



中华人民共和国国家标准

GB/T 30137—2024

代替 GB/T 30137—2013

电能质量 电压暂升、电压暂降与 短时中断

Power quality—Voltage swell, voltage dips and short interruptions



2024-12-31 发布

2025-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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 电压暂升、电压暂降与短时中断事件统计及指标	3
5 电压暂升、电压暂降与短时中断的检测	6
6 电压暂升、电压暂降与短时中断的监测	8
7 电压暂升、电压暂降与短时中断的评估	9
附录 A (资料性) 电压容限曲线	10
附录 B (资料性) 电压暂降起始角与相位跳变检测	12
附录 C (资料性) 临界距离与暂降域	14
参考文献	18



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 30137—2013《电能质量 电压暂降与短时中断》，与 GB/T 30137—2013 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加“电压暂升”及相应内容(见第 1 章、3.1、3.2、3.5、3.6、3.7、3.8、3.13、3.15、第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章)；
- b) 更改了术语“电压暂降”定义中持续时间的表述形式(见 3.3,2013 年版的 3.1)；
- c) 更改了术语“短时中断”定义中持续时间的表述形式(见 3.4,2013 年版的 3.2)；
- d) 更改了术语“暂降(短时中断)阈值”的名称及定义(见 3.5,2013 年版的 3.3)；
- e) 更改了术语“暂降(短时中断)持续时间”的名称及定义(见 3.6,2013 年版的 3.4)；
- f) 更改了术语“电压相位跳变”的名称及定义(见 3.7,2013 年版的 3.5)；
- g) 更改了术语“暂降(短时中断)频次”的名称及定义(见 3.8,2013 年版的 3.6)；
- h) 更改了术语“半周波刷新电压方均根值”的名称及定义(见 3.9,2013 年版的 3.7)；
- i) 更改了术语“残余电压”的名称及定义(见 3.11,2013 年版的 3.9)；
- j) 更改了术语“暂降深度”的定义(见 3.12,2013 年版的 3.10)；
- k) 增加了术语“电压暂降起始角”及定义(见 3.17)；
- l) 增加了术语“临界距离”及定义(见 3.18)；
- m) 增加了术语“暂降域”及定义(见 3.19)；
- n) 增加了“电压暂升事件统计表”(见表 1)；
- o) 增加了 1 min 内同时发生电压暂升、电压暂降或短时中断事件的统计方法(见 4.1)；
- p) 更改了 1 min 内发生的数次电压暂升、电压暂降或短时中断事件归并统计持续时间的取法规则[见表 1、表 2 的注,2013 年版的表 1 填写说明 b)]；
- q) 增加了“频次指标”(见 4.2.2)；
- r) 增加了“严重度指标”(见 4.2.3)；
- s) 增加了“电压暂升/暂降能量指标”(见 4.2.4)；
- t) 更改了 5.1 标题的表述(见 5.1,2013 年版的 5.1)；
- u) 增加了“事件检测”，并将 2013 年版的有关内容修改后纳入(见 5.2)；
- v) 增加了“特征参数取值方法”，并将 2013 年版的有关内容修改后纳入(见 5.3)；
- w) 删除了对监测仪器的采样率要求(2013 年版的 6.1)；
- x) 更改了记录存储功能要求(见 6.2.1.3,2013 年版的 6.2.1.3)；
- y) 更改了监测要求(见 6.3,2013 年版的 6.3)；
- z) 更改了电压暂升、电压暂降与短时中断的评估方法(见第 7 章,2013 年版的第 7 章)；
- aa) 增加了资料性附录“电压暂降起始角与相位跳变检测”(见附录 B)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国电压电流等级和频率标准化技术委员会(SAC/TC 1)提出并归口。

本文件起草单位：国网福建省电力有限公司电力科学研究院、中机生产力促进中心有限公司、四川大学、厦门奕昕科技有限公司、安徽大学、华北电力大学、国网智能电网研究院有限公司、国网河北省电力有限公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究

院、深圳市中电电力技术股份有限公司、北京交通大学、中铁工程设计咨询集团有限公司、西安博宇电气有限公司、中国电力企业联合会、华南理工大学、武汉大学、福州大学、上海纬宏科技有限公司、中国科学院合肥物质科学研究院、国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、广东电网有限公司广州供电局电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、广西电网有限责任公司电力科学研究院、昆明理工大学、云南电网有限责任公司昆明供电局、太原龙育悟科技推广服务有限公司、西安西电电力系统有限公司、国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院、湖南大学、佳源科技股份有限公司。

本文件主要起草人：雷龙武、林焱、张苹、汪颖、朱明星、徐永海、周胜军、颜坤奕、胡文平、王金浩、王毅、王昕、吴命利、魏宏伟、刘军成、刘晶、陆宠惠、钟庆、陈红坤、罗利平、张逸、吴亚楠、王磊、覃日升、常潇、胡雪凯、许中、马明、马智泉、张鹏、王小明、郭敏、郭成、何冕、吴玉龙、曹洋、王纯、郭祺、徐海申。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2013年首次发布为 GB/T 30137—2013；
- 本次为第一次修订。



电能质量 电压暂升、电压暂降与 短时中断

1 范围

本文件规定了电力系统电压暂升、电压暂降与短时中断的指标及统计、检测、监测和评估方法。
本文件适用于 50Hz 交流电力系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 19862 电能质量监测设备通用要求

GB/T 17626.30 电磁兼容 试验和测量技术 第 30 部分:电能质量测量方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电压暂升 **voltage swell**

