

现代UPS电源 及电路图集

李成章 编著

现代 UPS 电源及电路图集

李成章 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是1990~1999年出版的《电源(中、小型UPS不间断电源和直流稳压电源)》、《新型UPS不间断电源原理与维修》及《智能化UPS供电系统原理与维修》三本书的续篇。为及时反映自1999年以来为互联网提供高品质UPS电源的新技术和新产品,本书将介绍以电力电子技术,微处理器为核心的数字信号处理技术和控制板间的网络通信技术,智能化“三阶”电池充电管理技术和UPS故障“自诊断”检测技术等所形成的具有网络通信功能的智能化UPS供电系统,以及具有高度“容错”功能的冗余直接并机UPS供电系统。着重讨论为“互联网数据中心(IDC)”配置的可获得100%高“可利用率”的UPS供电系统。同时,还介绍了相关的实用维修技术及选配UPS的经验。全书共分九章。第一章讲述了UPS的基本工作原理及如何为“互联网交换中心”配置UPS供电系统。第二章至第八章分别介绍了山特、力博特和爱克赛等公司的城堡系列、GXT系列、AP系列、9305系列、9315系列、M2000型在线式UPS以及微处理控制的山特后备式方波输出UPS和一种经济适用的后备式UPS电源。第九章提供10个UPS厂家的共11种UPS电源的全套电路图。

本书可供从事UPS不间断电源供电系统的选配、维护、维修、设计和销售人员,大专院校师生和广大UPS用户参考,也是一本极好的培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代UPS电源及电路图集/李成章编著. - 北京:电子工业出版社,2001.4
ISBN 7-5053-6534-7

I. 现… II. 李… III. 电子计算机-不间断电源-电路图-图集 IV. TP303-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第06398号

书 名:现代UPS电源及电路图集

编 著 者:李成章

责任编辑:王昌铭

特约编辑:丰 源

排版制作:电子工业出版社计算机排版室监制

印 刷 者:北京金特印刷厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:28.5 插页:1 字数:740千字

版 次:2001年4月第1版 2001年7月第2次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6534-7
TN·1438

印 数:2500册 定价:45.00元

MAUG/OP

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

将计算机网络和电信网络有机地集合在一起的第3代互联网技术,必将历史性地承担起向国民经济的各个重要领域提供365×24小时的高可靠、高安全度和高速的信息资源服务。这些网络数据交换中心必须提供尽可能大的数据吞吐量,必须具有足够的带宽传输特性,以便向终端用户提供高速、高效的互联网信息增值服务(由于高速光纤传输骨干网的建立,当今网络的传输速率已从几年前的几Mb/s提高到几十Gb/s,网络的传输速率得到了几百倍,甚至成千倍的提高)。要求网络数据交换中心在执行数据的处理、存储和传输的过程中,其误码率应该尽可能低,以便向终端用户提供连续和准确无误的信息资源。为达此目的,当今互联网发展的一个新趋势是,将原来分散于各企业中的小型局域网中的成千台服务器集中在互联网交换中心,以便在各网站之间执行“一步到位(one-hop)”式的数据交换操作,从而将专业化的网络管理水平和互联网的整体运行效率提高到一个崭新的水准上。

大量的运行实践表明,UPS供电系统提供的逆变器电源的质量高低是影响互联网能否向广大用户提供高速、可靠和安全的365×24小时“全天候”的互联网增值服务的关键因素之一。当今判断一套UPS供电系统的质量高低的标准应该是:

①高可靠性:要求UPS本身具有尽可能长的平均无故障率工作时间(MTBF)。从互联网的客观需求来讲,希望UPS的MTBF值最好是无限大。也就是说,要求UPS应该具有100%的可靠性。这是因为,如果向互联网供电的UPS的可靠性为99%时,就会造成互联网每年停机87.6小时,当UPS的可靠性为99.9%时,会造成互联网每年停机8.76小时,即使UPS的可靠性高达99.999%,也可能造成互联网每年停机5.26分钟。由此可见:互联网对UPS供电系统的可靠性的要求是何等之高。按照当今的UPS技术水平,惟一能完善地解决这个问题的办法是采用双总线输入+UPS冗余直接并机技术+双总线输出+负载自动切换开关的供电体制。这是一种具有高度容错功能的冗余供电系统。只要设计恰当,它可以消除可能出现在互联网供电系统中的“单点瓶颈”型故障隐患。

②高可利用率:是指UPS供电系统应该为互联网设备提供充分发挥其技术潜力的运行环境,不应该是只保证对互联网设备提供100%的不中断供电的系统,即应该确保“互联网设备”不会因为UPS的供电质量不高而处于降额使用状态的“净化型”的高质量供电系统(例如:100Mb/s的服务器的实际运行速率为几十kb/s或几kb/s,就属于互联网处于降额运行状态)。大量的运行实践表明:迫使互联网设备进入降额使用状态的重要原因之一是误码率高。造成互联网误码率高的重要原因之一是来自互联网供电系统的干扰。有的用户曾做过如下实验:当采用双隔离变压器(交流旁路通道+逆变器输出通道)的UPS来向局域网供电时,其数据传输率为每分钟20个数据包,当改用不带输出变压器的高频UPS机型来向同一局域网供电时,其数据传输率仅为每分钟8个数据包(造成局域网的实际可利用率几乎下降60%左右)。其原因之一是在后一种UPS供电系统中出现了调制干扰。由此可见,不同类型的UPS供电系统只能为互联网提供不同级别的保护,它们为互联网提供的可利用率水平也相差很大。这样,摆在UPS用户及UPS应用设计人员面前的重要任务之一是应该高度重视各种电源干扰可能对互联网高效运行所带来的潜在威胁,寻求一种可向互联网设备提供纯洁、稳定的UPS供电系统。

③在整个 UPS 供电系统中不应该存在“单点瓶颈”故障隐患。

④UPS 供电系统应该具有较强的抗人为或自然灾害的能力,以防在出现突发性事故时,造成互联网瘫痪。

近年来,在 UPS 中,由于采用了以微处理器为核心的数字信号处理(DSP)技术、高速网络通信及高可靠性的 CAN 网控技术等为代表的软件可编程技术,并且以高频脉宽调制技术,内置有完善自动保护功能的大容量 IGBT 管,UPS 的关键功率驱动模块的高效冷却技术及可大幅度降低功率驱动模块的开关瞬态功耗驱动技术,输入功率因数自动校正技术,智能化故障自诊断检测技术,智能化的电池充放电管理及电池性能预测技术,远程网管型 UPS 集中监控技术,图形化输出的“人-机”对话型菜单操作的大屏幕液晶显示屏,及各种抗干扰抑制等新技术的不断开发和改进,使得当今的 UPS 电源,无论是在智能化的管理上,产品可靠性的提高上,还是优良的可维护性上,都获得了前所未有的进步。现在的 UPS 电源产业已能向用户提供从后备式 UPS、在线互动式 UPS、Delta 型等价格较低的 UPS 到各种双变换式的真在线式 UPS [包括:无输出隔离变压器的“高频”在线式 UPS,带输出隔离变压器的在线式 UPS,双原边绕组(交流旁路和逆变器输出)输出隔离变压器的在线式 UPS 电源];UPS 单机的输出功率从几百伏安级的小型单相 UPS(MTBF 几万小时)到 1000kVA 的三进/三出大型在线式 UPS(MTBF 为 20~40 万小时);“1+1”型的冗余直接并机 UPS 供电系统(MTBF 值高达 200 万小时左右)等不同级别的 UPS 电源品种。由此可见,不同的用户可以根据自己的经济实力和所用的信息产品及工业化、自动化控制设备的重要性来挑选自己所需的 UPS 产品。从应用的角度看,尽管上述所有的 UPS 都能完成不间断地向用户的负载提供电源的任务,然而,只有带双输出隔离变压器绕组的双变换型在线式 UPS 才有可能向用户的负载提供纯洁、稳压、无频率突变(稳频),无干扰的和波形失真度极小的全天候高质量正弦波电源。

