

智能化 UPS 供电系统 原理与维修

李成章 编著

北京交通大学

图书馆

藏书

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内容简介

本书是1990年出版的“电源”(中小型UPS不间断电源和直流稳压电源)和1995年出版的“新型UPS不间断电源原理和维修”两书的续篇。为及时反映自95年以来的UPS电源的新发展和新产品,本书将介绍以电力电子技术和微处理器及数字信号处理技术为核心所形成的具有网络通信功能的智能化UPS供电系统,具有高度“容错”功能的直接并机UPS供电系统,能有效地防止由计算机和通信设备等非线性负载对电网产生谐波“污染”的“绿色电源”技术以及具有防雷击、抗瞬态高能浪涌能力为代表的实用UPS供电系统。全书共分七章。第一章介绍UPS的基本工作原理,第二和第三章介绍(美)力博特牌微处理器控制的GXT系列在线式UPS(0.5~3kVA)和AP200系列在线式UPS(3~10kVA),第三章介绍山特牌微处理器型的后备式方波输出UPS(0.5~1.5kVA),第四和五章介绍山特牌带输出变压器和不带输出变压器的在线式UPS(1~3kVA),第七章介绍(美)爱克赛牌大型UPS电源的使用和维护(30~625kVA)。

书中提供了近二百幅详实的电路图,在叙述上,力求深入浅出,物理概念清晰,电路分析详尽,同时还介绍了相关的实用维修技术及经验。

本书可供从事UPS不间断电源维护,维修和设计工作的科技人员和大专院校师生参考,也是一本极好的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能化UPS供电系统原理与维修/李成章编著. -北京:电子工业出版社,1993.3

ISBN 7-5053-5134-6

I. 智… II. 李… III. 电子计算机-不间断电源-基本知识 N. TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第04749号

书 名:智能化UPS供电系统原理与维修

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

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:19.5 字数:500千字

版 次:1999年3月第1版 1999年3月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5134-6
TP·2563

定 价:30.00元

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

在计算机网络及其相关的网络通信技术的迅猛发展的推动下,为确保我们在进行信息资源共享时所获得的数据、文件和图形等资料具有高度的真实可靠性、连续性和高保真度,UPS(Uninterruptible Power Supply)不间断电源,正越来越广泛地被应用到国民经济的各个领域。例如:在银行和证券交易等金融管理系统,通信,航空、航天技术,工业自动化生产线,石油物控及石化工业,气象和地震预报分析,电视和广播,办公室自动化,商业和物业管理系统等为代表的新兴产业中,几乎都离不开 UPS 不间断电源。

近年来,由于以微处理器,高速存储和高速锁存等数字信号处理技术,高速数据采样和 A/D 变换技术,UPS 专用网络通信技术及其将软件固化在内的专用集成组件(ASIC)的实用化,远程监管和调制/解调器调控技术,高频正弦脉宽调制(SPWM)和内置有完善的自我保护功能的智能化大功率(IGBT)管(1000 安培)驱动技术,高频谐振变换器及输入功率因数校正技术,防雷击/抗瞬态高能浪涌抑制器,以图形输出为主的“人一机对话型”菜单操作的大屏幕液晶显示屏等为代表的一批 UPS 电源新技术的应用,同 4~5 年前相比,当今的 UPS 电源,无论在智能化的完善程度上还是在可靠性的提高上都产生了一个不可忽视的巨大飞跃。这表现在它的品种越来越多,性能越来越完善,UPS 本身的“自诊断”能力越来越强,可操性和可维护性越来越方便等诸多方面。现在的 UPS 电源工业已具备有向用户提供从几百伏安级的小型单相 UPS 电源(平均无故障工作时间(MTBF)约几万小时)直到输出功率达 6000 千伏安数量级的其平均无故障工作时间高达 100 万小时数量级的高可靠性的大型 UPS 供电系统。大量的运行实践证明,只有 UPS 电源才有可能向用户提供高质量的稳压、稳频,无任何干扰存在的和波形失真度极小的“全天候”的高质量正弦波电源。

为了维修和使用好 UPS 电源,我们不仅要尽可能地理解它的工作原理和电路设计。而且,还要在实际使用过程中,注意积累有关 UPS 的技术资料和电路图集,悉心地总结和分析用户的使用维护经验和教训,以达到提高 UPS 供电系统的设备利用率和协助 UPS 生产公司改进产品性能的目的。

