

# 数据中心UPS系统ECO模式的应用分析

绿色网络组织在2011年提出了数据中心成熟度模型，并建议数据中心的交流UPS系统使用ECO模式以提高数据中心的供配电能效，从而降低PUE。但是在UPS系统应用ECO模式之前，必须弄清服务器、网络设备和存储设备等现代IT设备对于电能质量的要求，以及UPS系统在不同保护模式运行下的切换时间与电源供应器（PSU）穿越时间的关系。因此，UPS系统应用ECO模式具有先决条件：电网的供电质量直接决定了UPS系统ECO模式能否运行，UPS系统的切换时间决定了ECO模式能否正常运行。基于UPS系统此类问题的考虑，对ECO模式的应用进行了全面而深刻的分析。

詹贤庆/中国电信杭州分公司

## 0 引言

随着数据中心能源成本的日渐增加和IT客户对于绿色的需求越来越强烈，能效的概念变得越来越流行与普及。数据中心的各个子系统都有各种提高能效的策略，UPS系统也不例外。UPS系统既是数据中心众多子系统中的一个，又是供配电系统的重要组成部分。对于数据中心的运维者而言，在供配电系统部分有很多策略来提高能效，这些策略主要围绕着三个方向展开：①删除或者移除一些不必要的供配电组件；②改变数据中心的运行状态点，如改变数据中心的供配电电压；③使用高效率的组件。本文着重深入分析了数据中心基础设施级别的交流UPS系统ECO模式及其应用存在的问题。

ECO模式还可称为旁路模式、高效模式或者多模式。UPS系统的ECO模式由来已久，美国的环保署（EPA）在能

源之星计划进行高能效不间断电源的选择上提出了ECO模式节能方案，同时绿色网络组织在其发布的数据中心成熟度模型中也将ECO模式作为提高UPS系统能效的重要策略，这两大组织的推动使得在ECO模式节能增效的背景下逐渐流行起来。数据中心的运维管理人员开始再次思考在数据中心使用UPS系统ECO模式的利与弊。

## 1 UPS系统的运行模式

国际电工委员会（IEC）对UPS效率的定义为“确定的运行条件下（有效）输出功率与（有效）输入功率的比率”。在此，确定的运行条件是指特定的负载率和负载类型（线性/电阻式与非线性）。不同的UPS系统对IT负载具有不同保护级别，国际电工委员会颁布的国际标准IEC 62040-3 5.3.4部分依据UPS系统输出的电压特性对UPS系统进行了分类描述，它从UPS系统输出电压和频率与输入电压和频率的依赖关系出发将UPS分为VFD、VI和VFI三类（V：Voltage—电压；F：Frequency—频率；D：Dependent—依赖；I：Independent—独立），如表1所示。

由于双变换式UPS具有输出电压和频率的独立性以及其较高的保护级别，使得其在数据中心得以广泛应用。因此，本文着重论述双变换式UPS的ECO模式下的技术应用分析。

双变换UPS有多种运行模式，如图1~图5所示，红色表示正在使用的电源路由，蓝色表示电源路由暂不可用，黄



詹贤庆/高级工程师

### 关键词/Keywords

数据中心·  
UPS·  
PSU·  
ECO·  
穿越时间·

表1 IEC 62040-3 UPS系统输出对输入的依赖特性

| 分类   | VFD               | VI                       | VFI                         |
|------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 基准   | 电压与频率的输出依赖性       | 电压的输出独立性                 | 电压与频率的输出独立性                 |
| 定义   | 输出电压和频率取决于输入电压与频率 | 输出电压独立于输入电压, 输出频率取决于输入频率 | 输出电压和频率均独立于输入电压与频率          |
| 保护级别 | ①电源中断             | ①电源中断<br>②过电压或者欠电压       | ①电源中断<br>②过电压或者欠电压<br>③频率波动 |
| 典型效率 |                   | 94%~98%                  | 88%~98%                     |
| 拓扑架构 | 后备式               | 在线交互式                    | 双变换式                        |

色表示电源路由可用,但没有使用。

## 2 UPS系统ECO模式的能效收益

相比较双变换UPS系统正常模式而言,其ECO模式在比较宽广的负载率范围内均能获得较大的能效增长。绿色网络组织早在2008年发布的白皮书《数据中心供配电系统的定量分析》已经指出了供配电系统链条上的能效问题,包括UPS系统的节能问题。图6为双变换UPS在正常模式和ECO模式下的性能对比曲线。结论是ECO模式比正常模式的能效高出4.3%,比绿色网络组织16号白皮书提供的无隔离变压器的UPS能效高出2%。

