算方法

当 S_t 用户接于某单台变压器二次侧母线(PCC)上时, 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 ΣS_{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 B1 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 1 结点引起的电压。 K_{j-1} 计算一般需要计算机程序, 但 6.2 条给出简化的算法, 在许多情况下能很快求出近似的结果。由此得: $S_{tHV} = S_{tHV1} + K_{2-1} \times S_{tHV2} + K_{3-1} \times S_{tHV3}$ 。

图 B1 第二种近似估算 S_{thv} 示意

附录 C

(提示的附录)

一些典型的实例分析

C1 轧钢机负荷

已知某轧钢机投产后,在供电的 PCC 上产生周期性电压波动,其波形如图 C1 所示,该供电点(中压)总的允许短期闪变值 $G_{Pst}=0.72$,供电总容量 30 MVA,轧钢厂的协议供电容量为 3 MVA,用电同时系数为 0.3,试分析轧钢机接网对闪变的影响。

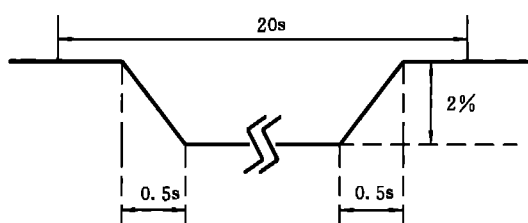


图 C1 轧机电压变动示例

分析:由图 C1,在运行周期 20 s 中有 2 次电压变动,则电压变动频度 $r=2/20(\text{s}^{-1})=6(\text{min}^{-1})$,由表 3 和式(7)可知,不满足第一级限值规定。由式(2)求出该用户闪变限值 $E_{Pst}=0.72 \times \sqrt[3]{\frac{3}{30 \times 0.3}}=0.5$,由图 4 对于 0.5 s 斜坡电压变动,查得 $F=0.3$,由式(12)得 $t_f=2.3 \times (0.3 \times 2)^3=0.5(\text{s})$ 。

10 min 内,对于变动 $10 \times 6=60$ 次,代入式(13),得:

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{60 \times 0.5}{600}} = 0.37 < E_{Pst}$$

结论:该轧钢机引起的闪变符合第二级规定。

C2 多台绞车负荷

已知三台 5MW 矿井绞车,供电的 PCC 为 35 kV、 $S_{sc}=400$ MVA,分配给绞车的闪变限值 $E_{Pst}=0.5$;单台绞车典型的无功功率变动周期如图 C2 所示。三台绞车大体上同时运行,但不完全重叠,试分析闪变的影响。

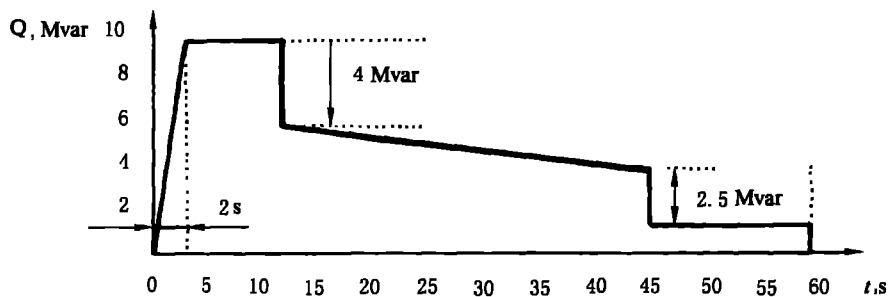


图 C2 单台绞车运行典型的无功波动周期

分析:从图 C2 可以看出,一开始和中间两段为斜坡电压变动,由于 $T > 1$ s,从图 4 可知,波形系数很小,如将其折算为等值阶跃电压变动,其值也很小,可以忽略。在单台绞车开车后 6 s 处有 $\Delta Q = 4$ Mvar,根据式(9),相应 $d_1 = 1\%$;在 45 s 停车时有 $\Delta Q = 2.5$ Mvar,相应 $d_2 = 0.63\%$;对 d_1 和 d_2 分别按 60 s 周期(即 $r = 1$ 次/min)考虑。查图 2 得 $d = 2.7\%$ (对应 $P_{st} = 1$),则由式(11) d_1 产生 $P_{st1} = 1/2.7 = 0.37$;由 d_2 产生 $P_{st2} = 0.63/2.7 = 0.23$ 。根据式(4),取 $m = 3$,单台绞车闪变为 $P_{st} = \sqrt[3]{0.37^3 + 0.23^3} = 0.40$,三台绞车合成闪变 $P_{st} = \sqrt[3]{3 \times 0.4^3} = 0.58 > E_{Pst}$ 。

结论:需要作第三级评定。

本例也可以用闪变时间分析:由式(12)求出 $t_{t1} = 2.3 \times 1^3 = 2.3$ (s), $t_{t2} = 2.3 \times 0.63^3 = 0.575$ (s);三台绞车 10 min 内 $\Sigma t_i = \Sigma t_{i1} + \Sigma t_{i2} = 3 \times (2.3 \times 10 + 0.575 \times 10) = 86.25$ (s),代入式(13), $P_{st} = \sqrt{\frac{86.25}{600}} = 0.524 > E_{Pst}$ 。其结论基本上和直接用 P_{st} 分析一致。