编者在长期从事 UPS 不间断电源的维修、设计以及在协助用户设计和配置 UPS 供电系统的实践中,曾详细地解剖过数十种进口的中小型 UPS 电源并积累有相关的电路图和分析数据。近年来,有幸直接参与国外 UPS 生产公司的产品技术支持和促销工作,更有机会领略和学习国外先进的大型 UPS 电源的设计和维修原理。其中,典型的事例是:为××银行的“国际清算中心”所设计的总输出功率为 2400kVA 大型 UPS 供电系统(该系统的组成为:由两路来源于不同配电所的双市电电源和 3 台单机输出功率为 1250kVA 发电机以并机方式运行的 3750kVA 柴油发电机组所支持的以并机方式运行的 3 台 800kVA 的大型 UPS 电源系统,在 UPS 供电系统后接有 16 台精密配电中心,以及可以同时集中监控上述电源设备和全部空调机的集中监控系统)。基于上述原因,我接触过许多用户。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曾因使用或配置不当而付出相当大的损失才换来的来之不易的教训。为此,我深感有必要将这些宝贵的资料和经验奉献给读者以便分享这些“成果”,并希望对 UPS 电源在我国的推广起到良好的促进和推动作用。

在此需向读者说明的是:我所编著的所有有关电源的书,均是建立在本人长期从事 UPS 工作的心得体会的基础上的。书中所介绍的任何产品,均是出现在国内市场上的销量大的 UPS 品种。编者在写作过程中,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,实用性强的一贯作风之外,为使读者在维修 UPS 电源中能尽可能快捷地、准确地排除故障,在书中还列出有关控制电路在不同工作条件下的关键电平和各种元器件的技术参数表。

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技术”的姐妹篇。前者介绍的是 1990 年前市售的 UPS 电源(3 种后备式方波输出 UPS,1 种后备式正弦波 UPS 和 1 种在线式正弦波 UPS 电源),后者介绍的是 1990~1994 年底的市售的 UPS 电源(2 种后备式方波输出 UPS 和 2 种大型在线式 UPS 电源(输出功率为 30~800kVA)。本书所介绍的是 1995~1998 年底市售的 UPS 电源(UPS 单机的输出功率为 0.5~625kVA)。由此可见:如果读者拥有这样一套 UPS 丛书的话,不仅可领略和熟悉多家国外著名 UPS 厂家的产品资料,而且,还可以追踪 UPS 技术的发展轨迹。据迄今的资料表明,本丛书是中国国内系统地全面讨论 UPS 电源工作原理、电路分析、UPS 供电系统配置方案和提供维修咨询服务的少有专著之一。

本书在编写过程中,曾得到过美国力博特(Liebert)公司和美国爱克赛(Exide)公司的帮助和支持。此外,还得到中科院计算所的王淑芳副教授,力博特公司的王沛和刘家楷先生,联想集团公司的李波先生的一贯支持和帮助,原澜、王志华及周洪波帮助整理了本书的初稿,并绘制了全部的电路图,对此深表感谢。此外,由于 UPS 电源本身是由电力、电子技术和计算机技术高度融合在一起的高科技产品,鉴于编者的水平有限,因此,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)爱克赛公司高级技术顾问
李成章

北京市:朝阳区大屯路科学园南里 MNJHY76 小区 404 楼 305[#]

电话:010-64875571

邮编 100101

1999 年 1 月

目 录

第一章 UPS 电源的基本原理	(1)
1.1.1 UPS 不间断电源概述	(1)
1.1 小型在线式(on line)UPS 电源	(3)
1.1.2 在线互动式(Interactive)UPS 电源	(12)
1.1.3 后备式(off line)方波输出 UPS 电源	(14)
1.2 蓄电池	(15)
1.2.1 UPS 使用的电池种类	(16)
1.2.2 密封免维护蓄电池的外特性	(19)
1.2.3 长延时 UPS 电源蓄电池容量的选择	(22)
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	(24)
1.3 脉冲宽度调制(PWM)法	(29)
1.3.1 单脉冲调制法	(29)
1.3.2 正弦脉宽调制(SPWM)法	(34)
1.3.3 自适应调制(弹性斩波法)型逆变器	(37)
1.4 智能化 UPS 电源管理系统	(38)
1.5 高可靠性的“冗余式”UPS 电源供电系统的配置	(41)
1.5.1 主机—从机型“热备份”UPS 供电系统	(41)
1.5.2 直接并机型冗余式 UPS 供电系统	(44)
1.6 计算机及通信设备型非线性负载对市电电网的“污染”	(51)
1.7 抗瞬态浪涌抑制器(TVSS)	(53)
1.8 柴油发电机组的选用	(57)
1.9 大功率净化型交流稳压电源(Datawave)	(60)
1.10 动力及机房环境集中监控系统	(64)
1.11 如何为计算机网络选配 UPS	(65)
第二章 微处理控制的 AP 系列在线式 UPS 电源(3—10kVA)	(70)
2.1 基本工作原理及主要技术指标	(70)
2.2 H8 微处理器的控制功能	(72)
2.3 UPS 逆变器的脉宽调制及自动稳压控制电路	(74)
2.4 UPS 逆变器的输出过载自动调整和自动保护电路	(83)
2.5 市电同步跟踪及直流母线电源调控电路	(85)
2.5.1 UPS 的市电同步跟踪电路	(85)
2.5.2 直流母线电源调控电路	(88)
2.6 UPS 的外部控制信号	(89)
2.7 UPS 电源的外部通信接口	(90)
2.8 谐振变换器	(91)
2.8.1 谐振变换器的工作原理	(91)

