

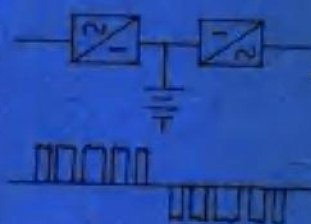


电力电子技术丛书

不间断供电系统

张承志 丁和生 丘若波 编著

机械工业出版社

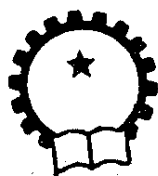


DIANLI DIANZI JISHU CONGSHU

电力电子技术丛书

不间断供电系统

张承志 丁和生 丘若波 编著



机械工业出版社

本书是《电力电子技术丛书》的一个分册。

不间断供电系统(UPS, 也称不间断电源或不停电电源)是现代化的电源设备, 本书对其组成及基本原理作了较详细的论述。全书共分九章, 分别介绍大功率逆变电路、滤波电路、锁相环路、控制电路、静态开关以及不间断供电系统的指标和选择等, 书中附有实例可供参考。

本书可供从事电源技术及电力电子技术的各类人员阅读, 也可供大专院校有关专业师生参考。

电力电子技术丛书

不间断供电系统

张承志 丁和生 丘若波 编著

*

责任编辑: 孙流芳 刘成彦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张13 · 字数326千字

1987年11月北京第一版·1987年11月北京第一次印刷

印数 0,001—6,750 · 定价: 3.75元

*

统一书号: 15033·6975

出版者的话

电力电子技术是以晶闸管为主的电力半导体器件及其应用的技术，也是融合“电力”、“电子”和“控制”于一体的技术。由于电力半导体器件具有效率高、控制性能好、体积小、重量轻、使用可靠等优点，它已广泛地应用于电力、冶金、矿山、化工、交通运输、机械、轻工等部门，成为节能最有成效的技术之一。

为了普及与推广电力电子技术，大力促进我国国民经济各部门的发展，在中国电工技术学会电力电子学会组织下，我们决定出版这套《电力电子技术丛书》。

这套丛书包括《电力半导体器件原理》、《电力半导体电路原理》、《电力电子技术与节能》、《直流电动机晶闸管调速系统》、《交流电动机晶闸管调速系统》、《晶闸管斩波器》、《无功补偿与电力电子技术》、《家用电器与电力电子技术》、《晶闸管交流电力控制器》、《电力半导体直流稳定电源》、《不间断供电系统》、《脉冲电镀和脉冲焊电源》等，将陆续出版。

电力电子学会及本丛书编委会对丛书的选题、组稿、审定稿付出了辛勤劳动，还有不少单位对编审稿工作给予了热忱关怀与帮助，在此表示深切的谢意。

机械工业出版社

编委会成员

主任委员 顾廉楚

副主任委员 张明勋 苏文成 张为佐

陈守良 严蕊琪

委员（按姓氏笔划序）

卞敬明 孙流芳 李佑持 沈来仪

张立 张永生 张铁忠 周胜宗

秦祖荫 徐传骧

前 言

不间断供电系统又称为不间断电源或不停电电源，简称为UPS (Uninterruptable power System)，是一种现代化的电源设备。

我国于七十年代初期，首先在邮电部门开始使用（北京卫星地面站和上海中日海底电缆通信中分别采用了三相和单相UPS作为供电电源）。现在已在诸如邮电通信、铁路交通、石油化工、化肥化纤、航空、电力、气象、计算中心以及国防、科研等部门得到广泛的应用。可以说在当今比较重要和影响面比较大的现代化用电设备中，往往需要配备不间断供电系统，以保证重要用电设备能不间断地连续运行。

不间断供电系统主要由四部分组成：

1. 市电电源 在UPS中作为主要的能源〔有时还常用柴油机或汽油机（简称为油机）发电机组作为补充的能源〕，通过UPS间接向重要负载提供高质量的工频交流电

2. 储能装置 多为蓄电池组。

3. 能量变换装置 主要包括整流器和逆变器。

4. 静态开关 主要由晶闸管等大功率电子器件以及逻辑控制电路组成。分为转换型静态开关与并机型静态开关两种。

不间断供电系统所以被称为是现代化的电源设备，主要是因为采用了大功率的逆变技术和强电流电子开关，它们都是在六十年代兴起、七十年代得到普遍采用的新技术，是属于电力电子学的范畴。UPS的发展，使电力电子学的应用得到新的充实。

