

逆变电源的原理及DSP实现

马俊杰 编著

非外借



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

内容简介

逆变电源的原理及 DSP 实现

马骏杰 编著

ISBN 7-302-07187-3
定价：28.00元

北京航空航天大学出版社

地址：北京市海淀区学院路29号北京航空航天大学出版社发行部 邮编：100191 电话：(010)62770175

内 容 简 介

本书以逆变器的控制应用为主线,按照电路拓扑结构分析、数学建模、控制器设计、DSP 数字实现的顺序,详细介绍了主流 UPS 逆变器的控制策略、波形控制及测试方法。从工频机与高频机、单相输出与三相输出、逆变器并机控制策略的融合等多个角度对比分析了数字化实现方式。此外,针对 UPS 逆变系统复杂的通信架构,本书详细分析了以 DSP 为核心的多种 MCU 的通信方式在 UPS 系统中的应用,并给出详尽的程序分析。本书程序都已调试通过,而且其基本思想均已应用于目前主流电力电子产品中,具有很高的参考和实用价值。

本书注重电力电子的理论分析和工程应用的结合,可作为高等院校自动化、电气工程专业高年级本科生、研究生及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

逆变电源的原理及 DSP 实现 / 马俊杰编著. -- 北京 :
北京航空航天大学出版社, 2018. 7

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2722 - 8

I. ①逆… II. ①马… III. ①逆变电源②数字信号处理 IV. ①TM91②TN911. 72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 113156 号

版权所有,侵权必究。

逆变电源的原理及 DSP 实现

马俊杰 编著

责任编辑 董立娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:26 字数:554 千字

2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2722 - 8 定价:79.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前言

不间断电源(Uninterruptible Power System, UPS)是应用最广泛的、以逆变器为基本电路结构的逆变电源。不间断电源是一种含有储能装置的恒压恒频的逆变电源,包含电力电子技术及变流技术中的4大模块(DC/DC、DC/AC、AC/DC、AC/AC),广泛应用于中型数据机房、银行/证券结算中心、通信网管中心、自动化生产线及其控制系统中的复杂电力电子装置。

为克服中、大型计算机网络系统集中供电造成的供电电网环境日益恶劣的问题,全数字化工频隔离双变换在线式智能型UPS应运而生。技术上突破了尖峰、浪涌、电压瞬变、噪音等电网不稳定因素对负载正常工作的影响,于是高频化、模块化的UPS逐渐成为市场主流产品。UPS制造商主要有国际品牌施耐德、艾默生、伊顿,本土品牌科华恒盛、冠军、科士达以及中达电通。其中,伊顿、施耐德和艾默生的市场份额超过60%。尽管华为于2012年进入UPS行业,但是三大国际品牌在中国市场上的份额短期内很难被打破。

目前市场上讲述UPS控制的书籍不多,本书是作者将近10年开发经验的沉淀,希望能为广大读者系统理解逆变器控制技术的数字化应用提供帮助。

全书共分为8章,第1章对比研究了高频机与工频机的性能特点,分析了目前主流逆变器的拓扑结构及应用场合;第2章和第3章分别阐述了单相输出及三相输出逆变器数学建模方法、控制器的设计、单机控制策略、多种发波方式,给出了基于C语言设计的源代码,并介绍了基于MATLAB的真实DSP代码设计方式,详细分析了目前常见的工频输出隔离变压器的结构;第4章分析了逆变器波形控制中重复控制器的作用、改进算法、基于谐波控制的逆变器控制策略及DSP编码方法;第5章讨论了基于瞬时环流控制、下垂控制及下垂补偿控制的逆变器的并机算法和DSP实现手段;第6章为逆变锁相技术,系统地分析了三相锁相、单相锁相、工频锁相、广义二阶积分锁相的理论,并给出了算法的软件实现方式;第7章为系统的网络通信,这部分难度较大,但实用性较强,建立了基于CAN和McBSP的多核MCU通信网络,对DSP的远程升级、Kernel编码、多核信息交互容错处理进行了设计并进行了代码分析;第8章针对关键性能指标,分析了逆变器设计过程中的常见误区和解决方案。各章节内容紧凑,并包含最核心、最流行的元素,书中所附的程序及其思想也为读者扩展思维提供了帮助。

本书由哈尔滨理工大学马骏杰编著。王振东、白亚丽、王光、吴正浩、张媛媛、尹艳

浩、郎一凡、葛欣、王钦钰、丁一同学做了大量的图表及文字编辑工作。由衷感谢博士生导师王旭东教授在求学及工作中给予的关怀和支持！感谢各位领导及众多老师的帮助，感谢那些年陪伴我在电力电子科研道路上奋斗的小伙伴们，感谢出版社长久以来的信任，还要感谢我的父母、岳父母、妻子给我的关爱；并将此书作为两周岁礼物献给宝贝“子越”：越努力，越幸运，愿好运伴随你健康快乐地成长。

此外，本书得到国家自然科学基金(51177031)、广东省重大科技专项项目(2015B010118003、2016B010135001)、山东省高等学校科技计划项目(J17KB136)、2017 年国家级大学生创新创业训练计划项目(201710214018)的资助，并受到汽车电子功率驱动与系统集成教育部工程研发中心的支持，在此对相关的老师及同学表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，本书一定存在不妥之处，敬请读者提出宝贵的意见和建议(mazhencheng1982@sina.com)。

编者

2018 年 4 月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 逆变电源的基本原理	1
1.1.1 UPS 概述	1
1.1.2 基本结构	1
1.1.3 工作原理	2
1.2 常见分类	3
1.2.1 常见性能分析与比较	3
1.2.2 在线式工频机与高频机的比较分析	6
1.3 系统基本拓扑结构分析.....	11
1.3.1 单进单出系列电路拓扑分析.....	11
1.3.2 三进单出系列电路拓扑分析.....	15
1.3.3 三进三出系列电路拓扑分析.....	16
1.4 逆变电源的发展趋势.....	37
第 2 章 单相逆变器数字控制技术	43
2.1 单相半桥逆变器数学模型.....	43
2.2 单相半桥逆变器控制系统的设计.....	45
2.2.1 基于滤波电感电流的输出电压交叉反馈解耦控制.....	46
2.2.2 线性控制器设计.....	49
2.2.3 非线性控制器设计.....	54
2.2.4 实验结果分析.....	56
2.3 单桥臂发送波原理及 DSP 应用	57
2.3.1 单极性发送波 DSP 应用	57
2.3.2 双极性发送波 DSP 应用	60
第 3 章 三相逆变器数字控制技术	62
3.1 工频变压器数学模型对比研究.....	63