2.8.2	谐振变换器的自动稳压调控原理	(94)
2.8.3	谐振变换器的启动电路	(97)
2.8.4	谐振变换器的自动调压电路	(100)
2.8.5	输入功率因数校正电路	(102)
2.9	直流辅助电源	(103)
2.10	AP200 型 UPS 的维修	(107)
第三章	具有网管功能的智能化 GXT 型 UPS 电源	(109)
3.1	概述	(109)
3.2	GXT 系列智能化 UPS 的网管特性	(111)
3.2.1	GXT 系列 UPS 电源的优越特性	(111)
3.2.2	GXT 型 UPS 可对用户软件提供全方位的保护	(113)
3.3	GXT 型 UPS 逆变器的脉宽调制	(117)
3.3.1	微处理芯片的输入控制信号	(120)
3.3.2	逆变器的脉宽调制发生器	(121)
3.3.3	GXT 系列 UPS 的面板显示器	(123)
3.4	微处理芯片的主要输入/输出控制信号	(125)
3.5	GXT 系列 UPS 所提供的通信接口	(129)
3.6	GXT 系列 UPS 的直流辅助电源及充电器电路	(131)
3.6.1	直流辅助电源	(131)
3.6.2	电池充电器电路	(133)
3.7	输入功率因数校正	(135)
3.8	DC/DC 直流变换器电源	(142)
3.9	逆变器功放电路	(143)
3.10	UPS 的手动开机/关机和自动关机控制电路	(143)
3.10.1	手动开机	(143)
3.10.2	手动关机	(144)
3.10.3	UPS 的故障自动关机控制	(144)
3.11	可靠性极高的“N+1”型冗余式 GXT 型 UPS 供电系统	(145)
3.12	GXT 型 UPS 的维修	(146)
第四章	微处理器控制的山特后备式方波输出 UPS 电源	(148)
4.1	概述	(148)
4.2	8232 型 UPS 的直流辅助电源电路	(152)
4.3	微处理器芯片的控制功能	(155)
4.4	UPS 的市电供电——逆变器供电切换控制电路	(156)
4.5	UPS 逆变器的工作原理	(157)
4.6	交流旁路中的自动稳压控制电路	(161)
4.7	UPS 逆变器的抗尖峰抑制电路	(164)
4.8	UPS 的自动保护电路	(165)
4.9	UPS 的面板显示和报警电路	(168)
4.10	8200 系列后备式方波 UPS 电源的维修	(170)

第五章 带输出变压器的在线式 UPS 电源(1~3kVA) (173)

5.1 基本性能 (173)

5.1.1 小型在线式 UPS 的典型电性能 (173)

5.1.2 小型在线式 UPS 的工作原理 (175)

5.2 整流滤波器及 UPS 的输入/输出切换控制电路 (178)

5.3 电池充电器 (181)

5.4 同步跟踪市电的正弦波及三角波发生器 (187)

5.4.1 20kHz 方波发生器 (190)

5.4.2 10kHz 三角波发生器 (191)

5.4.3 50HZ 基准正弦波发生器 (192)

5.4.4 50Hz 市电同步跟踪捕捉电路 (194)

5.5 脉宽调制信号发生器 (196)

5.6 逆变器桥式功放驱动电路 (200)

5.7 自动保护和报警控制电路 (204)

5.8 市电交流旁路供电——逆变器电源供电切换控制电路 (215)

5.9 面板显示和喇叭报警电路 (218)

5.10 常见故障及关键控制信号的工作电平 (219)

第六章 无输出变压器的 M2000 型在线式 UPS 电源 (222)

