

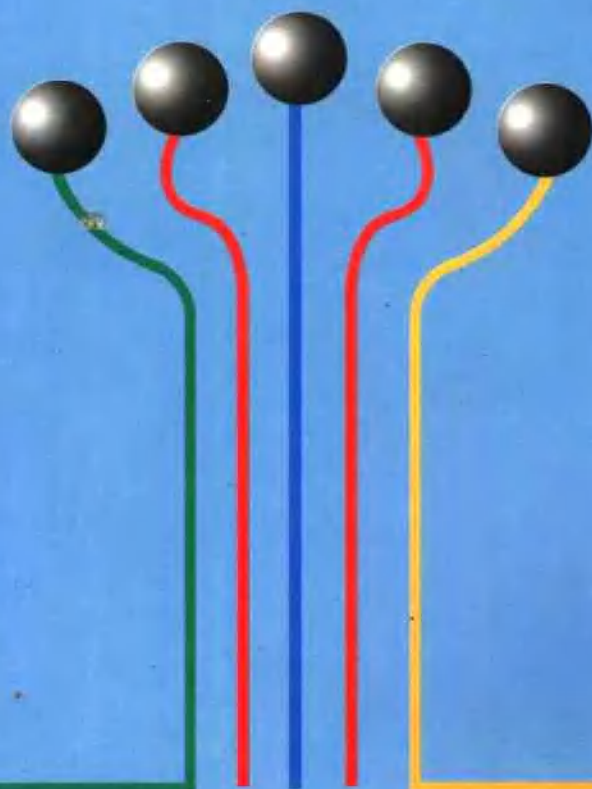
UPS DIANYUAN FENCE

# 实用电源技术手册

SHIYONGDIANYUAN  
JISHUSHOUCE

## UPS电源分册

分册主编 / 王其英



62

辽宁科学技术出版社

实用电源技术手册

# UPS 电源分册

分册主编 王基英

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

## 内 容 提 要

本书立足国内外 UPS 产品市场状况的基础上,全面系统地介绍了 UPS 电源技术及其发展现状;重点介绍当代 UPS 电路结构上质的变化,串并联 UPS 新技术的原理和它的优良性能、技术指标;并深入讨论了 UPS 的选用、UPS 的管理与监控、UPS 智能化等。同时对 UPS 电源的典型故障和如何提高 UPS 的可靠性、可用性均作了详尽的论述。

### 图书在版编目(CIP)数据

实用电源技术手册. UPS 电源分册 / 分册主编:王其英.  
沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.6

ISBN 7-5381-3615-0

I. 实... II. 王... III. ①电源-技术手册②中央处理器-电源-技术手册 IV. TN86-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004828 号

---

出 版 者: 辽宁科学技术出版社

(地址:沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编:110003)

印 刷 者: 沈阳市第三印刷厂

发 行 者: 各地新华书店

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 287 千字

印 张: 13

印 数: 1~4000

出版时间: 2002 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 枫 岗

封面设计: 任庆芳

版式设计: 于 浪

责任校对: 朱雨虹

---

定 价: 24.00 元



A0981559



联系电话: 024-23284360

邮购咨询电话: 024-23284502

E-mail: lkzsb@mail.lnpgc.com.cn

http://www.lnkj.com.cn

## 《实用电源技术手册》编辑委员会

主任委员兼总主编 丁道宏

副主任委员兼副总主编 叶治政 李允武

委员 (按姓氏笔画排列)

丁道宏 马凤兰 王其英 史平君 叶治政

李允武 李占师 刘选忠 张乃国 倪本来

## 《UPS 电源分册》

主编 王其英

主审 张广明

编者 (按姓氏笔画排列)

王其英 沈卫东 范凌江 赵 承

顾智卿 程小丹 谭晓阳

## 总 前 言

《实用电源技术手册》，这里的“电源技术”，是指采用功率电子技术，将一种（直流或交流）电源，变换成另一种或另一规格大小的电源技术。这种经过变换的电源，将能更好地适用于各种用电设备的不同要求。电能（源）经过功率电子技术处理，又能获得良好的节能效果。国外发达国家作为电源的电能，已有80%经过这种技术处理，节能效果达15%到40%。预计到2000年经过处理再应用的电能将达到95%。

近20年来，电源技术经过了迅速而又长足地发展。作为电源技术的关键元件——大功率半导体器件，从半控型的晶闸管，发展到可关断晶闸管（GTO）以及全控制型功率晶体管（GTR），绝缘栅双极型晶体管（IGBT），功率场效应晶体管。电源变换技术，也从开始采用线性变换发展到开关电源、高频开关电源；并且还有“硬开关”、“软开关”技术。功率等级也从几十瓦，发展到几十千瓦（伏安）或几百千瓦（伏安）。应用则涉及到计算机、通信、工业自动化、电子或电工仪器和家用电器等，几乎包括科学技术的各个领域和社会生活的各个方面。应用范围如此之广，一方面已形成了庞大的专业技术队伍，全国具有技术职称的专业人员，大约不少于8万人。这里包括研究、设计、生产、维修人员，其中中等或中等以上专业技术人员占多数。另一方面，也形成了广大的电源用户队伍。

