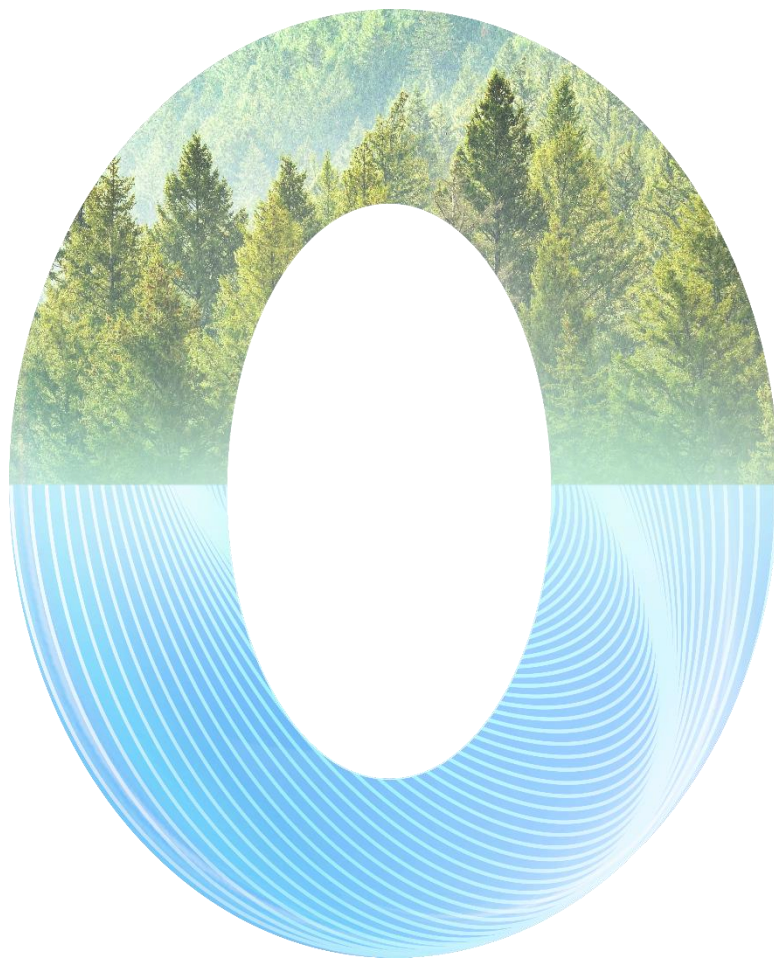




“智领 DC 计划”
第302号

UPS智能在线技术 白皮书

可靠节能兼备的UPS创新技术



本报告感谢以下起草单位、人员

联合主编单位（按单位名称拼音排序）

华为数字能源技术有限公司、中国移动通信集团公司、中国信息通信研究院云计算与大数据研究所

主编人员（按姓氏拼音排序）

安真、曹国水、费珍福、郭亮、李宝宇、李会永、李俊林、梁海峰、梁贤光、万欣、王建军、王骏飞、阳必飞、张春涛、张帆、张广河、张展凡

参编单位（按单位名称拼音排序）

北京电信规划设计院有限公司、北京中金云网科技有限公司、北京中科合盈数据科技有限公司、广东省电信规划设计院有限公司、恒华数字科技集团有限公司、华信咨询设计研究院有限公司、捷通智慧科技股份有限公司、鹏博士大数据有限公司、山东国为云计算有限责任公司、山东科普电源系统有限公司、上海建筑设计研究院有限公司、上海蓝色帛缔智能工程有限公司、上海邮电设计咨询研究院有限公司、同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司、香江科技股份有限公司、信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司、中国电子系统工程第四建设有限公司、中国航空规划设计研究总院有限公司、中国建筑标准设计研究院有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、中国移动通信集团设计院有限公司、中国中元国际工程有限公司、中联云港数据科技股份有限公司、中通服咨询设计研究院有限公司、中讯邮电咨询设计院有限公司

参编人员（按姓氏拼音排序）

包顺强、陈兴华、杜丽娜、高翔、高晓明、胡杰、李亚、李玉昇、连杰、刘波、刘健信、刘叶语、浦廷民、沈巍、王建新、吴劲松、刘敬伟、徐崧、滕达、杨威、叶向阳、张丽娟、张文利、张学德、钟歆

目 录

1. 前言	04
2. 术语和缩写	05
3. 发展现状	06
3.1. 双碳背景下，低PUE是数据中心的政策导向和标准要求	06
3.2. 数据中心供电行业现状	08
3.3. UPS主流模式介绍和优劣势对比	10
3.3.1. 在线双变换模式	10
3.3.2. ECO模式	11
4. 智能在线模式价值和技术原理	12
4.1. 智能在线模式价值	12
4.1.1. 运行条件：中国电网质量均满足运行条件	15
4.1.2. 供电架构：数据中心主流架构均可使用智能在线模式	15
4.2. 智能在线技术原理	16
4.2.1. 高低压箝位技术确保全模式0ms切换和高压浪涌抑制	16
4.2.2. 零电流热备份技术实现全负载范围高效率	17
4.2.3. 主动谐波补偿技术，实现等同于双变换模式的输入功率因数	19

5. 华为积极实践智能在线模式，全面验证运行可靠性	20
6. 常见问题FAQ	26
7. 总结	27
附录1	28
1-1 设置和运行状态验证	28
1-2 输入适应性验证	32
1-3 输出适应性验证	36

1. 前言

随着碳中和已成全球共识，各国均颁布节能政策，对产业发展提出新要求，中国对能源绿色转型提出了“3060”双碳政策，力争实现2030年碳达峰和2060年碳中和两个目标，该政策现已在各行业落地。

数据中心作为耗能大户，其节能降耗迫在眉睫，数据中心内供电系统损耗占L1基础设施总体电费10%，亟需加快向绿色节能方向迈进，UPS作为供电系统核心，是系统中损耗最大的设备。当前降低UPS损耗的方法一般为提升在线模式效率或使UPS运行在ECO节能模式下，当前业界最高在线模式效率97%左右，再向上提升会引起造价大幅提升，而ECO模式采用市电直供，效率可轻松达到99%以上，但当市电出现异常时，切换至电池有数毫秒中断，供电可靠性受影响，用户一般不使用。

推出一种既能保障可靠供电又可实现超高效率的工作模式是UPS行业发展方向，本白皮书旨在介绍UPS智能在线技术和华为UPS5000-H产品实践，阐述其核心价值、技术原理、使用场景以及全方位验证过程，目的是帮助读者进一步深入了解智能在线模式，为设计高可靠性和高效率的数据中心或行业关键供电方案提供思路和方法。



2. 术语和缩写

ECO: economic control operation 节能模式

DC: data center 数据中心

PUE: power usage effectiveness 能源利用效率

S-ECO: super economic control operation 智能在线模式

VFI: voltage frequency independent UPS输入输出电压频率独立

VFD: voltage frequency dependent UPS输入输出电压频率一致

VI: voltage independent UPS输入输出电压独立, 频率一致

SiC: silicon carbide 碳化硅

THDi: total harmonic distortion of current 总电流畸变率

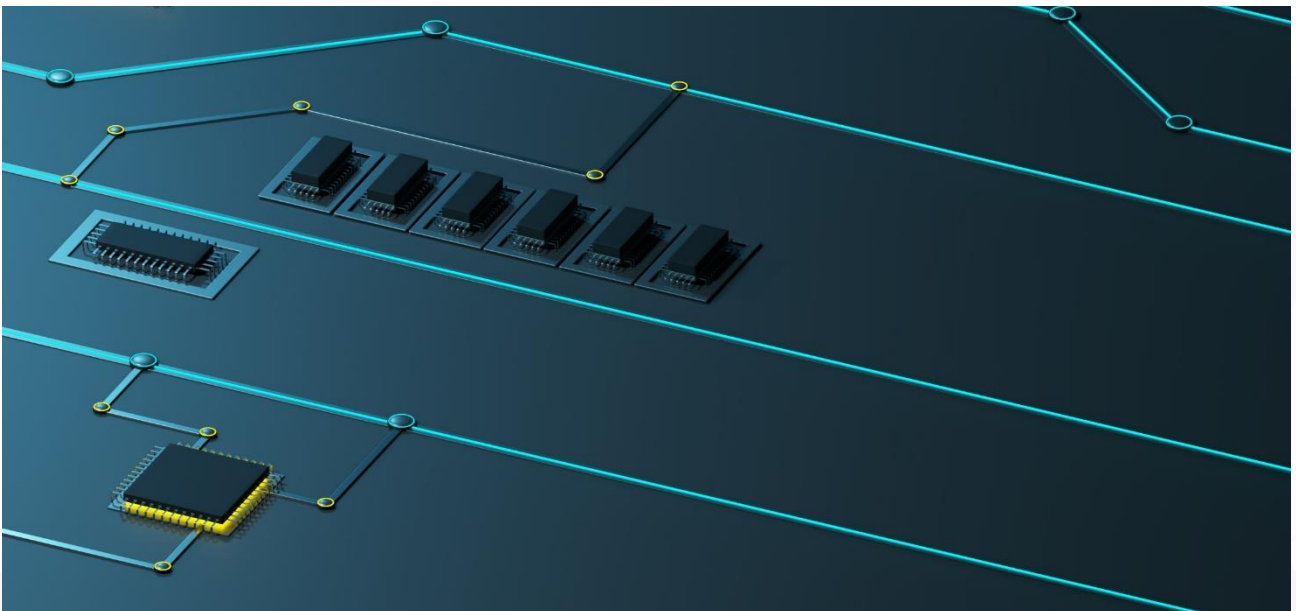
THDv: total harmonic distortion of voltage 总电压畸变率

APFC: active power factor Compensator 主动功率因数补偿器

SVG: static Var generator 无功发生器

MTBF: mean time between failures 平均故障间隔时间

MTTR: mean time to repair 平均故障维修时间



3. 发展现状

3.1. 双碳背景下，低PUE是数据中心的政策导向和标准要求

人类活动带来的碳排放持续加速气候变暖，成为全球的共同威胁，应对气候变化是全球责任，2016生效的《巴黎协定》提出控制全球变暖与碳中和目标，1.5°C成为全球升温控制目标，2°C是底线，针对该目标目前已经有137个国家进行了碳中和的政策宣示或承诺，多个主要经济体发布绿色数据中心政策，构建绿色数据中心成为趋势。

中国低碳发展的基础薄弱，任务最艰巨，但目标宏伟、决心坚定，在2020年第75届联合国大会一般性辩论中国提出2030年前CO₂排放量达峰，2060年争取实现碳中和，提出新时代能源革命发展战略，用电侧实行消费总量和强度双控制，法规标准和激励政策双管齐下。

目前国家低碳政策已落地到各个行业，在数据中心领域颁布了多项政策，指导绿色数据中心发展并限定PUE到具体数值。

2020年12月《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》要求：东西部数据中心实现结构性平衡，大型、超大型数据中心运行电能利用效率降到1.3以下，八大节点对PUE要求是不同的，即使在同一个地点，又有区域内平均PUE，集群内平均PUE之分。

表1 八大节点数据中心能效限定值及能效等级标准

	京津冀	长三角	粤港澳	成渝	甘肃	贵州	宁夏	内蒙古
区域内平均PUE	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.3
集群内平均PUE	1.25	1.25	1.25	1.25	1.2	1.2	1.2	1.2



数据中心行业标准对PUE提出了具体要求，例如GB40879-2021数据中心能效限定值及能效等级标准，规定了数据中心的能效等级与技术要求，统计范围，测试与计算方法。

该标准将数据中心能效等级分为3级，1级表示能效最高，其要求如下表。

表2 GB40879-2021数据中心能效限定值及能效等级标准

指标	能效等级		
	1级	2级	3级
数据中心电能比	1.20	1.30	1.50



3.2. 数据中心供电行业现状

数据中心供电核心系统主要包含市电引入、高/中压配电、低压配电、不间断电源、备电系统、机架配电、油机以及管理系统等。



图1 数据中心供电核心系统

本文聚焦在交流不间断电源系统，提升供电系统的效率可以有效降低PUE，以10MVA的数据中心为例，UPS每提升1%效率，可降低PUE约0.01，下表显示UPS产品主要国家/行业标准以及行业旗舰机型效率，一方面可以看出UPS的效率不是固定值，而是随负载率变化而变化，UPS行业相关标准定义的效率值如下表。

