

第 1 章 概述

随着云计算和大数据的兴起，数据中心如雨后春笋般不断出现。数据中心对系统连续稳定安全运行有着极高的要求，而确保数据中心连续运行的两个最基本的条件是供电不中断和连续制冷。UPS 是数据中心供电系统中不可缺少的设备，直接关系到数据中心电源系统可用性的高低，数据中心对 UPS 设备的运行维护也提出了更高的要求。

1.1 什么是 UPS

UPS (Uninterruptible Power Supply) 中文译为“不间断电源”，是含有储能装置（通常是蓄电池）、以逆变器为核心部件、输出电压和频率只能在允许范围内波动的设备。

UPS 系统由主机和蓄电池构成，它有三大基本功能：稳压、滤波、不间断。在市电供电时，它具有稳压器和滤波器的作用，可以消除或削弱市电的干扰，保证设备正常工作，同时向蓄电池充电；在市电中断时（例如事故停电），它就是不间断电源，通过蓄电池放电再经逆变器把直流电逆变成稳定无杂质的交流电，使负载维持正常工作，并保护负载软、硬件不受损坏。UPS 设备通常对电压过高或电压过低的情况都能提供保护。

1.2 UPS 在数据中心的地位和作用

随着互联网行业的快速崛起，企业对数据存储和处理方面都有了更高的要求。宕机会造成数据中心的业务中断，导致用户无法正常访问应用程序，会给企业业务方面造成巨大损失。据相关行业专家表示，数据中心停机在美国每分钟造成的平均损失约为 8000 美元。

在 Uptime Institute 发布的 2020 年度数据中心掉线调查报告中，供电、系统、网络、制冷这四大因素依旧是宕机的最常见因素。报告中的数据显示，在 2020 年发生的数据中心故障中，大约有 37% 与电源有关，22% 与软件、系统有关，17% 与网络有关，13% 与制冷系统有关。在中国，大城市停电的次数平均为 0.5 次 / 月，中等城市为 2 次 / 月，小城市或村镇为 4 次 / 月。电网存在以下几种问题（市电供电异常）：断电、

电压尖峰、电压瞬变、电线噪声（射频干扰和电磁干扰）、电压槽口、电压跌落、电压浪涌、欠电压、过电压、波形失真、频率偏移等。因此，从改善电源质量的角度来说，给计算机配备一台 UPS 是十分必要的。另外，精密的网络设备和通信设备是不允许电力有间断的，以服务器为核心的网络中心要配备 UPS 是不言而喻的，即使是一台普通计算机，其使用三个月以后的数据文件等软件价值也已经超过了其硬件价值，因此为防止数据丢失，为其配备 UPS 也是十分必要的。

UPS 可以保障系统在停电之后继续工作一段时间，使用户能够紧急存盘，不致因停电而影响工作或丢失数据。UPS 在计算机系统和网络应用中主要起到两个作用：一是应急使用，防止突然断电而影响正常工作、丢失数据，并给设备硬件造成损害；二是消除市电上的电压浪涌、瞬间高电压、瞬间低电压、电线噪声和频率偏移等“电源污染”，改善电源质量，为计算机系统提供高质量的电源。

总之，UPS 电源是数据中心供电系统中不可缺少的设备。UPS 相较于柴油发电机组，具有体积小、效率高、无噪声振动、维护费用低、可靠性高等优点，但其容量相对较小，适合作为市电停电后核心设备的临时供电支撑，应对长时间停电仍需要启动柴油发电机组，以保证整个数据中心的电力供应。

1.3 UPS 的分类

目前，UPS 供电系统分为动态（飞轮储能式）UPS 和静态（静止变换式）UPS 两大类。动态 UPS 又分为飞轮储能式和磁悬浮储能式，静态 UPS 又分为工频机型 UPS 和变频机型 UPS，变频机型 UPS 又分为传统变换式（还包括在线互动式和三端口等）、Delta 变换式和高压直流 UPS，具体如图 1-1 所示。

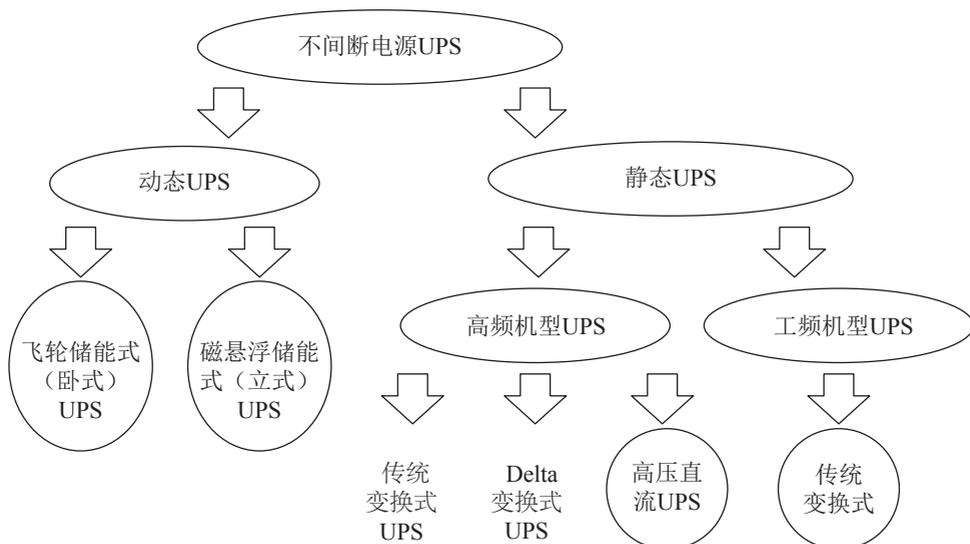


图 1-1 数据中心 UPS 的主要类型

1.3.1 按动静分类

按 UPS 的动静分类, 可将其分为动态 UPS 和静态 UPS。

动态 UPS 即飞轮式 UPS, 是一种初期的 UPS。1967 年我国进口了一台“1900”计算机, 配套的供电设备是一台 20kVA 容量的 UPS, 这也是第一代 UPS, 如图 1-2 所示。市电停电时, 依赖飞轮的惯性带动发电机继续向负载供电, 同时启用与飞轮相连的备用柴油发电机组。备用发电机组带动飞轮旋转并因此带动交流发电机向负载供电。由于飞轮的转速只有 1500r/min (频率为 50Hz 时) 或 1800r/min (频率为 60Hz 时), 因此飞轮的重量要非常大, 例如上述 20kVA 的 UPS 需要配 5T 的飞轮, 但停电后利用飞轮的惯性储能带动发电机只能继续向计算机供电 5s。这显然是不经济的。

为了进一步延长供电时间, 后来采用图 1-3 所示的结构。市电经过整流后, 一路给直流电动机供电, 直流电动机带动交流发电机输出稳压稳频的交流电, 另一路给蓄电池充电。市电中断时, 依靠蓄电池组存储的能量维持发电机继续运行, 使得负载供电不间断。

动态 UPS 体积大, 重量大, 噪声大, 效率低, 波形失真, 切换时间长, 后备时间短(5s)。

随着半导体技术的迅速发展, 利用各种电力电子器件的静态 UPS 很快取代了早期的动态 UPS。静态 UPS 依靠蓄电池存储能量, 通过静止逆变器变换电能, 维持负载供电的连续性。相对于动态 UPS, 静态 UPS 体积小, 重量轻, 噪声低, 操控方便, 效率高, 后备时间长。以下所讲述的 UPS, 若无明确说明, 均指静态 UPS。

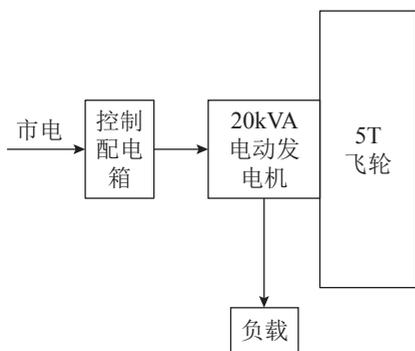


图 1-2 第一代飞轮式动态 UPS 示意图

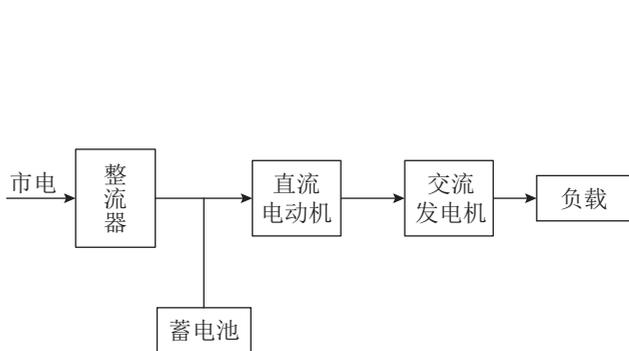


图 1-3 旋转发电机式动态 UPS 示意图

小知识

动态 UPS 有着很多鲜为人知的优点。近年来, 动态 UPS 被国内外的数据中心、半导体芯片制造业、某些特种军用通信系统及政府的机要部门日益关注和选用, 其优点为:

