带有常时商用供电方式和台数控制功能的高效 UPS “UPS7000HX-T4”

“UPS7000HX-T4” High-Efficiency UPS with Continuous Commercial Power Feeding and Quantity Control Function

安本　浩二 YASUMOTO, Koji　　**滨田　一平** HAMADA, Ippei　　**反町　直弘** SORIMACHI, Naohiro

近年来，人们期望提高数据中心不间断电源装置（UPS）系统的效率。为满足这一需求，我们在常时逆变器供电方式的三相四线式“UPS7000HX-T4”上添加了常时商用供电功能。对旁路电路的半导体闸流管进行连续引弧，从商用电源侧给负载供电，通过逆变器给电池充电。通过让整流器停止，装置最大效率达到了 99%。此外，增加了可在给常时逆变器供电时高效使用的台数控制功能。停止备用 UPS 的整流器和逆变器，从而提高了轻负载时的效率。

In recent years, there has been increasing demand for uninterruptible power systems (UPSs) with increased efficiency used in data centers. To meet the demand, Fuji Electric has added the continuous commercial power feeding function to its “UPS7000HX-T4” three-phase four-wire UPS with normal inverter feeding. Continuously turning on the thyristors of the bypass circuit, the UPS receives power from commercial power source and feeds it to loads and charge the battery through the inverter. The maximum efficiency of the equipment reached 99% when turning off the rectifier. Furthermore, the quantity control function has been provided to operate with high efficiency during normal inverter feeding. Turning off the rectifier and inverter of the standby UPS increases the efficiency during light load operation.

1　引言

近年来，要求提高数据中心不间断电源装置（UPS）系统效率的需求增多。将此前数据中心用 UPS 的开关电压从二电平变为三电平，抑制开关损耗和 LC 滤波器的损耗，从而提高了其效率[(1)]。此外，还开发出了将整流器的反向并联二极管由硅（Si）改为碳化硅（SiC）的机型[(2)]。并且，利用可从 UPS 直接给服务器供电的三相四线式“UPS7000HX-T4”[(3)]，构建了高效的电源系统。

为进一步提高效率，可采取将运行模式从常时逆变器变为常时商用供电方式的方法。但是，常时商用供电方式 UPS 的应用并不普及。迄今为止，通过常时逆变器供电方式来实现稳定的电源供应，仅通过常时商用电源供应的方式是否会导致电源质量下降？这一问题令人担忧。

如果 UPS 可同时具有常时逆变器供电方式和常时商用供电方式功能，则可兼顾稳定的电源供给和高效运营。富士电机的供电系统在高效三相四线式 UPS7000HX-T4 与常时逆变器供电功能的基础上，追加了常时商用供电功能。此外，还带有在常时逆变器供电时也可高效使用的台数控制功能。

通过这些功能，可在常时商用供电时与常时逆变器供电时这两种运行方式下，进行前所未有的高效运营。可根据商用电源的需求与给负载配电的电力品质，选择运行方法。该机型可应对三相四线式、三相三线式、服务器用、空气调节用负载，所以从规划设计到交货期间较短。此外，不仅保养简单，因 UPS 柜与输入输出柜之间通过导体连接，也简化了现场安装和配线工程。本文对带有常时商用供电方式和台数控制功能的高效 UPS“UPS7000HX-T4”进行论述。

2　装置特点

带有常时商用供电等的 UPS7000HX-T4 和输入输出柜外观如**图 1** 所示，装置规格如**表 1** 所示。另外，在采用了常时逆变器供电的双转换方式的“UPS7000HX 系列”主电路中添加了常时商用供电功能的电路如**图 2** 所示。旁路电路中半导体闸流管开关与交流接触器（MC）并联。旁路切换时，按半导体闸流管开关、MC 的顺序接通，之后半导体闸流管开关断开。因此，以额定输出功率 800% 作为 1 个周期的短时间额定规格。此次，因连续从半导体闸流管开关供电，所以采用了连续额定值。在输入输出柜中配置了半导体闸流管开关和交流输入、交流输出、电池塑壳断路器（MCCB）。

