ICS 29.020
K 04

中华人民共和国国家标准

GB/T 39270—2020

电压暂降指标与严重程度评估方法

Voltage dip indices and severity assessment method

2020-11-19 发布 2021-06-01 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 …… Ⅰ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　电压暂降单次事件指标 …… 2
4.1　概述 …… 2
4.2　能量指标 …… 2
4.3　暂降严重性指标 …… 3
5　电压暂降节点指标 …… 3
5.1　概述 …… 3
5.2　节点暂降频次 …… 3
5.3　节点 SARFI 指标 …… 3
5.4　节点能量指标 …… 3
5.5　节点暂降严重性指标 …… 4
6　电压暂降系统指标 …… 4
6.1　概述 …… 4
6.2　系统暂降频次 …… 5
6.3　系统 SARFI 指标 …… 5
6.4　系统能量指标 …… 5
6.5　系统暂降严重性指标 …… 5
7　电压暂降严重程度评估方法 …… 5
7.1　电压暂降严重程度评估步骤 …… 5
7.2　单次事件暂降严重程度评估方法 …… 5
7.3　节点暂降严重程度评估方法 …… 6
7.4　系统暂降严重程度评估方法 …… 6
附录 A（规范性附录）　考虑敏感设备耐受曲线不确定区域的电压暂降指标计算与严重程度评估方法 …… 8
附录 B（资料性附录）　基于能量指标的电压暂降严重程度分级基准参考值计算方法及示例 …… 10
附录 C（资料性附录）　电压暂降严重性指标计算示例 …… 14
参考文献 …… 15

库七七 www.kqqw.com 提供下载

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准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。

本标准起草单位:广东电网有限责任公司广州供电局电力试验研究院、华北电力大学、中机生产力促进中心、华南理工大学、四川大学、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、华北电力科学研究院有限责任公司、广东电网有限责任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、国网河南省电力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、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、全球能源互联网研究院有限公司、南京灿能电力自动化股份有限公司、中冶京诚工程技术有限公司、西安博宇电气有限公司、深圳市中电电力技术股份有限公司、武汉大学、南方电网科学研究院有限责任公司、国网上海市电力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、国网北京市电力公司电力科学研究院、安徽南瑞继远电网技术有限公司、国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院。

本标准主要起草人:莫文雄、徐永海、马智远、许中、张苹、肖先勇、钟庆、栾乐、吴丹岳、蔡维、马明、陈卫东、李琼林、王金浩、袁晓冬、刘颖英、姚东方、刘广文、刘军成、王昕、孙建军、丁泽俊、潘玲、郭成、贾东强、王皓、何宇。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

电压暂降指标与严重程度评估方法

1 范围

本标准规定了电压暂降指标(包括单次事件指标、节点指标、系统指标)的内涵、计算方法与严重程度评估方法。

本标准适用于交流 50 Hz 电力系统。本标准中的指标计算与严重程度评估方法同样适用于短时中断事件。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 30137—2013 电能质量 电压暂降与短时中断

GB/T 32507—2016 电能质量 术语

3 术语和定义

GB/T 30137—2013 和 GB/T 32507—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 30137—2013 和 GB/T 32507—2016 的某些术语和定义。

3.1

电压暂降 voltage dip (sag)

电力系统中某点工频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。

[GB/T 30137—2013,定义 3.1]

3.2

短时中断 short interruption

电力系统中某点工频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。

[GB/T 30137—2013,定义 3.2]

3.3

电压暂降(短时中断)阈值 voltage dip (short interruption) threshold

用于判断电压暂降(短时中断)开始和结束而设定的电压门槛值。

[GB/T 30137—2013,定义 3.3]

3.4

电压暂降(短时中断)持续时间 duration of a voltage dip (short interruption)

达到电压暂降(短时中断)阈值的电压暂降(短时中断)事件的持续时间。

[GB/T 30137—2013,定义 3.4]

3.5

暂降(短时中断)频次 voltage dip (short interruption) frequency

一定时间内电压暂降(短时中断)发生的次数。

[GB/T 30137—2013,定义 3.6]

库七七 www.kqqw.com 提供下载

3.6

残余电压　residual voltage

U_{res}

电压暂降或者短时中断过程中记录的电压方均根值的最小值。

[GB/T 30137—2013,定义 3.9]