表3 UPS标准中的效率要求

	负载率	系统效率	当前行业旗舰机型效率
YD/T 1095-2018 通信用交流不间断电源行业标准	100%阻性负载	≥95%	≥96%
	50%阻性负载	≥93%	≥97%
	30%阻性负载	≥91%	≥97%
YD/T 2165-2017 通信用模块化交流不间断电源行业标准	100%阻性负载	≥94%	≥96%
	50%阻性负载	≥94%	≥97%
	30%阻性负载	≥90%	≥97%
GB/T 14715-2017 信息技术设备用不间断电源通用规范	100%阻性负载	一级：≤93.7% 二级：≤93% 三级：≤91.3%	≥96%
	75%阻性负载	一级：≤93.7% 二级：≤93% 三级：≤91.3%	≥96%
	25%阻性负载	一级：≤92.8% 二级：≤92% 三级：≤90.1%	≥96%
	15%阻性负载	一级：≤90.1% 二级：≤89% 三级：≤86.4%	≥95%

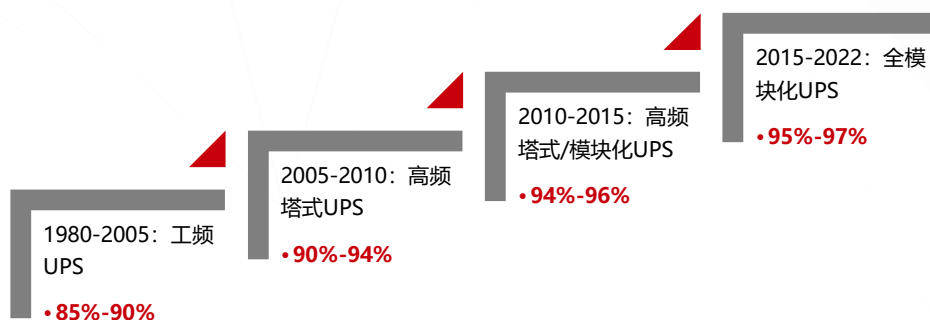
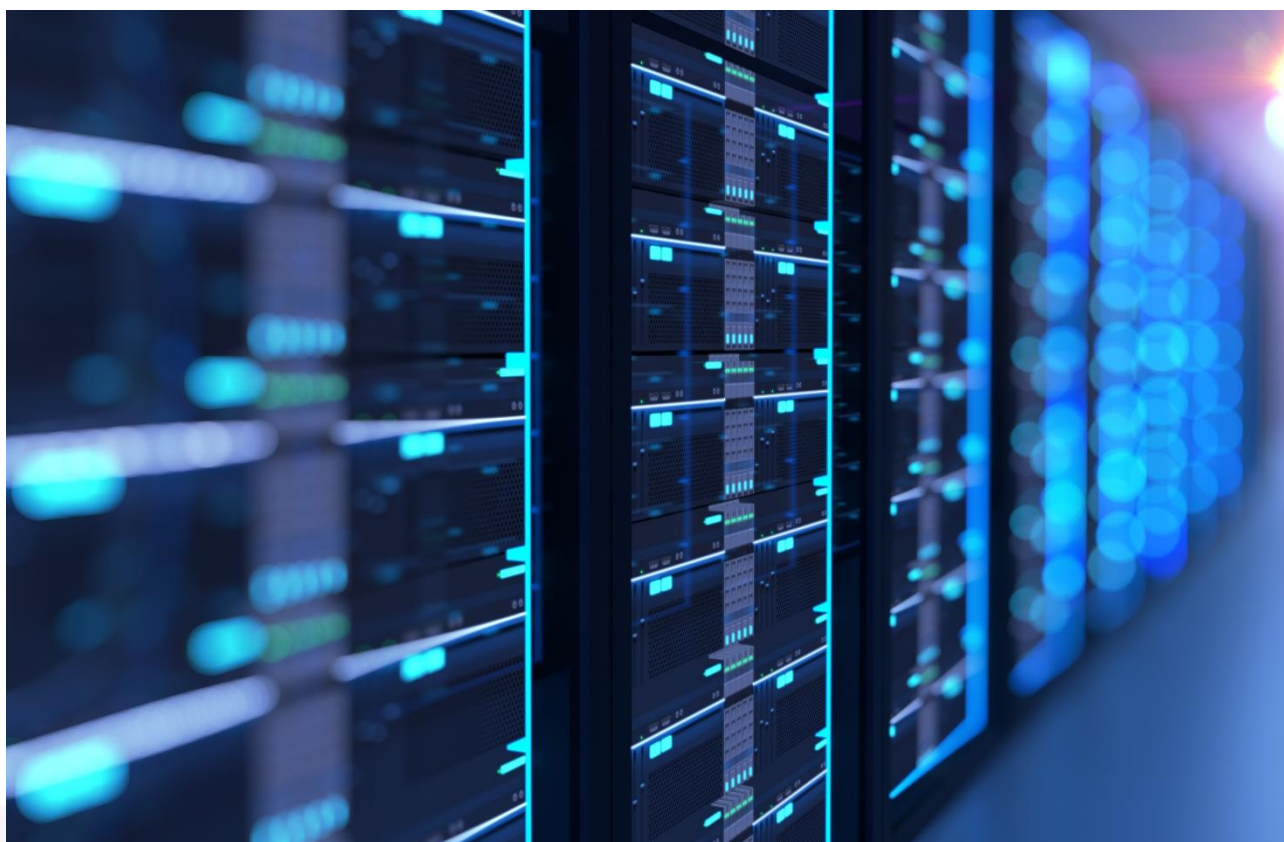


图2 UPS效率发展历程

图2列出了近些年UPS效率发展历程，可以看出UPS近十多年效率突飞猛进，但受拓扑、器件和工艺限制，未来UPS的在线模式效率会在97%以上艰难前行，表现为：

- ① **拓扑方面**：三电平IGBT双变换架构已应用多年，考虑产品可靠性和器件适配性，该拓扑短期内会继续沿用。
- ② **器件方面**：目前业界旗舰产品已经批量使用了SiC（碳化硅）部件，器件损耗已降至最低，因此通过升级器件进一步提升在线模式效率难上加难。
- ③ **线路损耗**：受欧姆定律限制，大功率UPS内部线路损耗难以降低。

受以上影响，UPS需要探索新模式，突破效率瓶颈，达到更优节能收益。



3.3. UPS主流工作模式和优劣势对比

数据中心使用的UPS产品均为在线双变换式UPS，其核心单元包括整流器、逆变器、充电器和静态旁路，分为以下两大类：在线双变换模式和ECO模式。

3.3.1. 在线双变换模式

在线双变换模式是UPS最常用的模式，根据不同输入源的状态分为主路供电、旁路供电和电池供电。

在线双变换模式——主路供电

交流电输入经过整流器和逆变器的交流-直流-交流转换，同时通过充电器为电池充电，经由两级变换以后，能得到精度和质量都较好的输出电压，可以防止输入谐波、毛刺、电压瞬变等干扰影响负载。

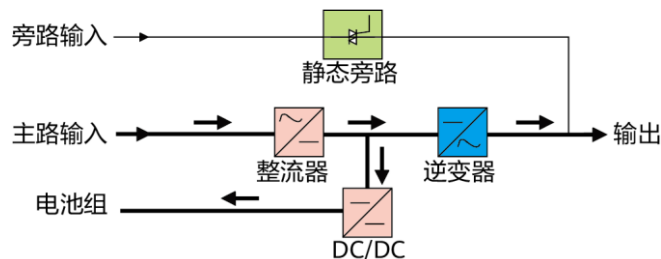


图3 在线双变换模式-主路供电示意图

在线双变换模式——旁路供电

当UPS检测到功率模块过温、过载或者其它会关闭逆变器的故障，会自动转到旁路，同时整流器处于开启状态并通过充电器为电池充电。旁路电源会直接给负载提供能量，旁路模式下负载供电质量不受UPS保护，容易受到停电、交流市电电压或频率异常等状况的影响。

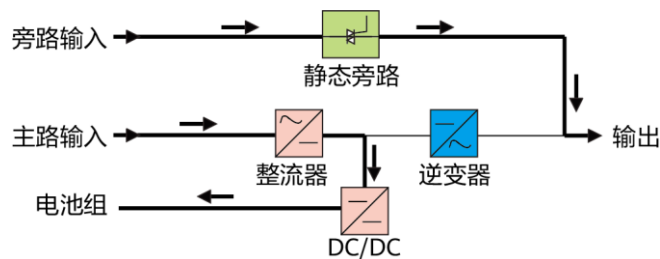


图4 在线双变换模式-旁路供电示意图

在线双变换模式——电池供电

当市电输入异常或者整流器发生异常时，UPS转电池模式工作，此时功率模块从电池获取能量，经逆变器转换成交流电压输出。

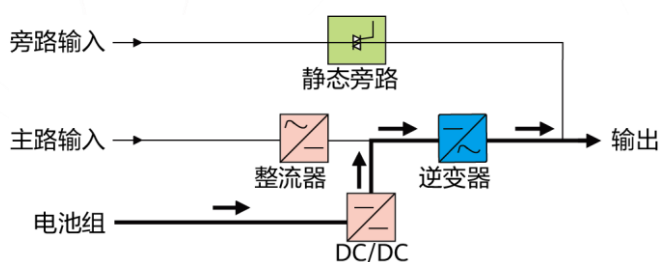


图5 在线双变换模式-电池供电示意图

3.3.2. ECO模式

当对UPS效率要求更高时，在线双变换模块无法满足要求，此时ECO模式可以被采用，是UPS经济运行模式，当旁路输入在ECO电压和频率范围内，且满足其他ECO供电条件时，UPS优先旁路输出，逆变待机。当旁路源电压不在ECO电压范围内时，负载将由旁路转向逆变供电。无论是旁路还是逆变供电，整流器都将处于开启状态并通过充电器为电池充电。这种工作模式，可以获得更高的效率。

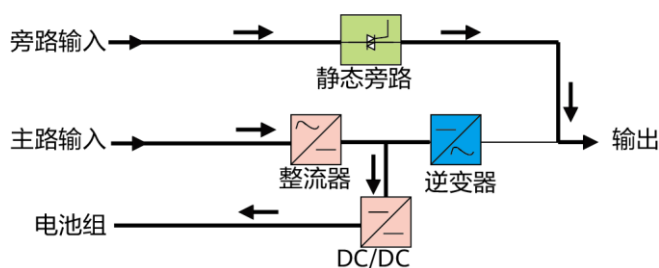


图6 ECO模式示意图

ECO模式下负载从旁路切换回逆变时存在最大10ms的间断，造成负载掉电，同时对负载谐波无补偿能力，虽然有高达99%的效率，但在数据中心使用较少。

综上所述，UPS主流工作模式间的对应关系如下：

表4 UPS各工作模式主要特性

IEC62040 标准定义	UPS模式	效率	特点	IEC62040切 换动态响应	电网要求	应用场景
VFI	在线模式	高达97%	可靠供电，模式间0ms切换	Class1	电网质量中等或较差	超过95%的场景和几乎全部的数据中心场景
VFD	ECO模式（类阻性负载）	高达99%	切换至电池有最大10ms的间断，负载谐波会反馈至电网	Class3	电网质量优，负载谐波含量低	负载接受间断时间 < 10ms的场景
VI	ECO模式（非阻性负载）	高达98.5%	切换至电池有最大10ms的间断，负载谐波会经过逆变器滤波	Class3	电网质量优，负载谐波含量高	负载接受间断时间 < 10ms的场景

综上所述，我们发现每个模式都有缺点，比如在线模式效率偏低，ECO模式效率高但切换有间断，如果融合两者的优势，使UPS默认工作在ECO模式，解决其切换间断和谐波补偿问题，这种创新模式就是智能在线模式（英文：S-ECO），接下来本文将会对该模式的价值和原理进行详细介绍。

4. 智能在线模式价值和技术原理

4.1. 智能在线模式价值和推荐架构

智能在线模式是基于智能在线技术的UPS新型工作模式，通过硬件架构和控制逻辑的优化，解决在线双变换模式的系统效率低，ECO模式输出有间断、谐波大、输入浪涌电压干扰的问题，具备四大核心价值：**全模式0ms切换+全负载范围高效+高压浪涌抑制+主动谐波补偿。**

