

电源型元件的电压凹陷敏感度评估

尤 园

(广元电业局, 四川 广元 628000)

摘 要:针对电源型元件, 考虑了电压幅值与持续时间之间的关系, 将元件种类进行分类。用正态分布作为元件电压耐受曲线的概率描述形式。最后得出元件电压凹陷敏感度的评估结果。最后以 PC 机为例, 对其电压凹陷敏感度进行了评估, 证明该方法的可行性。方法能较容易的推广到其他敏感元件。

关键词:正态分布; 电压耐受曲线; 电压凹陷; 敏感元件

Abstract: Aim at power source equipment components. The relation of duration with voltage magnitude is considered in this paper. And the component is mentalized. The normal distribution is used to describe the probability density function of voltage - curve. In this way, the result of component voltage sag sensitivity is get. The estimated results of PCs using the new method show that this method is more feasible and accurate. And the method can be easily used to estimate other sensitive equipments impacted by voltage sag.

Key words: normal distribution; voltage - tolerance curve; voltage sag; sensitivity equipment components

中图分类号: TM732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2008)00-

随着高技术产业的飞速发展, 众多基于计算机、微处理器、微电子等的敏感负荷并入公用电网运行, 因电能质量, 尤其是动态电能质量问题产生的影响已经成为国内外广泛关注的热点问题。敏感负荷对电压凹陷 (Sage)、电压骤升 (Swell)、电压短时中断 (Interruption) 等动态扰动非常敏感, 单个设备或元件的故障可能导致整个生产线产品报废, 甚至停运, 由此造成极大的经济损失^{[1],[2]}。

国内外对动态电能质量问题的研究主要集中在检测、分类与识别、补偿与控制^{[3],[4]}, 但是对元件的电压凹陷敏感性评估等方面的还很少。国外已经有一些关于元件的电压凹陷敏感性评估的文章^[5], 但是它们大多是以 ITIC 曲线 CBEMA 曲线作为标准。然而随着科技的进步, 很多敏感元件对电能特别是电压凹陷的要求越来越高。但是目前还没有更好的标准。文献 [6~9] 对计算机 (PC)、交流调速器 (ASD)、可编程控制器 (PLC)、交流接触器 (AC Contactor) 等单个元件进行了实验研究, 得出元件对电压凹陷敏感不确定性的实验结果。文献 [10, 11] 提出了用概率密函数的方法得出元件电压凹陷耐受曲线的概率表示方法并进行电压凹陷的评估, 文献 [12] 基于元件的电压凹陷耐受曲线的概率表示的基础上用概率分布函数进行了电压凹陷的评估, 但是它们都是把元件电压耐受曲线的电压幅值与持续时间认为是相互独

立的随机变量, 在实际的评估过程中很难确定元件的敏感等级, 并且不同敏感等级元件的电压凹陷耐受曲线很难精确的获得。这都给电压凹陷的评估带来一定的影响。在考虑元件电压凹陷耐受曲线中电压幅值与持续时间的基础上, 详细的论述了如何确定元件电压耐受曲线的概率密度函数。并用相应的概率分布函数进行电压凹陷的敏感性评估。

用 MATLAB 仿真得出元件的电压凹陷的敏感度, 并于以往的实验室测试结果进行比较、分析证明该理论的正确性。

1 元件电压耐受曲线的概率密度表示方法

1.1 元件敏感度的不确定性

到目前为止提出的敏感元件主要有: PLC、PC、

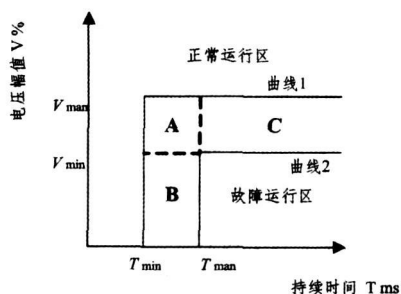


图 1 负荷电压耐受曲线的不确定性区域

ASD、交流接触器 (ACC ac-contactor) 等四类。试验证明, 不仅不同类型元件对扰动的敏感程度不同, 同类元件在安装在不同负荷的不同位置, 其敏感程度也存在很大差异, 因此, 元件的电压耐受曲线 (Voltage-Tolerance Curve) 存在不确定性。试验表明 PLC、PC、ASD 电压耐受曲线一般呈现矩形, 如图 1。

如图 1, 曲线 1 外部区域 ($V > V_{max}$, $T < T_{min}$) 为正常运行区, 曲线 2 内部区域 ($V < V_{min}$, $T > T_{max}$) 为故障运行区, 元件的电压耐受曲线可能发生 ($V_{min} < V < V_{max}$, $T_{min} < T < T_{max}$) 的任何位置, 即曲线 1 与曲线 2 之间的部分为不确定区域。