《实用电源技术手册》的出版，正是面对当前这样的形势。《手册》将介绍不同种类电源的基本工作原理、单元的组成、性能与主要技术指标、典型产品的剖析介绍；电源的使用与维护、性能的测试要求与测试方法；不同类型电源的优缺点与适用场合、使用中应注意的问题，等等。对于某些电源，还介绍了一些基本的设计计算方法。这些内容，对于用户如何从型号繁多的各种电源中正确地选用电源，如何正确地使用与维护电源，无疑是会有很大帮助的。对于广大的维修人员也将是一本重要的可以直接借鉴的参考书。对于设计与研究人员，在电源技术的工程实现方面，包括：电源电路的方案选择、主要元件选用与基本计算和确定、加工与调试等，本书也希望能成为一本不可缺少的工具书。

《实用电源技术手册》采用按电源种类或专题，以《分册》形式陆续出版。第一批四个分册，现已确定的《分册》有：《电源元器件分册》，这是考虑到元器件是各种不同电源的基础；还有《交流稳定电源分册》、《不间断电源分册》、《模块式电源分册》等。将从1998年陆续出版。

本书的读者对象为具有电类中专以上水平，并有一定电源实际工作经验的工程技术人员，对于大专院校师生、业余电子爱好者都有参考价值。

由电源行业组织编写系统而又完整的《实用电源技术手册》，对于我们是初次尝试，限于水平，错漏难免，欢迎读者不吝赐教，批评指正。

《实用电源技术手册》总主编 丁道宏

1998.4

## 分册前言

UPS发展到今天已达到了很高的水平。不但从电路结构上发生了质的变化,如串并联调整式 Delta UPS 的问世,将原来一直难于实现的一些指标有了很大的突破;而且在使用观念上也有了进一步的发展,将原来只注重 UPS 供电的不间断性、可靠性、网络性等,进而发展到可用性,使人们对 UPS 系统的认识提高到一个新的高度。

UPS的应用场合也发生了巨大的变化。1998年以前的PC机用UPS多在1kVA以下,后备式500VA UPS占据了相当大的市场。随着包括电信、数据交换等服务器所建立的局域网、广域网甚至互联网之类IT领域的发展,UPS的应用容量也迅速提高,从10kVA到几百kVA的用户遍地开花。比如,一个IDC机房就由480kVA×4构成,更有甚者,有的一个系统就采用了480kVA×16达5套之多!而且大容量UPS的市场方兴未艾,正在进一步扩大。

为了适应用户的要求,UPS的智能化程度也在进一步提高。随着无人职守场合的逐渐增多,无论UPS系统及有关的系统出现了任何问题,都应使远在它地的管理人员知晓。因此,UPS增加了通知功能:打电话、寻呼(BP机移动电话)和发短信息等。有的用户对UPS缺乏管理人员,为了适应这种情况,一些UPS供应商还建立了UPS监控中心,通过电话线、通讯网络等对工作于远方的机器进行监控,并按时将记录的结果通过Fax、E-mail及电话通知用户;在发现故障时,监控中心根据故障信息分析出故障点后,监控中心可直接解决的,便就地解决,解决不了的,就马上通知用户到附近的维修站以最快的速度解决。

UPS技术的发展之快,不但使一些用户暂时无法适应,甚至有的专业人员也一时跟不上步伐,往往对用户造成误导。

本书就是根据以上的情况而进行编写的,编写人员包括了UPS各领域的专家。美国APC公司的程小丹先生、赵承先生,清华大学的张乃国教授为本书提供了丰富的素材,范凌江博士和沈卫东、谭晓阳、潘战生、顾智卿等工程师都认真地撰写了有关章节。在编写过程中一直得到了中国电源学会理事长丁道宏教授(南京航空航天大学)、副理事长叶治政教授(西安交通大学)具体的关怀,学会交流稳定电源专业委员会主任张广明研究员(中国科学院)对全书作了全面而认真地审核和修改。对以上诸位的关怀和辛勤劳动致以衷心地感谢。

本书可供UPS用户的决策者和技术人员、供应商的技术人员参考,大专院校的师生和从事电源工作多年的专门人员也可从中寻到研究的课题。但由于资料来源和编者的水平所限,其中难免有谬误之处,衷心希望读者批评指正。本书能起到一些抛砖引玉的作用,就达到了编者的目的。