电力系统中某点电压方均根值突然升高至 1.1 p.u.~1.8 p.u.,并在短暂持续 10 ms~1 min 后恢复正常的现象。

3.2

电压暂升幅值 **magnitude of voltage swell**

电压暂升过程中电压方均根值的最大值。

3.3

电压暂降 **voltage dip; voltage sag**

电力系统中某点电压方均根值突然降低至 0.1 p.u.~0.9 p.u.,并在短暂持续 10 ms~1 min 后恢复正常的现象。

3.4

短时中断 **short interruption**

电力系统中某点电压方均根值突然降低至 0.1 p.u.以下,并在短暂持续 10 ms~1 min 后恢复正常的现象。

3.5

阈值 **threshold**

用于判断电压暂升、电压暂降或短时中断开始和结束而设定的电压门槛值。

3.6

持续时间 **duration**

电压暂升、电压暂降或短时中断事件从起始到结束所用的时间。

3.7

相位跳变 phase-angle jump

电压暂升或电压暂降事件发生时刻前后,电压和/或电流波形在时间轴上相对位置的突然变化,以度或弧度表示。

3.8

频次 frequency; occurrence frequency

指定时间内电压暂升、电压暂降或短时中断事件发生的次数。

3.9

每半周波刷新电压方均根值 r.m.s.voltage refreshed each half-cycle

$$U_{\text{rms}(1/2)}$$

测量数据窗口为一周波的电压方均根测量值,从基波的过零点开始,每半个周波更新一次。

3.10

每周波刷新电压方均根值 r.m.s.voltage refreshed each cycle

$$U_{\text{rms}(1)}$$

测量数据窗口为一周波的电压方均根测量值,每个周波更新一次。

3.11

残余电压 residual voltage

$$U_{\text{res}}$$

电压暂降或者短时中断过程中电压方均根值的最小值。

3.12

电压暂降深度 depth of voltage dip

参考电压与残余电压的差值。

注:参考电压通常是指公称电压或滑动参考电压,前者一般是指系统的标称电压,如果根据供应商和客户协议,加在终端的电压与标称电压不同,则该电压为公称供电电压。

3.13

系统平均方均根值变动频率指标 system average r.m.s. frequency index

SARFI 指标

某系统或某单一测点发生电压暂升、电压暂降或短时中断事件次数的平均值,是用来反映特定时间内某系统或某单一测点电压暂升、电压暂降或短时中断发生频度的主要量化指标。

3.14

公称输入电压 declared input voltage

$$U_{\text{din}}$$

系统标称电压除以电压互感器变比后确定的电压值。

3.15

滑动参考电压 sliding reference voltage

$$U_{\text{sr}}$$

某特定时间段内的电压幅值平均值,用以表示某一电压变化事件(如电压暂降、电压暂升及快速电压变化)之前的电压。

[来源:GB/T 17626.30—2023,3.29,有修改]

3.16

迟滞电压 hysteresis voltage

起点电压阈值与终点电压阈值之间的差值。

注1:本文件中迟滞的定义和电能质量测量参数有关。该定义不同于 IEC 60050 的定义,后者的定义是与铁芯饱和

度有关。

注 2：在电能质量测量中引进迟滞术语的目的是为了避免参数的幅值在阈值范围附近振荡时造成事件的多次统计。

3.17

电压暂降起始角 point-on-wave of voltage dip initiation

电压暂降发生时刻电压的相位。

[来源：GB/T 39269—2020, 3.8, 有修改]

3.18

临界距离 critical distance

电力系统中发生故障时,某节点电压降低到指定的电压暂降阈值时,故障点与该节点之间的距离。

3.19

暂降域 dip area; sag area

电力系统中导致某节点电压降低到指定电压暂降阈值的所有故障点组成的区域。

4 电压暂升、电压暂降与短时中断事件统计及指标

4.1 电压暂升、电压暂降与短时中断事件统计

电压暂升、电压暂降与短时中断事件统计表可直观地反映一段时期内,监测点电压暂升、电压暂降与短时中断事件的发生情况,主要统计不同幅值和持续时间的事件发生次数。若事件开始后 1 min 内同时发生电压暂升与电压暂降或短时中断,应分别在表 1 和表 2 中同时进行统计。表 1 为在相应的电压暂升幅值和持续时间所对应的电压暂升事件发生次数;表 2 为在相应的残余电压和持续时间所对应的电压暂降或短时中断事件发生次数。

表 1 电压暂升事件统计表

事件统计	事件发生次数/次							
	0.01 s < t ≤ 0.1 s	0.1 s < t ≤ 0.25 s	0.25 s < t ≤ 0.5 s	0.5 s < t ≤ 1 s	1 s < t ≤ 3 s	3 s < t ≤ 10 s	10 s < t ≤ 20 s	20 s < t ≤ 60 s
180 ≥ U ≥ 170								
170 > U ≥ 160								
160 > U ≥ 150								
150 > U ≥ 140								
140 > U ≥ 130								
130 > U ≥ 120								
120 > U ≥ 110								

对事件开始后 1 min 内发生的数次电压暂升事件应归并为一次进行统计,其电压暂升幅值应取为 1 min 内数次电压暂升的最大电压暂升幅值,持续时间应取为 1 min 内多次电压暂升持续时间之和

表 2 电压暂降与短时中断事件统计表

事件统计	事件发生次数/次							
	0.01 s < t ≤ 0.1 s	0.1 s < t ≤ 0.25 s	0.25 s < t ≤ 0.5 s	0.5 s < t ≤ 1 s	1 s < t ≤ 3 s	3 s < t ≤ 10 s	10 s < t ≤ 20 s	20 s < t ≤ 60 s
幅值(U=U _{res} /U _n) %								
90 ≥ U ≥ 80								
80 > U ≥ 70								
70 > U ≥ 60								
60 > U ≥ 50								
50 > U ≥ 40								
40 > U ≥ 30								
30 > U ≥ 20								
20 > U ≥ 10								
10 > U ≥ 0								

对事件开始后 1 min 内发生的数次电压暂降或短时中断事件应归并为一次进行统计,其残余电压应取为 1 min 内数次电压暂降或短时中断的最小残余电压,持续时间应取为 1 min 内多次电压暂降或短时中断持续时间之和

