

数据中心UPS交流电源接入方案的探讨

数据中心不间断电源系统（UPS）交流电源接入的习惯做法是正常电源和旁路电源是二路电源经电源，切换装置供给UPS。笔者接触到的国外设计UPS的交流电源接入有正常电源和旁路电源从不同电源段接取的做法。通过对数据中心的UPS交流电源接入方案的探讨有以下结论：国外设计的UPS的交流电源的正常电源、旁路电源由不同电源段接入方案是可行的；UPS输入交流电源是采用放射式配电，前端设置自动转换开关（ATSE）应对线路故障，增加ATSE会降低其供电系统的可靠性；对于A级、B级数据中心一般设置高压备用电源自动投入装置，低压设置母联自投装置，其保护及投入条件按照现行国家标准规范的规定设计，而PC级ATSE仅是转换电器，其故障率较高；低压母联装置已有电源转换功能，ATSE的功能与其重复，UPS前端设置ATSE的必要性不大。笔者对UPS交流电源接入及取消ATSE做法提出的见解和看法，供同行们参考。

李道本/中国纺织工业设计院

0 引言



李道本/高级工程师

关键词/Keywords

数据中心 ·
UPS ·
正常电源 ·
旁路电源 ·
高压备用电源自动投入装置 ·
低压设置母联自投装置 ·
TSE ·

国家标准GB 50174—2017《数据中心设计规范》规定了设计时应根据数据中心的使用性质、数据丢失或网络中断在经济或社会上造成的损失或影响程度将其划分为A、B和C三级。为满足A级数据中心的容错要求，电子信息设备的供电可采用不间断电源和市电电源系统相结合的供电方式；B级数据中心电子信息系统在冗余能力范围内，不得因设备故障导致电子信息系统中断；C级数据中心在正常运行情况下，应保证电子信息系统运行不中断。

GB 50174—2017规定了采用冷冻水空调系统的A级数据中心控制系统、末端冷冻水泵和空调系统末端风机应由不间断电源系统（UPS）供电。

GB 50174—2017附录A规定了A、B和C级数据中心不同电源之间进行切换时，允许断电持续时间为0~10 ms。

GB 50174—2017附录A规定了A、B级数据中心的不间断电源系统应设置自动转换旁路和手动维修旁路。

GB 50174—2017附录A规定了UPS电池最少备用时间：A级数据中心柴油发电机作为后备电源时，最少备用时间15 min；B级数据中心柴油发电机作为后备电源时，最少备用时间7 min；C级数据中心根据实际需要确定。

鉴于规范的上述相关规定，数据中心广泛采用UPS系统供电，A、B级数据中心的UPS设置了旁路系统采用静态开关的自动转换和机械开关的手动转换装置。

1 数据中心供电系统做法的示例

1.1 摘录国家建筑标准设计图集09X700的供电系统图

图1~图3为A、B和C级供电系统的单线图。因不同变压器引出的两路TN-S系统电源，N导体不允许连接，所以图3中示例一的两路电源经TSE向UPS供电；示例二的旁路电源接入是通过隔离变压器转换成TN-C系统，使UPS输出PEN导体可重复接地构成UPS配出系统的接地型式。图4中的UPS外部电源为TN-C系统，在列头柜中设变压器解决UPS配出系统的接地型式及零地电压不达标的问题。从图1~图4可以看出UPS接入正常电源和旁路电源经电源切换装置后是同