3.2	逆变器数学建模及控制器设计	73
3.2.1	逆变器数学模型分析	74
3.2.2	逆变器直流分量控制	81
3.2.3	双闭环程序代码示例	83
3.2.4	实验波形	85
3.3	三相四桥臂逆变器设计	87
3.3.1	概 述	87
3.3.2	三相四桥臂逆变器的调制方法	88
3.3.3	逆变控制系统设计	95
3.4	三相逆变器的发波数字化实现	98
3.4.1	SPWM 算法及 DSP 编码	98
3.4.2	SVPWM 的传统算法及 DSP 编码	101
3.4.3	SVPWM 的快速算法及 DSP 编码	110
3.4.4	SVPWM 的简易算法及 DSP 编码	117
3.4.5	3D-SVPWM 算法及 DSP 编码	118
3.5	基于 MATLAB 的 DSP 真实代码仿真	125
3.5.1	传统的 CCSLink 功能	125
3.5.2	真实代码仿真的基本思路	128
3.5.3	真实代码仿真器的使用	128
3.5.4	DSP 代码规范及示例	132
第 4 章	逆变器输出电压谐波的抑制方法	138
4.1	基于重复控制的逆变器控制系统设计	138
4.1.1	重复控制器的基本原理	139
4.1.2	稳定性分析	140
4.1.3	一种改进的重复控制计算方法	145
4.1.4	重复控制算法的程序代码示例	151
4.2	基于谐波控制的逆变器控制探讨	153
4.2.1	谐波控制的数学建模	153
4.2.2	复合控制器设计	156
第 5 章	逆变器的并联控制技术	158
5.1	逆变器并联运行控制方式	158
5.1.1	集中控制方式	160
5.1.2	主从控制方式	160
5.1.3	分布式控制方式	161
5.1.4	无互连线控制方式	162

5.2	逆变器并联运行原理	163
5.2.1	“1+1”并机冗余系统方案	163
5.2.2	双母线系统方案	165
5.3	单相逆变器并联控制方案	168
5.3.1	负载平均电流前馈的瞬时值双闭环逆变器输出阻抗特性	168
5.3.2	并联控制方案设计	170
5.3.3	系统实验分析	174
5.4	三相逆变器并联控制方案	175
5.4.1	并联系统的环流分析	175
5.4.2	并联系统的功率分析	178
5.4.3	PQ下垂法及补偿器设计	180
5.4.4	平均电流及直流分量控制方案	182
5.4.5	控制系统仿真及试验波形	185
5.5	并联算法的程序代码示例	189
第6章 逆变器的同步跟踪锁相技术		191
6.1	数字锁相环概述	191
6.1.1	锁相环的工作原理	191
6.1.2	锁相环的数学建模	193
6.1.3	锁相环模型优化仿真分析	193
6.2	软件数字锁相环设计	197
6.2.1	软件数字锁相环设计目标	197
6.2.2	基于分散逻辑控制的工频同步锁相技术	198
6.3	锁相环的DSP代码示例	201
6.3.1	基于旋转坐标系的三相锁相环的算法分析	201
6.3.2	基于同步信号的单相锁相的算法分析	208
6.3.3	基于自适应陷波滤波器的算法分析	212
第7章 控制系统的网络通信		234
7.1	DSP与FPGA之间的数据通信	235
7.1.1	DSP与FPGA的大数据通信	235
7.1.2	DSP对基于RAM的FPGA配置	239
7.2	DSP与DSP之间的数据通信	249
7.2.1	McBsp驱动层逻辑结构	250
7.2.2	通道的应用层设计	252
7.2.3	传输通道设计	255
7.2.4	程序代码示例	264

7.3	自定义 DSP 升级方案	289
7.3.1	FLASH API 的应用解析	290
7.3.2	基于 SCI 总线的远程 FLASH 加载方案	293
7.3.3	程序代码示例	302
7.4	逆变电源中的 CAN 通信	313
7.4.1	CAN 总线	314
7.4.2	CAN 方案及数字化实现	315
7.4.3	CAN 通信程序示例	335
第 8 章 性能指标测试及常见问题解析		353
8.1	示波器和探头使用常识	353
8.2	额定输出功率	360
8.2.1	额定输出视在功率和额定输出有功功率	360
8.2.2	输出降额及降额系数	361
8.2.3	输出功率的 DSP 计算方法	363
8.2.4	额定输出功率测试方法及常见问题	369
8.3	浅谈功率因数及负载性质	370
8.3.1	功率因数	370
8.3.2	负载性质	372
8.4	三相电压不平衡度的计算方法	374
8.5	逆变器输出性能指标	382
8.5.1	常见测试指标	382
8.5.2	测试内容及行标	386
8.6	典型测试案例	394
8.6.1	输出动态响应测试及波形分析	394
8.6.2	IGBT 故障模拟及分析	397
8.6.3	逆变 IGBT 驱动波形分析	400
参考文献		405

第 1 章

概 论

1.1 逆变电源的基本原理

1.1.1 UPS 概述

UPS(Uninterruptible Power System), 即不间断电源, 是一种含有储能装置, 以逆变器为主要组成部分的恒压恒频的逆变电源。UPS 为重要负载(如通信和数据处理设备等)提供稳定而不间断的高质量交流电。UPS 输出电压不受市电中断、尖峰等带来的电压幅值和频率波动的影响。

当市电输入正常时, UPS 将市电稳压后供给负载使用, 此时的 UPS 就是一台交流市电稳压器, 同时向机内电池充电; 当市电中断(事故停电)时, UPS 立即将机内电池的电能通过逆变转换向负载继续供应 220 V 交流电, 使负载维持正常工作, 并保护负载的软硬件不受损坏。UPS 设备通常对电压过大和电压太低都提供保护。目前, UPS 多采用最新高频双变换脉宽调制(PWM)技术和全数字控制(DSP)技术, 可靠性高, 使用方便。

1.1.2 基本结构

一个完整的 UPS 系统主要由 6 部分组成:

1) 交流滤波调压回路

交流滤波回路主要是对输入的交流电进行滤波净化, 去掉电网中的干扰成分, 并在一定范围内调压。

2) 整流充电回路

整流充电回路是将交流整流成直流, 经充电电路给蓄电池充电, 并向内部提供所需的直流电。

3) 蓄电池组电路

在中小型 UPS 中广泛应用的是 M 型密封电池,这是一种密封、免维护电池。一般每节电池的额定电压可为 2 V、4 V、6 V 或 12 V,它们经串并联组成电池组在 UPS 中使用。

蓄电池是 UPS 的重要组成部分,电池性能的好坏直接影响 UPS 电源的性能。

4) 逆变器及控制电路

实现直流转变成交流的电路称为逆变器。逆变器及其控制电路是 UPS 的核心。

5) 检测报警保护电路

为了确保 UPS 安全可靠地工作,UPS 必须设有完善的检测报警保护电路。一般 UPS 均设有过流、过压、空载保护、电池电压过低、电池极性和交流极性检测电路,指示灯和喇叭报警电路。

6) 智能监控及通信电路

新型的智能 UPS 具有与计算机通信和自动监控的功能,UPS 监控软件通过接口通信线路随时监控 UPS 及供电线路的运行情况。

1.1.3 工作原理

在线式 UPS 是一种典型的 UPS,下面以在线式 UPS 为例阐述基本工作原理。

图 1-1 为在线式 UPS 的基本拓扑。一般而言,有两种工作方式,即正常工作模式及 ECO 工作模式。“静态开关”包含电子控制切换电路,可使负载连接到逆变器输出或者通过静态旁路连接到旁路电源上。