4.2 电压暂升、电压暂降与短时中断指标

4.2.1 SARFI 指标

SARFI 指标包括两种形式:一种是针对某一阈值电压的统计指标 SARFI_X;另一种是针对某类敏感设备的容限曲线的统计指标 SARFI_{CURVE}。

a) SARFI_X

SARFI_X 可采用按事件影响用户数进行统计的 SARFI_{X-C},或按事件发生次数进行统计的 SARFI_{X-T},分别如公式(1)和公式(2)所示。

$$SARFI_{X-C} = \frac{\sum N_i}{N_{Total}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

X ——指电压方均根值占标称电压的百分数,X%即为电压方均根阈值。X 可取值为 180、170、160、150、140、130、120、110、90、80、70、60、50、40、30、20、10 等;

N_i ——当 X < 100 时,N_i 为第 i 次事件下承受电压幅值小于 X%的电压暂降或短时中断的用户数;当 X > 100 时,N_i 为第 i 次事件下承受电压幅值大于 X%的电压暂升的用户数;

N_{Total} ——所评估测点供电的用户总数。

$$SARFI_{X-T} = \frac{N \times D}{D_{Total}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

X ——指电压方均根值占标称电压的百分数,X%即为电压方均根阈值,X 可取值为 180、170、160、150、140、130、120、110、90、80、70、60、50、40、30、20、10 等;

N ——当 X < 100 时,N 为监测时间段内电压幅值小于 X%的电压暂降或短时中断的发生次

数;当 $X > 100$ 时, N 为监测时间段内电压幅值大于 $X\%$ 的电压暂升的发生次数;

D_{Total} —— 监测时间段内的总天数;

D —— 指标计算周期天数,可取值 30 或 365,对应指标分别表示每月或每年残余电压小于 $X\%$ 或电压暂升幅值大于 $X\%$ 的事件平均发生次数,式中 $D \leq D_{\text{Total}}$ 。

b) $SARFI_{\text{-CURVE}}$

$SARFI_{\text{-CURVE}}$ 指标是统计电压暂升、电压暂降或短时中断事件超出某一类敏感设备容限曲线所定义的概率,不同的容限曲线对应不同的 $SARFI_{\text{-CURVE}}$ 指标。不同电压容限曲线的说明见附录 A。

4.2.2 频次指标

频次指标是反映电压暂升、电压暂降或短时中断事件发生的频繁程度。可通过监测或其他方式,进行频次的统计与评估,一般统计周期为 1 年。可统计一个节点的事件频次或一个区域电网总的事件频次。

4.2.3 严重度指标

严重度指标反映电压暂升、电压暂降或短时中断事件对设备和用户的影响程度。

结合设备耐受曲线进行事件严重度指标计算。单次电压暂升事件的严重度指标 S_e 。定义如公式(3)所示,单次电压暂降或短时中断事件的严重度指标 S_e 。定义如公式(4)所示:

$$S_e = \frac{U_{\text{max}}^* - 1}{U_{\text{curve-T}} - 1} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

U_{max}^* —— 电压暂升幅值标么值;

$U_{\text{curve-T}}$ —— 设备耐受曲线上对应持续时间 T 的事件电压暂升幅值或残余电压标么值。

$$S_e = \frac{1 - U_{\text{res}}^*}{1 - U_{\text{curve-T}}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

U_{res}^* —— 残余电压标么值;

$U_{\text{curve-T}}$ —— 设备耐受曲线上对应持续时间 T 的事件电压暂升幅值或残余电压标么值。

4.2.4 电压暂升/暂降能量指标

能量指标反映暂升/暂降事件引起的能量增强/损失程度。

单次事件的能量指标 EI (Energy Index) 如公式(5)所示:

$$EI = \sum_{i=1}^M \left| 1 - \left(\frac{U_i}{U_n} \right)^2 \right| \dots\dots\dots (5)$$

式中:

U_i —— 事件过程中第 i 次测得的电压方均根值,单位为伏(V);

U_n —— 标称电压,单位为伏(V);

M —— 事件过程中测得的电压方均根值数量。

5 电压暂升、电压暂降与短时中断的检测

5.1 电压方均根值的检测算法

5.1.1 每半周波刷新电压方均根值 $[U_{\text{rms}(1/2)}]$

$U_{\text{rms}(1/2)}$ 的计算方法如公式(6)所示:

$$U_{\text{rms}(1/2)}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1+(k-1)\frac{N}{2}}^{(k+1)\frac{N}{2}} u^2(i)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

N ——每周波的采样点数;

$u(i)$ ——第 i 次被采样到的电压波形的瞬时值;

k ——被计算的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 序号,即第一个值是在一个周波内(从采样点 1 到采样点 N)获得的,下一个值则从采样点 $\frac{1}{2}N+1$ 到采样点 $\frac{1}{2}N+N$,依次计算($k=1,2,3,\dots$)。

5.1.2 每周波刷新电压方均根值 $[U_{\text{rms}(1)}]$

$U_{\text{rms}(1)}$ 的计算方法如公式(7)所示:

$$U_{\text{rms}(1)}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1+(k-1)N}^{kN} u^2(i)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

N ——每周波的采样点数;

$u(i)$ ——第 i 次被采样到的电压波形的瞬时值;

k ——被计算的 $U_{\text{rms}(1)}$ 序号,即第一个值是在一个周波内(从采样点 1 到采样点 N)获得的,下一个值则从采样点 $N+1$ 到采样点 $2N$,依次计算($k=1,2,3,\dots$)。

5.2 事件检测

5.2.1 阈值设定

电压暂升的阈值一般设置为 1.1 p.u.,电压暂降的阈值一般设置为 0.9 p.u.,短时中断的阈值一般设置为 0.1 p.u.。

5.2.2 电压暂升的判定

单相系统中,当 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 高于暂升阈值时,电压暂升事件开始;当 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 等于或者低于暂升阈值与迟滞电压之差时,电压暂升结束。多相系统中,当任一相的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 高于暂升阈值时,电压暂升开始;当所有相的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 等于或者低于暂升阈值与迟滞电压之差时,电压暂升结束。