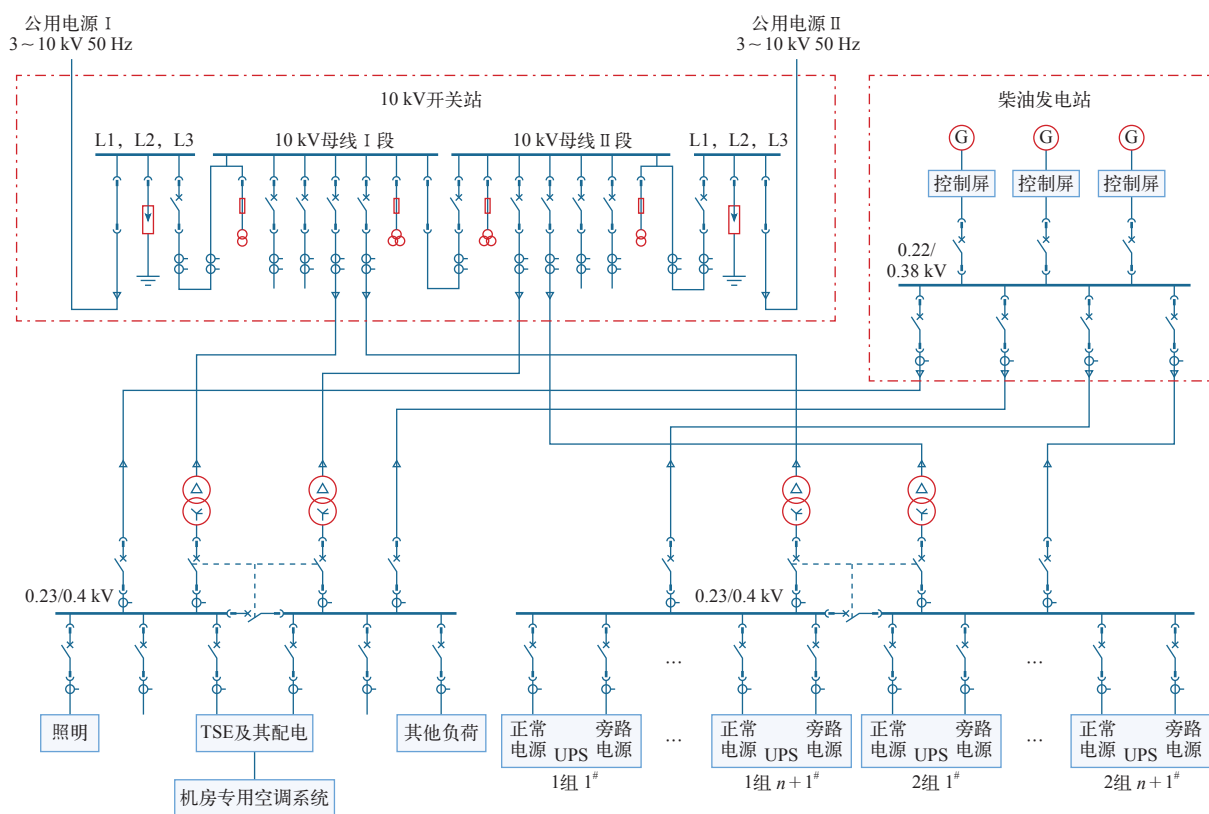


图1 A级机房供电示例

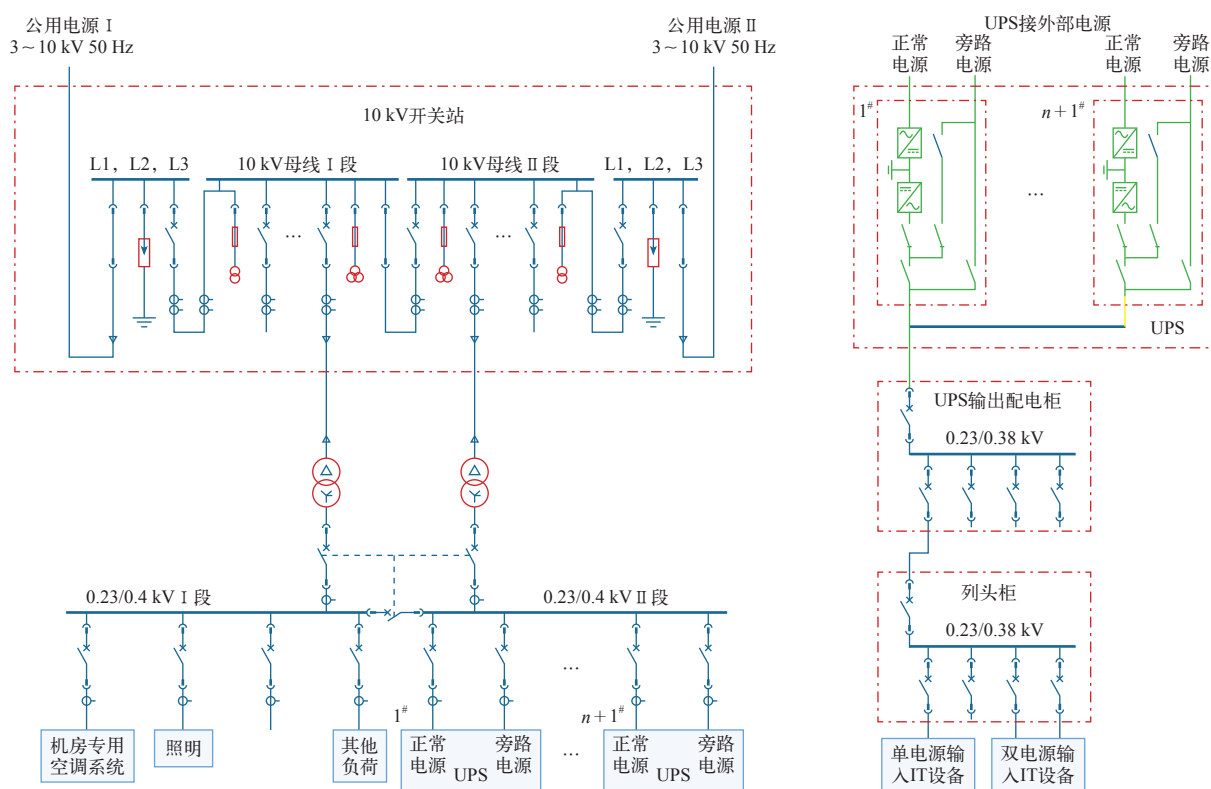


图2 B级机房供电示例

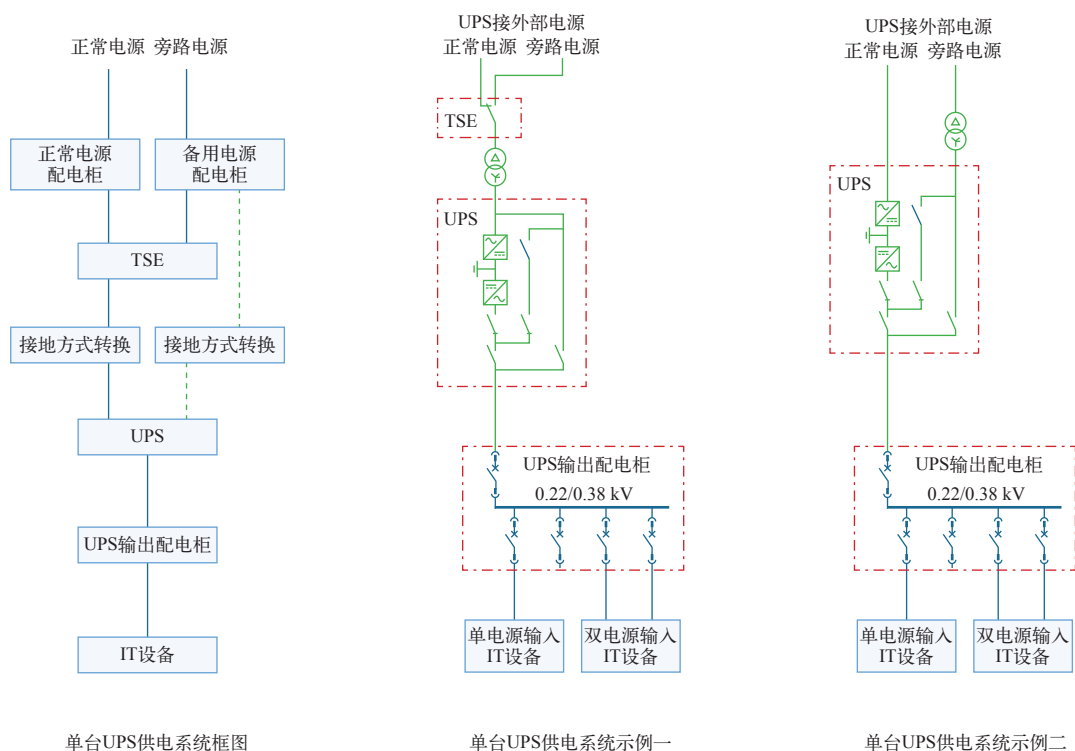


图3 C级机房供电示例

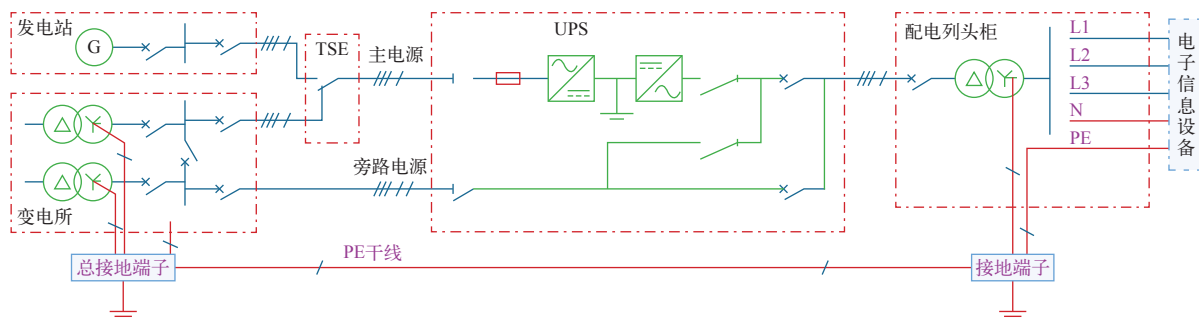


图4 UPS输出接地型式为TN系统的做法

一电源。

