

电压暂降指标的探讨

林焱¹, 吴丹岳¹, 章雪萌², 袁媛², 徐永海²

(1. 福建省电力试验研究院, 福建 福州 350007; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 对 IEC、IEEE 等国际组织以及国内外相关文献中给出的暂降指标进行了详细的总结分析与比较, 按照暂降指标反映的不同特征将其分为 9 大类分别概述, 对其中的 SARFI 指标、暂降能量指标、暂降严重性指标以及一些暂降经济损失评价指标等指标的适用性和优缺点进行了讨论, 对严重性指标进行了改进。提出了推荐使用的四个方面的暂降指标即: 统计指标、严重性指标、次数指标和经济损失指标并给出了推荐理由, 有助于我国电压暂降标准制定工作的开展。

关键词: 电压暂降; 指标; SARFI; 经济损失; 电能质量

An exploration on index about voltage sags

LIN Yan¹, WU Dan-yue¹, ZHANG Xue-meng², YUAN Yuan², XU Yong-hai²

(1. Fujian Electric Test Research Institute, Fuzhou 350007, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Voltage sag indices in international standards of IEC and IEEE and the literatures are summarized, analyzed and compared in detail. These sag indices are divided into nine categories according to the different characteristics that they reflect, such as SARFI, severity index, energy index, economic loss evaluation index and other indices. The applicability and both of advantages and disadvantages of indices are discussed, and severity index is improved. Four indices are proposed according to four aspects, including statistical index, severity index, event time indices and cost indices, and the recommended reason is also explained. The work of this paper promotes to the work of standard-setting of voltage sag in China.

Key words: voltage sags; index; SARFI; financial losses; power quality

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0147-06

0 引言

近年来, 新型电力负荷对电能质量的要求不断提高, 随着基于计算机、微处理器的数字型和电力电子型负荷在系统中所占比重不断增加, 电压暂降已被认为是影响许多用电设备正常与安全运行的主要电能质量问题。制定相关标准对电压暂降的影响进行评价是非常重要的, 而制定标准中一项非常重要的工作是相关评估指标的确定。

近年来, IEC、IEEE 等国际组织对暂降指标进行了大量的研究, 并推荐了一些指标^[1-6]。如基于某一暂降事件严重性的指标 Se 等。此外, 还有文献中提出的用 MSI 、 DSI 表示的严重性指标^[7]、模糊指标^[8-9]、能量指标^[10]及文献[11]提出的经过适当修改后可以用来表征电压暂降情况的系统平均中断时间指标 $ASIDI$ 以及 MSI 、 DSI 表示的严重性指标、模

糊指标。文献[12]提出了供电可靠率修正指标 RS^* , 以及统计敏感用户所受影响的暂降次数的次数指标及经济性指标。文献[13-14]还给出了 SSI 、 SCI 、 SI 和 $SM\%$ 等指标。文献[15]给出了与经济性相关的暂降分指标等。

随着暂降问题越来越重要, 指标及指标体系的建立迫在眉睫。本文详细总结和分析了现有国内外暂降指标, 对其中的严重性指标提出了改进建议, 并给出了推荐的暂降指标。

1 电压暂降指标概述

1.1 SARFI 指标

$SARFI$ 指数指标包括有两种形式: 一种是针对某一阈值电压的统计指数 $SARFI_V$, 另一种是针对某一设备敏感曲线的统计指数 $SARFI_{curve}$ 。

系统平均均方根值变化频率 $SARFI_X$ (System Average RMS Rrequency Index)^[1], 用来反映电力公司在电压 RMS 值变动方面的供电服务质量, 表

基金项目: 福建省电力试验研究院电压暂降科研项目

示为发生在评估期间每个用户特定均方根值变化测量事件的平均次数。

$$SARFI_x = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (1)$$

式中： x 为均方根值电压阈值； N_i 为事件 i 造成时间电压幅值低于 $x\%$ 用户的户数， N_T 为总的用户数。针对持续时间的不同可延伸瞬时、暂时、短时暂降的 $SARFI_x$ (0.5-30 周期)、 $SMARFI_x$ (30 周期-3 s)、 $STARFI_x$ (3~60 s) 三类指标^[2]。