绿色网络组织对应用了ECO模式的UPS系统数

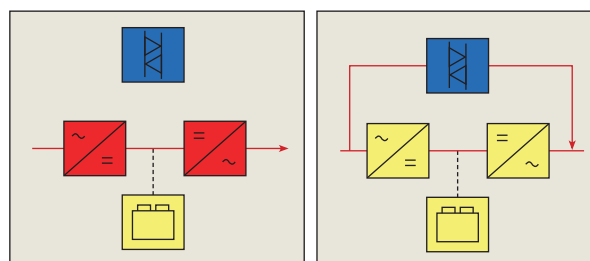


图1 双变换UPS正常模式

图2 双变换UPS在线交互式

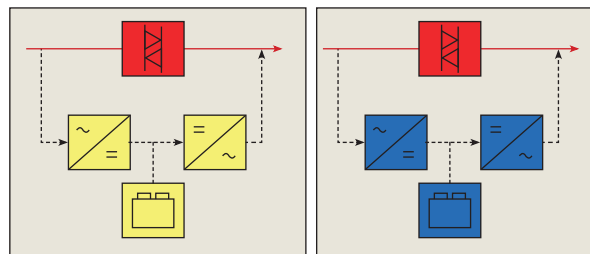


图3 双变换UPS ECO模式

图4 双变换UPS旁路模式

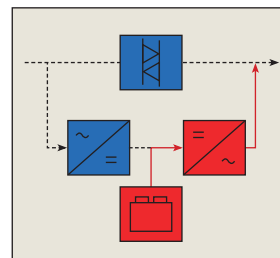


图5 双变换UPS电池模式

据中心的PUE也进行了相关的研究,其结果如图7所示。一般认为数据中心有史以来的PUE大约为2.0,目前一般朝着PUE为1.6左右努力,通过最佳实践可使PUE达到1.3。在这三种不同的PUE下,

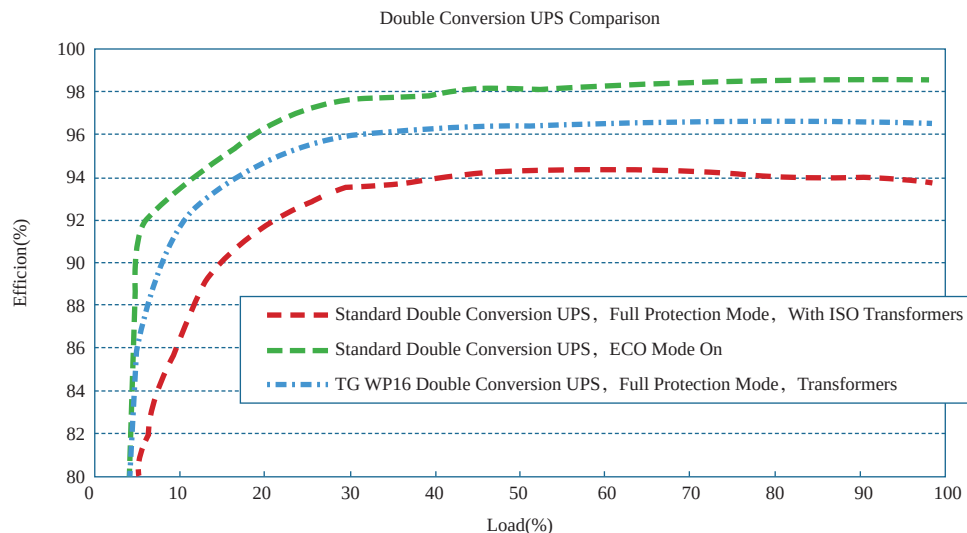


图6 双变换UPS能效对比

由于UPS使用的元器件性能和控制算法不同,双变换UPS系统的效率分别约为92%、94%和96%,而与其对应的ECO模式运行时的UPS系统效率为98%、98%和99%。使用ECO模式后,数据中心的PUE在不同等级下分别达到1.89、1.54和1.26。PUE降低0.04~0.11,如表2所示。

