

一种面向设备电气元器件的电能质量解决方案

——上海通用汽车有限公司电能质量治理

王俊¹, 奚珣², 潘国美², 赵洪明³,

(1. 上海捷实机电科技有限公司, 上海市, 200041)

(2. 上海市电力公司市东供电公司, 上海市, 200122)

(3. 上海通用汽车有限公司, 上海市, 201206)

摘要: 电压暂降作为新型电能质量的主要问题, 给当今的生产工艺制造了巨大的麻烦。本文介绍了一种新的电能质量治理理念——先评估调查后治理, 即先进行深入详实的电能质量评估, 在充分掌握相关数据的基础上, 来分别确立具体的治理方案。并推荐了一种先进的综合型电能质量治理方法——面向设备控制回路和电气元器件的嵌入式硬件与软件参数调整相结合, 即通过在特定的生产设备上做硬件治理, 在一些关键设备的软件调整, 来达到综合治理的效果。该综合治理方案优势明显: 可以提供无需电池、免维护的治理方案; 可以实现最经济有效的电能质量治理方案; 可以在现场进行治理项目有效性的验证。

关键词: 电压暂降, 嵌入式, DySC, 电能质量治理, 评估调查, 最经济治理方案

一、绪论

上海通用汽车有限公司 (SGM) 作为一家世界著名的轿车生产商, 自 1999 年投产以来, 受到多次因电能质量问题而导致的停机、停产事故。起初, 当很多事故发生时, 日光灯没有闪动, 大多数机器仍在工作, 而有些机器却停机了。这样的事故虽然不是特别多, 但平均起来每个月发生 1~2 次, 但是每年造成的直接和间接经济损失却很大。

SGM采用的是双回路 110kV和 35kV供电方式, 作为一家制造型企业, 这样的供电方式应足够保证供电可靠性。然而供电的可靠性并不等同于供电质量或电能质量, 供电可靠性用供电的连续性来描述, 电能质量是指导致用电设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率的偏差^[1]。

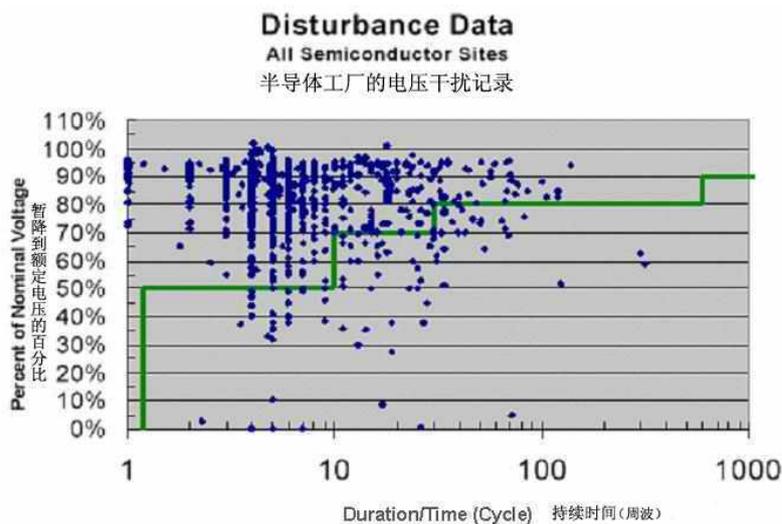
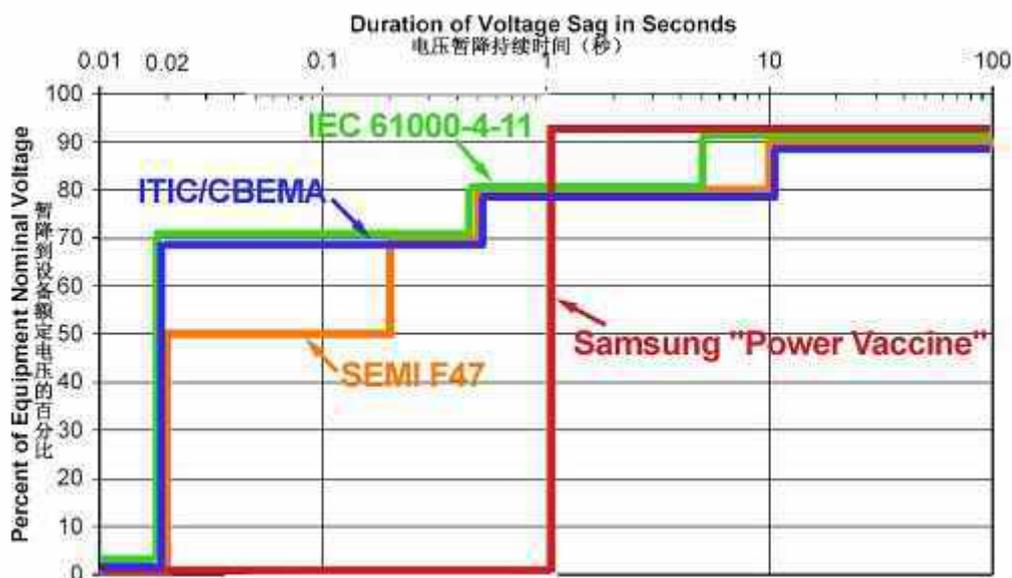


