VERTIV™
维谛技术

维谛技术白皮书

两种突破传统ECO困局的创新模式

目录
CONTENTS

1 传统ECO模式的应用现状 1

1.1 在线式UPS运行模式 1

1.2 传统ECO的应用难题 2

1.2.1 电网干扰负载问题 3

1.2.2 负载污染电网问题 3

1.2.3 模式转换时间问题 3

2 高效、高可用是数据中心创新的方向和共识 4

2.1 UPS+市电直供的探索和实践 4

2.2 重新定义UPS运行模式，兼顾节能和供电可用性 4

3 融合高效、高可用性的UPS模式创新 5

3.1 动态在线模式（VI） 5

3.2 AI智能调控“三工况” 8

4 两种创新模式应用总结 9

1 传统ECO模式的应用现状

1.1 在线式UPS运行模式

用于向数据中心提供安全电源的最常见UPS类型是在线式UPS，其正常工作模式是在线双变换模式(Online double conversion mode)，即当交流输入电压、频率在允许范围内时，交流输入通过整流、逆变向负载正常供电，同时对电池充电的工作模式。IEC 62040-3标准也将其称呼为VFI（VFI-Voltage Frequency Independent）模式，可以提供最高水平的电能质量来确保负载的正常运行。在线式UPS都配备了“静态旁路”，由于电能调制能力弱，通常认为旁路工作模式（VFD-Voltage Frequency dependent）是在线式UPS的一种异常工作模式，是一种主回路双变换（VFI）失效后的替补供电方式，或者作为UPS逆变模式向手动维修模式转换的一个中间过渡状态。

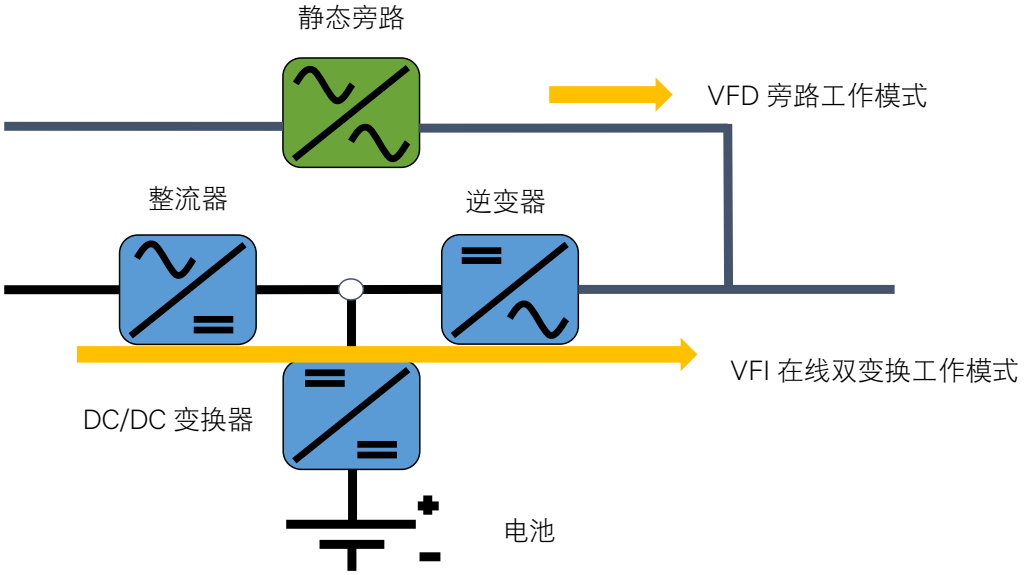

图1 在线式UPS工作原理图

当UPS以双变换模式运行时，由UPS整流器产生的PF和THDi将被注入电网并叠加到直接连接到电网的其它设备（如压缩机和冷却装置）产生的PF和THDi。通过引入PFC（功率因数校正）功能，在线式UPS输入PF和THDi都能够维持在很好的水平。同时，如果UPS连接到具有高电压畸变水平的电网，则负载不会受到任何形式的影响，因为在双变换模式下运行时，整流器和逆变器可隔离负载和电网。即使市电主回路输入异常，电池也可以继续逆变提供高质量的电源供给负载，且切换时间为0ms。