- 进一步提高了 UPS 的效率。相关资料显示, 采用动态 UPS 可将 UPS 的效率从工频机静态 UPS 的 90% 左右提高到飞轮 UPS 的 98%。

- 可将故障率明显偏高的蓄电池部件从 UPS 中彻底取消。这不仅有助于提高 UPS 的可靠性，还可以大幅度减少电源值班人员的维修工作量。
- 动态 UPS 主要是金属结构，相对于静态 UPS 而言不容易受温度环境的影响，因此可靠性明显提高。
- 维护周期长，寿命长，减轻了维护人员的工作量。
- 与传统双变换在线式的静态 UPS 相比，飞轮 UPS 具有明显的技术优势，表 1-1 所示为目前动态 UPS 和静态 UPS 的大概对比。此外，动态 UPS 在技术性能上明显优于双变换在线式的静态 UPS，主要表现在整机效率、输入功率因数、负载功率因数、允许的工作温度范围、无需电池组的维护和可靠性等方面。对于飞轮 UPS 供电系统而言，其平均整体效率要比工频机型静态 UPS 的效率高 4% ~ 5%。来自美国 ActivePower 公司的真空磁悬浮飞轮 UPS 的能效甚至可提高 6%，在当今能源价格增幅较大和我国双碳目标的背景下，其节能降耗和绿化环保的效应尤为明显。采用飞轮储能的动态 UPS 可以更加节能的另一个原因是它自带风冷电扇，且无需配置要求环境温度小于 25℃ 的电池组。

表 1-1 飞轮式 UPS 和传统静态 UPS 的对比

比较项目	飞轮式 UPS	传统静态 UPS	备注
蓄电池组	无	需要	
能耗	能耗低，节能环保	普通	
效率	高，可达 96% ~ 98%	工频机型 UPS: 90% ~ 91% 高频机型 UPS: 94% ~ 95%	
价格	高	低	
维护	需专业工程师维护，耗时长	由本地普通工程师维护即可	
应用场合	目前在军工行业应用较多，传统行业应用较少	目前在各行各业中的应用很普及	
发电机	必须配置，对发电机有严格的要求，需 15s 内完成启动	可选配，在蓄电池后备时间内完成启动即可	对于冬天寒冷的天气条件，普通的民用发电机不能满足要求
可靠性	高	UPS 主机可靠性较高，电池组故障率高，且需定期评估更换	UPS 的故障率主要由电池组引起
先进性	更先进	技术成熟，目前主流应用	

1.3.2 按拓扑结构分

按照拓扑结构，UPS 可分为后备式 UPS 和在线式 UPS，其中在线式 UPS 又分为在线互动式、双变换在线式、Delta 变换式几种。

1. 后备式 UPS

后备式 UPS 是静态 UPS 的最初形式，以市电供电为主，主要由充电器、蓄电池、逆变器及变压器抽头式调压稳压电源四部分组成。当市电供电正常时，UPS 把市电经简单稳压处理后直接供给负载；当市电供电中断时，系统通过转换开关切换为逆变器供电模式。后备式 UPS 的原理图如图 1-4 所示。

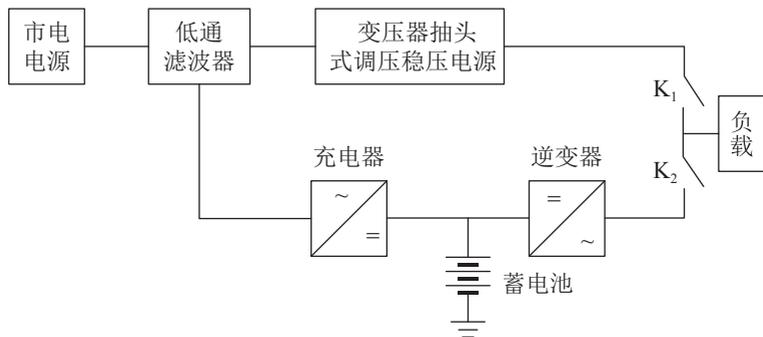


图 1-4 后备式 UPS 的原理图

逆变器并联连接在市电与负载之间，仅简单地作为备用电源使用，因此称为后备式。后备式 UPS 的工作原理具体如下：

(1) 当市电供电正常时（市电电压在 176 ~ 264V，即 $220V \pm 20\%$ ），位于交流通道上的“变压器抽头式调压稳压电源”对电压波动较大的市电电压进行稳压处理，使电压稳定度达到 $1 \pm (4 \sim 10)\%$ 以内。然后，在 UPS 逻辑控制电路的作用下，经稳压处理的市电电源经转换开关向负载供电（转换开关一般由小型快速继电器或接触器构成，转换时间为 2 ~ 4ms）；同时，由独立的充电器对蓄电池进行充电，以备市电中断时有能量继续支持 UPS 的正常运行。逆变器处于空载运行状态，不做任何电能变换。

(2) 当市电供电不正常时（市电电压低于 175V 或高于 264V），在 UPS 逻辑控制电路的作用下，UPS 将按下述方式运行：

① 充电器停止工作；

② K_1 断开， K_2 闭合，负载由市电供电转变为由逆变器供电；

③ 逆变器将蓄电池放出的直流电变换为 50Hz/220V 交流电，继续对负载供电。根据负载的不同，逆变器的输出电压可以是正弦波，也可以是方波。

后备式 UPS 的优点如下：

- 具备自动稳压、断电保护等 UPS 最基础也最重要的功能；
- 电路简单，成本低，可靠性高；
- 整机效率高，可达 98%；
- 输出能力强，对负载电流的波峰系数、浪涌系数、负载的输入功率因数、过载等没有严格要求。

后备式 UPS 的缺点：输出电压稳定精度较差，市电供电中断时输出电能有短时间的中断，并且受切换电流能力和动作时间的限制，增大输出容量有一定的困难。因此其适合于某些非重要的负载使用，如家用计算机、外设、POS 机等，稍微重要的用电设备不应选用后备式 UPS 电源。

2. 在线互动式 UPS

在线互动式 UPS 又称为并联补偿式 UPS，其由一个可运行于整流状态和逆变状态的双向变换器（逆变器 / 充电器）配以蓄电池构成。其中双向变换器根据工作模式可运行于整流状态或逆变状态：当市电输入正常时，双向变换器处于反向工作（即整流工作）状态，是一个充电器，给电池组充电；当市电异常时，双向变换器立即转换为逆变工作状态，是一个逆变器，将电池放电输出的直流电能转换为交流电输出。在线互动式 UPS 的原理图如图 1-5 所示。

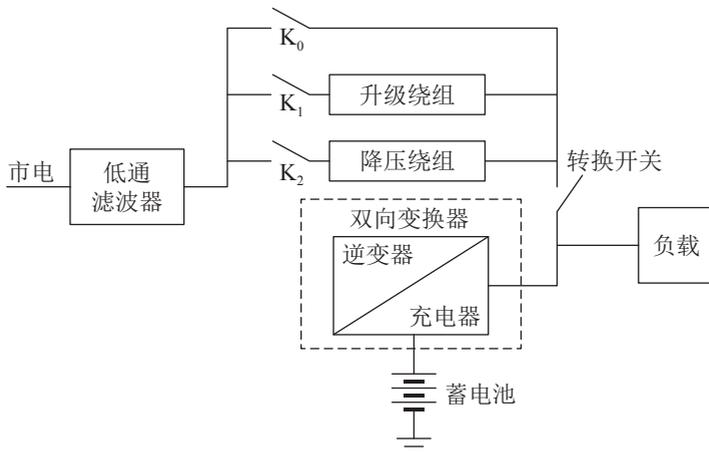


图 1-5 在线互动式 UPS 原理图

可以看出，双向变换器可以作为逆变器并联在市电与负载之间，起后备电源的作用，同时也可作为充电器给蓄电池充电。通过双向变换器的可逆运行方式与市电相互作用，因此称为互动式。

在线互动式 UPS 的工作原理具体如下：

(1) 当市电正常时（市电电压在 150 ~ 276V，对于 220V 电压，即 -30% ~ +25%），市电电源经低通滤波器对从市电网窜入的射频干扰（RFI）及传导型电磁干扰（EMI）进行适当衰减抑制后，将按如下调控通道去控制 UPS 的正常运行：