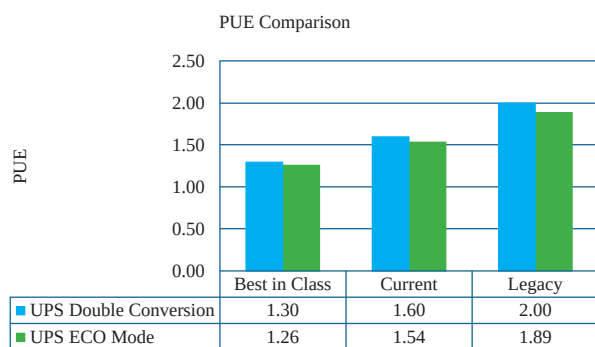


图7 双变换UPS系统的PUE对比

表2 UPS的效率对比

|                         | Best in Class | Current | Legacy |
|-------------------------|---------------|---------|--------|
| UPS Eco Mode Efficiency | 99.0%         | 98.0%   | 98.0%  |
| UPS Efficiency (VFI)    | 96.0%         | 94.0%   | 92.0%  |
| Cooling Load Factor     | 21.8%         | 48.5%   | 84.1%  |
| Typical PUE             | 1.3           | 1.6     | 2.0    |

对于双变换UPS系统效率的计算应考虑其正常模式运行的效率和ECO模式的效率,即 $Eff_{AVG} = A_1 \times Eff_{NORM} + A_2 \times Eff_{ECO}$ ,  $A_1$ 和 $A_2$ 为两种运行模式下UPS系统效率的权重,有了UPS系统的加权平均效率 $Eff_{AVG}$ ,即可计算UPS系统的供电因子。我国目前还没有确定 $A_1$ 和 $A_2$ 的值,它们取决于电网质量和时间。

美国环保署和能源之星均将UPS系统正常运行模式和ECO运行模式下的权重分别取0.75和0.25,即 $Eff_{AVG} = 0.75Eff_{NORM} + 0.25Eff_{ECO}$ 。

### 3 UPS系统应用ECO模式涉及到的问题

#### 3.1 电源供应器的穿越时间

实施ECO模式的一个主要关键是IT设备的电源供应器应合理设计来匹配ECO模式。电源供应器一般具有能量存储功能,因此它能允许一定的穿越时间,一般以毫秒计算,即IT设备在一段毫秒

级完全断电的时间内还能连续运行。比较UPS输出特性和IT设备电源供应器的输入特性非常重要,UPS的输出电源中断时间必须小于电源供应器可以承受的电源输入中断时间,否则这样的UPS就不一定可以实施ECO模式运行,必须咨询UPS供应商。

电源供应器的穿越时间是在满载情况下由单电源供电时确定的,每一个电源供应器有其特有的穿越时间,典型值为10~50 ms。对于由双电源供电的电源供应器,由于IT负载被双电源均分供电,双电源供应器实际上工作在半载情况下,相比单电源供电满载情况下穿越时间增加0.5~2倍,并且不必保持双路电源同步。图8显示了在UPS系统的交流输出断电的18 ms后,电源供应器的直流输出才开始突然下降,电源供应器的穿越时间即为18 ms。

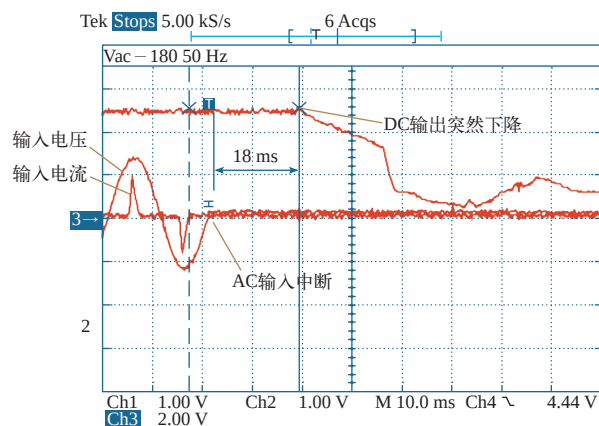


图8 电源供应器的穿越时间

影响电源供应器穿越时间的主要因素是其功率输出的大小,而与其输入无关。如图9所示,电源供应器的输出功率越大,其穿越时间越短,其原因显而易见。因为电容器存储的电能有限且为一定值,输出功率大,自然穿越时间就短。