在线式UPS只有在出现故障时才使用静态旁路。在UPS的使用周期里，故障属于小概率事件，静态旁路实际工作的时间和机会非常少。因此，UPS大部分运行时间都处于逆变器模式运行，关键负载并不受制于电力干扰，电网也免于负载PF和谐波干扰。当UPS由于故障切换到旁路时，因为无电能调节功能，无法将电网和负载进行隔离，因此它们之间存在相互影响和干扰。

1.2 传统ECO的应用难题

UPS的双变换功能可以给负载提供高质量的供电，但是由于功率变换有整流（AC-DC）和逆变（DC-AC）两个环节，因此这也是消耗能量最大的运行模式。此外，不同类型UPS的双变换效率也存在显著差异，例如传统工频UPS在双变换模式下的运行效率普遍较低。受后备离线式UPS的市电优先供电模式的启发，为了提高系统效率，大多数在线式UPS供应商很早就开始引入ECO模式。

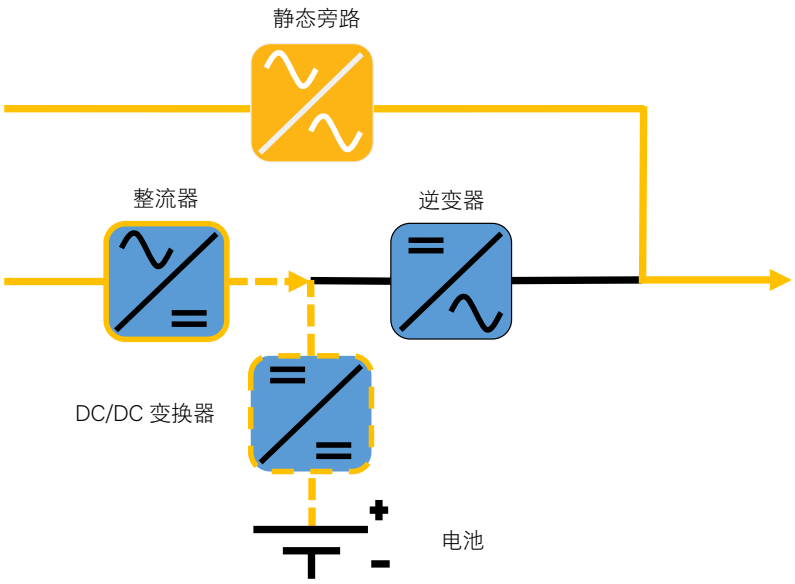

图2 传统ECO模式工作原理图

传统ECO经常被理解为等同于静态旁路，其实这是一种误解。该模式更准确的定义应该为一种运行模式控制逻辑，整个算法涉及旁路工作模式和双变换工作模式。传统ECO模式下，当UPS简单判断交流输入电压，频率在设定的正常范围之内时，系统将优先运行在旁路模式，由市电直接供电，效率高达99%。一旦检测到旁路异常，UPS会首先考虑切换到双变换模式供电。相对于在线模式，传统ECO模式最显著的特点是该模式下旁路直接供电的时间在整个使用周期占比大为增加，同时电力干扰对负载造成的潜在供电风险也大为增加。

	在线模式	传统ECO模式	备注
正常运行情况下	整流器-逆变器	旁路	传统ECO模式意味着旁路市电直接供电
电力干扰情况下	逆变器，0ms切换	逆变器，典型<4ms切换	最恶劣情况下，传统ECO模式切换时间甚至长达20ms
负载干扰情况下	逆变器	旁路	逆变器模式可以隔离负载和电网干扰
逆变器故障情况下	旁路	旁路	极少发生
效率	高达97%	高达99%	

表1 在线模式与传统ECO模式对比

从数据中心近年来实际使用案例可以发现，传统ECO模式依然停留在口头层面，并没有在数据中心领域得到很好的应用。因为传统ECO模式本质上仍然是让UPS在减少电能调节和保护的情况下运行的一种旁路优先、市电直接供电的方式。虽然提升了系统效率，但是无论在电网侧，还是在负载侧，其供电质量都没有保障，难以像双变换模式实现电网和负载隔离，可用性大为降低。