王其英

2001.7月于北京

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                        | 1  |
| 1.1 静止变换式 UPS 的概况 .....               | 1  |
| 1.2 UPS 管理功能的改善 .....                 | 1  |
| 1.2.1 自我监控 .....                      | 1  |
| 1.2.2 网络功能 .....                      | 2  |
| 1.2.3 电池管理功能 .....                    | 2  |
| 1.3 UPS 增容和提高可靠性技术的发展 .....           | 3  |
| 1.3.1 热备份连接及其可靠性 .....                | 3  |
| 1.3.2 UPS 的并联冗余连接及其可靠性 .....          | 5  |
| 1.3.3 并联连接 UPS 的控制技术 .....            | 6  |
| 1.4 UPS 的输出方式 .....                   | 11 |
| 1.4.1 单进单出 (1/1) .....                | 11 |
| 1.4.2 三进单出 (3/1) .....                | 11 |
| 1.4.3 三进三出 (3/3) .....                | 12 |
| 1.5 UPS 性能指标的改进 .....                 | 15 |
| 1.5.1 调制频率的提高 .....                   | 15 |
| 1.5.2 电池充放电功能的改善 .....                | 16 |
| 1.5.3 输入指标的改进 .....                   | 17 |
| 1.5.4 输出指标的改进 .....                   | 18 |
| 1.6 当代 UPS 的新电路方案 .....               | 19 |
| 1.6.1 UPS 新电路方案与传统电路在结构上的区别 .....     | 19 |
| 1.6.2 DP300E UPS 与三端口 UPS 的区别 .....   | 26 |
| 1.6.3 DP300E UPS 与在线互动式 UPS 的区别 ..... | 27 |
| 1.6.4 UPS 新电路方案的手动维修旁路 .....          | 27 |
| 1.6.5 负载功率的调整 .....                   | 29 |
| 1.6.6 软启动与负载平滑转移 .....                | 30 |
| 1.6.7 UPS 新方案所达到的优越指标 .....           | 32 |
| 1.7 如何选用 UPS .....                    | 34 |
| 1.7.1 关于性价比 .....                     | 34 |
| 1.7.2 几个应注意的概念 .....                  | 34 |
| 1.8 UPS 的安装、运行和故障 .....               | 36 |
| 1.8.1 一般情况 .....                      | 36 |

|              |                         |            |
|--------------|-------------------------|------------|
| 1.8.2        | 关于带漏电保护器输入开关的情况         | 36         |
| 1.8.3        | 关于双路市电供电的情况             | 37         |
| 1.8.4        | UPS 投入运行后的一些问题          | 39         |
| <b>第 2 章</b> | <b>UPS 中一般常用电路和基本概念</b> | <b>40</b>  |
| 2.1          | 一般常用电路                  | 40         |
| 2.1.1        | 单相半波、单相全波和单相桥式整流器       | 40         |
| 2.1.2        | 三相半波、桥式(全波)整流及六脉冲整流电路   | 43         |
| 2.1.3        | 高频开关整流器                 | 49         |
| 2.2          | UPS 辅助电源                | 54         |
| 2.2.1        | 正激变换器                   | 54         |
| 2.2.2        | 反激变换器                   | 55         |
| 2.3          | 逆变器                     | 57         |
| 2.3.1        | 直流变换器                   | 57         |
| 2.3.2        | 桥式逆变器                   | 60         |
| 2.3.3        | 三相桥式逆变器                 | 65         |
| 2.3.4        | 双向变换器                   | 67         |
| 2.4          | 相位跟踪的基本概念               | 68         |
| 2.4.1        | 问题的提出                   | 68         |
| 2.4.2        | 实现相位跟踪的理论基础             | 70         |
| 2.4.3        | 产生相位差的原因                | 71         |
| 2.4.4        | 实现锁相的途径                 | 72         |
| 2.5          | 技术指标的基本概念               | 76         |
| 2.5.1        | UPS 指标的说明               | 76         |
| 2.6          | 可靠性简述                   | 82         |
| <b>第 3 章</b> | <b>电网供电状况与 UPS 功能</b>   | <b>84</b>  |
| 3.1          | 市电电网供电的状况与存在问题          | 84         |
| 3.1.1        | 概况                      | 84         |
| 3.1.2        | 电源故障与产生的原因              | 85         |
| 3.1.3        | 计算机等负载对电源故障保护的要求        | 86         |
| 3.2          | UPS 应具备的性能指标            | 87         |
| 3.2.1        | 计算机设备对供配电系统的基本要求        | 87         |
| 3.2.2        | UPS 应具备的基本功能            | 92         |
| 3.2.3        | UPS 设备对电网的适应能力          | 93         |
| 3.2.4        | UPS 常规输出电性能指标           | 95         |
| 3.2.5        | UPS 的输出能力和可靠性           | 100        |
| 3.2.6        | 智能管理和通讯功能               | 104        |
| <b>第 4 章</b> | <b>UPS 的管理与监控</b>       | <b>105</b> |
| 4.1          | UPS 界面 0 地电压的管理         | 105        |



