

基于电压凹陷敏感度不确定性和能量损失的敏感负荷电压凹陷经济损失评估

李 浩,刘春芳

(四川省电力公司遂宁公司,四川 遂宁 629000)

摘 要:高科技产业等敏感负荷对电压凹陷特别敏感,单个设备故障可能导致整个生产线停运,由此造成极大的经济损失。敏感负荷对电压凹陷的耐受能力存在一定的不确定性。在现有电压凹陷敏感度概率评估方法的基础上,建立敏感负荷电压凹陷敏感度随机估计模型;基于能量损失理论,定量地评估敏感负荷电压凹陷经济损失。算例分析给出了由计算机控制的高科技产业由于电压凹陷造成的经济损失。

关键词:电压凹陷;敏感度不确定性;能量损失;敏感负荷

Abstract: Sensitive load is very sensitive to voltage sag. The failure of single equipment can cause the outage of the entire production line, thus causing great economic losses. The voltage tolerant curve of sensitive load has the uncertainty. The stochastic estimation model for the equipment which is sensitive to voltage sag is established based on probability assessment method for the voltage sag sensitivity. Based on the energy-loss theory, the financial losses due to voltage sag are evaluated quantitatively. Simulation results show the economic losses caused by voltage sag in high-tech industry controlled by computers.

Key words: voltage sag; sensitivity uncertainty; energy loss; sensitive equipment

中图分类号: TM714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)05-0089-04

0 引 言

随着高技术产业的飞速发展,众多基于 PC 机、微处理器、微电子等的敏感负荷并入公用电网,因电能质量,尤其是动态电能质量问题产生的影响已成为国内外广泛关注的热点问题。敏感负荷对电压凹陷(sags)、电压骤升(swell)、短时中断(interruption)等非常敏感,单个设备或元件的故障可能导致整个生产线产品报废,由此造成极大的经济损失。

国内外对短时电能质量的研究主要集中在检测、分类与识别、补偿与控制^[1-8]。文献[9-11]对计算机(PC)、交流调速器(ASD)、交流接触器(AC contactor ACC)等负荷分别进行了实验研究,得出各类负荷对不同扰动、敏感度的测试结果。文献[12-16]分析了敏感负荷对电压凹陷敏感度的不确定性。文献[18-20]定量地分析了短时电压扰动对用户的影响,然而,并没有考虑到电压凹陷扰动的随机性。这里用概率密度函数来描述电压凹陷扰动对敏感负荷影响的随机性,并进行电压凹陷扰动的频次计算;通过用户能量损失对敏感负荷电压凹陷经济损失进行

评估。仿真分析定量地评价了电压凹陷对由计算机控制的高科技产业造成的经济损失,为电压凹陷扰动的控制、治理奠定了一定的理论基础。

1 敏感负荷电压凹陷敏感度随机模型

敏感负荷主要有可编程逻辑控制器(PLC)、工控计算机(PC)、可调速逻辑控制器(ASD)等。这些敏感负荷对电压凹陷十分敏感,对电压凹陷的承受能力存在不确定性。试验表明 PLC、PC、ASD 的电压耐受曲线(voltage-tolerance curve)一般呈现矩形。不同类型敏感负荷对电压凹陷的敏感程度不同。负荷的电压耐受曲线存在不确定区域如图 1。

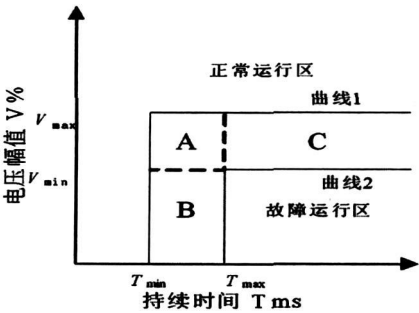


图 1 负荷电压耐受曲线的不确定性区域

文献 [12] 分析了元件电压耐受曲线的不确定性。图 1 中曲线 1 与曲线 2 之间 ($V_{min} < V < V_{max}$, $T_{min} < T < T_{max}$) 元件对电压凹陷敏感度存在不确定性, 该区域可划分为 A、B、C 三个子区域。假设 $f_x(T)$ 、 $f_y(V)$ 为 B、C 区内随机变量 T 、 V 的概率密度函数, 则 A 区联合的概率密度函数为 $f_{xy}(T, V) = f_x(T) f_y(V) (V_{min} < V < V_{max}, T_{min} < T < T_{max})$ 。并用概率分布函数来描述不同电压凹陷造成敏感设备故障概率。

$$P_{XY}(V, T) = \int_{V_{min}}^{V_{max}} f_y(V) dv \quad (1)$$

电压凹陷发生在 B 区使敏感设备故障概率为

$$P_{XY}(V, T) = \int_{T_{min}}^{T_{max}} f_x(T) dt \quad (2)$$

电压凹陷发生在 C 区使敏感设备故障概率

$$P_{XY}(V, T) = \int_{T_{min}}^{T_{max}} \int_{V_{min}}^{V_{max}} f_{xy}(T, V) dt dv \quad (3)$$