具体主要表现在如下三个方面。

1.2.1 电网干扰负载问题

很多电网侧的电压、频率、谐波、瞬变等质量问题将直接暴露在负载面前，影响负载的正常工作，甚至损坏负载。虽然部分UPS供应商在旁路增加了无源滤波和TVSS瞬态保护等电能调制装置，但是本质上并没有解决电网干扰对于负载的潜在威胁。

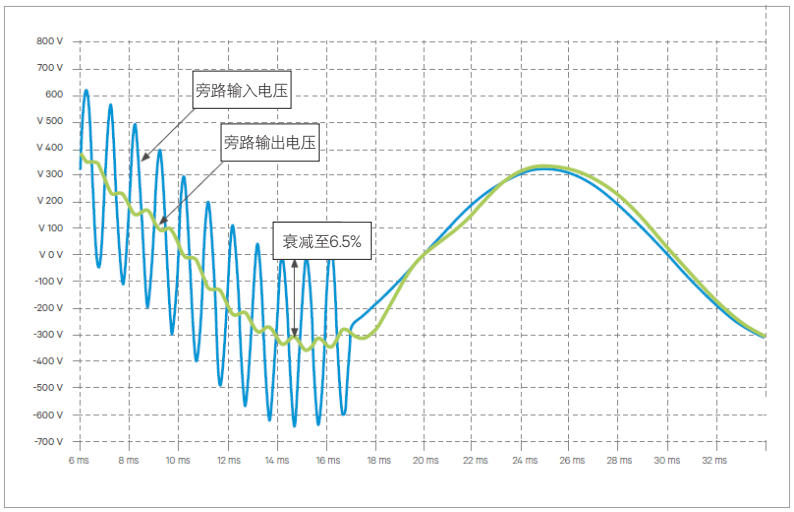

图3 旁路电能调制装置对于输入电压干扰响应

1.2.2 负载污染电网问题

负载侧带来的谐波和低功率因数将会直接传递到上游电网/柴油发电机，影响其它连接到电网的负载。

1.2.3 模式转换时间问题

在市电质量稳定可靠时，在线式UPS的传统ECO模式可以带来高效节能，同时供电质量也有一定保障。但是，因为电网供电状态和质量是实时动态变化的，是否能快速、精确的跟踪和判断市电状况，并可靠、快速切换到双变换模式，对于UPS供应商而言充满挑战。

在最恶劣的条件下，常规在线式UPS旁路-逆变切换可能需要10ms甚至更长的时间才能完成转换，并且其输出可能产生数个正弦波周期的电压抖动。这将导致部分对于切换时间敏感的负载掉电或重启，给用户正在进行的生产活动造成重大损失。

因此，正常情况下，传统ECO模式是否开启或激活，往往取决于用户。摆在用户面前的**是一个两难的抉择，是要传统ECO的节能，还是要VFI双变换的高供电质量？**

2 高效、高可用是数据中心创新的方向和共识

2.1 UPS+市电直供的探索和实践

双变换模式虽然极大程度的保障了电网侧和负载侧的供电质量，但是由于需要经过两个变换环节，即使采用了当今最新的节能技术（多电平、高效电感、碳化硅等），最高的双变换效率也不超过97.5%，且效率的进一步提高遇到了瓶颈，亟待电力电子技术和半导体技术出现革命性的突破。而传统ECO模式供电效率高，但是供电可用性低。但是通过减少电路中不必要的功率变换和传输环节，降低能耗，一直是供配电系统效率优化的一个重要方向。

关乎绿色数据中心的PUE认定值从早期的1.5到1.3再到如今的1.25,可见数据中心节能降耗是整个行业的集体共识和追求。这让市电直供走进了数据中心供配电架构，并在一些领域获得了实践。1路UPS+1路市电的IT服务器双路供电架构，在某些场景下，甚至被数据中心规范GB50174-2017新增定义为一种A级数据中心供电方案。

