用于超大规模数据中心的 UPS

UPSs for Hyper Scale Data Centers

佐藤　笃司 SATO, Atsushi　　山方　义彦 YAMAGATA, Yoshihiko　　滨田　一平 HAMADA, Ippei

存储庞大数据的数据中心（DC）规模正在逐年扩大。对 DC 平稳运行至关重要的 UPS，要求大容量且高效。富士电机采用了新方式，给 DC 用 UPS 安装了可控制运行台数使系统效率接近最大化的功能，以及在商用供电稳定时能够减少功率损耗的常时商用供电方式。此外，通过组合多个电池板构成 1 台 UPS 的模块型 UPS 和采用锂离子电池的小型轻量电池板，DC 运行的效率也得以提高。

Data centers (DCs) for storing big data are increasing in size year by year. Uninterruptible power systems (UPSs) are indispensable in stabilizing the operation of DCs and are required to have a large capacity and high efficiency. Fuji Electric has added new functions to UPSs for DCs, including control of the number of operating units to pursue the maximum system efficiency and a continuous commercial power feeding to reduce power loss during stable commercial power supply. We have also developed a module UPS, one unit of which consists of several panels, and a compact, lightweight battery panel equipped with lithium-ion batteries, allowing DCs to improve operational efficiency.

1　引言

内阁府的科学技术基本计划提倡：通过交叉技术（X-Tech）这一将虚拟空间和现实空间相融合的系统，构建以人为中心的社会“Society 5.0”。该系统可兼顾经济发展和社会课题的解决。

为实现 Society 5.0，需要通信基础设施来收发来自通过 IoT（Internet of Things）与互联网相连的海量多种传感器的数据，并且需要具有高可用性（Availability）的数据中心（DC）来存储数据。

作为支持 DC 可用性的重要设备之一，不间断电源装置（UPS：Uninterruptible Power System）在万一电源发生故障也可供应稳定的电力。另外，近年来数量不断增加的超大规模（超大型）DC 的耗电量巨大。因此，对所用的 UPS 也要求能以大容量化和高效率化进行节能。本文对支持超大型 DC 的大容量电力基础设施的超大规模数据中心所用 UPS 进行论述。

2　DC 市场现状

对 DC 运营商而言，DC 运营的电费是一个很大的负担。DC 的电能使用效率（PUE：Power Usage Effectiveness）可用式⑴表示。

$$\text{PUE} = \text{DC 总设备功耗} / \text{IT 设备功耗} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

为改善该指标，削减 IT 设备之外的功耗必不可少。

另外，在 DC 运营中需重视的性能之一就是可用性（开工率），表示系统的使用状态可在何种程度上继续，可用式⑵表示。

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF}+\text{MTTR}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

A　　：稼動率

MTBF：平均故障间隔（Mean Time Between Failure）

MTTR：平均恢复时间（Mean Time To Recovery）

Uptime Institute 将 DC 的品质分为 Tier Ⅰ～Tier Ⅳ（最高等级）。为 Tier Ⅳ时，开工率 A 可高达 99.99%[1]。这意味着该系统每五年只发生一次时长为 4 小时的停工。在提高设备自身可靠性的同时，提高系统的冗余化、可维护性等可用性，对 DC 运营商而言非常重要。

服务器等 IT 设备之外的设备空间越小，能设置的 IT 设备就越多。缩小设备空间，与确保可用性设备的冗余化之间存在着权衡关系。DC 运营商对系统结构进行了研究，确保在维持可用性的同时，还能缩小设备空间。

3　UPS 的高效化

3.1　非绝缘型 UPS

在从受电到负载的供电路径的各处，为变更电压和绝缘，需设置变压器。但是，因变压器增多会增加损耗，所以近年来多采用去除了 UPS 内部变压器的非绝缘方式 UPS。采用非绝缘型 UPS，可优化供电路径中变压器的数量。

3.2　三相四线 400 V 供电方式[2]

UPS 为三相四线 400 V 供电时，相对于输出的中性相，各相的电压约为 230 V。因该电压在普通 200 V 负载设备的可工作范围内，因此无需从 400 V 降压至 200 V，可降低变压器引起的损耗量。

另一方面，负载端发生 1 线接地故障（相间短路）时，

接地故障电流未绝缘而到达 UPS 的输出端，如果该状态持续，UPS 有可能停机。为防止发生这种情况，需要设置合适的负载分支断路器，设计供电电路，以防止一处接地故障影响其他系统的供电。

3.3 采用低损耗器件

将进行 UPS 的 AC/DC 转换的 PWM（Pulse Width Modulation）整流器和进行 DC/AC 转换的逆变器作为三电平转换电路，采用富士电机独创的 RB-IGBT（Reverse Blocking-Insulated Gate Bipolar Transistor）和三电平转换专用功率模块。这样，可降低器件在开关切换时产生的开关损耗，进而降低了纹波电流，也降低了滤波器电路的损耗。另外，富士电机在 PWM 整流器的续流二极管（FWD：Free Wheeling Diode）中采用了 SiC（碳化硅）器件。SiC 器件与传统的 Si（硅）器件相比，开关损耗和导通损耗较少，因此可降低 UPS 的损耗。