图 1 美国硅谷地区半导体工厂电压干扰记录

当前电能质量中的一个重要问题是 Voltage Sag (目前这一术语在国内学术界尚无统一中文译名, 有翻译为电压暂降的, 也有翻译为电压骤降的, 本文采用电压暂降), 其作用时间很短 (通常为几十到几百 ms, 一般不会超过 1s), 却能够造成很多敏感设备的停机; 而产生电压暂降的原因又非常复杂, 有自然因素, 也有人为因素, 有供电部门系统保护的因素, 也有用户设施内部的原因和误操作等因素。据国外资料统计, 电能质量问题中 90% 以上是由电压暂降引起的。在国外, 企业和学术界对电压暂降的认识较早, 并建立了

一系列国际标准(如 IEC 61000-4-11、IEC 61000-4-34、IEEE 1159、US FAA, 和 US MIL STD 等)、行业标准(如 SEMI F47, SEMI E6、ITIC(CEBMA)) 和企业为保障生产正常运行而制定的电能质量标准(Samsung Power Vaccine)等。我国的电能质量标准中,对暂态的电压暂降尚无明确规定,这使得用户和供电部门在面对相关问题时难以达成一致。



二、SGM 电能质量治理项目的内容与方法

(一) 国外对电压暂降的治理策略与方法

国外的电力用户,特别是一些对加工工艺要求很高的半导体制造企业,在遇到电压暂降问题的初期,多要求电力公司提高供电可靠性。这一做法,使每度电的费用或初期投资提高了好几倍,然而电压暂降的问题却没有得到有效地解决。我们以供电的可靠性为 99.99999% 为例(在实际供电中要达到 7 个 9 这么高的可靠性难度很大),按照一年 365 天来计算,每年累积停电时间为 3.1536s。然而,尽管有如此高的可靠性,对电压暂降而言每年仍然能达到平均 10~12 次。虽然投资费用很大、但抗电压暂降效果不佳。

后来,通过多年对电能质量问题进行全面调查统计发现 90% 以上的电能质量问题为电压暂降问题,敏感电力用户开始认识到一味地要求电力公司从供电侧提高供电可靠性对解决电压暂降问题意义不大,转而将焦点放到设备生产商和用电设备上,要求设备生产商提供的设备具有很好的抗电压暂降性能,并要求从制造企业内部的敏感设备着手来解决电能暂降造成的停产。在争论和研究中,一步步加深了对电能质量问题的认识,逐渐形成了电能质量方面的国际标准和行业标准,来统一约束电力公司、设备生产商和制造企业。

目前,国外对电压暂降问题的解决策略为:按照电能质量的国际标准或行业标准,逐渐由从供电侧来解决问题,演变成深入到企业生产设备内部,利用嵌入式方法逐级来解决问题,并总结出了对电能质量问题解决的新思路:即了解的越多花费越少。理论上来说,在任何一级设备上治理都可以达到改善电能质量的目的,但是所花费的硬件费用与时间却不同。具体策略如图 1 所示。