但是国标充分考虑了电网侧和负载侧的供电质量需求，对市电直供的可用性提出了更高的要求。

GB50174-2017对于市电直接供电的说明如下:

“3.2.2 A级数据中心同时满足下列要求时，电子信息设备的供电可采用不间断电源系统和市电电源系统相结合的供电方式。

1. *设备或线路维护时，应保证电子信息设备正常运行;*
2. *市电直接供电的电源质量应满足电子信息设备正常运行的要求;*
3. *市电接入处的功率因数应符合当地供电部门的要求;*
4. *柴油发电机系统应能够承受容性负载的影响;*
5. *向公用电网注入的谐波电流分量（方均根值）不应超过现行国家标准《电能质量公用电网谐波》GB/T14549规定的谐波电流允许值。”*

2.2 重新定义UPS运行模式，兼顾节能和供电可用性

传统ECO模式旁路优先供电时也属于市电直供的一种。从电路本身而言，由于旁路电路简单，逆变器和整流器内部的元器件应力小，因此UPS旁路电路故障率低。传统ECO模式效率极高，然而供电可用性低。一方面，难以像VFI双变换模式提供优异的输入性能和负载性能，供电质量完全取决于电网和负载自身状况。最为重要的是，不能及时准确判断旁路是否异常，并可靠、快速地切换到双变换模式，切换时间长。

双变换模式能够很好的满足电子信息设备交流供电质量要求和电网对于电子信息设备的供电质量要求，但随着技术的进步，电子信息设备内置的电源单元(PSU-Power Supply Unit)也引入了PFC功率因数校正功能，对于电源质量的适应性越来越强，对电网的干扰也越来越小。

为了克服传统ECO模式下供电可用性低的问题，实现高效和高可用性的兼容，需要采取措施来改善其电网侧和负载侧性能，具体如下：

- 在旁路电路上运行时，能够消除常规电力干扰对于负载的影响。
- 在负载状况较差时，能够消除负载对于电网或上游柴油发电机的影响。
- 在旁路异常或不能满足电网、负载的供电质量需要时，能够快速、可靠地切换到双变换模式供电。

3 融合高效、高可用性的UPS模式创新

3.1 动态在线模式（VI）

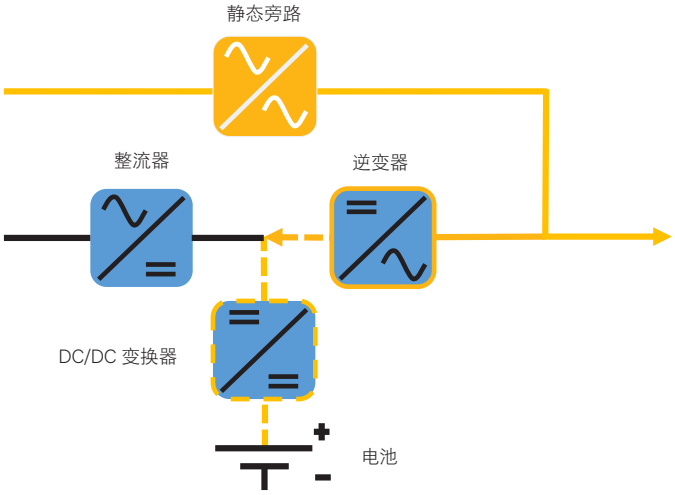

图4 动态在线模式（VI）工作原理图

动态在线模式在静态旁路的基础上增加了有源滤波器，该模式下逆变器作为有源滤波器实时动态在线，配合静态旁路上的电能调制单元，使系统能够满足相当大范围的电网和负载电能调节需求。当无功负载或非线性负载连接到UPS并且存在谐波或无功电流时，UPS中的逆变器能够起到有源滤波器的作用来进行补偿，并且仅消耗部分电能来补偿电路干扰，从而实现99%的最高效率。