3.7

系统平均方均根值变动频率指标(SARFI 指标)　system average RMS frequency index

发生电压暂降(短时中断)事件次数的平均值。

注 1:是用来反映特定时间内某系统或某单一测点电压暂降(短时中断)发生频度的主要量化指标。

注 2:改写 GB/T 30137—2013,定义 3.11。

3.8

电压暂降耐受[特]性　voltage dip immunity

电气设备在其供电电源发生电压暂降时仍能保持正常工作的能力。

注:改写 GB/T 32507—2016,定义 2.8.22。

3.9

电压暂降单次事件指标　single-event index of voltage dip

表征某一特定节点单次电压暂降事件特性的指标。

3.10

电压暂降节点指标　site index of voltage dip

表征一定时间内某一特定节点电压暂降事件的总体特性的指标。

3.11

电压暂降系统指标　system index of voltage dip

表征一定时间内整个或某区域电网电压暂降事件的总体特性的指标。

3.12

电压暂降严重程度评估　voltage dip severity assessment

通过选择相应的指标并采用适当的方法,做出的电压暂降对敏感设备、生产过程或供电电源等影响程度的评价。

4　电压暂降单次事件指标

4.1　概述

电压暂降单次事件指标基于电压暂降单次事件的特征参数得到,或将单次事件特征参数与敏感设备耐受曲线相比较得到。指标包括电压暂降事件能量指标和严重性指标。

单次电压暂降事件电压方均根值、残余电压与持续时间依据 GB/T 30137—2013 计算得到。

4.2　能量指标

单次电压暂降事件的能量指标 E_{VS} 如式(1)所示:

$$E_{VS}=\int_0^T\left[1-\left(\frac{U(t)}{U_n}\right)^2\right]\mathrm{d}t \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中:

$U(t)$——暂降过程中的电压方均根值曲线,单位为伏(V);

U_n　——标称电压,单位为伏(V);

T　——暂降持续时间,单位为毫秒(ms)。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

4.3 暂降严重性指标

结合设备耐受曲线进行电压暂降严重性指标计算。单次事件电压暂降严重性指标 S_e 定义如式(2)所示：

$$S_e = \frac{1 - U_{res}^*}{1 - U_{curve}(T)} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：

U_{res}^* ——残余电压标幺值；

$U_{curve}(T)$——设备耐受曲线上对应持续时间 T 的暂降事件残余电压标幺值。

设备耐受曲线存在不确定区域时，可采用附录 A 的式(A.1)、式(A.2)和式(A.3)给出的指标进行单次事件指标计算。

5 电压暂降节点指标

5.1 概述

电压暂降节点指标基于一定时间内的所有单次电压暂降事件的特征参数得到，一定时间通常是一个月或一年。指标包括节点暂降频次、节点 SARFI 指标、节点能量指标以及节点暂降严重性指标。

5.2 节点暂降频次

节点暂降频次用来统计节点在一定时间内相应残余电压和持续时间的电压暂降发生次数，根据 GB/T 30137—2013 中的电压暂降与短时中断事件统计表得出。

5.3 节点 SARFI 指标

SARFI 指标用来描述一定时间内(例如一月或一年)某“系统”电压暂降(短时中断)事件的发生频度。其中，“系统”既可表示单个节点，亦可表示单一用户、单条馈线、单个变电站、多个变电站甚至整个供电系统。在本条 SARFI 指标表示单个节点指标，在第 6 章 SARFI 指标表示系统指标。

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耐受曲线的统计指标 $SARFI_{CURVE}$。两种形式的指标根据 GB/T 30137—2013 中的方法计算。

5.4 节点能量指标

节点暂降能量指标包括两种形式：一种是针对所有暂降事件的总暂降能量指标 SEI(Sag Energy Index)，另一种是以平均值表示的平均暂降能量指标 ASEI(Average Sag Energy Index)。

节点总暂降能量指标(SEI)是指一定时间内某一节点发生的所有暂降事件的暂降能量计算结果之和，节点平均暂降能量指标(ASEI)是节点总暂降能量指标(SEI)的平均值，分别如式(3)和式(4)所示：

$$\mathrm{SEI} = \sum_{i=1}^{n} E_{VS_i} \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

i ——暂降事件序号；

n ——一定时间内某一节点电压暂降事件的数量；

E_{VS_i}——第 i 次电压暂降的能量指标，由式(1)确定。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

$$\mathrm{ASEI}=\frac{1}{n}\mathrm{SEI} \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：