电压凹陷发生在 A 区使敏感设备故障概率: 用不同的概率密度函数来描述元件电压耐受曲线的随机性, 并用概率分布函数来描述不同电压凹陷对敏感元件造成故障的概率。

2 基于敏感负荷电压凹陷敏感度不确定性与能量损失的负荷电压凹陷经济损失评估

2.1 基于电压凹陷敏感度不确定性的电压凹陷扰动频次评估

不同电压凹陷使敏感负荷发生的故障概率不同, 首先根据第 2 章节给出的方法得出特定电压凹陷造成敏感设备故障的概率从而得出一年内电压凹陷扰动的频次。

$$ENT(T, V) = P_{XY}(V, T) N(T, V) \quad (4)$$

$ENT(T, V)$ 为一年内特定电压凹陷扰动使设备发生故障的次数; $P_{XY}(V, T)$ 为特定电压凹陷造成敏感设备故障概率; $N(T, V)$ 为一年内该类电压凹陷总的扰动数量。

2.2 基于能量损失的敏感负荷电压凹陷扰动经济损失评估

现代高科技企业, 大多都是由计算机等敏感设备组成的工业控制体系。这些设备对电压凹陷十分敏感, 每次电压凹陷都可能使设备停运, 造成整个生产线的停产。并在一定的时间内才能恢复生产, 造成一

定的能量损失。结合敏感设备电压凹陷敏感度不确定性和能量损失理论对敏感负荷电压凹陷经济损失进行评估, 评估模型如下。

$$EL = RT \times D_i \quad (5)$$

$$TCIC = EL \times f(EL) \times ENT(T, V) \quad (6)$$

D_i 为敏感负荷的平均用电负荷 $\text{kW} \cdot \text{h}$;

RT 为敏感负荷停电恢复时间 (recovery time) h ;

EL 为敏感负荷的能量损失 (energy loss) kW ;

$f(EL)$ 为敏感负荷损失函数, 元 / kW ;

$ENT(T, V)$ 为一年内特定电压凹陷扰动使设备发生故障的次数;

$TCIC$ 为敏感负荷电压凹陷造成的损失, 元。

3 算例分析

以 24 h 不间断供电企业工控计算机故障为例, 定量评估敏感负荷电压凹陷经济损失。对于工控计算机其不确定区域的变化范围为电压幅值 46% ~ 63%, 持续时间 40 ~ 205 ms^[12], 工控计算机的电压耐受曲线选择为正态分布, 联合概率密度函数如图 2 所示, 并用概率分布函数得出不同电压凹陷造成工控计算机故障的概率见表 1。小型工业选取用电负荷为 28.1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ^[19], 故障恢复时间选取为 6 h, 能量损失函数取为 324 元 / kW ^[20], 并假设每种类型的电压凹陷每年发生 5 次。则每年由于不同电压凹陷造成的敏感负荷经济损失见表 2。