在不间断供电系统中用到的整流器、蓄电池、油机等设备几十年来早已在各行各业中得到普遍使用，各种有关的专著已经很

多,本书不再赘述。因此本书在讨论和分析UPS各个组成部分时,将着重点放在逆变电路和静态开关以及与之有关的各项技术内容上,例如与逆变主电路有关的输出波形正弦化、工频锁相环路、各种UPS控制电路的组成以及并机运行和切换技术等问题。

本书主要供UPS生产制造与运行维护人员以及有关电气工程技术人員阅读,也可供大专院校有关专业师生参考。

本书第四、六、九章由丁和生高级工程师编写,第七章由丘若波高级工程师编写,其余由张承志高级工程师编写。全书由南京工学院工业电气自动化教研室主任冷增祥副教授主审。在编审过程中除得到丛书编委会和参加审稿会同志的宝贵意见外,还得到青岛整流器厂吴有义厂长、广东省邮电管理局叶芽工程师、泸州天然气化肥厂赵金荣工程师和北京空军后勤部李小侠工程师等十分宝贵的建议和协助,在此一并表示感谢。

虽然我们从事UPS的研究和试制工作多年,但由于我们水平有限,再加编写时间匆促,书中缺点和错误在所难免,真诚希望广大读者给予批评指正。

作者

于武汉邮电科学研究院

1986年8月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 何谓不间断供电系统	1
第二节 UPS 的几种形式	4
一、简单的UPS	4
二、具有转换开关的 UPS	5
三、采用并机型静态开关的 UPS	5
四、具有多重并联功能的 UPS	6
第三节 UPS 的发展过程	7
第二章 逆变器的主电路	10
第一节 简单的逆变电路	10
一、简单逆变电路的工作过程	10
二、换向参数 L 与 C 的计算	12
三、能量反馈过程	21
第二节 对UPS 中逆变器主电路的一般要求	24
一、对UPS 中逆变器主电路输出波形的要求	25
二、UPS 中逆变器主电路常用的换相方式	31
三、衡量逆变器主电路的几个要素	35
第三节 桥式多脉宽单相逆变主电路	37
一、主电路工作原理	37
二、主电路输出波形分析	39
三、换相和能量反馈电路	45
第四节 单相二开关桥多脉宽阶梯调宽逆变器主电路	53
一、主电路工作原理	53
二、输出电压的谐波成分	60
三、换相和能量反馈电路	63
第五节 变压器抽头式的单相逆变器主电路	70
一、主电路工作原理	70
二、输出波形分析	73

三、换相和能量反馈电路	79
第六节 三相阶梯波逆变器主电路	87
一、主电路工作原理	87
二、逆变器的输出电压	89
三、三相逆变器的工作过程	91
四、方波电压、阶梯波电压与正弦波电压	94
五、波形分析	96
六、三相逆变器的换相电路参数	101
七、能量反馈电路	107
第七节 脉宽调节三相阶梯波逆变器主电路	108
第八节 单变压器脉宽调节三相逆变器主电路	113
一、主电路工作原理	113
二、阶梯波的形成	114
三、波形分析	116
四、换相和能量反馈电路	118
第九节 逆变器和UPS 主电路的发展动向	120
一、采用可关断晶闸管的逆变器和 UPS	121
二、采用大功率晶体管的逆变器和 UPS	123
三、采用正反向两用变换装置的 UPS	125
第三章 交流滤波器	129
第一节 常K型两元件 Γ 型滤波器	129
一、 Γ 型四端网络的基本关系式	130
二、 Γ 型滤波器的传通条件	134
三、常K型 Γ 型低通滤波器	135
四、 L 与 C 的确定	139
五、谐波成分的计算	141
六、实用常K型 Γ 型滤波器举例	141
第二节 m 型三元件 Γ 型滤波器	143
一、 m 型滤波器的元件组成与输出特性阻抗	144
二、 m 型滤波器的衰减特性	146
三、滤波元件的选定	148