6.1 概述 (222)

6.2 充电器电路 (225)

6.3 12 伏和 24 伏直流辅助电源 (227)

6.4 逆变器直流总线电源及 DC/DC 变换器 (228)

6.5 正弦脉宽调制级控制电路 (231)

6.6 逆变器输出驱动级控制电路 (239)

6.7 UPS 的面板显示及喇叭报警 (243)

6.8 UPS 的延迟启动,自动保护及输出负载量指示电路 (246)

6.9 市电交流旁路供电——逆变器供电切换电路 (252)

6.10 供冷却逆变器用的风扇调速电路 (253)

6.11 常见故障的排除 (254)

6.12 长延时 UPS 的蓄电池外接充电器 (255)

第七章 大型 UPS 电源的安装、操作和维护 (259)

7.1 Plus 系列 UPS 电源(30~625kVA)的基本结构 (259)

7.1.1 Plus 系列 UPS 电源的工作原理 (259)

7.1.2 独特的“热同步(Hotsync)直接并机”式冗余型 UPS 供电系统 (262)

7.2 UPS 电源的安装和配置 (268)

7.2.1 UPS 场地安装注意事项 (268)

7.2.2 电缆和接线 (270)

7.2.3 配置电池组的注意事项 (271)

7.3 如何操作和运行大型 UPS 电源 (273)

7.3.1 Plus 系列 UPS 的操作控制屏和 LCD 显示屏 (273)

7.3.2 UPS 单机的开机和关机步骤 (280)

7.3.3 如何利用显示屏来读取 UPS 的运行参数 (281)

7.3.4 串行通信接口和打印输出方式 (288)

7.3.5 “1+1”直接并机 UPS 系统的开机和关机方法 (293)

7.4 大型 UPS 电源的日常维护和检查 (300)

7.4.1 UPS 的维护注意事项 (300)

7.4.2 UPS 的故障和检修 (302)

参考资料 (304)

第一章 UPS 电源的基本原理

随着我国改革开放和现代化建设事业的不断发展,以计算机网络技术,现代全球化通信技术和高精尖的精密加工工业的发展而带动起来的信息产业正以前所未有的速度发展着。所有这一切对当今的社会发展,经济和金融活动,甚至对我们每个人的生活质量都带来了极其深刻的影响。现在已为人们愈来愈认识到的事实是:由于计算机和通信设备等为代表的非线性负载在运行过程中所产生的“谐波污染”造成当今的普通电网的供电质量的普遍恶化。大量的运行实践说明:电网电压和频率的急剧波动,供电的瞬时和长期中断,在电网上所出现的各种人们无法预料和控制的干扰和高能浪涌都有可能造成计算机的硬件损坏或导致计算机的计算错误和数据丢失。有的部门曾为此而付出高昂的代价,如:用于银行结算中心和证券交易系统中的计算机网络通信系统,电信和移动电话通信系统,航空管理系统,大规模集成电路生产线及各种自动生产流水线,医用监控系统,公路和铁道调度和售票系统等。为满足这些部门对高可靠和高质量电源的需求,近年发展起来的 UPS(Uninterruptible Power Supply)不间断电源系统正越来越广泛地被选用。UPS 电源以它能向用户同时提供具有如下优点的高质量电源而独领风骚:输出电源的稳压精度高($\pm 0.5 \sim \pm 1\%$);工作频率稳定($\pm 0.01 \sim \pm 0.1\%$);电压失真度小的纯正正弦波电源(电压畸变度小于 1% ,这就意味着这样的电网不存在“谐波失真”问题);输出波形上不存在任何干扰以及不管市电电网供电正常与否,它都能在毫无时间中断的条件下,向用户提供高质量的交流电源。在此需特别指出的是:由于微处理器监控技术和先进的 IGBT 管驱动型脉宽调制技术等高新控制技术的引用,目前的 UPS 电源的可靠性已达到极高的水平。对于大型 UPS 电源来说,其单机的平均无故障工作时间(MTBF)已达到 24 万小时左右。对于采用双总线输出的多机“冗余”型 UPS 供电系统,其平均无故障供电时间甚至可达 100 万小时数量级。由于将网络通信和电源监控软件调控技术完善的结合起来而形成的智能化 UPS 电源的出现,它不仅使用户可以从任何计算机网络结点上监控 UPS 的运行,而且还可利用电源监控软件对用户的计算机操作系统和所运行的程序及数据提供全面的保护。如果再考虑到目前 UPS 电源工业可以向用户提供多品种 UPS 电源(它包括:按单相输入/单相输出,三相输入/单相输出和三相输入/三相输出方式运行的 UPS 电源),和其输出功率覆盖范围极宽的供电系统(UPS 单机的输出功率从几百伏安到 1500 千伏安,如果再采用多机“冗余”配置方案,目前可向用户提供 6000~7000 千伏安的 UPS 供电系统),那么,就可以清楚地看出:处于不断完善的 UPS 电源系统正在为高速发展的信息工业的健康发展提供坚实可靠的技术保障和支持。

