

[变压器]

工业UPS系统中的隔离变压器

文/艾默生网络能源有限公司 杨磊

列举了工业UPS系统接地方式、隔离变压器主要电气作用、能源行业客户工业UPS系统典型应用及隔离变压器应用中的常见问题，为客户选择工业UPS产品及各变压器的使用提供必要的参考信息，对其他应用于工业环境的电子设备的隔离变压器设计也有借鉴意义。

工业UPS系统作为企业生产关键设备的供电保护者，隔离变压器的加与不加、在哪里接地，对于系统安全运行有很大影响。通过系统接地方式、变压器的主要作用介绍，结合能源行业现场应用的一些案例，以及笔者在现场应用中碰到的一些问题，从工业UPS系统的角度，对隔离变压器的选配、设计提出建议，为UPS系统安全、稳定运行提供一些思路。

UPS系统的接地运行方式

在能源行业UPS系统中，隔离变压器的需求主要作用之一就是负载的关键设备提供一个独立的接地运行方式。

当发生某种异常情况时，如果没有接地线，就会因为漏电流及过电压损坏设备或危害人身安全。为防止此类问题发生，保证安全，就需要系统采用某种接地方式。国际电工委员会（IEC）对系统接地作了统一规定，称为TT系统、TN系统、IT系统。其中TN系统又分为TN-C、TN-S及TN-C-S系统。

UPS系统采用何种接地运行方式输出，取决于负载对配电系统的要求，目前绝大部分能源行业用户的UPS输出主要采用TN-S方式接地，也有一些场所使用IT系统。

工业环境用UPS系统配置的隔离变压器

隔离变压器是主要的电力元件，在UPS系统中

的主要作用如下：

- 1) 电气隔离，使一次侧、二次侧的两个电气系统完全独立。
- 2) D/Y绕接方式的变压器消除回路中三次谐波含量。
- 3) 隔离电压中的直流分量。
- 4) 增加回路阻抗，降低短路电流。

1. 电气隔离作用

对于上游电源来说，UPS是一个用电设备，而对于UPS负载来说，UPS是一个电源。在大部分能源企业中，UPS系统的输入电源均是来自于不同变压器的两个独立的电源（一般是两个不共N的电源系统），而UPS系统的输出是一个独立的TN-S接地系统。此时，UPS内置的输出隔离变压器和旁路变压器的作用，就是典型的电气隔离作用。

2. 消除三次谐波含量

在交流电网中，由于大量非线性电气设备的投入，其电压电流波形已不是完全的正弦波波形，而发生了畸变。根据傅里叶级数分析，非正弦波的周期量可分解成基波分量和具有基波频率整数倍的谐波分量。在上述各次谐波中，三次谐波所占成分较大且对电气线路的危害最为明显。产生三次谐波的设备主要有：节能灯、荧光灯、计算机、变频空调、微波炉、镇流器和焊接设备等。如节能荧光灯，灯管本身含有电弧，其负阻特性产生谐波电流，其中主要是三次谐波电流，含有率为12%~13%。

三次谐波对低压电网的危害主要有：设备功

率损耗增加,寿命缩短,接地保护功能失常,遥控功能失常,导线过热等。对配电站,谐波还会造成电子器件误动作,电容器损坏,附加磁场、中性线过热和电缆着火等隐患。

三次谐波电流多以零序电流方式体现在系统中,因此很多系统要求加粗N线线径来增加三次谐波的载流能力。而隔离变压器采用三角形/星形(D/Y)绕接方式,就能显著消除三次谐波,达到改善电源质量的作用。如图1所示。

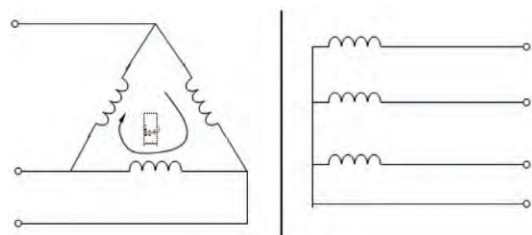


图1 隔离变压器采用三角形/星形(D/Y)绕接方式消除三次谐波示意图

3. 隔离直流分量

当电网电压含有较大的直流分量时,隔离变压器能够有效抑制直流分量引起的突变。

对于母线上具有可能产生较大直流分量设备(例如励磁线圈、伺服电动机等)的情况,隔离变压器能有效抑制直流分量,避免电压峰值突然变高带来的系统风险。典型的励磁涌流波形如图2所示。