1.2 元件电压耐受曲线中电压幅值与持续时间的关系

对于电源型元件, 元件对电压凹陷的敏感性主要由电源的设计决定。如图 2 为 PC 机的电源模型, 当交流侧电压的有效值小于直流侧的电压的时候, 二极管将关闭, 使电容器储存的能量释放出来, 向电压调节器供电。

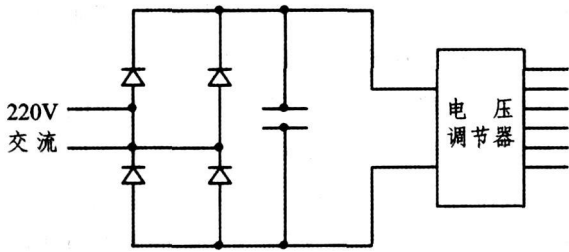


图 2 PC 的电源模型

$$\frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} CU_0^2 - Pt \quad (1)$$

U_0 、 U 为电压凹陷前和电压凹陷期间直流侧电压值; p 为负荷功率, C 为电容器容量。

$$\epsilon = \frac{0.02P}{2U_0^2 C} = U_{max} - U_{min} \quad (2)$$

ϵ 为电压纹波, 通常作为二极管设计的一个标准, 作为电源设计的一个技术参数, 则可以得到:

$$U(t) = U_0 \sqrt{1 - 4\epsilon \frac{t}{0.02}} \quad (3)$$

$$t_{max} = \frac{1 - U_{min}^2}{4\epsilon} 0.02 \quad (4)$$

当直流侧电压低于电压调节器的能政党工作的最小输出电压 U_{min} , 计算机将跳闸最大持续时间为 t_{max} 。所以电源型元件对电压凹陷的两个敏感参数之

间存在着一定的内在联系。

1.3 元件电压凹陷耐受曲线概率表征方法

1.3.1 敏感参数电压幅值的概率表征方法

根据文献对于 PC 元件电压凹陷敏感性的不确定区域的范围为电压幅值 46% ~ 63%。在不确定区域内用正态分布概率密度函数来表征元件电压凹陷耐受曲线中电压幅值发生在不同位置的概率。

$$f(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(V-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

$$46\% < V < 63\%, \sigma > 0, \mu > 0$$

对于 PC $\mu = 54.5\%$ 由于元件的电压凹陷耐受曲线一定发生在不确定区域内根据“3 σ ”法则 $\sigma = 2.83$ 。

1.3.2 敏感参数持续时间的表征方法

对于 PC 电源跳闸时的直流侧电压 U_{min} 取决于电压调节器的设计。其概率表征方法已经在 1.3.1 中论述。对于不同 U 根据公式 (5) 可以确定相应的 PC 机所能承受的最大持续时间:

$$t = \frac{1 - U_1^2}{4\epsilon_1} 0.02 \quad (6)$$

$$46\% < U_1 < 63\%$$

ϵ_1 为电压纹波, 不同的电源设计取值不同。

在表 (1) 列出了电压纹波取不同值的时候不同, 持续时间的变化范围。

表 1 不同的电压纹波和电压幅值所对应的持续时间 (ms)

纹波 $V\%$	5%	4%	3%	2%
0.63p.u	60	75	101	150
0.4p.u	79	99	131	197

由表 1, 对于电压纹波不同的电源, 在电压幅值确定以后, 所能承受的电压暂降时间是不同的, 并完全由电压纹波确定, 不同的电压纹波对该电源所能承受的持续时间影响很大。电压纹波截越大所能承受的电压降时间越短, 当电压纹波确定以后持续时间在一个相对很小的时间范围内变化, 对于电压纹波在 2% ~ 5% 内所能承受的持续时间的变化范围为 60ms ~ 197ms

2 元件电压凹陷敏感性评估算法

在第 2 节已经介绍了用概率密度函数来表征元件的电压耐受曲线发生在不确定性不同位置的概率。下面讨论元件电压凹陷敏感性评估的一般算法。

如图 3, 曲线 1 与 2 之间的部分为无件电压凹陷

敏感度不确定区域。当发生的电压凹陷为 $(T_1 V_1)$ 时, 只要元件的电压耐受曲线发生在 $T_{min} < T < T_1$, $V_{max} < V < V_1$ 元件就会受到扰动。