常时商用供电时，对半导体闸流管开关进行连续引弧，向负载输送商用电源。其间，停止整流器，逆变器在对电池充电的同时，进行有源动作[〈注 1〉]，以改善输入功率因数。

此前，UPS 柜与输入输出柜用外部电缆连接，但此次

图 1　UPS 柜与输入输出柜外观（左侧为 UPS 柜、右侧为输入输出柜）

〈注 1〉有源动作：通过给负载电流中的无功电流和谐波电流供应逆相电流，让半导体闸流管通过无功电流。

表 1 “UPS7000HX-T4”的规格

项目		规格
交流输入	相数	三相 4 线
	电压	400 V±10%
	频率	50/60 Hz
	功率因数	0.99 （延迟） 以上
旁通输入	相数	三相 4 线
	电压	400 V±10%
	频率	50/60 Hz
	旁路过载能力	800% 1 周期 （半导体闸流管短时间）
交流输出	额定容量	500 kVA
	相数	三相 4 线
	电压	400 V
	电压精度	<±1%
	频率	50/60 Hz
	频率精度	±0.01 Hz （自激振荡时）
	负载功率因数	额定 1.0 （延迟 0.7～1.0）
	过渡电压变动	<±5%
	电压波形失真系数	2% 以下 （线性负载）， 5% 以下 （非线性负载）
	过载能力	125%×10 分 150%×1 分
电池	额定电压	480 ～ 528 V
	浮动充电电压	540 ～ 594 V
其他	外形尺寸	W1600×D1000×H1950（mm）
	通信接口	MODBUS*

★ MODBUS： Schneider Automation, Inc. 的商标或注册商标

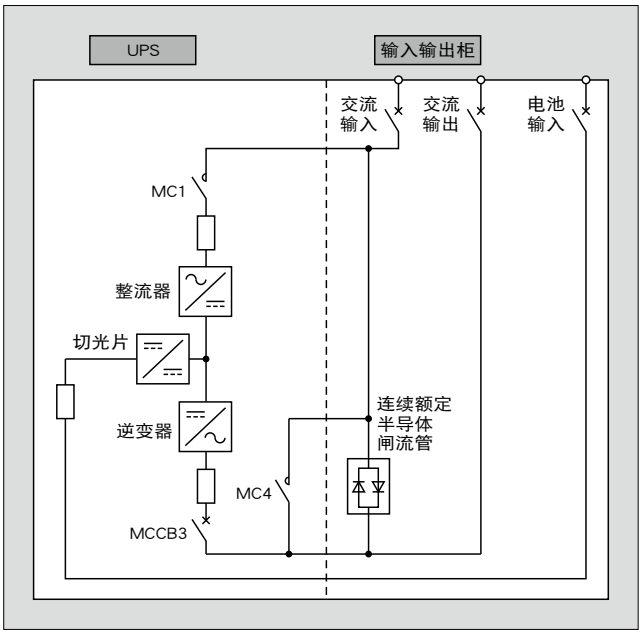

图 2 “UPS7000HX-T4”的主电路构成

采用了柜间导体连接。UPS 柜与输入输出柜实现了一体化，从而简化了现场施工。因为没有外部电缆连接，外观更整洁。

3 常时商用供电方式

在常时商用供电方式下，直接从商用电源给负载供电，逆变器在改善电池充电和输入功率因数时动作。因此，常时商用供电方式下的逆变器与常时逆变器供电相比，负载率非常低。而且，因为整流器完全停止，所以常时商用供电时的效率在额定容量下超过 99%。

3.1 切换控制

在常时商用供电中发生停电、严重故障、过电流时，可切换至能维持稳定电源质量的逆变器供电。

从常时商用供电状态进行的切换控制如**图 3** 所示。

⑴ 停电切换

停电时切换至电池运行状态，但复电时从电池运行自动切换至常时逆变器供电状态。不会自动返回至常时商用供电状态。因此，停电后的常时商用供电需手动进行切换。发生停电时，考虑到可能会继续发生，所以原则上是恢复至常时逆变器供电，以免频繁进行切换。在常时逆变器供电状态下，不会发生停电引起的手动切换操作，可提供稳定的电源。