5.2.3 电压暂降的判定

单相系统中,当 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 低于暂降阈值时,电压暂降事件开始;当 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 等于或者高于暂降阈值与迟滞电压之和时,电压暂降结束。多相系统中,当任一相的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 低于暂降

阈值时,电压暂降开始;当所有相的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 等于或者高于暂降阈值与迟滞电压之和时,电压暂降结束。

5.2.4 短时中断的判定

单相系统中,当 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 低于短时中断阈值时,短时中断事件开始;当 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 等于或者高于短时中断阈值与迟滞电压之和时,短时中断结束。多相系统中,当任一相的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 低于短时中断阈值时,短时中断开始;当所有相的 $U_{\text{rms}(1/2)}$ 或 $U_{\text{rms}(1)}$ 等于或者高于短时中断阈值与迟滞电压之和时,短时中断结束。

5.3 特征参数取值方法

5.3.1 电压暂升

电压暂升的特征参数包括电压暂升幅值(U_{max})、持续时间、相位跳变。电压暂升幅值(U_{max})取电压暂升过程中任一通道上测得的 U_{rms} 最大值。电压暂升的开始时间应为触发事件通道的 U_{rms} 测量数据窗口的结束时间,电压暂升的结束时间应为终止事件通道的 U_{rms} 测量数据窗口的结束时间, U_{rms} 由阈值和迟滞电压之差来确定。电压暂升的持续时间取从电压暂升起始到结束的时间差。

注 1: 对于多相系统测量,电压暂升持续时间的测量可能开始于其中一个通道,而结束于另一个通道。

注 2: 电压暂升的包络曲线并不一定是矩形,对于一个给定的电压暂升,测量的持续时间取决于暂升阈值。

注 3: 迟滞电压通常为 U_{din} 的 2%。

注 4: 暂升阈值通常大于或等于 U_{din} 的 110%。

注 5: 在电压暂升过程中也可能会出现相位跳变,相位跳变检测算法参考附录 B。

注 6: 当超过阈值时,记录一个时间标记。

5.3.2 电压暂降

电压暂降的特征参数包括残余电压(U_{res})或深度、持续时间、相位跳变;残余电压取暂降过程中任一通道上测得的最低 U_{rms} 值。电压暂降的开始时间应为触发事件通道的 U_{rms} 测量数据窗口的结束时间;电压暂降的结束时间应为终止事件通道的 U_{rms} 测量数据窗口的结束时间, U_{rms} 由阈值与迟滞电压之和来确定。电压暂降的持续时间取从电压暂降起始到结束的时间差。

注 1: 对于多相系统测量,电压暂降持续时间的测量可能开始于其中一个通道,而结束于另一个通道。

注 2: 电压暂降的包络曲线并不一定是矩形,对于一个给定的电压暂降,测量的持续时间取决于暂降阈值。一般使用多个暂降阈值(在电压暂降和电压中断阈值范围内设定)来估计电压暂降的包络曲线。

注 3: 迟滞电压通常为 U_{din} 的 2%。

注 4: 在故障检修或统计分析中的应用,暂降阈值通常为固定参考电压的 85%~90%。

注 5: 残余电压通常对终端用户有用,同时因为残余电压是参考零电位,所以可能被优先加以利用。相比之下,深度通常对电气供应方有用,尤其是高压系统或者当使用滑动参考电压时。

注 6: 在电压暂降过程中可能会出现相位跳变,相位跳变检测算法参考附录 B。

注 7: 滑动参考电压的计算:

滑动参考电压是可选择的,不作要求。如果滑动参考电压用于检测电压暂降,能够采用时间常量为 1 min 的一阶滤波器计算滑动参考电压。滤波器计算公式(8)如下:

$$U_{\text{sr}(n)} = 0.9967 \times U_{\text{sr}(n-1)} + 0.0033 \times U_{(10)\text{rms}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$U_{\text{sr}(n)}$ ——滑动参考电压的当前值;

$U_{\text{sr}(n-1)}$ ——滑动参考电压的前一个值;

$U_{(10)\text{rms}}$ ——最近一个 10 周波的 r.m.s. 值。

测量开始时,滑动参考电压的初始值设置为公称输入电压。滑动参考电压值每 10 个周波更新一次。如果某

10 周波带有标记,则滑动参考电压值不会更新,仍使用滑动参考电压的前一个值。

5.3.3 短时中断

短时中断的特征参数包括残余电压(U_{res})或深度、持续时间等。残余电压取短时中断过程中任一相上测得的最低 U_{rms} 值。短时中断的开始时间应为记录启动事件通道的 U_{rms} 值的结束时间,短时中断的终止时间应为记录中断过程结束 U_{rms} 值的结束时间, U_{rms} 值由阈值和迟滞电压之和决定。迟滞电压大小可由用户根据用途设定。短时中断的持续时间取从电压中断起始到结束的时间差。

注:在多相系统中,其中一个或多个相电压的中断对于连接到该系统的单相用户来说意味着一次短时中断,即使这种情况并不能归为多相系统的短时中断。

6 电压暂升、电压暂降与短时中断的监测

6.1 监测仪器的分类

监测仪器根据性能不同分为两类,分别定义如下:

A 级性能——符合 GB/T 17626.30 中 A 级测量方法和不确定度要求,能精确测量电压暂升、电压暂降与短时中断的幅值、持续时间、相位跳变等特征参数,每个测量通道均能测量每半周波刷新电压方均根值 [$U_{rms(1/2)}$]。该级仪器适用于进行精确测量的场合,例如标准符合性检查、解决争议、电能质量合同仲裁等;

S 级性能——符合 GB/T 17626.30 中 S 级测量方法和不确定度要求,能够测量电压暂升、电压暂降与短时中断的幅值、持续时间等特征参数,每个测量通道均能测量每半周波刷新电压方均根值 [$U_{rms(1/2)}$]或每周波刷新电压方均根值 [$U_{rms(1)}$]。该级仪器适用于电能质量调查统计、排除故障以及其他不需要较高精确度的应用场合。

