

UPS

原理与维修

张颖超 杨贵恒 常思浩 徐国家 等编著



化学工业出版社

UPS

原理与维修

张颖超 杨贵恒 常思浩 徐国家 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍 UPS 各部分电路的工作原理以及典型设备的操作使用与常见故障检修。全书共分 8 章, 包括 UPS 控制电路基础, 整流电路及晶闸管触发电路, 逆变电路及脉宽调制技术, 铅蓄电池及其充电电路, UPS 的选型、安装、使用、维护, 最后是典型 UPS 实例剖析。通过 UPS 实例剖析, 读者可掌握典型 UPS 的技术参数与基本结构及常见故障检修。

本书可作为 UPS 维护与管理人员的参考书籍, 也可作为高等学校电气工程及其自动化、工业自动化、机电一体化等相关专业的本、专科专业教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

UPS 原理与维修/张颖超等编著. —北京: 化学工业出版社,
2011. 3

ISBN 978-7-122-10007-8

I. U… II. 张… III. 不停电电源-基本知识 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 232539 号

责任编辑: 刘 哲

文字编辑: 鲍晓娟

责任校对: 战河红

装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 490 千字 2011 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着信息技术的不断发展和计算机的日益普及,高新技术产品和服务对供电质量提出了越来越严格的要求。如计算机、工业自动化过程控制系统、医用控制系统、数据通信处理系统、航空管理系统和精密测量系统等,均要求交流电网对其提供稳压、稳频、无浪涌和无尖峰干扰的优质交流电。这是因为供电的突然中断或供电质量严重超出设备(系统)的标准要求之外,轻者造成数据丢失、系统运行异常和生产不合格产品,严重时会造成系统瘫痪或造成难以估量的损失。然而普通电网供电时,因受自然界的风、雨、雷电等自然灾害的影响以及受某些用户负载、人为因素或其它意外事故的影响,势必造成所提供的交流电不能完全满足负载要求。为了保证负载供电的连续性,为负载提供符合要求的优质电源,满足一些重要负载对供电电源提出的严格要求,从20世纪60年代开始出现了一种新型的交流不间断电源系统(Uninterruptible Power System, UPS),同那些昂贵的设备相比,配置UPS的费用相对较低,为保护关键设备配置UPS是非常值得的。近年来,UPS得到了迅速发展,在电力、军工、航空、航天和现代化办公等领域已成为必不可少的电源设备。

UPS是一种涉及数字与模拟电路、电力电子电路、化学电源、数字通信、计算机控制技术等多学科的技术密集型电子产品。本书共分8章来讨论UPS的原理与维修技术:绪论部分介绍了UPS的功能、性能指标、基本结构形式及其发展趋势;第1章主要讲述UPS控制电路基础;第2章至第5章讨论了UPS中常用电路的工作原理及其相关技术;第6章介绍了UPS的选型、安装、使用、维护以及UPS的并联冗余技术;第7章和第8章进行了典型UPS实例剖析。UPS的生产厂家及其品牌很多,UPS实例剖析部分本着按类选取的原则,既有小功率UPS,又有中、大型UPS;既有后备式UPS,又有在线式UPS。这些实例是从作者接触较多的UPS产品中选取的,通过UPS实例剖析,读者可掌握典型UPS的技术参数与基本结构、电路工作原理及常见故障检修。

本书由张颖超、杨贵恒、常思浩、徐国家、李龙、钱希森、强生泽、刘扬、李世刚、金丽萍、曹均灿和张瑞伟等共同编写。绪论、第2章至第5章由杨贵恒、李龙、钱希森、刘扬、强生泽、李世刚和曹均灿编写;第1章由常思浩编写;第6章至第8章由张颖超、徐国家、金丽萍和张瑞伟编写。另外,在本书编写过程中,吴桂平、陈昌兰、吴英、蒋王莉、余江、杨贵文、吴勇、万毅林、邹洪元、陈昌碧、邹春虎、杨芳、付保良、付洋、汪涛和吴伟丽等做了大量的文字编辑工作,在此表示衷心的感谢!