为了维修和使用好 UPS 电源,我们不仅要尽可能合理地选配好 UPS,并详尽地理解它的工作原理和电路设计,而且,还应该在实际使用过程中,熟悉 UPS 的使用规则,注意积累有关 UPS 的应用技术资料(数据和电路图集),总结和分析自己或其他用户的维护经验和教训,以期达到提高 UPS 供电系统的实际可靠性,将 UPS 的故障率降低到尽可能低的水平。另外,从提高互联网的运行效率的角度来看,还需特别注意正确地设计 UPS 供电系统的接地系统,以便为互联网能达到 100%的高“可利用率”创造优良的电源供电环境。一套设计周到、选型适当的双总线输入和双总线输出型的冗余型 UPS 供电系统可以向用户的关键设备提供具有如下优异特性的电源:

①提供 365×24 小时的高可靠性电源,以确保用户的关键设备能不间断地获得高质量的逆变器电源;

②具有高容错功能的冗余供电体系,能消除任何可能导致出现“单点瓶颈”型的故障隐患;

③在确保用户的负载由 UPS 的逆变器电源连续供电的条件下,具有对 UPS 冗余供电系统中的某台 UPS 执行完全停电的定期维修/故障检修的能力。

④这种冗余供电系统,即使在遇到如下突发性故障时,负责向用户的关键负载供电的供电系统,既不能进入由市电交流旁路供电的状态,也不能进入瞬间供电中断/停电的状态;

- 某台 UPS 单机出故障时;
- 位于冗余并机系统中的某台 UPS 因出故障需要紧急检修或需要执行定期的预防性维修时;
- 配电柜中的断路器开关因故跳闸断开或因接触不良打火时;

- 因值班人员的人为误操作时；
- 当市电输入端出现短路故障时。

编者在长期从事 UPS 不间断电源产品的技术分析、维修、设计以及在协助用户设计和配置 UPS 供电系统的实践中,曾经详细地解剖和分析过数十种进口的 UPS 电源,并积累有相关的电路图和数据。近年来,有幸直接参与国外 UPS 公司的产品技术支持和促销工作,更有机会直接领略和学习国外最新的、先进的 UPS 电源产品的设计原理及维护规则。基于上述原因,我接触过去许多用户,在此过程中,既学习到许多用户在使用 UPS 中所积累的成功经验,也有机会了解到用户因使用不当或产品选型配置不当而付出过的相当大的代价才换来的教训。在此,我深感有必要将这些宝贵的资料和经验奉献给读者,以便大家共同分享这些成果,并希望能对 UPS 电源在我国的应用起到良好的推动作用。

我所编著的有关电源的书,均是建立在本人长期从事 UPS 工作中所获得的心得体会的基础上的。书中所介绍的产品,均是在国内市场上销量大的 UPS 品种。在编写过程中,除继续坚持原有的物理概念清晰,力求深入浅出,电路分析详尽,数据可靠,实用性强的一贯风格之外,为使读者在维修 UPS 电源中尽可能快地和准确地排除故障,在书中还列出有关控制电路在不同工作状态下的关键电平和相应的各种元件的技术参数表。

本书是 1990 年编写的《电源(中小型 UPS 不间断电源和直流稳压电源)》,1995 年编写的《新型 UPS 不间断电源原理与维修》。1999 年编写的《智能化 UPS 供电系统原理与维修》的续篇。第 1 本书介绍的是 1990 年前市售的 UPS 电源(三种后备式方波输出 UPS,一种后备式正弦波输出 UPS 和一种在线式正弦波输出 UPS),第 2 本书介绍的是 1990~1994 年底市售 UPS 电源[两种后备式方波输出 UPS 和两种大型在线式 UPS 电源(输出功率 30~800kVA)]。第 3 本书介绍的是 1995~1998 年底市售的 UPS[(一种后备式方波输出 UPS,五种在线式 UPS(输出功率为 30~625kVA))。本书介绍的是 1999~2000 年底市售的 UPS 电源,并重点讨论如何为“互联网数据中心(IDC)”配置具有高度“容错”功能的冗余 UPS 供电系统。其主要目的是力求确保“互联网”尽可能地获得 100%的高“可利用率”。如果读者拥有这一套 UPS 丛书,不仅可熟悉近 15 年来多家国外著名 UPS 厂家的产品资料,而且,还可以追踪 UPS 技术的发展轨迹。据迄今资料表明:本丛书是中国国内系统地全面讨论 UPS 电源的工作原理,电路分析,UPS 供电系统的设计和配置方案以及提供维修咨询服务的少有专著之一。

编者曾先后在美国爱克赛(Exide)公司和力博特(美)公司中任高级技术顾问,并得到他们的帮助和支持,在本书的编写过程中,还得到中科院计算所王淑芳副教授,联想集团公司的李波先生的一贯帮助和鼓励,原澜、王英、周洪波对本书初稿进行了整理和录入,并整理、审读了全部的电路图,对此深表感谢。此外,由于 UPS 电源本身是由电力电子技术、计算机技术、网络技术和软件编程技术高度融合在一起的高科技产品,鉴于编者水平有限,书中难免有错,恳请读者及时予以帮助和指正。

谨以本书奉献给我的母校:电子科技大学(四川,成都)

中国科学院计算所
(美)英维思集团(Invensys)公司高级技术顾问
李成章

电话:010-85299889-118(办)