1.1 UPS 不间断电源概述

一台设计完善的 UPS 不间断电源所要完成的主要任务是向用户的关键设备(例如:银行的清算中心和通存通取网控系统、证券交易及期货贸易系统、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。根据中国国家标准 GB2387-89 的规定;对于需配置 UPS 不间断电源的计算机机房而言,向它所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 $\pm 0.2\text{Hz}$

电源的波形失真度应小于 $\pm 5\%$

此外,还要求所配置的 UPS 电源在长期运行过程中,可能产生的任何瞬态供电中断应控制在小于 4~8 毫秒的范围之内。对于要求严格的场地,最好将上述瞬态供电中断时间控制在 3 毫秒之内。一般的微机所允许的瞬态供电中断时间在 8~10 毫秒的范围,这就意味着: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,从而造成用户所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,用户就会看见如下情景:正在运行中的微机显示屏上出现一片空白,然后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。

现在的 UPS 电源工业,可向用户提供如下四种类型的 UPS 电源品种:

(1)在线式(on line)UPS 供电系统,其单机输出功率从 0.7kVA~1500kVA。对于这样的机型,当用户在采用多机“冗余”配置方案时,可将 6~9 台具有相同功率输出和相同型号的 UPS 电源直接并机面形成 7000~8000kVA 的大型 UPS 供电系统。对于在线式输出 UPS 来说,它向用户所提供的交流电源是高质量的正弦波电源。

(2)在线互动式(Interactive)UPS 电源,其单机输出功率从 0.7kVA~20kVA 左右。对于这种 UPS 来说,当市电电源在约 150~264 伏的范围内,它向用户提供经铁磁谐振稳压器或经变压器抽头调压处理的一般市电电源(这就意味着:来自一般市电网的频率波动,由“谐波污染”而形成的高波形畸变度及从电网串入的干扰等所困扰的低质量电源就是用户所实际使用的交流电源)。对于这种 UPS 来说,仅仅当市电电源电压低于 150 伏或高于 264 伏左右时,它才有可能向用户提供真正的“UPS 逆变器高质量的正弦波”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 或“三端口 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:其单机输出功率从 0.25kVA~2kVA 左右。对于这种 UPS 来说,当市电电源电压在 170~264 伏的范围内,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 170 伏或高于 264 伏时,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:其单机输出功率从 0.25kVA~1kVA 左右。对于这种 UPS 电源来说,当市电电压在 165~270 伏左右的范围内,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 165 伏或高于 270 伏左右时,它向用户提供具有稳压输出特性的 50Hz 方波电源。对于后备式方波输出 UPS 电源来说,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 电源本身的逆变器烧毁,就会造成将用户的负载损坏的局面。

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的话,其顺序应为:在线式 UPS 电源>准在线式 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,准在线式 UPS 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。

1.1.1 小型在线式(on line)UPS 电源

我们将以近年来在市场上比较畅销的,采用以微处理器调控为特征的小型在线式 UPS 电源(标称输出功率在 0.5kVA~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