应根据具体应用场合来选择合适的仪器性能等级。

6.2 监测仪器技术要求

6.2.1 基本功能

6.2.1.1 监测功能

仪器应能通过电压测量进行电压暂升、电压暂降或短时中断事件的实时监测,获得电压暂升幅值、残余电压、持续时间等特征参数。

6.2.1.2 波形记录功能

仪器的事件波形记录应能还原记录时间段内的电压瞬时波形变化的过程,应包括事件发生前至少 5 个周波与事件结束后至少 20 个周波的波形。A 级性能仪器具有记录长度不少于 1 s 的事件波形记录功能,S 级性能仪器具有记录长度不少于 0.5 s 的事件波形记录功能。

6.2.1.3 其他功能

仪器的显示、通讯接口、权限管理、参数配置、对时、存储和统计功能应满足 GB/T 19862 的要求,并具备阈值设置功能。

6.2.2 仪器准确度

A 级性能仪器的电压幅值测量误差不应超过公称输入电压的 $\pm 0.2\%$;S 级性能仪器的电压幅值测量误差不应超过公称输入电压的 $\pm 1.0\%$ 。

A 级性能仪器的持续时间测量误差不应超过 ± 1 个周波；S 级性能仪器的持续时间测量误差不应超过 ± 2 个周波。

A 级性能仪器的相位跳变测量误差不应超过 $\pm 1^\circ$ 。

6.2.3 电气性能要求、正常使用条件、外壳、机械性能、安全性能、电磁兼容性(EMC)

仪器应满足 GB/T 19862 要求。

6.3 监测要求

根据需要选择监测点装设在线监测装置对电压暂升、电压暂降与短时中断进行连续监测。

监测记录内容应包括各相事件特征参数、发生时刻、监测点等,并按照 4.1 中表 1 和表 2 要求进行事件统计。

7 电压暂升、电压暂降与短时中断的评估

7.1 通则

电压暂升、电压暂降与短时中断的评估分为单测点指标和系统指标评估。根据评估任务的来源和目的确定评估对象与范围,分析指标结果、形成评估报告。必要时,应提出相应的改善措施建议。

7.2 单测点指标评估

单测点指标用于表征某一特定节点在一定时间(典型值为一年)内发生电压暂升、电压暂降或短时中断等事件的总体特性,包括 SARFI 指标、严重度指标、频次指标及能量指标,按照 4.2 推荐指标的计算方法进行评估。单测点指标可用于敏感设备和供电电源之间的兼容性评估,也可为敏感负荷安装地点的选择提供帮助,并可为当地用户提供该节点的电压质量状况。在实际工作中,也可通过暂降域的准确识别来为敏感负荷的选点提供参考依据,暂降域的计算方法见附录 C。

7.3 系统指标评估

系统指标用于表征整个或某区域电网在一定时间内发生电压暂升、电压暂降或短时中断等事件的总体特性,应采用全部监测点的节点指标计算系统的推荐指标,在进行节点指标计算后,对于表 1 及表 2 的形式可考虑将监测点的节点指标累计求算术平均值或 95% 概率大值来计算区域电网系统指标。系统指标需要更长的监测周期(至少 1 年),可用于评估区域电网的电能质量状况。

附录 A
(资料性)
电压容限曲线

20 世纪 80 年代,美国计算机商业设备制造者协会(Computer Business Equipment Manufacturing Association—CBEMA, 现已改称 Information Technology Industry Council—ITIC 信息技术工业协会)基于大型计算机对电能质量的要求,提出了电压允许的 CBEMA 曲线(如图 A.1 所示),以防止电压扰动造成计算机及其控制装置误动和损坏。该曲线是根据大型计算机的实验数据和历史数据绘制的。对于其他敏感负荷的 CBEMA 曲线,可参照该曲线并根据实际情况制定。CBEMA 改称信息技术工业协会后,其所属的第三技术委员会对 CBEMA 曲线进行了修订后称其为 ITIC 曲线,如图 A.2 所示。ITIC 曲线仍沿用 CBEMA 的基本概念,即包络线内的电压为合格电压,而包络线外的电压为不合格电压。但与 CBEMA 曲线相比,ITIC 曲线的包络线进行了修订,将光滑曲线改为折线,使电压幅值与持续时间有明确的对应关系;稳态电压容限从 106% 和 87% 改为 110% 和 90%;下包络线的起始时间从 8.33 ms 改为 20 ms(超过 60 Hz 系统的一个周波),表明计算机元件的断电耐受水平有了提高;横坐标既标明秒的单位,又标明 60 Hz 系统的周波(图 A.2 中的 c 是周波(cycle)的简写,1c 表示 1 个周波)单位,更具实用性。