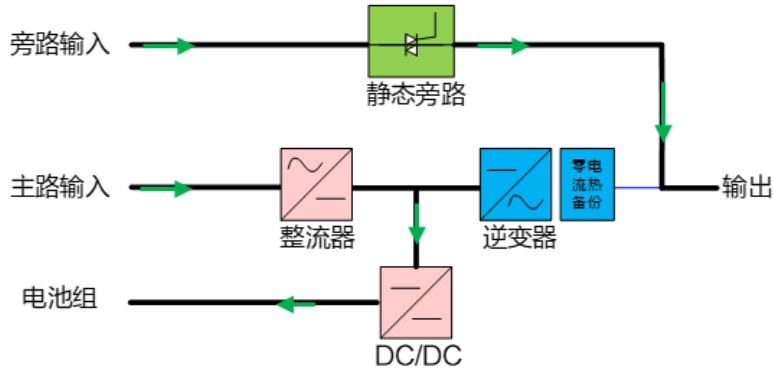


图7 智能在线模式示意图

4.1.1 全模式0ms切换

当系统工作在智能在线模式时，UPS自动检测旁路输入电网质量，当旁路输入正常时，优先由旁路直供，当旁路电网异常时，0ms切换至逆变器供电（若此时主路正常，则为主路逆变供电，若此时主路旁路都异常，则为电池逆变供电），满足IEC62040-3定义的CLASS1动态响应等级，当旁路恢复后可自动返回旁路供电。

4.1.2 全负载范围高效

旁路直接供电时，UPS损耗极低，系统最高效率 > 99.1%，20%以上负载率效率 > 98.5%。

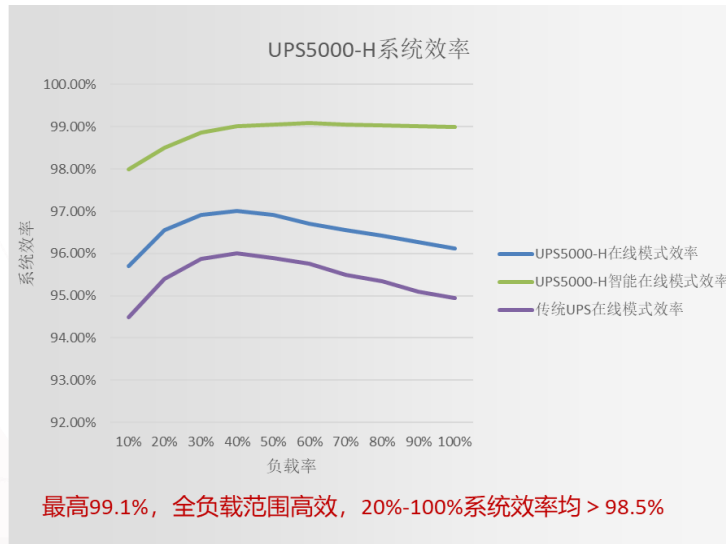


图8 智能在线模式效率曲线

由于数据中心负载变化率较小，如下为某数据中心一天内不同时段负载率，峰值和谷值的变化率只有9.9%，这种情况下智能在线模式还支持功率模块休眠功能。

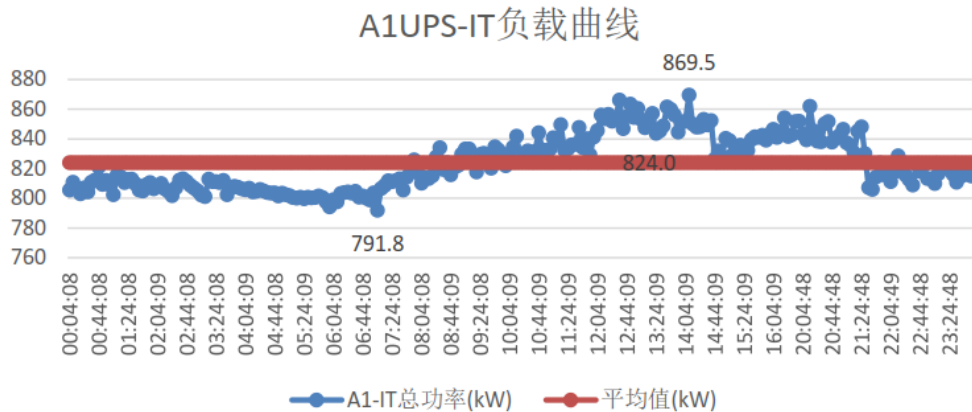


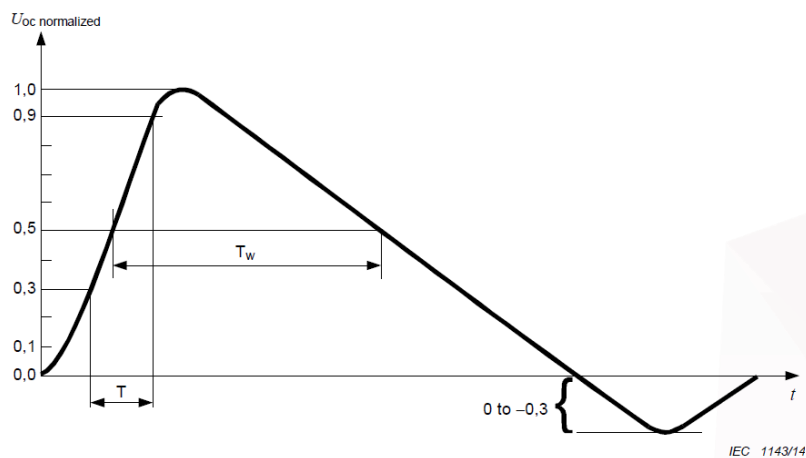
图9 某数据中心一天的负载率变化曲线

该功能可自动检测负载率并休眠一定数量的功率模块，降低这部分模块损耗，同时模块仅休眠逆变器，而整流器和充电器均在运行，保障负载突变、模式变化或其他异常时从休眠状态快速唤醒，最快唤醒时间5ms，保障供电可靠性。

以上图为例，若配置1200kVA UPS，在6:44:08时刻，负载791kW，负载率66%，休眠4个模块，在14:04:09时刻，负载率为869kW，负载率72%，休眠3个模块，表明休眠模块数量可根据负载率自动调节。

4.1.3 高压浪涌抑制

旁路直接供电时，旁路输入的浪涌电压很容易传到负载端口，针对浪涌高压，智能在线模式通过高低压箝位技术，电压降低时补偿，电压升高时吸收，经过验证输出电压可满足IEC61000-4-5对浪涌电压的要求。



NOTE The value 1.67 is the reciprocal of the difference between the 0.9 and 0.3 thresholds.

图10 IEC61000-4-5标准中浪涌电压测试要求

4.1.4 主动谐波补偿

IT设备内部电源带有功率因数校正（PFC），对外呈现的功率因数较好（> 0.9），可直接由旁路供电，但部分动力和工艺设备并没有功率因数校正功能，如空调、风机、水泵等设备，传统ECO的旁路直供工作时会产生无功能量和高次谐波流入电网中，引起线路损耗增大、绝缘老化加速、设备寿命减少等问题。

当运行在智能在线模式时，系统可自动检测实际谐波，超过设定值可自动开启逆变器补偿负载中的谐波分量，保障系统输入谐波含量少，功率因数高，以100%非阻性负载为例，传统ECO模式的输入功率因数只能达到0.7-0.8，而补偿后可到输入PF>0.99，传统ECO下需要额外增加APF或者SVG补偿装置，智能在线模式可节省这部分支出。

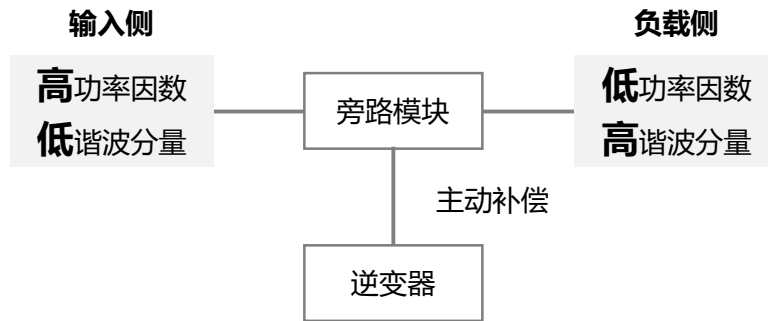
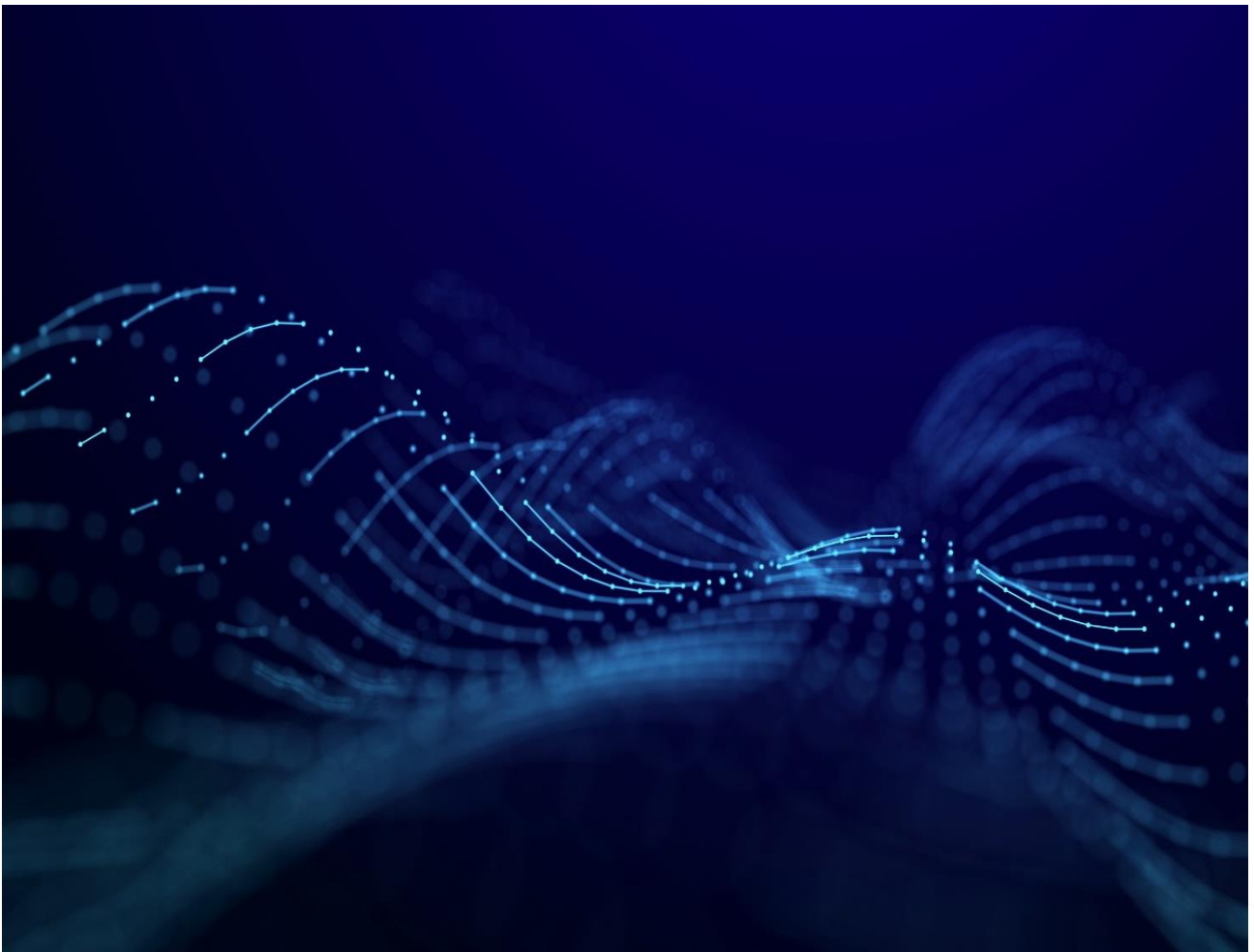