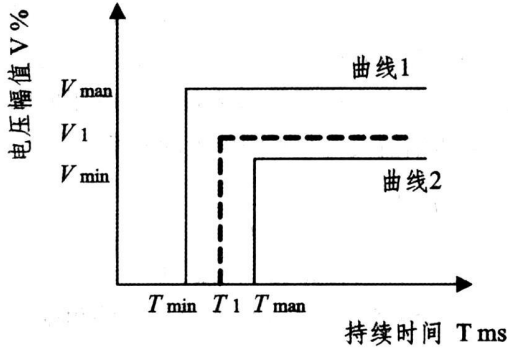


图 3 元件敏感性评估示意图

图 4 表示元件电压凹陷敏感度评估结果的计算方法, 那么在 $V_{max} < V < V_1$ 的概率 (即阴影部分的面积之和) 为电压凹陷 $(T_1 V_1)$ 使设备发生故障的概率:

$$P = \int_{V_1}^{V_{max}} f(V) dv \quad (7)$$

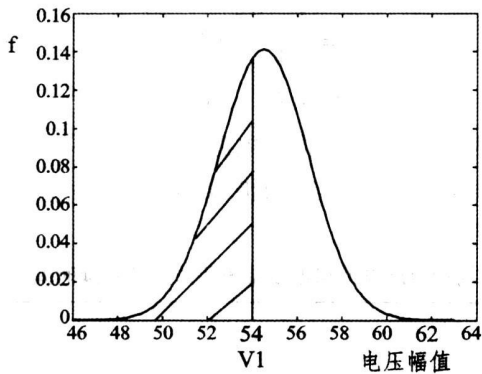


图 4 PC 电压凹陷敏感度评估

3 仿真分析

以中等敏感的 PC 为例用 MATLAB 仿真说明, 图为用正态分布表示的中等敏感 PC 电压耐受曲线的

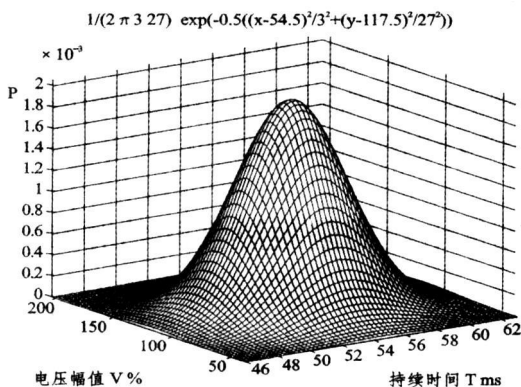


图 5 中等敏感 PC 电压耐受曲线概率密度函数

概率表示图 5。根据图 4 结合公式 7, PC 的电压凹陷敏感性估的计算公式为:

$$P = \int_{T_{min}}^{T_1} \int_{V_{max}}^{V_1} \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{1}{2}(\frac{(T-u_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(V-u_2)^2}{\sigma_2^2})} dtdv \quad (8)$$

当 T_1, V_1 取不同的值可以得出不同的电压凹陷。

导致元件故障的概率见表 2。

表 2 PC 电压凹陷敏感度评估结果

$V_1 / \%$	>60	>57	>54	>51	>48	>46
$T_1 / (ms)$						
>80	0.0038	0.0592	0.1668	0.2590	0.2903	0.2947
>120	0.0614	0.1071	0.3016	0.4686	0.5256	0.5326
>140	0.0912	0.1592	0.4488	0.6971	0.7818	0.7923
>160	0.1078	0.1883	0.5304	0.8238	0.9239	0.9364
>180	0.1133	0.1978	0.5570	0.8654	0.9705	0.9835
>205	0.1144	0.1996	0.5624	0.8738	0.98	0.9932

4 结论

在分析两种方法的物理含义的基础上, 指出用元件电压耐受曲线的概率分布函数对元件的电压凹陷敏感性评估的正确性。并与实验结果对比证明了方法的正确性和精确性。由于对大量的敏感元件进行测试是一大难题, 所以如何用大量的实践结果是元件的电压耐受曲线更加精确, 以建立一套完整的电压凹陷敏感性的理论评估体系将是下步工作的重点。

参考文献

- [1] 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, December 2001, pp 270-275.
- [2] D. O. Koval, Rocancea Y. Kai and M. B. Hughes. Canadian national power quality survey: frequency and duration of voltage sags and surges at industrial sites [J], IEEE Trans on Industry Applications 34 (5): 904-940, Sep/Oct 1998.
- [3] 刘守亮, 肖先勇. Daubechies 复小波的生成及其在短时电能质量扰动检测中的应用 [J], 电工技术学报, 2005, 20(11): 106-110.
- [4] 王波, 杨洪耕. 电力系统电压短期扰动的三角模态检测方法 [J], 电工技术学报, 2005, 20(11): 101-105.
- [5] 杨洪耕, 刘守亮, 肖先勇. 利用 S 变换时频等幅值包络线向量实现电压凹陷的分类 [J], 电工技术学报, 2006, 21

(8): 75-79.

[6] 吕干云,程浩忠,郑金菊,汪晓东.基于 S 变换和多级 SVM 的电能质量扰动识别[J].电工技术学报.

[7] 袁川,杨洪耕.动态电压恢复器最小视在功率控制[J].电力系统自动化,2005,29(11)19-22.

