

供电方支付给用户的电压凹陷补偿

高效, 彭建春

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 电能质量问题给用户造成巨大的经济损失, 供电商应给予补偿, 该文提出了一种用户电压凹陷损失的补偿方法。根据确定用户受到凹陷影响程度的负荷敏感曲线和衡量用户经济损失的中断成本来确定整个供电方应该补偿的份额, 并且同时还考虑了电压凹陷的发生频率和持续时间对用户损失的影响, 为一种比较合理的补偿方法。该方法为电能作为一种商品其质量出现问题时提供了一种经济上的补偿办法, 使电能的供应者和消费者都能公平地进行电力交易。

关键词: 电压凹陷; 系统电压平均有效值变化频率; ITC曲线; 中断成本; 用户受影响概率

中图分类号: TM714.3 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)13-0060-04

0 引言

电力企业的宗旨是向用户提供安全、经济、可靠、优质的电能, 并且电力放松管制、电力交易市场的改革使得电能成为真正意义上的商品, 更要求电能论质论价, 使电能的供应者和消费者都能公平地参与电力交易。因此电能质量出现问题, 供电商应该给予用户一定补偿。

电压凹陷是重要的电能质量问题之一, 在电力系统频繁出现, 同时存在于输电系统与配电系统, 随着敏感设备的日益广泛使用, 它给用户造成的损失也不断增加。实际运行中, 由于系统短路故障、雷击、变压器充电、感应电动机的起停等多种原因都会发生电压凹陷, 然而输电系统可靠性较高, 发生故障的概率较低, 并且即使输电系统发生故障, 引起的电压凹陷也主要是影响配电系统中的用户, 因此大部分的电能质量问题存在于配电系统, 用户受电压凹陷影响最大, 经济损失严重。由于电压凹陷的发生存在各种原因, 与双方都有关, 所以供电方应该针对电压凹陷给予用户适当补偿, 那么怎样做出公平合理的补偿是电压凹陷补偿的一个核心问题。

1 电压凹陷指标

电压凹陷为供电系统中某点的工频电压有效值突然下降(跌落)至额定值的90%~10%, 并在随后的10ms~1min的短暂持续期后恢复正常。

表征电压凹陷的特征量主要为有效值偏移及电压跌落持续时间, 因此衡量电压凹陷的指标主要采用系统电压平均有效值变化频率 $SARFI_x$ (System Average RMS Variation Frequency Index), 通过对被

评估系统的所有用户在一段时间内进行监测, 统计各用户感受到的电压下凹的次数, 从而得出电压有效值低于阈值 x 的概率 $SARFI_x$

$$SARFI_x = \frac{\sum N_i}{N_T}$$

式中: x 为电压有效值阈值, 一般取90%、80%、70%、50%、10%; N_i 为第 i 次测量过程中, 研究区域内电压有效值低于阈值电压 x 的用户数; N_T 为被评估系统的用户总数。

按 IEEE1159标准^[1], 电压凹陷根据其持续时间有表1所示的分类。

表1 电压凹陷类别

Tab 1 Classification of voltage sags	
类别	持续时间 / s
瞬间凹陷	0.008 33 ~ 0.5
暂时凹陷	0.5 ~ 3
短时凹陷	3 ~ 60

根据表1中电压凹陷的类别, 实际应用中还有在 $SARFI_x$ 基础上派生出来分别反映系统中瞬间凹陷、暂时凹陷、短时凹陷发生概率的 $SMARFI_x$ 、 $SMARFI_x$ 和 $STARFI_x$ 等系数。

2 按设备敏感曲线分类的电压凹陷

将电压凹陷指标 $SARFI_x$ 中的阈值 x 根据负荷的 ITC 曲线取值, 即按照 ITC 曲线把电压凹陷事件分别归类统计, 并且从 ITC 曲线得到用户中实际受影响的设备。

电压凹陷的危害程度与用户设备的敏感程度密切相关, 不同的设备对同一电压凹陷的感受度是不同的, 因此世界上不同的设备制造商联盟制定了不同的敏感曲线, ITC (Information Technology Industry