图11 主动谐波补偿示意图



4.1.5. 运行条件：中国电网质量均满足运行条件

UPS可按电网质量选择工作在线模式或智能在线模式，这一过程在设计阶段和初次上电时设置，调试运行后无需再进行设置。

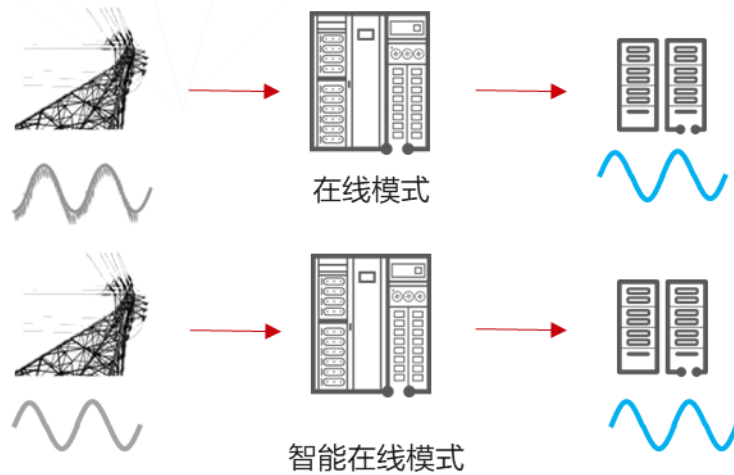


图12 不同电网质量推荐的运行模式

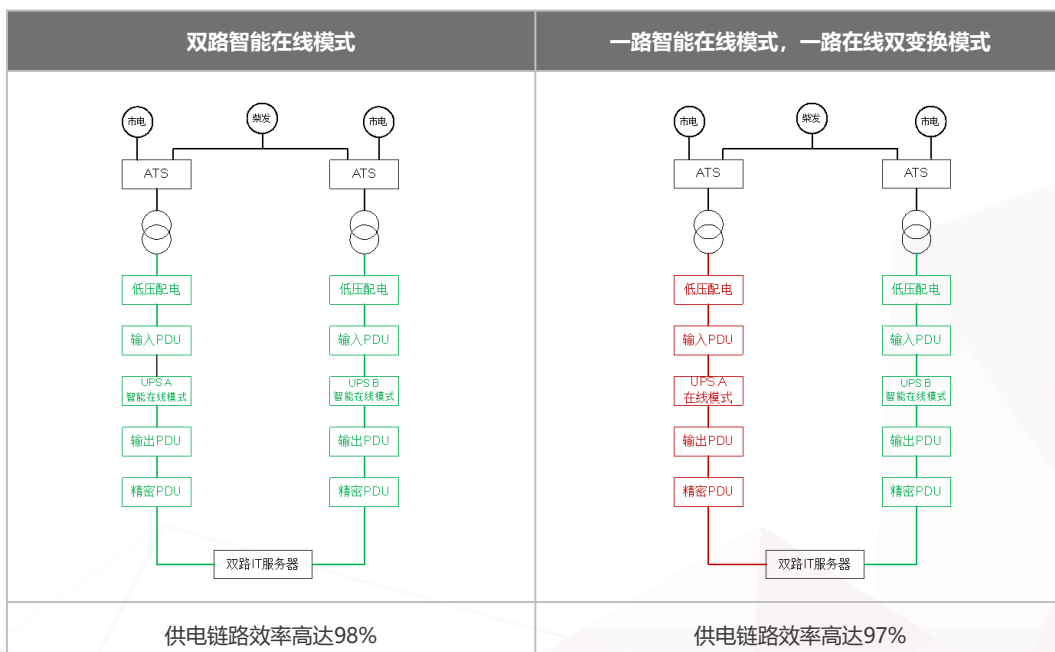
智能在线模式对电网掉电频率无要求，但推荐在电网较稳定的环境下运行，其电压、频率和谐波的参考值如下：

- 电压范围 $380V \pm 10\%$ 以内；
- 频率范围 $50Hz \pm 2\%$ 以内；
- 电网电压总谐波畸变率THDv 8%以内。

4.1.6. 供电架构：数据中心主流架构均可使用智能在线模式

智能在线模式同在线模式相同，可适合于多种供电架构，当供电架构为2N时，双路智能在线模式、一路智能在线模式/一路在线双变换模式都适用。

表5 推荐的供电架构



4.2. 智能在线技术原理

智能在线模式的核心价值是基于内部的专利技术实现的，本节围绕智能在线技术原理展开描述。

4.2.1. 高低压箝位技术确保全模式0ms切换和高压浪涌抑制

传统ECO下由于以下四方面的原因，导致旁路异常切换到逆变供电的过程中，存在最大10ms间断时间，IT负载和动力负载有掉电风险。

- ① 旁路输入检测延时（主要因素）
- ② 控制信号传输延时
- ③ 旁路内部晶闸管过零关断（半控型器件）
- ④ 逆变开启延时

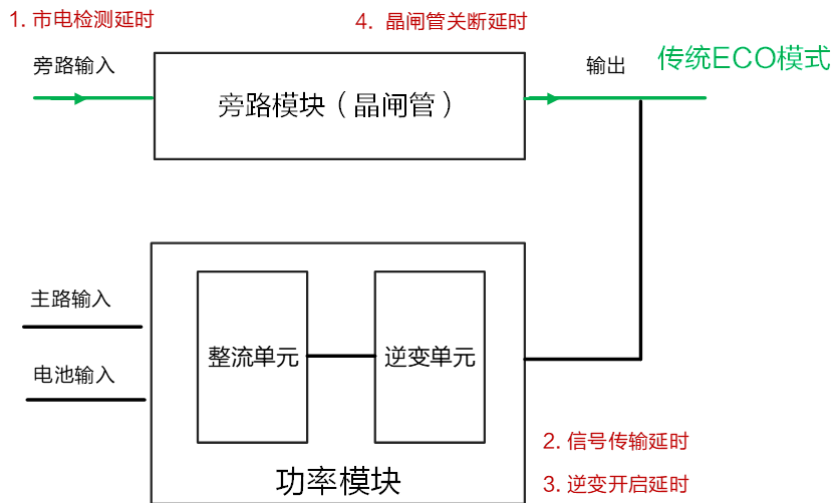


图13 传统ECO模式间断产生的原因

华为智能在线模式采用硬件高低压箝位技术，UPS功率模块输出，当旁路输入发生短暂的电压跌落或者浪涌高压，UPS可以充分利用模块化架构的优势，部分功率模块逆变电压210V，实现低压箝位，部分功率模块逆变电压230V，实现高压箝位，箝位幅值 $\pm 10V$ ，该技术无需等待软件侦测和信号传递延时，直接通过硬件箝位的方式实现0ms切换，可靠性更高。

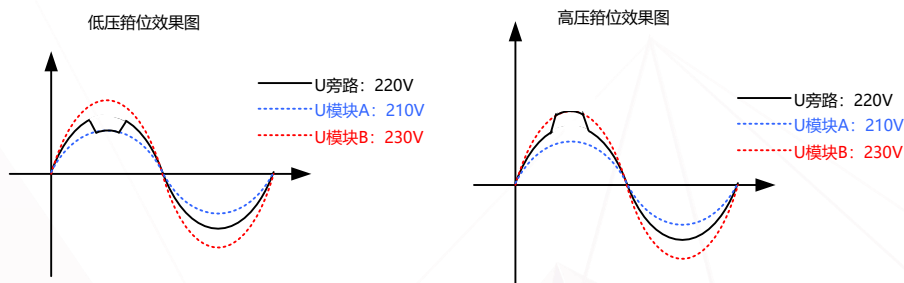


图14 智能在线技术高低压箝位工作示意图

4.2.2. 零电流热备份技术实现全负载范围高效率

上一节所述的高低电压备份技术并非将功率模块的逆变器之间直接并联，而是通过热备份单元后再并联，每个功率模块的逆变器输出都串联了该热备份电路，如下图所示，相比于业界常用的小电流备份技术（软件控制切换，旁路输入正常时为电流源模式，旁路输入异常时切换成电压源模式）增加了硬件电路，该电路最显著特点是零电流，因此可以实现零损耗热备份，效率高达99.1%。

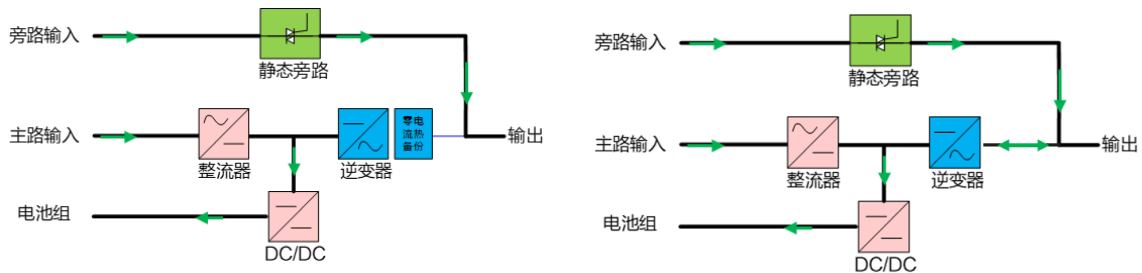


图15 零电流热备份（左）VS 小电流热备份（右）

零电流热备份技术是华为专利技术，其专利截图如下，核心原理是功率模块的逆变器串联晶闸管，利用晶闸管的正向电压导通，反向电压截止的特性，当旁路电压正常时，所有功率模块的晶闸管都处于截止状态，实现零电流和零损耗，当旁路电压异常，晶闸管实现上一节所描述的高低电压备份功能。

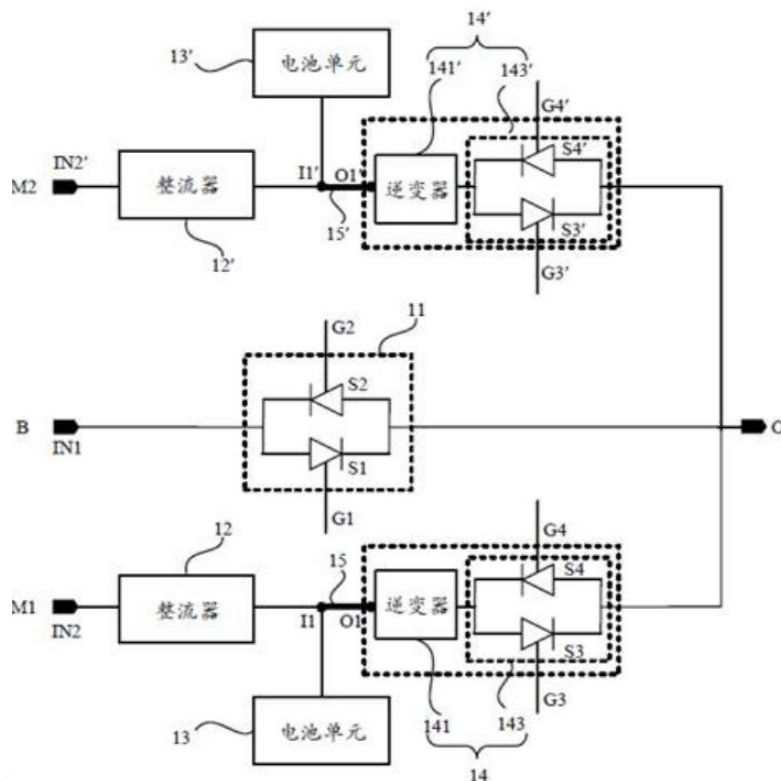


图16 智能在线技术专利图

下表是小电流备份和零电流热备份技术的对比，后者具备更优的效率。

表6 零电流和小电流热备份技术特性对比

	动态响应	备份电流	效率	主路旁路关系	造价
小电流备份	CLASS1/CLASS3	小	高达98.5%	直接并联	低
零电流热备份	CLASS1	无	高达99.1%	硬件隔离	中

除了零电流热备份技术外，智能休眠技术通过休眠部分功率模块，提升全负载范围高效率，UPS系统会自动依据当前的负载率，预判剩余工作模块的负载率 $<100\%$ ，其余模块进行休眠，20%负载以上效率 $>98.5\%$ 。若UPS系统预判剩余工作模块的负载率 $>100\%$ 时，会在5ms以内快速唤醒休眠模块，保证供电可靠性。

