

# 突发事件型电能质量的经济评估

2009-10-19 作者：林海雪

以微电子技术为核心的高新产业发展，使电能质量的突发事件（电压暂降、暂升、短时中断）对用户造成的危害越来越大，本文对突发事件型电能质量的经济效益评估方法做了扼要论述，介绍国外一些实用计算参考资料，有助于专业人员开展这方面的研究工作，为提高我国电能质量水平，保证重要用户供电提供依据。

## 1 引言

随着高新技术产业的发展，计算机、电力电子和微电子技术的广泛应用，电能质量对国民经济和人民生活的影晌与日俱增。从实用角度，电能质量指标可分为变化型指标（即和连续性扰动相关的指标）和事件型指标（即和突发性扰动相关的指标）。变化型指标主要有电压偏差、频率偏差、谐波、三相不平衡、电压波动和闪变等；突发事件型指标主要有电压暂降、暂升和短时（瞬时）中断等。可以采取不同措施解决电能质量问题。改善电能质量，既有技术效益，也有经济效益。经济效益的评估涉及的因素较多，且对改善电能质量措施的采用有时起关键的作用，值得深入研究。目前这方面发表的文献较少，特别是对突发事件型指标经济效益的分析，缺少相关的参考资料。本文扼要介绍突发事件型指标的经济效益评估方法，提供一些国外实用计算参考资料，有助于专业人员开展这方面的研究工作，为提高我国电能质量水平，保证重要用户供电提供依据。

## 2 突发事件型指标经济评估概述

当输配电系统中发生短路故障、感应电机起动、雷击、开关操作、变压器以及电容器组的投切等事件时，均可能引起供电电压的暂降、暂升和短时（瞬时）中断等一类的突发性事件，对敏感用户（以微电子技术为核心的负荷）造成危害。据介绍，一次2个周波左右电压暂降或中断，可能使半导体制造厂生产线停顿，造成损失达数百万美元；某计算机中心2s的供电中断，引起约60万美元的损失。类似事件很多、不胜枚举。据统计，在欧美发达工业国，由电压暂降或短时（瞬时）中断引起电力用户对供电的投诉占整个电能质量问题投诉数量的80%以上。

要解决这一类电能质量的危害，必须进行下列工作：（1）掌握供用电系统产生这类事件的特性及设备本身耐受特性；（2）估算与电能质量突发事件相关的损失费用；（3）提出可能采用的解决方案，评估这些方案的费用和效益；（4）按投资和效益综合最佳的原则，确定方案。

下面对以上四方面问题分别作扼要介绍。

## 3 供电系统特性及设备耐受特性

首先了解供电系统受到的扰动种类和其发生的频度。对于大多数工业设备，最主要的扰动为电压暂降和短时断电，这些现象在电力部门可靠性统计中未被包括在内[我国供电可靠性指标中的停电是指供电电压幅值为零且持续时间超过5min(有的国家规定为1min以上)]

的现象。

对于设备处发生的电压暂降，一般用其幅值和持续时间来表征其特性。图 1 是发生在美国某个塑料制造厂电压暂降的幅值和持续时间电能质量事件的例子。图中同时绘出美国标准 SEMI F47 中所规定的半导体制造设备耐受水平曲线，在曲线上方的事件，设备应能承受。此标准中的曲线也对其它许多工业有指导作用。图中加圆圈的数据点表示所发生的事件导致生产过程中断。显然，该工厂的设备还不能满足 SEMI F47 标准。