通过对电网侧和负载侧电力参数的实时监测和AI数据分析，当输入和输出侧供电质量在动态在线调节能力范围之内时（见图5），UPS优先工作在动态在线模式，而无需切换到高能耗的VFI双变换模式或电能调制能力弱的VFD传统旁路直供模式，同时由于逆变器始终在线，该算法模式下（图6），动态在线模式与双变换模式之间可以做到0ms切换。相对于传统ECO模式而言，使用动态在线模式可以解决更多电网侧和负载侧的电能质量问题，同时UPS真正实现了VFI模式作为旁路供电可靠备份的目标，逆变器动态在线，随时准备0ms快速切换到逆变器模式，接替旁路为负载和电网提供高质量供电，改善系统在使用周期内的整体供电可用性。

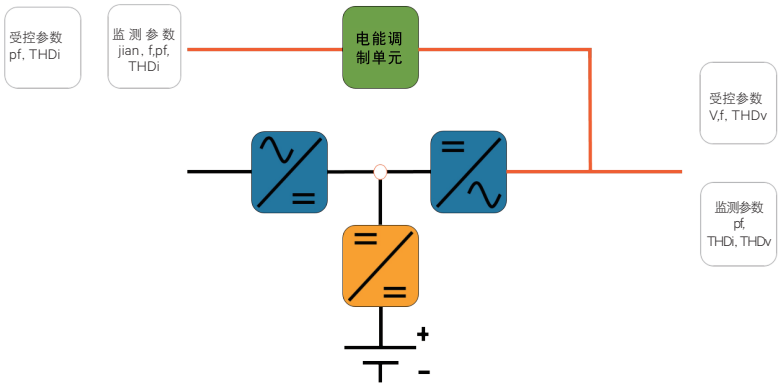

图5 电网和负载质量监控参数

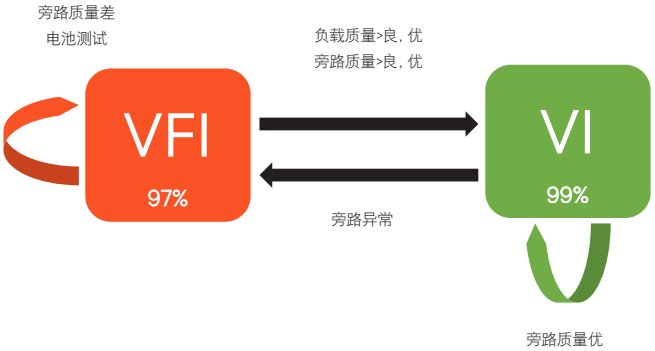

图6 电网和负载质量参数智能监控

在动态在线模式下，负载和电网之间通过静态旁路开关和电能调制单元直接连接，因此，需要调节的PF和谐波(THDi)不是来源于UPS，而是连接在UPS下游的负载。

考虑到数据中心负载大多数是双电源服务器，因此在正常运行期间，电源单元(PSU)上的负载通常不会超过50%。此外，服务器通常较少以100%的容量运行。一般情况下，PSU的运行容量在20%到50%之间。如下表3所示，电网可能会接收0.9至0.98范围内的负载PF，以及7.72%至13.42%范围内的谐波。

输入PF	输入THDi(%)	负载率（%）	效率（%）
0.86	20.31	10%	91.5%
0.93	13.42	20%	94.26%
0.98	7.72	50%	96.24%
0.99	5.27	100%	95.79%

表 3-1 典型的非线性服务器负载不同带载率下的电网侧参数

输入PF	输入THDi(%)	负载率（%）	效率（%）
0.77	13.83	10%	83.88%
0.90	12.78	20%	90.52%
0.96	8.00	50%	94.28%
0.99	4.38	100%	92.01%

表3-2 典型的非线性服务器负载不同带载率下的电网侧参数

以上是一些最典型的非线性服务器负载示例，其具有低PF和高达THDi的谐波。（资料来源：http://www.plugloadsolutions.com/80PlusPowerSupplies.aspx）