⑵ 故障切换

UPS 发生重故障时，故障机解列，由健全的 UPS 继续进行常时商用供电。此时，若发生过载，则转为旁路供电。

⑶ 过电流切换

过电流时转为旁路供电，其后，一旦过电流解除，则转为常时逆变器供电。再次进行常时商用供电时，需手动进行

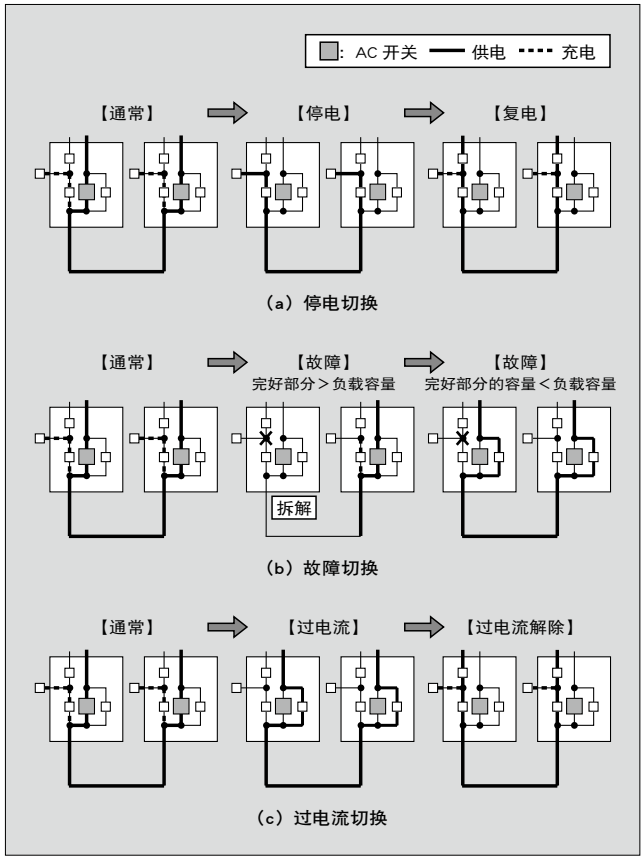

图 3 从常时商用供电状态切换控制

切换。

常时商用供电中发生停电时的切换波形如**图 4**(a)所示。逆变器进行有源动作，所以可实现无瞬断切换。通常，各 UPS 的逆变器单独进行有源动作。停电后，转为基于电池电源的逆变器并列运行。

常时商用供电中发生重故障时的切换波形如**图 4**(b)所示。逆变器发生重故障时，逆变器断开，旁路 MC4 接通后，将半导体闸流管断开。商用电源分流至半导体闸流管和 MC 后，让半导体闸流管断开，波形不会紊乱。

3.2 常时商用供电时周边设备的设计

并联系统的常时商用供电时，根据各 UPS 的阻抗分担负载。对并联系统 UPS 的输入，可通过单独变压器或共用变压器进行。

使用共用变压器时，到并联点为止，根据电缆的长度确定阻抗。将所有电缆均弄成相同长度进行施工比较困难，通常会存在 6 ～ 20 m 的长度差异，需根据电缆的长度进行负载分担。因此，为统一负载分担，UPS 的旁路电路中需要平衡电抗器。此外，使用单独变压器时，通过变压器与电缆阻抗的合成阻抗进行负载分担。