3.4 台数控制

通常，UPS 的效率在轻负载领域较低，在特定的重负载领域最大。在并联连接多台 UPS 的系统中，负载电流均等地流过各 UPS。因此，负载小时，每台的负载将进一步减小，系统整体的效率显著下降。

所以，并非总是运行所有 UPS，而是根据整个系统的负载情况来变更运行台数，使运行的每一台 UPS 的负载接近最大效率，从而提高整个系统的效率。

3.5 常时商用供电方式

通常，大型 DC 所用的大容量 UPS 采用高可靠的常时变频器供电方式。该方式之所以被认为高可靠，是因为除了总是供应恒定电压、恒定频率的输出电压之外，即使在发生停电的瞬间，通过变频器的连续动作，也可无瞬断地连续供电。

DC 中 UPS 的供电对象除 IT 设备之外还有空调设备等，根据负载情况，有时容许电压波动和瞬断。富士电机的 UPS 备有利用旁路供电电路，支持功率损耗少的常时商用供电方式的机型。

常时商用供电方式是一种重视供电效率的方式。商用电源正常时，通过商用电源直接给负载供电，停电时，通过变频器将蓄电池中储存的电力转换成交流后进行供电。富士电机将该功能称为 HE 模式（High Efficiency Mode），配备在最新的机型中。**图 1** 所示为常时变频器供电方式与常时商用供电方式的比较[3]。

利用该方式，正常运行时交流电源的波动直接影响负载，发生停电时由于存在检测延迟时间，输出电压波形会产生 1/4 周期左右的瞬断。因为给负载供电不用通过转换器，所以与常时变频器供电方式相比，具有电力损耗少的优点。

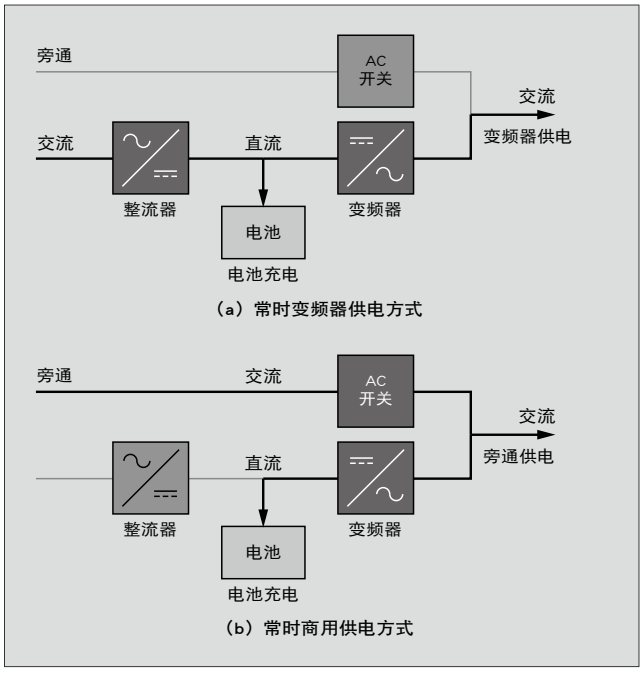

图 1　常时变频器供电方式与常时商用供电方式

4　UPS 系统结构的优化

关于对 DC 中 UPS 系统的要求，除**第3章**所述的高效率之外，还包括设备保养简单、便于故障时尽快恢复的可维护性、可阶段性进行设备投资的扩展性、可节省安装空间并控制建筑物成本的小型化、可降低运行成本的零部件使用寿命长等。

4.1 模块型 UPS

按照功能分割成几个机柜，多个机柜组合在一起构成一台 UPS，称为模块型 UPS。**图 2** 所示为富士电机模块型 UPS“UPS7400WX-T3U”。如**图 2** 所示，该 UPS 由左起的输入输出柜、控制柜、UPS 模块柜 3 ～ 4 个构成。

模块型 UPS 具有以下特点。

⑴　高可靠性

因转换器冗余化，即使部分模块发生故障，变频器供电也可继续。

⑵　高维护性

在变频器供电的情况下，可以模块为单位进行检查和故障恢复。

⑶　高扩展性

图 2　模块型 UPS“UPS7400WX-T3U”

可增加模块，提高容量。

富士电机使上述模块型 UPS“UPS7400WX 系列”实现了产品化。

4.2 锂离子电池（LIB）的使用

迄今为止的 UPS 蓄电池采用了铅蓄电池，但主要是从成本的观点出发，它存在重量重、体积大的缺点。与此相比，锂离子电池（LIB：Lithium Ion Battery）体积小、重量轻。近年来，锂离子电池在电动汽车和储能装置等方面的应用在急速扩大，但在大容量 UPS 系统中的使用并未取得多大进展。其原因在于，与 UPS 安装在动力室中相对，LIB 因使用的是与石油类具有同等引火性的电解液，所以需根据《消防法》采取一定的对策。