经实测，在100%非线性负载下，VI模式THDi接近3%，输入PF高达0.995，THDv<1%，性能达到VFI模式水平。

如图7所示，其说明了UPS在通过动态在线模式时如何处理旁路上游短路。支持动态在线模式的系统能够安全地从VI模式转换到逆变器模式，且转换时间为0ms。在此模式下，逆变器可以瞬时承担负载并保持符合IEC 62040 1类规范的输出电压，从VI切换到VFI模式时的UPS瞬态响应完全处于1类响应边界内，且满足ITI(CBEMA)国际信息技术设备供电标准，如图8所示。因此即便发生了停电故障，也能够妥善地保障负载正常供电。

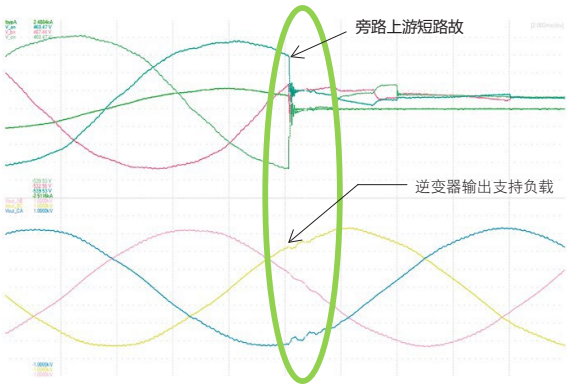

图7 动态在线模式旁路上游短路响应

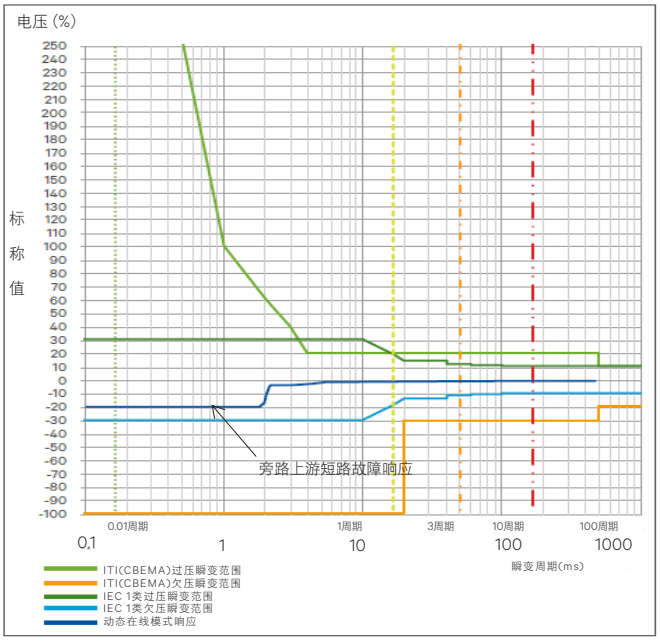

图8 动态在线模式输出动态响应符合IEC 62040 1类标准

动态在线模式能够节省大量能源成本，从而降低总拥有成本(TCO-Total Cost of Ownership)。表4介绍了不同UPS额定功率下，动态在线模式每年节省的用电费用。

UPS 额定功率	负载量 (kW,70%负载)	效率差 (98.5%-97%)	节省能耗 (KW)	节省电量 (kWh/年)	用电价格 (元/kWh)	节省电费 (万元/年)
400KVA	280KW	1.5%	4.99	43732.01	0.8	3.08
800KVA	560KW	1.5%	9.98	87464.02	0.8	6.16
1200KVA	840KW	1.5%	14.98	131196.04	0.8	9.24
2400KVA	1680KW	1.5%	29.95	262392.08	0.8	18.48

表4 动态在线模式VS双变换模式节能对比

3.2 AI智能调控“三工况”

由于IT设备并不需要完美的电能质量，在电网电能质量优异且负载对电网影响有限时，VFD模式的电能调制方案相当有效，此时可以通过将负载转移到静态旁路直接供电，效率高达99.5%。

另外，当电网和负载相互影响较大，但是仍然在VI模式调节能力范围之内时，UPS可以通过静态旁路的电能调制方案和逆变器有源滤波方案联合供电，避免使用能耗更高的双变换模式，效率高达99%。