休眠模式还支持轮休机制，休眠间隔以天为单位，定时带载和休眠，保证模块的运行时间一致。

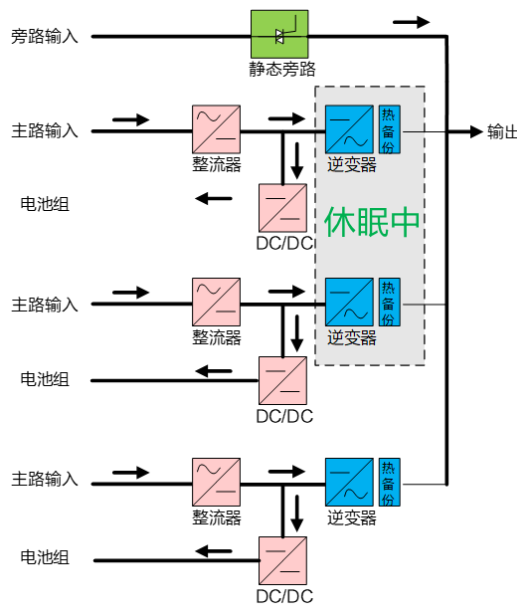


图17 智能在线技术休眠示意图

4.2.3. 主动谐波补偿技术，实现等同于双变换模式的输入功率因数

针对非阻性负载，智能在线模式具备主动谐波补偿能力，其核心工作原理如下：

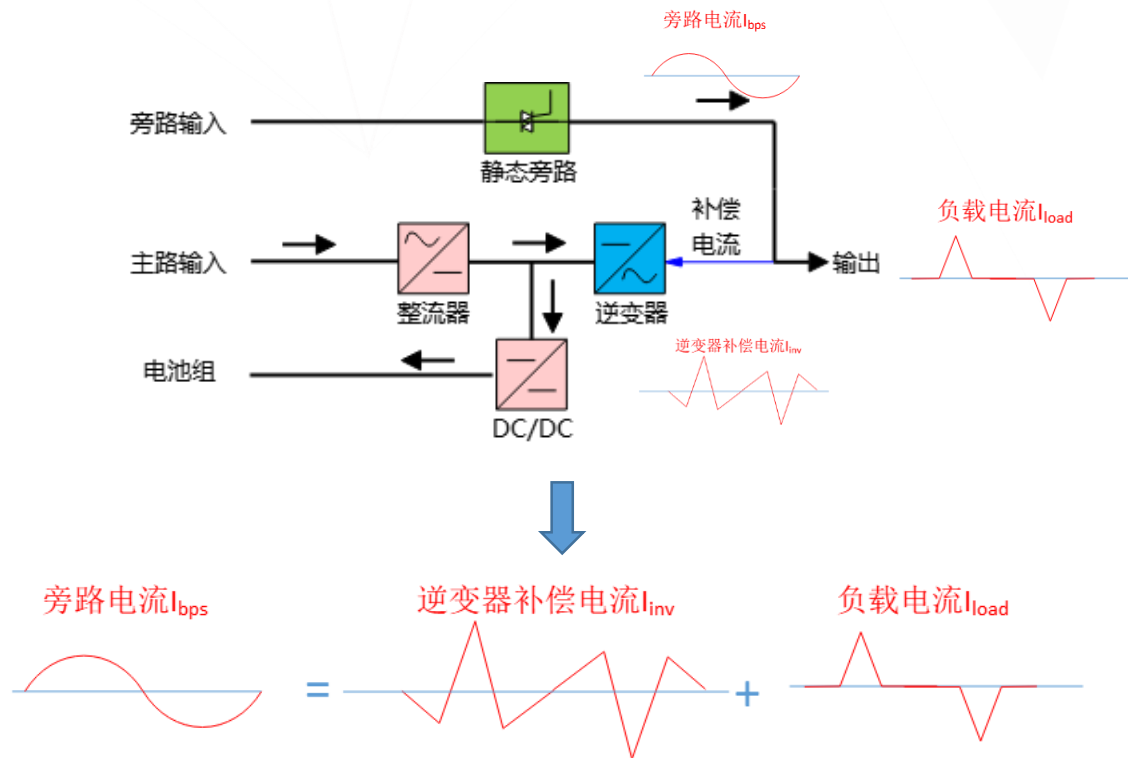


图18 智能在线技术主动谐波补偿原理图

系统通过分析UPS的输出负载电流 I_{load} ，分解其中的谐波分量，传输给逆变器进行运算，逆变器则工作在电流源模式，按负载谐波电流输出补偿谐波电流 I_{inv} ，负载上的谐波电流全部由逆变提供，旁路输入电流 I_{bps} 只是基波成分，从而保证电网输入电流THDi非常小。

智能在线模式可以适配各种负载组合，包括阻性、阻容性、阻感性、非线性负载，逆变均可以补偿负载的无功成分，补偿效果与在线模式相当，保证输出满载时系统输入PF>0.99，输入THDi<5%。



5. 华为积极实践智能在线模式，全面验证运行可靠性

华为UPS5000-H旗舰机型搭载了智能在线模式并进行了全方位验证，该机型覆盖容量400k-1600kVA，适用于中大容量数据中心和行业关键供电。



UPS5000-H-(400/500/600kVA)
800*2000*1000



UPS5000-H-800kVA
1600*2000*1000



UPS5000-H-1200kVA
1600*2200*1000



UPS5000-H-1600kVA
2400*2200*1000

宽*高*深 (mm)

图19 华为UPS5000-H系列

数据中心常见负载率为20%-80%，UPS5000-H可实现20%-100%负载效率 > 98.5%，最高效率达99.1%，相比于业界其他节能模式，全负载范围内高效，其效率实测如下，当旁路输入异常时转至在线双变换运行，效率依然可以达到97%，10%以上负载效率 > 95.5%，由此可见，UPS5000-H是一款极致节能的UPS产品。

系统效率对比

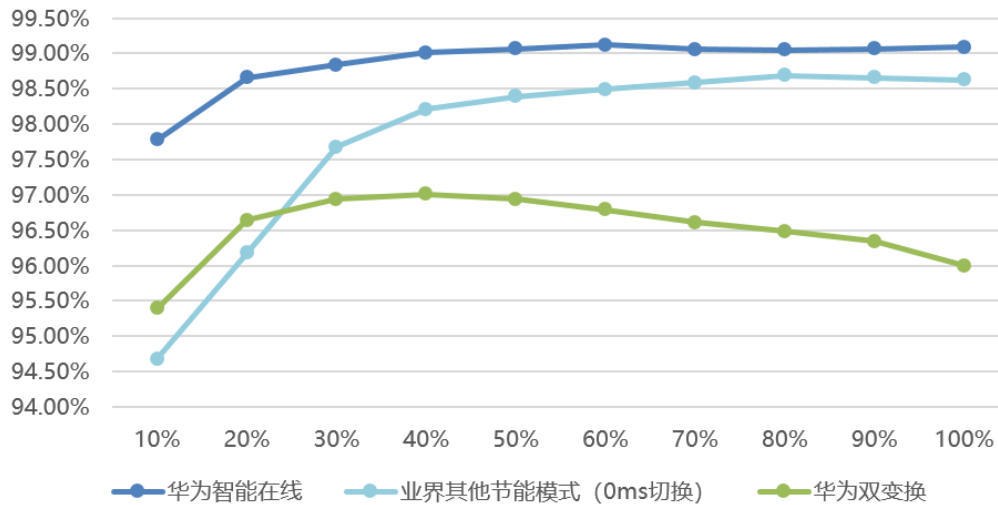


图20 智能在线模式效率曲线

智能在线模式相比于在线双变换模式，半载效率提高了2%，满载效率提高了3%，以半载为例，按照0.8元/kW*h电费进行计算，对于10MW的数据中心，10年节省电费可到778.4万元。

表7 不同容量机型电费收益

UPS额定容量 (kW)	实际负载 (40%)	效率收益	10年电费收益 (万元)	电费 (元/kWh)
400	160	2%	31.1	0.8
800	320	2%	62.2	0.8
1200	480	2%	93.4	0.8
1600	640	2%	124.5	0.8
2000	800	2%	155.6	0.8
2400	960	2%	186.8	0.8
3200	1280	2%	249	0.8
10000	4000	2%	778.4	0.8

为了验证智能在线模式时任何工况下UPS均输出无中断，UPS5000-H重点对以下项目机型实测，基于IEC62040和YD/T 2165标准，所有测试结果均满足，详细测试结果见附录1。

■ **输入适应性:**

- 输入高低压
- 输入高低频率
- 输入掉电
- 输入浪涌测试
- 输入电压畸变

■ **输出适应性**

- 主动谐波补偿测试
- 输出动态响应
- 输出短路测试

最常见的掉电测试如下所示，输出负载带阻性负载，系统工作在VFD状态下，此时旁路输入电压掉电，系统0ms切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。旁路电压恢复后，告警自动消失，经过5min后0ms回切旁路供电。

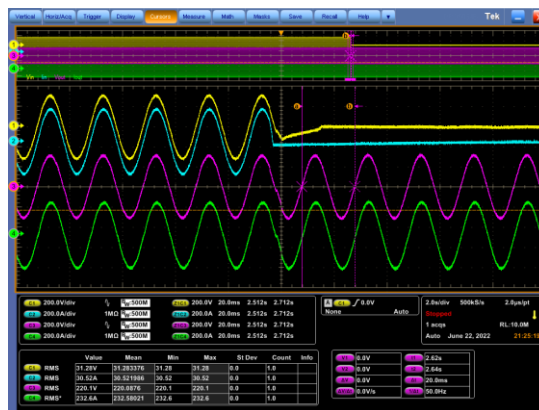


图21 黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

验证主动谐波补偿效率对UPS为动力负载等非线性负载供电时极其关键，当系统工作在智能在线模式下，输出端给PF=0.7的负载供电，通过谐波补偿功能，可以观测到智能在线模式下通过谐波补偿的旁路输入PF和THDI的效果，与双变换模式相当。

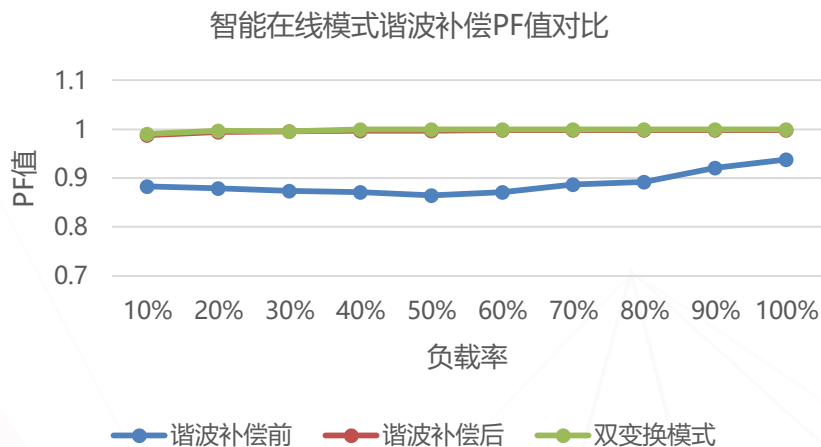


图22 智能在线模式谐波补偿PF值对比

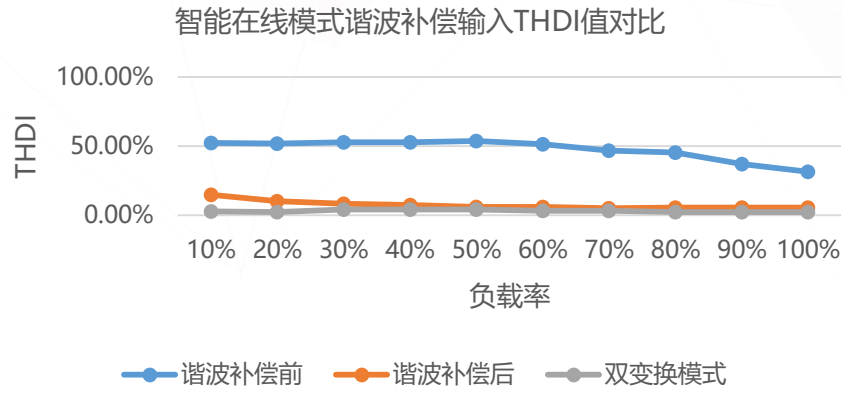


图23 智能在线模式谐波补偿输入THDI值对比

作为全模块化高频UPS，其功率模块、控制模块、旁路模块均可热插拔，实现5分钟快速运维。



UPS5000-H 600k 开门图

UPS5000-H采用100kVA/3U高功率密度模块，实现一柜一MW的极致高密，较业界传统方案节省50%占地。



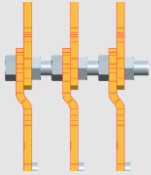
iPower全链路监控，变被动告警为主动AI预测性维护



母线电容寿命预测
电容**容量**实时监控，
寿命提前一年预测



旁路主动均流
无需均流电感，**不均流度控制10%以内**（业界30%）



关键节点温度监测
过温告警，防连接
松动高温起火



风扇寿命预测
风扇**转速**智能检测，故障提前一年预警



UPS5000-H还通过了第三方权威机构的测试，所有参数均达到期望值。

图24 智能在线模式泰尔测试报告

图25 智能在线模式TUV测试报告

32	系统效率 (智能在线模式)	—	UPS 工作在智能在线模式，输入额定电压、频率，输出分别加 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%阻性负载（不加电池），测试系统效率为实测值。	10%负载： 97.786% 20%负载： 98.658% 30%负载： 98.840% 40%负载： 99.013% 50%负载： 99.068% 60%负载： 99.120% 70%负载： 99.058% 80%负载： 99.053% 90%负载： 99.074% 100%负载： 99.092%	合格
----	------------------	---	--	---	----

图26 泰尔报告节选（效率测试）

序号	检测项目	单位	标准要求	检测结果	结论
28	输入异常转换时间 (智能在线模式)	ms	智能在线模式，主旁同源，输入电压为额定值、输出为 100%额定阻性负载，分别在市电掉电、输入电压高/低异常、输入频率高/低频率异常条件下，逆变与智能在线模式互相转换时间应为：0ms	市电掉电切逆变供电及恢复：切换时间：0 输入电压高异常及恢复：切换时间：0 输入电压低异常及恢复：切换时间：0 输入频率高异常及恢复：切换时间：0 输入频率低异常及恢复：切换时间：0	合格

图27 泰尔报告节选（切换时间）

6. 常见问题FAQ

1. 智能在线模式为什么英文翻译为S-ECO?