|              |                                      |            |
|--------------|--------------------------------------|------------|
| 4.1.1        | 对市电输入界面的管理 .....                     | 105        |
| 4.1.2        | 对负载界面的管理 .....                       | 107        |
| 4.2          | 电池组的管理 .....                         | 109        |
| 4.2.1        | 对电池宏观的日常维护 .....                     | 109        |
| 4.2.2        | 对电池容量的判别 .....                       | 110        |
| 4.2.3        | 外接电池及充电器的管理 .....                    | 110        |
| 4.3          | 环境的管理 .....                          | 112        |
| 4.3.1        | 消除或抑制干扰源 .....                       | 112        |
| 4.3.2        | 切断干扰的通路 .....                        | 113        |
| 4.3.3        | 提高设备的抗干扰能力 .....                     | 118        |
| 4.4          | 对人员的管理 .....                         | 118        |
| 4.4.1        | 怀疑性“故障” .....                        | 119        |
| 4.4.2        | 知识性“故障” .....                        | 119        |
| 4.4.3        | 操作故障 .....                           | 120        |
| 4.4.4        | 延误故障 .....                           | 121        |
| 4.4.5        | 维护方面导致的故障 .....                      | 121        |
| 4.4.6        | 经验故障 .....                           | 122        |
| 4.4.7        | 交接故障 .....                           | 122        |
| 4.4.8        | 环境故障 .....                           | 122        |
| 4.4.9        | 选型故障 .....                           | 122        |
| 4.5          | UPS 本机的智能管理与监控 .....                 | 123        |
| 4.5.1        | 引言 .....                             | 123        |
| 4.5.2        | UPS 软件、智能附件对提高 UPS 系统的可用性的重要意义 ..... | 124        |
| 4.5.3        | 如何实现 UPS 的监控与管理 .....                | 125        |
| 4.5.4        | UPS 监控与管理软件和智能附件简介 .....             | 130        |
| <b>第 5 章</b> | <b>串并联调整 (Delta 变换) 式 UPS .....</b>  | <b>135</b> |
| 5.1          | 概述 .....                             | 135        |
| 5.1.1        | UPS 的现状 .....                        | 135        |
| 5.1.2        | 串并联调整式 UPS 的基本特点 .....               | 136        |
| 5.2          | 串并联调整式 UPS 的电路基础 .....               | 136        |
| 5.2.1        | 电流源及其特点 .....                        | 137        |
| 5.2.2        | 电压源及其特点 .....                        | 137        |
| 5.3          | 串并联调整式 UPS 的基本构成和基本功能 .....          | 138        |
| 5.3.1        | SILCON DP300E UPS 的电路原理 .....        | 138        |
| 5.3.2        | 高频双向变换串并联补偿电路结构及其典型应用 .....          | 141        |
| 5.4          | SILCON UPS 的能量平衡与传输方式 .....          | 149        |
| 5.5          | 串并联调整式 UPS 的运行特点 .....               | 154        |
| 5.5.1        | UPS 的软启动与负载软转移 .....                 | 154        |

|              |                                 |            |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 5.5.2        | SILCON UPS 的突加负载和突减负载           | 156        |
| 5.5.3        | 输入端掉电和短路                        | 157        |
| 5.5.4        | UPS 的切换                         | 158        |
| 5.5.5        | 串并联调整式 (Delta 变换) UPS 的负载功率因数调整 | 160        |
| 5.5.6        | 串并联调整式 (Delta 变换) UPS 的变换器      | 161        |
| <b>第 6 章</b> | <b>蓄电池与充电器</b>                  | <b>166</b> |
| 6.1          | 概述                              | 166        |
| 6.2          | 蓄电池                             | 167        |
| 6.2.1        | 铅酸蓄电池                           | 168        |
| 6.2.2        | 镉镍蓄电池                           | 173        |
| 6.3          | 充电器                             | 175        |
| <b>第 7 章</b> | <b>UPS 系统的可靠性和可用性</b>           | <b>182</b> |
| 7.1          | 引言                              | 182        |
| 7.2          | UPS 系统的可靠性和可用性                  | 182        |
| 7.3          | 提高可靠性的措施                        | 183        |
| 7.3.1        | 元器件选用                           | 183        |
| 7.3.2        | UPS 拓扑结构                        | 183        |
| 7.3.3        | UPS 的制造工艺                       | 185        |
| 7.3.4        | 冗余技术                            | 185        |
| 7.4          | 提高可用性的措施                        | 185        |
| 7.4.1        | 现场维修时间 $T_{\text{R}}$           | 185        |
| 7.4.2        | UPS 管理响应时间 $T_{\text{M}}$       | 185        |
| 7.4.3        | UPS 技术服务系统                      | 186        |
| 7.5          | 可用性的级别与计算                       | 186        |
| <b>第 8 章</b> | <b>UPS 常用基础知识</b>               | <b>188</b> |
| 8.1          | 常见计算机开关电源型负载的功率因数               | 188        |
| 8.1.1        | 开关电源负载的电流波形失真                   | 188        |
| 8.1.2        | 各种情况下功率因数的计算公式                  | 188        |
| 8.2          | UPS 外部电压、电流及功率分析                | 190        |
| 8.2.1        | UPS 的电压、电流关系                    | 190        |
| 8.2.2        | UPS 的能量平衡                       | 191        |
| 8.3          | UPS 的输入                         | 194        |
| 8.3.1        | UPS 工作在 On line 状态时             | 194        |
| 8.3.2        | UPS 工作在 On Batt 状态时的伏安特性        | 196        |
| 8.4          | UPS 的工作特性                       | 196        |
| 8.4.1        | UPS 的输出电压特性                     | 196        |
| 8.4.2        | UPS 的过载运行特性                     | 197        |
| 8.4.3        | UPS 的电压转移特性                     | 197        |
| <b>参考资料</b>  |                                 | <b>199</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 静止变换式 UPS 的概况