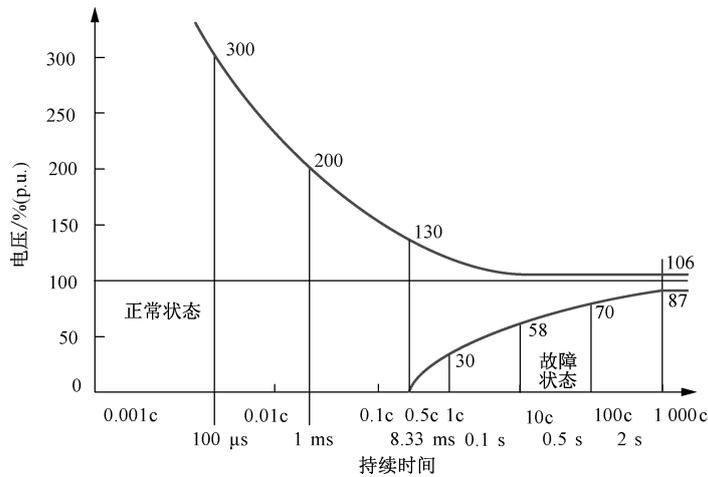


图 A.1 CBEMA 曲线

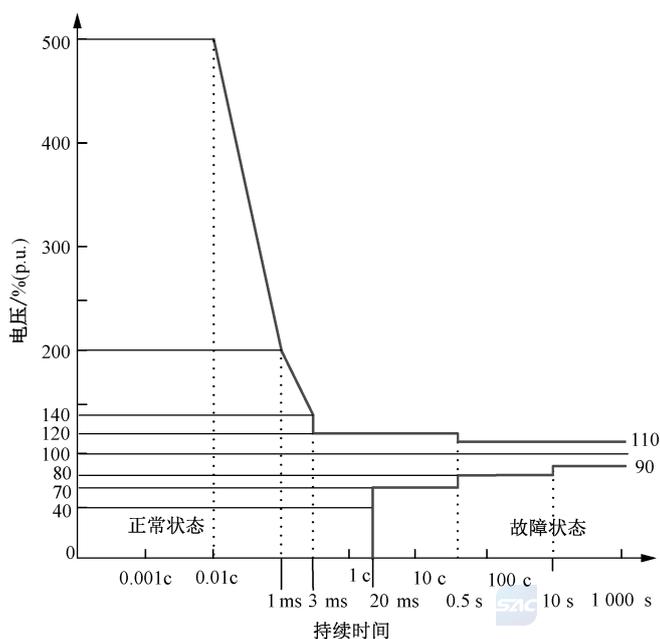


图 A.2 ITIC 曲线

国际半导体产业协会的 SEMI F47-0706 是半导体加工设备的电压暂降抗扰力规范,定义了半导体加工、度量、自动化测试设备的电压暂降抗扰力(见表 A.1 和图 A.3);规定了电压暂降幅值在 50%、70%、80%时,设备应具有的耐受时间。

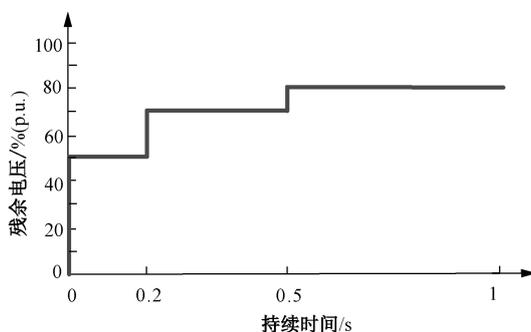


图 A.3 SEMI F47 曲线

表 A.1 SEMI F47 电压暂降持续时间和承受值

残余电压	持续时间(周波)		持续时间/ms
	周波 60 Hz	周波 50 Hz	
50%	12	10	200
70%	30	25	500
80%	60	50	1 000

附录 B

(资料性)

电压暂降起始角与相位跳变检测

B.1 电压暂降起始角的检测

电压暂降起始角检测算法见公式(B.1)：

$$\alpha = \frac{\Delta n}{N} \times 360^\circ \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- α ——电压暂降起始角；
- Δn ——暂降起始点前最后一个向上过零点到暂降起始点之间的采样点数；
- N ——每周波采样点数。

B.2 相位跳变的检测

本文件提供的相位跳变检测方法，是一种针对电压暂降录波数据的离线处理方法，适用于持续时间长于 1 周波的、由故障引起的电压暂降事件。

设 $v(n)$ 为采集的单相电压波形信号，将 $v(n)$ 进行离散傅里叶变换得到向量形式的基波电压信号 $\bar{V}_1(k)$ ，如公式(B.2)所示。

$$\bar{V}_1(k) = \sum_{n=k}^{N-1+k} v(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}n} = |\bar{V}_1(k)| e^{j\theta_1(k)} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- j ——虚数单位；
- N ——每周波采样点数，窗口宽度为 1 周波；
- k ——离散傅里叶变换的次数， $k=1,2,3,\dots$ ；
- $\theta_1(k)$ ——逐采样点滑动的第 k 次 DFT 变换后得到的基波电压初相角；
- $\bar{V}_1(k)$ ——逐采样点滑动的第 k 次 DFT 变换后得到的基波电压向量。

则电压暂降期间的任意一点 k_2 的相位跳变可由公式(B.3)计算：

$$\theta(k_2) = \left[\theta_1(k_2) - \theta_1(k_0) - (k_2 - k_0) \frac{360}{N} \right] \bmod 360 \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

- N ——每周波采样点数；
- k_0 ——暂降前任意一个采样点序号， $k_0 < k_{\text{start}} - N$ ， k_{start} 为暂降起始点序号；
- k_2 ——暂降过程中任意一个采样点序号， $k_2 > k_{\text{start}} + N$ 。

式中 mod 为取余运算符，表示第一项被除数与第二项除数 360 的余数；若相位角用弧度表示，可将式中的 360 替换为 2π 。

在一次电压暂降事件中，某一相电压的相位跳变值 θ_{event} 应取该相暂降持续时间内所有采样点计算的相位跳变绝对值的最大值，如公式(B.4)所示。

$$\theta_{\text{event}} = \text{argmax} |\theta(k_2)| \dots\dots\dots (B.4)$$

对于三相系统，相位跳变值应针对各相电压分别检测和计算。相位跳变示意图如图 B.1 所示。

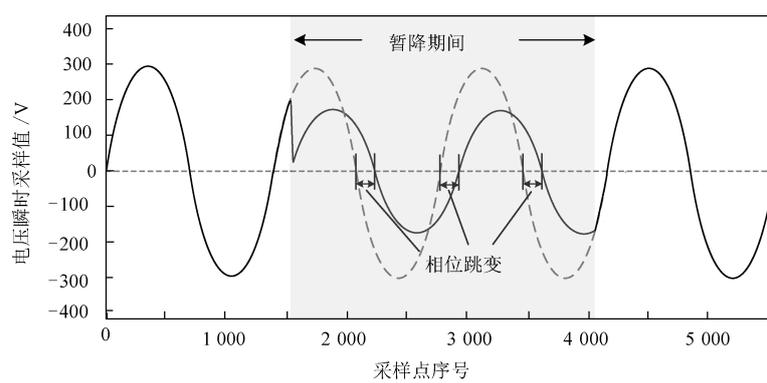


图 B.1 相位跳变示意图

附 录 C
(资料性)
临界距离与暂降域

C.1 临界距离

C.1.1 辐射状配电系统的电压暂降幅值与临界距离

对于辐射状系统,可用图 C.1 所示的电压分配器电路描述。忽略负荷电流,并假设电源电压 $E = 1 \text{ p.u.}$,则故障引起的 PCC 亦即负荷端的电压暂降幅值为公式(C.1):

$$U_{\text{res}}^* = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S} \quad \dots\dots\dots(\text{C.1})$$