将阈值定义为曲线是 $SARFI$ 的一种广泛应用。例如， $SARFI_{curve}$ 描述了位于 ITIC 曲线电压容许包络线之外的均方根值变化事件的频度。三个类似的曲线指标为 $SARFI_{CBEMA}$ 、 $SARFI_{ITIC}$ 、 $SARFI_{SEMI}$ 。

1.2 利用表格表征指标

在对单个节点指标的计算中，可用表格形式来表征电压暂降情况。常用的有 UNIPED (欧洲供电国际联盟) 表^[3]、IEC61000-2-8^[4] 以及南非 NRS048-2:1996 年推荐的表格^[5]。其中 UNIPED 表格在 1 s~3 min 时间的时间列数占总列数的比重太大，而实际的暂降次数很少。而 IEC61000-2-8 较 UNIPED 推荐的表格而言，100~500 ms 的区间被合理分解，且暂降幅值上做了更细致的划分。南非 NRS048-2 的表格考虑到了设备的敏感性，但在南非之外很少应用。此外，等势图^[3]也可以描述电压暂降情况，但是，它由于包含许多变量，各监测点之间的数据不适宜作简单对比，并且方法很复杂导致很少人使用。

1.3 暂降严重性指标

1.3.1 暂降严重性指标 Se

基于设备标准敏感曲线的暂降严重性指标 Se 如下：

$$S_e = \frac{1-V}{1-V_{curve}(d)} \quad (2)$$

式中： V 是指电压幅值 (per unit)； d 是暂降持续时间； $V_{curve}(d)$ 指在参考曲线上具有相同持续时间的事件幅值，通常采用的曲线有 CBEMA、ITIC 和 SEMI 曲线。

那些具有长的暂降持续时间和小的暂降幅值的事件具有很高的严重性指标，因而严重性指标能表征暂降事件的实际影响度。不足之处在于由于参考曲线的限制，不能表征持续事件很长的暂降事件。

法国电力公司基于 ITIC 曲线采用与之相似的 PQI 指标^[16]如下：

$$PQI = \left[\frac{U_c - U_{event}}{U_c - U_{ITIC}} \right] \times 100\% \quad (3)$$

其中： U_c 是电能质量合同要求的电压值； U_{ITIC} 是事

件持续时间为 T 的 ITIC 曲线上的对应电压幅值； U_{event} 是事件电压幅值。

1.3.2 MSI 、 DSI 和 $MDSI$ 指标

文献[7]定义了暂降幅值、持续时间、综合幅值和持续时间严重性技术指标 MSI 、 DSI 和 $MDSI$ ，反映的是暂降事件对设备的干扰水平。

根据具体设备，建立广义的设备容忍度曲线来定义 V_{max} 、 V_{min} 、 t_{max} 、 t_{min} ，如图 1 所示。

P 区域代表暂降事件肯定不会造成设备故障，R 区域代表肯定造成设备故障，中间的 Q 区域是需要评估的区域，用 0~100 中的数字代表严重性水平。

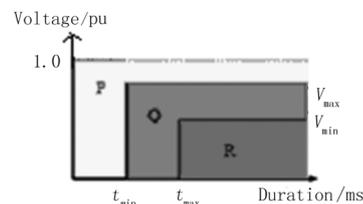


图 1 电压暂降可能发生区域分类

Fig.1 Probable regions of voltage sag occurrence

具体指标算式如下：

$$DSI = \begin{cases} 0 & d < t_{min} \\ (d - t_{min}) \times \left(\frac{100}{t_{max} - t_{min}} \right) & t_{min} \leq d \leq t_{max} \\ 100 & d > t_{max} \end{cases} \quad (4)$$

$$MSI = \begin{cases} 0 & m > V_{max} \\ (V_{max} - m) \times \left(\frac{100}{V_{max} - V_{min}} \right) & V_{min} \leq m \leq V_{max} \\ 100 & m < V_{min} \end{cases} \quad (5)$$