近年来 UPS 市场发展迅猛，除了旋转式发电机外，各行各业用得最多的就是静止变换式 UPS。

随着 IT、IDC 技术的发展，带动了各行业、局域网、广域网和互联网的普遍实施，多数单位有了自己的网站，各系统也建立了自己的网络，系统之间又形成互联网等等。因此，对系统可靠性的要求就提高了。电源是系统可靠性的基础，于是各种容量的 UPS 都有了用武之地。除上述的 PC 机外，各种服务器普遍配备了 UPS，各种类型的计算中心需配备更大容量的 UPS，几十千伏安到几百千伏安 UPS 的需要量越来越大。为了提高电源的可靠性，不少系统采用了 N+X 并联冗余方案。

UPS 市场的繁荣使各种结构方案的机器得到了充分地发挥，但也暴露出一些问题。传统双变换式 UPS 的效率低、输入功率因数低，在线互动式 UPS 的输出电压精度低、对输入功率因数无补偿作用等，在很多场合下影响了用户的使用信心。Delta 变换式 UPS 结构的出现，不但解决了上述的这些不足，而且在保留了前二者全部优点和在不增加成本的情况下，又改善了一些重要指标，比如将效率提高到 97%、输入功率因数可调整到 1、可过载 200% 1min 等等。因此这种结构的 UPS 一问世就赢得了用户的青睐。

## 1.2 UPS 管理功能的改善

### 1.2.1 自我监控

以前的 UPS 并无此功能，往往是等到机器出了故障、不能正常供电了，才由值班人员去查找故障的所在，势必要耗费很多宝贵的时间，这在很多应用场合是不允许的。随着技术的发展，微处理器 CPU 和监控软件的引入，大大增强了 UPS 的自检功能。多数 UPS 都配备了自己的监控软件，如 APC 的 Powerchute、Sitepro 和 Emel 的 Argus、Fenton 的 UPS-LOGIC、M.G 的 Monitor pac、Exide 的 Onlinet 等等。UPS 在这些软件的帮助下，可以实时地监视本身的各种运行参数，并把事件储存起来，以供随时调用。有的还配有打印机接口，需要时就可以打印出来。比如，UPS 故障时，监控软件就可以通过面板上的液晶显示屏，将故障的部位或器件提供出来，大大节省了时间。还有的具有预警功能，比如电池即将失效、环境温度过高等等，就可及时提醒值班人员提前采取预防措施。

除了这种本地监控外，还有一种简单的方法，就是将面板上的功能复制成所谓遥控面板，一般可以通过信号线将该遥控面板移到几十米以外，由于信号的衰减和干扰原因，大都限制在 30m 以内。在 30m 以外时，就得加有源转换，比如 IMV Sitepro UPS 通过 RS232 和 RS422 接口转换后就可以将监控距离延长到 200m；Fenton UPS 为了解决这个问题，就采用了光纤通信方式，将监控距离延长到了 1000m。

为了方便使用，除了 RS232 计算机接口外，有的还有 485 接口，大都还有干接点接口，在这个接口上可以引出有关 UPS 的一些状态信息，并可采用直接的表示方法，比如可接灯泡、电铃等直观告警的手段。也可从该接口上引出紧急关机的信号。由于这些干接点的加入，方便了不同厂家和不同型号的 UPS 统一监视。

### 1.2.2 网络功能

随着联网技术的普及，用户又向 UPS 提出了更新的要求：UPS 应具有无人值守的功能，并且不但具有自检的功能，还应具有联网功能，即，不但在网上可以随时观察 UPS 的各项运行参数，而且在市电或 UPS 故障时，可以向服务器、工作站等发出信息，同时也可以利用打电话、发传真或寻呼等手段通知值班员；又比如当市电停电继续延续时，在 UPS 的蓄电池放电将要结束时，UPS 能够按照预先的约定有序地关闭工作站、服务器等。

鉴于以上的这些要求，UPS 制造商又给机器配备了网络软件，如 APC 的 Powerchute Plus、IMV Sitepro 的 PowerFlag、M.G 的 Management-Pac、Exide 的 Lansafe III 等，均达到了这些要求。而且这些网络软件的适应能力一般都很强，不仅仅适用于一种网，而是几种，比如一般都可适用于 Windows Net、OS/2、Novell、UNIX 等等。这样一来，UPS 就和网络形成了紧密地配合，成为计算机网络系统不可缺少的支持与合作伙伴。远程监控中心的建立使这种监控达到了完美的程度。比如 APC 在北京建立的远程监控中心就可以将其安装在全国各地的 UPS 监管起来，为用户提供了可靠的保障。

### 1.2.3 电池管理功能

电池是 UPS 不可缺少的支柱之一。电池的好坏直接影响着 UPS 的运行质量，机器安装后，如果因为管理不善而导致电池过早地失效，就会使 UPS 不能正常运行或关机，从而使整个用电系统陷入瘫痪。

造成电池容量下降、内阻增大等老化现象的主要原因，不外乎是在电池循环充放电过程中，由于极板的硫化、水分的挥发以及长时间不充放电所造成。实际上，过高的环境工作温度是导致密封免维护电池服务寿命缩短的首要原因。有关经验数据表明：当环境温度超过 25℃ 时，以后每升高 10℃，就会使电池的寿命缩短一半。因此，电池制造商们为电池设计了温度补偿功能，情况在一定程度上有所改善。