010-64875571

2001 年 2 月

目 录

第一章 UPS 电源的基本原理	(1)
1.1 UPS 不间断电源概述	(1)
1.1.1 双变换在线式(on line)UPS 电源	(2)
1.1.2 在线互动式(Interactive)UPS 电源	(11)
1.1.3 后备式(off line)方波输出 UPS 电源	(13)
1.1.4 Delta 变换型 UPS 电源	(14)
1.2 蓄电池	(20)
1.2.1 UPS 使用的电池种类	(20)
1.2.2 密封免维护蓄电池的外特性	(23)
1.2.3 长延时 UPS 电源的蓄电池容量的选配方法	(26)
1.2.4 UPS 用蓄电池的使用注意事项及“废旧”蓄电池的“复活”处理	(29)
1.2.5 UPS 的电池管理功能	(33)
1.3 脉冲宽度调制(PWM)法	(42)
1.3.1 单脉冲调制法	(43)
1.3.2 正弦脉宽调制(SPWM)法	(48)
1.3.3 自适应调制(弹性斩波法)型逆变器	(51)
1.4 智能化 UPS 电源管理系统	(52)
1.5 高可靠性的“冗余式”UPS 电源供电系统的配置	(55)
1.5.1 主机—从机型串联“热备份”UPS 供电系统	(55)
1.5.2 直接并机型冗余式 UPS 供电系统	(58)
1.6 计算机及通信设备型非线性负载对市电电网的“污染”	(74)
1.7 防雷击、抗瞬态浪涌抑制器(TVSS)	(76)
1.8 UPS 电源与柴油发电机组	(84)
1.8.1 柴油发电机组可能遇到的电源谐波污染问题	(84)
1.8.2 UPS 电源和发电机组的输出功率匹配关系	(86)
1.9 大功率净化型交流稳压电源(Datawave)	(88)
1.10 动力及机房环境集中监控系统	(93)
1.11 互联网时代的 UPS 供电系统	(95)
1.11.1 “高信噪比”UPS 供电系统是确保互联网能高速、可靠运行的基础	(95)
1.11.2 为何不宜直接使用市电电源来为互联网设备供电	(99)
1.11.3 UPS 的常见技术参数及其测试条件	(101)
1.11.4 如何正确理解 UPS 的技术参数	(108)
1.11.5 不同类型的 UPS 供电系统为互联网提供不同级别的保护	(117)
1.11.6 在 UPS 的选购和使用中常见的“误区”	(129)
1.11.7 如何为网络数据中心(IDC)配置 UPS 供电系统	(137)
第二章 微处理器控制的 AP 系列在线式 UPS 电源(3~10kVA)	(143)
2.1 基本工作原理及主要技术特性	(143)

2.2	H8 微处理器的控制功能	(145)
2.3	UPS 逆变器的脉宽调制及自动稳压控制电路	(147)
2.4	UPS 逆变器的输出过载自动调整和自动保护电路	(156)
2.5	市电同步跟踪及直流母线电源调控电路	(158)
2.5.1	UPS 的市电同步跟踪电路	(158)
2.5.2	直流母线电源调控电路	(159)
2.6	UPS 的外部控制信号	(162)
2.7	UPS 电源的外部通信接口	(163)
2.8	谐振变换器	(164)
2.8.1	谐振变换器的工作原理	(164)
2.8.2	谐振变换器的自动稳压调控原理	(167)
2.8.3	谐振变换器的启动电路	(170)
2.8.4	谐振变换器的自动调压电路	(173)
2.8.5	输入功率因数校正电路	(175)
2.9	直流辅助电源	(176)
2.10	AP200 型 UPS 的维修	(180)
第三章	具有网管功能的智能化 GXT 型 UPS 电源	(182)
3.1	概述	(182)
3.2	GXT 系列智能化 UPS 的网管特性	(184)
3.2.1	GXT 系列 UPS 电源的优越特性	(184)
3.2.2	GXT 型 UPS 可对用户软件提供全方位的保护	(186)
3.3	GXT 型 UPS 逆变器的脉宽调制	(190)
3.3.1	微处理器芯片的输入控制信号	(190)
3.3.2	逆变器的脉宽调制发生器	(194)
3.3.3	GXT 系列 UPS 的面板显示器	(196)
3.4	微处理器芯片的主要输入/输出控制信号	(198)
3.5	GXT 系列 UPS 所提供的通信接口	(199)
3.6	GXT 系列 UPS 的直流辅助电源及充电器电路	(204)
3.6.1	直流辅助电源	(204)
3.6.2	电池充电器电路	(206)
3.7	输入功率因数校正	(207)
3.8	DC/DC 直流变换器电源	(214)
3.9	逆变器功放电路	(215)
3.10	UPS 的手动开机/关机和自动关机控制电路	(215)
3.10.1	手动开机	(215)
3.10.2	手动关机	(216)
3.10.3	UPS 的故障自动关机控制	(217)
3.11	可靠性极高的“N+1”型冗余式 GXT 型 UPS 供电系统	(217)
3.12	GXT 型 UPS 的维修	(219)
第四章	微处理器控制的山特后备式方波输出 UPS 电源	(220)
4.1	概述	(220)

4.2	8232 型 UPS 的直流辅助电源电路	(224)
4.3	微处理器芯片的控制功能	(227)
4.4	UPS 的市电供电 \rightleftharpoons 逆变器供电切换控制电路	(228)
4.5	UPS 逆变器的工作原理	(229)
4.6	交流旁路中的自动稳压控制电路	(233)
4.7	UPS 逆变器的抗尖峰抑制电路	(236)
4.8	UPS 的自动保护电路	(237)
4.9	UPS 的面板显示和报警电路	(240)
4.10	8200 系列后备式方波输出 UPS 电源的维修	(241)
第五章	微处理器控制的中功率在线式 UPS(7.5~60kVA)	(245)
5.1	9150 和 9305 系列 UPS 的基本工作原理及其技术优势	(245)
5.1.1	基本工作原理	(245)
5.1.2	9150 和 9305 系列 UPS 的技术优势	(247)
5.2	输入“软启动”电路、整流滤波器和充电器的主控电路	(249)
5.2.1	UPS 的输入“软启动”电路	(249)
5.2.2	整流滤波器的控制电路	(252)
5.2.3	充电器的控制电路	(252)
5.2.4	升压型和降压型直流变换器的工作原理	(253)
5.3	整流滤波器的控制电路	(258)
5.4	充电器的控制电路	(263)
5.5	逆变器的控制电路	(269)
5.5.1	9150 和 9305 系列 UPS 的逆变器电源的调控原理	(269)
5.5.2	9150 系列 UPS 的逆变器控制电路	(271)
5.5.3	“静态开关”控制电路	(276)
5.5.4	9305 系列 UPS 的逆变器控制电路	(280)
5.6	直流辅助电源的控制电路	(282)
5.7	微处理器主控电路	(287)
5.7.1	微处理器主控板的输入信号检测电路	(290)
5.7.2	微处理器的输出信号调控通道	(295)
5.7.3	用户远程集中监控的 RS232 接口	(299)
5.8	“1+1”型冗余直接并机 UPS 供电系统	(299)
第六章	无输出变压器的 M2000 型在线式 UPS 电源	(301)
6.1	概述	(301)
6.2	充电器电路	(304)
6.3	12V 和 24V 直流辅助电源	(306)
6.4	逆变器的直流总线电源及 DC/DC 变换器	(307)
6.5	正弦脉宽调制级控制电路	(310)
6.6	逆变器输出驱动级控制电路	(318)
6.7	UPS 的面板显示及喇叭报警	(322)
6.8	UPS 的延迟启动、自动保护及输出负载量指示电路	(325)
6.9	市电交流旁路供电 \rightleftharpoons 逆变器供电切换电路	(331)