由于UPS涉及的知识面广,相关技术发展迅猛,再加之编者的水平和经验有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2010年11月

目 录

绪论	1
0.1 UPS 的定义与作用	1
0.1.1 UPS 的定义	1
0.1.2 UPS 的作用	1
0.2 UPS 的分类	2
0.2.1 后备式 UPS	3
0.2.2 双变换在线式 UPS	4
0.2.3 在线互动式 UPS	5
0.2.4 Delta 变换式 UPS	6
0.2.5 典型 UPS 性能对比	8
0.3 UPS 的性能指标	9
0.3.1 UPS 的输入指标	9
0.3.2 UPS 的蓄电池指标	9
0.3.3 UPS 的输出指标	10
0.3.4 UPS 的其他指标	11
0.3.5 集中监控和网管功能	12
0.4 UPS 的发展趋势	13
0.4.1 高频化	13
0.4.2 绿色化	14
0.4.3 智能化	14
第 1 章 UPS 控制电路基础	15
1.1 电压比较器	15
1.1.1 理想运算放大器	15
1.1.2 电压比较器	16
1.1.3 具有滞后特性的电压比较器	17
1.2 运算放大器	19
1.2.1 反相比例放大器	19
1.2.2 同相比例放大器	20
1.2.3 电压跟随器	21
1.2.4 电压加法放大器	22
1.2.5 电压差动放大器	22
1.3 逻辑门电路及触发器	24
1.3.1 逻辑代数运算及逻辑门电路	24
1.3.2 RS 触发器	28
1.3.3 集成触发器	30

1.4	555 时基集成电路、单片机及 DSP	32
1.4.1	555 时基集成电路	32
1.4.2	单片机	39
1.4.3	数字信号处理器 (DSP)	43
第 2 章	整流电路及晶闸管触发电路	46
2.1	整流电路常用器件	46
2.1.1	电力电子器件概述	46
2.1.2	电力二极管	46
2.1.3	晶闸管	49
2.2	整流电路	55
2.2.1	单相不可控整流电路	55
2.2.2	三相不可控整流电路	59
2.2.3	单相可控整流电路	61
2.2.4	三相可控整流电路	68
2.3	晶闸管触发电路	77
2.3.1	对触发电路的要求	77
2.3.2	触发电路的种类	78
2.3.3	单结晶体管触发电路	79
2.3.4	锯齿波同步触发电路	83
2.3.5	集成触发电路	86
2.3.6	触发电路与主回路的同步	89
第 3 章	逆变电路及脉宽调制技术	92
3.1	逆变电路常用功率开关器件	92
3.1.1	电力晶体管	92
3.1.2	功率场效应晶体管	94
3.1.3	绝缘栅双极晶体管	97
3.2	典型全控型器件驱动电路	102
3.2.1	GTR 的基极驱动电路	102
3.2.2	功率 MOSFET 栅极驱动电路	103
3.2.3	IGBT 的栅极驱动电路	104
3.3	逆变电路	106
3.3.1	单相逆变电路	106
3.3.2	三相桥式逆变电路	109
3.3.3	保障逆变电路可靠运行的措施	112
3.4	脉宽调制控制技术	114
3.4.1	单脉冲 PWM	114
3.4.2	多脉冲 PWM	115
3.4.3	SPWM	115
3.5	常用集成 PWM 控制器	121
3.5.1	SG3524 PWM 控制器	121
3.5.2	SG3525A PWM 控制器	122

3.5.3	TL494 PWM 控制器	127
3.5.4	UC3846/UC3847 PWM 控制器	130
第4章	UPS 其他主要电路	135
4.1	功率因数校正电路	135
4.1.1	功率因数 (PF) 和总谐波畸变 (THD) 的定义	135
4.1.2	功率因数校正的方法	135
4.1.3	典型功率因数校正电路	138
4.2	相位跟踪	142
4.2.1	相位跟踪的一般方法	142
4.2.2	相位跟踪的实现	143
4.2.3	幅值跟踪	147
4.3	转换开关	148
4.3.1	转换开关的安全转换条件	148
4.3.2	转换开关的种类	149
4.3.3	检测与控制电路	149
4.4	保护电路	152
4.4.1	过流保护电路	152
4.4.2	过、欠压保护	154
4.4.3	过温保护	155
4.4.4	蓄电池过压、欠压保护	156
4.5	辅助电源	158
4.5.1	串联线性调整型稳压电源	158
4.5.2	小功率开关稳压电源	160
4.6	显示电路	162
4.6.1	指示灯显示	162
4.6.2	数码管显示	163
4.6.3	液晶 (LCD) 显示	163
第5章	铅蓄电池及其充电电路	167
5.1	阀控式密封铅蓄电池的构造与工作原理	167
5.1.1	阀控式密封铅蓄电池的结构	167
5.1.2	蓄电池的工作原理	169
5.1.3	阀控式密封铅蓄电池的密封原理	171
5.2	阀控式密封铅蓄电池的使用与维护	172
5.2.1	主要技术指标与性能	172
5.2.2	充电控制技术	173
5.2.3	放电控制技术	177
5.2.4	电池的安装	178
5.2.5	日常维护	178
5.2.6	剩余容量的测量	180
5.3	阀控式密封铅蓄电池的常见失效模式	182
5.3.1	硫化	182