Council)曲线是其中一种,它由信息技术工业协会制定,如图 1^[2]所示。

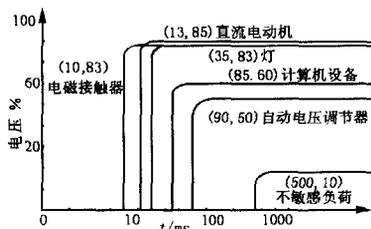


图 1 ITC 曲线
Fig 1 ITC curves

设配电系统母线上的用户由图 1 在所示的设备组成,根据设备敏感性对阈值 x 重新取值。将敏感度大致相同,即敏感曲线在纵坐标上比较接近的设备划作一类,阈值 x 就是接近这一类设备敏感曲线电压限值的一个近似值, x 的取值就可以为 90%、80%、60%、50%、10%。 x 取 90%,即电压有效值跌落到额定值的 90%,根据图 1,配电母线上能感受到电压凹陷的设备为电子设备; x 取 80%,直流电机、电磁接触器、灯并且还包电子设备都能感受到电压凹陷; x 取 60%,计算机设备和所有能感受到电压跌落到 80%的设备都能感受到电压凹陷; x 取 50%,添加了电压调节器能感受到电压凹陷; x 取 10%,几乎所有设备都能感受到电压凹陷。

表 2 用户的设备组成

Tab 2 Equipments of customer

设备类型	各种设备所占比例			
	R	C	SI	LI
电子设备等	0.3	0.4	0.2	0
直流电机、电磁接触器、灯等	0.15	0.1	0.2	0.3
计算机等	0.15	0.1	0.1	0.05
电压调节器等	0.1	0.15	0.3	0.4
不敏感设备	0.3	0.25	0.2	0.25

R、C、SI、LI 分别表示住宅类、商业类、小工业类和大工业类用户

配电母线上的用户类型包括住宅类、商业类、小工业类、大工业类和政府机关类。各类用户包含的设备类型不同,对电压凹陷的感受程度也不一样,发生某种程度的电压凹陷用户中只有相应的设备能感受到。设某一配电母线上有住宅类、商业类、小工业类、大工业类用户各一户,每一户的设备组成比例见表 2。当电压跌落到 90%,住宅类用户中只有电子设备会停运,因此,不能说这一个用户的所有设备都受到了电压凹陷的影响,由表 2 得只有占用户设备总比例 0.3 的设备停运,记为 0.3 个用户感受到电压凹陷。

3 用户受电压凹陷影响概率

系统配电母线上受电压凹陷影响的用户的多少以及其经济损失严重程度可以由用户受电压凹陷影响的概率 反映。

根据 $SARFI_x$ 的概念定义配电系统上能感受到电压幅值在 $x_1 \sim x_2$ 间的凹陷的用户比例 $I_{(x_1 \sim x_2)}$, 的下标对应电压幅值区间 $[x_1, x_2]$, 它记录的是电压有效值跌落到此区间上,受影响的用户占系统总用户的比例。

$$I_{(x_1 \sim x_2)} = \frac{\sum_j}{N_T} \quad (1)$$

I_j 表示在取定的一段测量时间(如一个月)内,用户 j 中能感受到电压凹陷的设备占此用户总设备的比例; \sum_j 就表示母线上受影响的总用户数(不一定是整数); N_T 仍然为被评估系统的用户总数。由此派生出来的 $I_{(x_1 \sim x_2)}$ 、 $M_{(x_1 \sim x_2)}$ 、 $T_{(x_1 \sim x_2)}$ 则分别表示母线上发生电压有效值跌落到区间 $[x_1, x_2]$ 内的瞬间凹陷、暂时凹陷、短时凹陷时受影响用户的比例。

把测量得到的电压凹陷按电压幅值和持续时间分类统计。根据上节 $SARFI_x$ 阈值 x 的取值将 的下标依次取为: 80% ~ 90%、60% ~ 80%、50% ~ 60%、10% ~ 50%、0 ~ 10%, 它们对应 5 个电压幅值区间,并且电压凹陷按其持续时间分成瞬间凹陷、暂时凹陷和短时凹陷 3 类,那么,结合两者就可以把电压凹陷事件分成 15 个不同的类别进行统计。例如配电母线上发生 1 次电压凹陷,其电压有效值最终跌落到 70%,持续时间为 1 s,就记为在区间 $[60\%, 80\%]$ 上的暂时凹陷发生 1 次。这样的话,可以统计出在一段时间内这 15 个不同类别的电压凹陷各发生了多少次,那么就能根据式 (1) 来求不同类别电压凹陷影响到的用户比例了。