n——一定时间内某一节点电压暂降事件的数量。

5.5 节点暂降严重性指标

节点暂降严重性指标包括两种形式：一种是针对所有暂降事件的总暂降严重性指标 S_{site}，另一种是以平均值表示的平均暂降严重性指标 S_{average}。

节点总暂降严重性指标(S_{site})是指一定时间内某一节点发生的所有暂降事件的暂降严重性计算结果之和，节点平均暂降严重性指标(S_{average})是节点总暂降严重性指标(S_{site})的平均值，分别如式(5)和式(6)所示：

$$S_{\mathrm{site}}=\sum_{i=1}^{n}S_{\mathrm{e}-i} \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：

i ——暂降事件序号；

n ——一定时间内某一节点电压暂降事件的数量；

$S_{\mathrm{e}-i}$——第 i 次电压暂降的严重性，由式(2)确定。

$$S_{\mathrm{average}}=\frac{S_{\mathrm{site}}}{n} \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中：

n——一定时间内某一节点电压暂降事件的数量。

设备耐受曲线存在不确定区域时，可采用附录 A 的式(A.4)和式(A.5)给出的指标进行节点指标计算。

6 电压暂降系统指标

6.1 概述

电压暂降系统指标基于一定时间内整个或某区域电网的多个节点指标得到，一定时间通常是一个月或一年。指标包括系统暂降统计频次、系统 SARFI 指标、系统能量指标以及系统暂降严重性指标。

电压暂降系统指标可采用以下两种方法计算：

a) 加权平均值法。通过对各电压暂降节点指标的加权平均，确定电压暂降系统指标 S_{system}。

$$S_{\mathrm{system}}=\frac{1}{N_s}\sum_{s=1}^{N_s}n_sM_s \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：

s ——节点序号；

N_s——一定时间内所评估系统中电压暂降监测节点数量；

M_s——第 s 个节点的电压暂降指标值；

n_s ——第 s 个节点电压暂降指标值的加权因子。

各节点指标加权因子可根据节点所连接用户数以及用户中设备对电压暂降的耐受特性适当选取。为了实用方便，通常采取对所有监测节点采用相同加权因子的算术平均方法确定电压暂降系统指标。

b) 95%概率大值法。取一定时间内所评估系统中所有电压暂降监测节点指标值的 95%概率大值，作为电压暂降系统指标。为了实用方便，监测节点指标值可按下述方法近似选取，将指标值按由大到小次序排列，舍弃前面 5%的大值，取剩余指标值中的最大值。以 95%概率大值计算时，需要有合理的监测节点数量，一般情况下至少需要 20 个监测节点。当系统中的监测节点数量为 10 个～20 个时，可采用 90%概率大值替代 95%概率大值；当监测节点数量少于 10 个时，应同时计算加权平均值和最大值。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

6.2 系统暂降频次

系统暂降频次由一定时间内相应节点暂降频次的平均值或者95%概率大值等计算得到。采用平均值时，可以考虑值的加权；采用95%概率大值时也可以考虑加权，但需监测节点达到一定的数量。

系统暂降频次统计与任何单个节点的统计不一定对应。对于单个节点，需要区间更小的细节信息来确定敏感设备与电源的兼容性；而对于系统评估，为便于进行逐年变化的分析，较大的区间范围可能更为合适，因此宜在形成系统暂降统计表格进行系统指标计算之前将节点统计表中的某些单元适当合并。

6.3 系统SARFI指标

系统SARFI指标由一定时间内相应节点SARFI指标的平均值或95%概率大值计算得到。

6.4 系统能量指标

系统能量指标由一定时间内相应节点能量指标的平均值或95%概率大值计算得到。

6.5 系统暂降严重性指标

系统电压暂降严重性指标由一定时间内相应节点暂降严重性指标的平均值或95%概率大值计算得到。

设备耐受曲线存在不确定区域时，可采用附录A的式(A.6)给出的指标进行系统指标计算。

7 电压暂降严重程度评估方法

7.1 电压暂降严重程度评估步骤

包含系统电压暂降严重程度评估的步骤如下：

a) 根据GB/T 30137—2013中残余电压与持续时间等电压暂降特征参数确定方法，计算电压暂降单次事件特征参数；

b) 基于电压暂降单次事件特征参数，进行单次事件指标计算与严重程度评估；

c) 基于一定时间内某一特定节点所有单次电压暂降事件的特征参数，进行节点指标计算与严重程度评估；

d) 基于一定时间内整个或某区域电网所有监测节点的节点指标，进行系统指标计算与严重程度评估。

若只进行单次事件电压暂降严重程度评估，只需按上述步骤a)、b)进行即可；若进行节点电压暂降严重程度评估，则需按上述步骤a)、b)、c)进行；若进行系统电压暂降严重程度评估，则需按上述步骤a)、b)、c)、d)进行。