① 当市电电压处于 176 ~ 264V 时（即 220V ± 20%），在逻辑控制电路的作用下，将开关 K₀ 置于闭合状态的同时，闭合位于 UPS 市电输出通道上的转换开关。这样，把一个不稳压的市电电源直接输出给负载。

② 当市电电压处于 154 ~ 176V 时（对于 220V 电压，即 -30% ~ -20%），由于市电输入电压偏低，在逻辑控制电路的作用下，将开关 K₀ 置于分断状态的同时，闭合升

压绕组输入端的开关 K_1 ，使幅值偏低的市电电源经升压处理后，将一个幅值合适的电压经转换开关输出给负载。

③当市电电压处于 264 ~ 276V 时（对于 220V 电压，即 20% ~ 25%），为防止输出电压过高而损坏负载，在逻辑控制电路的作用下，将开关 K_0 置于分断状态的同时，闭合降压绕组输入端的开关 K_2 ，使幅值偏高的市电电源经降压处理为合适的电压后，再经转换开关输出到负载，从而使负载运行于安全电压。

④经过处理后的市电电源除了给负载供电以外，同时作为双向变换器的交流输入电源为电池组充电，以便在市电不正常时电池组能提供足够的直流能量。

(2) 当市电输入电压低于 150V 或高于 276V 时，在逻辑控制电路的作用下，UPS 转为逆变工作模式：

①切断连接负载和市电旁路通道的转换开关；

②双向变换器由原来的整流工作模式转化为逆变工作模式，此时蓄电池进入放电工作模式，将存储的直流电能经逆变器转化为优质的交流电能输出给负载。

在线互动式 UPS 的优点如下：

- 效率高，可达 98% 以上；
- 电路结构简单，成本低，实施方便，易于并联，便于维护和维修，可靠性高；
- 输入功率因数和输出电流谐波成分取决于负载电流，UPS 本身不产生附加的输入功率因数和谐波电流失真；
- 输出能力强，对负载电流峰值系数、浪涌系数、过载等无严格限制；
- 双向变换器处于热备份状态时，对输出电压尖峰干扰有滤波作用，其性能满足某些负载要求，特别适用于网络中某些计算机设备采用分布式供电的系统。

在线互动式 UPS 的缺点：大部分时间为市电供电，输出电能质量差，市电供电中断时，存在一定时间的电能中断，且稳压性能不高，尤其动态响应速度慢，抗干扰能力不强，电路会产生谐波干扰和调制干扰。

3. Delta 变换式 UPS

Delta 变换式 UPS 又称为串并联补偿式 UPS，是一种新型的 UPS 结构形式，根据能量平衡原则进行调控。Delta 变换式 UPS 把交流稳压技术中的电压补偿原理应用到 UPS 主电路中，引入了一个四象限变换器（Delta 变换器）。当市电正常时，Delta 变换器一方面给蓄电池充电，另一方面可起到补偿电网波动和干扰的作用，在市电输出时，也能保证供给负载的电能质量。Delta 变换式 UPS 的原理图如图 1-6 所示。

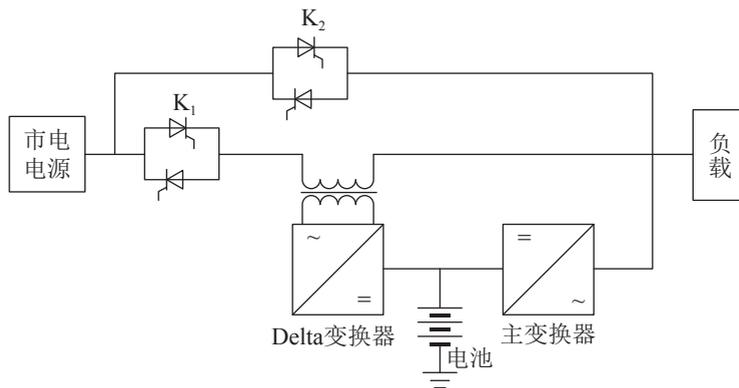


图 1-6 Delta 变换式 UPS 原理图

Delta 变换式 UPS 的工作原理具体如下：

(1) 当市电正常时（电压波动范围小于 $\pm 15\%$ ，频率波动范围小于 3Hz），Delta 变换式 UPS 按如下方式工作：

①当市电输入电压等于主变换器输出电压时，Delta 变换器控制市电输入电流的幅值，以保证市电输入的有功功率等于负载所需的有功功率。此时，Delta 变换器和主变换器都不进行有功能量的转换。

②当市电输入电压低于主变换器输出电压时，Delta 变换器控制市电输入电流，使其幅值增大，以保证市电输入的有功功率等于负载所需的有功功率。此时，Delta 变换器输出正向电压以补偿市电电压与主变换器输出电压的差值，因此它从直流母线吸收一定的有功功率，连同市电有功功率一起送向负载端。负载吸收相应的有功功率，多余的有功功率经主变换器返回给直流母线。主变换器吸收的有功功率正好等于 Delta 变换器输出的有功功率，以维持直流母线能量平衡。

③当市电输入电压高于主变换器输出电压时，Delta 变换器控制市电输入电流，使其幅值减小，以保证市电输入的有功功率等于负载所需的有功功率。此时，Delta 变换器输出负向电压以补偿市电电压与主变换器输出电压的差值，因此它从市电吸收一定的有功功率传送到直流母线。这部分有功功率再由主变换器发出，连同剩余的市电有功功率一起送向负载端。这样既维持了负载端有功功率的平衡，也维持了直流母线有功功率的平衡。

④当蓄电池电压偏低需要充电时，Delta 变换器控制市电输入电流，使其幅值增大，使得市电输入的有功功率大于负载所需的有功功率。此时，除了供给负载有功功率外，剩余的有功功率通过主变换器被传送到直流母线上，对蓄电池进行充电。

⑤当蓄电池电压过高需要放电时，Delta 变换器控制市电输入电流，使其幅值减小，使得市电输入的有功功率小于负载所需的有功功率。负载除了吸收市电输入的有功功率外，还通过主变换器从直流母线吸收一定的有功功率，从而完成对蓄电池的放电。

⑥各种情况下负载所需的无功功率和谐波电流都由主变换器提供，市电输入功率因数高，谐波电流小。

(2) 当市电出现故障时（电压波动范围大于 $\pm 15\%$ ，频率波动范围超过 3Hz ），Delta 变换式 UPS 按如下方式工作：

静态开关 K_1 和 K_2 都处于关闭状态，停止 Delta 变换器工作。此时，主变换器将蓄电池提供的直流电逆变成交流电，为负载提供电能，负载所需的全部有功功率、无功功率以及谐波电流均由主变换器提供。

不管市电供电正常与否，在运行过程中，如果 UPS 输出端出现过载或短路故障、主变换器或 Delta 变换器出现故障、系统温升过高等，则位于主供电通道上的静态开关 K_1 、Delta 变换器及主变换器都立即进入自动关断状态。与此同时，位于交流旁路供电通道上的静态开关 K_2 立即进入导通状态。在此条件下，市电电源被直接送到用户的负载端。

Delta 变换式 UPS 的优点如下：

- 负载端电压由主变换器输出电压决定，不论有无市电都可向负载提供高质量电能。
- 当市电存在时，主变换器和 Delta 变换器只对输出电压的差值进行调整和补偿，主变换器承担的最大功率仅为输出功率的 20% 左右（相当于输入电压变化范围），所以整机效率高，功率裕量大，系统抗过载能力强，不再对负载电流峰值系数予以限制。
- Delta 变换器完成输入端的功率因数校正功能，使得输入功率因数可达 0.99，输入谐波电流下降到 3% 以下，整机效率在很大功率范围内可以达到 96%。

Delta 变换式 UPS 的缺点：主电路和控制电路相对复杂，可靠性较差。

4. 双变换在线式 UPS

双变换在线式 UPS 又称为串联调整式 UPS，目前大容量 UPS 大多采用这种结构形式。该 UPS 一般由整流器、逆变器、蓄电池和旁路等几部分组成，逆变器串联连接在交流输入与负载之间，电源通过逆变器连续向负载供电，这也是双变换在线式 UPS 的主要供电形式，其工作原理图如图 1-7 所示。市电正常时，市电经过整流器、逆变器向负载供电；市电不正常时，由蓄电池经逆变器向负载供电。