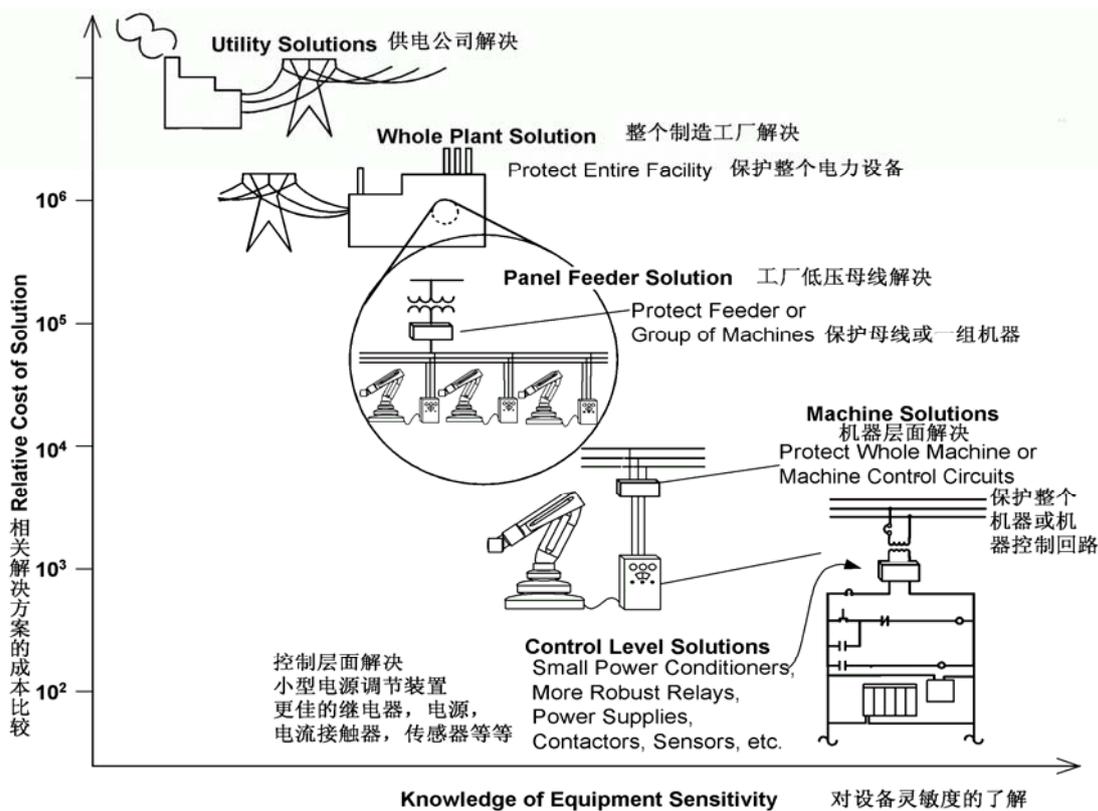


图 1 电能质量解决方案与成本比较

目前，国际上进行电压暂降治理的新趋势正在从使用不间断电源(UPS)向无需电池且动态电压负载性能佳的电压暂降修正器(DySC)过渡。UPS 方案因先入为主为企业所熟悉，但是其维护和运行成本极高，电池平均每隔数月就要进行一次性能测试，每隔 2-3 年更换一次蓄电池，故维护成本高而且带来很多环保问题；DySC 是一项创新技术，没有蓄电池，无需维护，动态负载性能佳，节能绿色环保，正在被越来越多的制造企业所接受，DySC 方案是嵌入式电压暂降治理的趋势。

(二) SGM 电能质量项目的开展

电能质量治理，从电力供应源头治理到整条流程生产线的治理，到机器级的治理，再到机器控制级的治理，治理费用以 10 倍的比例下降。结合我国企业规模相对不大的客观实际，我们更提倡对生产设备进行机器级或控制级进行治理，甚至是深入到机器设备内部的电气元器件级治理，这样治理费用大约是整条生产线治理费用的 1/10~1/20。

