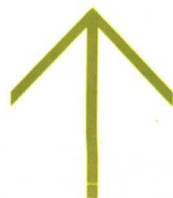


电源实用技术系列书



UPS应用与故障诊断

UPS YINGYONG YU GUZHANG ZHENDUAN

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

- UPS基础理论知识
- UPS工程应用及案例
- UPS故障诊断与维修方法



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TN86/69

2008

电 源 实 用 技 术 系 列 书

UPS应用与故障诊断

周志敏 周纪海 纪爱华 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以 UPS 实用技术为主线,结合国内外 UPS 技术的发展及在国内的应用实践,全面、系统地阐述了 UPS 的最新应用技术。全书共分 9 章,系统地讲述了 UPS 的工作原理与结构、UPS 的冗余技术、蓄电池应用技术、UPS 工程应用设计、UPS 使用与维护技术、UPS 电路故障诊断与处理、蓄电池故障分析与修复、UPS 工程应用案例。本书在写作上把 UPS 的基础理论知识与 UPS 工程应用、故障诊断有机地结合,深入浅出地阐述了 UPS 工程应用中经常涉及的理论知识和工程应用中的系统设计及故障诊断维修方法。

书中介绍了部分品牌 UPS 的故障检修案例,列举了 UPS 在电信机房、IDC 机房、有线电视网管中心、民航管制中心、工业自动化控制、银行等领域的应用案例。全书内容通俗易懂、新颖实用,可供电信、航天、信息、电视传输等行业从事 UPS 应用的工程技术人员和高等院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

UPS 应用与故障诊断/周志敏,周纪海,纪爱华编著.
北京:中国电力出版社,2008
(电源实用技术系列书)
ISBN 978-7-5083-6304-2

I. U… II. ①周…②周…③纪… III. ①不停电电源-使用②不停电电源-故障诊断 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178477 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 502 千字
印数 0001—3000 册 定价 30.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

随着电子技术的高速发展,电气自动化控制及电子信息系统的应用领域越来越广,电气电子设备的种类也越来越多,电气电子设备与人们的工作、生活的关系日益密切,越来越多的控制系统中的重要数据、图像和文字要由信息系统来处理和存储,而电气电子设备都离不开可靠的电源,如果在工作中突然停电,控制、信息系统中计算机随机存储器中的数据 and 程序就会丢失或损坏,从而造成巨大的经济损失。为了避免出现这些情况,必须设计一种电源系统,它能不间断地为负载提供可靠的电源,这就是近年来出现并被广泛使用的 UPS (Uninterruptible Power Supply)。UPS 作为一种重要可靠的电源,已从最初的提供后备电源的单一功能发展到今天提供后备电源及改善电网质量的双重功能,在保护用电系统数据、改善电网质量、防止停电和电网污染对用电系统造成危害等方面起着很重要的作用。

UPS 技术进入 20 世纪 90 年代以来,其发展更是日新月异。但随着自动化、信息化在诸多领域的应用,如航天、军事、电信、工控、信息产业、办公自动化、金融、电视传输等领域都对电源可靠性提出了更高的要求,使得 UPS 的工程设计和应用面临更新更高的挑战。

本书以 UPS 的工程应用、故障诊断与维修为核心,系统地讲述 UPS 工程应用技术。在写作上尽量做到针对性和实用性,力求做到理论和应用相结合,使得从事 UPS 工程设计、应用与维护及检修的技术人员从中获益,读者可以此为“桥梁”,系统地了解 and 掌握 UPS 的工程设计和应用技术。

本书在写作过程中无论从资料的收集还是技术信息交流上,都得到了国内外的专业学者和同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间短,作者水平有限,难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2008 年 1 月

前言

第 1 章 概述	1
1.1 UPS 分类及特点	1
1.2 UPS 的设计与发展趋势	11
第 2 章 UPS 工作原理与结构	21
2.1 UPS 的基本原理	21
2.2 高效 UPS 变换器	38
2.3 大功率 UPS 结构及应用	49
2.4 高频机与工频机	63
第 3 章 UPS 的冗余技术	69
3.1 UPS 的冗余连接技术	69
3.2 “热同步”并机 UPS 供电系统	82
3.3 “T”型连接的 UPS 并联运行方案	86
3.4 UPS 冗余供电系统	88
3.5 并联均流技术	92
3.6 逆变器并联运行	98
第 4 章 蓄电池应用技术	105
4.1 蓄电池技术参数及充放电特性	105
4.2 免维护蓄电池	111
4.3 UPS 蓄电池管理技术	138
第 5 章 UPS 工程应用设计	145
5.1 UPS 的供电环境	145
5.2 UPS 的选择	156
5.3 蓄电池的选择	165
第 6 章 UPS 使用与维护技术	171
6.1 UPS 使用与维护	171
6.2 蓄电池安装与维护	177
6.3 蓄电池的测试技术	187
6.4 UPS 监控系统	195
第 7 章 UPS 电路故障诊断与处理	201

7.1	UPS 的故障性质	201
7.2	UPS 故障检修实例	205
第 8 章	蓄电池故障分析与修复	226
8.1	蓄电池故障分析	226
8.2	蓄电池修复	253
第 9 章	UPS 工程应用案例	261
9.1	UPS 民航管制中心的应用	261
9.2	UPS 在电信机房中的应用	265
9.3	UPS 在 IDC 机房中的应用	275
9.4	UPS 在有线电视网管中的应用	283
9.5	关键领域应用的 UPS 供电系统	289
9.6	UPS 在工程中的应用案例与组网	296
参考文献		305