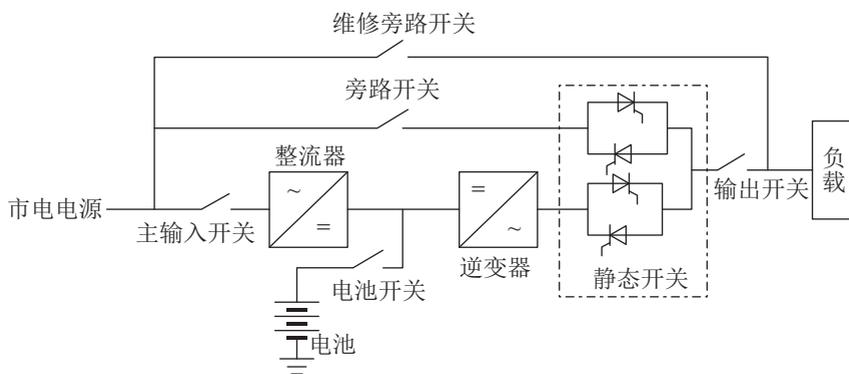


图 1-7 双变换在线式 UPS 原理图

双变换在线式 UPS 是目前市面上 UPS 电源的主流产品，其优点：性能好，电压稳定度高，功能强，转换时间接近 0ms，显著特点是能够持续零中断地输出纯净的正弦波交流电，能够解决尖峰、浪涌、频率漂移等电源问题，具有热备份连接和并联冗余连接的功能。其通常应用在关键设备与数据中心等对电力要求苛刻的环境中。

双变换在线式 UPS 的缺点：全部负载功率均由逆变器提供电源，UPS 容量裕量有限，输出能力不够理想，对负载的输出电流峰值系数、过载能力、负载功率因数等提出限制条件，应对冲击负载的能力较差，尤其是当容量在 10kVA 以下时，其整机效率不高，一般在 85% 左右。不过随着 UPS 的发展和高频机型 UPS 的出现，双变换在线式 UPS 的效率也有了较大的提升，一般可达到 95% 左右。

1.3.3 按外形结构分

按照 UPS 的外形结构，可将其分为塔式 UPS、模块化 UPS 和机架式 UPS。

1. 机架式 UPS

采用机架式设计的 UPS 的结构类似于服务器，如图 1-8 所示。其宽度为标准 19 英寸机架尺寸，最小高度仅为 1U，容量包括 1 ~ 6kW（中小功率），通过导轨安装在标准服务器机架上，与负载设备集成在一起，可以简明机房布局，节省占地面积和空间，提高空间利用率，易于安装、使用和维护，便于集中监控管理。其广泛采用磷酸铁锂电池包，体积更小、重量更轻、寿命更长；

具有 ECO 运行模式，高效节能，降低用户使用成本；采用先进的 DSP 数字控制技术，有效提升了产品性能和系统可靠性，并实现更高功率密度的集成和小型化；具有智能通信接口和标准的 RS-232 通信接口，可以远程在线调试并监控电源系统的运行，简化网络管理工作，并提高系统的可靠性。作为供电保障，短电源连接电缆和高可靠性已成为机架式 UPS 的重要优势。

机架式 UPS 电源为那些对电力环境要求苛刻的设备提供了更加灵活、可靠的电源保护，主要应用于安防系统集成集中供电的电源供给设备，可以使设备在机房有更好的环境且稳定性更高。



图 1-8 机架式 UPS

2. 塔式 UPS

塔式 UPS 落地安装，单独放置，需要安装和运行的空间，如图 1-9 所示。选择机架式 UPS 还是塔式 UPS 视 UPS 的容量、工作方式和摆放环境而定。

塔式 UPS 主要应用于大中型数据中心、调度中心、控制中心、管理中心等关键供电场景，为重要负载提供额定



图 1-9 塔式 UPS

电压为 380V/400V/415V 的交流不间断供电保护，具有可靠性高、效率高、功率密度高等优势，采用全数字控制及 IGBT 整流技术，可确保在任何工作条件下均有优异的输出质量；效率在 20% 负载时可达 95%，在 40% 负载时可达 96%，更加匹配数据中心真实业务场景；具有远程干接点和 RS-232 监控接口，可实时监测 UPS 的工作状态。

3. 模块化 UPS

模块化 UPS 由机架、UPS 功率模块、静态开关模块、显示通信模块以及电池组构成，其外观如图 1-10 所示。功率模块包括传统的 UPS 整流、充电、逆变以及相关控制电路等部分。静态开关模块是 UPS 处于过载时的共用供电通道，由双向可控硅和控制电路组成。显示通信模块则作为人机对话和网络化监控的平台。

UPS 功率模块可并联，平均分担负载。如遇故障则自动退出系统，由其他功率模块来承担负载，既能水平扩展，又能垂直扩展。独特的冗余并机技术使设备无单点故障，可以确保电源的最高可用性。所有的模块可以实现热插拔，各模块机架可完全分离，便于用户以后的扩容或减容，使用方便，可实现在线更换、在线维护，降低维护难度，减少维护时间。各模块之间的并联控制采用分散式逻辑控制方式，没有主机与从机之分，任何一个模块拔出或插入均不会影响其他模块的正常工作，按需构成 $N+1$ 、 $N+X$ 冗余系统，减小系统本身和负载的风险系数，使负载受 UPS 保护时间全面提升。

在华为行业数字化转型大会 2020 上，华为面向全球发布全新 UPS 功率模块，单模块功率密度达到 100kW/3U，较业界主流水准提升了 1 倍。图 1-11 所示为华为模块化 UPS 及其大功率 UPS 功率模块。



图 1-10 模块化 UPS

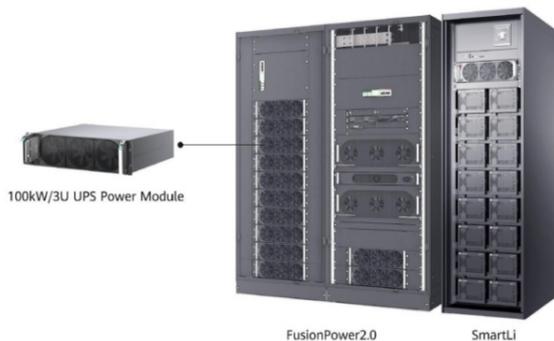


图 1-11 华为模块化 UPS 及 100kW 大功率 UPS 功率模块

科华数据继 2015 年推出完全自主知识产权的核级 UPS、2019 年推出 1.2MW 超大功率模组化 UPS 后，也重磅发布了 100kW、125kW 大功率 UPS 功率模块。

1.3.4 按设计电路的工作频率分

按照 UPS 电路的工作频率，UPS 通常分为工频机和高频机两种机型。

1. 工频机型 UPS

工频机型 UPS 按传统的模拟电路原理设计，由可控硅（SCR）整流器、蓄电池、IGBT 逆变器、旁路和工频升压输出变压器组成。在 12 脉冲整流的工频机型 UPS 中，为了构成 12 脉冲整流，整流器的前端还会有移相变压器。因其整流器和变压器的工作频率均为工频 50Hz，所以叫工频 UPS。

1) 工频机的结构特点

在工频机型 UPS 的电路中，主路三相交流输入经过换相电感接到由三个 SCR 桥臂组成的整流器之后变换成直流电压，通过控制整流桥 SCR 的导通角来调节输出直流电压值。由于 SCR 属于半控器件，因此控制系统只能控制开通点，一旦 SCR 导通，即使控制极驱动撤销，SCR 也无法关断，只有等到自然关断，所以其开通和关断均是基于一个工频周期，不存在高频开通和关断控制。SCR 整流器属于降压整流，因此直流母线电压只能比二极管三相不可控整流电压低，经逆变输出的交流电压比输入电压低。要使逆变器输出电压为额定的工作电压 380V/220V，就必须在逆变器输出端增加升压变压器。由于采用了全桥逆变器，如果要得到 220V 电压，逆变器输出端就要增加一个 Δ/Y 变压器，以产生隔离接地点（中性线）。因此，工频机输出变压器有两个功能：变压和产生隔离接地点。

2) 工频机的认识误区

有些资料上宣称工频机型 UPS 的输出变压器能抗干扰，并具有滤波作用，这实际上是一个认识误区。

首先，输出变压器不具备抗干扰能力。对于 UPS 来讲，逆变器是不产生干扰的，而所谓的干扰只能来自于负载。负载对电源的要求是电源输出端的动态性能一定要好，即动态内阻一定要小，这样电源的输出才能适应负载的变化，不允许有惯性。而只有惯性环节才有抗干扰能力。变压器不是电抗器，在正常工作是线性的，要不失真地传递信号，所以它不具备抗干扰能力。其次，对于各种形式的电压噪声、浪涌、尖峰等，由于其能量大、频率低，变压器会按照其固有的变比将其传导过去，因此也不存在滤波功能。