定义 $I_{(x_1 \sim x_2)}$ 为在取定的测量时间内发生瞬间凹陷电压有效值跌落到 $[x_1, x_2]$ 上的发生几率,它的值为

$$I_{(x_1 \sim x_2)} = \frac{I_{(x_1 \sim x_2)}}{T_I} \quad (2)$$

其中: T_I 为在此期间配电母线上瞬间电压凹陷的总次数, $I_{(x_1 \sim x_2)}$ 为电压有效值跌落到 $[x_1, x_2]$ 上的次数。则令 I_j 为配电母线上受瞬间电压凹陷影响的平均用户数

$$I = \sum I_{(x_1 \sim x_2)} \quad (3)$$

它为受影响用户比例按电压凹陷在各个电压幅

值区间 $[x_1, x_2]$ 的发生几率加权的平均值。同理可得系统中受暂时电压凹陷影响和短时凹陷影响的平均用户数 M 和 T 。

用户发生瞬间电压凹陷、暂时凹陷和短时凹陷的经济损失是不同的,持续时间越长的电压凹陷引起的用户损失越大,因此在计算配电系统母线上受电压凹陷影响的用户平均数时要考虑凹陷持续时间带入的经济因素。由供电公司组织的对用户进行问卷调查统计得到的中断成本^[3]就反映了电力服务中断或电能质量出现问题时用户经受不同持续时间电压凹陷的平均经济损失,表 3 为加拿大供电公司调查统计得出的用户中断成本^[4]。

表 3 各类用户中断成本

Tab 3 Interruption of customers

电压凹陷类别	中断成本 (\$ /kW)			
	R	C	SI	LI
瞬间凹陷	0.063	0.102	0.271	0.312
暂时凹陷	0.151	0.268	0.903	0.985
短时凹陷	0.98	1.88	2.16	2.64

统计出母线上各类用户占总用户的比例,再按此比例分别将瞬间中断成本、暂时中断成本和短时中断成本加权平均得到母线上用户的平均瞬间中断成本 C_I 、平均暂时中断成本 C_M 和平均短时中断成本 C_T 。则瞬间中断成本权值 I 、暂时中断成本权值 M 、短时中断成本权值 T 分别为

$$\begin{cases} I = \frac{C_I}{C_I + C_M + C_T} \\ M = \frac{C_M}{C_I + C_M + C_T} \\ T = \frac{C_T}{C_I + C_M + C_T} \end{cases} \quad (4)$$

将受瞬间电压凹陷影响的用户平均数 I 、受暂时凹陷影响的用户平均数 M 和受短时凹陷影响的用户平均数 T ,按其对应持续时间电压凹陷的成本权值加权可得在所取的测量时间段系统用户受电压凹陷影响的概率 P ,即

$$P = I I + M M + T T \quad (5)$$

值反映了系统中受到影响的用户的多少,用户受影响概率 P 值越高就意味着配电系统母线上发生电压凹陷给用户带来的后果越严重。供电公司只须给予受到影响的用户以补偿,即补偿 P 值代表的一部分用户,而不需要对余下的未受影响的用户补偿。那么供电公司对系统上用户电压凹陷损失的总补偿可以根据用户受影响概率 P 为标准来求。电压凹陷给系统母线上所有用户带来的损失乘以用户受影响

概率 P 即为供电公司应支付的补偿金额。

4 算例分析

设配电系统母线上有住宅类、商业类、小工业类、大工业类用户各一户,每一类用户的负荷组成比例同表 2,各类用户中断成本同表 3。测量统计时间为一个月,在此期间母线上发生电压凹陷的分类统计情况见表 4。

表 4 电压凹陷测量统计数据

Tab 4 Data of voltage sag

电压幅值	电压凹陷发生次数		
	0.008 33 ~ 0.5 s	0.5 ~ 3 s	3 ~ 60 s
80% < u < 90%	2	1	0
60% < u < 80%	1	1	3
50% < u < 60%	0	2	1
10% < u < 50%	2	1	1
u < 10%	0	0	1

根据式 (1)、(2)和表 4,可以计算出下面的值

$x_1 \sim x_2$	80% ~ 90%	60% ~ 80%	50% ~ 60%	10% ~ 50%	0% ~ 10%
$I(x_1 \sim x_2)$	0.225	0.412 5	0	0.75	0
$M(x_1 \sim x_2)$	0.225	0.412 5	0.512 5	0.75	0
$T(x_1 \sim x_2)$	0	0.412 5	0.512 5	0.75	1
$I(x_1 \sim x_2)$	0.125	0.062 5	0	0.125	0
$M(x_1 \sim x_2)$	0.062 5	0.062 5	0.125	0.062 5	0
$T(x_1 \sim x_2)$	0	0.187 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5