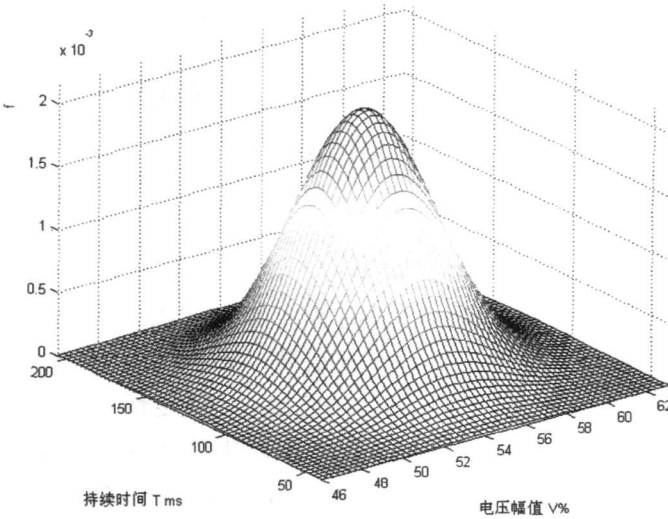


图 2 PC 机电压耐受曲线在 A 区域的概率表达
由表 2 可以看出电压凹陷对高敏感负荷的影响非常的严重, 每年造成的经济损失巨大。对于高敏感

表 1 电压凹陷发生在 A 区 PC 电压凹陷敏感度

$\begin{matrix} T / \\ \text{ms} \end{matrix} \quad \begin{matrix} V / \% \end{matrix}$	59	57	55	53	50	47
80	0.059 5	0.056 7	0.131 7	0.216 7	0.291 4	0.307 2
130	0.131 0	0.124 3	0.287 9	0.472 9	0.635 7	0.669 7
150	0.170 7	0.162 3	0.376 1	0.617 6	0.830 4	0.874 7
170	0.188 4	0.179 1	0.414 8	0.681 3	0.916	0.964 9
180	0.192 0	0.182 2	0.422 0	0.692 9	0.931 6	0.981 4
200	0.194 3	0.184 1	0.426 3	0.700 2	0.941 2	0.991 6

表 2 不同凹陷敏感负荷经济损失评估结果 (元)

$\begin{matrix} T / \\ \text{ms} \end{matrix} \quad \begin{matrix} V / \% \end{matrix}$	59	57	55	53	50	47
80	16 251	15 486	35 971	59 187	79 590	83 906
130	35 780	33 950	78 634	129 164	173 630	182 917
150	46 623	44 329	102 724	168 686	226 809	238 909
170	51 458	48 917	113 295	186 084	250 189	263 545
180	52 441	49 764	115 261	189 253	254 450	268 052
200	53 069	50 283	116 436	191 247	257 072	270 838

的企业有必要加强监测和治理。

5 结 论

首先分析了敏感负荷对电压凹陷扰动的不确定性,基于能量损失理论得出敏感负荷电压凹陷经济损失,最后通过仿真定量的分析不同种类电压凹陷对由计算机控制的高科技产业造成的经济损失。评估结果表明,每年由于凹陷造成的敏感负荷的经济损失是巨大的,为电压凹陷的检测、控制和治理提供了一定的理论基础。

参考文献

[1] 刘守亮,肖先勇,杨洪耕. 基于 S 变换模时频矩阵相似度的短时电能质量扰动分类 [J]. 电网技术, 2006, 30(5): 67—71.

[2] 罗卫华,孙云莲. 独立分量分析法在电能质量监测与分析中的应用 [J]. 电网技术, 2006, 30(15): 81—84, 89.

[3] 凌玲,徐政. 基于数学形态学的动态电能质量扰动的检测与分类方法 [J]. 电网技术, 2006, 30(5): 62—66.

[4] 王宾,潘贞存,徐文远. 配电系统电压跌落幅值估算分析 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(1): 29—34.

[5] 李妍,段余平,邱军,等. 环网配电网电压暂降分析的临界比距法 [J]. 电网技术, 2006, 30(11): 51—55.

[6] 王宾,潘贞存,董新洲. 电压跌落的配电线路全线速切治理方案 [J]. 电网技术, 2006, 30(21): 84—88.

[7] 王成,肖先勇. 基于控制延迟补偿的混合有源滤波器的研究 [J]. 电网技术, 2006, 30(7): 59—63.

[8] 赵剑锋,王浔,潘诗锋. 用电设备电能质量敏感度测试系统研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(22): 32—36.

[9] S Z Djokic, J Desmet, G Vaname et al. Sensitivity of Personal Computers to Voltage Sags Short Interruptions [J]. IEEE Trans PowerDel, 2005, 20(1): 375—383.

[10] S Z Djokic, K Stockman, J V Milanovic et al. Sensitivity of AC Adjustable Speed Drives to Voltage Sags Short Interruptions and Under-voltage Transients [J]. IEEE Trans PowerDel, 2005, 20(1): 494—505.

[11] S Z Djokic, J V Milanovic, D S Kirschen. Sensitivity of AC Coil Contactors to Voltage Sags Short Interruptions and Undervoltage Transients [J]. IEEE Trans PowerDel, 2004, 19(3): 1229—1307.

[12] 肖先勇,王希宝,薛丽丽,等. 敏感负荷电压凹陷敏感度的随机估计方法 [J]. 电网技术, 2007, 31(22): 30—33.

[13] 王希宝,李元耀,刘斌,等. 电压凹陷引起的过程控制系统故障评估方法的研究 [J]. 四川电力技术, 2007, 30(4): 5—8, 48.

[14] 肖先勇,王希宝,季广辉. 基于箱形图和矩估计的敏感元件电压凹陷敏感度评估 [J]. 电网技术, 2008, 32(17): 64—68.