这里提倡的一个理念是：先进行电能质量评估调查，然后再进行治理。只有先进行深入细致的评估调查，才能充分了解各生产工艺的特殊要求、敏感机器设备的确切电气性能，从而将电能质量问题的范围缩小到最小，基于这样的评估调查得出的治理方案才是最经济有效的治理方案。

1. 评估调查工作

(1) 电能质量监测统计。SGM 在工厂电力进线端安装了电能质量监测装置 (PQ1)，按照监测装置提供的电能质量标准选项选择了 SEMI F47，来监测整个工厂的电能质量状况。PQ1 的监测精度非常高，电压偏差为设定值的 0.5%，最小时间为 0.5 周波 (10ms)。监测装置精确监测了 SGM 工厂的电能质量状况，各车间的设备维护人员也将具体设备出现停机现象的准确时间做了记录，二者结合起来提供了 SGM 电能质量引起停机、停产设备的有效资料。此项工作进行了 2 年左右，记录了大量的有效点，为后期治理项目的开展提供了难能可贵的统计资料。

(2) 现场设备巡视。电能质量专家深入到 SGM 的生产现场，巡视生产设备，了解生产对设备的具体工艺要求，对现场设备维护人员进行调查，了解电压暂降对设备的具体影响，设备对电压暂降的反应，根

据嵌入式治理的理念确定设备的重要程度和敏感程度；缩小待治理设备的范围。

(3) 设备及电气元器件的性能测试。电能质量专家在反复研究了 SGM 电能质量引起停机、停产事故统计后，并结合半导体行业的电能质量标准 SEMI F47，充分考了上海浦东的电能质量状况及 SGM 的设备与生产工艺要求后，为 SGM 建立了企业自己的电能质量标准。



图 2.2 工业电压暂降发生器



图 2.3 工业设备电压暂降测试

确保电能质量治理项目的效果、配合治理项目的实施，SGM 还建立了电压暂降实验室，电能质量专家在实验室里按照 SGM 自己的电能质量标准，对生产线上可疑的设备和电气元器件进行抗电压暂降试验，以确定其是否符合 SGM 的电能质量标准。测试试验的关键是要模拟各种电压暂降的情况，因为让生产运行设备等待真正电压暂降的到来时再来检验其治理效果会使项目需时过长，且不利于及时总结归纳，达到尽快推广的目的。SGM 电压暂降试验，采用了工业电压暂降发生器(IPC)模拟装置，它完全符合 IEC-61000-4-11、IEC-1010 等国际标准，并内置有各种电能质量标准（如 IEC61000-4-11 和 SEMI F47 等）的内设电压暂降值，也可以任意设置电压暂降的幅度、持续时间和相位角，IPC 的工作电压范围为 100~480V，负载输出电流三相连续电流可达 200A，峰值电流高达 600A，它可以很好的模拟工业现场的各种电压暂降情况。