第1章

概 述

1.1 UPS 分类及特点

1.1.1 UPS 的定义及特点

1. UPS 的定义

UPS 的英文全称是 Uninterruptible Power Supply, 意为不间断电源系统, 是一种含有储能装置, 以逆变器为主要组成部分的恒压恒频的不间断电源。主要为通信系统, 计算机、计算机网络系统或其他电力电子设备提供不间断的电力供应。当市电输入正常时, UPS 将市电稳压后供应给负载使用, 此时的 UPS 就是一台交流市电稳压器, 同时它还向机内的蓄电池充电; 当市电中断 (事故停电) 时, UPS 立即将机内蓄电池的电能通过逆变转换的方法向负载继续供应 220V 交流电, 使负载维持正常工作并保护负载软、硬件不受损坏。可见, UPS 是一种能为负载提供连续电能的供电系统。

UPS 的产生完全是当今社会计算机技术、信息技术以及相关产业飞速发展的必然结果。随着计算机在各行各业的广泛应用, 越来越多的重要数据、图像和文字要由计算机来处理和存储, 如果在工作中突然停电, 计算机中随机存储器中的数据 and 程序就会丢失或损坏。更为严重的是, 如果此时计算机的读写磁头正在工作的话, 极易造成磁头或磁盘的损坏。假如这些数据是银行或证券交易等系统中的数据的话, 后果将更不堪设想。同时, 电网中的一些强脉冲尖峰、高能浪涌等干扰也会引起计算机的误操作而造成不必要的损失。另外, 计算机内部的滤波电容放电只能维持计算机工作 8~10ms, 如果超过这个时间, 计算机就进入自检重启状态。为了避免出现这些情况, 必须设计一种电源系统, 它能在停电后 10ms 内恢复对负载的供电, 这就是近年来出现并被广泛使用的 UPS 系统。UPS 作为计算机的重要外设, 已从最初的提供后备电源的单一功能发展到今天提供后备电源及改善电网质量的双重功能, 在保护计算机数据、改善电网质量、防止停电和电网污染对用户造成危害等方面起着很重要的作用。

UPS 作为保护性的电源设备, 它的性能参数具有重要意义, 选购时应重点考虑。UPS 的市电电压输入范围宽, 则表明对市电的适应能力强 (减少蓄电池放电)。输出电压、频率稳定度高, 则表明对市电调整能力强。而其波形畸变率参数是用以衡量输出电压波形的稳定性, 还有 UPS 效率、功率因数、转换时间等都是表征 UPS 性能的重要参数, 决定了对负载的保护能力和对市电的利用率。性能越好, 保护能力也越强, 总的来说, 离线式 UPS 对负载的保护相对差一些, 在线互动式略优之, 在线式几乎可以解决所有的常见电力问题。当然成本也随着性能的增强而上升。因此用户在选购 UPS 时, 应根据负载对电力的要求程度及负载的重要性不同, 而选取不同类型的 UPS。



2. UPS 的特点

UPS 是能够提供持续、稳定、不间断的电源供应的重要外部设备。从原理上来说, UPS 是一种集数字和模拟电路、自动控制逆变器与免维护贮能装置于一体的电力电子设备。从功能上来说, UPS 可以在市电出现异常时, 有效地净化市电, 还可以在市电突然中断时持续一定时间给计算机等设备供电。从用途上来说, 随着信息技术的广泛应用, UPS 也被广泛地应用于从信息采集、传送、处理、储存到应用的各个环节, 其重要性是随着信息应用重要性的日益提高而增加。UPS 的特点有:

(1) 电源可靠性高。由于 UPS 为负载提供了主、备两套供电系统, 而且备用电源和主电源通过静态开关进行切换。由于切换时间极短且主、备电源始终保持锁相同步, 故停电时从负载侧看, 电源没有丝毫的中断。这就为负载连续、可靠地运行提供了强有力的保障。当市电供电中断时, 在线正弦波输出式 UPS 对负载供电的转换时间为零, 后备式 UPS 在市电供电与逆变器供电之间有一定的转换时间, 且负载在转换瞬间要承受较高的电压冲击并有可能出现瞬间的交流短路现象, 因此在使用时一定要注意这一点。

(2) 电源供电质量高。对负载能实现稳压稳频供电, 在市电电压变化范围为 $180\sim 250\text{V}$ 时, 其输出电压稳定范围为 $220\text{V}\pm 5\%$ 。由于采用了微处理器控制的电子负反馈电路, UPS 的输出电压稳定度较高, 可达 $\pm 0.5\%\sim \pm 2\%$ 。同时又由于 UPS 利用石英晶体振荡来控制逆变器的频率, 故输出频率稳定, 稳定度可达 $\pm 0.01\%\sim \pm 0.5\%$; 电压失真度小 (电压畸变小于 1% 时, 不存在谐波失真的问题)。

(3) 效率高, 损耗低。由于 UPS 中的逆变器采用了 PWM (脉冲宽度调制) 技术, 因此它具有开关电源的一系列优点。通过精确调整脉冲宽度, 可保证稳定功率输出的同时, 开关管在截止期间没有电流流过, 故自身损耗小, 其供电效率可达 90% 以上。

(4) 噪声比较小, 波形失真系数小, 一般小于 3% 。

(5) 故障率低, 维护容易。由于采用了微处理器监控技术和先进的绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 及正弦波脉冲宽度调制技术 (SPWM) 等, 目前 UPS 已达到了极高的可靠性水平。对于大型 UPS 来讲, 其单机的年均无故障工作时间 (MTBF) 超过 20万 h 。如果采用双总线输出的多机“冗余”型 UPS 供电系统, 其 MTBF 甚至可达 100万 h 数量级。