#### 1. 当环境温度升高时

当环境温度升高时，电池所允许的浮充电电压电平相应降低，如果仍保持其不变的话，就会使电池处于过充状态，使电池加速老化；于是就采用温度补偿电路来实施调整充电器的充电电压，使电池处于最佳浮充状态。温度补偿虽然只可以解决一部分问题，

但在实际应用中，效果还是显著的，因为电池补偿的优点在  $40^{\circ}\text{C}$  以下时还是很明显的，而一般机房的温度也很少有超过这个温度范围。应该注意的倒是另一方面：因为这种补偿是非线性的，而且温度传感器和一系列的信号转换电路如果选择和调整的不好，就会在温度变化时导致过补偿，这一方面加速了电池的老化，另一方面也造成 UPS 的误动作。

## 2. 当环境温度太低时

当环境温度太低时，虽然对电池的储存有利，对其老化也无很大影响，可使服务寿命延长，但它会造成电池放电容量的降低。比如，当环境温度由  $25^{\circ}\text{C}$  下降到  $0^{\circ}\text{C}$  时，电池的有效放电容量将下降  $20\% \sim 30\%$ 。

实际上，保证电池服务寿命的最佳方案就是尽量将环境温度控制在  $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$  之间。当然，这还不是保证其寿命的全部，因为还有放电次数、放电深度、放电和充电电流以及定时充放电的周期等等。严格地说，几乎没有一个机房条件可以满足如此多的要求，因此，达到厂家给出的期望寿命是很难的。

## 1.3 UPS 扩容和提高可靠性技术的发展

### 1.3.1 热备份连接及其可靠性

热备份连接可用来提高可靠性，就是说，当单台 UPS 已不能保证用户提出的可靠性要求时，就可以再接上一台同规格的单机 UPS 来提高可靠性。两台单机的连接方法如图 1-1 所示。

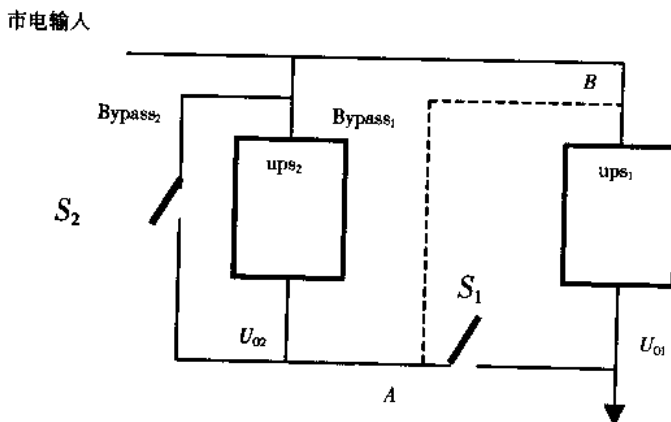


图 1-1 两台 UPS 热备份连接图

这种连接非常简单，如图 1-1 所示，当把  $\text{UPS}_1$  作为主输出电源而把  $\text{UPS}_2$  作为备用机时，只需将备用机  $\text{UPS}_2$  的输出与  $\text{UPS}_1$  的旁路  $\text{Bypass}_1$  输入端相连就可以了，不过此时  $\text{UPS}_1$  的旁路  $\text{Bypass}_1$  输入端一定要与  $\text{UPS}_1$  的输入端断开。这样连接以后的 UPS 系统

可靠性就提高了。为了有一个量的概念，图 1-2 给出了单台 UPS 可靠性模型图。

图 1-2 中  $P_U$  是不带旁路时单台 UPS 主机可靠性，设  $P_U=0.99$ ， $P_B$  是旁路 (Bypass) 的可靠性，为了便于计算，也设  $P_B=0.99$  (实际上要高得多)，也就是说，此二者的可靠性都是 99%，即不可靠性是  $1-0.99=0.01$  即 1%。这两部分是并联冗余的关系，那么根据可靠性并联的计算公式，单台 UPS 系统的可靠性  $P_1$  就是：