5.3.2	失水	184
5.3.3	正极板栅腐蚀	186
5.3.4	内部短路	186
5.3.5	热失控	187
5.3.6	早期容量损失	187
5.3.7	负极板栅及汇流排的腐蚀	188
5.3.8	引起失效模式的因素	188
5.4	蓄电池充电电路	189
5.4.1	恒压式充电电路	189
5.4.2	先恒流后恒压式充电电路	190
5.4.3	采用智能芯片的充电控制器	196
第6章	UPS 的选型、安装、使用与维护	200
6.1	UPS 的选型与安装	200
6.1.1	UPS 的选型	200
6.1.2	UPS 的安装	201
6.2	UPS 的使用与日常维护	208
6.2.1	UPS 的使用方法	208
6.2.2	UPS 的应用技巧	209
6.2.3	UPS 的日常维护	210
6.3	UPS 并联冗余技术	211
6.3.1	UPS 并联冗余技术概述	211
6.3.2	UPS 并联冗余结构方式	213
6.3.3	UPS 并联冗余控制方式	213
6.3.4	UPS 并联均流控制方法	216
6.4	UPS 常见故障分析与处理	217
6.4.1	UPS 故障检修的一般方法	218
6.4.2	UPS 的常见故障	219
6.4.3	UPS 的人为故障	221
第7章	中小型 UPS 实例剖析	223
7.1	山特 TG 系列 (500/1000V · A) UPS 原理与维修	223
7.1.1	技术参数与特点	223
7.1.2	工作原理	223
7.1.3	常见故障及维修	228
7.2	山特 M2052L (1kV · A) UPS 原理与维修	229
7.2.1	技术参数与结构框图	229
7.2.2	主电路工作原理	230
7.2.3	辅助电源电路工作原理	235
7.2.4	主控电路工作原理	236
7.2.5	使用维护与常见故障处理	243
7.3	梅兰日兰 Comet 系列 UPS 原理与维修	244
7.3.1	技术性能与结构框图	244

7.3.2	工作原理	245
7.3.3	常见故障检测	248
第8章	大中型 UPS 实例剖析	249
8.1	系统原理与结构框图	249
8.1.1	系统原理框图	249
8.1.2	系统结构功能框图	249
8.2	辅助电源板 (A5)	252
8.2.1	主电路	252
8.2.2	辅助电源控制电路	252
8.2.3	直流母线采样电路	254
8.3	电气参数及开关状态的采样电路	255
8.3.1	输入信号采样电路	255
8.3.2	输出信号采样电路	255
8.4	接口板电路 (A7)	257
8.4.1	接口板电源电路	257
8.4.2	信号调理电路	258
8.4.3	同步取样信号调理电路	261
8.4.4	整流器 SCR 控制信号调理电路	264
8.4.5	逆变器 SPWM 信号调制电路	265
8.5	静态开关 (BYPASS) 单元	269
8.5.1	静态开关主电路及缓冲保护电路	269
8.5.2	静态开关驱动放大电路	269
8.6	整流器单元	271
8.6.1	整流器主电路及缓冲保护电路	271
8.6.2	整流器 SCR 驱动放大电路	273
8.7	逆变器单元	273
8.7.1	逆变器功率主电路	273
8.7.2	IGBT 驱动放大电源电路	273
8.7.3	IGBT 驱动放大电路	275
8.8	微处理器单元	277
8.8.1	MC80C537 微处理器	277
8.8.2	UPS 系统整流、逆变及静态开关微处理板电路	277
8.8.3	SM 系列 UPS 整流、逆变微处理板接口功能	280
8.8.4	UPS 系统主控及显示微处理板电路	286
8.9	使用与维修	286
8.9.1	SM 系列 UPS 使用说明及操作	286
8.9.2	UPS 报警信息分析及维修方法	292
8.9.3	电路板常见故障点及其维修	297
参考文献		299