设备耐受曲线存在不确定区域时，可采用附录A中A.2给出的方法进行电压暂降严重程度评估。

7.2 单次事件暂降严重程度评估方法

7.2.1 基于能量指标的暂降严重程度评估

根据4.2的能量指标进行计算。能量指标的计算结果越大，表明电压暂降事件越严重。基于能量指标的计算结果可定量评估单次事件之间的相对严重程度，但由于没有比较的基准，无法直观反映单次事件自身的严重程度。可基于长时间监测记录的大量暂降事件，确定严重程度分级基准参考值，进而进

库七七 www.kqqw.com 提供下载

行单次事件自身严重程度评估。推荐的分级基准参考值确定方法参见附录 B。基于能量指标的评估方法较适合用于电网侧电压暂降严重程度评估，以及无法用耐受曲线描述的用户侧电压暂降严重程度评估。

7.2.2 基于暂降严重性指标的暂降严重程度评估

根据 4.3 的暂降严重性指标进行计算。严重性指标将电压暂降事件与设备耐受曲线相比较，在耐受曲线上的电压暂降事件严重性指标值为 1，为设备正常与非正常运行的临界状态；耐受曲线之上的电压暂降事件严重性指标值小于 1，表明电压暂降事件不会引起设备的非正常运行；耐受曲线之下的电压暂降事件严重性指标值大于 1，表明电压暂降事件会引起设备的非正常运行。残余电压越低，持续时间越长，则暂降严重性指标值越大，暂降越严重。电压暂降严重性指标计算示例参见附录 C。基于暂降严重性指标的评估方法较适合用于用户侧具有明确设备耐受曲线场景的电压暂降严重程度评估。

7.3 节点暂降严重程度评估方法

7.3.1 基于节点暂降频次的暂降严重程度评估

根据 5.2 的节点暂降频次统计结果进行评估。暂降统计表格中的数值越大，表明一定时间内相应残余电压和持续时间的某节点暂降发生的次数越多；越靠近表格下方的暂降事件，残余电压越低；越靠近表格右方的暂降事件，持续时间越长。以低于某一残余电压且大于某一持续时间的暂降次数的多少，进行不同节点之间比较，次数越多的节点，表明其暂降越严重。

7.3.2 基于节点 SARFI 指标的暂降严重程度评估

根据 5.3 的节点 SARFI 指标进行计算。针对同一阈值电压的统计指标 $SARFI_X$ 越大，表明残余电压小于该阈值的电压暂降事件发生次数越多，电压暂降越严重。同理，针对某类敏感设备耐受曲线的统计指标 $SARFI_{CURVE}$ 越大，表明影响敏感设备的电压暂降事件发生次数越多，电压暂降越严重。

7.3.3 基于节点能量指标的暂降严重程度评估

根据 5.4 的节点能量指标进行计算。节点总暂降能量指标和平均暂降能量指标计算结果越大，暂降越严重。

7.3.4 基于节点暂降严重性指标的暂降严重程度评估

根据 5.5 的节点暂降严重性指标进行计算。节点总暂降严重性指标和平均暂降严重性指标计算结果越大，暂降越严重。

7.4 系统暂降严重程度评估方法

7.4.1 基于系统暂降频次的暂降严重程度评估

根据 6.2 的系统暂降频次统计结果进行评估。暂降统计表格中的数值越大，表明一定时间内相应残余电压和持续时间的某系统暂降发生的次数越多；越靠近表格下方的暂降事件，残余电压越低；越靠近表格右方的暂降事件，持续时间越长。以低于某一残余电压且大于某一持续时间的暂降次数的多少，作为系统电压暂降严重程度评估依据，也可以此为依据进行不同系统之间比较，次数越多的系统，表明其暂降越严重。

7.4.2 基于系统 SARFI 指标的暂降严重程度评估

根据 6.3 的系统 SARFI 指标进行计算。系统 SARFI 指标计算结果越大，暂降越严重。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

7.4.3 基于系统能量指标的暂降严重程度评估

根据 6.4 的系统能量指标进行计算。系统能量指标计算结果越大,暂降越严重。

7.4.4 基于系统暂降严重性指标的暂降严重程度评估

根据 6.5 的系统暂降严重性指标进行计算。系统暂降严重性指标计算结果越大,暂降越严重。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