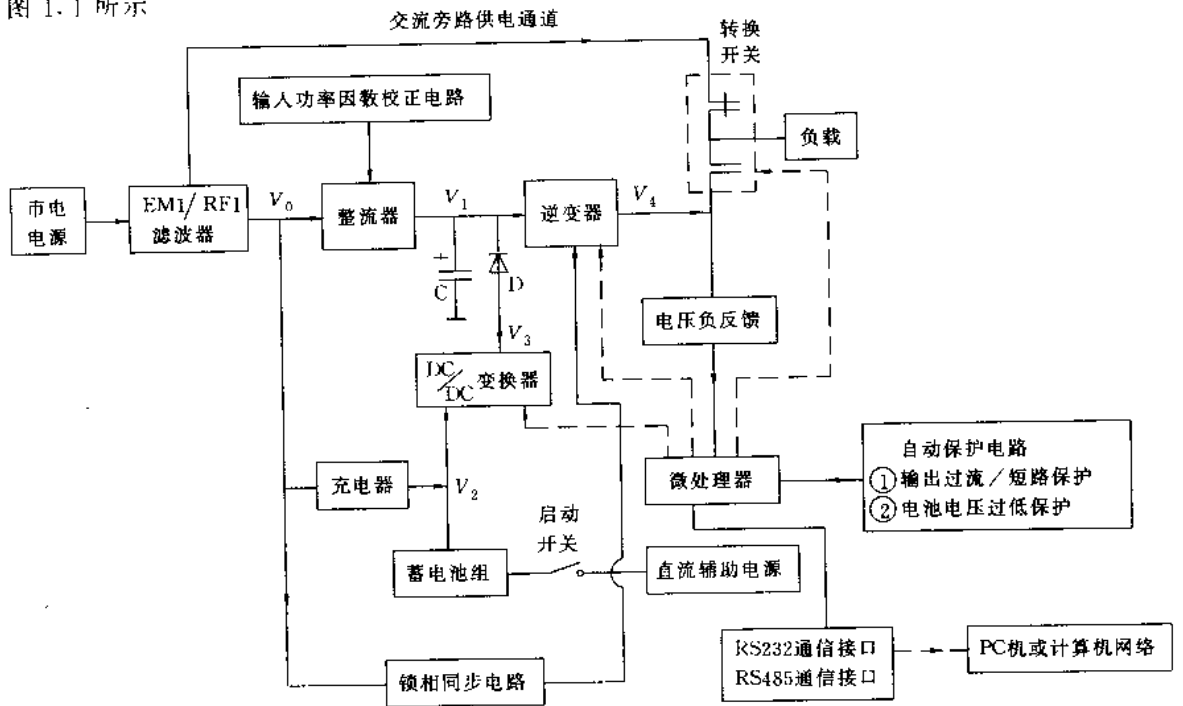


图 1.1 采用微处理器控制的小型在线式 UPS 控制框图

UPS 电源所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的像计算机、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。当市电供电出故障或完全停电时,利用装在 UPS 内部的蓄电池组继续向逆变器提供直流能源,从而可以保证 UPS 电源的逆变器电源继续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而言,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而言,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来说,可以在市电停电后 5~10 秒之内就能将柴油发电机投入 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,对于一台设计完善的 UPS 供电系统而言,它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。

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。

用户的负载被连接在小型转换继电器的公共触点上。为了实现对用户的负载提供高质量的不间断电源,在一台 UPS 中应至少包括如下的控制部件:

- 交流输入 EM1/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——逆变器电源供电切换装置及相应的锁相同步控制电路;
- 微处理器及故障“自诊断”检测系统;
- 为实现智能化 UPS 配置而设置的 RS232 或 DB9 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 滤波器对于来自电网的电磁干扰和射频干扰首先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被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”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(5 伏和 12 伏)。在这里需特别说明的是:在 UPS 电源内部所用的直流电源是由蓄电池组的直流电源经 DC/DC 变换得到的,它不像在一般的电子仪器中所常用的由市电交流电源经 AC/DC 变换来获得直流辅助电源的。这是因为在客观上,要求 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,对一台小型 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程序。此后,在微处理器的控制下,UPS 的逆变器电源

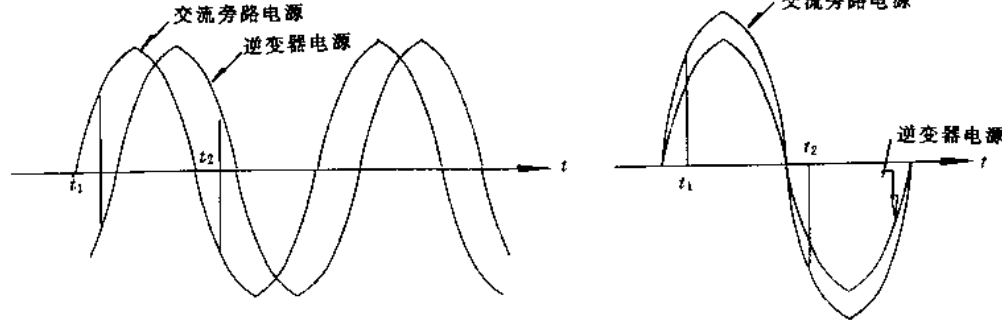
将进入如下的正常运作阶段。

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_3 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_4 。为区别来自市电电网的正弦波电源 V_0 ,我们将从逆变器所输出的正弦波电源称为“逆变器电源”。如果将该逆变器电源 V_4 同来自市电电网的普通电源 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,建立有由电压负反馈控制电路→微处理器→逆变器电源输出→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 $\pm 0.5 \sim \pm 1\%$ 的高精度稳压电源(见图 1.4(a))。