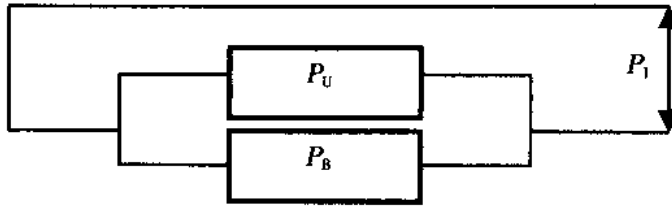


图 1-2 单台 UPS 可靠性模型图

$$P_1 = 1 - (1 - P_U) (1 - P_B) \quad (1-1)$$

代入数值 0.99，则

$$P_1 = 1 - (1 - 0.99) (1 - 0.99) = 0.9999$$

由上面的结果可以看出，两个可靠性都为 0.99 的单元并联后，其可靠性增加到原来的 100 倍，不可靠性由原来的 1% 下降到 0.01%。

以此为基础，就可以计算热备份连接 UPS 系统的可靠性了。图 1-3 给出了热备份连接 UPS 系统的可靠性模型图。这个图是对应于图 1-1 来作的。

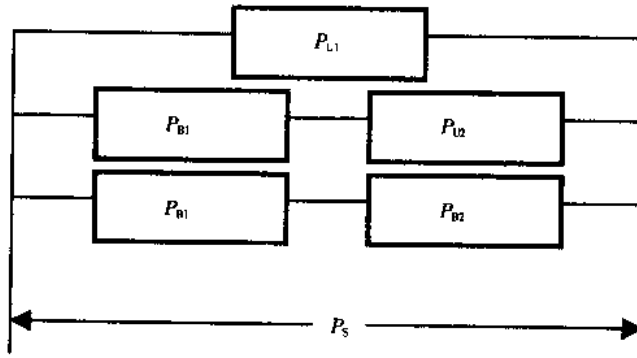


图 1-3 热备份连接 UPS 系统的可靠性模型图

其中： $P_{B1}$ 、 $P_{U1}$ ——分别对应于 UPS<sub>1</sub> 的旁路可靠性和主机可靠性；

$P_{B2}$ 、 $P_{U2}$ ——分别对应于 UPS<sub>2</sub> 的旁路可靠性和主机可靠性。

为了便于计算，仍设它们有着相同的可靠性，并都是 0.99，其可靠性计算式如下：

$$\begin{aligned} P_S &= 1 - (1 - P_{U1}) (1 - P_{B1} P_{U2}) (1 - P_{B1} P_{B2}) \\ &= 1 - (1 - 0.99^2) (1 - 0.99^2) (1 - 0.99^2) \\ &= 0.99999604 \end{aligned} \quad (1-2)$$

由上式简单地计算就可以明显地看出，两台热备份连接的 UPS 系统可靠性比单台提高了两个数量级。

这种系统的连接方式简单易行，即使是不同品牌的机器，只要规格容量相同，就可连接，不需再增加另外的设备。若两台不同容量的 UPS 相连，其容量只好按最小的那一台计算。

这种热备份连接方式也有它的不足之处，由于是同容量串联连接，故如果一台 UPS 过载，转到另一台后仍然过载，即带载能力没有加强；实用中很少有两台以上 UPS 的串联连接。因此，应用场合受到了限制。

### 1.3.2 UPS 的并联冗余连接及其可靠性

UPS 并联冗余连接就克服了上述方法的不足，图 1-4 给出了两台 UPS 并联连接的原理方框图。这种连接方式从表面上看更为简单，只需把二者的输出连到一起就可以了，多台相连也是这样把输出连到一起，相互之间再加一些信号连线，以实现并联功

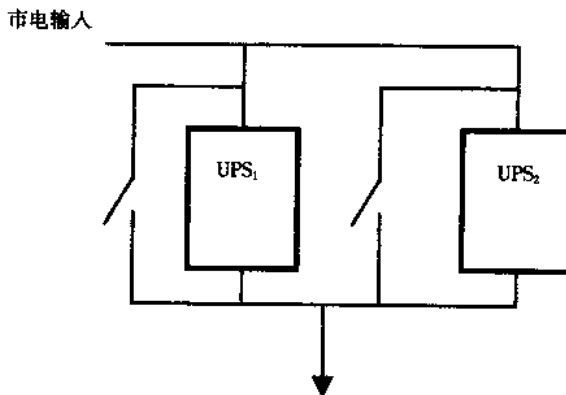


图 1-4 两台并联连接的原理方框图

能。并联后的可靠性模型如图 1-5 所示，根据上面的假设数据，其系统可靠性就可根据下式得出：

$$\begin{aligned} P_P &= 1 - (1 - P_1) (1 - P_1) = 1 - (1 - 0.9999)^2 \\ &= 0.99999999 \end{aligned} \quad (1-3)$$

由上面的计算可以看出，热备份连接的 UPS 系统比单机系统高出两个数量级，而其并联系统又比热备份连接的 UPS 系统高出两个数量级，这就从理论上定性和定量地

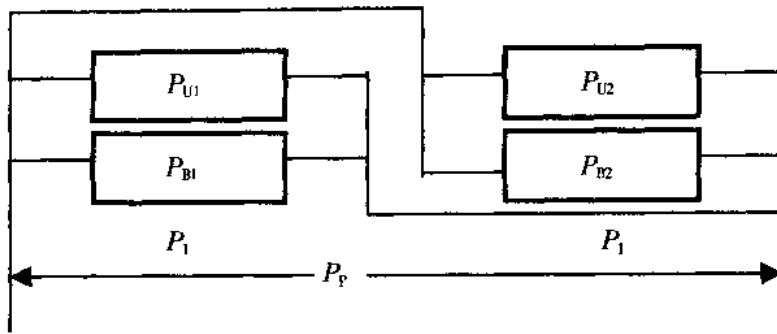


图 1-5 两台并联 UPS 的可靠性模型

看出可靠性的趋势是：

$$P_p > P_p > P_1 \quad (1-4)$$

并联连接的 UPS 系统不但可靠性提高了，而且带载的能力也加强了，因为是并联，在两台 UPS 系统中，就具有着两倍的负载能力，所以在冗余的情况下，系统的过载和耐冲击能力比热备份连接的 UPS 系统强得多；在非冗余的情况下，它的并联可以增容，这也是热备份连接技术所不能实现的。