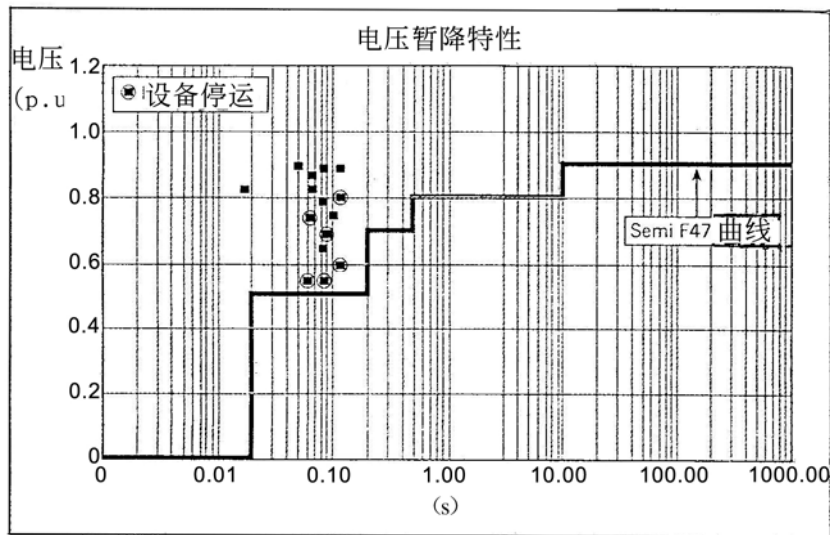


图 1 某制造厂电压暂降事件

（凡是引起生产过程破坏的事件，加圆圈表示）

由于电压暂降和中断事件是随机性的，这需要较长时间（例如 1~3 年）监测积累；而设备的耐受性，也是需要大量监测统计的（除非设备制造商能提供确切的耐受曲线）。而还应考虑，供电系统的变化也将影响这些事件的发生次数以及幅值和持续时间。因此，提出一个合理的系统特性和设备耐受性并不是轻而易举的事。一般事件次数的期望值应利用 SARFI 指标（System Average RMS Variation Frequency Index），即在一定时间（例如一年）内电压暂降的幅值低于门限值（阈值）的频度统计值。只是目前国内尚未开展这方面工作，无从获取相关资料。

由于电压暂降和中断事件是随机性的，这需要较长时间（例如 1~3 年）监测积累；而设备的耐受性，也是需要大量监测统计的（除非设备制造商能提供确切的耐受曲线）。而还应考虑，供电系统的变化也将影响这些事件的发生次数以及幅值和持续时间。因此，提出一个合理的系统特性和设备耐受性并不是轻而易举的事。一般事件次数的期望值应利用 SARFI 指标（System Average RMS Variation Frequency Index），即在一定时间（例如一年）内电压暂降的幅值低于门限值（阈值）的频度统计值。只是目前国内尚未开展这方面工作，无从获取相关资料。

由于电压暂降和中断事件是随机性的，这需要较长时间（例如 1~3 年）监测积累；而设备的耐受性，也是需要大量监测统计的（除非设备制造商能提供确切的耐受曲线）。而还

应考虑，供电系统的变化也将影响这些事件的发生次数以及幅值和持续时间。因此，提出一个合理的系统特性和设备耐受性并不是轻而易举的事。一般事件次数的期望值应利用 SARFI 指标（System Average RMS Variation Frequency Index），即在一定时间（例如一年）内电压暂降的幅值低于门限值（阈值）的频度统计值。只是目前国内尚未开展这方面工作，无从获取相关资料。

## 4 估计与突发事件相关的损失费用

对于事件型指标，评估电能质量造成的经济损失应包括：（1）造成产品的直接损失（主要是指停产造成产量减少）；（2）与劳动相关的损失，例如工作人员空闲、加班费、清理以及检修费用；（3）附加费用，例如设备损坏、失去商机费以及货物延误交付的罚款等。

考虑上述三类损失，就可以列出一个与某扰动相关的所有损失费用的明细表，求出一次扰动的损失费。对于经济分析，往往可以从暂时中断的损失费出发。表 1 是文献[2]提供的工业和商业各行业中每次暂时断电的损失费。

表 1 暂时断电典型费用（\$/kW 负荷）

类别	暂时断电损失费（\$/kW 负荷）	
	最小	最大
工业：		
汽车制造	5.0	7.5
橡胶和塑料	3.0	4.5
纺织	2.0	4.0
造纸	1.5	2.5
印刷（新闻报纸）	1.0	2.0
石油化工	3.0	5.0
金属生产	2.0	4.0
玻璃	4.0	6.0
采矿	2.0	4.0
食品加工	3.0	5.0
制药	5.0	50.0
电子	8.0	12.0
半导体制造	20.0	60.0
商业：		
通讯、信息产业	1.0	10.0
医院、银行、民用服务	2.0	3.0
餐馆、酒吧、旅馆	0.5	1.0
商店	0.1	0.5

各种费用一般随电能质量扰动的严重度（由幅值和持续时间两因素决定）而变。这种关系常可以用一个加权因子加以规定。利用一次暂时中断的费用作为基础提出加权因子。

通常，一次暂时中断会引起不采取某种技术措施的敏感设备或工序破坏（停运）。不同电压暂降常会造成不同影响，导致总停运中某个比例的停运。

如果电压暂降 40%，导致暂时中断造成经济损失的 80%，则对于 40% 暂降的加权因子为 0.8。同样，若暂降至 75% 仅造成中断损失费的 10%，则加权因子为 0.1。