富士电机模制变压器的 % 阻抗偏差与平均值相比小 +1.5% ～ -1.0%。而且，电缆与变压器的阻抗之比小至 1 位数的程度。

在最坏的情况下，变压器与电缆阻抗按从低到高的顺序组合连接时，负载分担为 ±5%。为应对这一情况，变压器、电缆、断路器等机器的额定余量约为 5% 左右。

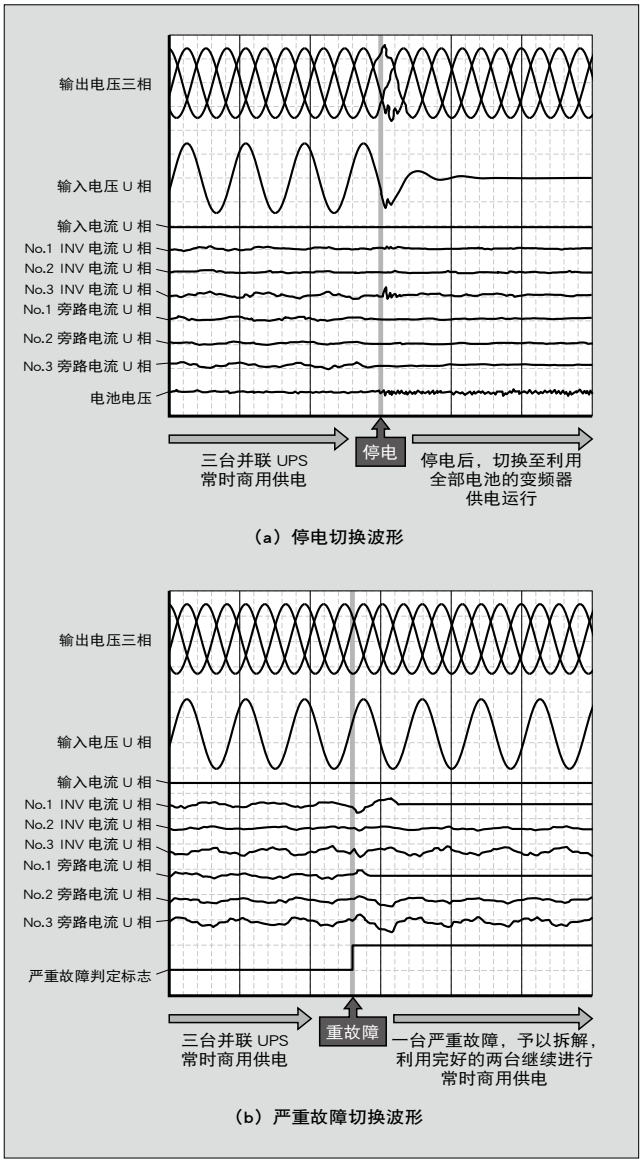

图 4　常时商用供电时的切换波形（三台并联时）

4　常时逆变器供电方式的台数控制

4.1 备用 UPS 的损耗降低与台数控制的效率特性

与正常运行时的无负载损耗相比，台数控制时备用运行 UPS 的无负载损耗如果较小，则可实现高效运行。另外，UPS 在待机运行中需继续给电池充电。在常时逆变器供电状态下，整流器需将功率因数控制在 1.0。另一方面，电池通常处于满充电状态，充电电流非常小，所以待机运行中的 UPS 功率因数无需控制在 1.0。另外，与 PWM 控制相比，使用二极管的三相全波整流的损耗非常小，所以让整流器的主电路元器件 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）的开关停止，使用与 IGBT 反向并联的反馈二极管进行三相全波整流。

使用斩波电路给电池充电。逆变器的 IGBT 处于断开状态，为准备并联运行而运行脉冲控制电路。这样，可让整流器与斩波器、逆变器主回路模块的冷却风扇全部停止。结果，备用 UPS 的损耗可降低至 200 W。如**图 5** 所示，8 台并联运行，在轻负载的情况下，可通过台数控制，提高效率。

4.2 台数控制方法

需要对运行台数进行设置，确保即使负载急剧上升，UPS 超过过载能力，也不会转为旁路供电。UPS 的过载能力为 125%10 分、150%1 分，负载急剧上升时，需要将各 UPS 的负载率控制在 150% 以下。如果系统容量为 3500 kW，8 台 ×500 kVA 并联冗余系统时，3500/（1.5×500）= 4.7，则最低所需运行台数为 5 台。

以最低所需运行台数为基准，确定台数变更前后效率变高的负载率。具体而言，负载上升时负载率为 70%，负载

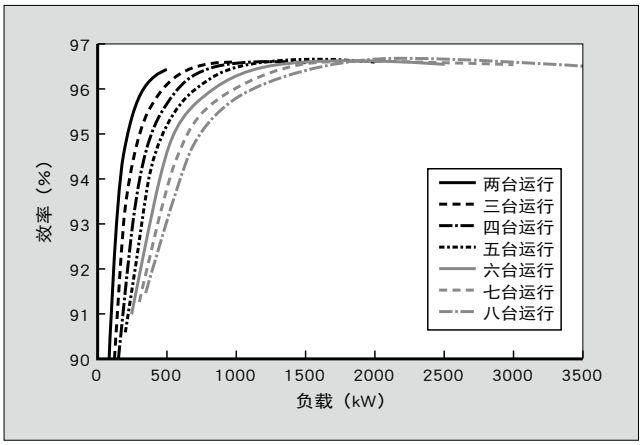

图 5　运行台数的效率特性（2 ～ 8 台）

减少时负载率为 45% 左右。

具有对各 UPS 运行时间进行均衡化的功能，运行累计时间最短的 UPS 为下次的运行对象，运行累计时间最长的 UPS 为下次的停止对象。

4. 3　台数控制中的切换控制

输入电源停电、过载、重故障时，原则上会从台数控制自动切换至全部运行。在确认全部都正常运转之后，需根据操作人员的判断手动切换至台数控制。

例如，5 台运行时发生停电，则 5 台瞬时切换至电池运行。待机运行的 3 台约在 3 秒后投入并联运行。另外，当 5 台运行时其中 1 台发生重故障，变成 4 台运行时，约 13 秒后备用的 UPS 全部投入并联运行。