附　录　A
（规范性附录）
考虑敏感设备耐受曲线不确定区域的电压暂降指标计算与严重程度评估方法

A.1　考虑敏感设备耐受曲线不确定区域的电压暂降指标

考虑不确定区域的敏感设备耐受曲线如图 A.1 所示。当设备用电电压出现电压暂降时，若残余电压低于 U_{min} 且持续时间大于 T_{max}，则设备处于非正常运行区域；若残余电压高于 U_{max} 或持续时间小于 T_{min}，则设备处于正常运行区域；正常运行区域与非正常运行区域之间为不确定区域。

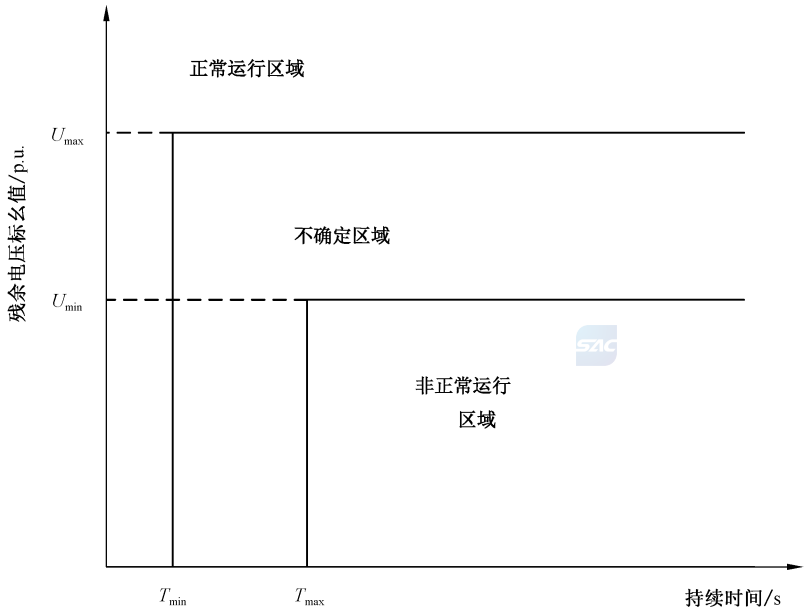


图 A.1　考虑不确定区域的敏感设备耐受曲线

电压暂降持续时间严重性指标 DSI(Duration Severity Index)、幅值严重性指标 MSI(Magnitude Severity Index)和综合严重性指标 MDSI(Magnitude Duration Severity Index)，考虑了不确定区域敏感设备电压暂降耐受性，如式(A.1)、式(A.2)、式(A.3)所示：

$$\mathrm{DSI}(T)=\begin{cases}0, & T<T_{min}\\ (T-T_{min})\times\left(\dfrac{100}{T_{max}-T_{min}}\right), & T_{min}\leqslant T\leqslant T_{max}\\ 100, & T>T_{max}\end{cases} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A.1})$$

$$\mathrm{MSI}(U_{res}^{*})=\begin{cases}0, & U_{res}^{*}>U_{max}\\ (U_{max}-U_{res}^{*})\times\left(\dfrac{100}{U_{max}-U_{min}}\right), & U_{min}\leqslant U_{res}^{*}\leqslant U_{max}\\ 100, & U_{res}^{*}<U_{min}\end{cases} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A.2})$$

$$\mathrm{MDSI}(U_{res}^{*},T)=\frac{\mathrm{MSI}(U_{res}^{*})\times\mathrm{DSI}(T)}{100} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A.3})$$

库七七 www.kqqw.com 提供下载

式中：

T ——暂降持续时间，单位为毫秒(ms)；

U_{res}^{*} ——残余电压标幺值；

T_{min} ——敏感设备出现不确定运行状况的电压暂降持续时间最小值；

T_{max} ——敏感设备出现非正常运行状况的电压暂降持续时间最小值；

U_{min} ——敏感设备耐受曲线中持续时间大于 T_{max} 时，不确定与非正常运行区域交界处的电压暂降残余电压标幺值；

U_{max} ——敏感设备耐受曲线中持续时间大于 T_{min} 时，正常运行与不确定区域交界处的电压暂降残余电压标幺值。

基于式(A.3)的综合严重性指标 MDSI，可进行节点暂降综合严重性指标计算，包括两种形式：一种是针对所有暂降事件的总暂降综合严重性指标 $MDSI_{site}$，另一种是以平均值表示的平均暂降综合严重性指标 $MDSI_{average}$。