1.2 摘录杂志上的数据中心供电系统图

图5、图6分别为10 kV市电与高、低压柴油发电机组组成的供电系统。

图7为采用UPS和市电及柴油发电机电源相结合的电源系统。示出了两路低压市电、低压柴油发电机系统及UPS组成的供电系统,为防止UPS采用静态开关(STS)的电源切换可能出现的不同步造成的故障,设置了LBS负载母线同步控制器。

从图5~图7可以看出当前一些数据中心UPS外

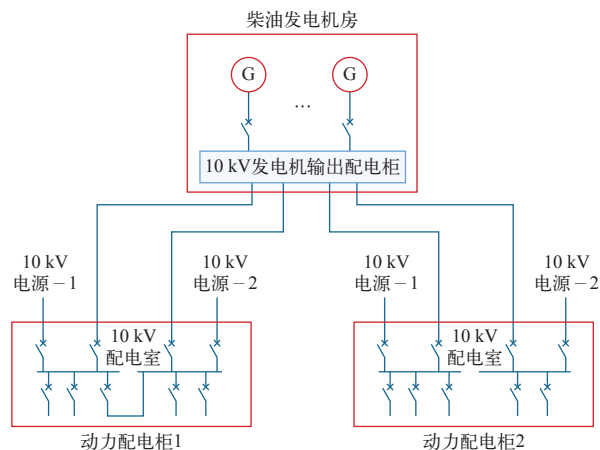


图5 10 kV两路市电和高压柴油发电机组的供电系统