为解决这一课题，富士电机在大容量 UPS“UPS7000HX 系列”和“UPS6000DX 系列”中采用了三星 SDI 生产的 LIB[4]。

使用 LIB 的优点如下：

⑴ 预期使用寿命为 15 年，在 UPS 使用期间（15 年）内无需更换（铅蓄电池为 7 ～ 9 年）。

⑵ 与铅蓄电池相比，接地面积减少约一半，重量减轻约 20%。

⑶ 与铅蓄电池相比，即使温度上升，备用时间也长。

4.3 系统结构的优化

近年来，随着 DC 所用的服务器机架大容量化，UPS 的容量也实现了大容量化。另外，DC 用 UPS 系统一般采用并联冗余方式，所需的外围设备也呈大容量化。结果，即使包括周边机柜在内的整个 UPS 系统实现大容量化，用户仍强烈要求控制成本增加。

为此，富士电机采取了以下措施：

⑴ 单台 UPS 容量的大容量化

通过增大单台 UPS 容量，可期待以下效果。

(a) 可减少电池柜、周边机柜等设备件数，降低成本。

(b) 通过减少设备件数，可降低故障率，提高可用性。

⑵ UPS 的供电系统

为提高 UPS 系统的可靠性，采用了并联冗余系统。此时，因各 UPS 的输出电流集中在输出母线上，所以需要能够承受较大输出电流的母线和开关。开关等的容量是有限度的，所以 UPS 的大型化也有一定限度。

另一方面，在 Uptime Institute 规定的 Tier Ⅳ等级的国外 DC 中，多采用使用 STS（Static Transfer Switch）进行切换的 2N 系统。**图 3** 所示为并列冗余系统与 2N 系统的结构示例。

该系统也和并联冗余系统一样，可以实现高可用性。并且，如果可将 UPS 分配给 DC 的各负载设备，即可削减输出母线容量。因此，除富士电机交付的设备优化之外，与 DC 运营商密切协作，构筑以整个 DC 为目标的 UPS 系统，是今后更加重要的课题。

另外，富士电机在 2N 系统中提供了一种控制功能，可让两个 UPS 的输出同步。

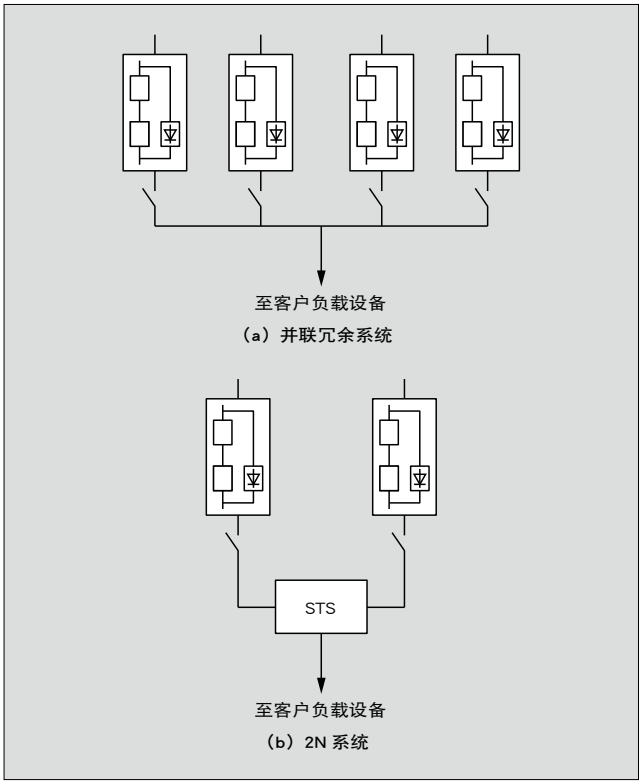

图 3 并联冗余系统与 2N 系统结构示例

5 后记

以上内容，对超大规模数据中心用 UPS 进行了论述。

作为提高整个系统可用性的技术，数据中心的电力高效运用是支持数据中心运营的必要事项。UPS 是数据中心不可或缺的装置，不仅仅是装置单元的优化，从整个电力基础设施的可用性和总体拥有成本的观点出发，有必要提出考虑了包括周边设备整体在内的运用的产品开发和解决方案。

Society 5.0 让人们享受交叉技术带来的新价值，我们将进一步钻研技术，完善在其中起到重要作用的数据中心。

参考文献

⑴ “Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance”. http://www.mm4m.net/library/(TUI3026E)TierClassificationsDefineSiteInfrastructure.pdf, (accessed 2019-08-26).

⑵ 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.

⑶ 佐藤笃司等. 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.

⑷ 安本浩二ほか．リチウムイオン電池採用の「UPS7000HX シリーズ」「UPS6000DX シリーズ」．富士電機技報．2018, vol.91, no.4, p.246-251.

佐藤　笃司

从事中大容量 UPS 的企划业务。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・电源系统事业部设施电源技术部。

滨田　一平

从事大中容量 UPS 的开发和设计。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。

山方　义彦

从事 UPS 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助理。技术士（电气电子部门）。电气学会会员。

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。