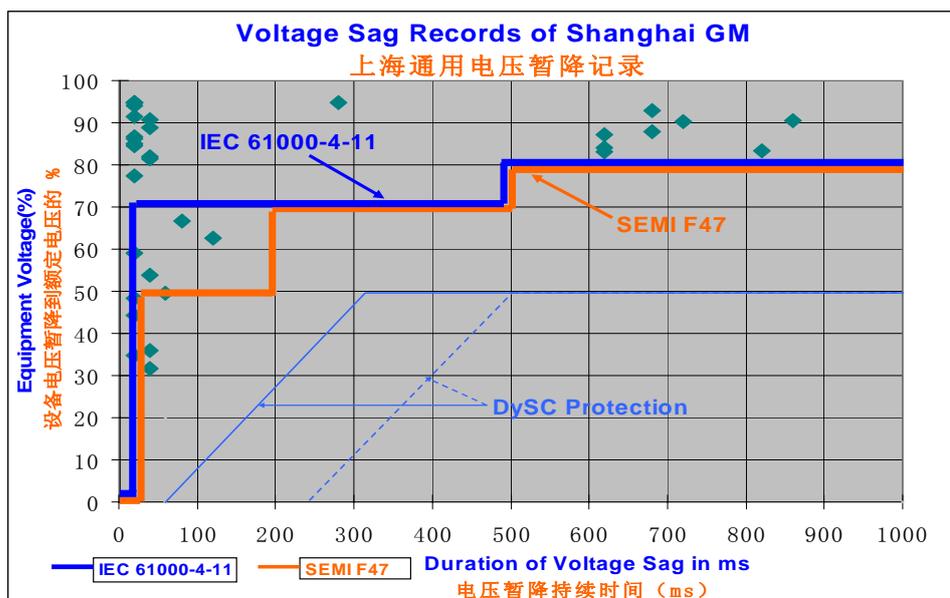


图 2.3 上海通用汽车有限公司电压暂降记录

2. 治理实施工作

经过大量的评估调查工作，我们对 SGM 的设备的性能有了确切的认识，大部分设备的动力供电回路

对电压暂降敏感程度不高，而控制回路则比较敏感。同时，加工工艺的要求也不同，有的工艺允许设备输出有一些波动，只要不停机就可以；而有些工艺对设备要求极高，不允许输出有任何波动。前期评估调查的意义在这里有所体现，增强了治理方案的针对性。针对设备性能的差异和加工工艺的要求不同，面向控制回路的治理方案也有所不同。

(1) 设备控制回路和电气元器件的 DySC 保护。针对大部分设备的动力供电回路对电压暂降敏感程度不高，而设备控制回路比较敏感这一情况，为寻找最经济有效的电能质量治理方案，项目重点集中在 230V 交流设备控制回路和敏感电气元器件。经电压暂降测试发现，它们中部分产品的抗电压暂降性能较差，考虑到其电流量很小，因此对其进行相对集中的采用电压暂降修正器 (DySC) 保护。

(2) 稳压电源的问题。稳压电源在控制回路中将 230V 交流转换成 24V 直流，为控制回路的元器件和现场通讯中枢系统进行供电 (如 PLC、Interbus、ProfiBus 等)，其抗电压暂降性能决定着整个生产工艺设备的正常工作。经电压暂降测试发现，有些稳压电源抗电压暂降性能较差，不能满足生产工艺的正常工作，因此针对稳压电源问题也是治理方案是一个方面。

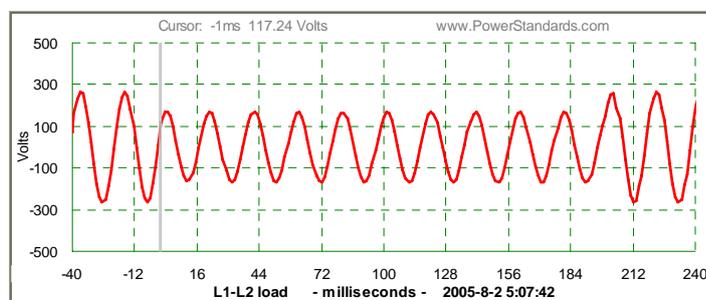
(3) 变频器和 PLC 的软件调整。当工艺要求对变频器驱动的电动机转速要求不是很高的情况下，可以通过调整变频器的某些软件来达到提高其抗电压暂降性能的目的，这是在反复研究变频器技术资料 and 大量测试验证的基础上得出的方案，此方案无需任何硬件投资。经参数调整，某种型号的变频器居然可以充分利用其固有的能量实现三相断电约 3 秒，电动机仍然可以运行。PLC 也可以通过某些软件调整提高其抗电压暂降性能。