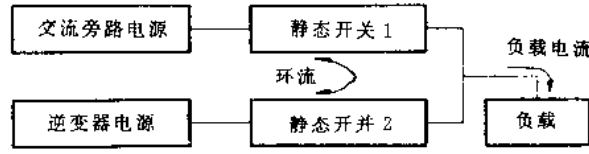
②利用位于 UPS 电源内部的锁相同步电路确保从 UPS 的逆变器所输出的逆变器电源的工作频率具有如下特性:

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 ($50\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$) 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(即:两种交流电源的频率相同和相位相同,见图 1.2)。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,它将回到 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 $50\text{Hz} \pm 0.1\%$ 左右。因此,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,它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。



(a)由于两路交流电源间出现相位差而产生的瞬态电压差

(b)由于两路同步的交流电源间出现幅度差而产生的瞬态电压差



(c)UPS 电源在执行市电旁路→逆变器电源供电切换时可能出现的环流

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 ($20\text{kHz} \sim 40\text{kHz}$) 正弦脉宽调制 (SPWM) 技术,从逆变器所输出的正弦波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很少,具有输出波形的失真度很小的优良特性。目前所生产的 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% (注: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,这样就可完全消除掉来自市电网的任何电压波动,波形畸变,频率波动及干扰可能产生的任何影响。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净正弦波电源。

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端电压提升到完全符合逆变器输入端所要求的电源 V_i 的电平上。利用这样的 DC/DC 变换技术,可以确保从 UPS 所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局面。在此条件下,用户完全不需要考虑电网供电到底是否正常。

综上所述:我们可以看到从 UPS 的逆变器所输出的高质量正弦波电源,不仅是一般的市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着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 UPS 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 $10\sim 20$ 秒的范围内),市电电源首先经交流旁路 $\rightarrow$ 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 $\rightarrow$ 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 秒的空载运行机会之后,在微处理器的控制下,转换继电器将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。上述操作就是 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 $\rightarrow$ 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 中的逆变器不被过度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。显然,一旦 UPS 电源执行了“逆变器电源供电” $\rightarrow$ “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网电源。UPS 电源执行逆变器电源供电 $\rightarrow$ 交流旁路电源供电的原因可能有:

- 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中的功率放大管(IGBT 管)的散热片温度超过 90°C 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。

目前,在多数 UPS 电源中所选的继电器的转换时间为 2~4 毫秒左右(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的供电中断时间为 4 毫秒左右)。幸运的是:对于微计算机来讲,在它的运行过程中,只要供电中断时间不超过 7~8 毫秒,这种瞬间的供电中断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作到同频率、同相位和同电压幅度。从上面的讨论中,我们可知:位于 UPS 的电源中的锁相同步电路固然可确保这两路交流电源作到同频率、同相位,然而,对 UPS 电源来说,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,就会因两者的瞬态电压值不同而形成“环流”(注: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,而不是流向负载的)。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 $\rightleftharpoons$ 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 4 毫秒的切换时间,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现象。

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观点不同而有很大差别。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,还是从所使用的电路控制水平来讲都远比小型 UPS 电源所用的保护电路更加完善。大量的运行实践早已证实: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 $\rightarrow$ 交流市电电源供电的切换操作。这样一来,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或烧毁输入保险丝。

(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

在计算机网络及通信事业的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,随着市电出故障的时间延长,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/计算机网络会在从 UPS 电源所发出的“自动关闭操作系统”命令的驱动下,在自动完成将程序和自动转入磁盘操作之后,再自动“关闭操作系统”这样的有序关机操作,从而达到确保用户的软件和数据的安全可靠。

②用户可在微机/计算机网络的各个结点上实时监控 UPS 电源的运行。利用这种控制功能用户可在微机/计算机网络终端上实时监视 UPS 电源的运行参数(例如:输入/输出的电压、电流和频率,UPS 的电池组的充电/放电和电压值,UPS 的输出功率及有关的故障/报警信息)。此外,用户还可在微机/计算机网络终端上对 UPS 电源的输出执行定时的自动开机/自动关机操作。

为实现上述控制功能,在目前市售的先进的 UPS 电源上可向用户提供 RS232, DB9, RS485 通信接口。对于要求能执行计算机网控管理功能的 UPS 来说,还应配置上简单网络管理协议(SNMP 即 Single Network Management Protocol)卡,才能配套运行。