3. UPS 电路结构

目前市场上 UPS 的品牌很多, 性能也各有特点。不论什么品牌, 根据目前的技术水平, 从电路结构上可归纳为以下几类。

(1) 双变换电路。

1) 传统式双变换结构。这是一种目前应用历史最长, 人们认为性能最好的一种 UPS。它的特点是除整流器、逆变器外还带有输出隔离变压器, 可以将负载与市电进行有效的隔离和缓冲。过去由于电力电子器件的限制, 缺少高耐压、大电流的功率器件设计逆变器, 整流器输出的直流电压不能很高, 所以逆变器输出的交流电压比较低, 需要输出隔离变压器再进行一次升压。它的工作特点是交流市电经整流器变为稳压直流, 经过电容滤波后由逆变器变换为纯净的交流电, 再经输出隔离变压器输出稳定适用的电压。这类 UPS 除作单机运行外, 还可并联增容和冗余。输出电压无三次谐波、对两个方向上的电压变化都有缓冲作用、负载电压上无直流分量、允许逆变器在很宽的直流电压范围内工作、中线上无电流、UPS 在多台并联时可共享一组蓄电池组或各具有自己的蓄电池组, 容量可做得很大。由于负载功率 100% 通过这两个变换器, 因此属于串联调整范畴。

在超过 30kVA 的大功率中, 这是目前被认为性能最好的 UPS 结构, 容量可做到



500kVA 以上。由于这种 UPS 的正常工作状态就是逆变器工作状态,所以才有上述这些优良功能。在很多重要部门如电视台、新闻单位、石化、航空、金融等单位大都采用了此类结构的产品。

但在小功率中,由于电力电子器件已能够满足小功率使用的高电压设计,带输出隔离变压器的小功率 UPS 存在输入谐波污染高和效率低下、体大笨重等固有缺陷,这类结构在国际上已属淘汰之列。

2) 高频双变换结构。高频双变换结构为不带输出隔离变压器的串联调整式 UPS。这种结构的 UPS 基于高耐压、大电流的功率器件的成功应用,没有输出变压器,输入采用 PFC 功率因数校正,直流电压高,逆变器输出电压经滤波后可直接达到标准的市电电压。这种结构的 UPS 解决了传统式双变换结构体积大、效率低和造价高的问题。和传统式双变换结构的不同在于没有输出隔离变压器,而且逆变器的脉宽调制频率比传统式双变换结构高,传统式双变换结构一般在 10kHz 以下,而这里一般在 20kHz 或以上。

由于没有输出隔离变压器,因此也就没有隔离和缓冲的余地,对直流电压的要求也比前者严格:其输出电压直接受负载变化的影响,逆变器功率管在接近满载时比传统式容易损坏,由于没有输出隔离变压器,负载中线隔离和缓冲不太好控制,输出电压零线上有不易限制的谐波电流,因而零线电位不为零,在负载上有直流分量。

和传统式双变换结构(带输出隔离变压器)的串联调整式 UPS 相比,这种结构 UPS 的输入功率因数普遍较高(10kVA 以下可以达到 0.99, 10~20kVA 可达 0.95 以上),效率也高(20kVA 以下效率可以提高 20%~30%),体积小,质量小,在 20kVA 以下功率产品中已成为国际标准的产品。但这种结构的 UPS 容量也不易做得太大,一般做到 30kVA 左右,高的也有达到 80kVA 的,但并不普遍。目前国际上超过 30kVA 的技术和可靠性还不是很成熟。

(2) 三端口结构。三端口结构 UPS 是为了解决双变换结构中,变换器长期工作效率难以进一步提高的问题而出现的一种电路结构。这种 UPS 的结构特点是省去了输入整流器,其整流、充电功能由电路中唯一的双向变换器完成,逆变器处于后备状态工作。输入与输出之间采用参数稳压器的工作方式,通过对逆变器电流的方向和大小的调节稳定输出电压,仍可保证输出电压的稳定度和串联调整 UPS 的效果一样,属并联调整方式,其常规性能指标与传统双变换 UPS 一样,过载能力强,市电供电状态满载工作时效率比较高。但这种结构的不足是空载损耗大,而且输入电压调节范围太窄。

三端口单变换电路和双变换电路一样也有在线和离线工作模式之分。早在 20 世纪 70~80 年代,我国就有了三端口后备式 UPS,20 世纪 80 年代末 90 年代初, FISKAR 公司推出了 DELTEC8/9000 在线单变换 UPS 系列,功率从 2.4kVA 做到 56kVA,其输出电压稳定度也同样做到了 $\pm 2\%$,其他常规指标也和传统式双变换电路一样。其缺点就是输入功率因数太低,输出电压稳定度一般做得都不高。

在线互动式单变换 UPS 是典型的三端口结构,其工作模式属于并联调整范畴。在线互动式单变换运行效果也是在线式的,即当市电在一定范围内变化时,负载主要由经过粗稳和滤波的市电提供,只有当市电异常时,才由逆变器全力向负载供电,这时的功能和双变换结构一样。在线互动式结构 UPS 的正常调整功能不是参数稳压器,而是采用了变压器抽头串联调节方式,虽然消除了对输入功率因数失真的附加作用,但同时也降低了输出电压的精度。因此,开始的主要应用对象是计算机之类的负载,这是因为计算机之类负载对交流电压的精度要求不高。这种结构 UPS 的切换时间也可做到 0。



(3) Delta 电路结构。UPS 从电路结构上讲, 双变换 UPS 属于串联调整工作模式, 在线互动式属于并联调整工作模式, 而 Delta 电路结构则是串并联联合调整工作模式, 因此它不但具备了上述两种 UPS 的优点, 而且又将双变换模式和在线互动式单变换 UPS 的功能提高到了一个新阶段: 它的得尔塔 (Delta) 双向变换器具有将输入功率因数调整到接近于 1, 系统效率提高到 97%, 过载能力可在 200% 维持 60s, 隔离干扰的能力更强等功能, 并可多至 9 台并联运行。

串并联调整结构 UPS 是并联调整式三端口 UPS 的重大改进, 通过采用双向逆变器代替参数稳压器, 产生既有串联调整又有并联调整的双重调整结构。而且这种双重调整结构既有电流源又有电压源, 不仅把三端口 UPS 的功能提高到了崭新的阶段, 保存了原来的全部优点, 而且解决了原有的空载低效、电网适应范围窄的缺点, 同时又具有高效率、高输入功率因数的特点。