英文叫S-ECO，是为了和ECO作对比，表示Super ECO mode；

中文叫智能在线，是在线模式的一种智能化升级，既有在线模式的可靠，也有ECO模式的高效。

2. 智能在线模式可以为客户带来哪些价值?

智能在线模式在保障可靠性的前提下，提升3-4%系统效率，核心具备四大特性：0ms全模式切换保障供电安全，全负载范围高效实现PUE大幅降低，输入高压浪涌抑制以及主动谐波补偿功能弥补负载谐波分量。

3. 智能在线模式下电池是否可以正常充电?

可以，电池通过整流器和充电器正常充电，充电功率等同于在线双变换模式。

4. 智能在线模式可以帮助数据中心降低多少PUE?

按照模型计算，数据中心中UPS效率每提升1%，可使得PUE降低0.01，因此对比业界常见95%-96%的UPS效率，可降低PUE 0.03-0.04。

5. 智能在线模式可以节省多少电费?

以600kVA系统为模型，生命周期可节约电费70万。(条件：600kVA，负载率40%，电费0.8元/kW*h，空调实际COP:3，生命周期10年)

6. 智能在线模式是不是在UPS启动后自动开启?

不是，第一次启用该模式时需要手动设置，系统默认设置“旁路输入电压允许范围”，“旁路输入频率允许范围”，“是否主动谐波补偿”以及“补偿阈值”，也可手动修改默认值，见3.1节，调试完成后无需再手动设置或操作。

7. 智能在线模式能否补偿电网谐波?

不支持补偿电网谐波，由于电网容量非常大，UPS无能力对其谐波进行补偿，但当市电谐波异常时，可自动检测并0ms切换至在线双变换模式。

8. 如果电网经常掉电，可以用智能在线模式吗?

可以，无论在线双变换模式还是智能在线模式，当电网掉电时都会转电池运行，时间都是0ms。

7. 总结

通过以上介绍和分析，可以看到智能在线模式是一种创新的UPS模式，其四大核心价值：全模式0ms切换、全负载范围高效（最高99.1%，20%-100% > 98.5%）、高压浪涌抑制和主动滤波补偿，解决了传统ECO的切换间断和谐波污染问题以及电网侧的电压跌落和浪涌电压问题。

智能在线模式四大核心价值帮助数据中心整体降低PUE 0.03-0.04，为数据中心和行业关键供电中的各类型负载提供稳定可靠的供电。



附录1

1-1 设置和运行状态验证

1-1-1 设置参数和路径

UPS需要设置的参数主要有工作模式、谐波补偿、谐波补偿输出电流THD_i阈值、奇次谐波补偿配置、ECO电压范围、旁路频率范围。

工作模式：默认正常模式，可设置系统工作在智能在线模式下。

谐波补偿：默认开启，若电网对谐波要求不高，同时对系统效率要求更高，可关闭此功能，系统不允许进行谐波补偿。

谐波补偿输出电流THD_i阈值：默认5%，客户可自定义谐波补偿阈值，>5%、>10%、>20%、>30%可选。

奇次谐波补偿配置：默认1~15奇次谐波都补偿，可自定义只针对某次谐波进行补偿。

ECO电压范围：默认±5%，可选择±6%、±7%、±8%、±9%、±10%。

旁路频率范围：默认±2.0，可选择±0.5、±1.0、±2.0、±3.0、±4.0、±5.0、±6.0。

在LCD界面“系统信息 > 设置 > 系统设置”中可设置工作模式为智能在线模式，同时自定义智能在线的工作电压范围和谐波补偿能力，设置完成后此时LCD界面显示智能在线模式。



图28 智能在线模式设置界面1



图29 智能在线模式设置界面2

智能在线模式下旁路频率范围设置，在LCD界面“系统信息>设置>旁路设置”

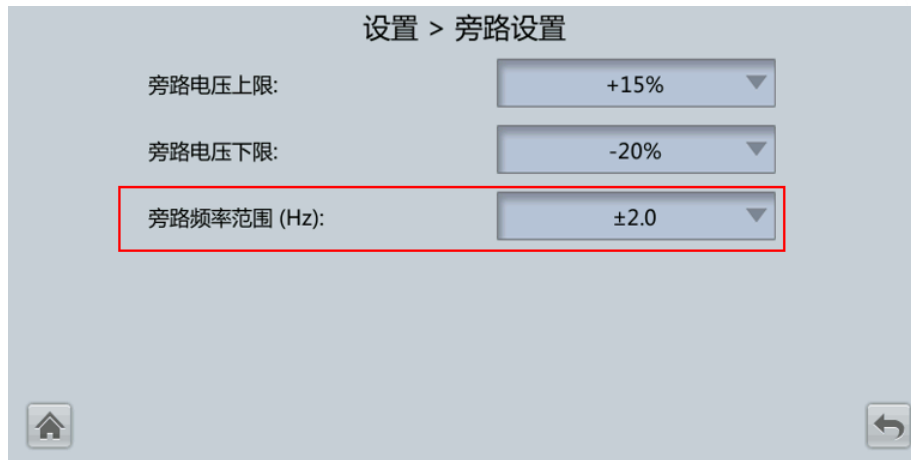


图30 智能在线模式设置界面3



1-1-2 模式切换逻辑和运行状态验证

当智能在线模式的参数设置完成后，系统会优先旁路供电，并依据负载率、负载电流THDi、负载PF、输入电压、频率等参数，实时计算并自动调整VFD、VI、VFI三种供电状态，其中输入电压、频率和THDi参数在初次启动时手动在监控屏设置。

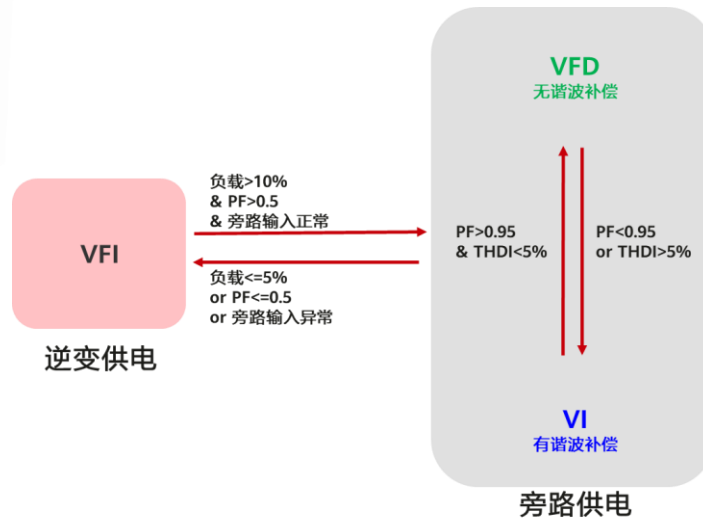


图31 智能在线模式状态切换原理图

输入电压质量较好，波动较小，负载为阻性或类阻性负载时，系统运行在VFD状态。

旁路输入电压频率在设定范围内，负载电流THDi小于设定值（默认5%），且功率因数>0.95，此时UPS运行在VFD状态，供电效率99.1%，逆变器不开启补偿。

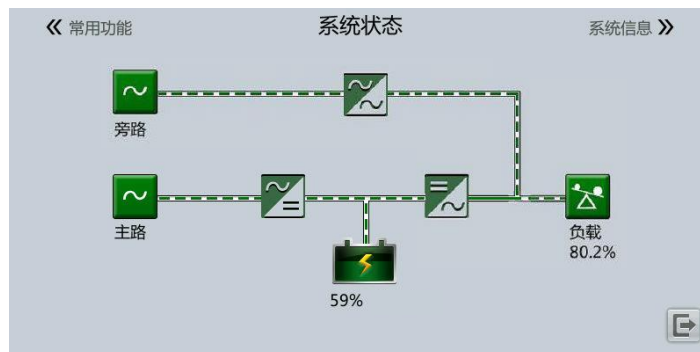


图32 智能在线模式功率流向（无谐波补偿）

输入电压质量较好，波动较小，负载为非阻性负载时，系统运行在VI状态。

旁路输入电压频率在设定范围内，负载电流THDi大于设定值（默认5%），且负载功率因数0.5~0.95。此时UPS自动进入VI状态，逆变器对负载电流的谐波和无功成分进行补偿，此时供电效率为98.5%，输入PF > 0.99，输入电流THDi < 5%。

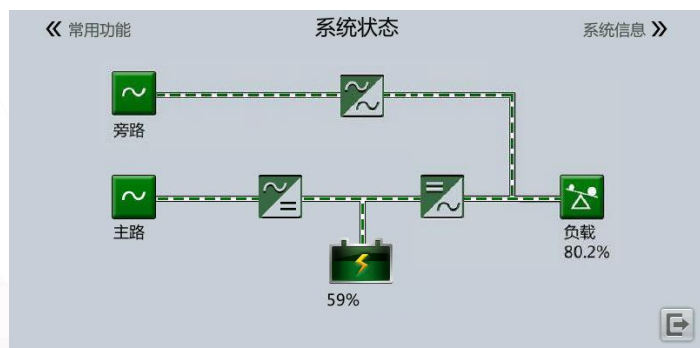


图33 智能在线模式功率流向（有谐波补偿）

当输入电压质量较差，波动较大时，系统运行在VFI状态。

电网电压和频率超出规格限制，或者负载PF<0.5，或者负载率<10%，任意一点达到时，UPS将自动切换至主路逆变供电（VFI状态），避免较差波形直接给负载供电。UPS会实时监测输入电压波形质量，直至输入电压质量变好，UPS恢复至智能在线模式VFD或VI供电状态。

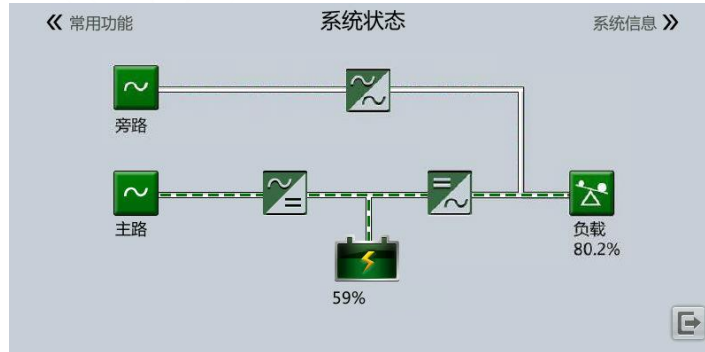


图34 智能在线模式功率流向（转在线模式）



1-2 输入适应性验证

1-2-1 输入高低压验证

系统旁路电压设置上限为10%，当旁路电压超10%以后，系统旁路供电下0ms切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。当旁路电压低于上限后，告警自动消失，经过5min后0ms由主路供电回切旁路供电。

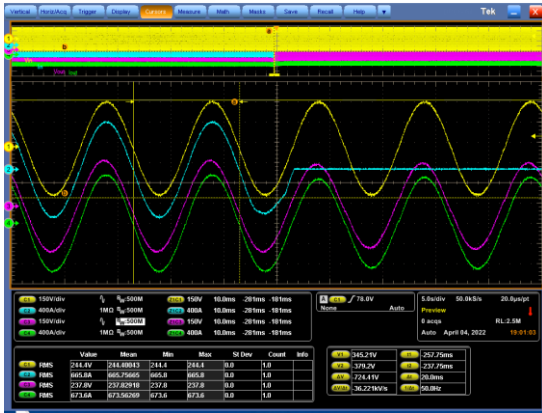


图35 高压切换(≥242V)