如果电网侧和负载侧的状况较差，即电网、负载监控参数超出VI模式和VFD模式的调制能力范围，则VFI双变换模式可以完成电能调节和向负载供电，且效率高达97%。

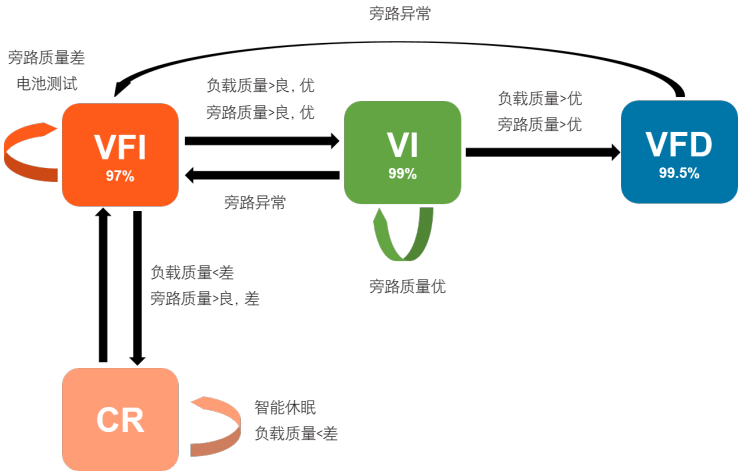

图9 智能调控“三工况”控制算法

智能调控“三工况”模式下，UPS对与输入电网和输出负载质量相关的主要参数进行实时功率跟踪（图9），并引入AI智能算法，对一段时间以来电网和负载的历史数据进行主动学习和分析。UPS通过准确区分不同类型的干扰（电网故障，负载故障，冲击性负载接入）和下游设备类型（包括服务器、变压器、STS或机械负载），来决定激活VFI,VI,VFD三种模式中最佳的运行模式，并做到自适应无缝切换，始终确保UPS持续输出满足应用要求的高供电质量，同时亦可实现高达99%平均运行效率的节能。

表5 简要展示了智能调控“三工况”相对于传统ECO模式或类似功能的主要差异和创新。

智能调控“三工况”	传统ECO模式	创新
在VFD有无源滤波和瞬态保护	无	在VFD模式也可以对负载进行保护
VI有源滤波	无有源滤波	PF和谐波补偿，降低无功电流对于上游电网的影响
电网和负载故障监控	只监控电网	根据负载类型和负载变化自适应选择运行模式
VI和VFD模式下，整流器关闭	旁路空载状态下，开启整流器	整流器不产生无功
控制和调节整流器和旁路输入端的PF和谐波	只有在VFI模式下才会调节整流器输入端的PF和谐波	智能调控“三工况“模式不仅可以实现高效，还可以对电能进行调节

表5 智能调控“三工况”VS 传统ECO模式差异

4 两种创新模式应用总结

传统ECO虽然效率高，但是无论在电网侧，还是在负载侧，其供电质量都没有保障，可用性极低。

在智能调控“三工况”模式下，系统自适应运行在最优的运行模式，平均运行效率高达99%，切换时间控制在2ms之内，可以满足大部分场景对于节能和可用性需求。

动态在线模式下，虽然牺牲了部分VFD运行时间带来的节能效益，但是平均运行效率仍然可以高达98.5%，且供电可用性大为提高，真正实现了高效与高可用性的兼得。

表6 介绍了以上两种创新模式的主要应用特点和差异。

性能	智能调控“三工况”	动态在线模式
电池充电（VI模式）	具备	具备
谐波和PF校正	具备	具备
最高效率	高达99.5%	高达99%
平均运行效率	高达99%（VFI-VI-VFD）	高达98.5%(VI-VFI)
0ms切换	否，<2ms	具备

表6 智能调控“三工况”VS 动态在线模式

While every precaution has been taken to ensure accuracy and completeness herein, (business unit) assumes no responsibility, and disclaims all liability, for damages resulting from use of this information or for any errors or omissions.
Specifications are subject to change without notice.

维谛技术有限公司
Vertiv.com
售前电话：400-887-6526
售后电话：400-887-6510

关注官微
了解更多资讯

Vertiv 和 Vertiv 标识是维谛技术的商品商标和服务商标。© 维谛技术 2020 年版权所有。