6.10	供冷却逆变器用的风扇调速电路	(332)
6.11	常见故障的排除	(333)
6.12	长延时 UPS 的蓄电池外接充电器	(334)
第七章	大型 UPS 电源的安装、操作和维护	(337)
7.1	9315 系列 UPS 电源(30~625kVA)的基本结构	(337)
7.1.1	9315 系列 UPS 电源的工作原理	(337)
7.1.2	独特的“热同步(Hotsync)直接并机”式冗余型 UPS 供电系统	(340)
7.2	UPS 电源的安装和配置	(345)
7.2.1	UPS 场地安装注意事项	(345)
7.2.2	电缆和接线	(347)
7.2.3	配置电池组的注意事项	(348)
7.3	如何操作和运行大型 UPS 电源	(350)
7.3.1	9315 系列 UPS 的操作控制屏和 LCD 显示屏	(350)
7.3.2	UPS 单机的开机和关机步骤	(356)
7.3.3	如何利用显示屏来读取 UPS 的运行参数	(358)
7.3.4	串行通信接口和打印输出方式	(364)
7.3.5	“1+1”直接并机 UPS 系统的开机和关机方法	(369)
7.4	大型 UPS 电源的日常维护和检查	(374)
7.4.1	UPS 的维护注意事项	(374)
7.4.2	UPS 的故障和检修	(376)
第八章	经济适用型后备式 UPS 电源	(379)
8.1	概述	(379)
8.2	TG-1000UPS 的微处理器及直流辅助电源控制电路	(380)
8.2.1	微处理器控制电路	(380)
8.2.2	直流辅助电源控制电路	(385)
8.3	充电器及 DC/DC 直流变换器控制电路	(385)
8.3.1	充电器控制电路	(385)
8.3.2	DC/DC 直流变换器	(386)
8.4	逆变器的桥式功放驱动电路	(386)
第九章	UPS 电源的实用电路图汇集	(387)
9.1	Sendon、Santak 和 Senteck 后备式方波输出 UPS-500 不间断电源	(388)
9.2	Pulse 后备式正弦波输出 UPS-1000 型不间断电源	(394)
9.3	东芝在线式正弦波输出 μ -1100 型不间断电源	(398)
9.4	Santak、Sendon、Senteck 和 Micro 500VA 级新型后备式方波输出不间断电源	(404)
9.5	Sendon 1000VA 级 UPS-1000 后备式方波输出 UPS	(408)
9.6	力博特大型在线式 UPS 电源(20~200kVA)	(412)
9.7	Santak 带输出变压器的在线式 UPS 电源(1~3kVA)	(428)
9.8	GOMA 薄型后备式方波输出 UPS 电源(0.3~0.7kVA)	(435)
9.9	UPSONIC 在线式 UPS 电源(3~10kVA)	(438)
参考资料		(446)

第一章 UPS 电源的基本原理

1.1 UPS 不间断电源概述

一台设计完善的 UPS 不间断电源要完成的主要任务是向用户的关键设备(例如:互联网数据中心(IDC)、银行的清算中心和通存通取网控系统、证券交易及期货交易系统、民航和铁路的售票系统、卫星地面站及民航的航管调度系统、冶金及大规模集成电路的流水生产线管理系统、财税信息系统、气象和地震预报和监控系统等)提供高质量的无时间中断的交流电源。根据我国国家标准 GB2387-89 的规定:对于需要配置 UPS 不间断电源的计算机机房提供的交流电源至少应满足:380V/220V,50Hz,三相五线制/三相四线制:

电源电压的波动应小于 $\pm 5\%$

电源的频率波动应小于 $\pm 0.5\text{Hz}$

电源的波形失真度应小于 $\pm 5\%$

此外,还要求所配置的 UPS 电源在长期运行的过程中,可能产生的任何瞬态供电中断应控制在 5ms 的范围之内。对于要求严格的场地,最好将上述的瞬态供电中断时间控制在 2ms 之内。一般的微机和服务器所允许的瞬态供电中断时间在 8~10ms 的范围。如果向微型计算机所提供的电源的瞬态中断时间超过上述范围时,就会造成微机进入微机自检误动作的状态,从而造成正在运行的数据或程序均被破坏和丢失的不幸局面。当遇到这种情况时,就会看见正在运行中的微机显示屏上出现一片空白,随着瞬态供电中断现象的消失,微机再次进入程序自举、自检开机运行状态。此外,由于过频的瞬态供电引起的峰值高达 400V 左右的瞬态干扰是造成服务器产生偶发性自动关机的重要原因之一。

现在的 UPS 电源工业,可向用户提供如下五种类型的 UPS 电源品种:

(1)在线式(on line)UPS 供电系统,其单机输出功率从 0.7~1500kVA。对于这样的机型,当用户在采用多机“冗余”并机配置方案时,可将 2~9 台具有相同输出功率和相同型号的 UPS 电源直接并机而形成 7000~8000kVA 的大型 UPS 供电系统。在线式输出 UPS 向用户提供的交流电源是高质量的纯净正弦波电源。典型的“1+1”直接并机系统的平均无故障工作时间(MTBF)可达 200 万小时。

(2)在线互动式(Interactive)UPS 电源,其单机输出功率为 0.7~20kVA。当市电电压在 180~240V 的范围内时,它经由一条传输电缆所组成的交流旁路直接向用户提供市电电源(180~240V)。当市电电压在 150~180V 或 240~276V 范围内时,它经位于交流旁路供电通道上的变压器抽头调压处理电路所组成的交流调压器向用户提供经过简单调压处理的市电电源,其幅值为 197~250V(用户实际使用的电源仍然是来自一般市电网的具有频率波动,波形畸变度高及从电网串入的干扰等所困扰的低质量电源)。仅仅当市电电源的电压低于 150V 或高于 276V 时,它才有可能向用户提供真正的 UPS 逆变器正弦波电源。有鉴于此,有的厂家为便于销售起见,常将它称为准在线式 UPS 电源。当市电供电正常时,这种 UPS 的逆变器承担起电池充电器的功能。

(3)后备式(off line)正弦波输出 UPS 电源:其单机输出功率为 0.25~2kVA 左右。当市电

电源电压在 170~264V 的范围内,它向用户提供经变压器抽头调压处理过的一般市电电源,仅当市电电源的电压低于 170V 或高于 264V 时,才向用户提供真正的 UPS 逆变器高质量的正弦波电源。

(4)后备式(off line)方波输出 UPS 电源:其单机输出功率为 0.25~1kVA 左右。当市电电压在 165~270V 的范围内,它向用户提供经变压器抽头处理过的一般市电电源。当市电电源电压低于 165V 或高于 270V 左右时,它向用户提供具有稳压输出特性的 50Hz 方波电源。当市电供电不正常时,由于它向用户所提供的交流电源是方波电源,并非正弦波电源。所以,在此条件下,不允许用户带感性负载(例如,电风扇、日光灯等)。否则,不是造成 UPS 电源本身的逆变器被烧毁,就会造成将用户的负载损坏的局面。当市电供电正常时,这种 UPS 的逆变器处于自动关机工作状态。