$$MDSI = \frac{MSI \times DSI}{100} \quad (6)$$

1.3.3 模糊指标

暂降模糊指标^[8-9]是结合模糊准则来定义暂降事件的影响程度，计算模糊指标时应确定模糊指标输入输出量并按照经验数据如 ITIC 与 SEMI F47 曲线将它们分别分类，对这些输入输出变量的分类集合定义相应的合适的模糊分布函数（隶属度函数）。定义 IF-THEN 准则，建立输入输出量的联系，用来模拟系统的实际过程。对于一个暂降事件，根据输入量所对应的模糊集合，选用相关的几个准则来处理，将这些准则对应的输出量，以一定的形式总结起来形成一个最终的模糊指标。

模糊指标的优点在于用 IF-THEN 模拟暂降事件的发生情况，较为真实客观地反映暂降事件的影响程度，缺点是涉及到模糊理论，指标的计算相对复杂且输入输出量的分类和模糊函数的建立未有明确统一的规则，目前未能广泛使用。

1.3.4 SSI 指标

SSI^[13]类似于“CAIDI”, 考虑到了电压暂降的幅值和持续时间。

$$SSI = \frac{SEI}{SCI} \quad (7)$$

SEI 是在给定的地点给定的时间段内满足定义的电压暂降的能量之和, 见式 (12)。

1.4 能量指标

1.4.1 能量指标 E_{VS} ^[10]

能量指标 E_{VS} :

$$E_{VS} = \int_0^T \left[1 - \left\{ \frac{V(t)}{V_{nom}} \right\}^2 \right] dt \times 100 \quad (8)$$

这里 $V(t)$ 是电压暂降的幅值, V_{nom} 是标称电压。

假设电压的均方根值在持续时间内是恒定的, 则电压暂降的能量为:

$$E_{VS} = \left[1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right] \times 100 \times T \quad (9)$$

在此基础上, 可计算节点能量指标 SEI 与暂降平均能量指标 ASEI。定义如下:

$$SEI = \sum_{j=1}^N E_{VS-i} \quad (10)$$

$$ASEI = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N E_{VS-i} \quad (11)$$

进而可计算系统指标:

$$SEI_{system} = \frac{1}{N} \sum_1^N SEI_{site} \quad (12)$$

对能量指标, 文献[12] 提出了系统平均能量指标 ASES, 定义如下:

$$ASES = \frac{\sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^{N_{90}} W_{ik}}{\sum_{k=1}^s N_{90(k)}} \quad (13)$$

其中: s 为系统总的监测母线数; N_{90} 为某 PCC 处母线电压暂降幅值低于 90% 的年次数; S 是母线数; W_{ik} 为第 k 条监测母线第 i 次暂降能量。利用能量公式 (9) 计算单次暂降能量, 只适合做简化或定性评估, 但在实际过程中, 会有连续暂降事件的发生, 为了既可以反映实际暂降的幅值变化过程, 又能体现持续时间的组合, 文献[12]提出用式 (14) 计算:

$$W = \sum_j^{a/b/c} \int_{T_j} \left[1 - V_{sag}(t)_j \right]^2 dt = \sum_j^{a/b/c} \sum_{k=1}^M \left[1 - V_{sag}(k)_j \right]^2 \times \Delta T_j \quad (14)$$

式中: a, b, c 代表三相; M 为 T ($T=T_1+T_2+\dots+T_M$)

时间内的监测或仿真采样点数; $V_{sag}(t)_j$ 是 j 相电压暂降 RMS 值 (pu); $V_{sag}(k)_j$ 是某连续暂降事件中第 k 次暂降中 j 相电压暂降的 RMS 值 (pu), ΔT_j 是该次事件的持续时间。

1.4.2 缺失能量指标 (VLSEI)