节点总暂降综合严重性指标($MDSI_{site}$)是指一定时间内某一节点发生的所有暂降事件的暂降综合严重性指标计算结果之和，节点平均暂降综合严重性指标($MDSI_{average}$)是节点总暂降综合严重性指标($MDSI_{site}$)的平均值，分别如式(A.4)、式(A.5)所示：

$$MDSI_{site} = \sum_{i=1}^{n} MDSI\,(U_{res}^{*}, T)_i \qquad \cdots\cdots (A.4)$$

$$MDSI_{average} = \frac{1}{n} MDSI_{site} \qquad \cdots\cdots (A.5)$$

式中：

i ——暂降事件序号；

n ——一定时间内某一节点电压暂降事件的数量；

$MDSI(U_{res}^{*}, T)_i$ ——第 i 次电压暂降的综合严重性指标，由式(A.3)确定。

由一定时间内相应节点电压暂降综合严重性指标的平均值或 95%概率大值可计算得到系统电压暂降综合严重性指标。以平均值表示的系统电压暂降综合严重性指标的计算如式(A.6)所示：

$$MDSI_{system} = \frac{1}{N_s} \sum_{s=1}^{N_s} MDSI_{site_s} \qquad \cdots\cdots (A.6)$$

式中：

s ——节点序号；

N_s ——一定时间内所评估系统中电压暂降监测节点数量；

$MDSI_{site_s}$ ——第 s 个节点的总暂降综合严重性指标，由式(A.4)确定。

A.2 考虑敏感设备耐受曲线不确定区域的电压暂降严重程度评估方法

根据 A.1 进行暂降综合严重性指标、节点总暂降综合严重性指标、节点平均暂降综合严重性指标和系统暂降综合严重性指标计算。

暂降综合严重性指标取值在 0～100 间变化，其值为 0 时，表示暂降不严重，设备不会受到电压暂降事件的影响；为 100 时，表示暂降非常严重，电压暂降事件会引起设备的非正常运行；为 0 与 100 之间的值时，表示设备处于不确定区域，越接近于 0 表明暂降越不严重，越接近于 100 表明暂降越严重，可能会引起设备的非正常运行。

节点总暂降综合严重性指标和平均暂降综合严重性指标计算结果越大，暂降越严重。

系统暂降综合严重性指标计算结果越大，暂降越严重。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

附　录　B
（资料性附录）
基于能量指标的电压暂降严重程度分级基准参考值计算方法及示例

B.1　基于能量指标的电压暂降严重程度分级基准参考值计算方法

基于能量指标的电压暂降严重程度分级基准参考值计算方法流程图如图 B.1 所示。首先选取电网电压暂降事件，然后计算各次电压暂降事件的能量指标，建立能量指标概率密度函数，形成能量指标概率分布函数，最后通过概率密度分位数计算，确定电压暂降严重程度分级基准参考值。

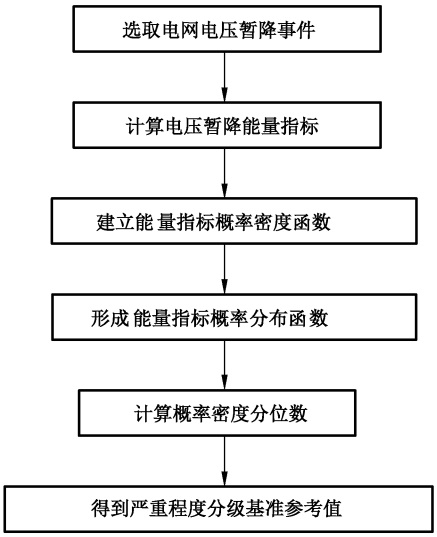


图 B.1　基于能量指标的电压暂降严重程度分级基准参考值计算方法流程图

其中建立能量指标概率密度函数的方法有多种，下面给出一种基于最大熵原理的最小二乘拟合概率密度函数方法作为示例。

首先构造满足最大熵原理的能量指标概率密度函数模型。

随机变量能量指标函数 E_{vs} 是连续分布，若随机变量 $e=E_{vs}$ 的概率密度函数为 $f(e)$，则其信息熵可定义为如式(B.1)所示：

$$H(e)=-\int f(e)\ln f(e)\mathrm{d}e \qquad \cdots\cdots(\mathrm{B.1})$$

满足最大熵原理的能量指标概率密度函数模型如式(B.2)所示：

$$\begin{aligned} &\max H(e)=-\int f(e)\ln f(e)\,\mathrm{d}e \\ &s.t.\quad \int e^k f(e)\,\mathrm{d}e=f_k \\ &\qquad\quad \int f(e)\,\mathrm{d}e=1 \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{B.2})$$