(5)Delta 变换型 UPS 电源:其单机输出功率为 10~480kVA,当输入电源满足电压波动小于 $\pm 15\%$,频率波动小于 $\pm 3\text{Hz}$ 时,由 Delta 变换器所提供的幅度不超过 $\pm 15\%$ 的逆变器额定输出电压的补偿电源经串联在主供电电路中的补偿变压器与输入电源共同构成串联稳压电源,其稳压精度为 $\pm 1\%$ (其中 85%~100%来自市电电源,15%~0%来自 Delta 变换器)。当输入电源超过上述电压和频率范围时,由主变换器(不带逆变器输出隔离变压器)向用户提供正弦波的逆变器电源。

从上面的简介中,我们可以得到如下结论:如果按技术性能的优劣来排序,其顺序应为:在线式 UPS>Delta 变换器型 UPS>在线互动式 UPS>后备式正弦波输出 UPS>后备式方波输出 UPS。也就是说:在线式 UPS 的技术性能最好,后备式方波输出 UPS 的性能最差。然而,就价格而言,则是在线式 UPS 电源最贵,Delta 变换型 UPS 次之,准在线式 UPS 更次之,而以后备式方波输出 UPS 最便宜。根据近几年的市场销售来看,后备式正弦波 UPS 电源因其性能价格比不好,已逐渐被淘汰了。

在当今互联网时代,为确保具有大数据吞吐量和极宽的带宽的互联网络系统的误码率低,数据传输丢包率低,我们在判断一种 UPS 的质量高低时,不仅要看它的可靠性是否高(在互联网的运行中不允许出现任何的停电故障),更要看它是否可确保互联网具有高“可利用率”(高可利用率的标志是互联网不能处于低速和低数据吞吐量的降额运行状态)。大量的运行实践表明,UPS 电源能否提供无干扰存在的,无频率突变,其输出零线对地线电位低,具有高抗干扰性能的洁净电源,将会对互联网的“利用率”的高低产生至关重要的影响。

1.1.1 双变换在线式(on line)UPS 电源

我们将以近年来在市场上比较畅销的,采用以微处理器、数字信号处理技术(DSP)调控技术为特征的小型在线式 UPS 电源(标称输出功率在 0.5~10kVA 左右)为例,来介绍 UPS 电源的工作原理。其控制框图如图 1.1 所示。

UPS 电源要完成的控制功能是将供电质量较差的普通市电电源(这种电源经常遇到如下问题:①市电电压不稳,有时甚至还会发生市电供电中断;②市电频率波动范围过大;③由于用户在电网上投入计算机、通信设备和家用电器之类的非线性负载对电网污染而造成正弦波形的严重畸变;④从电网串入各种干扰和高能浪涌)首先经位于 UPS 内部的整流滤波器变成直流稳压电源,然后再利用正弦脉宽调制法(SPWM)在逆变器内重新将直流电源变成纯正的高质量正弦波电源,通过这样的变换,市电中的所有干扰几乎都被屏蔽掉,这样就避免了由市电带来的任何电压或频率波动及干扰等对用户的影响。当市电供电出故障或完全停电时,利用装