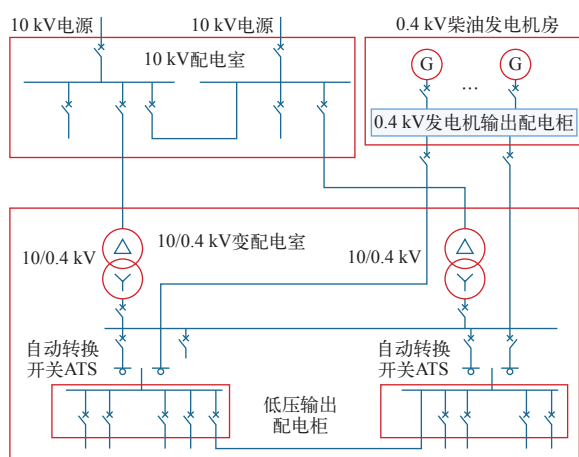


图6 10 kV两路市电和低压柴油发电机组组成的供电系统

部电源接入的供电做法。即UPS接入的正常电源和旁路电源经电源切换装置后是同一电源。

国内化纤厂设计多台变频器设一台公用备用变频器，其投入运行的程序是：发现变频器不正常，通过同步控制器使备用变频器并入运行，然后将有问题的变频器解列退出，实现生产线不停运。引进的锦纶66项目中备用变频器切换时，用过手动控制的同步控制器。在涤纶项目和黏胶