图2 典型的励磁涌流波形

4. 增加回路阻抗,降低短路电流

对于短路阻抗较小的系统,当发生短路时产生的短路电流较大,可能会发生下游开关无法分断,而越级跳闸,引起停电范围扩大的事故。在此种情况下,增加隔离变压器设计,可以达到增加回路阻抗,降低短路电流的目的。短路电流计算示意如图3所示。



图3 短路电流计算示意

$$I_f: S_e = 100 \text{ kVA}; U_e = 380 \text{ V}; I_e = 150 \text{ A}; \\ Z = 5\%; I_{sc} = I_e Z = 3000 \text{ A}$$

能源行业UPS系统的典型应用

能源行业UPS系统典型应用包括单机、并机和2N等3种,每种典型案例都有隔离变压器应用。

1. 单机供电方案4种工作状态

单机系统是能源行业应用最多的方案,单机UPS系统在设计阶段已经考虑了UPS主机本体可以进行系统不停电维护的切换逻辑。单机运行供电方案的各点交流负载独立地由一台UPS提供动力保护,不停电维护是通过切换到手动维修旁路退出运行当中的UPS主机,进行不停电维护的。手动维修旁路的切换,可以进行无中断的“先通后断”切换过程,不会引起负载中断供电的问题。实现主机、旁路之间的无间断切换过程。如图4(UPS单机供电方案4种工作状态)所示,UPS单机供电方案四种工作状态所对应的开关操作顺序如下。

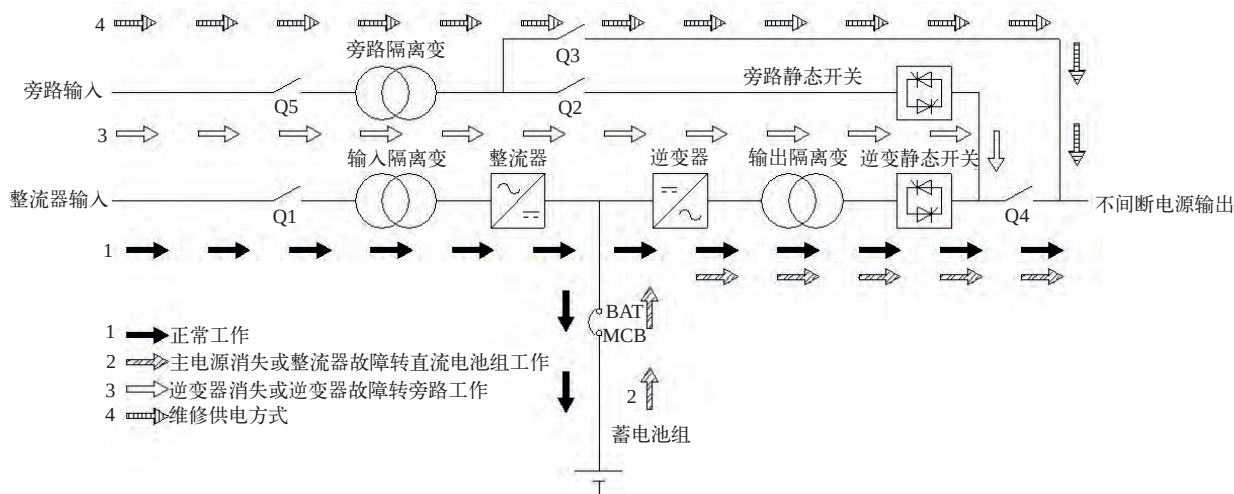


图4 UPS单机供电方案4种工作状态

(1) 正常工作

Q1、Q2、Q4、Q5、BAT MCB在接通位置，Q3闭锁在断开位置。UPS通过整流器、逆变器、逆变静态开关向负载供电，同时向电池进行充电管理。

(2) 主电源消失或者整流器故障转直流电池组工作

Q1、Q2、Q4、Q5、BAT MCB在接通位置，Q3闭锁在断开位置，所有开关位置不发生变化。UPS直流母线电压低于电池电压时，将自动把负载切换到电池系统上。UPS电池系统经逆变器、逆变静态开关向负载供电。

此时若主电源恢复或者整流器故障消失，UPS逻辑判断无误时，UPS可自动恢复至正常工作状态。

(3) 逆变器电源消失或逆变器故障转旁路工作

Q1、Q2、Q4、Q5、BAT MCB在接通位置，Q3闭锁在断开位置，所有开关位置不发生变化。UPS通过逻辑检测，根据直流母线情况和逆变器的情况，会自动将负载通过逆变静态开关无扰动的切换到旁路系统上。UPS旁路系统经旁路静态开关向负载供电。