三、SGM 电能质量治理项目的成果

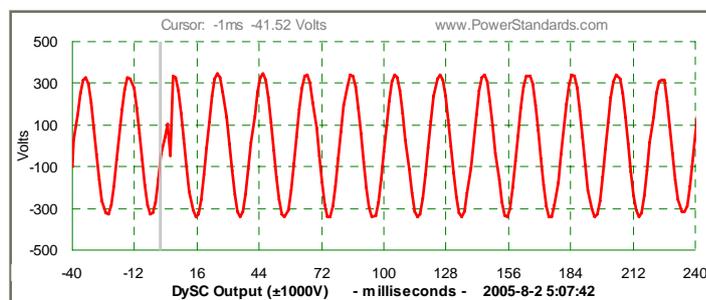
(一) 电能质量治理项目的效果

1. 电压暂降发生器(IPC)验证

(1) 在 SGM 的生产线上，按照 SGM 电能质量标准用 IPC 产生一系列电压暂降，检验经 DySC 保护后相关设备的抗电压暂降性能优异。某一设备的电气性能曲线如下：



用 IPC 在 L1-L2 上产生一个暂降到设备额定电压 50%、持续时间为 10 个周波的电压暂降。左图为加装 DySC 之前设备的输入电压。在这种电压状况下，该设备立即停机。



加装 DySC 保护后，DySC 在极短的时间内输出几乎完美的正弦波，设备平稳运行，丝毫不受电压暂降的影响。

图 3.1 加装 DySC 前后降幅至 50%,10 周波电压暂降对设备的影响 (电压为 50Hz,230V)

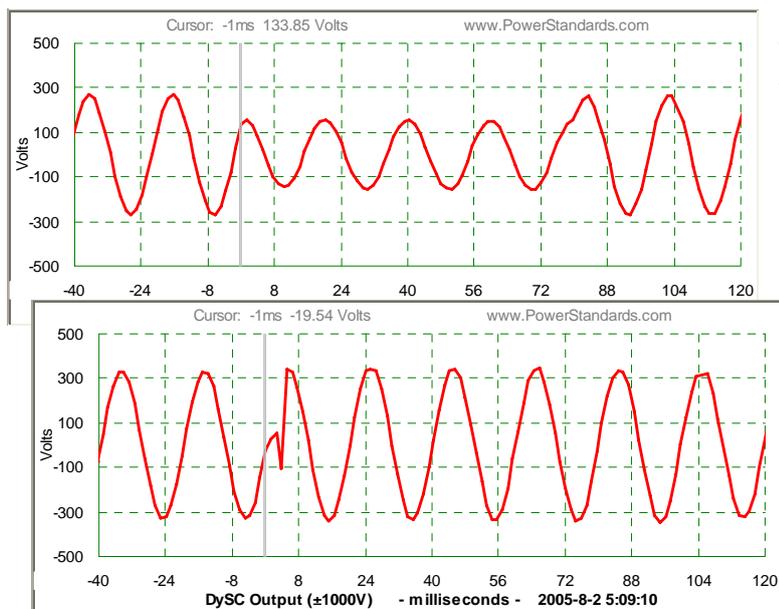


图 3.2 加装 DySC 前后降幅至 25%,4 周波设备的抗电压暂降性能 (电压为 50Hz,230V)

Voltage sag of 25% depth and 4 cycle duration was generated, which trig the shutdown of process before install the DySC.

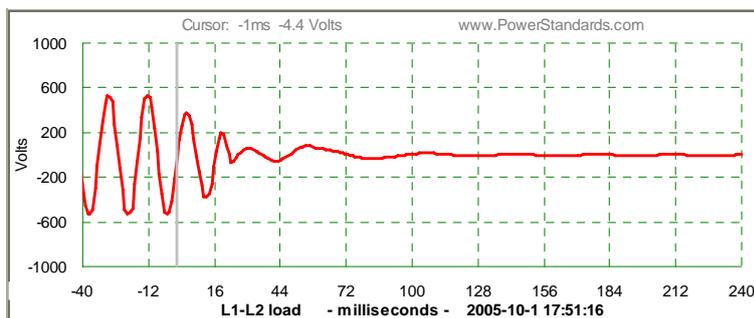
用 IPC 在 L1-L2 上产生一个暂降到设备额定电压 25%、持续时间为 4 个周波的电压暂降。左图为加装 DySC 之前设备的输入电压。在这种电压状况下, 该设备立即停机。

After DySC installed, sag was compensated within milliseconds and operation process was not impacted at all.