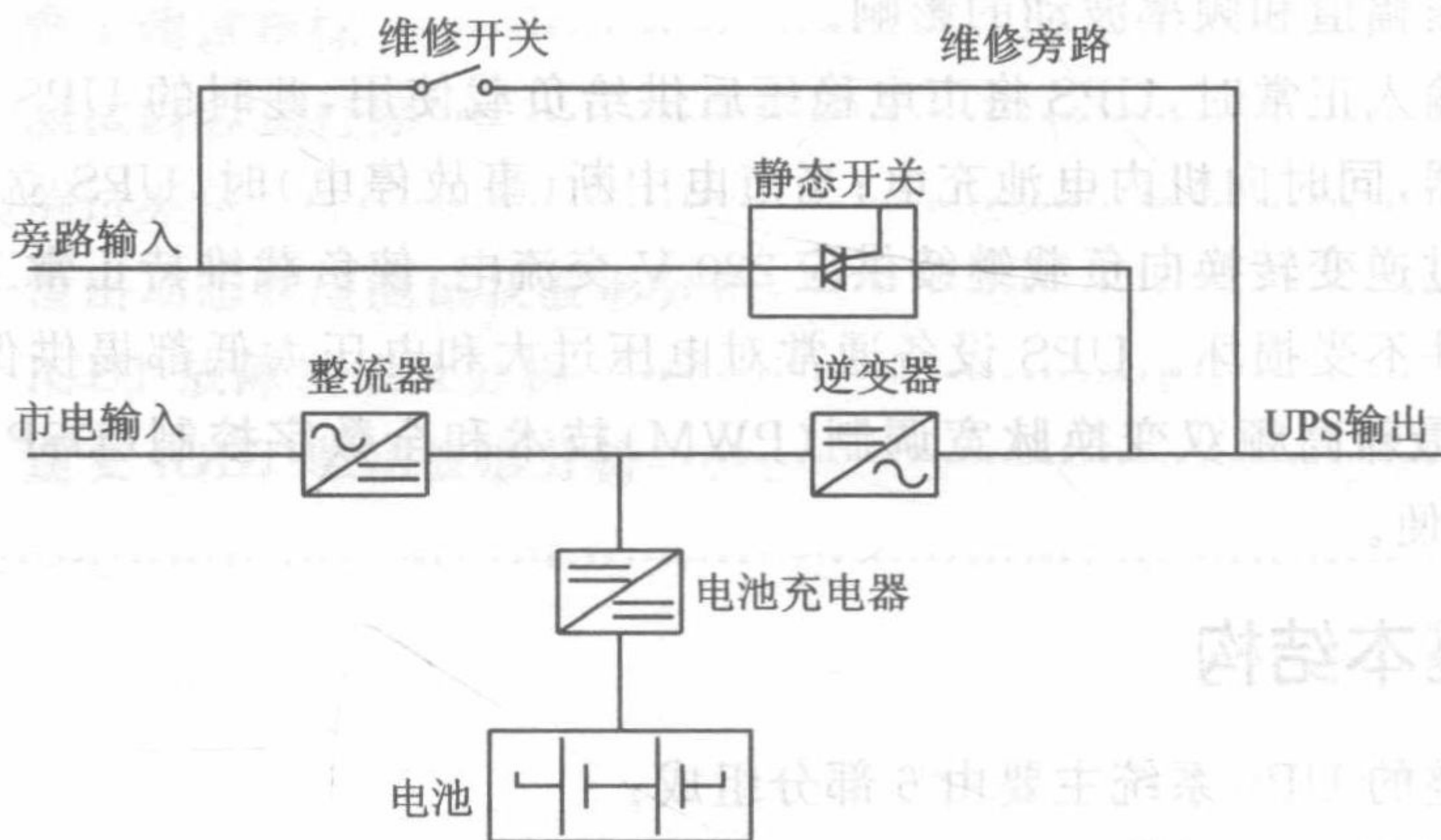


图 1-1 在线式 UPS 的基本拓扑

1. 正常工作模式

交流市电电源输入由整流器转换为直流电源。逆变器将此直流电源或来自电池的直流电源转换为交流电提供给负载。市电中断时,由电池通过逆变器给负载提供

后备电源。市电电源还可通过静态旁路向负载供电。须对 UPS 进行保养和维修时,可将负载切换到维修旁路供电,负载电源不中断。

正常运行状态下,逆变器输出与静态旁路电源必须完全同步,这样才可实现逆变器与静态旁路电源间的无间断切换。逆变器输出与静态旁路电源的同步通过逆变器控制电路实现。当静态旁路电源频率在允许的同步范围内时,逆变器控制电路总是使逆变输出频率跟踪静态旁路电源频率。

UPS 还提供手动控制维修旁路。需要关闭 UPS 进行日常保养和维修时,UPS 可通过维修旁路向重要负载供电。

2. ECO 经济工作模式

交流市电电源直接通过旁路提供给负载,此时主路整流器工作,并为电池供电;逆变器待机,保持与静态旁路电源完全同步,并实施监测输出电压的质量。若输出电压掉电,则旁路的静态开关断开,逆变器立即输出,以保证输出电压质量。

1.2 常见分类

- ▶ 按照输出功率不同,UPS 可分为小功率($<10 \text{ kV} \cdot \text{A}$)、中小功率($10 \sim 20 \text{ kV} \cdot \text{A}$)、中大功率($20 \sim 80 \text{ kV} \cdot \text{A}$)、大功率($>80 \text{ kV} \cdot \text{A}$);
- ▶ 按照供电体系不同,UPS 可分为单相输入单相输出 UPS、三相输入单相输出 UPS 及三相输入三相输出 UPS;
- ▶ 按照电池位置不同,UPS 可分为电池内置式 UPS(标准机型)及电池外置式 UPS(长延时机型);
- ▶ 按照工作原理不同,UPS 可分为后备式 UPS、互动式 UPS 及在线式 UPS;
- ▶ 按照有无隔离变压器,UPS 可分为高频 UPS(无内置隔离变压器)及工频 UPS(有内置隔离变压器)。

1.2.1 常见性能分析与比较

从技术角度看,目前 UPS 可以分为 4 类,分别是后备式(OFF LINE)、在线互动式(INTER ACTIVE)、Delta 变换式、在线式(ON LINE)。

1. 后备式 UPS 电源

后备式 UPS 电源是一种价格低廉、仅能满足一般客户要求的普及型 UPS 电源。由于性能的限制,出于市场的考虑,容量一般只有 $0.5 \sim 2 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。其结构原理图如图 1-2 所示。