式中:

- U_{res}^* —— 残余电压标么值;
- Z_F —— 故障点与 PCC 之间的线路阻抗,单位为欧姆(Ω);
- Z_S —— PCC 与电源之间的系统阻抗,单位为欧姆(Ω)。

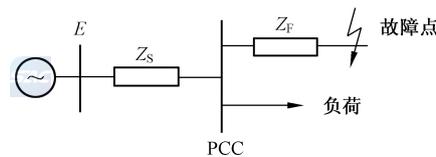


图 C.1 电压暂降的电压分配器模型

令 $Z_F = zl$, l 为故障点与 PCC 之间的距离, z 为单位长度线路阻抗,则得公式(C.2):

$$U_{\text{res}}^* = \frac{zl}{zl + Z_S} \quad \dots\dots\dots(\text{C.2})$$

定义 PCC 电压降低到临界电压 U 时,故障点与 PCC 之间的距离为临界距离。假设线路阻抗与系统阻抗的 X/R 值相等,则由公式(C.2)可得临界距离 l_{crit} 的计算公式(C.3)

$$l_{\text{crit}} = \frac{Z_S}{z} \times \frac{U}{1 - U} \quad \dots\dots\dots(\text{C.3})$$

在临界距离 l_{crit} 内发生的相关故障将使 PCC 的敏感性负荷非正常工作。

严格地说,上式仅适用于单相系统。对于三相系统的三相故障,如果 Z_S 和 z 采用正序阻抗,上式仍可使用;对于单相故障, Z_S 和 z 应采用正序、负序和零序阻抗之和,式中电压 U 为故障相的相对地电压;对于两相故障, Z_S 和 z 应采用正序和负序阻抗之和,式中电压 U 为故障相之间的电压。

当系统与线路的阻抗均为复数时,故障引起的 PCC 亦即负荷端的电压暂降幅值为公式(C.4):

$$\dot{U}_{\text{res}} = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S} \quad \dots\dots\dots(\text{C.4})$$

式中:

- Z_S —— PCC 的系统阻抗, $Z_S = R_S + jX_S$;
- Z_F —— 故障点与 PCC 点之间的线路阻抗, $Z_F = zl$;
- 其中 l 为故障点与 PCC 点之间的距离, $\dot{z} = r + jx$ 为单位长度线路阻抗。
- 可证明复阻抗时的临界距离 l_{crit} 为公式(C.5):

$$l_{\text{crit}} = \frac{Z_s}{z} \times \frac{U}{1-U} \left(\frac{U \cos \alpha + \sqrt{1-U^2 \sin^2 \alpha}}{U+1} \right) \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

$Z_s = |R_s + jX_s|, z = |r + jx|$ ；

α ——系统阻抗与线路阻抗在复平面上的夹角，即阻抗角，见公式(C.6)：

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left(\frac{X_s}{R_s} \right) - \text{tg}^{-1} \left(\frac{x}{r} \right) \dots\dots\dots (C.6)$$

假设系统和线路的 $\frac{X}{R}$ 值相等，则 $\alpha = 0$ ，式(C.5)可简化为公式(C.3)。尽管上述假设并不总是成立，但在多数情况下，用公式(C.3)计算即可得到较满意的结果，特别是在没有足够数据计算阻抗角的情况下。

在阻抗角较大时，按下公式(C.7)进行计算，即可得到临界距离的较精确的结果。

$$l_{\text{crit}} = \frac{Z_s}{z} \times \frac{U}{1-U} [1 - U(1 - \cos \alpha)] \dots\dots\dots (C.7)$$

C.1.2 非辐射状配电系统的电压暂降幅值与临界距离

将前面所讨论的电压暂降幅值与临界距离的方法应用于非辐射状系统时，需进行一些修正。例如，带有负荷端自供电电源的供电系统的等值电路如图 C.2 所示，图中 Z_1 为 PCC 的系统阻抗， Z_2 为故障点与 PCC 点之间的阻抗， Z_3 为 PCC 和自供电电源母线间的阻抗， Z_4 为自供电电源的暂态电抗，则负荷端的暂降电压幅值由公式(C.8)确定：

$$1 - U_{\text{res}}^* = \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} (1 - U_{\text{pcc}}) \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：

U_{pcc} —— PCC 电压幅值标么值。

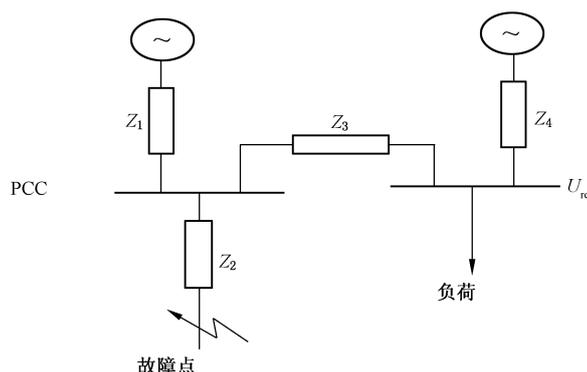


图 C.2 有负荷端自供电电源的供电系统的等值电路

忽略负荷电流，并假设两个发电机的端电压相同，可得 PCC 电压为公式(C.9)：

$$U_{\text{PCC}} = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_1 \times \frac{Z_3 + Z_4}{Z_1 + Z_3 + Z_4}} \dots\dots\dots (C.9)$$