除此以外, 其输出电压稳定度等常规指标也做得和双变换电路一样, 并且还可多机并联, 因此该电路使 UPS 的变换技术出现了新的发展方向。

串并联调整结构 UPS 的电流源得尔塔逆变器可将输入功率因数调整到 1, 这就意味着它对电网不产生干扰、对 UPS 的输入电缆、熔断器和开关甚至发电机等无须增加太大的余量, 理论上前面的这些环节的功率容量只需和 UPS 的相当就可以。而传统式双变换结构的串联调整式 UPS 即使进行优化设计, 其输入功率因数也难以达到 0.9。虽然高频双变换结构的串联调整式 UPS 可达到 0.98 以上, 但其效率指标却难以提高。

串并联调整结构 UPS 的输出, 由于是并联双路供电, 可输出 100% 额定容量有功功率值, 并具有过载 200%/1min 的能力。对于串联调整式双变换 UPS 和在线互动式 UPS, 只能输出 80% 额定容量的有功功率值, 而过载能力一般都是 150%/30s。串并联调整结构 UPS 具有 5:1 的峰值电流比, 一般传统双变换 UPS 的峰值电流比是 3:1, 只有部分高频 UPS 和在线互动式 UPS 可达到 5:1。

目前多数 UPS 的功率因数比较单一, 大功率一般在 0.8, 还有的为 0.95, 小功率的有 0.6、0.7、0.8 不等。单输出功率因数只能适应有限的负载。串并联调整结构 UPS 有着宽范围的输出功率因数, 其功率因数为 0.6~0.9; 并具有良好的电磁兼容能力: 串并联调整结构 UPS 良好的电磁兼容能力主要是因为它除了具有常规的 RFI 和 EMC 等电路环节外, 还有 Delta 变换器电流源的内阻, 这就更加有效地隔离了来自输入和输出两个方向上的干扰, 因此加强大了其电磁兼容能力。

Delta 电路结构是由双变换和单变换电路发展而来的, 不但具备二者的优点: 如既具有双变换 UPS 输出电压高稳定度 ($\pm 1\%$) 的优点, 又具有在线互动式单变换 UPS 高效率的优点等, 而且又高于二者: 如上面所说的近于 1 的输入功率因数, 高于二者的过载能力等。似乎应属于双变换范畴, 但又区别于传统的双变换。传统双变换的两个变换器都是单向工作的, 即第一个变换器只作正向变换——整流, 而第二个变换器只作反向变换——逆变, 而这种电路结构的变换器都是双向工作; 传统双变换的两个变换器是各自独立工作的, Delta 电路结构的两个变换器在市电正常供电时, 不但一直在作双向变换, 而且是互控互补的, 即这两个变换器必须同时工作, 缺一不可。两个变换器的工作状态就好像有两套反向并联的双变换 UPS 的整流器和逆变器在倒替工作。

因此, Delta 电路结构既同于双变换电路, 又不完全同于双变换电路, 且高于双变换电路。从变换器的双向工作方式来看, 又应属于三端口电路范畴, 三端口 UPS 又是单变换器结构, 而这里是两个变换器, 因此又不完全是三端口电路, 其功能又比单变换的三端口



UPS 好得多。

Delta 电路结构是由双变换和三端口两种结构共同发展而来的一种新型电路结构,也是 UPS 发展的必然趋势,所以能够这样说,是因为目前用户对 UPS 有以下几个方面要求。

- 1) 要求 UPS 不要对电网形成干扰,也不要受电网干扰。
- 2) 要求 UPS 的效率要高,即尽量充分利用电网的能量。
- 3) 要求 UPS 的过载能力要强。
- 4) 要求 UPS 的输出电压稳定度要高。
- 5) 要求 UPS 的输出功率因数在 0.6~1 范围内。
- 6) 要求 UPS 要符合 EN50091-1 和 EN50091-2 标准。
- 7) 要求 UPS 在保证上述功能的情况下,价格要低。
- 8) 要求 UPS 具有完善的监控功能和网络功能。

1.1.2 UPS 的分类

自从第一台采用电子调节技术的不间断交流稳压电源问世以来,经过几十年不断的努力与改进,不间断电源技术走过了快速发展的历程,主要研发了几种不同技术的产品:普通后备式 UPS、铁磁共振式 UPS、线路交互式 UPS、三端口式和在线式 UPS。目前,市场上 UPS 品牌和种类繁多,但可从电路主结构、后备时间、输入输出方式、输出波形和输出容量等五方面对其进行分类,其中按电路主结构进行分类是目前最常用的分类方法。

1. 按电路主结构分类

(1) 离线式 UPS。离线式是指 UPS 在市电电压、频率不超过设计范围时,直接用市电向负载供电,在市电电压、频率超过设计范围时,采用逆变器供电,一般输出电压范围为 $220\text{V} \pm 10\%$ 或 15% 。离线式 UPS 直接把输入线和输出线相连,当主电压出故障时切换成蓄电池供电,所以也称为后备式 UPS 或切换 UPS,它在线路电压降到停机临界点时才进行电源保护。

后备式 UPS 在市电正常供电时,市电通过交流旁路通道再经转换开关直接向负载提供电源,机内的逆变器处于停止工作状态。这种 UPS 在实质上相当于一台稳压性能极差的市电稳压器。它除了对市电电压的幅度波动有所改善外,对市电电压的频率不稳、波形畸变以及从电网串入的干扰等不良影响基本上没有任何改善。只有当市电供电中断或低于 170V 时,蓄电池才对 UPS 的逆变器供电,并向负载提供稳压、稳频的交流电源。后备式 UPS 的优点是运行效率高、噪声低、价格相对便宜,主要适用于市电波动不大、对供电质量要求不高的场合。