四、实用m型滤波器计算举例	150
第三节 使逆变器能稳定换相的两元件Γ型滤波器	152
一、使逆变器换相比较稳定的LC滤波器的条件	153
二、由负载电压变化率 δ 决定LC滤波器的条件	154
三、由逆变器的伏安容量S决定LC滤波器的条件	158
四、LC滤波器的计算式及其图表	160
五、LC滤波器谐波成分的衰减	166
六、实用电路举例	169
第四章 锁相同步电路和恒压限流控制	172
第一节 电子设备中的反馈闭环系统	172
一、反馈的基本概念	172
二、负反馈闭环系统的主要性能	177
三、反馈闭环系统的稳定性	189
第二节 锁相环	195
一、相位反馈控制的基本概念	195
二、锁相环的组成	196
三、锁相环的工作原理	197
第三节 实例	198
一、单相UPS设备中的锁相同步电路	198
二、三相UPS设备中的锁相环	208
第五章 触发控制电路	224
第一节 UPS控制系统的方框图	224
一、本机振荡部分	225
二、锁相部分	227
三、脉冲分配部分	230
四、电压控制部分	230
五、触发部分	231
六、静态开关的触发控制部分	231
七、直流辅助电源	237
八、其它各种辅助电路	238
第二节 同步振荡电路	238

一、同步振荡电路的构成	238
二、同步振荡电路举例之一	239
三、同步振荡电路举例之二	242
第三节 电压控制电路	252
一、采用移相控制方式实现输出电压的调节	252
二、采用单稳延时方式实现输出电压的调节	253
三、用锯齿波产生不同的脉冲宽度以实现输出电压 的调节	254
四、用三角波产生不同的脉冲宽度以实现输出电压 的调节	256
第四节 脉冲分配电路	264
第六章 静态开关	268
第一节 概述	268
一、静态开关的主电路	269
二、静态开关的切换要求	269
三、静态开关的切换条件	276
四、静态开关的切换方式	279
五、静态开关的切换控制	281
第二节 静态开关例之一	283
一、静态开关的主电路	284
二、静态开关的控制电路	285
三、功率放大电路和脉冲整形	292
第三节 静态开关例之二	294
一、静态开关的主电路	294
二、静态开关的控制电路	295
第七章 其它辅助电路	302
第一节 辅助电源	302
第二节 启动电路	307
一、降压启动	307
二、逻辑启动	309
三、调宽启动	311

第三节 显示和告警电路	312
一、显示电路	312
二、告警电路	313
第四节 保护电路	314
一、熔断器保护	314
二、电压保护	314
三、过电流保护	317
四、断路保护	319
五、换相失败保护	319
第五节 逆相、缺相检测	320
一、相序取样电路	321
二、比较电路	324
三、输出电路	325
第八章 UPS的选用	326
第一节 UPS各部分的性能指标	326
一、逆变器部分	326
二、整流器部分	331
三、蓄电池	332
第二节 几种UPS 电路组合方案的特点	333
一、简单的UPS	333
二、具有转换开关的UPS	333
三、并机供电方式	334
四、UPS 的交流输入电源	336
第九章 不间断供电系统实例	339
第一节 系统简介	339
一、UPS 的功能	339
二、系统主要部分说明	340
三、系统性能指标	341
第二节 整流器	343
一、整流器的特点	343
二、主电路	344

三、移相触发电路.....	348
四、误差放大电路.....	351
第三节 逆变器.....	359
一、主电路.....	359
二、控制电路.....	360
第四节 静态开关.....	381
一、触发电路.....	381
二、逻辑电路.....	383
三、检测电路和操作控制.....	386
附录 部分国产 UPS 性能指标介绍.....	394
参考文献	400