因此有公式(C.10)：

$$U_{\text{res}}^* = 1 - \frac{Z_1 Z_4}{Z_2(Z_1 + Z_3 + Z_4) + Z_1(Z_3 + Z_4)} \dots\dots\dots (C.10)$$

令 $Z_2 = z \times l$, 临界电压为 U , 可得临界距离为公式(C.11):

$$l_{\text{crit}} = \frac{Z_1}{z(Z_1 + Z_3 + Z_4)} \left(Z_4 \frac{U}{1-U} - Z_3 \right) \dots\dots\dots (C.11)$$

又如, 图 C.3 所示为同一电源、两个回路的供电系统。采用该系统结构可使电压短时中断发生的次数大大减少, 但通常却会使发生较严重电压暂降的次数增加。

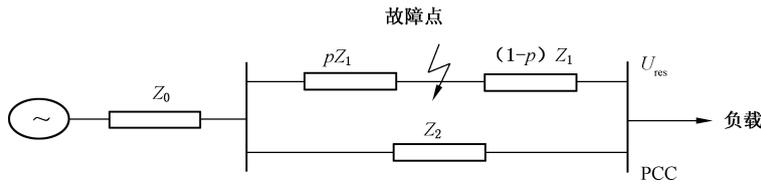


图 C.3 双回路供电系统等值电路

假设 Z_1 和 Z_2 为两条线路的阻抗, Z_0 为系统阻抗, 线路 1 在距电源 p 处发生故障, 则负荷母线暂降电压由公式(C.12)决定。

$$U_{\text{res}}^* = \frac{p(1-p)Z_1^2}{Z_0(Z_1 + Z_2) + pZ_1Z_2 + p(1-p)Z_1^2} \dots\dots\dots (C.12)$$

当 $p=0$ 或 $p=1$ 时, 电压暂降幅值为 0。通过合理的假设, 也可对临界距离进行描述。

C.2 暂降域

C.2.1 用临界距离计算暂降域

用临界距离计算方法确定暂降域, 就是将敏感负荷所在母线的的所有馈电线上与设定临界电压对应的各临界距离点连接起来, 得到与所设定临界电压相对应的暂降域。图 C.4 以可靠性测试系统 IEEE RBTS 的 Bus4 母线为例, 给出了临界电压分别为额定电压的 30%、50%、70%、80%和 90%时所对应的暂降域, 图中 Bus1~Bus5 为母线, L1~L9 为各母线间的联络线。

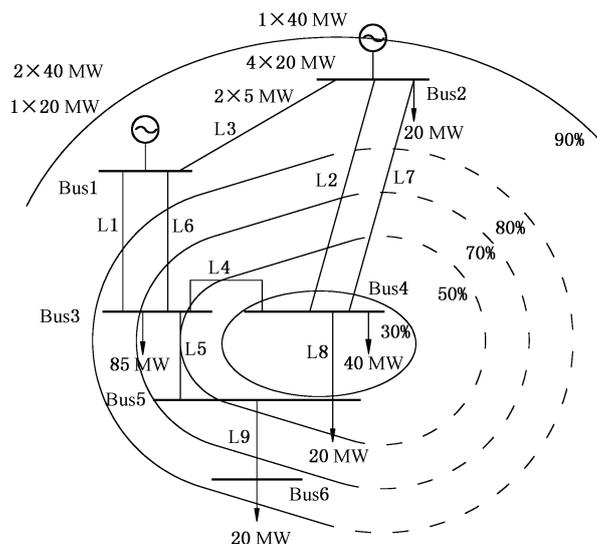


图 C.4 IEEE RBTS 的 Bus4 母线暂降域示意图

C.2.2 故障点法分析暂降域

采用临界距离方法确定暂降域,具有计算简单的优点。该方法的缺陷是,仅考虑了暂降幅值的影响,而未考虑暂降持续时间等特征量对暂降域的影响。计及其他特征量的影响,可考虑采用暂降域分析的故障点法。在已知系统结构的情况下,该方法首先通过分析各种可能发生的故障对敏感负荷所产生的电压暂降影响,将系统粗略地划分为若干部分,具有相同暂降特征的为同一部分,各部分由一个故障点代表;然后对各种故障进行仿真或短路计算,得到暂降幅值、相位跳变和持续时间等特征量;再由各特征量准确地判断可能带给所关心负荷不良影响的故障所在区域,即暂降域。

参 考 文 献

- [1] GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容(IDT IEC 60050(161):1990)
- [2] GB/T 17626.11—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降 短时中断和电压变化的抗扰度试验(IDT IEC 61000-4-11:2004)
- [3] GB/T 17626.29—2006 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验(IDT IEC 61000-4-29:2000)
- [4] GB/Z 18039.1—2000 电磁兼容 环境 电磁环境的分类(IDT IEC 61000-2-5:1996)
- [5] GB/T 39269—2020 电压暂降/短时中断 低压设备耐受特性测试方法
- [6] GB/T 39270—2020 电压暂降指标与严重程度评估方法
- [7] IEC 60050 International electrotechnical vocabulary
- [8] IEC 61000-2-8:2002 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 2-8: Environment — Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results
- [9] IEC 61000-4-30:2021 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 4-30: Testing and measurement techniques-Power quality measurement methods
- [10] IEC 61000-4-34:2005 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-34: Testing and measurement techniques-Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase
- [11] IEEE Std 1159TM—2009 IEEE recommended practice for monitoring electric power quality
- [12] IEEE Std 1346—1998 IEEE recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment
- [13] IEEE Std 1366—2003 IEEE guide for electric power distribution reliability indices
- [14] Ying Wang, Math Bollen and Xian-Yong Xiao. Calculation of the Phase-Angle-Jump for Voltage dips in three-phase systems [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2015, 30 (1): 480-487.
- [15] SEMI F47-0706 Specification for semiconductor processing equipment voltage sag immunity