此外，输出变压器也不具备缓冲负载短路的功能，也不能提高 UPS 系统的可靠性和稳定性。相反，由于变压器自身产生功耗，因此会造成 UPS 设备内部的温升增大，这在一定程度上降低了系统的可靠性，而变压器和逆变器是串联关系，它本身也是一个故障点。在工频机型 UPS 多机并联时，会出现多个输出变压器的并联，而变压器的并联是电力行业应尽量避免的情况，因为变压器并联时会产生环流，环流的长期存在将导致设备发热和寿命缩短。

2. 高频机型 UPS

高频机型 UPS 在结构上通常由 IGBT 高频整流器、蓄电池、IGBT 逆变器和旁路组成，IGBT 可以通过控制加在其门极的驱动信号来控制其开通与关断。IGBT 整流器的开关频率通常在几千赫兹到几十千赫兹，甚至高达几十万赫兹，远高于工频机型 UPS 的工作频率（50Hz），因此称之为高频 UPS。

1) 高频机的结构特点

高频机型 UPS 的整流属于升压整流，其输出直流母线的电压比输入的线电压的峰值高，一般典型值为 DC 700 ~ 800V，如果电池直接挂接母线，则所需配置的 12V 电池的数量最多将达到 67 节，这会给实际应用带来较大的安全隐患。因此，一般高频机型 UPS 会单独配置一个斩波器（蓄电池电压双向变换器），市电正常时斩波器把直流母线电压降到电池组电压，市电故障或电压超限需要蓄电池放电时，斩波器把电池组电压升到直流母线电压。由于高频机型 UPS 的直流母线电压为 700 ~ 800V，因此逆变器输出的相电压可以直接达到工作电压。由于高频机型 UPS 采用半桥逆变，因此要得到 220V 电压，逆变器输出不需要 Δ/Y 变压器，只需将逆变器中性线与输入零线进行等电位联结即可。

2) 高频机的性能优势

高频机型 UPS 具有以下性能优势。

(1) 输入功率因数高。

工频机型 UPS 一般在 200kVA 以下的输入电路中都采用标配的 6 脉冲晶闸管整流器，输入功率因数不超过 0.8，谐波电流 30% 以上。如果前面配置发电机，则发电机的容量至少是 UPS 功率的 3 倍；如果是单相小功率 UPS，则发电机的容量至少是 UPS 功率的 5 倍。

高频机型 UPS 的输入功率因数一般都在 0.99 以上，谐波电流小于 5%，前置发电机的容量约是 UPS 功率的 1.5 倍，这就大大缩减了投资和占地面积，尤其是对市电的利用比较充分，且对电网污染很少。

(2) 效率高。

高频机型 UPS 本身的功耗低，在同样的指标下，例如要求输入功率因数为 0.9 以上时，工频机型 UPS 必须外加有源谐波滤波器或改为 12 脉冲整流加 11 次无源谐波滤波器，再加上输出变压器，这样就比高频机型 UPS 多了两个环节，因此工频机型 UPS 的效率至少要比高频机型 UPS 低 5%。例如，对于容量为 100kVA 的 UPS，每台高频机型 UPS 每年比工频机型 UPS 要少耗电 50 000kWh，这在当前国家“双碳目标”的背景下，对绿色数据中心的建设具有重要意义。

(3) 对电网的适应能力强。

对包括 UPS 在内的稳压电源来说，后面的负载需要电压不变的稳定电源输入。如果市电电压非常不稳定，就需要在市电和负载之间增加一级稳压电源进行隔离，这一级稳压电源的输入端面对的是不稳定的市电输入电压，因此适应市电电压变化的范围越大

越好。工频机型 UPS 由于是降压输入，因此适应不了大的电压变化范围，正常的适应范围大都在 $\pm 10\%$ 以内，有少数会达到 $\pm 25\%$ 。由于整流器后面的直流滤波电容的标称电压一般为 450V，而在晶闸管异常整流器击穿时，整流后的 380V ($1+25\%$) 的峰值接近 670V，这么大的直流电压加在电容器上会使电容器发生爆炸。所以在供电条件不好的地方，通常需要加装稳压器，这就增加了功耗和投资。而高频机型 UPS 是升压输入，它的电子变压器在逆变器的前面，对市电的适应范围在 $\pm 30\%$ 以上。

(4) 综合性能指标高。

同工频机型 UPS 相比，高频机型 UPS 没有输出变压器，节省了资源，减小了体积，减轻了重量，降低了自身功耗，提高了效率。

(5) 对外干扰小。

UPS 有两种噪声：一种是机械噪声，主要来自于震动和气流的声音；另一种是电噪声。这两种噪声工频机型 UPS 都有。电噪声影响机器的稳定度，机械噪声影响人的身心健康，降低工作效率。高频机型 UPS 的电路工作在 20kHz 以上的频率，20kHz 是人的耳朵听不到的频率，这会使工作环境较为安静，人耳听到的主要是来自高频机风扇气流产生的噪声。高频机型 UPS 的输入功率因数高达 0.99 以上，几乎是线性，所以对外干扰几乎为零。

(6) 全数字技术。

现在的工频机型 UPS 一般采用数字与模拟结合的技术，模拟技术的可靠性要比数字技术低。高频机型 UPS 采用的是全数字化技术，其可靠性很高。

(7) 没有并机环流。

在实际应用中，UPS 经常需要进行并机工作，以向负载提供所需的电源。工频机型 UPS 的并机就是输出变压器的直接并联，即使是同容量、同型号的变压器的输出电压也不是完全一样的，由于存在电压差，就会导致出现并机环流。这个环流的路径上没有任何障碍，所以可以畅通无阻。不过，由于并联 UPS 的逆变器的输出电压相差甚微，因此并机环流一般不会很大，而且最大环流只出现在空载情况下，当加上负载时，这种环流会由电路自身调整到最小。

高频机型 UPS 由于没有输出变压器，因此并联时环流值较小，一般不予考虑。

3) 高频机的使用误区

在实际应用中，有人将有无输出变压器作为区分工频机型 UPS 和 高频机型 UPS 的标准，认为有输出变压器的就是工频机，而没有输出变压器的就是高频机，这就带来了高频机型 UPS 的使用误区。

(1) “灵活配置”输出变压器。

有的高频机型 UPS 生产厂商为了迎合那些对高频机型 UPS 心存疑虑而倾向于使用工频机型 UPS 的用户，在其高频机型 UPS 后面配上一个输出变压器，称这就是工频机型 UPS，而对于想购置高频机型 UPS 的用户，就把画蛇添足加上变压器拿掉，告诉用户这就是高频机型 UPS，这虽不失为一种营销手段，但却误导了用户。实际上，高频机型 UPS 配上变压器仍是高频机型 UPS，加配的变压器实际上仅仅是 UPS 的负载，

不仅多消耗了功率，且由于串联在 UPS 和负载之间，因而多了一个故障点，不知内情的用户反而是在花钱买故障。

（2）不合理加装输出变压器。

因为一些用户误认为工频机型 UPS 存在“输出变压器抗干扰、可以隔离直流电压使其不能加到负载端、可以提高 UPS 的可靠性甚至可以对电网的冲击变化及缓冲负载的突变”等诸多“优点”，他们会将输出变压器作为一项采购的技术要求写入标书，并在使用没有输出变压器的高频机型 UPS 配电系统的列头柜中加装变压器，以“改善”电源质量。

如图 1-12 所示为两种列头柜的结构原理图。

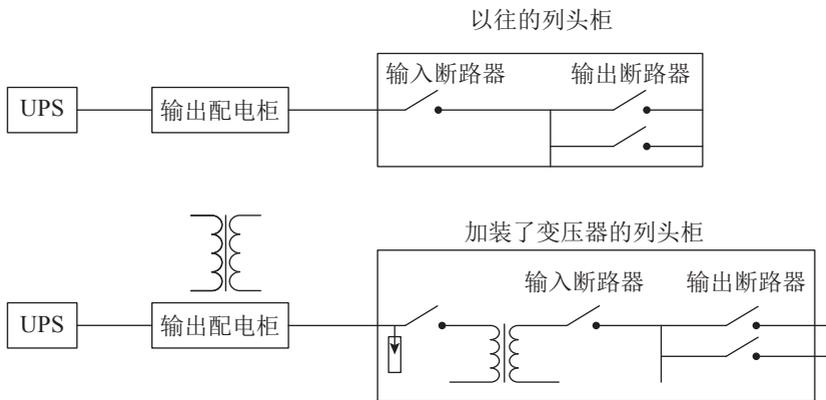


图 1-12 两种列头柜的结构原理图

加装了变压器的列头柜又增加了一个输入断路器和一级防雷器。这就带来了以下问题：

- 增加了无谓的设备投资，造成了浪费。
- 增加了 3 个故障点：防雷器、输出断路器和变压器，不仅降低了设备的可靠性，且防雷器的加入也起不到任何作用。
- 加大了机柜的自重，为机房地板乃至整个楼板的承重带来了麻烦，需要重新考虑机房的承重问题。如果没有这个变压器，一面列头柜的质量一般是 300kg 左右，通常 700kg 的地板承重就可以满足安全要求。而加了变压器后，不少机柜增加了大约 700kg 的重量，如果一个数据中心有几十个列头柜，则增加了几十吨的承重，这会导致因重新考虑承重而更改设计，进而增加投资，延长工程周期；而对于已经建好的数据中心机房，则要采取承重加固措施，而这是非常麻烦的工程。