5　常时逆变器与常时商用供电方式的可靠性

⑴　单机运行时 FIT（Failure In Time）的比较

常时逆变器供电方式与常时商用供电方式的 FIT〈注 2〉（假设常时逆变器供电方式为 100）与切换控制的比较如**表 2** 所示。

整流器的部件数量多，常时商用供电时，因部件数量多的整流器不动作，所以与常时逆变器供电时相比，FIT 数小，运行可靠性高。

⑵　故障时可靠性的比较

故障时，常时逆变器供电方式按照逆变器停止、半导体闸流管开关引弧、MC 接通、半导体闸流管开关灭弧这四步进行切换控制。与此相对，常时商用供电方式按照逆变器停止、半导体闸流管开关灭弧、MC 接通这三步进行切换，比常时逆变器供电方式切换次数少，切换失败风险低。

⑶　停电时的切换控制可靠性比较

停电时，常时逆变器供电方式只需让整流器停止即可，逆变器供电没有变化。另一方面，常时商用供电方式需让半导体闸流管开关停止，将逆变器从有源动作切换至普通的逆变器供电。因此，存在逆变器运行切换与半导体闸流管开关切换失败的风险。另外，需要注意的是，停电的发生频率一年有数次，在常时商用供电方式下，切换失败的风险高。

将故障与停电频率进行比较可知，利用停电频率非常高，利用停电时切换失败风险高的常时商用供电方式进行运营时，建议使用双重化等可靠性高的冗余化系统。

表 2　常时逆变器供电方式与常时商用供电方式的比较

项目	平时逆变器供电方式	全天式商用供电
单机运行的 FIT 的比较 *	○ 100% 整流器运行、逆变器运行、半导体闸流管开关停止	◎ 90% 整流器停止、逆变器运行、半导体闸流管开关运行
故障时的切换控制	○ 4 步 逆变器停止⇒半导体闸流管开关引弧⇒ MC 通电⇒半导体闸流管开关灭弧	◎ 3 步 逆变器停止⇒半导体闸流管开关灭弧⇒ MC 通电
停电时的切换控制	◎ 1 控制 整流器运行→停止 （逆变器运行继续）	○ 2 控制 半导体闸流管开关运行→停止 逆变器有源动作→逆变器供电

* 冷却风扇为冗余化设计，因此除外

〈注 2〉FIT（Failure In Time）：表示产品故障率的指标之一，运行 10 亿（10^9）小时的平均故障次数。$1/10^9$（故障件数 / 小时）为 1FIT。

6　后记

本文对带有常时商用供电方式和台数控制功能的高效 UPS“UPS7000HX-T4”进行了论述。在数据中心可实现高效电源系统的三相四线式 UPS7000HX-T4 的基础上，追加常时商用供电功能和常时逆变器供电的台数控制功能，进一步实现了高效运行。今后，富士电机仍将通过高效和节能技术贡献社会。

参考文献

⑴　山方义彦等. 面向数据中心的应用高级中性点钳位式三电平大容量高效率 UPS“7000HX 系列”. 富士时报. 2013, vol.C5, no.1, p.55-59.

⑵　佐藤篤司ほか. 运用了 SiC 混合模块，面向北美的大容量 UPS“UPS7300WX-T3U”. 富士电机技术期刊. 2017, vol.C9, no.2, p.118-120.

⑶　安本浩二ほか. 三相 4 線式無停電電源装置を活用した高効率電源システム. 富士電機技報 . 2019, vol.92, no.1, p.54-59.

安本　浩二

从事道路用电气集尘装置、液晶玻璃基板恒温装置、不间断电源装置的开发与设计。现就职于富士电机株式会社电力电子系统能源事业本部设施・电源系统事业部 D 项目部。博士（工学）。技术士（电气电子部门）。

滨田　一平

从事中大容量不间断电源装置的开发与设计。现为富士电机株式会社电力电子系统能源事业本部开发统括部电源机器开发部主任。电气学会会员。不间断电源系统标准化委员兼 IEC SC22H 专家。

反町　直弘

从事中大容量不间断电源装置的开发与设计、不间断电源装置的工程业务。现就职于富士电机株式会社电力电子系统能源事业本部设施・电源系统事业部 D 项目部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。