后备式 UPS 电源的功率变换主回路的构成比较简单,主要由滤波电路、电池充电与逆变电路组成,滤波电路可对市电中的干扰起到一定的抑制作用。

市电正常时,UPS 一方面通过滤波电路向用电设备供电,另一方面通过充电回

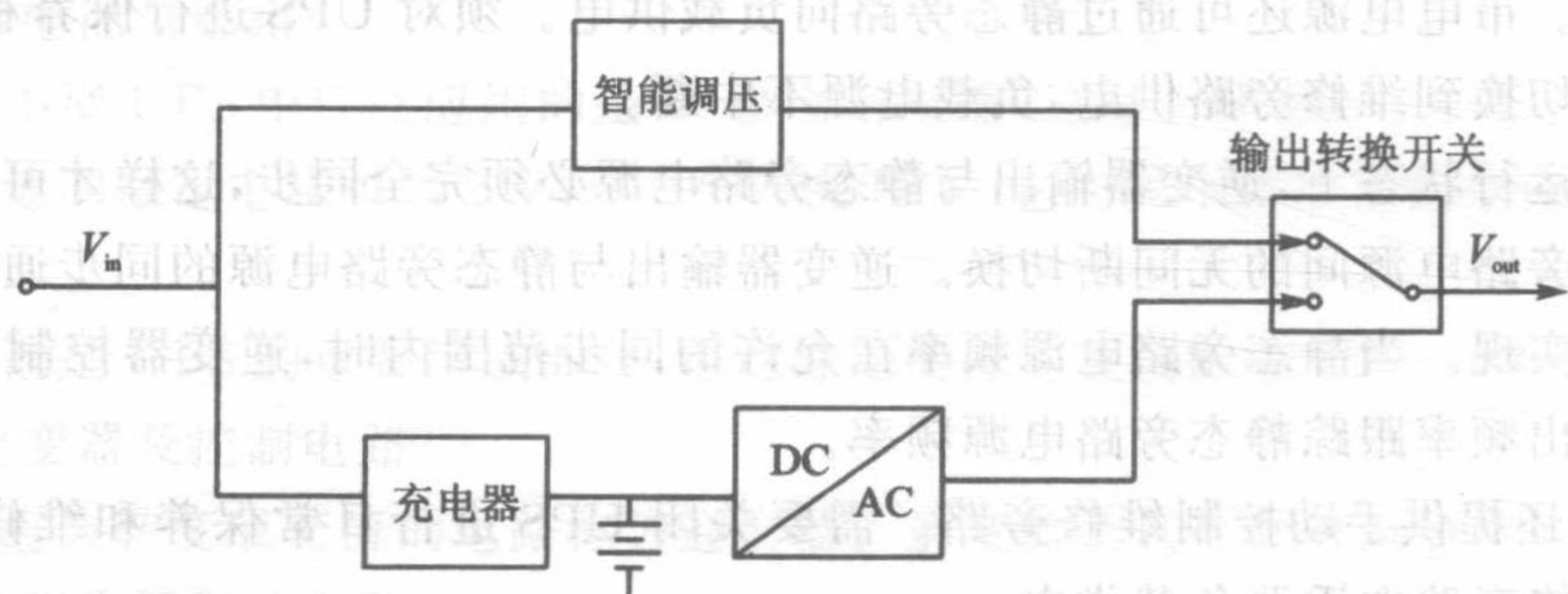


图 1-2 后备式 UPS 电源结构

路给后备电池充电；当电池充满时，充电回路停止工作，在这种情况下，UPS 的逆变电路不工作。

当市电发生故障，逆变电路开始工作，后备电池放电，在一定时间内维持 UPS 的输出。可见，UPS 存在一个从市电供电到电池供电的转换过程，这种转换一般通过继电器来实现，因此会有转换时间，转换期间 UPS 的输出会出现瞬间掉电的现象。不过转换时间很短，一般只有几个 ms，并不会影响到普通计算机的正常工作，但对于服务器等高端设备来说，后备式 UPS 的供电质量是远远不够的。

出于成本考虑，后备式 UPS 电源工作在逆变状态时输出电压波形失真比较大，普通后备式 UPS 输出波形是方波或梯形波，部分高档产品可以实现准正弦波输出。后备式 UPS 电源由于在市电供电时不使用变换器，因此具有很高的效率，这一点是显而易见的。

2. 在线互动式 UPS 电源

在线互动式 UPS 电源也称为准在线式 UPS 电源，其结构如图 1-3 所示。市电供电在 $220(1 \pm 20\%)$ V 时，UPS 认为电网基本正常，交流电通过工频变压器直接输送给负载；当市电超出上述范围，但在 150~276 V 之间时，UPS 通过逻辑控制驱动继电器动作，从而使工频变压器抽头升压或降压，然后向负载供电。若市电低于 150 V 或高于 276 V，则 UPS 将启动逆变器，由电池逆变向负载供电。在市电在 150~276 V 之间时，身兼充电器/逆变器的变换器同时还给电池充电，处于热备份状态；一旦市电异常，马上转换为逆变状态，为负载供电。

在线互动式 UPS 与后备式 UPS 的区别是，变换器时刻处于热备份状态，市电/逆变切换时间比后备式要短。相对在线式 UPS 而言，它的电路实现简单，带来的是生产成本的降低和可靠性的提高；另一方面，这类产品在市电供电时也不存在 AC/DC、DC/AC 的转换，从而使整机效率有所提高。但是，在电网电压正常时，由于它是直接通过工频变压器供电给负载，所以负载使用的同样是充斥着谐波和尖峰的交流电，不利于高端设备的使用，市电逆变切换时也存在切换时间。