目前，数据中心供电系统除了注重可靠性、可用性以外，双碳目标背景下的节能减排是数据中心建设和运营所面临的重大问题。对于在数据中心供电系统中大量配置的 UPS 来讲，其自身供电效率的高低在一定程度上决定了数据中心总体能耗的高低。传统的工频机型 UPS 由于效率低、体积大而笨重、能耗高、运行成本高，已逐渐不适应

目前节能减排的需求。IGBT 整流的高频机型 UPS 具有尺寸小、重量轻、运行效率高、性价比高等多方面优势，其技术和产品已经成熟，是当前数据中心机房节能、高效的理想选择，目前国内外主要的 UPS 制造厂商都推出了大功率的高频机型 UPS。

1.3.5 其他分类方法

除了上述分类方法外，还有以下几种较为简单的 UPS 分类方法：

- 按功率分类：小功率 UPS (<3kVA)、中功率 UPS、大功率 UPS (>10kVA)。
- 按输出电压的相数分类：单相、三相。
- 按输入输出的相数分类：单进单出、三进单出、三进三出。

根据设备的情况、用电环境以及想达到的电源保护目的，可以选择适合的 UPS。例如，对内置开关电源的小功率设备一般可选用后备式 UPS；在用电环境较恶劣的地方应选用在线互动式或双变换在线式 UPS；而对于不允许有中断时间或时刻要求正弦波交流电供电的设备，就只能选用双变换在线式 UPS。

1.4 UPS 的技术指标

UPS 的技术指标主要包括输入指标和输出指标，这两类指标反映了 UPS 的性能优劣，也是影响 UPS 价格的重要因素。

1.4.1 输入指标

1. 电压范围

电压范围说明 UPS 适应什么样的供电制式及其对电网电压的适应能力，一般为 $-15\% \sim +10\%$ 。UPS 输入电压的上下限表示市电电压超出此范围时，UPS 就断开市电而由蓄电池供电。一般来讲，我们希望 UPS 能适应的输入电压的范围尽量大，这样可以在市电质量较差时为负载提供更好的供电保障。但实际上，这个指标并不是越大越好，因为 UPS 整流滤波电容的耐压值一般为 450V，如果输入电压范围过大，例如输入电压升高 20%，则输出电压会远高于电容的耐压值，很容易使电容击穿而导致整流器失控，造成严重损失。

2. 频率范围

频率范围说明 UPS 所能适应的输入交流电频率及其允许的变化范围，一般设为 $(50 \pm (2.5 \sim 3))$ Hz 比较合适。同样，这个变化范围也不是越大越好，因为在正常工作的情况下，UPS 的输出电压频率总是跟踪输入电压频率，当市电频率在变化范围

内时，UPS 逆变器的输出与市电保持同步；当市电频率超出该范围时，逆变器的输出不再与市电同步，此时，当 UPS 逆变器故障或过载时，将不能切换到旁路工作模式。

此外，输入频率范围越宽，对输出特性影响也越大，对负载是没有好处的，尤其是频率下移时对负载的影响就更大。有很多负载是非阻性的，即不是感性就是容性。

对于感性负载，比如有的负载有输入变压器，而一般用途的变压器都是按照额定频率（50Hz）设计的，如果输入频率太高，则由于铁芯内涡流的增大会使变压器的铁损增加、温度升高、绝缘下降，从而加速变压器的老化。感抗 X_L 与频率 f 成正比，而电感多用于滤波环节，所以输入频率高一点对滤波有好处，但不能太大，因为太大了会使电感上的电压降增大。

对于整流滤波负载，滤波电容容量的选择是按照额定频率（50Hz）设计的，容抗 X_C 与频率 f 成反比。如果频率降低太多，例如降低 20%，则容抗会相应增大 20%，这就等效于电容的容量降低了 20%，会使电容滤波后的电压纹波增大，影响后面负载的使用质量。

3. 输入功率因数

输入功率因数是指 UPS 中整流充电器的输入功率因数和输入电流质量，用于表征 UPS 对电网的有效利用能力、对电网和周围空间的干扰能力以及对前面配置的发电机组的要求等。输入功率因数越高，输入电流谐波成分含量越小，表示该 UPS 对电网的污染越小。一般来说，采用晶闸管整流（12 脉冲）的 UPS 的功率因数为 0.9 ~ 0.95（滞后），输入电流谐波含量在 25% 左右。采用输入功率因数校正技术，输入功率因数可达 0.96 ~ 0.99（滞后），输入电流谐波含量可达到 5% 以下。现在高频机型 UPS 的输入功率因数一般可做到 0.99 以上。

1.4.2 输出指标

1. 容量

容量是 UPS 的首要指标，是 UPS 向负载提供的可以长期工作的额定功率，其数值等于输出电压的有效值与输出最大电流有效值的乘积，也称为视在功率，单位是 kVA。作为电源，不仅要向负载提供有功功率，也要提供无功功率，因此 UPS 的容量用视在功率表示。

由于负载大部分是非线性的，因此在选择 UPS 确定其容量时，最好留有 20% 的余量。

2. 负载功率因数

UPS 的输出是容性的，UPS 的负载功率因数表征 UPS 带线性负载和非线性负载的能力，这一指标不一定越大越好。当 UPS 的负载功率因数与负载的输入功率因数匹配时，UPS 的输出能力达到最佳。例如，一台 UPS 的负载功率因数为 -0.9，表明 UPS 是专门

为输入功率因数为-0.9的感性负载设计的。工频机型UPS的负载功率因数一般为0.8，由于现在服务器的输入功率因数都做到了0.95以上，所以目前主流的高频机型UPS的负载功率因数一般都在0.9以上，有的UPS厂商在产品介绍中将自己的UPS的负载功率因数标为1。

在实际工作中，有些用户和一些资料上常把UPS的负载功率因数称为“UPS的输出功率因数”，这是一种错误的称谓。对于UPS来讲，它只有一个功率因数，即输入功率因数。因为功率因数是表征负载性质的一个参数，一个电路或设备定型以后，其性质也就确定了，因此其功率因数（即输入功率因数）也就定了。这个功率因数决定了电路和设备的性质，任何电源和任何电路都是如此。电路有输入阻抗和输出阻抗，但没有输出功率因数。

认为UPS有“输出功率因数”并把负载功率因数称为“输出功率因数”的错误之处在于以下几点。

首先，这个所谓的“输出功率因数”不是唯一的，因为带什么负载就是什么功率因数。例如带电阻性负载，这个功率因数就是1；带老的IT设备，这个功率因数就是0.6~0.7；带新的IT设备，这个功率因数可能是0.95以上。这是因为这个功率因数是负载的输入功率因数，如图1-13所示。



图 1-13 功率因数示意图

其次，如果将其称为UPS的输出功率因数，则根据功率因数的定义，有 $F_o = \frac{P_o}{S_o}$ ，式中 F_o 表示输出功率因数， P_o 表示有功功率， S_o 表示视在功率。由于这个所谓的“输出功率因数”是UPS的参数，是一个与负载无关的参数，因此需在不带负载（空载）时计算和测量。在空载时， P_o 和 S_o 均为零，因此 $F_o = \frac{P_o}{S_o} = \frac{0}{0}$ ，而这是一个没有意义的数。实际上，这个“输出功率因数”也是无法用功率因数表去测量的。

之所以把负载功率因数作为UPS的一个指标，是因为这个参数是制造UPS的依据，这和制造其他商品一样，制造商必须做出一些常用规格的商品让顾客挑选。比如制造衣服时，服装厂需事先做出一批针对不同性别和不同型号的衣服，比如男装、女装，这就相当于UPS的负载功率因数，衣服的型号（例如S、M、L、XL等）就相当于UPS的容量规格（例如10kVA、100kVA等）。UPS的制造与此类似，为了规模生产，UPS厂商也要根据当前用电设备（例如IT设备）的形式、规模和特点，预先制造出一批或几批不同功率因数和功率规格的UPS，以备市场现货销售。预选制造出一批或几批UPS的依据就是负载功率因数。当UPS的负载功率因数与负载的输入功率因数相等时，称为完全匹配，此时UPS可输出全部功率。遇到不匹配负载时，就必须降额使用。