则受瞬间电压凹陷、暂时凹陷和短时凹陷影响的用户平均数 I 、 M 和 T 分别为 0.147 7、0.150 8 和 0.218 8。而根据表 3和式 (4)计算出成本权值 I 、 M 和 T 分别为 0.069 81、0.215 31、0.714 89。那么根据式 (5)得出用户受电压凹陷影响的概率的值为 0.199 15。也就是说在此期间,统计得出用户因电压凹陷的总损失为 50 万元,供电方应出资 $50 \times 0.199 15 = 9.957 5$ 万元作为补偿。而这笔补偿是所有参与了供电的公司总共应该承担的,从用户侧来说,就是所有用户共同得到的补偿。

5 结论

本文针对供电公司如何就电压凹陷给用户造成的损失进行赔偿这一问题,提出了一种新的补偿方法:把系统中所有用户的总经济损失乘以一个比例因子就得到供电公司应该支付的金额。比例因子的计算考虑了设备的组成比例和敏感性、电压凹陷的持续时间和跌落幅值、中断成本等因素对用户电压凹陷损失的影响。通过一个简单算例的计算,得到的补偿金额对供电商和用户来说都算比较合理的,因此用这种方法来让供电商补偿一部分的用户损失

是比较合适的。

参考文献：

[1] IEEE Standard 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality [Z]. Piscataway (NJ): 1995.

[2] 倪伟,杨京燕,肖湘宁. 计及电压骤降的配网可靠性评估中负荷停运的处理方法 [J]. 现代电力, 2003, 20 (6): 40-43.
NI Wei, YANG Jing-yan, XIAO Xiang-ning Method of Load off in the Reliability Analysis of Distribution Network Taking into Voltage Sags[J]. Modern Electric Power, 2003, 20 (6): 40-43.

[3] Sullivan M J, Vardell T. Interruption Costs, Customer Satisfaction and Expectations for Service Reliability [J].

IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11 (2): 989-995.

[4] Tollefson G, Billinton G, Wacker G, et al. A Canadian Customer Surety to Assess Power System Reliability Worth [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9 (1): 443-450

收稿日期： 2004-10-10; 修回日期： 2004-11-10

作者简介：

高 效 (1980 -),女,博士研究生,主要从事电能质量、电力经济方面的研究工作; E-mail: gaoxiao_9802@yahoo.com.cn

彭建春 (1964 -),男,博士生导师,从事电力电子、电力市场、电力系统优化运行、规划、及其应用软件的开发等方面的研究工作。

Voltage sags' compensation to customers from power providers

GAO Xiao, PENG Jian-chun

(College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The power supply companies should compensate the customers for much economy loss resulted by the power quality problem. A method compensating for voltage sags to the customers is presented in this paper. Based on the power acceptability curves which reflect the equipment sensitivity to voltage sags of the customers and on the drop costs which denote the customers' economy loss, considering the relation between the frequency and duration of voltage sags and the customers' loss, a reasonable compensating method is provided, by which the power supply companies figure out the compensation. This method evaluates the compensation when the electricity commodity quality is bad, by which the power providers and the customers can make a fair shake.

Key words: voltage sag; system average RMS variation frequency index; ITC curves; drop cost; suffering sag customer ratio

(上接第 5 页 continued from page 5)

A way to eliminate the transient overreach of CVT

ZHANG Yan-peng, LI Yi-quan, HE Ben-teng

(School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 300027, China)

Abstract: In the protection of HVPS (High Voltage Power Supply), the transient effect of CVT time by the fall of voltage in fault is likely to lead to the transient overreach of the protection. The usual approach to solve this problem is time delay which should make protection slowly. In this paper, the deference of the transient overreach time depending on deferent Fourier algorithms in use is found. Based on the cooperation of the deferent Fourier algorithms, a novel approach to eliminate the transient overreach of CVT is proposed. The EMTP simulation results indicate that the effectiveness and rapidness of new approach including the in-zone and out-zone faults.

Key words: CVT; transient overreach; Fourier algorithm of $1\frac{1}{2}$ periods

启 事

继电杂志社网址变更为 <http://www.powerkingdom.com/rep ress>, 欢迎登录访问