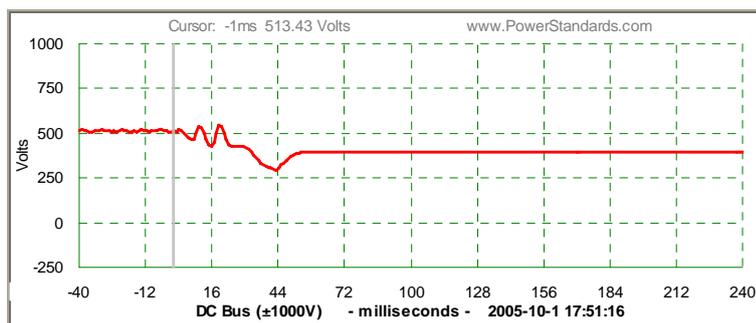
加装 DySC 保护后, DySC 在极短的时间内输出几乎完美的正弦波, 设备平稳运行, 丝毫不受电压暂降的影响。右图为加装 DySC 保护后, 设备的输入电压。

(2) 用 IPC 在 L1-L2 上产生电压暂降至 0V 持续时间 10 周波的电压暂降, 这种工况比较极端, 更加具有说服力。

下图为参数调整前后, 某一设备的抗电压暂降性能图:

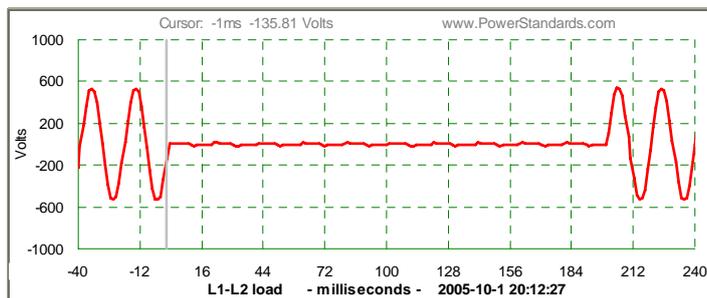


用 IPC 在 L1-L2 上产生一个电压下降到额定值的 70%, 持续时间 25 个周波的电压暂降。变频器动力回路因内部保护逻辑动作而在第三周波切断电源, 电压降至 0V。



设备未经参数调整之前, 当出现 70%, 持续时间 25 个周波电压暂降时, 设备直流母线电压跌破其内部逻辑允许的最低值, 瞬间停机, 断电保护装置动作, 进线端电压变为 0V; 但由于设备内部有电容蓄电, 故直流母线电压保持一段时间, 电容放电完之后才到 0V。因本图仅显示最初 240 毫秒区间, 故电压维持在 250V。

图 3.3 参数调整前设备的抗电压暂降性能



IPC generated L1-L2 voltage sag down to 0% depth for 10 cycles.

用 IPC 在 L1-L2 上产生一个电压下降到 0, 持续时间 10 个周波的电压暂降。

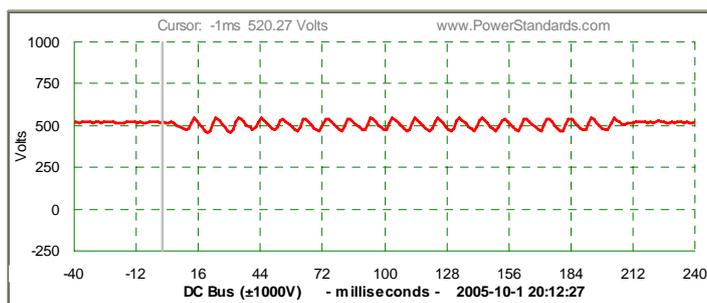


图 3.3 参数调整后设备的抗电压暂降性能

After software changes and even with L1-L2 voltage sag down to 0% depth for 10 cycles, the DC Bus still maintained above the threshold level. The drive keeps running without stoppage.