[15] J V Milanovic and C P Gupta. Probabilistic Assessment of Financial Losses Caused by Interruptions and Voltage Sags. Part I: The methodology [J]. IEEE Trans PowerDel, 2006, 21(2): 918—924.

[16] J V Milanovic and C P Gupta. Probabilistic Assessment of Financial Losses due to Interruptions and Voltage Sags—Part II: Practical Implementation [J]. IEEE

Trans PowerDel, 2006, 21(2): 935—932

[17] Gámez JC, Morcos M M. Voltage Sag and Recovery Time in Repetitive Events[J]. IEEE Trans PowerDel 2002, 17(4): 1037—1043.

[18] 张志刚,殷科生. 基于负荷敏感性及能量损失的电压凹陷的评价[J]. 西北电力技术, 2005(4): 1—2, 18.

[19] 李光荣,代红才. 定量评价电压凹陷引起的用户损失[J]. 江西电力, 2006, 30(4): 37—39.

[20] S A Yin, C N Lu, Edwin Liu, Y C Huang and C Y Huang Assessment of Interruption Cost to High-tech Industry in Taiwan [C]. Proceedings of the IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Atlanta, GA, USA, 2001.

(收稿日期: 2010—08—15)

(上接第 34 页)
技术经济效益。

参考文献

[1] 萨师煊. 数据库系统概论 [M]. 高等教育出版社, 2000.

[2] 郑耀东. ASP.NET 2.0 编程指南 [M]. 人民邮电出版社. 2007.

[3] 张杰. 基于 Web 的工作流管理系统的设计与实现 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2009, 22(1): 56—58.

[4] 石邵郡,林小村,文杰,等. 电力系统继电保护配置及定值管理系统 [J]. 电网技术, 1996, 20(8): 26—29.

[5] 谢熹,吕飞鹏,雷云川,等. 基于工作流的继电保护定值管理系统 [J]. 电网技术, 2006, 30(16): 64—69.

[6] 彭晓兰,刘沛,程时杰,等. 一个实用的继电保护运行与管理专家系统 [J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(6):

421—426.

作者简介:

周建群 (1969),女,工程师,大学本科,从事电力系统调度运行工作;

吕 华 (1980),男,工程师,大学本科,从事电力系统自动化专业工作;

李志文 (1978),男,工程师,硕士,从事电力系统继电保护专业工作;

杜俊红 (1975),女,工程师,硕士,从事电力系统继电保护专业工作。

胡亚平 (1986),男,硕士研究生,从事电力系统继电保护研究。

吕飞鹏 (1968),男,博士,教授,从事电力系统继电保护研究。

李运坤 (1987),男,硕士研究生,从事电力系统继电保护研究。

(收稿日期: 2010—05—12)

(上接第 88 页)

AVC 系统是保证电网安全、经济、优质运行并作为电网安全稳定预防性控制措施的重要技术手段。省、地调之间的协调控制的实现为有效提高德阳电网电压控制水平、降低网损、提高电压稳定裕度提供了可靠的保证。

因此,下一步德阳电业局将根据德阳地区电网电压无功控制的特点,建立以德阳地调主站为中心覆盖包括城区供电局五里堆、孟家、二重区域电网、绵竹供电局新市区域电网、什邡供电局云西区域电网、罗江供电局万安区域电网以及广汉供电局古城区域电网在内的地区区域电压无功控制系统。

参考文献

[1] 郭庆来,孙宏斌,张伯明,等. 江苏电网 AVC 主站系统的研究和实现 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 83—87.

[2] 郭庆来,孙宏斌,张伯明,等. 协调二级电压控制的研究 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 19—24.

[3] 唐茂林,庞晓艳,李旻,等. 计及梯级电站的省地一体化 AVC 系统研究及实现方案 [J]. 电力自动化设备, 2009, 29(6): 119—123.

[4] 王铁强,成海彦,等. 基于分层分区协调控制的河北南网 AVC 系统设计与实现 [J]. 电网技术, 2008, 12(32): 157—160.

[5] 孙宏斌,张伯明,郭庆来,等. 基于软分区的全局电压优化控制系统设计 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 16—20.

作者简介:

刘青丽 (1977),女,汉族,工程师,研究方向为电力系统调度运行;

尹 琦 (1971),女,汉族,高级工程师,研究方向为电力系统调度运行;

周 鹏 (1978),男,汉族,助理工程师,研究方向为电力系统控制及保护;

邓志森 (1978),男,汉族,工程师,研究方向为电力调度自动化。

(收稿日期: 2010—08—15)