项目中，采用了国内可编程逻辑控制器（PLC）控制的同步控制器。备用变频器可以等到相位合适时操作并入，但图7中的LBS负载母线同步控制器，其原理是发现不正常时，激活LBS跟踪市电的相位，做到对UPS逆变器输出相位的同步控制。

图6、图7中市电和柴油发电机经ATSE向配电装置供电，ATSE的定义是“由一个（或几个）转换开关电器和其他必需的电器组成，用于监测电源电路，并将一个或几个负载电路从一个电源自动转换至另一个电源的电器。”ATSE分为PC级、CB级及CC级三个级别。图6、图7中示出的是PC级ATSE，其广泛应用于重要负载的电源自动转换，2008年北京奥运会电力保障规定PC级ATSE其电流等级不能大于630 A。

对于A级、B级数据中心供电系统的容错、冗余配置要求，其高压配、变电站均设置了高、低压电源自动投入装置，根据开关承受的接通和分断电流的不同往往由不同间隔组成。高、低压电源自动投入装置一般由进线间隔、母联间隔组成。图6、图7中PC级ATSE功能与变、配电站电源

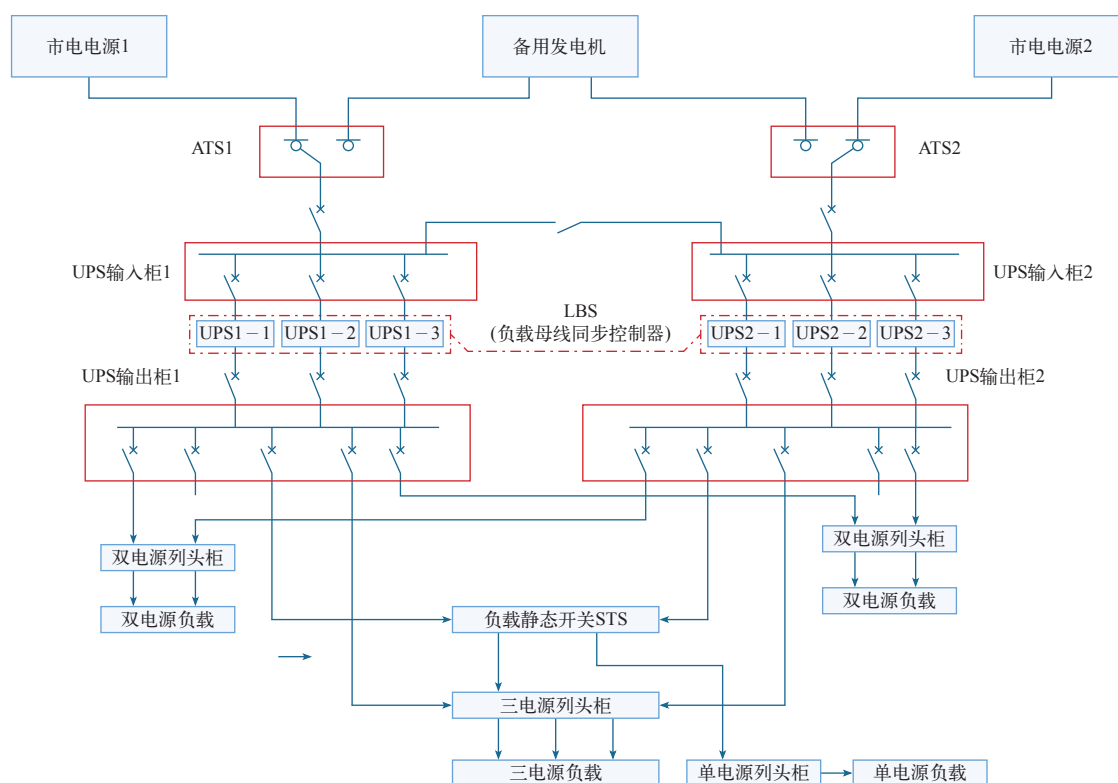


图7 两路低压市电、低压柴油发电机电系统及UPS组成的供电

自动投入装置重复，且在供电系统中串入ATSE，其故障率使负载的系统供电可靠性变差。

在线式UPS的交流—直流—交流的工作方式，可以看到交流电源经UPS双变换，具有稳频、稳压功能，保证数据中心电子信息设备供电的电能质量；采用STS静态开关使其正常电源和旁路电源自动转换做到电源不间断。