绪 论

随着信息技术的不断发展和计算机的日益普及,高新技术产品和设备对供电质量提出了越来越严格的要求。如计算机、工业自动化过程控制系统、医用控制系统、数据通信处理系统、航空管理系统和精密测量系统等,均要求交流电网对其提供稳压、稳频、无浪涌和无尖峰干扰的优质交流电。为了保证负载供电的连续性,为负载提供符合要求的优质电源,满足一些重要负载对供电电源提出的严格要求,从20世纪60年代开始出现了一种新型的交流不间断电源系统(Uninterruptible Power System, UPS),同那些昂贵的设备相比,配置UPS的费用相对较低,为保护关键设备,配置UPS是非常值得的。近年来,UPS得到了迅速发展,在电力、军工、航空、航天和现代化办公等领域已成为必不可少的电源设备。

0.1 UPS的定义与作用

0.1.1 UPS的定义

所谓不间断电源(系统)是指当交流电网输入发生异常时,可继续向负载供电,并能保证供电质量,使负载供电不受影响的供电装置。不间断电源依据其向负载提供的是交流还是直流可分成两大类型,即交流不间断电源系统和直流不间断电源系统,但人们习惯上总是将交流不间断供电系统简称为UPS。

0.1.2 UPS的作用

UPS作为一种交流不间断供电设备,其作用有二:一是在市电供电中断时能继续为负载提供合乎要求的交流电能;二是在市电供电没有中断但供电质量不能满足负载要求时,应具有稳压、稳频等交流电的净化作用。

所谓净化作用是指,当市电电网提供给用户的交流电不是理想的正弦波,而是存在着频率、电压、波形等方面异常时,UPS可将市电电网不符合负载要求的电能处理成完全符合负载要求的交流电。市电供电异常主要体现在以下几个方面(如图0-1所示)。

① 电压尖峰(Spike) 指峰值达到6000V、持续时间为0.01~10ms的尖峰电压。它主要是由于雷击、电弧放电、静电放电以及大型电气设备的开关操作而产生。

② 电压瞬变(Transient) 指峰值电压高达20kV、持续时间为1~100 μ s的脉冲电压。其产生的主要原因及可能造成的破坏类似于电压尖峰,只是在量上有所区别。

③ 电线噪声(Electrical Line Noise) 指射频干扰(RFI)和电磁干扰(EMI)以及其他各种高频干扰。电动机运行、继电器动作、广播发射以及微波辐射等都会引起电线噪声干扰。电网电线噪声会对负载控制线路产生影响。

④ 电压槽口(Notch) 指正常电压波形上的开关干扰(或其他干扰),持续时间小于半个周期,与正常极性相反,也包括半周期内的完全失电压。

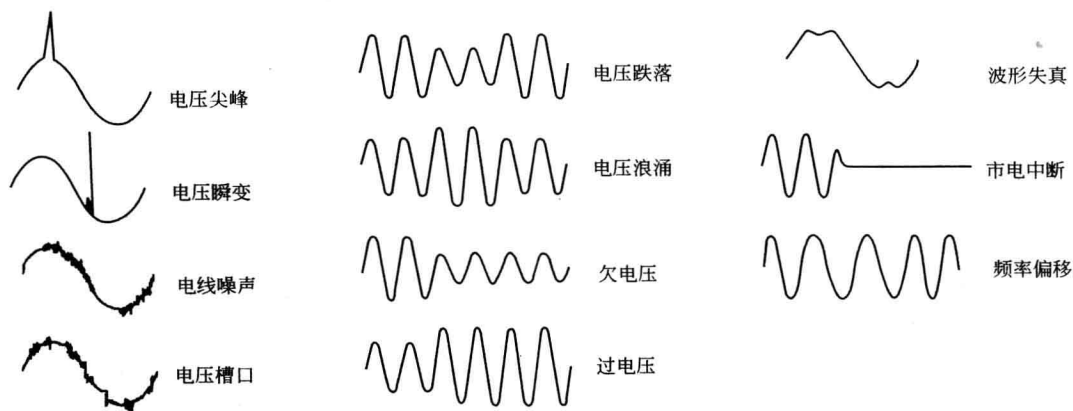


图 0-1 各种电网干扰示意图

⑤ 电压跌落 (Sag or Brownout) 指市电电压有效值介于额定值的 80%~85% 之间, 并且持续时间超过一个至数个周期。大型设备开机、大型电动机启动以及大型电力变压器接入电网都会造成电压跌落。电压跌落可能造成硬件提前老化、文件数据丢失。

⑥ 电压浪涌 (Surge) 指市电电压有效值超过额定值的 110%, 并且持续时间超过一个至数个周期。电压浪涌主要是因电网上多个大型电气设备关机, 电网突然卸载而产生的。