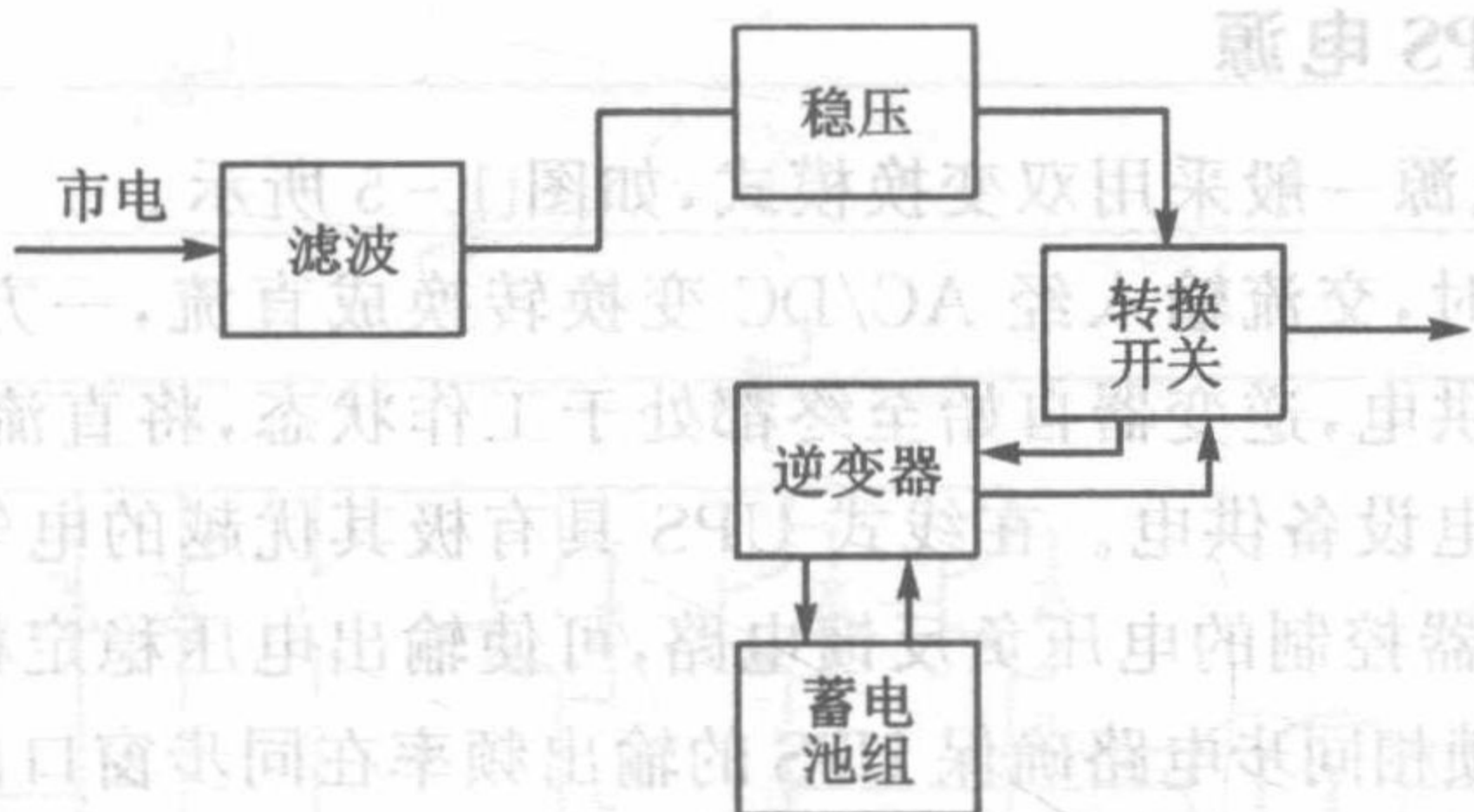


图 1-3 在线互动式 UPS 电源结构

3. Delta UPS 电源

Delta UPS 是一种将串联交流稳压技术与脉宽调制技术相结合所制备的产品，是利用小功率(设计容量为 20% UPS 的标称输出功率)经主供电通道上的补偿变压器对不稳定的市电电压执行一定数量级电压调整的电压补偿型的交流稳压电源(最大的输出电压调节量小于 $\pm 15\%$ UPS 的标称输出电压)。

Delta UPS 结构原理如图 1-4 所示。它主要由分别位于主供电通道和交流旁路供电通道上的静态开关、补偿变压器和两个具有四象限控制特性的 Delta 变换器和主变换器、电池组等部件组成。其电池组采用双极性配置法。

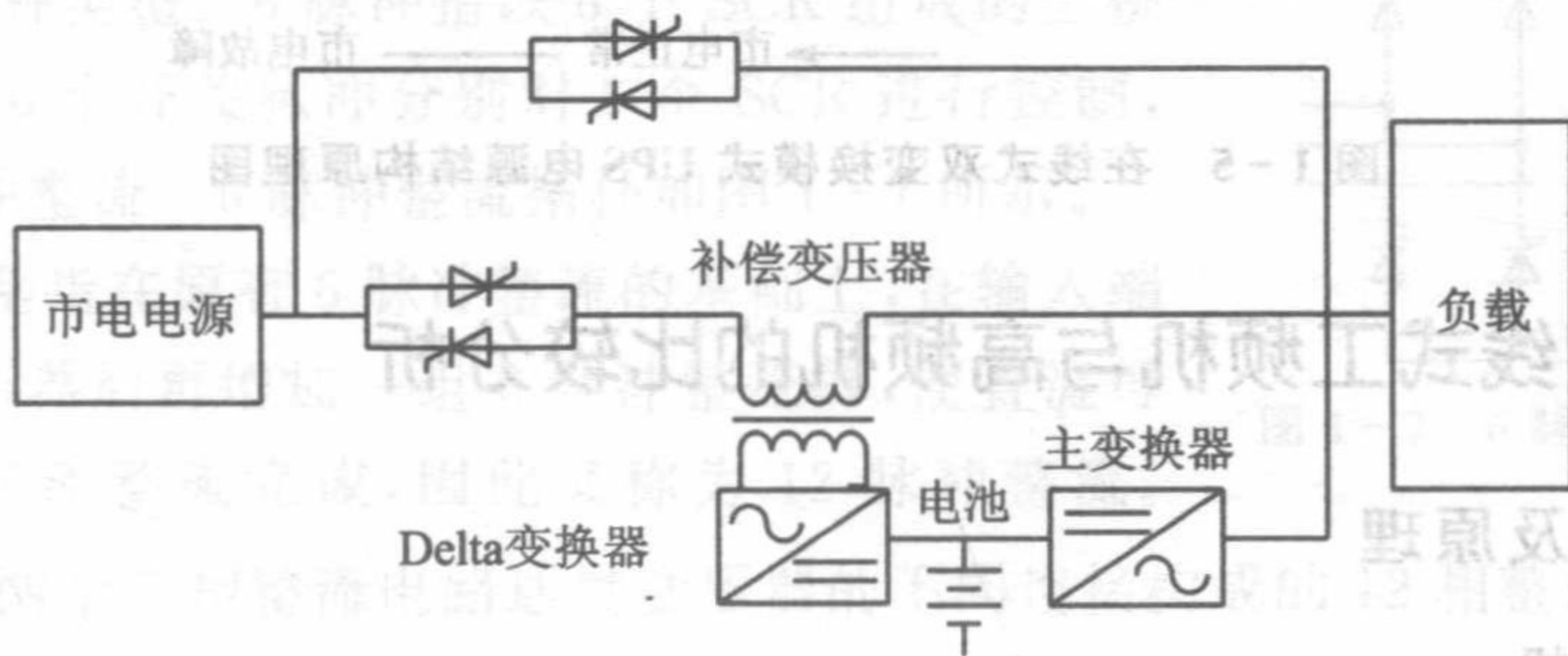


图 1-4 Delta UPS 电源结构

Delta UPS 实际相当于一台串联调控型的交流稳压电源，主要功能是对市电进行稳压处理，将原来不稳定的普通市电电源变成稳压精度为 $380(1 \pm 1\%)$ V 的交流稳压电源。除此之外，对于来自市电网的频率波动、电压谐波失真和传导干扰等无实质性改善。

Delta UPS 电源控制原理与利用伺服电机来调节碳刷的位置来进行电压补偿的全自动补偿方式交流稳压电源的控制原理没有实质性的变化，重大改进就是采用高频脉宽调制技术和双向能量传递特性的四象限变换器(Delta 变换器和主输出变换器)来取代产生机械磨损的伺服电机和碳刷调节系统。