设备进行一系列参数调整设置后,当发生电压下降到 0V,持续时间 10 个周波的电压暂降时,直流母线电压有所波动,但电压仍然维持在其逻辑允许的最低值之上,故没有出现停机现象。

在电压暂降发生后,不到 1/10 周波 (2s) 之内 DySC 监测到,并在不到 1/10 周波内将电压暂降进行修正,这么快的速度对动态负载进行补偿几乎可以达到所有敏感设备对电能质量的要求^[2];同时还可以输出几乎完美的正弦波,这是 UPS 等其他电能补偿装置难以做到的。

2. 真实电压暂降的验证

2005 年 8 月 9 日和 9 月 6 日,上海浦东分别发生了 5 次电压暂降事件。经 SGM 的电能质量监测装置记录:8 月 9 日,两相电压暂降到额定电压的 84%,持续时间 40ms;9 月 6 日,3 相电压暂降到额定的 72%,持续时间 20ms。2006 年 2 月 28 日、3 月 1 日和 3 月 16 日,SGM 电能质量监测装置记录到幅度为 64%~45%,持续时间从 40ms~90ms 电压暂降。

以往出现这样的电压暂降情况,SGM 生产车间会有相当大面积的设备停机,而由于联锁控制因素和车间内部对于温度、湿度、空气压力及加工工艺自身要求等原因,设备重新启动后需要一段较长的时间才能恢复生产,由此引起的直接和间接损失难以估量。

电能质量治理后,生产车间的敏感设备在经历这几次电压暂降时表现出很大的差异:凡是经过治理的设备,除一台设备因自身故障缘故停机外,都抵抗住了电压暂降的冲击,正常运行;而没有治理的设备,几乎全线停机。

(二) 发现的新问题

在 SGM 电能质量的治理过程中,也发现了一些新的问题。有些事故不是由电压暂降引起的,或者说不主要是由电压暂降引起的。有的设备的故障发生点在开机时刻,其原因可能是由设备的实际使用年限及寿命的影响,也可能受周围电器设备的环境干扰,这有待于进一步的监测调查分析来确定综合的治理方案。

四、结论与建议

(1) 确立先评估调查后对症下药进行治理的理念。对设备的评估调查是深入了解设备的前提,以嵌入式方法制定的方案才是针对性最强、最经济有效的方案。

(2) 确立深入设备内部面向控制回路和电气元器件治理的理念,这种治理方案的费用最低,前提是要要求控制回路和敏感电气元器件的特性有深入的了解。如无法做到,再考虑对低电压母线侧进行保护。

(3) 建议企业进行生产线初期建设时要作系统考虑,并有一定的前瞻性。在设计阶段、初建阶段就着手考虑电能质量问题,这个阶段解决电能质量问题往往是最简单、最经济的。

(4) 建议行业或企业建立切合自己实际和要求的电能质量标准。这使得以后生产线的扩建和设备的采购变得十分容易,只要在投标时要求必须符合自己行业或企业内部的电能质量标准就可以避免投产后发生繁琐的电压暂降事故。

(5) 建议国家或各省市的相关部门尽早建立和完善电压暂降的相关技术标准,从而为提高电能质量提供权威依据。

1. 肖湘宁.《电能质量分析与控制》.中国电力出版社, 2004.
2. Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, “Electrical power systems quality”(Second Edition), Wayne Beaty, McGraw-Hill Companies, 2002.
3. “Power quality analysis”, DRANETZ-BMI, 1998.

作者简介: 王 俊 (1961-), 男, 硕士, 在知名跨国公司和美国电科院工作多年, 资深工业控制自动化和电能质量专家, 从事研究方向为电能质量治理、输电线路输送能力提高、电力行业故障诊断等。电话: 021-3210 0090、13701684178;

奚 珣 (1970-), 女, 高级工程师, 副总工程师, 从事研究方向为配电网规划、配电自动化等。电话: 021-5820 2222;

潘国美 (1965-), 女, 从事研究方向为配电网科技规划与发展。电话: 021-5820 2222;

赵洪明 (1968-), 男, 从事研究方向为工厂公用设施运行和电能质量治理, 021-2890 2890。