⑦ 欠电压 (Under Voltage) 指低于额定电压一定百分比的稳定低电压。其产生原因包括大型设备启动及应用、主电力线切换、大型电动机启动以及线路过载等。

⑧ 过电压 (Over Voltage) 指超过额定电压一定百分比的稳定高电压。一般是由接线错误、电厂或电站误调整以及附近重型设备关机引起。对单相电而言, 可能是由于三相负载不平衡或中线接地不良等原因造成。

⑨ 波形失真 (Harmonic Distortion) 指市电电压相对于线性正弦波电压的偏差, 一般用总谐波畸变 (Total Harmonic Distortion, THD) 来表示。产生的原因一方面是发电设备输出电能本身不是纯正的正弦波, 另一方面是电网中的非线性负载对电网的影响。

⑩ 市电中断 (Power Fail) 指电网停止电能供应且至少持续两个周期到数小时。产生的原因主要有线路上的断路器跳闸、市电供应中断以及电网故障等。电源中断可能造成硬件损坏。

⑪ 频率偏移 (Frequency Variation) 指市电频率的变化超过 3Hz 以上。这主要由于应急发电机的不稳定运行或由频率不稳定的电源供电所致。

0.2 UPS 的分类

UPS 自问世以来, 其发展速度非常快。初期的 UPS 是一种动态的不间断电源。在市电正常时, 用市电驱动电动机, 电动机带动发电机发出交流电。该交流电一方面向负载供电, 同时带动巨大的飞轮使其高速旋转。当市电变化时, 由于飞轮的巨大惯性对电压的瞬时变化没有反应, 因此保证了输出电压的稳定。在市电停电时, 依赖飞轮的惯性带动发电机继续向负载供电, 同时启动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, 如图 0-2(a) 所示。为了进一步延长供电时间, 后来采用如图 0-2(b) 所示的结构。市电经整流后一路给蓄电池充电, 另一路为直流电动机供电, 直流电动机又拖动交流

发电机输出稳压稳频的交流电，一旦市电中断，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。这种动态不间断电源设备存在噪声大、效率低、切换时间过长、笨重等缺点，未被广泛采用。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电能供应的连续性。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。本书所述及的 UPS 均指静态 UPS。

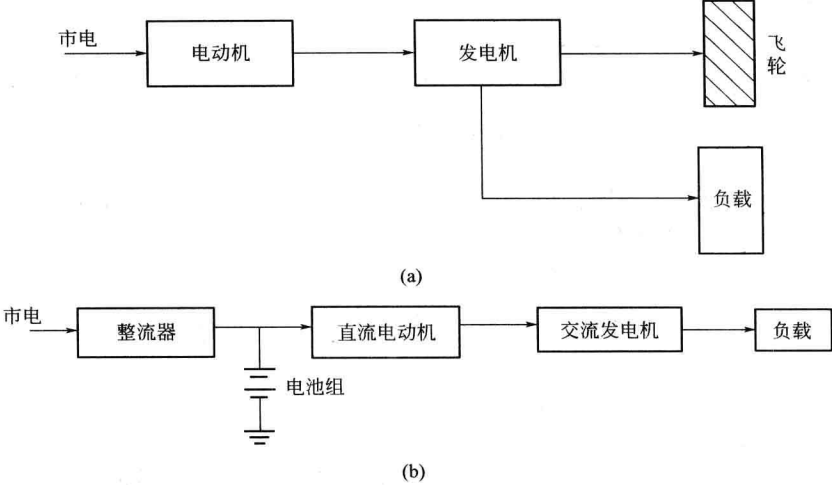


图 0-2 动态 UPS 结构框图

UPS 的分类方法很多，按输出容量可分为小容量 ($10\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下)、中容量 ($10 \sim 100\text{kV} \cdot \text{A}$) 和大容量 ($100\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上)；按输入、输出电压相数可分为单进单出、三进三出和三进单出型；但人们习惯上按 UPS 的电路结构形式进行分类，可分为后备式、双变换在线式、在线互动式和 Delta 变换式。

0.2.1 后备式 UPS

后备式 (off line) UPS 是静态 UPS 的最初形式，它是一种以市电供电为主的电源形式，主要由充电器、蓄电池、逆变器以及变压器抽头调压式稳压电源四部分组成。当电网电压正常时，UPS 把市电经简单稳压处理后直接供给负载；当电网故障或供电中断时，系统才通过转换开关切换为逆变器供电。其工作原理如图 0-3 所示。