文献[1]指出, 负荷因一次电压暂降损失能量为:

$$W = (1 - V_{pu})^{3.14} \times T \quad (15)$$

其中: V_{pu} 是电压暂降幅值; T 为暂降持续时间, 单位是 ms。

计及三相电压, 则暂降能量为:

$$W = (1 - V_{puA})^{3.14} \times T_A + (1 - V_{puB})^{3.14} \times T_B + (1 - V_{puC})^{3.14} \times T_C \quad (16)$$

1.5 IEEE std1366 定义的中断时间指标

一般而言, ASIFI 和 ASIDI 是用来评估配网可靠性的指标, 但其实也可以用来评估电压暂降特性:

对于单个节点, 电压暂降指标可如下定义:

$$ASIDI_j = \sum_{k=1}^{n_v} a_{jk} t_k SARFI_{(jk)} \quad (17)$$

式中: k 是用来区别敏感设备的不同类型 (n_v 是总的类型数); j 表示节点; a_{jk} 是类型 k 的敏感设备所占的百分比; t_k 是设备 k 的恢复时间; $SARFI_{(jk)}$ 是测点 j 上的 k 类型设备的 SARFI 值。

对整个系统而言, 该项指标可表述如式 (18), 其中: n_v 是负荷节点数; S_j 是节点 j 上的负荷功率。

$$ASIDI = \frac{\sum_{j=1}^{N_n} \sum_{k=1}^{n_v} S_j a_{jk} t_k SARFI_{(jk)}}{\sum_{j=1}^{n_n} S_j} \quad (18)$$

1.6 暂降次数指标

用户平均暂降事件次数指标 ASTC (Average Sag event Times of Customer), 表示每个受暂降影响的用户在单位时间统计时间内经受的平均事件次数。

$$ASTC = \sum_{k=1}^{N_E} STC(V_s)_k / N_E \quad (19)$$

其中: $STC(V_s)_k$ 为第 k 个用户年暂降事件次数; N_E 为系统内发生电压暂降事件用户数。用户暂降事件次数 STC 是指在一段监测时间里, 基于监测点的电压暂降现象的基本特征量与用户设备暂降容忍度 V_s (含敏感曲线定义, 包括幅值和持续事件的对比) 相比较得到的判断结果次数。基于一种用户包括不同敏感设备, 而不同的设备对暂降事件的敏感性不同, 所以在统计用户受影响的暂降事件次数时, 以

用户中最敏感设备代表用户的敏感度。

系统平均暂降事件次数指标 $ASTS$ (Average Sag event Times of System)

$$ASTS = \sum_{k=1}^{N_E} STC(V_s)_k / N \quad (20)$$

式中: N 为系统总用户数。

反映暂降次数的指标还有 SCI (sag count index)^[13], SCI 类似于“ $SAID$ ”, 即电压暂降的发生次数与总的监测点的比值。

1.7 修正后的供电可靠性指标 RS^*

供电可靠率 RS 反映了系统供电连续可用的能力, 我国现行《规程》中定义了三个 RS 指标。为了在系统可靠性指标中体现电压暂降对用户连续所需的电能影响, 文献[12]提出计及电压暂降的供电可靠率 RS^* 作为其修正指标。

1.8 电压暂降发生率指标 SI (sag incidence) 和电压暂降调制 $SM\%$ (sag modulation)

$$SI = [1 - \left(\frac{V_{sag}}{230}\right)^2] \times 100$$

$$SM\% = \frac{V_{Pmax} - V_{Pmin}}{V_{Pmax} + V_{Pmin}} \times 100 \quad (21)$$

式中: V_{sag} 是 V_{rms} 的平均值。

SI 的实质其实就是能量指标, 230 是指一周期内标称电压的均方根值。而 $SM\%$ 虽然也可评价电压暂降事件, 但它更多地是给出扰动过程中幅值调制的信息 (这种调制的普遍效应是灯光闪烁)。