有人认为计算机是容性负载，因为计算机电源的输入整流器后面有大容量的电容

器，如图 1-14 所示。

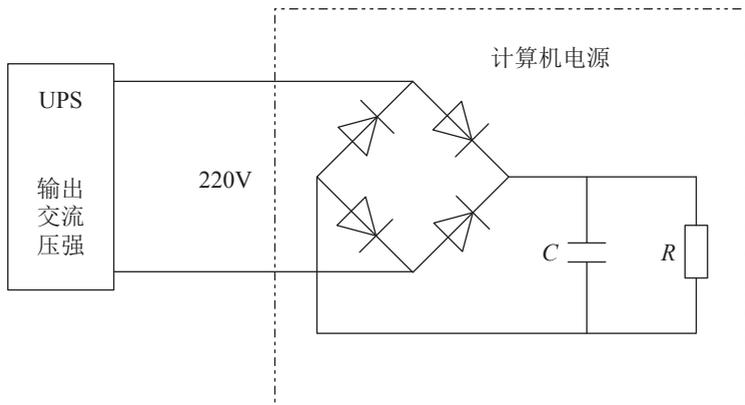


图 1-14 计算机电源原理框图

实际上，如果没有整流器，那么计算机就是名副其实的容性负载，因为整流器的存在而改变了电流波形，从而破坏了电压波形，所以计算机呈现出电感性负载的特征。所以以往凡是使用 220V 的电子设备都是典型的电感性负载。UPS 的输出阻抗是容性的，其负载功率因数的符号应该是“+”。但早期进入我国的所有 UPS 的负载功率因数都是 -0.8，其含义就是这台 UPS 是专为输入功率因数为 -0.8 的负载设计的。因为感性负载的功率因数是负值，所以 UPS 是按负载为感性而设计的，UPS 容性输出的无功功率正好补偿负载的感性无功功率。

3. 效率

效率是负载性质和负载量的函数，是满载（阻性）情况下 UPS 输出的有功功率与输入的有功功率之比。一般来说，UPS 的标称输出功率越大，其系统效率也越高。小容量双变换在线式 UPS（1 ~ 10kVA）的效率为 85% ~ 89%，中容量双变换在线式 UPS（10 ~ 100kVA）的效率为 89% ~ 92%，大容量双变换在线式 UPS（50 ~ 800kVA）的效率为 91% ~ 95%。目前高频机型 UPS 的效率可以达到 95% 以上，Delta 变换式 UPS 的效率可达到 96% 左右。后备式 UPS 和在线互动式 UPS 在市电供电正常时，其效率可达 95% ~ 96%，但处于电池提供能量支持逆变器向负载供电时，其效率与小容量双变换在线式 UPS 处于同一水平。

UPS 的效率高，意味着它的损耗小，机内温度低。带载率不同，UPS 的效率也不一样。

4. 电流峰值系数

电流峰值系数是非线性电流峰值与其均方根值（有效值）之比，常用来说明一个交流电源能够在不失真的情况下输出峰值负载电流的能力。比如正弦波形的峰值系数为 1.414，线性负载一般为 1.41:1，计算机负载一般为 2.4:1 ~ 2.7:1。

对于 UPS 来讲，电流峰值系数主要用于表征 UPS 带脉冲负载的能力，这个系数主

要反映该 UPS 在带脉冲负载时的反应速度和调整速度，是 UPS 选型时要考虑的一个指标。这个比值越大越好，一般要求大于 3:1。一般传统双变换在线式大功率 UPS 的电流峰值系数为 3:1，高频机型 UPS 可以做到 5:1。目前市面上的 UPS 基本上都能满足这一指标要求。

带非线性负载能力强的 UPS 带脉冲负载的能力不一定强。

5. 输出过载能力

UPS 后端的负载设备启动时，一般都有瞬时过载现象发生。输出过载能力表示 UPS 在整流逆变工作模式下可承受瞬时过载的能力与时间。超过 UPS 允许的过载量或允许的过载时间，UPS 一般会转到旁路工作模式，否则容易导致 UPS 损坏。UPS 的过载能力因 UPS 生产厂家与容量的不同而不同：对于大、中容量 UPS 而言，典型值为 125% 负载时 10min，150% 负载时 30 ~ 60s；对于小容量 UPS 而言，典型值为 110% 负载时 10min，130% 负载时 10s。

6. 切换时间

切换时间是指 UPS 从整流逆变模式切换到旁路工作模式或从旁路工作模式切换到整流逆变模式的时间。对于采用快速继电器或接触器作为切换装置的小容量 UPS（额定容量小于 10kVA）来说，切换时间的典型值为 4ms，波动范围为 2 ~ 6ms。对于采用静态开关的大、中容量 UPS 来说，由交流旁路供电切换到逆变器供电的时间几乎为零，由逆变器供电切换到交流旁路供电的时间一般小于 2ms，这个时间是非常短的，不会对用电设备造成断电。

7. 抗三相不平衡负载能力

带三相平衡非线性负载时，三相输出电压幅值差小于 $\pm 1\%$ ，相位差小于 $\pm 1^\circ$ ；带三相不平衡非线性负载时，三相输出电压幅值差小于 $\pm 3\%$ ，相位差小于 $\pm 2.5^\circ$ 。

8. 并机负载电流不均衡度

并机负载电流不均衡度是当两台及两台以上具有并机功能的 UPS 输出端并联供电时，并联的各台 UPS 电流值中与平均电流偏差最大的偏差电流值与平均电流值之比，其典型值为 2% ~ 5%。此值越小，说明并机系统中每台 UPS 所输出的负载电流的均衡度越好。

9. 输出电压

与输出电压有关的指标包括以下几种：

- 标称输出值：单相输入单相输出（单进单出）或三相输入单相输出（三进单出）UPS 为 220V；三相输入三相输出（三进三出）UPS 为 380V，采用三相三线制或三相四线制输出方式。

- 输出电压可调范围：从额定值起最小可调范围。对大、中容量 UPS 而言，为 $\pm 5\%$ ；对小容量单相 UPS 而言，为 208/220/230/240V。
- 输出电压静态稳定度：UPS 在稳态工作时受输入电压变压、负载改变及温度影响造成的输出电压大小的变化。对于中、大容量 UPS 而言，典型值为 $\pm 1\%$ ；对于中、小容量 UPS 而言，典型值为 $\pm 2\%$ 或 $\pm 3\%$ 。
- 输出电压动态稳定度：UPS 在 100% 突然加、减载或者执行市电旁路与逆变器供电的切换时输出电压的波动值。对于中、大容量 UPS 而言，瞬态电压波动值应小于 $\pm 5\%$ ；对于小容量 UPS 而言，瞬态电压波动值应在 $\pm 6\% \sim \pm 8\%$ 。
- 总谐波失真度（Total Harmonic Distortion, THD）：根据用途不同，输出电压不一定是正弦波，也可以是方波或梯形波。后备式 UPS 输出波形多为方波，在线式 UPS 的输出波形一般为正弦波。总谐波失真度一般是对正弦波输出 UPS 来说的，指输出电压谐波有效值的平方和的根与基波有效值的比值。带线性负载时，大、中容量 UPS 的电压总谐波失真度小于 2%，小容量 UPS 的电压总谐波失真度小于 3%。带峰值系数为 3:1 的非线性负载时，大、中容量 UPS 的电压总谐波失真度小于 5%，小容量 UPS 的电压总谐波失真度小于 7%。
- 输出电压动态响应恢复时间：在输入电压为额定值、输出为线性负载、输出电流由零至额定电流（或相反）时，UPS 输出电压恢复到稳压精度范围内所需的时间。对于大多数 UPS 来说，此值应该在 10 ~ 30ms。
- 输出电压频率：UPS 所允许的市电同步跟踪范围。对于大、中容量 UPS，通常为 $50\text{Hz} \pm (0.5 \sim 2) \text{Hz}$ ；对于小容量 UPS，通常为 $50\text{Hz} \pm (0.5 \sim 3) \text{Hz}$ 。UPS 所允许的市电同步跟踪速率，对于大容量 UPS，通常为 0.1 ~ 1Hz/s；对于中、小容量 UPS，通常为 0.1 ~ 3Hz/s。工作在逆变器输出状态时的频率稳定度，对于小容量 UPS，通常为 $50\text{Hz} \pm 0.1\text{Hz}$ ；对于大、中容量 UPS，通常为 $50\text{Hz} \pm (0.5 \sim 0.005) \text{Hz}$ 。