因变频器也是采用交流—直流—交流工作方式，但变频器输出的频率可以采用输入电源、频率源和固定频率源等方式来控制，而UPS的逆变器输出的交流电频率一般是由旁路电源的频率来同步控制。化纤工厂干法纺丝为了保证纺丝的供电连续性采用了一些措施，其中有采用UPS的供电方案及直流部分接入蓄电池，电容等元件类似UPS的做法。UPS交流电源接入与目前数据中心的做法不同，了解化纤工厂纺丝变频器供电的一些做法是有益的。

2 化纤工厂变频器应用做法介绍

笔者曾参与过一些合成纤维工厂的设计，纺丝生产中已广泛采用交流电动机变频调速技术。

化纤工厂的纺丝生产是一个连续过程，纺丝的冷却方式分为干法（例如锦纶、涤纶和干法腈纶）和湿法（例如粘胶纤维、湿法腈纶）。采用干法时，液相熔体在纺丝过程中经风冷冷却使其为固相的丝；采用湿法时，液相熔体在纺丝过程中经冷却液使其为固相的丝。

湿法腈纶纺丝生产纺丝机变频调速系统因有多个牵伸环节的张力存在，使该速度链上的部分电动机工作在电动状态，有的电动机工作在发电状态。为了彻底解决能量回馈问题，变频传动采用公共直流母线系统。采用该方式时，由不可控整流器，通过直流母线向各逆变器供直流电，经逆变器输出交流电给纺丝的同步电动机。纺丝机一组DP柜设置两套整流器，按两路交流电源分别供电，容量满足互为备用设置。两套整流器采用整流二极管的嵌位电路，当两套整流器的交流电压一致时，两套整流器同时工作，每套整流器承担一半负荷；当一套整流器的交流电压高于另一

套，因整流二极管的嵌位电路单向导电功能，电源交流电压高的整流器工作，另一套整流器不工作。当一路交流电源失电或整流器故障，则另一整流器自动承担全部负荷。整流二极管的嵌位电路是通过隔离开关接至直流母线，不会影响整流器检修，该嵌位电路使两套整流器互为热备用。该做法利用了直流方便并列运行的性能（晶闸管的嵌位电路需触发回路，由于晶闸管的泄漏电流，使其关断困难，较采用整流二极管的嵌位电路控制复杂、可靠性差，在工程中没有应用）。

公共直流母线系统还有并入蓄电池组的做法，类似UPS。直流环节加入直流调压环节，可以组成直流UPS。采用不同输出的不可控整流器较直流调压环节简单、可靠。

干法纺丝生产因瞬间停电导致纺丝设备停机、熔体的中断和断丝会造成严重的经济损失。为保障人身安全和设备安全，当断电时间超过设定值时，变频器会自动解列，使其不能够自启动运行。设备采取的延时措施，一般满足雷电瞬间不停机的需要，有的厂家晶体管变频器允许最小故障停电时间20 ms，远远小于公网供电所能保证的最小故障停电时间，为此化纤工程设计特别重视纺丝系统供电及电源切换时间的配合。针对该问题供电设计采用的措施主要介绍如下几种。

涤纶短丝项目纺丝机的计量泵同步电动机设置飞轮装置，在电源瞬间断电期间，可利用飞轮的惯性使其计量泵变频器运行不中断，其原理与飞轮UPS相同。

锦纶66长丝项目的纺丝机的变频器其整流器部分为不可控，在变频器的直流环节并入蓄电池组，蓄电池组的容量（安时值）满足生产连续运行的需要。正常运行时，蓄电池组处于浮充电状态，在瞬间断电期间蓄电池组向变频器的逆变器供直流电确保负荷的供电，其原理除自动转换和手动维修旁路外与UPS相同。