[8] J Wang S Chen and T T Lie, Estimating Economic Impact of Voltage Sags[C]. Proceedings of 2004 International Conference on Power System Technology - POWERCON 2004, Singapore Nov 21-24, 2004, 350-355.

[9] S Z Djokic J Desmet G Vaname J V Milanovic and K Stockman Sensitivity of personal computers to voltage sags short interruptions[J]. IEEE Trans Power Del 20(1): 375-383, Jan 2005.

[10] S Z Djokic K Stockman J V Milanovic J J M Desmet and R Belmans Sensitivity of AC adjustable speed drives to voltage sags short interruptions and under-voltage transients[J]. IEEE Trans Power Del 20(1): 494-505, Jan 2005.

[11] 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 Power Del 21(2): 918-924 Apr 2006.

[12] P Gupta and Jovica V Milanovic Probabilistic Assessment of Equipment Trips due to Voltage Sags [J]. IEEE Trans Power 21(2): 711-718, Apr 2006.

(收稿日期: 2008-01-24)

(上接第 17 页)

50 000 Nm³/h, 约 10% 的总风量, 这样既保证了锅炉的正常流化, 又保证了锅炉的换热且锅炉的床料损失也相对较少。

4) 锅炉负压越低则床料损失越大, 过小则易使锅炉正压运行, 根据运行实际情况维持锅炉负压为 0~0.2 kPa 最为合适。

5) 锅炉的吹扫: 吹扫时间由 5+X 改为 5 min。

6) 锅炉启动前吹扫风量一般维持 500 000~600 000 Nm³/h 足以保证锅炉的安全。原来运行两台二次风机改为一台运行, 由于减少一台二次风机, 吹扫风量大幅度减少, 且由于吹扫引起的床料损坏也大幅度减少。

7) 锅炉启动前通知燃运向煤仓上发热量和挥发份相对较高的煤种, 便于锅炉投煤初期煤的燃烧稳定。

8) 当锅炉床温上升至 500℃ 不再投运床上油枪, 而是根据煤的着火点选择投煤, 根据运行经验和煤的实际情况一般选择在锅炉中部床温达 520~550℃ 时向锅炉投煤, 一旦床温上涨, 确定煤已经燃烧后, 则适当加大风量, 并准备石灰石的加入, 严格控制床温在合格范围内, 直到全停燃油。实践证明, 此种运行方式可以节约燃油 20 t 左右。

9) 汽机的配合是机组启动的关键, 如何合理安排汽机的暖缸和冲转以及带负荷是降低启动消耗和缩短启动时间的关键所在, 因此应对汽机的启动进行大幅度的调整。

改变过去冷态启动用新蒸汽对高压缸暖缸的操作方式, 在锅炉点火后就进行汽机抽真空用辅助蒸汽对高压缸进行暖缸, 当锅炉达到汽机冲转条件后立即进行汽机的冲转。此操作方式缩短了汽机启动时间约 3 h。

由于东方汽轮机厂要求本机高参数启动, 在汽机冷态启动时, 维持较高主汽压力和真空, 使得中压缸的膨胀极其缓慢。因而需要针对上述原因进行大幅度调整: 1) 适当开大高压旁路, 降低主汽压力和提高再热汽压, 减少高压缸的进汽, 增加中压缸进汽。2) 适当降低真空, 增加汽缸进汽。通过实践, 汽缸的膨胀、汽缸温度均能够达到厂家提供的启动速度, 比原来的操作方法提前了 1 h 的启动时间。

由于在锅炉投煤后炉内的颗粒分布已发生大幅度变化, 原来相对比较均匀的床料变为粗颗粒多, 细颗粒极少的现象, 使锅炉的换热由颗粒换热变为了辐射换热为主, 导致锅炉床温、主汽温度均高, 而压力却偏低的现象。据此原因, 需在锅炉投煤床温达 700℃ 以上大量加入石灰石, 以改善炉内工况, 严格控制锅炉床温和主汽温度。

3 结束语

白马公司引进的 300 MW CFB 锅炉机组, 通过对机组启动方式的优化, 很好的解决了循环流化床锅炉启动耗油多、启动时间长的特点, 通过一年的不断摸索改进, 现在进行一次冷态启动耗油由原来的 80 t 以上降至 31 t 以下, 启动时间减少了约 4 小时, 启动耗电减少了 4 万 kWh 为机组的节能降耗作出了较大的贡献, 也为同类型的循环流化床锅炉机组启动节能降耗提供了借鉴。

作者简介:

李星华, 工程师, 现任四川白马循环流化床示范电站有限责任公司副总工程师, 具有多年的煤粉炉及循环流化床锅炉机组技术管理经验, 在中国首台引进的 300 MW 循环流化床建设项目中, 负责项目的基建、调试、生产等部分管理工作。

(收稿日期: 2008-05-15)