6. 常用 UPS 电源的比较

目前在国内市场上大量销售的小型 UPS 电源(10kVA 以下),虽然仍以进口产品或用进口部件,在国内组装的产品为主。然而,由于技术的进步,目前已有相当的国内工厂和企业可生产出以仿制品为主的小型后备式 UPS 电源,以及输出功率在 5kVA 以下的小型在线式 UPS 电源。从市场需求来看:由于分布式计算机局域网的逐渐普及,对于小型 UPS 的销售量来说,其销售重点已从以仅能带 2~3 台微机终端为主的 1~2kVA 的 UPS 逐渐转移到能带 10~20 台微机终端或带 3~7 台服务器的 3~5kVA 的 UPS 为主的局面。目前在市场上常见的 UPS 电源品种如表 1.1、表 1.2 和表 1.3 所示。

表 1.1 后备式方波输出 UPS 电源

名称	额定输出功率(伏安)	逆变器中所用的功率驱动元件
山特(Santak)	500,1000	MOS 管/功率晶体管
山顿(Senden)	500,1000	MOS 管
创力(UPSonic)	250,350,500,1000	功率晶体管

表 1.2 在线互动式(准在线式,三端口)UPS 电源

名称	额定输出功率(伏安)	逆变器中所用的功率驱动元件
APC	0.7、1、2、3kVA	MOS 管
劲达(Deltec)	2、3、4、6、8、10kVA	IGBT 管/晶体管
力博特(Powersure)	0.7、1、1.4、2.2kVA	MOS 管

表 1.3 小型在线式正弦波输出 UPS

名称	额定输出功率(伏安)	逆变器中所用的功率器件
山特(Santak)	0.5、1、2、3、6、10kVA	IGBT 管/MOS 管
力博特(Liebert)	0.7、1、1.5、2、3、5、7.5、10kVA	IGBT 管
山顿(Senden)	1、3、5kVA	IGBT 管/晶体管
艾克赛(Exide)	1、1.5、3、5、6、8、10kVA	IGBT/管
创力(UPSonic)	1、2、3、5、7.5、10kVA	IGBT 管/晶体管
富电(Fuden)	1、2、3kVA	IGBT 管
先控/索克曼	2-10kVA	IGBT 管
梅兰日兰(MeRin GeRni)	0.9、1.2、2、3、4、5、7.5、10kVA	IGBT 管
劲达(Deltec)	2、3、4、6kVA	IGBT 管
山肯(Sanken)	1、2、3、5kVA	IGBT 管/MOS 管
瑞华达(Iwatec)	1、1.6、2.2、3、5、7.5、10kVA	IGBT 管
索克曼(Socomec)	1、1.5、2、3、5.6kVA	IGBT 管
创统(GOMA)	1、2、3.75、6.25、10kVA	MOS 管/IGBT 管
西力(Siel)	2、3、4、6、8、10kVA	IGBT 管/晶体管
百思得(Best)	1、3、4、5、8kVA	IGBT 管/MOS 管
优力(RSI)	1、4、6、7.5、10kVA	IGBT 管
宏基(Arcs)	1、2、3、5、10kVA	晶体管/IGBT
保时(Pulse)	1、3、5kVA	晶体管
东芝(Toshiba)	1、3、5、7.5、10kVA	IGBT 管
GPS(美国美洲集团)	3、5、10kVA	IGBT 管
FisKaris(芬兰)	1、2.4、3、6、8、10kVA	IGBT 管
英泰克(Emtek)	1、2、3、5、8、10kVA	
万时(Maxipower)意大利	1~10kVA	IGBT 管
IMV 荷兰	2~10kVA	IGBT 管

从上表可见:随着时间的推移,用于 UPS 逆变器中的驱动元件已从过去常用的达林顿晶体管/MOS 管改为 IGBT 管。产生上述变化的重要原因是 IGBT 管在下述方面明显优于晶体管和 MOS 管:

- ①抗干扰性能强;
- ②输出功率高,输入驱动功率小;
- ③允许的开关工作频率高;
- ④售价比晶体管低。

然而,就抗干扰性能而言,IGBT 管则远不如晶体管。有关这点,应引起维修工程师的高度重视,否则,会造成毫无意义地损坏 IGBT 管。

对于输出功率为 0.25~1kVA 的后备式方波输出 UPS 电源来说,近年来有的厂家采用单片微处理器芯片来代替原来常用的由小规模集成电路元件(例如,SG3524,LM339,CD4011 和