随着并联冗余台数的增加，其可靠性也相应增加，但并联台数也不是无限的。

### 1.3.3 并联连接 UPS 的控制技术

#### 1. 并联台数

并联 UPS 系统虽然比热备份连接的 UPS 系统有很多优越性，但其控制技术要比后者复杂得多。因为在多台 UPS 并联时，其中一个最重要的指标就是电流均分：比如 N 台 UPS 并联，必须保证每台 UPS 的输出电流是总输出电流的  $1/N$ ，至少其相互之间的最大不平衡度要在要求范围内，否则，过大的环流会将功率器件烧毁，一般将不平衡度限制在 2% 以下。造成不平衡的主要原因就是相位差和电压瞬时值差。这些指标就限制了并联台数的增加，比如：Fenton 可高达 6 台并机，IMV Sitepro 500kVA 以下可 4 台并机，500kVA 及以上可 6 台并机，SIEMENS 500kVA 以下可 4 台并机，500kVA 可 8 台并机，三菱 UPS 可高达 8 台并机，SILCON UPS 的并机数达到了 9 台等等。不过，一般来说，功率在 500kVA 以下时，并机数被限制在 4 台以内的居多。

#### 2. 节能运行

开始时的并机仅限于增容和提高可靠性。随着技术的发展和要求的提高，并机的功能也在不断增加。比如 Silcon UPS 的软件可以在轻载的情况下“关掉”并联系统中的一台或几台，这可以节约能量，等负载功率增加到一定值时，被“关掉”的机器又及时自动启动供电；IMV Sitepro UPS 的软件也增加了这个功能；Silcon UPS 的另一个独到之处是，可以将多台并联的 UPS 系统编组运行，比如 9 台机器并联，在容量允许的情况下编成三组分时运行，比如第一周由第一组供电，第二周由第二组供电，第三周由第三组供电，第四周又由第一组供电……，就这样循环下去。此种功能的好处在于，不但



使机器得到了轮休，而且也使机器得到了轮流检修和保养，有效地提高了系统的可靠性。

### 3. Symmetra N+1 自冗余式 UPS

(1) 问题的提出 UPS 的并联冗余供电方案对负载确实做出了可靠的保证，实现这样并联功能的电路部分就占据了相当的价格比例。因此就影响了小功率 UPS 的并联，比如对 100kVA 以上的 UPS 来说，其并联电路价格所占比例甚至可忽略不计，而对 10kVA 的 UPS 来说就显得有举足轻重的意义了。这样的结果，就导致了功率在 10kVA 以下的用户，在价格与可靠性问题上陷入困境。APC Symmetra 自冗余式 UPS 结构的推出就有效地解决了上述的矛盾。使重要的小功率负载也有了高可靠性的 UPS 保证。下面就对其作一简单介绍。

(2) 电路结构及其特点 Symmetra 自冗余式 UPS 结构的基本单元是 4kVA 一个模块，如图 1-6 所示。该 UPS 是一个 N+X 冗余系统，其中的“N”就是并联功率模块（或 UPS 单机）总数，其中的“X”就是说在并联系统中允许 X 个模块出故障。这里的 X=1，就是说是针对容量为 16kVA 的负载情况而言，只允许一个模块出故障。若负载功率是 4kVA，则最大冗余度就可以作 5+4。

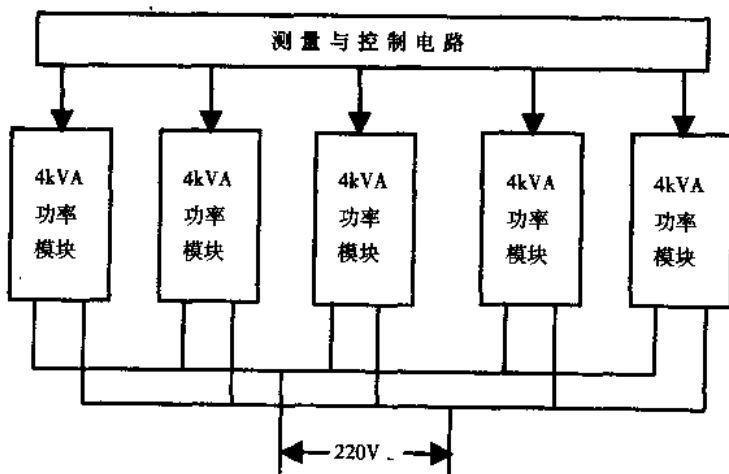


图 1-6 Symmetra 自冗余式 UPS 基本结构原理方框图

(3) 面板监控 并联 UPS 系统的面板监控也有了改进：

- ①自我监控；
- ②统一监控；
- ③全方位监控。

(4) 并机技术：

- ①利用数字电压信号通信并机；
- ②光纤通信信号并机；