涤纶长丝高速纺项目在变频器的直流环节并入储能电容，在正常电源失电及电源转换期间确保变频器的输出满足生产需要，其功能同蓄电池。

引进的干法晴纶工厂，国外设计图样有两路电源供电采用二台500 kV·A的UPS的做法，正常电源和旁路电源取自不同的电源段。

国外变化的UPS的供电系统分解为图8、图9和图10所示。其中UPS的正常电源和旁路电源由不同电源段接入。

图10QI0101中的隔离变压器是为了将旁路电源的TN-S系统转换成TN-C系统。

图8、图9中的ATS是国内的高压备自投（BZT）与低压母联自投。图10中的SS是国内的STS静态开关。

可以看出该方案中UPS的正常电源和旁路电源接入不同电源段，其做法对于单台UPS不会有

问题，但对于数据中心高压电源引自不同区域电站，且两台UPS均由不同电源段供电，其输出采用STS电源转换装置，是否存在问题，予以探讨。

3 数据中心UPS交流电源接入做法探讨

电源并列操作宜优先考虑频率、相位和电压的同步。对于数据中心，UPS引自公用电网的接入电源，其电源的电压、频率不会存在问题，但电源的相位因变压器绕组的接法等不同会导致相位的差异。

中国纺织工业设计院承担引进的国家重点工程项目的石油化工装置中，每个二次站由热电站（自备热电厂）不同6 kV母线引来两路主进线，

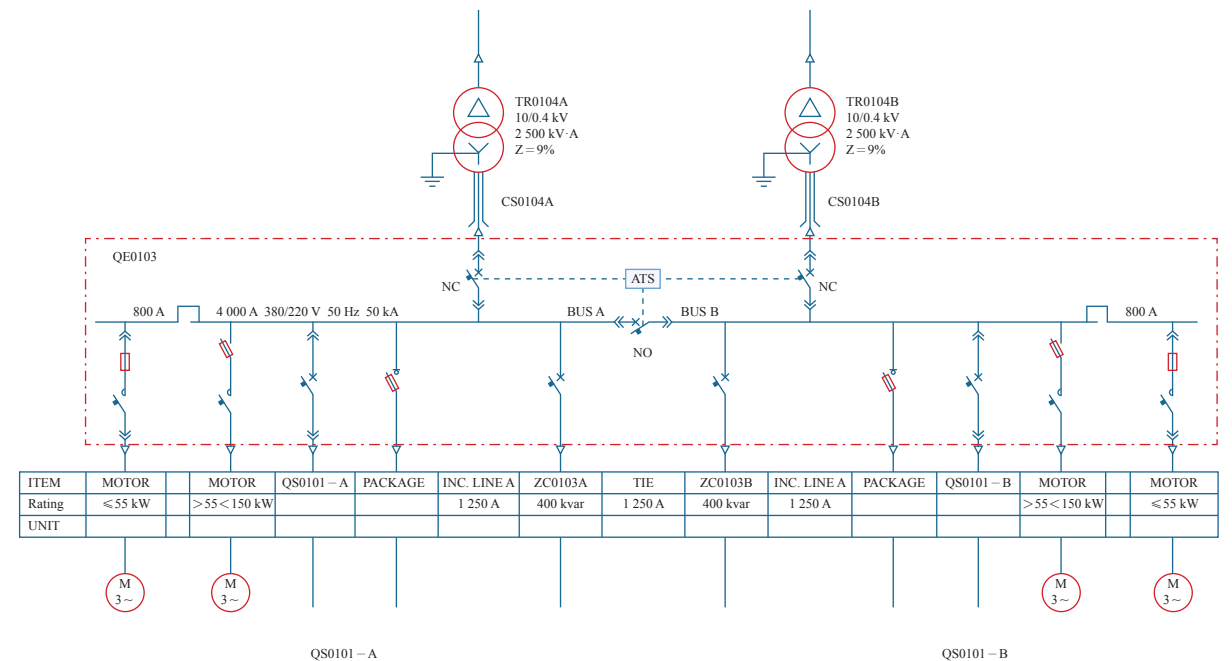


图8 10 kV变电站（QE0103）系统图

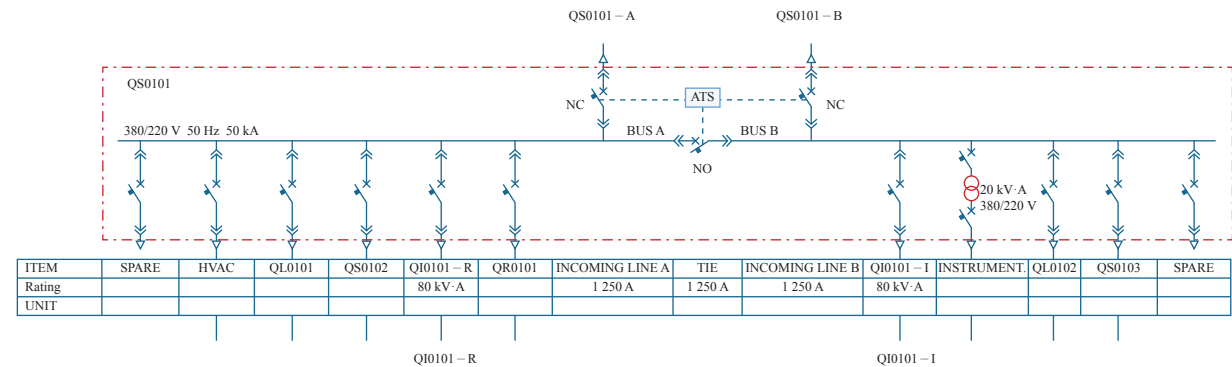


图9 380/220 V配电站（QS0101）系统图

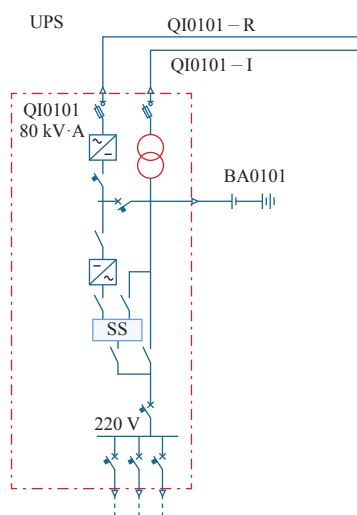


图10 UPS (QI0101) 系统图

采用单母线分段运行，母联可自投。如某一进线电压恢复，手动操作，使两路进线暂时并列运行（此时不考虑会同时发生短路情况），然后手动将母联打开，恢复正常运行，运行很正常。