早期的后备式 UPS 在市电供电正常时,市电直接通过交流旁路和转换开关向负载供电,交流旁路相当于一导线,逆变器不工作,此时供电效率高但质量差。近年出现的后备式 UPS 在交流旁路上配置了交流稳压电路和滤波电路加以改善。当市电异常(市电电压、频率超出后备式 UPS 允许的输入范围或市电中断)时,后备式 UPS 通过转换开关切换到蓄电池供电状态,逆变器进入工作状态,此时输出波形为交流正弦波或方波。后备式 UPS 存在切换时间,一般为 4~10ms,但对一般的计算机设备的工作不会造成影响。由于后备式 UPS 工作时输出波形大都为方波,供电质量相对较差,只适用于对供电要求不高的场合,并且功率一般都较小,多在 2kW 以下。但后备式 UPS 产品有着价格优势,比较便宜,适合于小型办公企业和家庭用户使用。后备式 UPS 的性能特点是:

- 1) 当市电存在时,效率高,可达 98% 以上。
- 2) 当市电存在时,输入功率因数和输入电流谐波取决于负载电流,UPS 本身不产生附



加输入功率因数和谐波电流失真。

3) 当市电存在时, 输出能力强, 对负载电流波峰系数、浪涌电流系数、输出功率因数、过载等没有严格的限制。

4) 市电掉电时, 输出有转换时间, 一般可做到 4ms 左右, 足以满足负载要求。

5) 当市电存在时, 输出电压稳定精度差, 但能满足负载要求。

6) 当市电存在时, 整机要靠附加滤波电路提高 UPS 双向抗干扰功能。

7) 电路简单, 成本低, 可靠性高。

8) 由于输出有转换开关, 受切换电流能力和动作时间的限制, UPS 输出功率做大有一定困难, 当前市面上的后备式 UPS 多在 2kVA 以下。

通常后备式 UPS 的主要技术指标包括:

1) 容量: 指 UPS 的带负载能力, 容量越大所能够带的负载越多。

2) 交流输入电压范围: 指 UPS 在交流市电状态下的工作范围, 范围越宽对电网的适应能力越强。

3) 交流稳压输入范围: 指 UPS 在该交流输入电压范围内具有稳压的功能。

4) 交流稳压输出范围: 指 UPS 在交流输入电压范围内输出电压的稳定范围或称稳压精度。

5) 输出频率范围: 指 UPS 在市电中断时输出的频率, 国家标准规定为 $50\text{Hz} \pm 2.5\text{Hz}$ 。

6) 切换时间: 指 UPS 在市电中断瞬间转为蓄电池工作的转换时间, 国家标准规定 $\leq 10\text{ms}$ 。

7) 备用时间: 指 UPS 在额定容量负载情况下, 市电中断后转为蓄电池供电而能够持续的时间。

在正常情况下, 后备式 UPS 电能传送的主回路是电网电能。在主回路中有一些简单的稳压和干扰滤波环节来保证电源输出电压的稳定, 此时, 蓄电池处在充电状态, 直到蓄电池充满为止。当电网电压或电网频率超出 UPS 的输入范围时, 即非正常的情况下, 后备蓄电池开始工作, 此时蓄电池的电能通过逆变电路转换成交流正弦波电压或方波电压给负载供电。正弦波输出的后备式 UPS 的波形失真系数在 5% 以内。

(2) 在线式 UPS。在线式 UPS 在市电正常供电时, 首先将市电交流电源变成直流电源, 然后进行脉宽调制、滤波, 再将直流电源重新变成交流电源, 即它平时是由交流电经整流后又以逆变器方式向负载提供交流电源。一旦市电中断, 立即改由蓄电池以逆变器方式对负载提供交流电源。因此, 对在线式 UPS 而言, 在正常情况下, 无论有无市电, 它总是由 UPS 的逆变器对负载供电, 这样就避免了所有由市电网电压波动及干扰带来的影响。显而易见, 在线式 UPS 的供电质量明显优于后备式 UPS, 因为它可以实现对负载的稳频、稳压供电, 且在由市电供电转换到蓄电池供电时, 其转换时间为零。

在线式 UPS 通常由逆变器输出向负载供电, 只有当 UPS 发生故障、过载或过热时才会转为由旁路输出给负载。在线式 UPS 的特点如下:

1) 输出的电力经过 UPS 的处理, 输出电源品质高。

2) 无转换时间。

3) 结构复杂, 成本较高。

4) 保护性能最好, 对市电噪声以及浪涌的抑制能力强。

当市电正常供电时, 市电经滤波回路及突波吸收回路后, 分为两个回路同时工作, 其一是经由充电回路对蓄电池组充电; 另一个则是经整流器、逆变器转换提供电力, 供负载使



用。此时若市电发生异常,逆变器的输入则改由蓄电池组提供电能,逆变器持续提供电力没有中断,这就是在线式 UPS 的工作方式。由此可知,在线式 UPS 的输出完全由逆变器来供应,因此不论市电的电力品质如何,其均能提供高质量的电能。在线式 UPS 按电路结构分为:

1) 双逆变在线式 UPS。双逆变在线式 UPS 在市电正常时,在线式 UPS 输入交流电压,通过充电电路不断对蓄电池进行充电,同时整流器 (AC/DC) 将交流电压转换为直流电压,然后通过脉冲宽度调制技术由逆变器 (DC/AC) 再将直流电压逆变成交流正弦波电压并供给负载,起到无级稳压的作用。而当市电中断时,后备蓄电池开始工作,此时蓄电池的直流电压通过逆变器转换成交流正弦波或方波并供给负载,因此无论是在市电供电正常时还是在线电中断期间,逆变器始终处于工作状态,这就从根本上消除了来自电网的电压波动和干扰对负载的影响,真正实现了对负载的无干扰、稳压、稳频以及零转换时间。在线式 UPS 的这种特点使它比较适合于用外加蓄电池或加装优质发电机的方法配置成长时间的不间断供电系统。在线式 UPS 输出多为正弦波,电压和频率比较稳定,所以它多被用在供电质量要求很高的场所。双逆变在线式 UPS 的性能特点如下:

a) 因为不管市电有无,负载的全部功率都由逆变器给出,所以可以向负载提供高质量的电源,例如输出电压稳定度、频率稳定度、输出电压动态响应、波形、失真度等指标,都是比较高的。

b) 市电掉电时,输出电压不受任何影响,没有转换时间。

c) 因为无论市电有无,全部负载功率都由逆变器供出,UPS 的功率余量有限,输出能力不理想,所以对负载提出限制条件,例如输出电流峰值系数 (一般只达到 3:1)、过载能力、输出功率因数 (一般为 0.8)、输出有功功率小于标定的 kVA 数,应付冲击性负载的能力等。

d) 由于整流器对电网形成电流谐波干扰,输入功率因数低,经滤波后,最小的谐波电流成分在 10% 左右,而输入功率因数只有 0.8 左右,如果在整流器中使用功率因数校正技术,则可把输入功率因数提高到接近 1,输入电流谐波成分也会大幅度降低。

e) 在市电存在时,由于整流器和逆变器都承担 100% 的负载功率,所以整机效率低,10kVA 以下的 UPS 为 80% 左右,50kVA 的可达 85%~90%,100kVA 以上的可达 90%~92%。

2) 双逆变电压补偿在线式 UPS。双逆变电压补偿技术也称 Delta 技术,是目前国际上最先进的技术,它成功地将交流稳压技术中的电压补偿原理运用到 UPS 的主电路中。当市电正常时,两组逆变器只对输入电压与输出电压的差值进行调整和补偿,逆变器承担的最大功率仅为输出功率的 20%,所以功率强度很小,功率裕量大,这就增强了 UPS 的输出能力和过载能力,不再对负载电流波峰系数予以限制,可从容地对付冲击性负载,也不再对负载功率因数进行限制,输出有功功率可以等于标定的 kVA 值。由于 Delta 技术的运用不仅弥补了原来在线式 UPS 的不足,还使得 UPS 的许多主要指标有了新的突破。双逆变电压补偿在线式的性能特点如下:

a) 因为逆变器 2 随时监视控制输出电压,并通过逆变器 1 参与主回路电压的调整,所以不管市电有无,都可以向负载提供高质量的电源,例如输出电压稳定度、频率稳定度、输出电压动态响应、波形失真等指标都是比较高的。

b) 市电掉电时,输出电压不受影响,没有转换时间。当负载电流发生畸变时,也由逆变器 2 调整补偿。

c) 当市电存在时,逆变器 1 和 2 只对输入电压与输出电压的差值进行调整和补偿,逆



变器承担的最大功率（当输入电压处于上限和下限时）仅为输出功率的 20%（相当于输入电压变化范围），所以功率强度很小（1/5），功率余量大，这就大大增强了 UPS 的输出能力，与双逆变在线式相比，过载能力增强（200%/1min）。由于两个逆变器承担的最大功率仅为输出功率的 1/5，所以整机效率在很大的功率范围内都可达到 96%。由于逆变器功率强度仅为设计值（逆变器 2）的 1/5，所以元器件乃至整机的寿命和可靠性必然大幅度提高。

d) 逆变器 1 同时完成了对输入端功率因数的校正功能，使输入功率因数等于 1，输入谐波电流降到 3% 以下。

3) 在线互动式 UPS。在线互动式 UPS 是基于在线式 UPS 发展起来的一种新技术，其蓄电池、逆变器和输出始终处于连通状态。在市电供电状态下，逆变器反相工作，为蓄电池充电；市电异常时，转换开关断开，由蓄电池提供电能。在线互动式 UPS 的逆变器和输出总是处于连通状态，对电源起到滤波及削波作用，具有优越的电源保护功能。在线互动式 UPS 具有稳压精密、运行稳定、智能化和安全保护等特点。

在线互动式 UPS 是介于后备式 UPS 和在线式 UPS 工作方式之间的 UPS 设备，它集中了后备式 UPS 效率高和在线式 UPS 供电质量高的优点。在线互动式 UPS 的逆变器一直处于工作状态，具有双向功能：在市电正常时，UPS 的逆变器处于反向工作状态，给蓄电池组充电，起充电器的作用；在市电异常时，逆变器立刻转入逆变工作状态，将蓄电池组的直流电压转换为交流正弦波并输出。在线互动式 UPS 也有转换时间，但比后备式 UPS 短，保护功能较强。另外，它还采用了铁磁谐波变压器，在市电供电时具有较好的稳压功能。由于充电器与逆变器共享一个模块，在给蓄电池组充电时，由逆变器产生的高频成分很难被滤掉，充电效果不是非常令人满意，因此不适合长延时的 UPS。在线互动式 UPS 的价格远远低于在线式 UPS，而只比后备式 UPS 价格稍高，因此也是一种适合小型办公或家庭使用的 UPS。在线互动式 UPS 的性能特点如下：

a) 当市电存在时，效率高，可达 98% 以上。

b) 当市电存在时，输入功率因数和输入电流谐波成分取决于负载电流，UPS 本身不产生附加输入功率因数和谐波电流失真。

c) 当市电存在时，输出能力强，对负载电流峰值系数、浪涌电流系数、输出功率因数、过载等没有严格的限制。

d) 市电掉电时，因为输入开关存在开断时间，致使 UPS 输出仍有转换时间，但比后备式要小。

e) 市电存在时，输出电压稳定精度差，但能满足负载要求。

f) 市电存在时，因为逆变器直接接在输出端，并且处在热备份状况，对输出电压尖峰干扰有滤波作用。

g) 电路更简单，成本低，可靠性高。

h) 逆变器同时有充电功能，省掉了后备式 UPS 的附加充电器，其充电能力要比附加充电器强得多，当要求长延时供电时，无须再增加机外充电设备。

i) 由于逆变器与输出直接接在一起，没有转换开关的限制，所以输出功率可提高到 5~10kVA。为了进一步改善在线互动式的功能，可在输入开关和智能调压之间串接一个电感，目的在于当市电掉电时，逆变器可立即向负载供电，因为串联电感对逆变输出反馈到电网的电流有很强的抑制作用，避免了输入开关未断开时短路逆变器输出的危险，这样做可以使在线互动式的转换时间减小到零，使其完全具备双逆变在线式的转换功能，同时还增加了整个