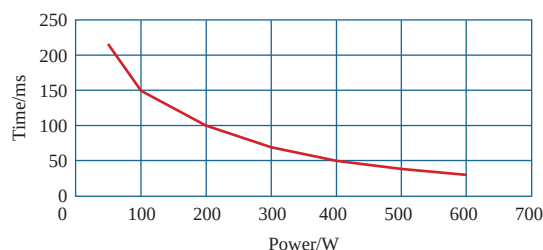


图9 某电源供应器功率输出与穿越时间的关系

有必要指出，尽管电源供应器的穿越时间是一条随着其输出功率大小变化的曲线，但实际设计所指的参数穿越时间是指在最差相角最坏工况下（如没有冗余情况下的满载工况）电源供应器还能持续供电的时间。同时，电源供应器还可在一个或者两个周波内给电容器充电弥补能量损失。从电源供应器的发展历史来看，其穿越时间已经大幅缩水。如前面所述，电源供应器的容量是在最坏工况下设计的，属于容量的过度设计，所以其穿越时间很长。10年前的电源供应器有2~3个周波的穿越时间。随着时间的推移，穿越时间在逐渐地稳步减短。特别是在追逐能效驱动下的今天，电源供应器的容量已经和IT设备的需求合理匹配，其穿越时间大部分小于2~3个周波，甚至有些电源供应器的穿越时间已经低到10 ms。另外一个促使电源供应器穿越时间缩短的原因是目前在线交互式UPS的切换时间已经小于10 ms，双变换UPS的切换时间更短，这些技术的进步都给电源供应器穿越时间的缩短提供了机会。

### 3.2 部分供电系统的切换时间

有些UPS系统可以支持一定的穿越时间，但不是所有的UPS系统都具有这个能力。UPS系统从一个运行模式切换到另外一个运行模式经常需要一定的切换时间，此时会造成供电的暂时中断。每个电源供应器和UPS系统都可以支持不同的穿越时

间。因此，在实施ECO模式运行之前很有必要弄清楚电源供应器穿越时间和UPS系统切换时间的一致性。如一个UPS系统在正常模式和ECO模式之间的切换时间为10 ms，而后端的电源供应器的穿越时间小于10 ms，那么这样的UPS系统就不适合实施ECO模式运行。

### 3.3 电网质量

UPS系统ECO模式的运行要求具有较好的电网质量，满足IT设备对于电压的承受能力。当电网质量不满足IT设备的电压要求时，UPS系统将由ECO模式切换到其他保护模式，比如正常模式、其效率要低于预期的ECO模式。因此，了解电网质量对于部署UPS系统ECO模式运行及提高能效具有重要意义。

图10显示了IEC 62040-3规定中“电源供应器可以接受的UPS输出电压扰动大小和持续时间限制”。如图中以阴影表示的“舒适区域”的形状所示，瞬变电压的变化幅度越小，UPS输出可以承受的持续时间就越长。该标准允许持续存在的电压变化范围相当大，标称为+10%~-20%。即UPS输出电压可以在这个范围内持续变化（无时间长短限制），而不会破坏电源供应器的正常运行；这是因为电源供应器的类似标准要求承受的输入异常范围甚至大于允许的UPS输出范围。如果应用ECO模式，类比IEC 62040-3对UPS交流输