1.9 与经济损失有关的指标

1.9.1 事件经济损失指标 $ACSC$ 和 $ACSS$

用户平均电压暂降事件经济损失指标 $ACSC$ (Average Cost of voltage Sag events of Customer), 表示用户在单位时间统计时间内由于暂降事件受到的经济损失, 记作 C_{ACSC} 。

$$C_{ACSC} = \frac{\sum_{K=1}^{N_E} \sum_{i=1}^{STC_k} (CS_i)_k}{N_E} \quad (22)$$

式中: $(CS_i)_k$ 为第 k 个用户第 i 次暂降事件的经济损失 (\$ 或 $RMB/次$), N_E 为系统内发生电压暂降事件用户数。

$\sum_{i=1}^{STC_k} (CS_i)_k$ 即单位时间里第 k 个用户遭受的暂降损失, 可以在中断成本 (电力服务中断或电能质量出现问题时用户的经济损失) 的基础上, 用经济分析比重系数来分析计算。

系统平均电压暂降事件经济损失指标 $ACSS$ (Average Cost of voltage Sag events of System), 记作 C_{ACSS} 。

$$C_{ACSS} = \frac{\sum_{K=1}^{N_E} \sum_{i=1}^{STC_k} (CS_i)_k}{N} \quad (23)$$

式中: N 为系统总用户数。

1.9.2 暂降分指标

暂降分指标出现在底特律 Edison 电力公司与“三大”汽车制造商—Chrysler (克累斯勒) 公司 (新 DaimlerChrysler (戴姆勒克累斯勒))、Ford (福特) 汽车公司以及 General (通用) 汽车公司签订的电能质量合同中, 成为电力公司为暂降事件作赔付的依据。具体定义如下:

$$\text{暂降分} = 1 - \frac{V_A + V_B + V_C}{3} \quad (24)$$

其中: V_A 、 V_B 、 V_C 为暂降时三相电压标么值。最低的暂降分对应于某一相的电压为 0.75 pu, 这是进行电压暂降赔付的阈值。暂降分指标指由一定时间的电压暂降监控数据决定, 随着多年数据的收集, 指标值的选取有望逐步稳定下来。将某一组测试地点所有应进行赔付的暂降的暂降分相加, 与该组暂降分指标比较。如果总计的暂降分超过了指标值, 则将进行赔付计算。

暂降分指标的特点是考核电压暂降赔付时不设定最小持续时间, 任何持续时间都应考虑。虽然在实际中有很好的应用, 但忽略了因暂降持续时间的不同造成用户损失不同。

2 严重性指标的改进

式(2)表示的严重性指标表达简单, 意义清晰, 用量化的数据显示出设备所受的暂降事件影响程度, 但缺陷是它只针对单个设备而言的, 对于用户的多个设备, 它不能反映用户受暂降事件的危害程度。为此可引进参数 a_j , 即类型 j 的敏感设备在用户设备中所占的百分比, 然后对每种设备的 S_e 进行加权, 即得到针对用户的严重性指标:

$$S_e^* = \sum_{j=1}^{n_v} a_j S_{ej} \quad (25)$$

采用 S_e^* 的目的是为了综合评价暂降事件对用户节点造成的严重性程度。

3 推荐使用的指标

为了综合全面地评价电压暂降事件对系统和设备造成的影响, 首先得从数据上对暂降事件的发生频次进行统计, 然后评估事件的严重性, 即对设备、用户和系统的干扰水平和实际影响程度。为了量化

这种程度, 还须从经济的角度出发, 分析用户和系统因为暂降事件而导致的经济损失。因此, 本文在综合比较了国内外各项暂降指标, 并对某些指标做了适当改进的基础上, 提出了四项综合评估电压暂降事件的指标。

(1) 电压暂降统计指标

表 1 电压暂降幅值、持续时间与发生次数统计表

Tab.1 Statistical data table of voltage sag magnitude, duration and frequency

暂降幅值 /%	持续时间/s							
	0.5cy<t≤0.1	0.1<t≤0.25	0.25<t≤0.5	0.5<t≤1	1<t≤3	3<t≤20	20<t≤60	60<t≤180
80≤U<90								
70≤U<80								
60≤U<70								
50≤U<60								
40≤U<50								
30≤U<40								
20≤U<30								
10≤U<20								
0≤U<10								