UPS 的抗干扰能力。但是,这样做却带来了降低 UPS 输入功率因数的不良后果。

在线互动式 UPS 的出现兼顾了后备式和在线式两种 UPS 的优点,因此很快得到了用户的认可。在线互动式 UPS 和传统在线式 UPS 的主要区别有 3 点:

a) UPS 输出电压的稳压度。2kVA 以下的在线互动式 UPS 的输出电压有一个较宽的变化范围,有的超过了 $\pm 10\%$,而双变式 UPS 仅为 $\pm 2\%$,这就造成了一些用户认为在线互动式 UPS 输出电压不稳定,无法给计算机使用。因为小容量的 UPS 负载绝大多数是 PC 机,而 PC 机对交流输入电压的变化范围要求不高。在线互动式小功率 UPS 省去了过细的稳压环节,提高了可靠性。3kVA 及以上的在线互动式 UPS 都增加了稳压环节,将输出电压稳定在 15% 以内,这是因为考虑到容量较大的 UPS 负载不仅有 PC 机或服务器,而且有其他设备。

b) 在线互动式和传统在线式 UPS 的切换时间。在线互动式小功率 UPS 有 2ms 切换时间,传统(双变换)在线式 UPS 的切换时间不为零。以往的小功率 UPS 的说明上大都标明切换时间为“0”,实际上这是不确切的。在市电正常时,整流器将输出的直流一方面为蓄电池充电,另一方面向逆变器提供能量。当市电不正常或断电时,UPS 输入自动断开与市电的联系,逆变器转而向蓄电池索取能量,即当整流电压低于蓄电池电压时,则蓄电池转充电为放电,没有任何“切换”,也就没有“切换时间”。但是,当逆变器过载或故障时,必须将负载切换到旁路上去,这个切换过程不可能为零,当逆变器恢复正常后,负载必须由旁路切换回逆变器上,许多小功率 UPS 的切换是靠继电器实现的,从而延长了切换时间。实际上,切换时间对计算机的影响是很小的。小功率 UPS 的负载一般都是计算机,而一般的计算机是允许十几毫秒甚至几十毫秒断电的。

c) 在线互动式和传统在线式 UPS 的频率稳定度。由于在线互动式 UPS 在市电正常时不启动逆变器,这种 UPS 的输出频率随市电频率而变,即负载上的电压频率就是市电频率,无论是在线互动式还是传统在线式 UPS,一般对输入电压频率稳定的要求大都是 $50\text{Hz} \pm 5\%$ 。如果市电频率变化超过这个值,此两种 UPS 都改变到蓄电池供电状态,这时输出电压的频率稳定度都较高。在线互动式 UPS 输出电压频率在 $50\text{Hz} \pm 5\%$ 内变化,而传统在线式 UPS 的输出电压频率同样在 $50\text{Hz} \pm 5\%$ 范围内随市电变化,因为一般传统在线式 UPS 都有锁相环节,在市电频率 $50\text{Hz} \pm 5\%$ 范围中,UPS 输出电压的频率不但与市电同频率而且同相位,换言之,传统在线式 UPS 的输出频率在市电正常时也是随市电而变的,而在其说明书中所标明的例如 $\pm 1\%$ 或 $\pm 5\%$ 等都是在蓄电池供电时的情况,这一点和在线互动式相同。

综上所述,在供电质量方面,在线互动式和传统在线式两种 UPS 有着同等的供电效果。不过,在某些具有特殊要求的负载情况下也应作不同的选择,由于在线互动式 UPS 效率很高,故可将工作温度扩展为 $0\sim 45^{\circ}\text{C}$,而传统在线式 UPS 的工作温度一般都在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

2. 按后备时间分类

(1) 标准机。配备有内置蓄电池组的 UPS 称为标准机。由于受体积和质量的限制,标准机仅局限于中、小功率的 UPS。标准机一般配置小容量的蓄电池,所以后备时间不长。现行的标准机大多采用 7Ah (安时)/12V 的蓄电池。功率越大,它所用蓄电池的节数越多,如 1kVA 的在线式 UPS 用 3 节 7Ah/12V 的蓄电池,3kVA 的用 8 节,6kVA 的用 20 节。蓄电池的使用数量取决于蓄电池的规格和 UPS 的充电电压。因为大功率 UPS 的充电电压比小功率 UPS 的充电电压要高,因此对于同一规格的蓄电池,大功率 UPS 所使用的蓄电池的节数就要比小功率 UPS 多。

(2) 长效机。需外接蓄电池组的 UPS 称为长效机,长效机的容量从几百伏安到几十千



伏安。在实际应用中长效机有着很大的机动性，用户可以根据自己所需后备时间的长短来确定采用何种容量的蓄电池。UPS 的后备时间与蓄电池容量的关系可以根据以下的公式来确定

$$C = \frac{PP_F}{U\eta C_1} \quad (1-1)$$

式中 C ——蓄电池容量，Ah；

P ——UPS 的额定功率，VA；

P_F ——UPS 的功率因数；

U ——蓄电池组的直流端电压，为单节蓄电池额定电压与蓄电池节数的乘积；

η ——逆变器的效率，为 0.86；

C_1 ——蓄电池的放电速率，该值可以根据 UPS 所需后备时间 t 的长短在蓄电池的放电曲线图上查得，例如当 $t=1\text{h}$ ， $C_1=0.55$ ； $t=2\text{h}$ ， $C_1=0.35$ ； $t=4\text{h}$ ， $C_1=0.20$ ； $t=8\text{h}$ ， $C_1=0.11$ 。