对于一个事件，采用加权因子之后，事件的损失费就表示为一次暂时中断费用的标么值。则若干加权事件可以综合，结果用等值暂时中断次数表达所有事件的总损失费用。

表 2 给出了一次调研所使用的加权因子实例。加权因子可以进一步扩充，将影响所有三相的暂降和仅影响一相或两相的暂降之间做区分。表 2 还把加权因子和期望的性能结合起来，以确定与电压暂降和中断相关的年度总费用。在本实例中该费用是一次中断的 16.9 倍。如果一次中断费用是 \$ 40,000，则与电压暂降和中断相关的年度总费用是 \$ 676000。

表 2 加权因子和期望的电压暂降性能相结合，以确定电能质量变化的总费用

事件类别	经济分析的 加权因子	每年事件次数	总的等值中断 次数
中断	1	5	5
最低电压低于 50% 的暂降	0.8	3	2.4
最低电压 50%~70% 的暂降	0.4	15	6
最低电压 70%~90% 的暂降	0.1	35	3.5/16.9*

\*16.9 为总次数。

## 5 提出方案，评估相应的费用和效益

用于改善性能的解决方案范围很广，其费用和效益也各不相同。可以在电气系统采用不同解决方案，在不同地点达到不同的水平。

原则上四种主要可选方案：

- (1) 改善供电系统（提供优质电力）
- (2) 在用户入口处采取技术措施以保护整个工厂
- (3) 在装置内部设备处实行电力调节
- (4) 设备本身的解决方案（规范、设计、局部电力调节）

一般讲，这些解决方案的费用随着所需保护负荷功率的增加而增加。这意味着，如果能做到把敏感设备或控制系统和不需要保护的隔离（单独地加以保护），则一般更为省钱。

改善电能质量可选方案的评估实际上是一种经济上的比较。必须对不同可选方案的电

能质量变化的经济影响和改善性所能需费用作评估。

表 3 提供了美国用于改善电压暂降和中断性能的一些通用技术措施的初始投资和年运行费用的例子。这些费用经常变化，所以不应当将其视为任何特定产品的示范。

表 3 抑制电压暂降的技术费用

电力调节设备类别	典型造价 (\$/kVA)	运行和维护费 (每年为初始价格的 百分数)
控制系统的保护 (<5kVA)		
稳压变压器 (CVT)	1000	10%
不间断电源 (UPS)	500	25%
有源串联补偿器	250	5%
设备 (机器) 的保护 (10~300kVA)		
不间断电源 (UPS)	500	15%
飞轮备用 UPS	500	7%
有源串联补偿器	200	5%
工厂 (装置) 的保护 (2~10MVA)		
不间断电源 (UPS)	500	15%
飞轮备用 UPS	500	5%
动态电压恢复器 (DVR) ——升高电压 50%	300	5%

除了技术措施费用之外，每个所选的解决方案效益需要根据所能达到的性能改善做定量评估。解决方案的效益，如电能质量费用，一般随电能质量扰动的严重度而变。这个关系，可以用“避免的电压暂降%”值来确定。表 4 说明，由表 3 中各种可以用于典型工业部门的技术措施示例改善效益的概念。

表 4 对于一个特殊案例的改善电能质量各种解决方案的效益

	中断	暂降, %		
		最低电压低于 50%	最低电压 50%—70%	最低电压 70%—90%
CVT (控制)	0	20	70	100
动态电压暂降校正器/DVR	0	20	90	100
飞轮储能技术	70	100	100	100
UPS (蓄电池组)	100	100	100	100
静态开关	100	80	70	50
快速切换开关	80	70	60	40

\* 本表中所列值表示，采用每种方案所改善达到的电压暂降或中断水平不再影响设施中设备百分数。

## 6 治理方案的确定

比较改善性能的不同可选方案的过程，涉及确定每种方案年度总费用，费用中包括与电

压暂降相关的费用（记住：各种解决方案一般不会完全消除这些费用）和实施解决方案折合的年度费用。目标是使这些费用（电能质量费用+解决费用）最少。

根据总的年度费用（年度电能质量费用+年度电能质量解决费用）对不同的电能质量解决方案做比较。比较分析中一般包括不采取任何措施的方案，通常将其视为基本情况。不采取任何措施的方案，其年度电能质量解决费用为零，但年度电能质量费用最高。

许多费用（电能质量费、运行费以及维护费）是自然的年度费用。而与购买和安装各种解决技术有关的费用是一次性预付费用，可以用一个适当的利率以及设定的寿命或评估周期将其折合到年度费用。