$SARFI_x$ 指标体系只用来评估短时电压变动, 即持续时间少于 60 s 的电压暂降事件, 虽然电压暂降的持续时间一般小于 60 s, 但更长持续时间的事件的发生也是存在的, $SARFI-CURVE$ 即 $SARFI-CBEMA$ 、 $SARFI-ITIC$ 、 $SARFI-SEMI$ 这些曲线就没有限制持续时间一定要小于 60 s。另外采用 $SARFI-CBEMA$ 、 $SARFI-ITIC$ 、 $SARFI-SEMI$ 对电压变动事件进行分组, 可以反映基于标准敏感曲线的暂降次数对该类设备的影响情况, 当对比一个特定用户的敏感曲线时, 可以估计该设备或生产线的跳闸次数, 同时, 当其与特定系统的具体参数相结合时, (如法国 EDF 的 70%, 600 ms), 能较好地评估系统的性能。

(2) 电压暂降严重性指标

电压暂降严重性指标分为针对单个设备的 S_e 指标和针对多个设备的改进后的 S_e^* 指标。

S_e 指标表达简单, 意义明确, 用量化的数据显示出设备所受的暂降事件影响程度。作为指标算式中的参照比较的敏感性曲线, 可根据具体设备的敏感曲线来选取。上述指标在三相计算时, 取三相中最严重相即跌落幅值最大的一相为代表。

(3) 次数指标 $ASTC$ 和 $ASTS$

采用 $ASTC$ 次数指标来评估每个受暂降影响的敏感用户在单位时间统计时间内经受的平均事件次数, 将暂降次数与设备敏感性联系起来, 将记录的

采用修正后的 IEC61000-2-8 推荐表格 (考虑到暂降持续时间一般是从 0.5cycle 到 1 min, 因此将起始值由 1cycle 改成 0.5cycle 与 IEEE P1564 提出的 $SARFI_x$ 和 $SARFI_{curve}$ 指标相结合, 综合评价电压暂降的发生情况。具体如表 1 所示。

暂降事件次数和敏感用户受影响的暂降事件次数区分开, 能体现敏感用户实际受暂降影响的频次特性。 $ASTS$ 则体现了一个系统总用户 (包括非敏感用户) 受暂降影响的平均水平。这两个指标是后面对用户及系统经济评估指标的基础。

(4) 事件经济损失指标 $ACSC$ 和 $ACSS$

$ACSC$ 和 $ACSS$ 指标中用经济分析比重系数来分析计算的 $\sum_{i=1}^{STC_k} (CS_i)_k$, 即单位时间里第 k 个用户遭受的暂降损失, 体现了不同暂降水平对用户造成的不同经济损失, 因此这两个指标较好地评估了用户的暂降损失。 $ACSC$ 经济指标体现了不同敏感用户所受到的暂降经济损失的平均水平, $ACSS$ 体现了整个系统 (包括非敏感用户) 所受到的暂降经济损失的平均水平, 这两个指标可以作为电压暂降引起的经济损失的赔付依据, 因而推荐使用。

4 结语

本文总结概述了国内外电压暂降指标, 对其中的严重性指标进行了修改并给出了统计指标、严重性指标、次数指标和经济损失指标四个推荐指标。电压暂降已成为我国面临的重要电能质量问题, 应需要制定电压暂降标准来规范和约束电力公司、电力用户和设备制造商, 以此推动电压暂降问题的逐步改善和解决。

参考文献

[1] IEEE P1564_00_14, Voltage Sag Indices – Draft 1.1[Z]. 2000.

[2] Brooks D L, Dugan R C, Wacławski M, et al. Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance[Z].

[3] Bollen M H J, Dan Sabin D. International Coordination for Voltage Sag Indices[Z]. IEEE, 2006: 1-6.

[4] IEC 61000-2-8 Voltage Sags and Short Interruptions on Public Electric Power Supply Systems with Statistical Measurement Results[R]. Draft Technical Report, 2002.