第一章 绪 论

第一节 何谓不间断供电系统

众所周知，一切工业设备、通信装置、科研设施，都须直接或间接使用交流50Hz市电电源。为了保证供电的不中断，一些重要的用电设备，过去多数采用两路以上市电供电的办法，一路主用，一路备用。如果主用的一路停了电，通过机械触头接点的自动倒换，改由备用的一路供电。这种倒换过程至少使供电中断几十毫秒，这对一般的机电设备来说无严重影响。但随着科学技术的发展，诸如邮电通信、铁路交通、航空航运、石油化工、化肥化纤、钢铁冶金、电力、气象，以及国防、科研等部门，相继配备了电子计算机控制系统或现代化的中心控制室，用以控制指挥各个生产环节的工艺流程，并担负着监测、遥控、随机处理等任务，使整个系统在现代化的高效率、高质量状况下，安全正常地运行。在这种场合，对供电电源的质量和可靠性就有更严格的要求，几十毫秒的供电中断，将是不允许的。

例如在现代化的通信设备中，不仅卫星地面站，海底电缆通信和重点通信枢纽中心，对交流供电的要求愈来愈高，目前在省、市一级的电信部门，也已经开始采用电报自动接转、长途电话自动接续以及程控交换等先进设备。由于这些设备都以电子计算机为核心，所以要求采用高性能指标和高可靠性的交流供电电源，不允许有 $3 \sim 5 \text{ ms}$ 的供电中断，否则计算机内存的信息便会丢失，正在源源不断地输入和输出的信息会发生错乱或中断。其实在这种场合，交流供电电压、波形以及频率如果有稍大的波动，也会造成错码或漏码，使正常的通信工作受到影响。以上这

些都会造成政治上、军事上、经济上的损失，有时其损失是无法估价的。因此，要求能提供一种性能更加优良，供电更为可靠的工频50Hz交流电源，而这个要求是市电网难以满足的。

又如在现代化的石油化工、化肥化纤等部门，其控制中心也配备有电子计算机，对系统中各个生产环节的温度、湿度、压力以及管路中的流量等进行严密的监测和实时控制，不允许供电有瞬间的中断。如果一旦发生停电事故，有关的管道、反应炉(室)的阀门应立即按规定的程序进行必要的动作，该关的关，该开的开，并立即发出告警信号，以便由工作人员采取应急措施。显然，其控制中心以及各种关键阀门和信号告警系统，须有一个远比市电更加可靠的交流电源，以备市电中断时作应急处理。否则，一旦供电中断，就有可能造成设备和人身的重大事故。

此外，一些具有先进技术装备的中心气象台，为了不间断地接收卫星以及全国各地的气象数据，同时还要计算机作大量的复杂运算和处理；各省市的计算中心，以及大型厂矿企业的计算站；航运、铁道、机场的指挥控制和导航等设备，都须有一个稳定可靠的交流供电系统。否则一旦遇到供电中断，有时即使是短暂的停电，也会导致严重的，甚至是不堪设想的后果。

我们仅仅从上面所述的这些例子中，已经可以清楚地看到用常规市电网的供电方法，在很多场合已愈来愈不能满足要求。一些重要的用电设备（称为重要负载），更加需要一种保证能不间断供电、而且能排除外界各种干扰的高质量、高可靠性的供电电源，现在，交流不间断供电系统在国外已经被广泛地采用。我国不少部门已经引进了这种供电系统，而且也有一些部门开始研制和试生产这种成套设备。

所谓不间断供电系统是一种新型的供电系统，在这个系统中，市电只是其中的一个组成部分。当采用不间断供电系统时，如果市电不正常或发生中断事故时，不间断供电系统能向重要负载继续提供符合要求的交流电，从而保证重要负载能连续不断地

正常工作。它所以能具有这种性能，其关键是因为UPS中除包含有市电之外，还有一个或多个储能环节和能量的变换装置，能在市电不正常或中断时，依靠这些储能和能量变换装置，维持对重要负载的交流供电，实现交流不间断供电的要求。

UPS的基本形式如图 1-1 所示。在正常情况下，市电电源经变流装置变换为直流电（即整流），此直流电对储能装置——蓄电池组进行浮充电，同时对逆变装置供电。逆变器将直流电变