式中：

k ——系统典型特征值的序号，$k=0,1,2,\cdots m$，m 是矩的阶数；

f_k——随机变量 e 的第 k 阶原点矩，可由样本计算得出，并且 $f_0=1$。

其次，通过构造信息熵极大的拉格朗日函数，根据拉格朗日极值条件可以解出基于最大熵的能量概

库七七 www.kqqw.com 提供下载

率密度函数的解析形式如式(B.3)所示。

$$f(e)=\exp\left(\sum_{k=0}^{m}\lambda_k e^k\right) \qquad \cdots\cdots(\text{B.3})$$

式中：

λ_k——拉格朗日算子。

其中，拉格朗日系数可通过求解由极值条件转化的非线性方程组得到，非线性方程组如式(B.4)所示。

$$G_k(\lambda_0,\lambda_1,\cdots,\lambda_m)=\int e^k\exp\left(\sum_{k=0}^{m}\lambda_k e^k\right)\mathrm{d}e-f_k=0 \qquad \cdots\cdots(\text{B.4})$$

而实际处理中，直接求解非线性方程组很难找到符合实际分布的解，可根据实测数据，首先得到能量指标概率分布直方图，用非线性最小二乘法拟合寻找符合实际分布的参数。用基于分布直方图的曲线拟合方法得到概率密度函数，利用约束条件定义域内积分为1对参数 a 进行修正，概率密度函数的形式如式(B.5)所示：

$$f(e)=a\times\exp\left(\sum_{k=0}^{m}\lambda'_k e^k\right) \qquad \cdots\cdots(\text{B.5})$$

式中：

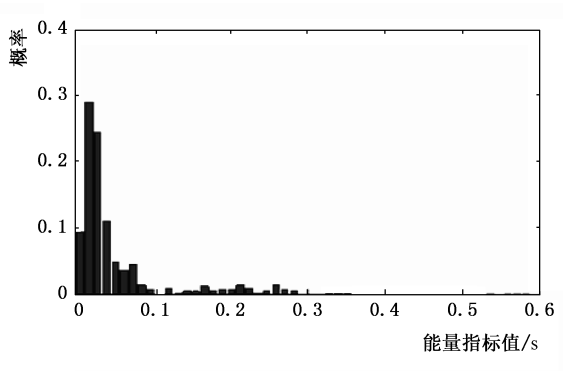
λ'_k——通过非线性最小二乘法拟合得到的参数。

然后在概率密度函数的基础上，求解概率分布函数。

最后在概率分布函数上选取适当的分位值如25%、50%、75%以及95%作为电压暂降严重程度分级基准参考值。

B.2 示例说明

以实际电网中发生的484次电压暂降事件的能量指标值 E_{VS} 作为样本数据，其分布直方图如图B.2所示，根据最大熵原理，求解得其概率分布函数如图B.3所示，函数参数值如表B.1所示。



图B.2 系统能量指标分布直方图

库七七 www.kqqw.com 提供下载

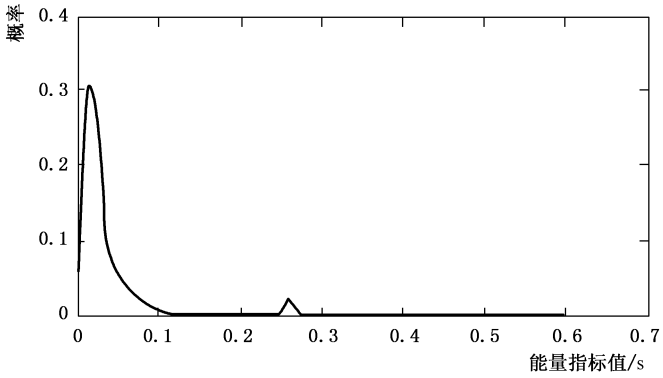


图 B.3　系统能量指标概率密度函数

表 B.1　概率密度函数参数

参数	a	λ_0	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
数值	9.94×10^{-1}	-2.85	2.46×10^{2}	-1.18×10^{4}	2.09×10^{5}	-1.73×10^{6}	6.43×10^{5}	-8.68×10^{6}