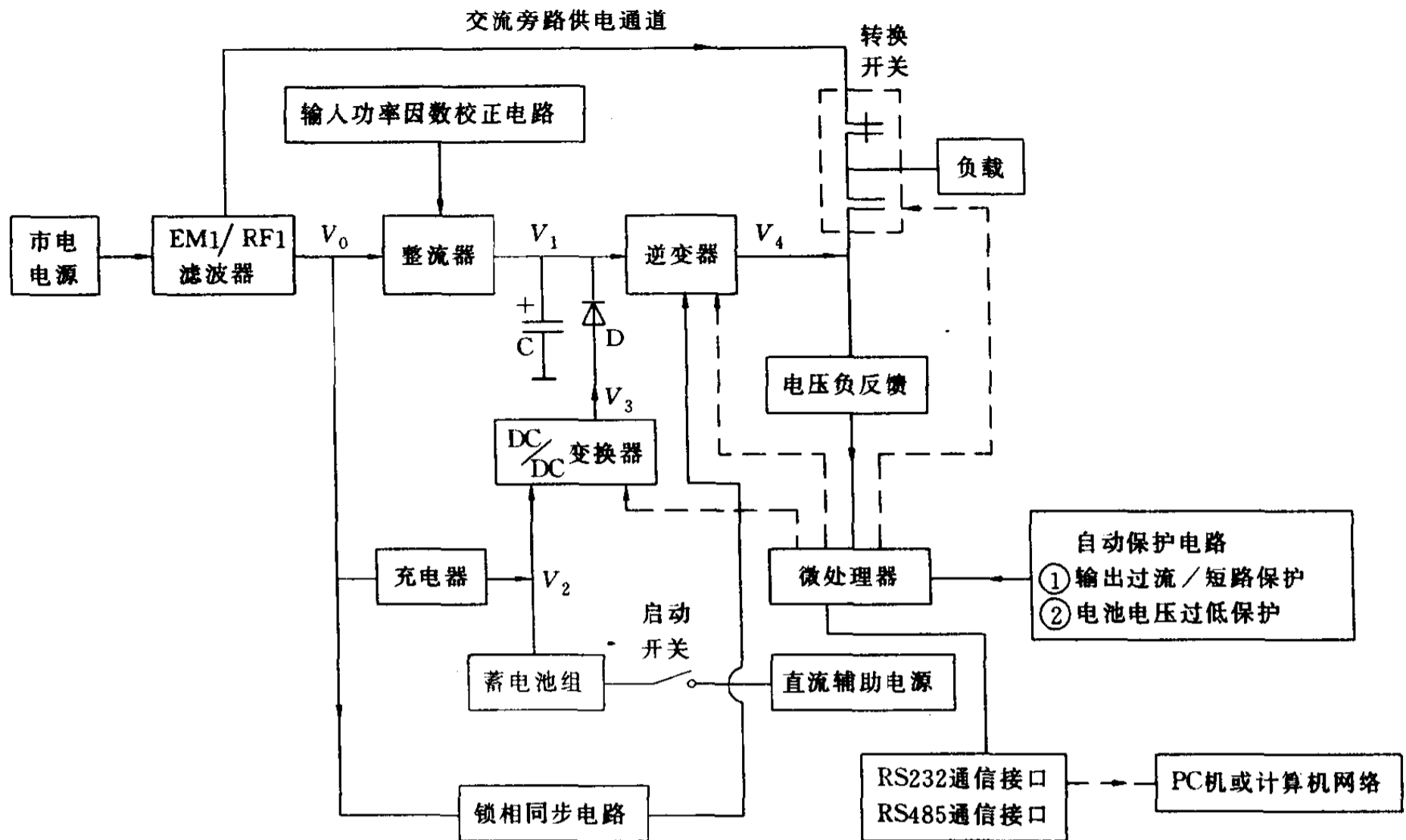


图 1.1 采用微理器控制的小型在线式 UPS 控制框图

在 UPS 内部的蓄电池组继续向逆变器提供直流能源,从而保证 UPS 电源的逆变器电源以毫无时间中断的正弦波电源及毫无波形扰动的方式继续向用户提供高质量的交流电源。目前,UPS 的内置蓄电池组可以保证在市电中断后提供 8~15 分钟的后备供电时间。对于有特殊要求的用户,可以通过外置大容量电池组和充电器的办法来将 UPS 电源的电池后备供电时间延长到 8 小时左右。对后备有柴油发电机的用户,则可通过启动柴油发电机的办法来保证 UPS 电源可在长时间的市电停电的条件下,向用户提供高质量的正弦波电源。对于选用具有“自启动调控”功能的柴油发电机组的用户,可以在市电停电后 5~10 秒之内将柴油发电机投入到 UPS 电源的输入端。当市电重新恢复正常供电时,通过自动切换开关(ATS),柴油发电机可在市电重新投入 UPS 的输入端的条件下,自动退出并关闭发电机,从而形成一套全自动化的柴油发电机→UPS 电源供电系统。

1. 控制部件

如图 1.1 所示,一台设计完善的 UPS 有两条供电通道负责向负载供电:

①市电电源直接经交流旁路供电通道被送到小型转换继电器的常闭触点上,形成 UPS 对负载的交流旁路供电通道。

②市电电源经由整流滤波器和逆变器这样的逆变器供电通道向小型转换继电器的常开触点供电,形成 UPS 对负载的逆变器供电通道。

用户的负载连接在小型转换继电器的公共触点上。为了实现给用户的负载提供高质量的不间断电源,在一台 UPS 中至少应包括如下的控制部件:

- 交流输入 EMI/RF1 滤波器及整流滤波器;
- 免维护密封电池组及其充电器;
- 采用脉宽调制方式运行的逆变器;
- 控制电路及微处理器芯片所用的直流辅助电源;

- 各种自动保护控制电路(例如:输出过载/短路保护,过压输出/欠压输出保护,电池电压过低自动保护,直流母线过压保护等)及相关的 UPS 电源模拟流程显示系统;
- UPS 电源的市电交流旁路供电 \rightleftharpoons 逆变器电源供电切换装置及相应的锁相同步控制电路;
- 微处理器及 UPS 的故障自诊断检测系统;
- 为实现智能化 UPS 配置而设置的 RS232 或 RS485 接口及其相应的电源监控软件。

2. 工作原理

如图 1.1 所示,市电电源经 EM1/RF1 滤波器对来自电网的传导型电磁干扰和射频干扰进行衰减和抑制处理后,分四路去控制后级电路的正常运行:

①直接经交流旁路供电通道馈送到转换继电器的常闭触点上。

②经充电器对位于 UPS 机内的电池组进行浮充电操作,以便一旦市电供电中断时,蓄电池有足够的能量来支持 UPS 的正常运行。当 UPS 电源正常工作时,充电器对电池组的浮充电电压应为电池组的标称端电压的 1.125 倍。当充电器对电池组的浮充电电压值超过 1.15 倍以上,就意味着发生了对电池组的过压充电现象。

③送到具有输入功率因数校正控制特性的 UPS 整流滤波器的输入端。

④向 UPS 的锁相同步电路送去市电同步跟踪信号。

当用户在按位于 UPS 前面板上的开机启动开关后,由电池组所提供的高压直流电源(根据不同的设计方案,电池电压在几十伏~几百伏之间)经位于 UPS 内部的直流辅助电源电路进行 DC/DC 变换处理后,应产生出这台 UPS 的控制电路和微处理器所需要的低压直流辅助电源(5V 和 12V)。在 UPS 电源内部所用的直流电源是由市电电源经 AC/DC 变换和蓄电池组的直流电源经 DC/DC 变换两种方式所获得的多路互补型冗余直流辅助电源。它不像在一般电子仪器中所常用的仅由市电交流电源经 AC/DC 变换来获得直流辅助电源。这是由于 UPS 电源在市电供电不正常时,仍要继续向用户供电的要求所决定的。正因为如此,对有的小型 UPS 电源来说,用户不可能在仅有市电电源输入,而在没有安装上电池组或位于 UPS 内部的电池组端电压过低的情况下,将一台 UPS 电源开动起来。一旦位于 UPS 内部的直流辅助电源被正确地建立起来后,微处理器就会立即进行初始化自检操作。此后,在微处理器的控制下,UPS 的逆变器电源将进入如下的正常运作阶段。

采用脉宽调制法控制的整流器、滤波器将不稳压的市电电源变成幅值稳定的直流高压电源 V_1 送到逆变器电源的直流总线输入端。当市电电源供电正常时,在微处理器的调控下,从 DC/DC 变换器所送出的另一路直流电源的电压 V_2 小于从整流滤波器所输出的直流电源电压 V_1 。在此条件下,由于二极管 D 处于反向偏置状态,所以,DC/DC 直流变换器并不向逆变器提供任何能量。与此同时,逆变器在微处理器所送的正弦脉宽调制脉冲的调控下,重新将直流电源 V_1 变成输出波形非常标准的纯正 50Hz 正弦波电源 V_1 。为区别来自市电电网的普通正弦波电源 V_0 ,我们将从逆变器输出的正弦波电源称为逆变器电源。如果将逆变器电源 V_1 同来自普通电源 V_0 相比,就会发现它具有如下极其优越的电气特性:

①由于在 UPS 的逆变器调控电路中,有由电压负反馈控制电路 \rightarrow 微处理器 \rightarrow 逆变器电源输出 \rightarrow 电压负反馈控制电路所构成的闭环负反馈控制电路,可以确保 UPS 的逆变器向负载提供稳压精度高达 $\pm 0.5 \sim \pm 1\%$ 的稳压电源(见图 1.4(a))。

②利用位于 UPS 电源内部的锁相同步电路来确保从 UPS 的逆变器输出的逆变器电源的工作频率具有如下特性:

当市电电源的频率在 UPS 的锁相同步电路所允许的同步窗口 ($50\text{Hz} \pm 3\text{Hz}$) 内时, 从 UPS 的逆变器所输出的逆变器电源与市电电源保持锁相同步关系的同时 (即两种交流电源的频率相同、相位相同, 见图 1.2), 还要确保逆变器电源不会出现频率突变现象。当市电电源的频率超过 UPS 的锁相同步电路所允许的同步窗口时, 逆变器电源将不再跟踪市电电源, 将回到 UPS 电源的本机振荡频率 50Hz 。对于目前的绝大多数 UPS 来说, 当它处于本机振荡工作状态时, 其稳频精度可达 $50\text{Hz} \pm 0.1\%$ 以上。因此, 当我们在谈论 UPS 逆变器电源的工作频率时, 它有两个指标: 即当它处于与市电同步跟踪状态时, 所允许的同步窗口越大越好; 反之, 当它的逆变器电源处于本机振荡状态时, 则频率的波动范围越小越好。