[5] IEC 61000-4-11, Voltage Sags Short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests[S].

[6] Voltage Sag Indices Draft 2, Working Document for IEEE [Z]. 2001.

[7] Chan J Y, Milanovic J V. Severity Indices for Assessment of Equipment Sensitivity to Voltage Sags and Short Interruptions[A]. in: IEEE Power Engineering Society General Meeting[C]. 2007. 1-7.

[8] Bonatto B D, Niimura T, Dommel H W. A Fuzzy Logic Application to Represent Load Sensitivity to Voltage Sags[A]. in: Proceedings of 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power[C]. 1998. 60-64.

[9] Shen Cheng-Chieh, Lu Chan-Nan. A Voltage Sag Index Considering Compatibility Between Equipment and Supply[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2007: 996-1002.

[10] Bollen M H J, Sabin D D. Voltage Sag Indices Recent Developments in IEEE Task Force[A]. in: Quality and Security of Electric Power Delivery System[C]. Montreal:

2003. 7-10.

[11] Martinez J A, Martin-Armedo J. Voltage Sag Studies in Distribution Networks Part III: Voltage Sag Index Calculation[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21(3).

[12] 陶顺, 肖湘宁. 电压暂降对配电系统可靠性影响及其评估指标的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(21): 63-69. TAO Shun, XIAO Xiang-ning. Study on Distribution Reliability Considering Voltage Sags and Acceptable Indices[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (21) : 63-69.

[13] Thallam R, Koellner K. SRP Voltage Sag Index Methodology Experience and FAQs[A]. in: IEEE PES P1564 TF Meeting[C]. Las Vegas: 2003.

[14] De Capual Claudio, De Falco Stefano, Liccardo A, et al. A dsPic-Based Measurement System for the Evaluation of Voltage Sag Severity Trough New Power Quality Indexes[A]. in: IEEE Virtual Environments International Conference on Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems[C]. Giardini Naxos(Italy): 2005.

[15] Dugan R C, McGranaghan F, Santoso S, et al. Electrical Power System Quality, Second Edition[M]. 2002.

[16] Mamo X, Javerzac J. Power Quality Indicators[A]. in: IEEE Porto Power Tech Conference[C]. Porto(Portugal): 2001.

收稿日期: 2009-03-02; 修回日期: 2009-04-15

作者简介:

林焱 (1974-) 男, 硕士, 高工, 主要从事电能质量技术监督及电力电子研究工作; E-mail: zxm0804@163.com

吴丹岳 (1964-) 男, 硕士, 高工, 主要从事电力系统分析及电能质量等方面的管理及研究工作。

(上接第 127 页 continued from page 127)

3 结论

500 kV 南宁变电站经过扩建改造后, 大大提高对地方供电及站用电的可靠性, 母线四分段的运行方式更为灵活。此类改造涉及面广, 保护二次接线复杂, 危险点多。如果不加强工作前对图纸、保护原理以及设计思想的学习和工作中对危险点的控制, 那么人为原因造成事故的几率将大大提高。经过此次改造, 不但大大提高了电网的安全稳定运行, 从改造难点、危险点分析中吸取了丰富的经验, 提高了驾驭电网的能力, 还对其他 500 kV 变电站的改造工程也提供了借鉴参考作用。

参考文献

[1] 广西电力工业勘察设计院. 500 kV 南宁变改造工程[Z]. 2007. Guangxi Electric Power Designing Institute. Reconstruc-

tion Project of Nanning Substation[Z]. 2007.

[2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社 1999. WANG Mei-yi. Power Grid Relay Protection Applications[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.

[3] DL/T559-94, 220kV~500kV 电网继电保护装置运行整定规程[S]. DL/T559-94, 220kV~500kV Power Protection Devices of Setting Running Order[S].

[4] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004. WANG Wei-jian, HOU Bing-yun. Large Unit-based Relay[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2009-02-26

作者简介:

苏晓 (1984-) 男, 本科, 助理工程师, 从事电力系统继电保护工作. E-mail: 176391311@qq.com