此时若逆变器电源恢复或逆变器故障消失，UPS逻辑判断无误时，UPS可自动恢复至正常工作状态。

(4) 维修供电方式

维修供电方式需要人工操作才能完成，首先在逆变器与旁路的同步情况下，人工操作将UPS负载切换到静态切换开关旁路，此时的工作状态由1或2切换到了3；在此情况下，先合上Q3开关，再断开Q2开关，再断开Q4开关，通过先通后断的切换，就实现了UPS退出运行时对负载的连续供电。所有负载的供电，由旁路系统实现。

当然，此时的供电可靠性，由旁路电源决定。因此，不建议在生产装置运行时对单机运行的UPS进行检修和维护。

2. 典型单机系统

典型UPS单机系统，一般由UPS主机本体、旁路隔离变压器柜、电池柜（含电池）、配电柜四部分构成。在图5（典型UPS单机供电系统单线图）中明显的有UPS本体内置的输出隔离变压器和旁路隔离变压器2个隔离变压器，这2个变压器作为系统的重要组成部分，能够有效地将来自于2个电源地独立上游电源和下游电网完全隔离。

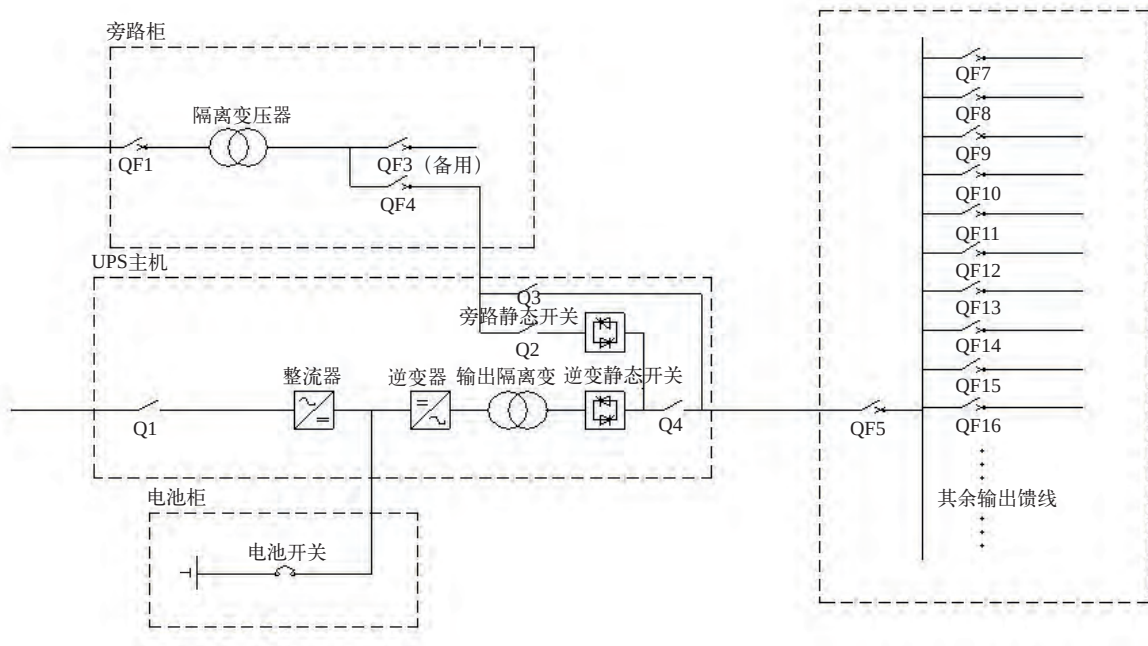


图5 典型UPS单机供电系统单线图

3. 典型并机系统

典型UPS并机系统，一般由2台UPS主机本体、1个公用旁路隔离变压器柜、2套电池柜（含

电池）和1个配电柜构成。在图6（典型UPS并机供电系统单线图）中明显的有UPS本体内置的输出隔离变压器和旁路隔离变压器3个隔离变压器，这3