1.4.3 其他指标

1. 保护功能

与保护功能有关的指标包括以下几种：

- 输出短路保护：负载短路时，UPS 应立即自动关闭输出，同时发出声光报警。
- 输出过载保护：当输出负载超过 UPS 的额定负载时，应发出声光报警；超过带载能力时，转为旁路供电。
- 过热保护：UPS 机内运行温度过高时，应发出声光报警，并自动转为旁路供电。
- 电池电压低保护：当 UPS 工作在电池逆变模式时，电池电压降至保护点时，发出声光报警，如果市电旁路有电，则转为旁路供电，否则 UPS 停止供电。
- 输出过/欠电压保护：当 UPS 输出电压超过设定的过电压阈值或低于设定的欠

电压阈值时，发出声光报警，并转为旁路供电。

- 抗雷击浪涌能力：UPS 应具备一定的防雷击和电压浪涌的能力。

2. 工作条件

与工作条件有关的指标包括以下几种：

- 工作温度：指 UPS 工作时应满足的环境温度条件，一般为 0 ~ 40℃。工作温度过高，不但会使半导体器件、电解电容的漏电流增加，还会导致半导体器件的老化加速、电解电容及蓄电池寿命缩短；工作温度过低，则会导致半导体器件性能变差、蓄电池充放电困难且容量下降等一系列严重后果。
- 工作湿度：湿度是指空气内所含水分的多少，有绝对湿度（空气中所含水蒸气的压力强度）和相对湿度（空气中实际所含水蒸气与同温下饱和水蒸气压强的百分比）两种表示方法。UPS 说明书给出的一般是相对湿度，通常为 10% ~ 95%，典型值为 50%。
- 海拔高度：UPS 说明书中所注明的海拔高度是保证 UPS 安全工作的重要条件，UPS 满载运行时海拔高度的典型值为 1000m，某些高档 UPS 可达 1500m。

3. 集中监控和网管功能

为满足对 UPS 运行情况的实时监测要求，当今的 UPS 一般都有如下控制功能。

1) 配置通信接口

小容量的 UPS 应配置 RS-232 接口 /SNMP 适配器通信接口，中、大容量的 UPS 应配置 RS-232、RS-485 接口 /SNMP 适配器通信接口。利用 RS-232、RS-485 接口 /SNMP 适配器通信接口，可在 UPS 和监控平台之间实现数据通信。具体包括：

- 遥测信号：输入电压、电流、频率、有功功率、视在功率和功率因数；输出电压、电流、频率、有功功率、视在功率和功率因数；交流旁路电压、电流和频率；蓄电池的充放电电压和电流等。
- 遥信信号：输入电源故障、整流器故障、逆变器故障、交流旁路电源过 / 欠电压、直流总线电源过 / 欠电压、逆变器电源与市电电源同步 / 不同步、整流器 / 逆变器 / 变压器温升过高以及各种继电器开关的工作状态等信号。
- 遥控信号：可编程的定时“自检测”电池管理、紧急停机、定时开 / 关机、自动拨号 / 短信 / 微信等信号。

2) 提供配套的电源管理软件

用户在相应的网络管理平台上、个人计算机或手机上安装相应的电源管理软件或 App 后，就可以组成功能强大的网管智能化 UPS 系统。在此条件下，用户就能在终端上执行下述操作：

- 调阅在 UPS 监控显示屏上观察到的所有信息；
- 如 UPS 本身发生故障，可自动执行网络广播报警、电话拨号、自动发短信或微信等操作，以便通知值班人员到现场维修；

- 当遇到市电长时间供电中断时，按照用户预定的时序，对位于同一网管系统下的计算机/服务器分批执行有序的数据自动存盘和安全关闭操作系统；
- 专业人员可重新调节、设置/校正 UPS 的运行参数和报警阈值；
- 将“用户自定义”报警信号经 UPS 的通信接口传送到用户的远程集中监控系统。

1.5 UPS 的发展

UPS 不间断电源发展到现在，已经有了很多分支和种类，如 EPS、变频电源、逆变电源、工频机型 UPS、高频机型 UPS、模块化 UPS，等等。UPS 也经过了四代的发展，现在进入高频机时代。

- 第一代 UPS 电源——动态 UPS。利用机械惯性储能以及电动机、发电机的能量传输机制来提供短时间的不间断供电。这种早期产品体积庞大、造价昂贵、噪声巨大，犹如一个小型电厂。
- 第二代 UPS 电源——工频 UPS。有输出变压器，目前常用于功率较大、用电环境较差的场合。
- 第三代 UPS 电源——高频 UPS。高频机型 UPS 的出现进一步提升了功率密度，由于去掉了输出变压器，因此体积减小了 50%，重量也大为减少，从功能模块上提升了维护性，缩短了 MTTR。
- 第四代 UPS 电源——模块化高频 UPS。高频机技术的发展为 UPS 的模块化架构提供了技术可能，模块化的高频 UPS 得以实现。模块化技术使得 UPS 效率上了一个新台阶，同时采用了通信电源成熟的智能休眠功能，让 UPS 系统始终处于最佳效率点。

随着 IT 系统逐步走向集中管理（例如数据中心），UPS 的应用将呈现以下趋势：从单机向冗余结构变化，从注重系统的可靠性向注重系统的可用性变化，从单纯的供电系统向保证整个 IT 运行环境变化等。随着信息技术、电子技术、控制技术的发展，各种先进技术已广泛应用在 UPS 中，UPS 的技术将出现以下发展趋势。

1. 智能化

除完成 UPS 正常运行的控制功能外，可对运行中的 UPS 进行实时监测，对电路中的重要数据信息进行分析处理，从中得出各部分电路工作是否正常；在 UPS 发生故障时，能根据报警信息和监测数据及时进行分析，诊断出故障部位，并给出处理方法；及时采取必要的自身应急保护控制动作，防止故障扩大；完成必要的自身维护，具有交换信息的功能，可以随时向计算机输入或从联网机获取信息。

2. 数字化

采用最新的数字信号控制器（DSP）加以数字化的霍尔传感器，实现 UPS 系统的

100% 数字化运行。

3. 高频化

第一代 UPS 的功率开关器件为可控硅，第二代为大功率晶体管或场效应管，第三代为 IGBT（绝缘栅双极晶体管）。大功率晶体管或场效应管开关速度比可控硅要高一个数量级，而 IGBT 功率器件的电流容量和速率又比大功率晶体管或场效应管大得多和快得多，功率变换电路的工作频率高达 50kHz。变换电路频率的提高，使得用于滤波的电感、电容以及噪音、体积等大为减小，使 UPS 效率、动态响应特性和控制精度等大为提高。

4. 模块化

模块化 UPS 可实现 UPS 内的多模块冗余并机运行，不需另外加设中央控制部件，负载均分，某一模块出现问题时，负载自动转移，维修可带电热插拔，大大提高了单台 UPS 的供电可靠性。

5. 集成化

电子技术和计算机技术的发展，使 UPS 的网络管理可实现远程监控，数字化电源控制技术使产品具备了定制功能，智能化的设计使其成为高度智能化的可监、可控和自适应的设备，UPS 从过去的侧重电气性能指标、可靠性和质量方面，发展到统一标准、规范，进一步提高了 UPS 系统的可靠性、可用性、可管理性、可维护性和可扩展性。

6. 绿色化

各种用电设备及电源装置产生的谐波严重污染电网，而 UPS 是数据中心最大的谐波源。UPS 除加装高效输入滤波器外，还需在电网输入端采用功率因数校正技术，这样既可消除本身由于整流滤波电路产生的谐波电流，又可补偿输入功率因数。目前主流 UPS 的输入功率因数提高到接近于 1，对电网的污染已降到了近似阻性负载的水平。

习题

1. 什么是 UPS？
2. 工频机型 UPS 和高频机型 UPS 的特点分别是什么？
3. 工频机型 UPS 的输出变压器的功能是什么？
4. 静态 UPS 分哪几种？
5. UPS 的容量单位是什么？
6. 简述 UPS 的负载功率因数的含义。

7. 指出下列叙述中的错误。

一台输入功率因数为 1 的 UPS 的容量为 100kVA，输出功率因数为 80%，输出稳压稳频的正弦波电压，具有带感性负载的特点，可以提供 80kVA 的有功功率和 60kW 的无功功率。它的输出变压器就像接在逆变器和负载之间的一个 50Hz 滤波器，具有抗干扰的功能，是一台非常先进的产品。