公网供电区域变电站的主变压器绕组接线已标准化，用户从不同区域变电站或同一区域变电站引来的两路电源在投运前均测过电源的相序，出现相位的差异在暂时并列运行时，其环路电流不会达到短路保护动作值。20世纪80年代中国纺织工业设计院将引进装置原理转化为10 kV电源自动转换装置的院标准图，进线电压恢复，手动远控操作进线开关合闸，通过电气联锁，自动将母联打开恢复到正常运行状态，称之为“不停电倒闸”。“不停电倒闸”从合闸波形分析对电网有一定冲击，因分合闸时间快，过渡过程过去也快，将其应用于配变电工程项目中。20世纪90年代中国纺织工业设计院又按其原理设计了低压母联的标准图，并编制成为国家建筑标准图集，在国家重点化纤工程及其他工程项目中广泛应用。

当年在引进的国家重点工程上采用电源转换

装置及手动操作复归倒闸，目前采用自动电源转换装置及不停电倒闸，显然较引进项目时手动复归的并列运行时间要小，数年来尚没有不停电倒闸失败的反馈信息。数据中心UPS采用静态开关（STS）的不停电电源转换装置，电源可在1/4周波完成电源的转换，且没有机械开关的灭弧问题，同样不会造成保护电器动作。

电子信息设备是采用直流电源工作，UPS输出相位差异不会影响电子信息设备的工作；冷冻水空调系统的A级数据中心控制系统、末端冷冻水泵、空调系统末端风机应由UPS供电，也不会造成运行中断。

综上分析数据中心UPS接入正常电源、旁路电源可以是不同电源段。

4 结束语

通过数据中心的UPS交流电源接入方案的探讨有以下结论。

- 1) 国外设计的UPS的交流电源的正常电源和旁路电源由不同电源段接入方案是可行的。
- 2) UPS输入交流电源是采用放射式配电，前端设置ATSE来应对线路故障，增加ATSE会降低其供电系统的可靠性。
- 3) 对于A、B级数据中心一般设置高压备用电源自动投入装置，低压设置母联自投装置，其保护及投入条件按照现行国家标准规范的规定设计，而PC级ATSE仅是转换电器，其故障率较高。
- 4) 低压母联装置已有电源转换功能，ATSE的功能与其重复，UPS前端设置ATSE的必要性不大。

笔者对UPS交流电源接入及取消ATSE做法提出的见解和看法，供同行们参考。

（收稿日期：2018-04-15） EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告