3. 按输入输出方式分类

根据输入输出方式，可分为单相输入/单相输出 UPS、三相输入/单相输出 UPS 和三相输入/三相输出 UPS。

小功率 UPS 都采用单相输入/单相输出方式，而中、大功率 UPS 多采用三相输入/单相输出和三相输入/三相输出方式。对于用户来说，采用三相供电时市电配电和负载配电比较容易，每一相都承担一部分负载电流。

4. 按输出波形分类

按输出波形，可分为输出波形为正弦波的 UPS 和输出波形为方波的 UPS。方波输出的 UPS 带负载能力差（负载量仅为额定负载的 40%~60%），不能带感性负载。如所带的负载过大，方波输出电压中包含的三次谐波成分将使流入负载中的容性电流增大，严重时损坏负载的电源滤波电容。

正弦波输出的 UPS 的输出电压波形畸变度与负载量之间的关系没有方波输出 UPS 那样明显，带负载能力相对较强，并能带一定的感性负载。

5. 按输出容量分类

按输出容量，可分为微型 UPS（输出功率 $\leq 1\text{kVA}$ ）、小型 UPS（ $1\text{kVA} < \text{输出功率} \leq 5\text{kVA}$ ）、中型 UPS（ $5\text{kVA} < \text{输出功率} \leq 30\text{kVA}$ ）以及大型 UPS（ $30\text{kVA} < \text{输出功率} \leq 100\text{kVA}$ ）。

从上述的几种 UPS 来看，在线式 UPS 的性能最佳，其电路设计也是最完善和最复杂的。目前应用较多的采用计算机控制的小型在线式 UPS 的工作过程如下：市电电源先经过输入滤波器，将市电中的高频电磁干扰、射频干扰、尖峰脉冲等干扰进行吸收、抑制处理，然后分成 4 路进入下面不同的处理部分：

（1）送到具有“功率因数校正功能”的整流器输入端进行整流处理。

（2）进入 UPS 锁相同步电路，提取同步信号以便逆变器在市电停电时将蓄电池组产生的直流电进行瞬时同步逆变，保证负载侧供电的同步连续性。

（3）经充电器对 UPS 所配置的蓄电池组进行充电，以便市电中断时向逆变器提供充足的逆变能源。

（4）直接经交流旁路供电馈送到切换开关的动断触点上。这样设计的目的是为了在逆变器或微处理器发生故障时直接由市电向负载供电，以避免负载供电中断，同时启动蜂鸣器报



警,提示值班人员采取措施。这也是 UPS 高可靠性的一个体现。

1.2 UPS 的设计与发展趋势

1.2.1 UPS 的设计趋势

以 UPS 作为各类机房的高质量、高可靠电源,已成为要求不间断供电负载的最常用的电源组合。由于开关电源技术及软件技术的发展和运用,UPS 产品设计理念 and 过去已有显著不同。现在已开发的 UPS 产品趋势是:小型轻量化、智能型操作与监控、高整机效率及高输入功率因数运行、环境保护设计及具有高的性价比。

为了使 UPS 产品的设计能符合上述 UPS 产品趋势,UPS 的制造商所采取的设计理念是:主电路结构的简化;控制电路的全微处理器化;软开关切换技术的运用;不同包装技术的运用;镍氢蓄电池的采用;在线监控技术的采用。这 6 个设计理念对应于 UPS 产品趋势的重要相关性见表 1-1。

表 1-1 UPS 产品趋势的重要相关性

设计理念	主电路结构的简化	控制电路的全微处理器化	软开关切换技术	不同包装技术	镍氢蓄电池	在线监控技术
小型轻量化	*	*	*	*	*	
智能型操作与监控		*				*
高整机效率及高输入功率因数运行	*	*	*		*	*
使用者亲善功能		*		*		*
环境保护考虑		*	*			
具有吸引人的价格	*	*				

* 表示设计理念对 UPS 产品趋势的关联。

1. 主电路结构的简化

针对主电路结构的简化是目前 UPS 设计的主流趋势,传统在线式 UPS 结构如图 1-1 所示,若将图 1-1 中的 AC/DC 变换器去掉就成为不在线式 UPS 的结构。

简化的方法有很多种,在此将提出几种主电路简化的方案。Exide 简化充电器如图 1-2 所示,原使用反激式变换器作充电器,现由简单的 L、C、R 及二极管来取代,但其缺点是充电器必须在变换器运转下才能发挥功能,在遥控关机时充电器将无法运行。

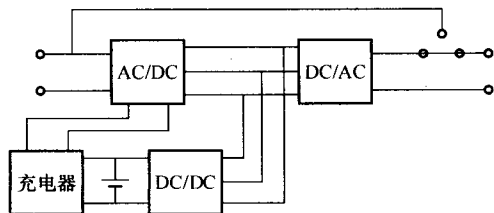


图 1-1 传统在线式 UPS 结构图

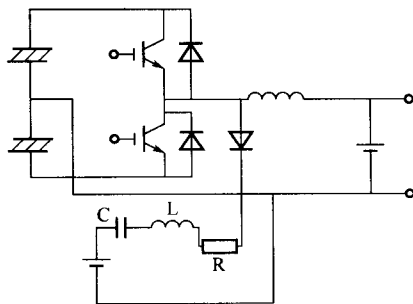


图 1-2 Exide 简化充电器