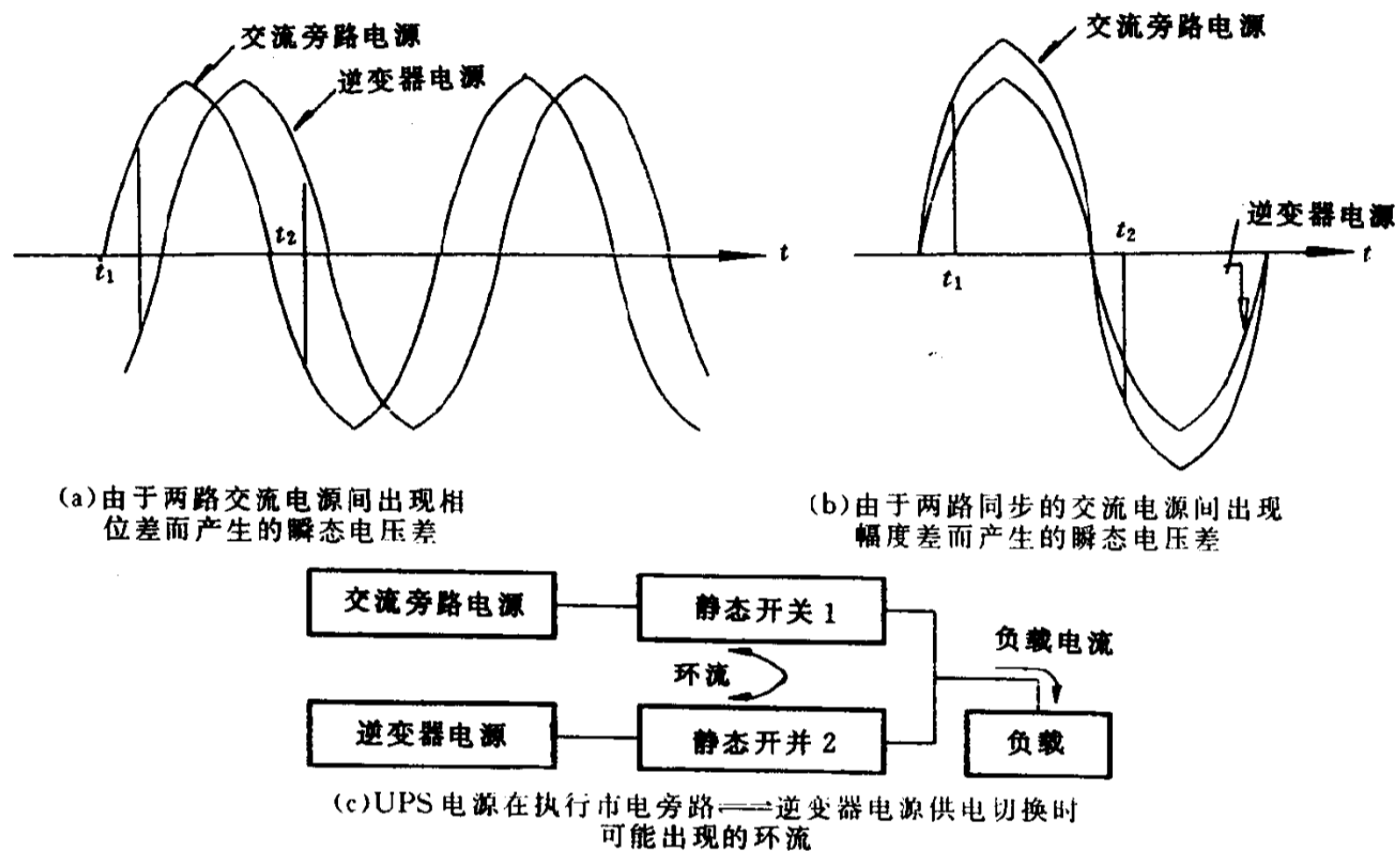


图 1.2 同步切换和不同步切换可能带来的对“环流”的影响

③由于在 UPS 电源的逆变器中, 采用高频 ($20 \sim 40\text{kHz}$) 正弦脉宽调制 (SPWM) 技术, 因此, 从逆变器输出的电源具有非常标准的正弦波形。这就意味着, 在逆变器电源中所包含的谐波分量很少, 具有输出波形失真度很小的优良特性。目前生产的 UPS 电源都能达到如下输出波形失真度指标: 带线性负载时, 其波形失真度为 $1 \sim 2\%$, 带峰值比 (crest ratio) $3:1$ 的非线性负载时, 其波形失真度小于 5% (计算机型负载的峰值比为 $2.6:1$ 左右)。

④由于在 UPS 中, 实质上是将来自市电电网的低质量的交流电源经整流滤波器执行 AC/DC 变换变成直流电源, 然后再经逆变器执行 DC/AC 变换重新变成正弦波电源。由于采用了双变换型在线设计方案, 就可完全消除来自市电电网的任何电压波动、波形畸变、频率波动及干扰产生的任何影响。正是基于这点, UPS 的逆变器电源才可向用户提供毫无干扰的高质量的纯洁正弦波电源。

⑤由于在 UPS 的机内配置有由蓄电池组 \rightarrow DC/DC 直流变换器所组成的后备直流电源供电系统。因此, 在 UPS 电源的运行中, 如果遇到市电电源出故障 (输入电压过高或过低) 或市电供电中断时, 在微处理器的控制下, DC/DC 直流变换器将立即投入运行, 从而将蓄电池的相对较低的直流电压提升到完全符合逆变器输入端所要求的电源 V_1 的电平上。利用 DC/DC 变换, 可以确保从 UPS 输出的逆变器电源永远都是处于不间断地向用户的负载供电的状态。在此条件下, 用户完全不需要去考虑电网供电到底是否正常。

综上所述: 我们可以看到从在线式 UPS 的逆变器输出的高质量正弦波电源, 不仅是一般

的市电电网的电源不能与之相比的。而且,按目前所知的情报,现在还没有任何一种交流稳压电源有可能输出同时具有以上 5 种优异特性的高质量电源。

由于在 UPS 电源的整流滤波器的控制电路中引入了输入功率因数校正电路,从而可确保进入整流器的输入电流和输入电压保持良好的相位一致关系。这样就有输入功率因数高达 0.99 的 UPS 电源产品。显然,这对提高市电电网的利用率是十分有利的。