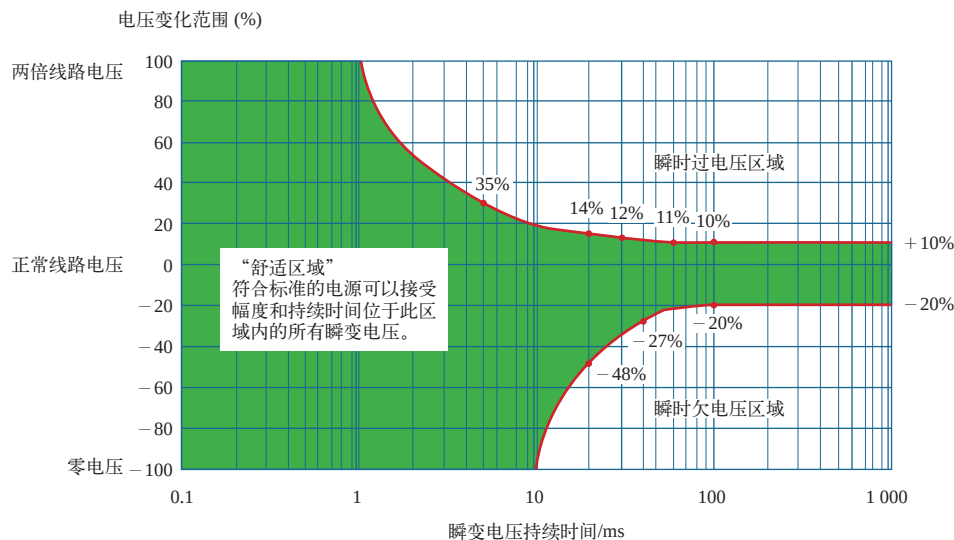


图10 IEC 62040-3对UPS交流输出的电压要求

出电压变化要求一样,电网质量也必须满足图8绿色包络区域的电压变化要求。

自然冷却在数据中心空气调节系统的应用正如火如荼。类比自然冷却,UPS系统ECO模式可以冠之以“自然关键性供电”的称谓。自然冷却的思想是当自然环境的温湿度满足数据中心IT设备的运行环境要求时,关闭空气调节系统而使用环境空气作为冷源。目前,自然冷却的研究已经相当深入,不仅可以绘制出应用自然冷却的气象地图,还可以统计出各地应用自然冷却的全年时间。和自然冷却的思想如出一辙,自然关键性供电也仅取决于外部因素(除了穿越时间之外)。

大多数数据中心都安装了电能表,除了可以用来监控市电的电压波动、相角差异和频率变化等基本参数外,还可以为数据中心的PUE计算提供数据。这些数据应该被实时记录并被保存起来形成电压波动的曲线,统计出全年可以使用ECO模式运行的时间。当然,这些数据也可以从当地电力公司获取,美国在这方面就已经走在了业内的前列。

所以,如果可以确定电网质量,同时保证UPS切换时间和电源供应器穿越时间的一致性,那么ECO模式运行的节能效益就可以完整地确定并计

算出来。

## 4 结束语

绿色网格组织对UPS系统ECO模式的能效分析给出的结论是比正常模式的能效高出4.3%;对UPS系统应用ECO模式的数据中心而言,其PUE可降低0.04~0.11。但是能否实施UPS系统ECO模式还取决于两个先决条件:

1) 电网质量能否满足IT设备的电力运行要求。

2) UPS系统的切换时间是否和电源供应器的穿越时间相匹配。

UPS的ECO模式运行与空气调节系统的自然冷却具有相似的节能思想,可以称之为供电系统的自然关键性供电,自然冷却的方法论可以在自然关键性供电领域加以升华应用。

在现有的UPS系统和IT设备有关的技术条件下,制定UPS系统ECO模式运行的有关规范与标准具有重要意义,不仅可以统一不同UPS厂家对ECO模式运行的认识,而且对IT客户正确实施UPS系统ECO模式运行和评估ECO模式运行的风险具有明确而客观的指导意义。

(收稿日期:2017-04-07) EA

(上接第63页)

## 3 结束语

该自备电厂1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>机组改造后成功投入运行,对原有引风机的变频改造后,有效满足FCB功能需求;在正常运行情况下通过变频器驱动引风机达到节能效果,当变频器故障时可以可靠切到工频,满足高可靠性前提条件下的经济性最优。当电网系统或发电机组出现异常时,DCS监测炉膛负压到一定值后,给变频器发FCB信号,变频器执行快速制动控制逻辑,经现场试验验证快速制动功能在引风机上FCB功能的有效应用,为防止锅炉主燃料跳闸(MFT)提供了强有力的保障。

## 参考文献

- [1] 吴永存,朱介南. 宁海电厂1 000 MW机组RB与FCB控制策略的设计和应用[J]. 电力建设, 2011, 32(1): 59-63.
- [2] 朗坤. 汽轮机系统FCB过程机理建模及控制策略研究[D]. 吉林: 东北电力大学, 2016: 15-25.
- [3] 陈启江. 电机调速系统双频制动方法的研究[J]. 企业导报, 2012(4): 261-262.
- [4] 李晔,余时强,朱宗晓,等. 单元串联多电平中压变频器的研制综述[J]. 电气传动自动化, 2002, 24(2): 3-7.

(收稿日期:2017-04-07) EA