4. 在线式 UPS 电源

在线式 UPS 电源一般采用双变换模式,如图 1-5 所示。

市电正常供电时,交流输入经 AC/DC 变换转换成直流,一方面给蓄电池充电,另一方面给逆变器供电,逆变器自始至终都处于工作状态,将直流电压经 DC/AC 逆变成交流电压给用电设备供电。在线式 UPS 具有极其优越的电气特性:

- ▶ 具有微处理器控制的电压负反馈电路,可使输出电压稳定精度高达 $\pm 0.5\% \sim \pm 1\%$;利用锁相同步电路确保 UPS 的输出频率在同步窗口内锁相同步,超出同步窗口时,UPS 处于本机振荡状态,输出频率精度可达到 $50(1 \pm 0.1\%) \text{ Hz}$;
- ▶ 在线式 UPS 普遍采用正弦脉宽调制 (SPWM) 技术,输出的波形失真度一般在 3% 以下,峰值比 (crest ratio) 3:1 负载时,失真度不超过 5%;
- ▶ 由于采用了 AC/DC、DC/AC 双变换设计,可完全消除来自于市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,UPS 逆变器向负载提供毫无干扰的高质量的纯洁正弦波电源。

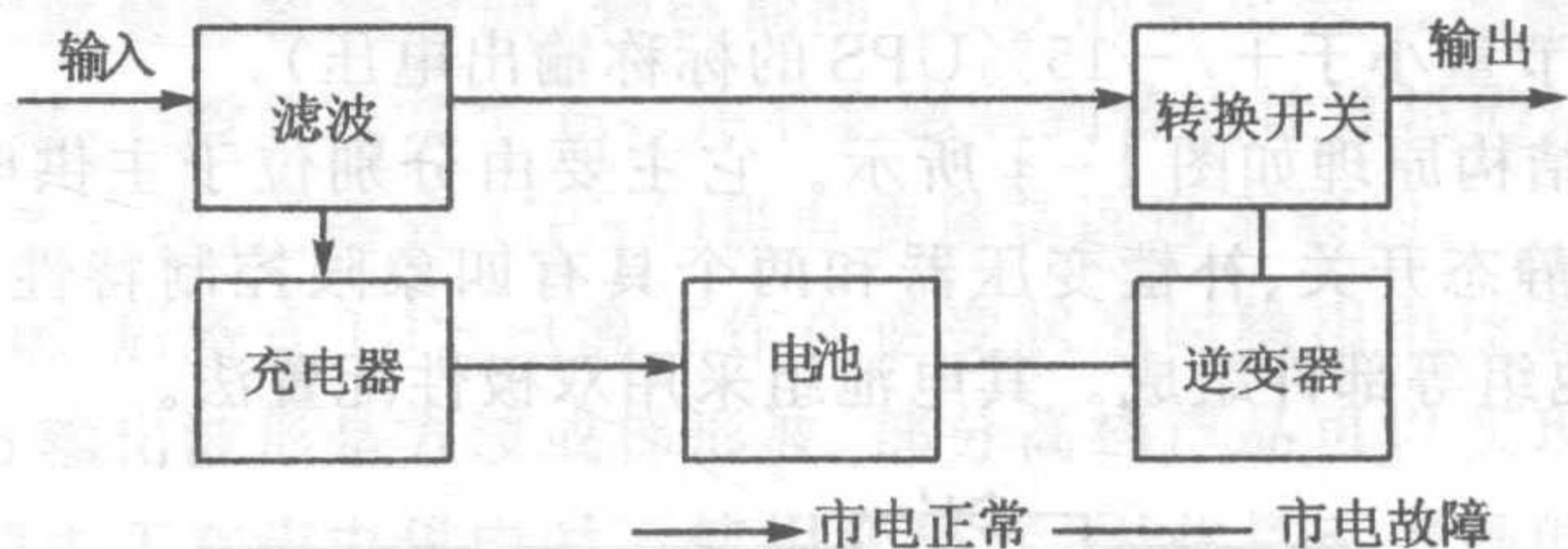


图 1-5 在线式双变换模式 UPS 电源结构原理图

1.2.2 在线式工频机与高频机的比较分析

1. 定义及原理

(1) 工频机

UPS 通常分为工频机和高频机两种。工频机由可控硅 (SCR) 整流器、IGBT 逆变器、旁路和工频升压隔离变压器组成。因其整流器和变压器工作频率均为工频 50 Hz,顾名思义就叫工频 UPS。

典型的工频 UPS 拓扑如图 1-6 所示。

三相交流电输入经过换相电感接到 3 个 SCR 桥臂组成的整流器后转换成直流电压,通过控制整流桥 SCR 的导通角来调节输出直流电压值。由于 SCR 属于半控器件,控制系统只能控制开通点,一旦 SCR 导通,那么即使门极驱动撤消也无法关断,只有等电流为零之后才能自然关断。所以其开通和关断均基于一个工频周期,不存在高频的开通和关断控制。