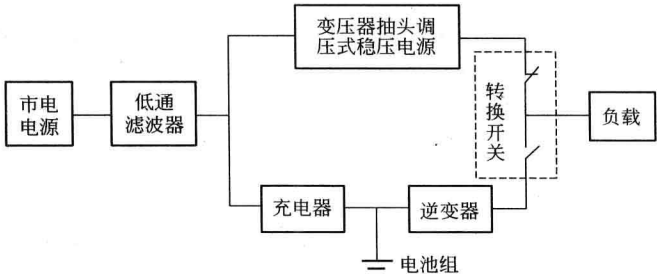


图 0-3 后备式 UPS 原理框图

(1) 当市电供电正常（市电电压处于 $175 \sim 264\text{V}$ 之间）时 首先经由低通滤波器对来自

电网的高频干扰进行适当的衰减抑制后，分两路去控制后级电路的正常运行：

① 经充电器对位于 UPS 内部的蓄电池组进行充电，以备市电中断时有能量继续支持 UPS 的正常运行；

② 经位于交流旁路通道上的“变压器抽头调压式稳压电源”对起伏变动较大的市电电压进行稳压处理，使电压稳定度达到 $220[1 \pm (4 \sim 10)\%]$ V，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 $2 \sim 4\text{ms}$ ）；

③ 逆变器处于启动空载运行状态，不向外输出能量。

(2) 当市电供电不正常（市电电压低于 175V 或高于 264V）时 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 转换开关在切断交流旁路供电通道的同时，将负载与逆变器输出端连接起来，从而实现由市电供电向逆变器供电的转换；

③ 逆变器吸收蓄电池中存储的备用直流电，变换为 50Hz/220V 电压维持对负载的电能供应。根据负载的不同，逆变器输出电压可以是正弦波，也可以是方波。

后备式 UPS 的性能特点是：

- 电路简单，成本低，可靠性高；
- 当市电正常时，逆变器仅处于空载运行状态，整机效率可达 98%；
- 因大多数时间为市电供电，UPS 输出能力强，对负载电流的波峰系数、浪涌系数、输出功率因数、过载等没有严格要求；
- 输出电压稳定精度较差，但能满足负载要求；
- 输出有转换开关，市电供电中断时输出电能有短时间的间断，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，后备式正弦波输出 UPS 容量通常在 $2\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下，而后备式方波输出 UPS 容量通常在 $1\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下。

0.2.2 双变换在线式 UPS

双变换在线式（on line）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 一般来说由整流器、充电器、蓄电池、逆变器等几部分组成，它是一种以逆变器供电为主的电源形式。当市电正常供电时，市电一方面经充电器给蓄电池充电，另一方面经整流器变成直流后送至逆变器，经逆变器变成交流后再送给负载。仅仅在逆变器出现故障时，才通过转换开关切换为市电旁路供电。其工作原理如图 0-4 所示。

(1) 当市电供电正常时 首先经由 EMI/RFI 滤波器对来自电网的传导型电磁干扰和射频干扰进行适当的衰减抑制后，分三路去控制后级电路的正常运行：

① 直接连接交流旁路供电通道，作为逆变器通道故障时的备用电源；

② 经充电器对位于 UPS 内的蓄电池组进行浮充电，以便市电中断时，蓄电池有足够的能量来维持 UPS 的正常运行；

③ 经过整流器和大电容滤波变为较为稳定的直流电，再由逆变器将直流电变换为稳压、稳频的交流电，通过转换开关输送给负载。

(2) 当市电出现故障（供电中断、电压过高或过低）时 在逻辑控制电路的作用下，UPS 将按下述方式运行：

① 关充电器，停止对蓄电池充电；

② 逆变器改由蓄电池供电，将蓄电池中存储的直流电转化为负载所需的交流电，用来维持负载电能供应的连续性。

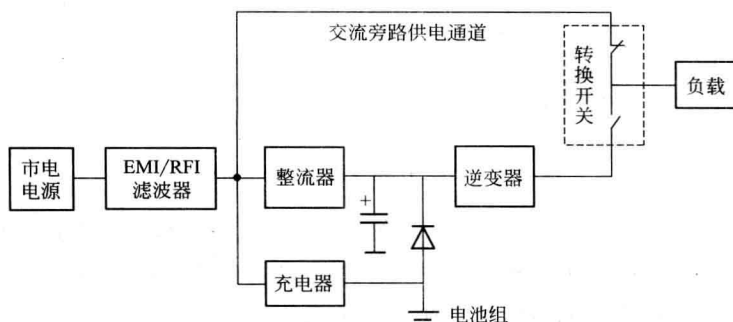


图 0-4 双变换在线式 UPS 原理框图

(3) 市电供电正常情况时 如果系统出现下列情况之一：在 UPS 输出端出现输出过载或短路故障、由于环境温度过高和冷却风扇故障造成位于逆变器或整流器中的功率开关管温度超过安全界限、UPS 中的逆变器本身故障，那么 UPS 将在逻辑控制电路调控下转为市电旁路直接给负载供电。