图 2 给出一个为典型工业设施做这种类型分析的例子。设施的总负荷为 5MW，但仅有约 2MW 负荷需要保护以免生产破坏。电压暂降的性能在表 2 中给出。一次中断为 \$40,000，而电压暂降的费用则根据前面给出的加权因子确定。表 4 中给出的 6 个选择方案分析结果，由此可以求出年度费用。折合的年度费用基于 15 年寿命以及利率 10% 计算出来的。

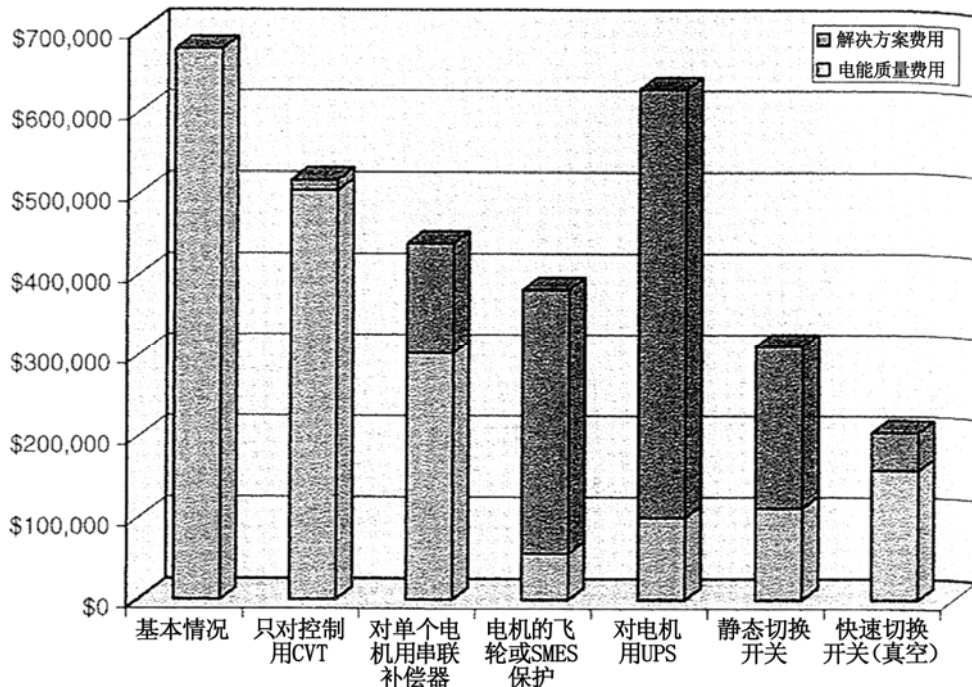


图 2 用总的年度折合费用把各个解决方案与基本情况比较的例子

所有选择的方案都减少了年度总费用（换言之，对该设施来讲，任何一个选择方案，在设定的利率和寿命下，和现状比都有纯利）。同样引人注目的是，在这个案例中最好的解决方案涉及在电力公司侧采用设施（快速切换开关）。不过，这里有一个重要的前提，就是有一条可利用的备用馈线，而且从电力公司供到这条备用馈线的连接不需要花费，只出设备和运行费。

更为一般情况下在设施内部进行解决，采用有源串联补偿器或者飞轮备用电源对于保护 2MW 的敏感负荷可能是合理的。在这种场合，只用 CVT 保护控制部分，这不是最好的解决方案，因为电机本身对电压暂降也是敏感的。

## 7 总结

以微电子技术为核心的高新产业的发展,使电能质量突发事件对大量敏感用户造成的危害越来越大。可以采取不同技术措施减少或基本上消除这种危害。这里需要做技术经济的评估分析。经济评估涉及供电系统特性、设备的耐受特性、经济损失费用、各种技术方案的费用和效益,以及按投资和效益综合最佳的原则确定方案。由于突发事件的随机性、扰动参数的大范围变动性、设备性能的多样性以及各种技术措施的适用性,使得经济评估分析显得相当复杂,做好此工作,需要有足够长时间的基础资料积累。文中介绍了一些国外评估方法和参考资料,国内这方面工作较落后,希望本文有助于专业人员开展这方面研究工作,切实提高电能质量,减少用电损失。

## 参考文献

- [1] 肖湘宁主编. 电能质量分析与控制 (M). 北京: 中国电力出版社, 2004 年 2 月
- [2] McGranaghan M.etc. The Economics of Voltage Sag Ride-Through Capabilities. EC&M May 2005 PP: 30-34
- [3] Roger C.Dugan, etc. Electrical Power Systems Quality. New York: McGraw-Hill, 2003