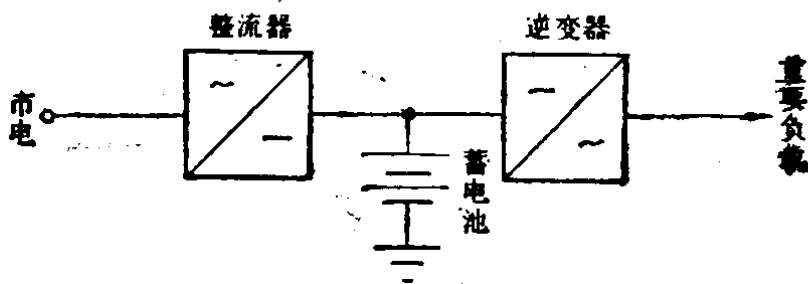


图1-1 UPS的基本形式

换为交流电，向负载供电。由于蓄电池已在浮充状态（即在充分储能状态），故当市电突然中断时，逆变器利用蓄电池的储能可以毫无间断地继续对重要负载提供优质可靠的交流电。

以上所述仅是UPS的一种基本形式。实用的UPS，是以它为基础再加上其它若干环节发展起来的，其性能就更加完善。这种改进后的交流不间断供电系统与常规的以多路市电供电系统的不同之处，在于遇到各种停电事故时，具有极高的停电连接能力。质量较好的UPS的过渡时间已能减少到 $100\mu\text{s}$ 以下，可以做到完全不中断或只有微秒级的中断，这样对重要负载的供电就不会产生任何影响。这种切换速度是常规的多路市电供电系统无法比拟的。这种系统经过进一步的组合，还能使UPS在“双保险”或“多重保险”的情况下进行交流不间断供电。

这里也要着重指出，使用交流不间断供电系统后，并不意味着它就永远不出故障或绝对不会停电，不过它可以将重要用电设备最终因供电中断造成的停机几率下降到设备所能允许的程度。

例如，在目前情况下，已能使平均故障间隔时间达到几千小时、几万小时、甚至几年到十年以上的水平。这基本上已能满足现代重要用电设备对供电系统的要求。

第二节 UPS的几种形式

一、简单的 UPS

图 1-2 所示即为一种简单的不间断供电系统。在正常情况下，将市电变换为直流电后与蓄电池并联，然后再逆变为工频交流电供给负载。由于蓄电池处于浮充状态，故负载的电能实际上仍由市电网供给，不过逆变器输出的工频交流，其频率稳定度、电压稳定度以及波形失真等均比市电好，故具有较高的供电质量。

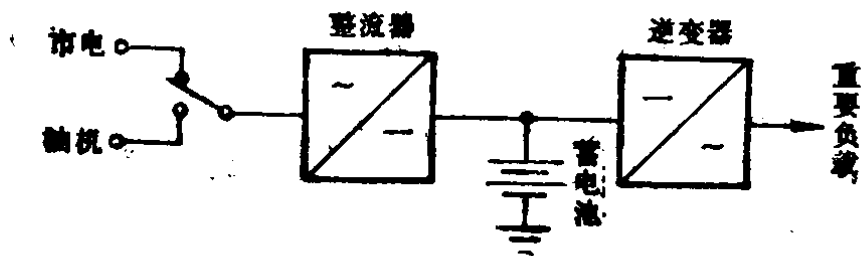


图1-2 简单的UPS

在这种系统中，如果市电供电出现故障，但由于蓄电池的存在，可以维持负载的供电不致中断。然后启动油机发电机组对蓄电池进行充电，使整个系统可以连续工作。市电恢复后，则仍由市电对蓄电池进行浮充供电。

这种简单的UPS存在的主要问题是它只能在市电中断时保证重要负载的供电不致中断，然而一旦逆变部分出现故障，对负载的供电即中断，所以从严格的要求来看，它的性能还不齐全，故称之为简单的UPS。但这种UPS交流输出电压和频率比市电稳定，所以有时也称其为稳压稳频电源或恒压恒频电源(CVCF)。这种CVCF电源在重要负载场合，亦有使用，此时供电的可靠性基本上决定于逆变器的平均故障间隔时间，一般至少在半年以上。