个变压器能够有效地将来自于3个独立地上游电源和下游电网完全隔离。UPS并机系统正常运行时，1+1并机运行供电方案的全部交流负载由2台UPS

平均分担，任何一台UPS均可以带100%负载长期工作。因此，1+1并机运行供电方案可以完全退出1台UPS主机进行维护，应用于很多重要场所。

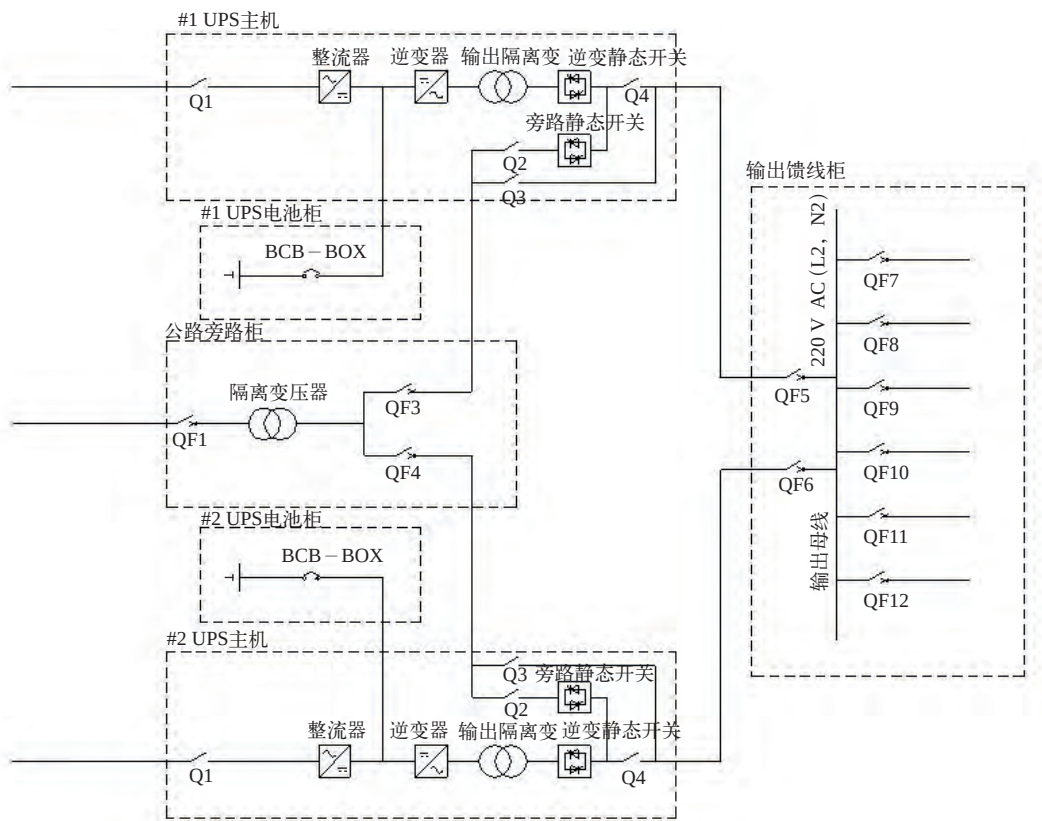


图6 典型UPS并机供电系统单线图

4. 典型2N系统

2N系统应用是近年开始应用的一种交流不间断电源UPS解决方案，结合负载为如图7所示双电

源的特点，UPS系统为负载提供完全独立的两路UPS电源。此种供电解决方案，解决了UPS输出端与最终负载端之间发生“单点瓶颈”故障隐患。

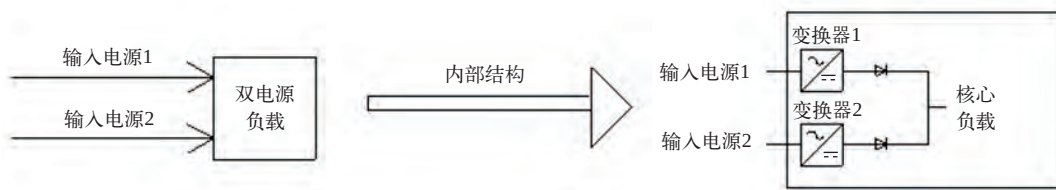


图7 典型双电源负载

如图8所示，2台UPS双路输出构成双路供电方案，是目前最典型的2N应用方案，其每套UPS单机系统都是一套完整的单机运行方式，带来的维护、管理也是独立的。

正常情况下，2台UPS独立输出为双电源负载提供两路电源；即使有1台UPS处于旁路检修

状态下，依然能保证1路UPS输出和另1路UPS旁路输出为双电源负载提供两路电源；当其中1台UPS输出母线故障或其他原因需要完全停机维护（含UPS旁路），对于图7所示双电源负载，继续由另一台UPS输出母线供电，避免了单机UPS输出母线为单点故障隐患的问题；对于单电源负