图36 常压恢复(220V)

黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

系统旁路电压设置下限为-10%，当旁路电压超-10%以后，系统旁路供电下0ms切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。当旁路电压高于下限后，告警自动消失，经过5min后0ms由主路供电回切旁路供电。

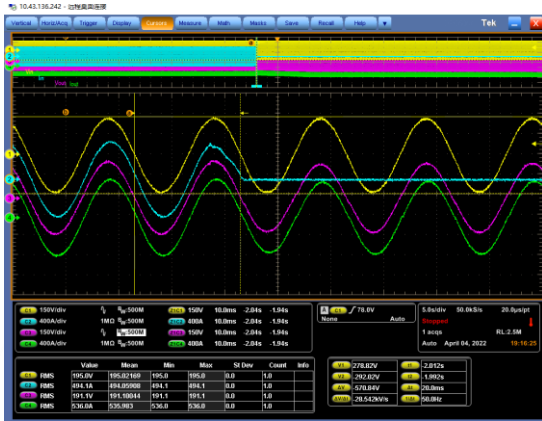


图37 低压切换(≤198V)

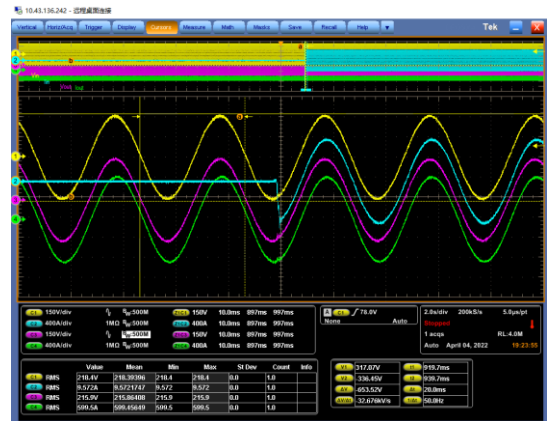


图28 常压恢复(220V)

黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

1-2-2 输入高低频率验证

旁路电压频率设置范围为 $\pm 6\text{Hz}$ ，旁路电压频率向上偏移超过 6Hz 以后，系统旁路供电下 0ms 切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。当旁路电压频率低于上限值后，告警自动消失，经过 5min 后 0ms 回切旁路供电。

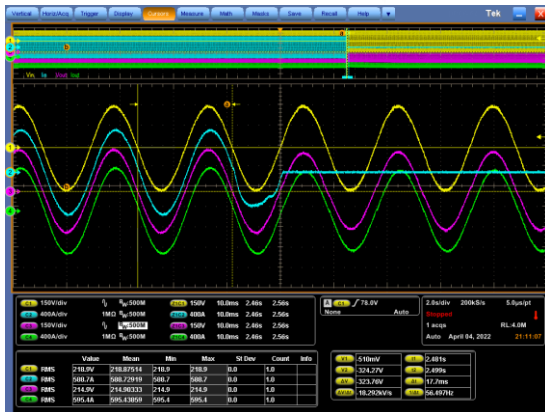


图39 高频切换 ($\geq 56\text{Hz}$)

黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

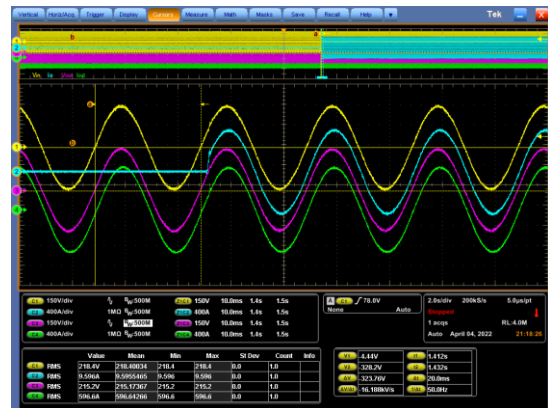


图40 正常恢复 (50Hz)

旁路电压频率向下偏移超过 6Hz 以后，系统旁路供电下 0ms 切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。当旁路电压频率高于下限后，告警自动消失，经过 5min 后 0ms 回切旁路供电。

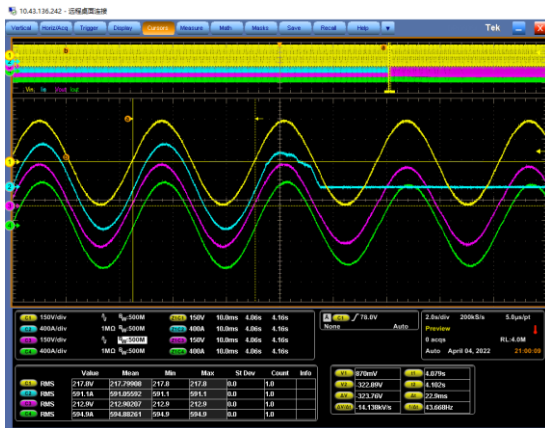


图41 低频切换 ($\leq 44\text{Hz}$)

黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流



图42 正常恢复 (50Hz)

1-2-3 输入掉电验证

智能在线模式下，输出负载带阻性负载，系统工作在VFD状态下，此时旁路输入电压掉电，系统0ms切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。旁路电压恢复后，告警自动消失，经过5min后0ms回切旁路供电。

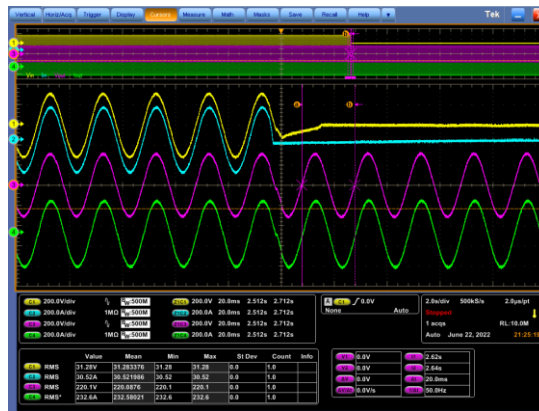


图43 黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

智能在线模式下，输出负载带非阻性负载，系统工作在VI状态下，此时旁路输入电压掉电，系统0ms切换至主路供电，并触发旁路电压异常告警。旁路电压恢复后，告警自动消失，经过5min后0ms回切旁路供电。



图44 黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

1-2-4 输入高压浪涌验证

UPS智能在线模式下，遇到输入高压浪涌时，系统可抑制浪涌，当UPS输入侧存在共模6kV和差模6kV的浪涌电压时，可实现输出端的残压差模峰值0.65kV，共模峰值1.93kV，满足IT设备差模<1kV，共模<2kV的使用要求。

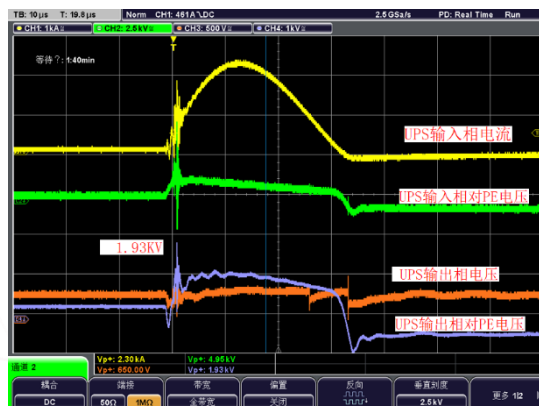


图45 共模6kV浪涌测试波形

1-2-5 输入电压畸变验证

智能在线模式下，系统实时监测旁路输入电压质量，当谐波变大时，系统自动判断旁路输入异常，切换至逆变供电，保证负载的供电质量。

验证过程中，在旁路输入分别注入各类谐波（三次谐波、梯形波、阶梯波、方波、尖顶波、三角波、矿厂波形、钢厂波形、承德波形、鞍山波形），UPS告警旁路电压异常并转逆变供电，切换过程输出电压无间断。

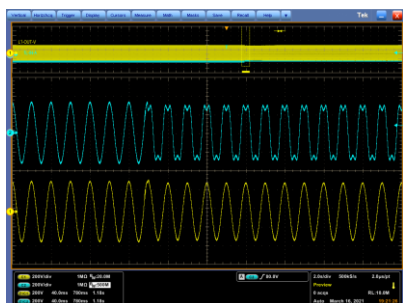


图46 三次谐波

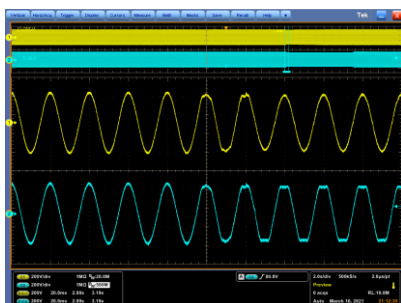


图47 梯形波

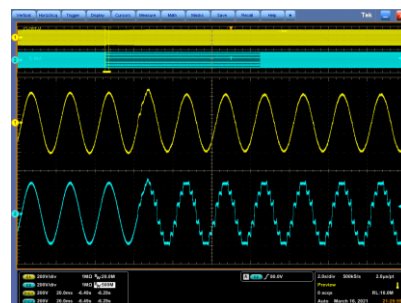


图48 阶梯波



图49 方波

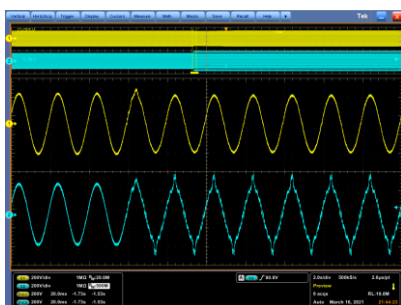


图50 尖顶波

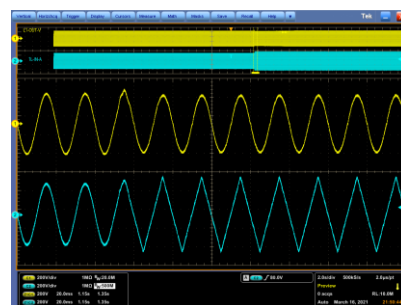


图51 三角波

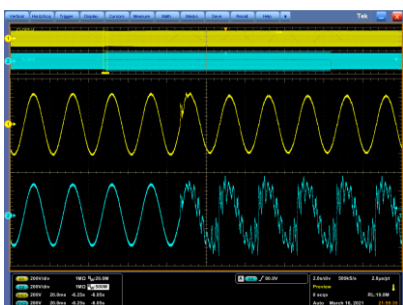


图52 矿厂波形3
(1KHz 50V方波叠加2、20、40次谐波为主)

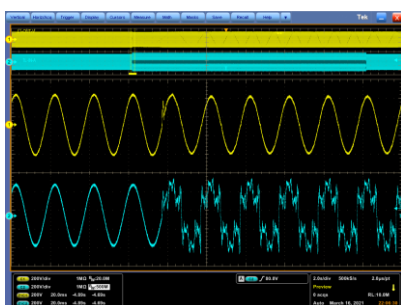


图53 钢厂波形2
(5、7、11次谐波为主)

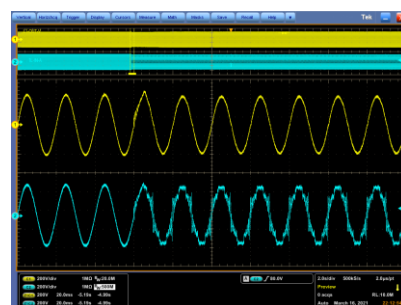


图54 承德波形
(37,39次)

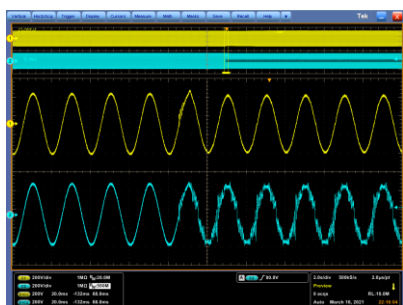


图55 承德波形
(36,38次)

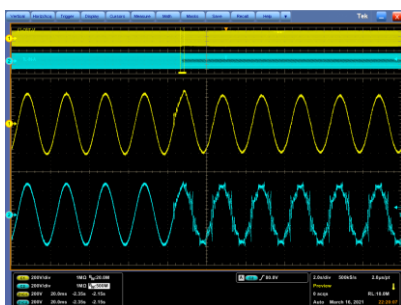


图56 鞍山波形
(29,31次)