以上我们分别讨论了 UPS 的关键部件的工作原理,下面我们将讨论一台小型在线式 UPS 是如何运作的。

3. 工作过程

当用户将 UPS 的市电交流输入插头按照正确的交流输入极性插入市电供电插座中后,再按位于 UPS 前面板上的开机启动开关,即可进入开机启动。在 UPS 刚开机的一段时间内(根据不同的设计,大约在 10~20 秒的范围内),市电电源首先经交流旁路→转换继电器的常闭触点,直接向负载供电。与此同时,在微处理器的控制下,位于 UPS 内部的充电器开始向蓄电池组充电,位于 UPS 中的整流滤波器→逆变器工作通道上的逆变器也开始工作。由于此时的逆变器电源是被送到转换继电器的常开触点上的,所以,此时的逆变器电源处于空载稳定运行状态。在 UPS 的逆变器获得约 20 秒的空载稳定运行机会之后,在微处理器的控制下,转换继电器将要从刚开机时的释放状态进入吸合状态。这样,转换继电器在切断市电电源通向负载的通道的时候,将会把逆变器电源与负载接通。上述就是 UPS 所执行的从市电供电状态转逆变器电源供电的所谓的市电供电→逆变器电源供电的切换操作。从此以后,用户的负载将一直处于由高质量的逆变器电源供电状态。然而,在 UPS 的运作过程中,如果遇下述情况之一时,为保护位于 UPS 中的逆变器不被损坏和确保对用户的连续供电,这时 UPS 会自动执行从逆变器电源供电转交流旁路电源供电的切换操作。一旦 UPS 电源执行了“逆变器电源供电”→“交流旁路供电”切换操作后,用户所获得的电源将是一般的市电电网电源。

- 在 UPS 输出端出现输出过载或短路故障;
- 由于环境温度过高或冷却用风扇出故障而造成位于逆变器或整流器中的功率放大管(IGBT 管)的散热片温度超过 90℃ 以上;
- UPS 中的逆变器本身出故障。

从上面的讨论中,我们可以看到:在 UPS 电源的运行过程中,有可能需要执行“市电交流旁路电源供电 \rightleftharpoons 逆变器电源供电”切换操作。为此有两个问题,应引起我们特别注意:

(1)用于执行“市电交流旁路电源供电 \rightleftharpoons 逆变器电源供电”用的转换继电器必须选用快速继电器,以免造成微机/服务器误动作或数据丢失。

目前,在多数 UPS 电源中所选的继电器的转换时间为 2~4ms 左右(这就意味着:当 UPS 在执行上述切换操作时,有可能造成对用户负载 4ms 左右的供电中断)。在微计算机的运行过程中,只要供电中断时间不超过 7~8ms,不会对它的正常运行产生任何影响。

(2)当 UPS 电源在执行“市电交流旁路电源供电 \rightleftharpoons 逆变器电源供电”操作时,有两路不同的交流电源同时出现在转换继电器的常开触点和常闭触点上。当两路交流电源在作切换操作时,为安全起见,应该尽可能地保证逆变器电源与交流旁路电源做到同频率、同相位和同电压幅度。位于 UPS 电源中的锁相同步电路固然可确保这两路交流电源做到同频率、同相位,然而,却没有任何控制电路可以确保 UPS 的逆变器电源的幅值与市电电源的电压幅值相等(见图 1.2)。这是因为 UPS 的逆变器电源具有稳压输出特性,而市电电源的电压幅值是随市电电网所带的负载量大小不同而随时变化的。这样,当 UPS 在作“市电交流旁路电源供电 \rightleftharpoons 逆变

器电源供电”切换操作时,就会因两种交流电源的瞬态电压值不同而形成“环流”(所谓“环流”是指:有一部分电流在市电网与逆变器电源之间流动,而不流向负载)。显然,如果“环流”过大,就很容易造成逆变器出故障。由此可见:为确保 UPS 的安全运行,应尽量减少 UPS 作“市电供电——逆变器电源供电”切换操作的次数,这也是降低 UPS 故障率的重要因素之一。在这里,也许有的读者会想到:既然转换继电器在作切换操作时有 4ms 的切换时间,为什么我们还需要考虑“环流”影响呢?其原因是:当 UPS 电源的后接负载很重时,在继电器的触点间存在“拉弧”现象,这就有可能在常闭触点和常开触点间出现短时的同时导通。此外,在转换继电器作切换操作的瞬间,会产生幅值高达 400V 左右的尖峰干扰。过频地出现尖峰干扰会导致服务器产生“偶发性”的自动关机,造成网络运行的崩溃。

4. 自动保护功能

为确保 UPS 中的逆变器和电池组等关键部件不致因偶然操作失误而损坏,需要在 UPS 电源中设置各种自动保护电路,其目的有:

- 保护位于 UPS 中的关键部件不被损坏;
- 万一 UPS 中的某些元件损坏后,应通过自动关机操作来防止故障的进一步扩大。

对于配置在 UPS 中的自动保护电路的数量和品种会因各个生产厂家的设计不同而有很大差别。一般说来,在大型 UPS 电源中所用的自动保护电路无论从数量上,还是电路控制水平上都远比小型 UPS 电源所用的保护电路更加完善。大量的运行实践证明:大型 UPS 电源的故障率远远低于小型 UPS 电源的故障率。然而,无论 UPS 电源如何设计,其中有两种自动保护电路是必不可少的。

(1) UPS 逆变器输出过载或短路的自动保护

对于小型 UPS 电源,当遇到负载端出现严重过载,甚至短路时,这个保护电路将会立即将 UPS 的逆变器电源置于自动关机状态,以防止位于逆变器电源中的晶体管、MOS 管或 IGBT 管等功率放大元件被烧毁。与此同时,为确保对用户负载的连续供电,控制电路还将在完成上述操作的同时,让 UPS 电源作一次从逆变器供电→市电交流电源供电的切换操作。这样,用户就可以利用驱动能力很强的市电网电源来暂时维持正常工作。

(2) 电池电压过低自动保护

当 UPS 电源在运行过程中,遇到市电电源出故障或市电供电中断时,蓄电池组将立即承担起向逆变器提供直流能源的工作。随着市电出故障时间的延长,电池组的端电压将逐渐下降。当电池组的端电压下降到电池电压过低阈值电平时,为防止电池组因过度放电而损坏,UPS 将通过“电池电压过低保护电路”将逆变器置于立即关机状态,从而达到停止电池放电的目的。遇到此情况时,由于 UPS 在自动关机的同时,没有或禁止作“逆变器供电→交流市电旁路电源供电”切换操作,所以,就会出现对用户的负载停止供电的局面。显然一旦出现这种局面,计算机正在运行的数据和程序就将遭到破坏和丢失。

5. 智能化 UPS 的概念

在计算机网络及电信网络迅猛发展的客观需求的推动下,当今的 UPS 已在大量引进微处理器监控技术的基础上发展成为一种智能化 UPS。所谓智能化 UPS 是指能在 UPS 电源和微机/计算机网络之间建立起双向通信调控管理功能。它所主要完成的控制功能有:

①在 UPS 的运行中,当出现长时间的市电供电故障或停电时,随着故障时间的延长,UPS 会利用上述通信通道向由它供电的微机/计算机网络传送因市电出故障 UPS 正由电池组供电、电池电压偏低等报警信号。当电池组的端电压快下降到其临界放电电压时,微机/计算机网