载，在UPS切换到旁路后，可通过人工切换下游开关至另1台UPS输出母线为负载继续供电，直至退出运行的UPS恢复正常；或者在每个单电源

负载群前端高速静态切换开关STS，由静态开关STS进行电源自动切换，保证电电源负载的双路供电保护。

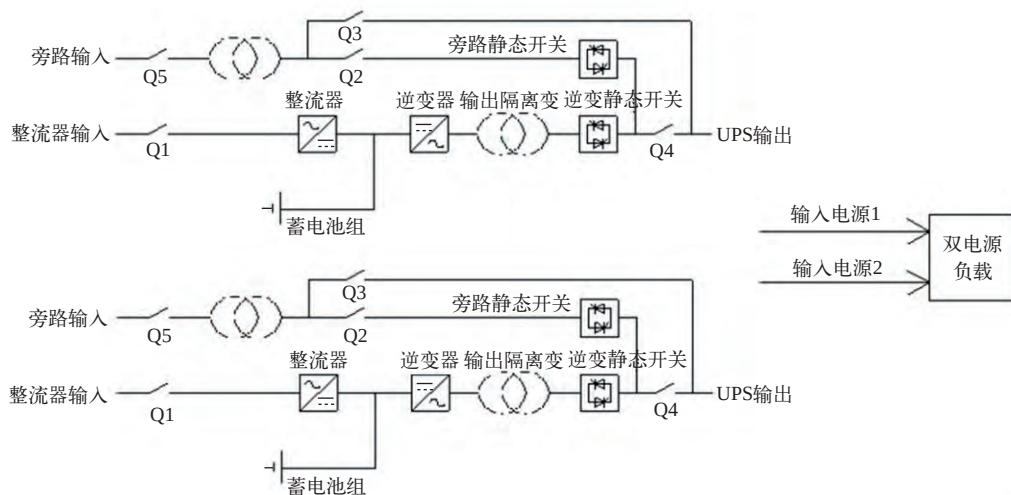


图8 两台独立UPS双路输出构成双路供电方案

UPS典型供电方案的设计，核心是提供给关键负载一个可靠的、不间断的、不受上游电源系统切换影响的UPS供电系统。除了上述的典型案列，还会有各种不同运行案列存在，每种方案都有正常工作模式和切换工作措施，其系统方案设计的核心目标都是保证负载最大限度的安全供电。

隔离变压器应用中的常见问题

作为最常用的电力元件，隔离变压器使用在工业UPS系统中也有一些常见问题，主要是在系统中输入是否必须要加隔离变压器，旁路是否必须要加隔离变压器，内置输出隔离变压器等问题。

1. UPS系统输入隔离变压器

UPS系统的输入隔离变压器主要作用有两个，一是隔离上游电网和UPS整流器，降低整个回路短路电流，降低UPS输入侧空开分断电流；二是隔离附加在直流母线上的接地检测系统，以防止该系统检测到上游电力变压器的接地，而误发出报警。当然，在有的项目里，UPS输入隔离变压器的主要是改变电压，以形成一个满足系统要求的电压，使UPS更满足于客户的某些定制需求。对于能源行业，由于UPS容量仅占上游隔离变压器容量的3%~8%，也没有采用类似于电力行业的UPS和直流屏共用电池母线和直流接地选线检测系统，也没有特殊的电压要求，因此绝大部分项目不需要

输入隔离变压器，仅在特殊的项目需求里作为一个选配项目设计使用。

2. UPS系统旁路隔离变压器

UPS系统的旁路隔离变压器在两路电源输入的系统中是一个必选项目。此时旁路隔离变压器主要作用有两个，一是隔离上游电网和UPS逆变器输出，在负载侧产生一个独立的接地系统；二是降低整个回路短路电流，降低UPS旁路上游空开分断电流。

对于能源行业，UPS系统的输入一般为独立的两路电源，并机系统为三路电源，因此旁路隔离变压器基本为必选项目，仅在少数单路输入电源的UPS系统中可以省略。

3. UPS系统输出隔离变压器

UPS系统的输出隔离变压器主要作用是调整逆变器输出电压以达到符合负载需求的目的，除此之外还有两个主要作用，一是作为UPS主路的电气隔离元件和旁路隔离变压器共同隔离下游电网；二是隔离负载侧产生的直流分量，以保护逆变器功率器件。

在能源行业，由于UPS系统的重要性，内置输出隔离变压器的技术要求是作为一个标准的选项广泛应用。EA

(收稿日期: 2015.07.31)

(编辑: 刘群△)