C3 电弧炉负荷

交流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电压的严重波动,并构成闪变干扰。图 C3 为最简化的电弧炉等值电路单线图。图中 U_0 为供电电压; X_0 为电弧炉供电回路的总阻抗(包括供电系统、电炉变压器和短网阻抗); R 为回路的总电阻,以可变的电弧电阻 R_A 为主; $P + jQ$ 为电路复功率。

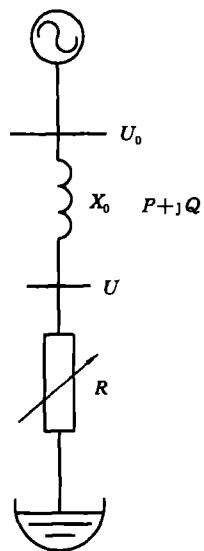


图 C3 最简化的电弧炉等值电路的单线图

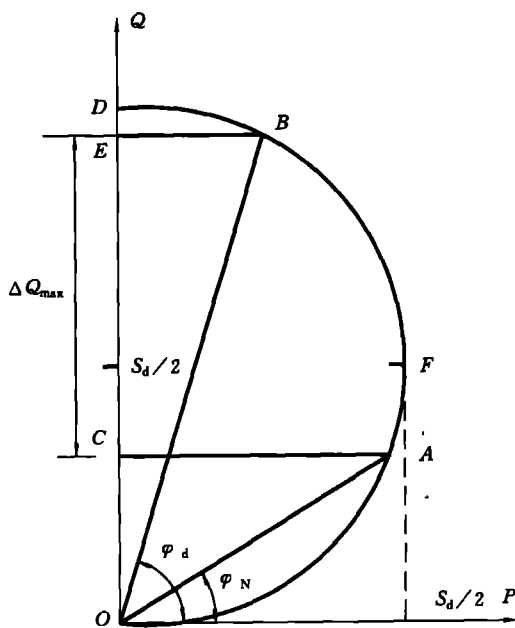


图 C4 电弧炉运行的功率圆图

不难证明,当 R 变化时,电弧炉运行的功率 P 、 Q 如图 C4 所示,按半圆轨迹移动,其直径 $\overline{OD} = S_d = \frac{U_0^2}{X_0}$ 为理想的最大短路 ($R=0$) 容量。图中 A 为熔化期的额定运行点, φ_N 为相应的回路阻抗角, $\cos\varphi_N = 0.7 \sim 0.85$; B 点为电极三相短路运行点,此时 $R_A = 0$, φ_d 为短路回路阻抗角, $\cos\varphi_d = 0.1 \sim 0.2$ 。

预测计算时可以取最大无功变动量:

$$\Delta Q_{\max} = \overline{CE} = \overline{OE} - \overline{OC} = \overline{OB}\sin\varphi_d - \overline{OA}\sin\varphi_N = \overline{OD}(\sin^2\varphi_d - \sin^2\varphi_N) \quad \dots\dots\dots (C1)$$

$$\text{则有 } \Delta Q_{\max} = S_d(\sin^2\varphi_d - \sin^2\varphi_N)$$

由于 $\sin\varphi_d \approx 1$, 则

$$\Delta Q_{\max} \approx S_d \cos^2\varphi_N \quad \dots\dots\dots (C2)$$

实际上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 ($R=\infty$, 对应与 O 点) 和短路 ($R_A=0, R \approx 0$, 对应于 D 点) 两种极端状态, 当相继出现这两种状态时则得到:

$$\Delta Q_{\max} \approx S_d \quad \dots\dots\dots (C3)$$

由式 (C1)~(C3) 代入式 (9) 即得到相应的 d , 其中由式 (C1)、(C2) 得到的称为“最大无功功率变动量”, 电弧炉引起 PCC 电压变动, 一般可以用此值作为预测值, 对照表 1 中限值(标有“*”); 由式 (C3) 得到的称为“短路压降” d , 此值为理论上最大的 d_{\max} 。

交流电弧炉引起的闪变大小主要和 d (或 d_{\max}) 有关, 但也和冶炼的工艺、炉料的状况有关, 可以粗略地用下式预测:

$$P_{st} = 0.5d \quad \dots\dots\dots (C4)$$

或

$$P_{st(\max)} = 0.5d_{\max} \quad \dots\dots\dots (C5)$$

直流电弧炉是将三相交流整流为直流, 采用单电极冶炼。直流电弧电流比交流要稳定, 因此对电网的干扰要明显小于交流电弧炉, 其产生的电压波动和闪变约为同容量交流炉的一半。

附录 D

(提示的附录)

参 考 资 料

- [1] IEC 61000-3-3:1994 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 3: Limits—Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A
- [2] IEC 61000-3-5:1994 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 3: Limits—Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16A
- [3] IEC 61000-3-7:1996 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 3: Limits—Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems—Basic EMC publication
- [4] IEC 61000-4-15:1997 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4: Testing and measurement techniques—Section 15: Flickermeter—Functional and design specifications