双变换在线式 UPS 的性能特点如下。

- 不论市电正常与否，负载的全部功率均由逆变器给出，所以，在市电产生故障的瞬间，UPS 的输出不会产生任何间断。

- 输出电能质量高。UPS 逆变器采用高频正弦脉宽调制和输出波形反馈控制，可向负载提供电压稳定度高、波形畸变率小、频率稳定以及动态响应速度快的高质量电能。

- 全部负载功率都由逆变器提供，UPS 的容量裕量有限，输出能力不够理想，所以对负载的输出电流峰值系数（一般为 3:1）、过载能力、输出功率因数（一般为 0.7）等提出限制条件，输出有功功率小于标定的千伏安数，应付冲击负载的能力较差。

- 整流器和逆变器都承担全部负载功率，整机效率低。10kV·A 以下的 UPS 为 80% 左右，50kV·A 的可达 85%~90%，100kV·A 以上的可达 90%~92%。

0.2.3 在线互动式 UPS

在线互动式 (interactive) UPS 又称为并联补偿式 UPS。与双变换在线式 UPS 相比，该 UPS 省去了整流器和充电器，而由一个可运行于整流状态和逆变状态的双向变换器配以蓄电池构成。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），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，将电池电能转换为交流电输出。其工作原理如图 0-5 所示。

(1) 当市电正常（市电电压在 150~276V 之间）时 市电电源经低通滤波器对从市电网窜入的射频干扰及传导型电磁干扰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 175~264V 之间时，在逻辑控制电路作用下，将开关 Q_0 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送到负载上。

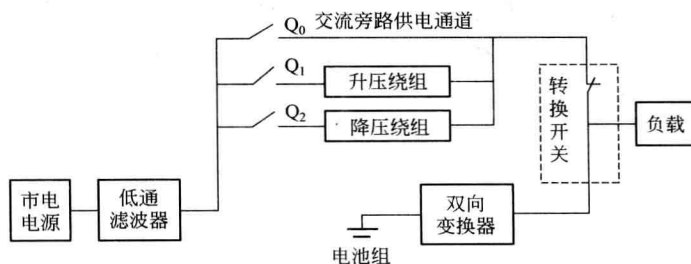


图 0-5 在线互动式 UPS 原理框图

② 当市电电压处在 150~175V 之间时，鉴于市电输入电压偏低，在逻辑控制电路作用下，将开关 Q_0 置于分断状态的同时，闭合升压绕组输入端的开关 Q_1 ，使幅值偏低的市电电源经升压处理后，将一个幅值较高的电压经转换开关送到负载。

③ 当市电电压处在 264~276V 之间时，为防止输出电压过高而损坏负载，在逻辑控制电路作用下，将开关 Q_0 置于分断状态的同时，闭合降压绕组输入端的开关 Q_2 ，使幅值偏高的市电电源经降压处理后再经转换开关送到负载，从而达到用户负载安全运行的目的。

④ 经过处理后的市电电源除了供给负载电能以外，同时作为双向逆变器的交流输入电源。双向逆变器运行于整流状态，从电网吸收能量存储在蓄电池组中，以便在市电不正常时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 在机内逻辑控制电路的作用下，UPS 的各关键部件将完成如下操作。

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。也就是说，此时系统不再对蓄电池进行充电，而是吸收蓄电池存储的直流电能，经正弦波逆变转化为稳压、稳频的交流电能输出给负载。

在线互动式 UPS 的性能特点如下：

- 效率高，可达 98% 以上；
- 电路结构简单，成本低，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；
- 变换器直接接在输出端，并且处于热备份状态，对输出电压尖峰干扰有滤波作用；
- 大部分时间为市电供电，仅对电网电压稍加稳压处理，输出电能质量差；
- 市电供电中断时，因为交流旁路开关存在断开时间，导致 UPS 输出存在一定时间的电能中断，但比后备式 UPS 的转换时间短。

0.2.4 Delta 变换式 UPS

Delta 变换式 UPS 又称为串并联补偿式 UPS，是一种最新的 UPS 结构形式。Delta 变换式 UPS 成功地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 变换器既起到了给蓄电池充电的作用，同时也起到