在概率密度函数的基础上，通过累积计算得到概率分布函数，如图 B.4 所示。

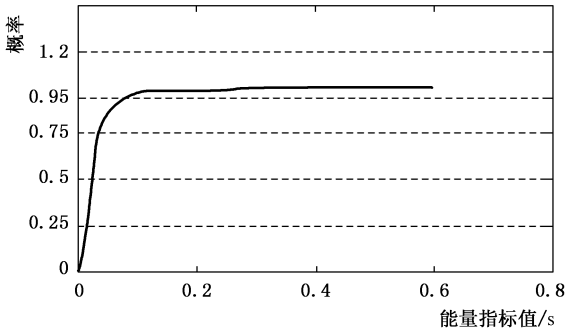


图 B.4　暂降能量指标分布函数

在曲线上分别取 CP95、CP75、CP50、CP25 分位值作为电压暂降严重程度分级的基准参考值，结果如表 B.2 所示。

表 B.2　电压暂降严重程度分级基准参考值

CP95	CP75	CP50	CP25
0.241 0	0.046 2	0.024 9	0.015 1

表 B.2 中 CP95 代表电网中 95%的暂降事件的严重程度会低于该值，只有 5%的暂降事件的严重程度会高于该值，它代表了暂降严重程度的很高水平；CP75 代表电网中 75%的暂降事件的严重程度会低

库七七 www.kqqw.com 提供下载

于该值，以此类推。基于评估基准参考值建立暂降严重程度评估参考等级，如表 B.3 所示，利用分级评估参考等级能够有效评估电压暂降事件的严重程度，反映供电电能质量的优劣。

表 B.3　暂降严重程度评估参考等级

指标值	E_{VS}>CP95	CP75<E_{VS}≤CP95	CP50<E_{VS}≤CP75	CP25<E_{VS}≤CP50	E_{VS}≤CP25
评估等级	特别严重	严重	比较严重	中等	缓和

库七七 www.kqqw.com 提供下载

附　录　C
（资料性附录）
电压暂降严重性指标计算示例

电压暂降严重性指标应依据实际设备耐受曲线计算。图 C.1 以某一设备耐受曲线为例，给出了电压暂降严重性指标计算示例。

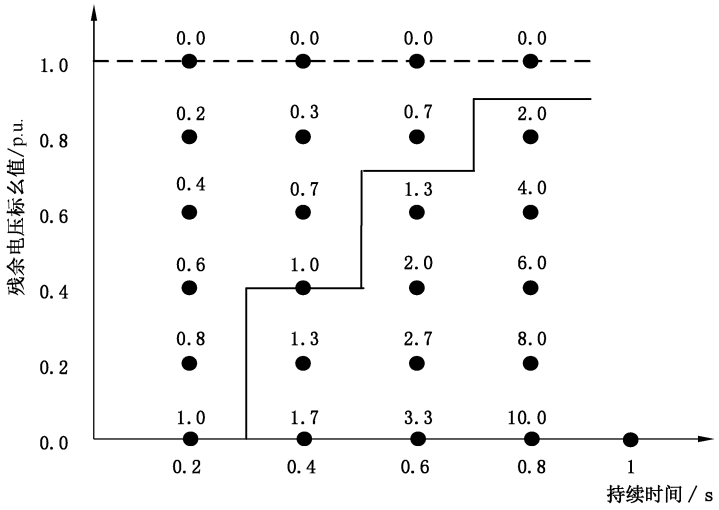


图 C.1　电压暂降严重性指标计算示例

耐受曲线上的电压暂降事件严重性指标值为 1，耐受曲线左上方的电压暂降事件严重性指标值小于 1，耐受曲线右下方的电压暂降事件严重性指标值大于 1。残余电压越低，持续时间越长，暂降严重性指标值越大，暂降越严重。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

参 考 文 献

[1] GB/T 17626.30—2012 电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测量方法

[2] GB/T 19862—2016 电能质量监测设备通用要求

[3] 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

[4] IEC 61000-4-11:2004 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-11: Testing and measurement techniques—Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests

[5] IEC 61000-4-30:2015 Electromagnetic compatibility (EMC)— Part 4-30: Testing and measurement techniques—Power quality measurement methods

[6] IEC 61000-4-34:2015 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-34: Testing and measurement techniques—Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with mains current more than 16 A per phase

[7] IEEE Std 493:2007 IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems

[8] IEEE Std 1159:2009 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality

[9] IEEE Std 1366:2012 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices

[10] IEEE Std 1564:2014 IEEE Guide for Voltage Sag Indices

[11] CIGRE/CIRED/UIE Joint Working Group C4.110—2010, Voltage Dip Immunity of Equipment and Installations.

库七七 www.kqqw.com 提供下载