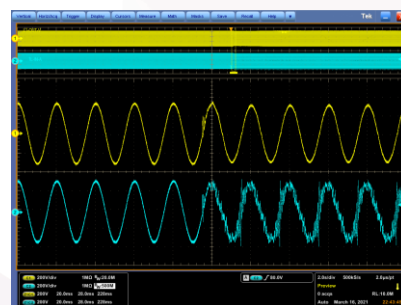


图57 钢厂波形3
(1.5K方波叠加)

蓝色：输入电压，黄色：输出电压

1-3 输出适应性验证

1-3-1 主动谐波补偿验证

智能在线模式下，系统可以根据负载的谐波大小进行谐波补偿，从而降低旁路输入侧的谐波电流，保证电网的友好性。以下是智能在线模式下，补偿前后的波形图。

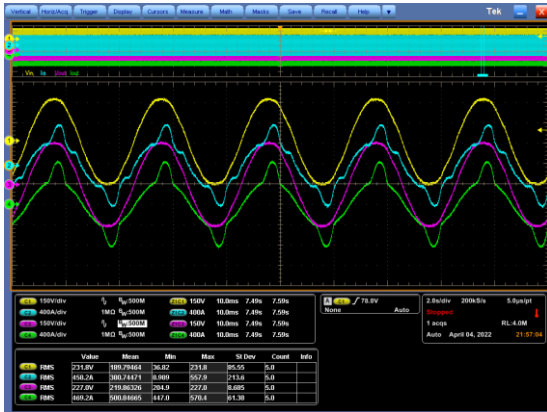


图58 补偿前



图59 补偿后

黄色:旁路输入电压, 蓝色:旁路输入电流, 紫色:系统输出电压, 绿色:系统输出电流

实际测试，当系统工作在智能在线模式下，输出端给PF=0.7的负载供电，通过谐波补偿功能，可以观测到智能在线模式下通过谐波补偿的旁路输入PF和THDI的效果，与双变换模式相当。

智能在线模式谐波补偿PF值对比

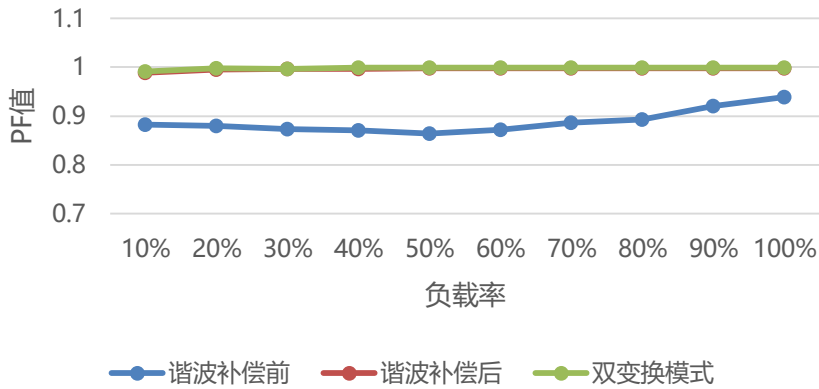


图60 智能在线模式谐波补偿PF值对比

智能在线模式谐波补偿THDI值对比

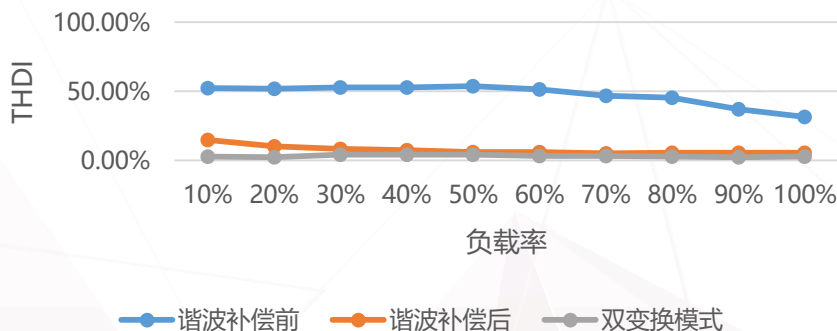


图61 智能在线模式谐波补偿THDI值对比

1-3-2 输出动态响应验证

智能在线模式下，逆变器是时时输出热备份电压，保证切换的动态响满足IEC62040-3的最高标准class1。并且可以满足0.1ms后15%以内的动态变化。实际测试，智能在线模式下，输出负载带R负载，系统工作在VFD状态下，此时旁路输入电压掉电，系统旁路供电下0ms切换至主路供电，输出切换波形如下：

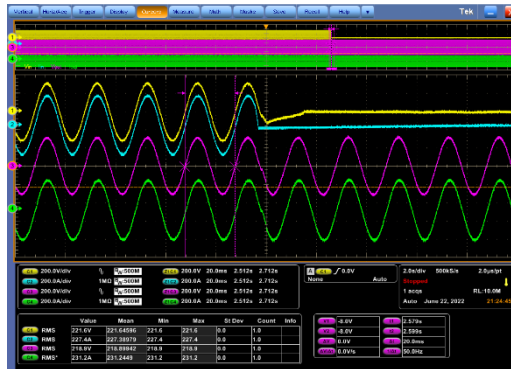


图62 输出动态响应验证

黄色：旁路输入电压，蓝色：旁路输入电流，紫色：系统输出电压，绿色：系统输出电流

依据IEC62040-3，输出电压动态特性的变化可以采用瞬时值图验证法来确认，根据标准，把发生动态变化后的0.1ms~20ms的波形实时记录下来，与标准波形进行对比（标准波形可以采用动态发生前一个周期的波形），对比的差值比例绘制在标准的范围曲线中，从而确认动态的变化是否满足要求。

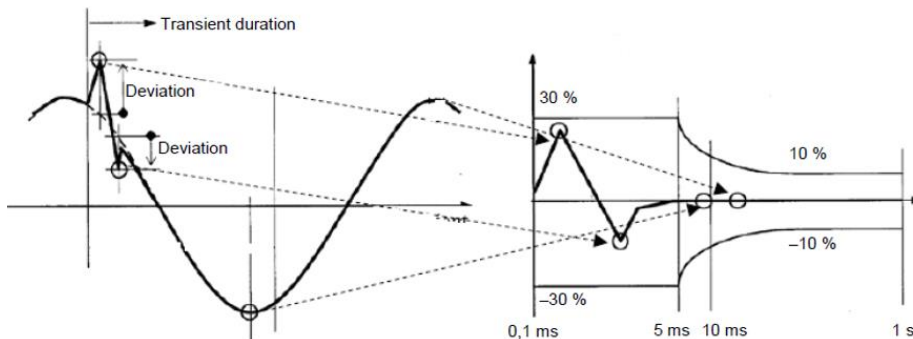


图63 UPS输出动态响应标准判据

按照以上的对比方法，把测试的波形进行转换分析，分析结果显示0.1ms后满足<15%的动态变化。

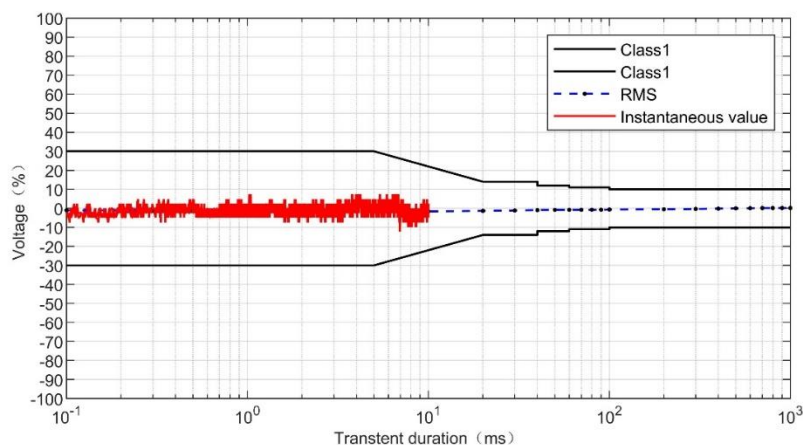


图64 UPS5000-H智能在线模式输出动态响应测试结果

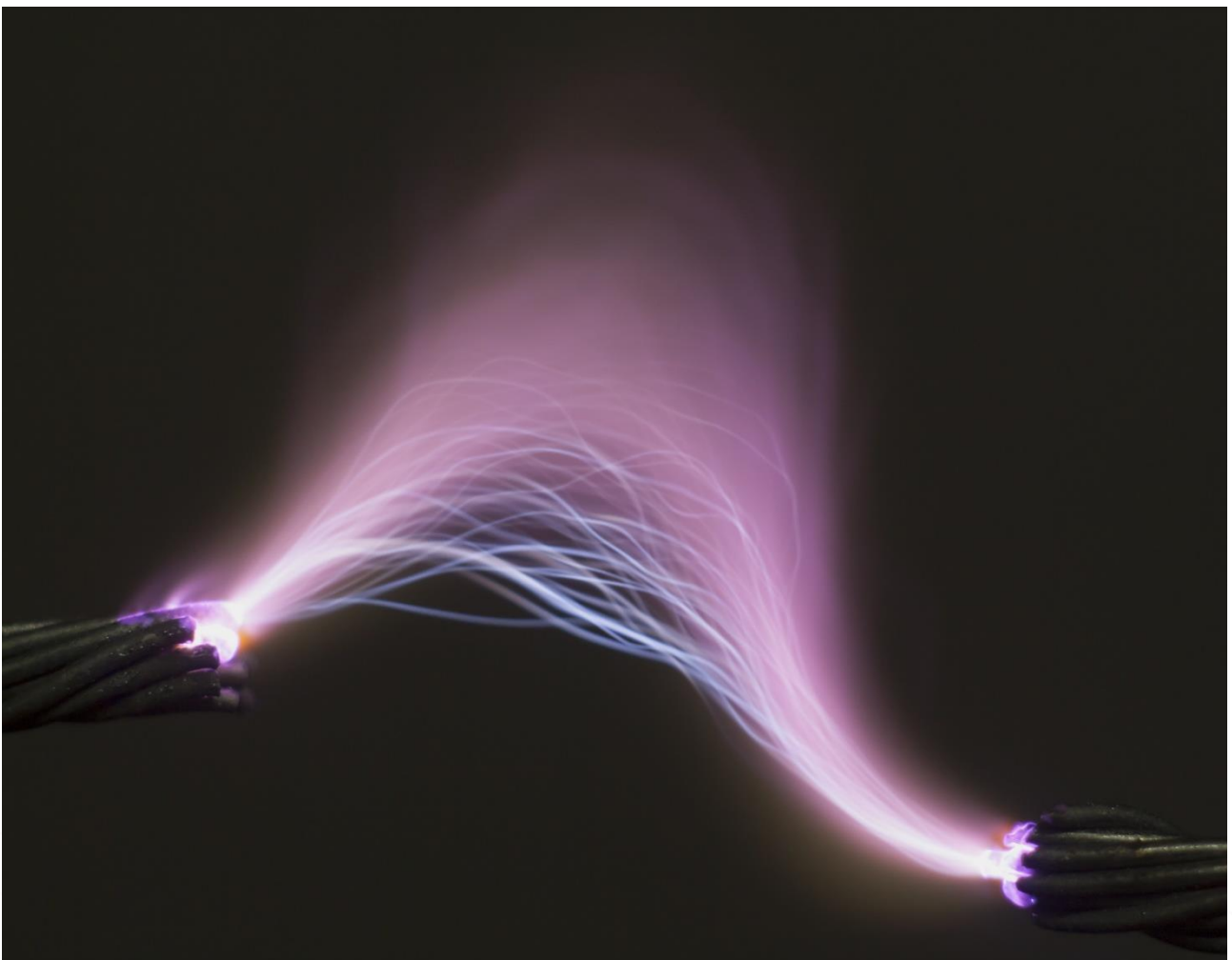
1-3-3 输出短路验证

系统运行在智能在线模式时，输出短路瞬间系统检测到旁路电压异常，此时系统切换至逆变输出，逆变输出短路持续时间300ms以上，若在逆变输出时间内短路点被清障，则逆变输出恢复正常，然后再回切旁路供电，若在逆变输出时间内短路点没有被清障，则逆变回切旁路，由旁路供电，脱扣保护断路器。（备注：波形中旁路最后电源关机是使用了AC source，具有限流关机功能）



图65 输出短路

黄色：旁路输入电压，蓝色：旁路输入电流，紫色：系统输出电压，绿色：系统输出电流





华为数字能源

版权所有 © 华为数字能源技术有限公司 2022。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

华为数字能源技术有限公司
深圳市福田区香蜜湖街道华为数字能源安托山基地
邮编: 518043
digitalpower.huawei.com