了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。其工作原理如图 0-6 所示。

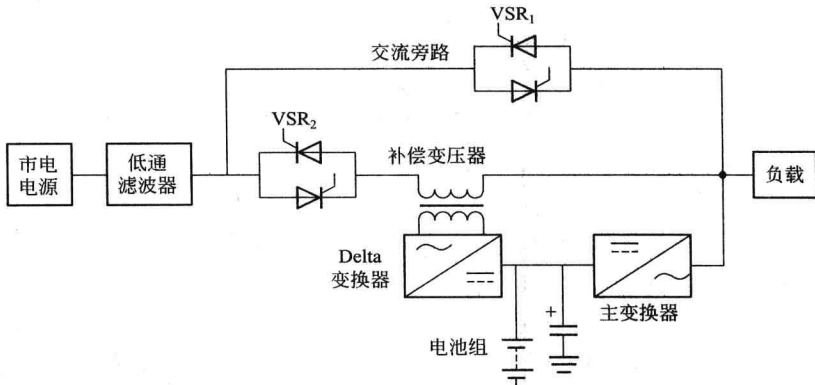


图 0-6 Delta 变换式 UPS 原理框图

(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 是根据能量平衡原则进行调控的，可分为如下几种情况。

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 变换器使市电输入电流幅值增大，以保证市电输入有功功率等于负载所需有功功率。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 变换器发出的有功功率，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的幅值减小，以保证市电输入有功功率等于负载所需有功功率。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，同时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幅值增大，使得市电输入有功功率大于负载所需有功功率。此时，除了供给负载有功功率外，剩余有功功率通过主变换器被传送到直流的母线上，完成对蓄电池的充电。

⑤ 蓄电池电压过高需要放电时，Delta 变换器控制市电输入电流幅值减小，使得市电输入有功功率小于负载所需有功功率。负载除了吸收市电输入有功功率外，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（电压波动范围大于 $\pm 15\%$ ，频率波动范围超过 3Hz ）时，静态开关 VSR₁ 和 VSR₂ 都处于关闭状态，停止 Delta 变换器工作。此时，主变换器在蓄电池提供的直

流能量的支持下，以逆变器的形式向负载提供电能，负载所需全部有功和无功功率以及谐波电流都由主变换器提供。

不管市电供电正常与否，在运行过程中，只要遇到下述情况之一：在 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，那么，位于主供电通道上的静态开关 VSR_2 和位于主供电通道的闭环控制电路中的 Delta 变换器、主变换器都应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 SSR_1 立即进入导通状态。在此条件下，市电电源将被直接送到用户的负载端。

Delta 变换式 UPS 的性能特点如下：

① 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，但主电路和控制电路相对复杂；

② 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；

③ 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%。

0.2.5 典型 UPS 性能对比

综上所述，当市电故障时，各种 UPS 输出电能质量都取决于逆变器输出电压质量。当市电正常时，由于各种 UPS 的电路结构和工作状态不同，其性能差别较大。各种典型 UPS 在市电正常时的主要性能归纳如表 0-1 所示。

表 0-1 典型 UPS 性能对比

UPS 类型	容量范围/kV · A	输出电压质量	输入功率因数	切换时间	效率和过载能力
后备式	<2	稳压精度:±(4%~7%) 有波形畸变和干扰	低	长	高
双变换在线式	0.7~1500	稳压精度:±1% 波形畸变率小 完全不受电网干扰	根据有无功率 因数校正措施 而不同	无	低
在线互动式	0.7~20	稳压精度:±20% 有波形畸变和干扰	由负载决定	短	高
Delta 变换式	10~480	稳压精度:±1% 波形畸变率小 受电网干扰小	高	无	较高

在线式 UPS（双变换在线式 UPS）与后备式 UPS 的主要区别如下。在线式 UPS 首先经过整流和大电容滤波将普通的市电交流电源变成直流稳压电源，然后再将直流电源经脉宽调制处理，由逆变器重新转化为稳压稳频的交流电源。正因为经过了一级 AC/DC 变换，原来存在于市电网上的电压幅度不稳、频率漂移、波形畸变及噪声干扰等不利因素都随着市电交流电整流成直流电而被全部解决。因此，它是属于将市电电源进行彻底改造的“再生型”电源。而后备式 UPS 是仅仅对市电电源的电压波动进行不同程度稳压处理的“改良型”电源，它对除电压之外的其他电源问题的改善程度相当有限，当市电供电正常时，它们的市电输入端与 UPS 输出端处于非电气隔离状态。