由于 SCR 整流器属于降压整流,所以直流母线电压经逆变输出的交流电压比输

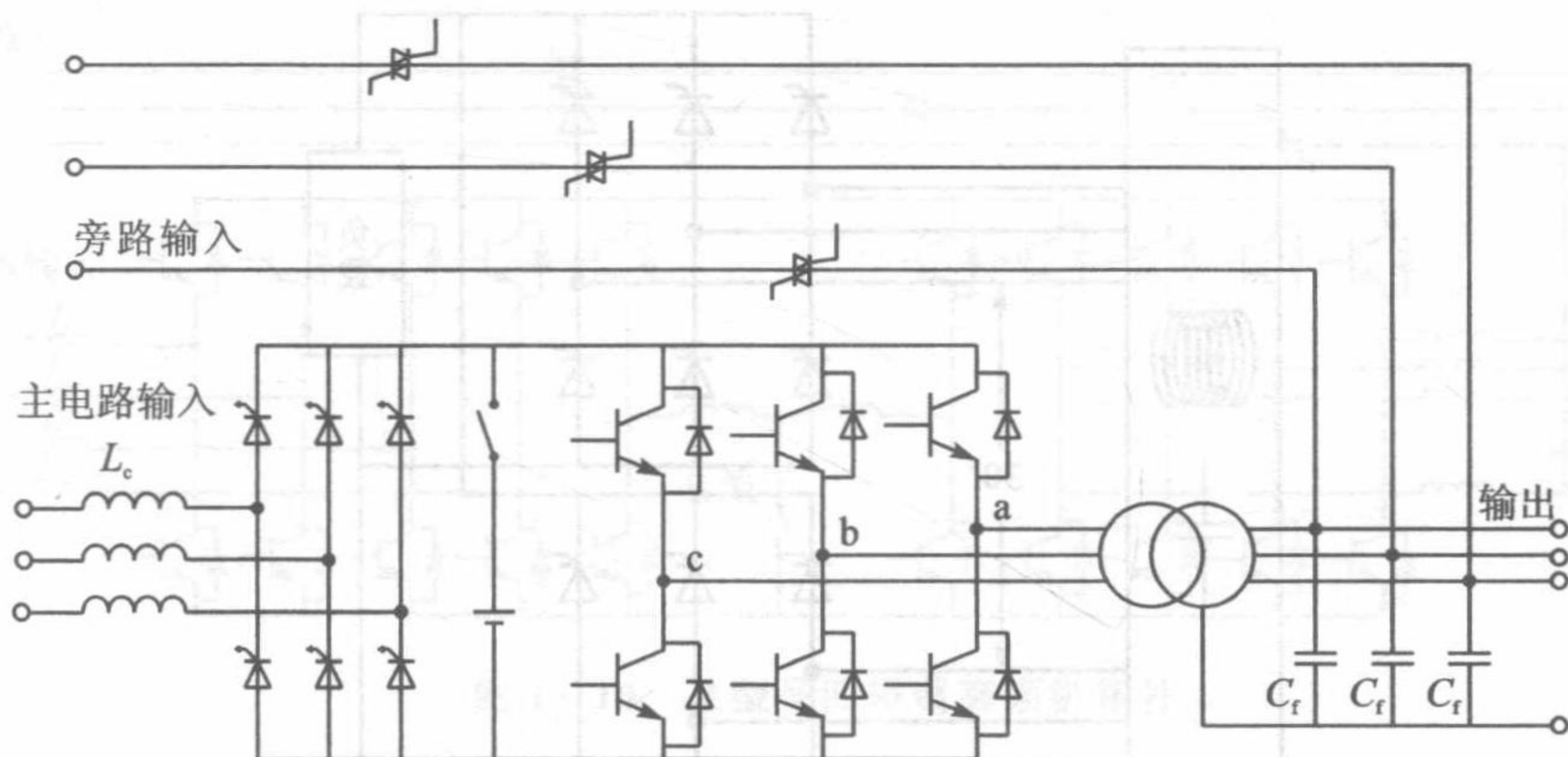


图 1-6 典型的工频 UPS 拓扑

入电压低。要使输出相电压能够得到恒定的 220 V 电压,就必须在逆变输出增加升压隔离变压器。同时,由于增加了隔离变压器,系统输出零线可以通过变压器与逆变器隔离,显著减少了逆变高频谐波给输出零线带来的干扰。

同时,工频机的降压整流方式使电池直挂母线成为可能。工频机典型母线电压通常为 300~500 V 之间,可直接挂接 30 多节电池,不需要另外增加电池充电器。

按整流 SCR 管数量的不同,工频机通常分为 6 脉冲和 12 脉冲两种类型。6 脉冲指以 6 个 SCR 组成的全桥整流,由于有 6 个开关脉冲分别对 6 个 SCR 进行控制,所以叫 6 脉冲整流。6 脉冲整流拓扑如图 1-7 所示。

12 脉冲是指在原有 6 脉冲整流的基础上,在输入端增加移相变压器后再增加一组 6 脉冲整流器,使直流母线由 12 个 SCR 整流完成,因此又称为 12 脉冲整流。

图 1-8 是由两个 3 相整流电路通过变压器的不同连接构成的 12 相整流电路。

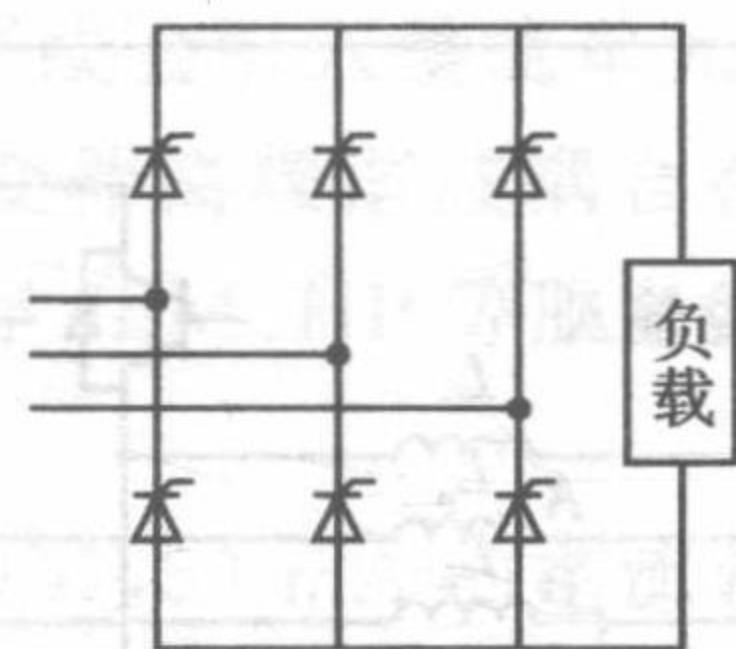


图 1-7 6 脉冲整流拓扑

(2) 高频机

高频机通常由 IGBT 高频整流器、电池变换器、逆变器和旁路组成。IGBT 可以通过控制加在其门极的驱动信号来控制 IGBT 的开通与关断,IGBT 整流器开关频率通常在几 kHz 至几十 kHz,因此相对于 50 Hz 工频,称之为高频 UPS。典型的高频机拓扑如图 1-9 所示。

高频 UPS 整流属于升压整流模式,其输出直流母线的电压一定比输入线电压的峰峰值高,在常规市电情况下一般典型值为 800 V 左右。如果电池直接挂接母线,则需要的标配电池节数达到 67 节,这样给实际应用带来极大的限制。因此,一般高频 UPS 会单独配置一个电池变换器,市电正常的时候电池变换器把 800 V 的母线电压降到电池组电压,市电故障或超限时,电池变换器把电池组电压升压到 800 V 的母线电压,从而实现电池的充放电管理。由于高频机母线电压为 800 V 左右,所以逆变器

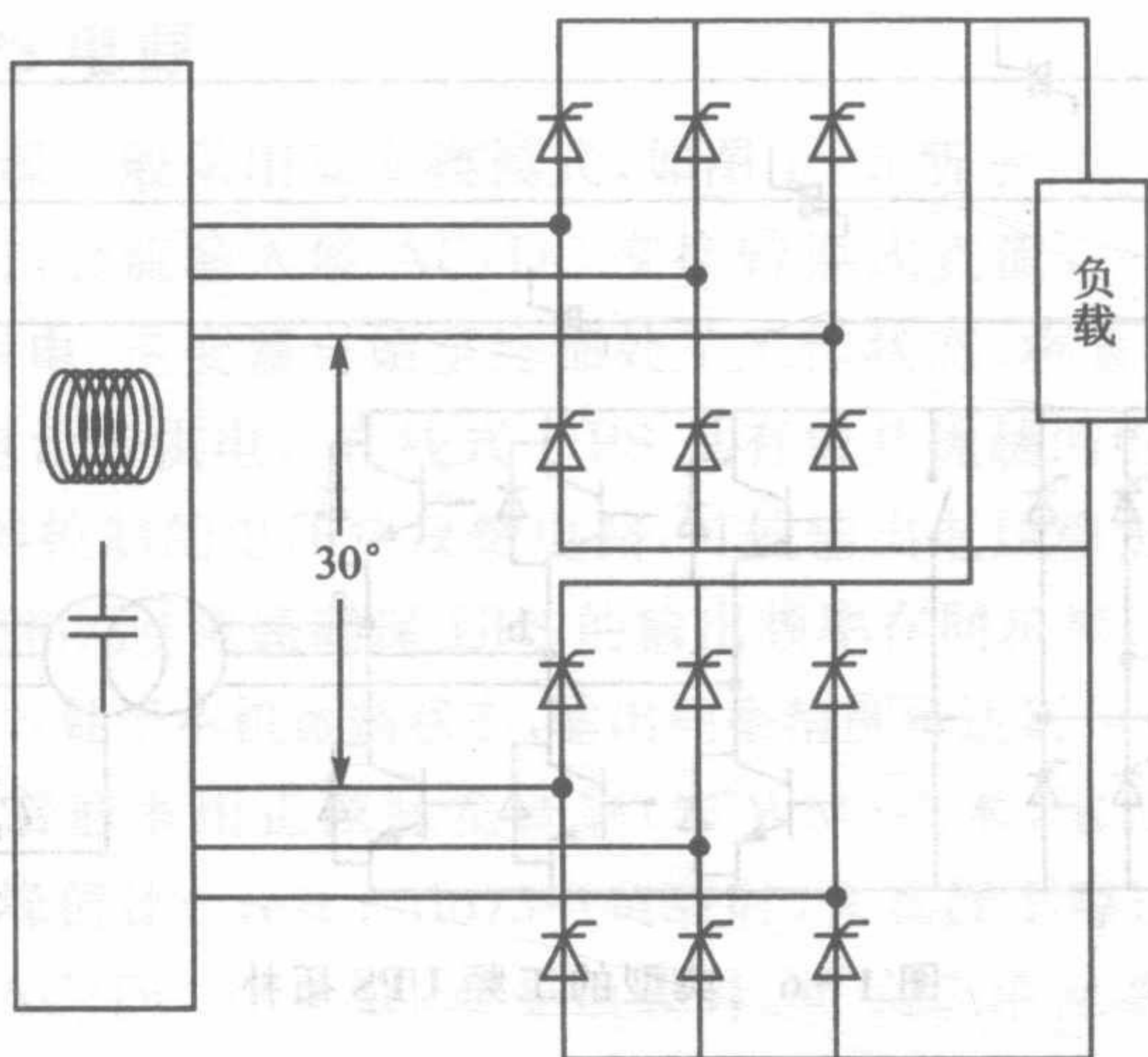


图 1-8 典型 12 脉冲整流电路

输出相电压可以直接达到 220 V, 逆变器之后就不再需要升压变压器。

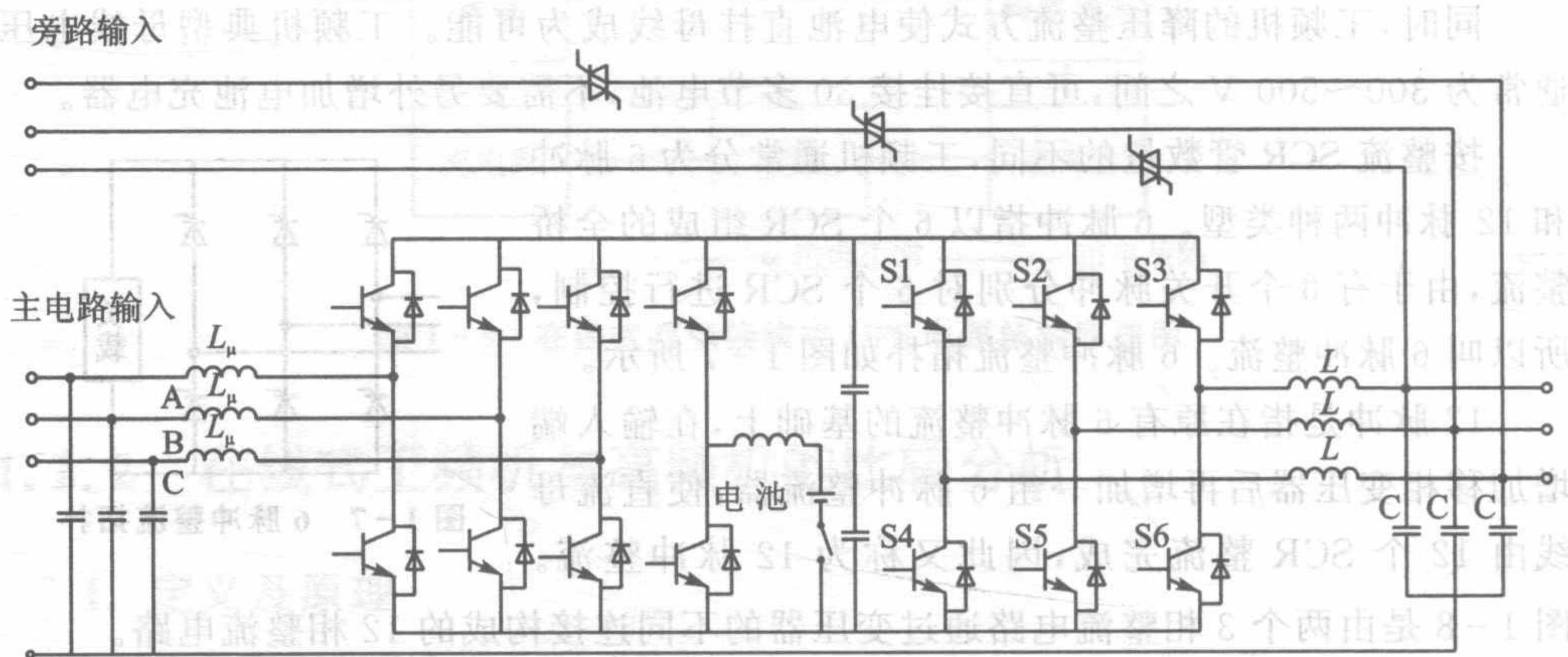


图 1-9 高频 UPS 拓扑示意图

2. 工频机和高频机的性能对比

随着电力电子技术的发展和高频功率器件的不断问世, 中小功率段的 UPS 产品正逐步高频化, 高频 UPS 具有功率密度大、体积小、重量轻的特点。但在高频 UPS 功率段向中大功率过渡推进的过程中, 高频拓扑 UPS 在使用过程中暴露出一些固有缺点, 并影响到 UPS 的安全使用和运行。

(1) UPS 输入缺零线无法正常工作

某型号大容量三相高频 UPS 拓扑如图 1-10 所示。可见, UPS 输入是三相四线 (相线+零线), 整流器为四桥臂变换器。A、B、C 三相和零线均通过 IGBT 整流。此变换器存在先天缺陷, 即零线在主路工作时不能断开。当 A、B、C 三相闭合、