

现代中频电源

工程设计与调试技术

乔恩明 祁承超 刘 敏 徐远根 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014035839

TM91
51

现代中频电源 工程设计与调试技术

乔恩明 祁承超 刘 敏 徐远根 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



北航

C1723127

TM91
51

988280310

内 容 提 要

本书以最新应用于中频电源中的逆变技术为主线,结合国内外中频电源技术发展动向和国内中频电源技术的应用和发展,介绍中频电源中常用功率器件、专用器件、控制电路及新技术,由简到繁,由易到难,全面系统地讲述中频电源所用技术和设计方案,重点是中频电源设计、调试技术。掌握电源装置中各控制电路间有机配合、调试方法步骤,提高中频电源设计、调试和应用水平,紧跟技术发展的前沿;同时又具有较完整的电源制造体系,具有较强的实用性和操作性。

本书内容丰富、深入浅出、通俗易懂,具有很高的实用价值。本书适用于开关电源初学者和中频电源从业者,也适合电气工程及自动化专业、电子技术以及其他相关专业本科生和研究生阅读,还可作为相关专业的工程技术人员与维修人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代中频电源工程设计与调试技术/乔恩明等编著. —北京:
中国电力出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-5123-5377-0

I. ①现… II. ①乔… III. ①中频电源-设计②中频电源-调试方法 IV. ①TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 309974 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 16 开本 23 印张 468 千字

印数 0001—3000 册 定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

中频电源,也叫变频电源,是指输出频率在 $60 \sim 1000\text{Hz}$ 频段,功率在 $20\text{V} \cdot \text{A} \sim 300\text{kV} \cdot \text{A}$ 的专用电源,也是目前可用于供电设备的大型电源。现在已广泛应用于航空航天、国防、交通运输、城市供电、节能、环境污染控制和各种高科技领域。中频电源中的技术就是高频开关型逆变技术和电力电子技术中的功率变换技术的具体应用。

电力电子技术以电力电子元器件为基础。全控型功率半导体开关器件的出现和 高频脉宽调制技术在开关型功率变换电路的广泛应用,使开关型逆变器的发展进入了突飞猛进的时代。同时,高速单片机、高速数字信号处理芯片(DSP)出现,使控制电路更加方便快捷。它为开关型功率变换装置向更高功率密度、更高效率、更高静态和动态性能、更高的模块化和集成化奠定了基础。逆变技术可以说是实现电能变换为目标参数的核心技术。中频电源就是利用逆变技术制作而成的电源装置。因此,本书以最新应用于中频电源中的逆变技术为主线,结合国内外中频电源技术发展动向和国内中频电源技术的应用和发展。但是,考虑到逆变技术的基础阶段和发展过程,以及内容的连贯性,书中仍然包含了中频电源中常用功率器件、专用器件、方波逆变电路拓扑结构、控制保护电路,由简到繁,由易到难,全面系统地讲述中频电源所用技术和设计方案,重点是中频电源设计、调试技术。掌握电源装置中各控制电路间有机配合、调试方法步骤,提高中频电源设计、调试和应用水平,紧跟技术发展的前沿。本书是作者通过多年实践并收集大量资料的基础上“浓缩”而成,具有较完整的电源制造体系,较强的实用性和操作性,希望对读者有所帮助。

本书力图以通俗易懂的方式,从电力电子元器件原理出发,将电子电路的结构、原理介绍给大家,并结合电力电子器件的特点,介绍器件的识别、检测、应用技术,包括器件的选型、驱动、缓冲、保护、电力电子变换电路。在写作方式上,本书采取多种应用电路形式对逆变电路进行详细的介绍,使读者可以“零距离”地认识这些电路;通过分析电路学到这些知识的“精华”,做到“学以致用”;再通过电路实践,使读者在学习电路知识的同时可以掌握各种高频开关型逆变技术的原理,加深理解,快速提高应用能力。

本书可作为电力电子与电气传动专业及相关专业研究生的参考书,也可作为从

事开关电源、逆变器等电力电子装置开发、设计工程技术人员的参考书。希望本书的出版能对国内广大从事电力电子技术的科研人员有所帮助，在促进我国电力电子产品性能的提高方面发挥一点作用。

本书中引用了国内外许多专家、学者的著作、论文等文献，在此表示衷心的感谢。

本书第一、二、四、五、十一、十二章由乔恩明编写；第三、六章由郑立勇编写；第七、八章由任超西编写；第九、十章由薛玉军编写。乔恩明拟定了本书的章、节目录和编写大纲，并审阅了全部书稿。在本书的编写过程中，得到了武汉雷升电子有限责任公司的支持和帮助，另外，黄玉龙等对本书提出了宝贵意见，在此表示感谢。由于作者水平和所见资料有限加之编写时间仓促，难免有不妥之处及错误存在，望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 中频电源的基本组成	2
第二节 中频电源的主要技术指标	3
第三节 中频电源的基本电路	9
第四节 中频电源的新技术与发展趋势	12
第五节 中频电源技术的应用与展望	14
第二章 中频电源调试技术	18
第一节 谐波含量自动测量仪	18
第二节 DS1000 系列数字存储示波器	23
第三节 中频电源的调试	36
第三章 中频电源常用元器件及检测	48
第一节 功率场效应管 MOSFET 及其检测	48
第二节 绝缘栅双极型晶体管 IGBT 及其检测	58
第三节 智能功率模块 IPM 与功率集成电路 PIC	73
第四节 隔离反馈用光耦合器	89
第五节 磁性材料与变压器元件	95
第六节 中频电源中使用的电容器	114
第四章 中频电源中的方波逆变器电路	135
第一节 单相中频电源逆变电路	135
第二节 方波叠加组合的单相中频电源逆变电路	141
第三节 高频链单相中频电源逆变电路	146
第四节 三相中频电源逆变电路	159
第五节 三相正弦波逆变器偏磁的抑制	171
第五章 中频电源中的 PWM 信号产生电路	177
第一节 开关电源 PWM 信号产生与控制原理电路	177
第二节 正弦波脉宽调制 (SPWM)	180
第三节 开关电源用 PWM 集成控制电路	193
第六章 中频电源的控制与保护电路	222
第一节 中频电源输入电路的保护	222

第二节	功率开关管的限流保护	226
第三节	输出过电压、欠电压保护电路	232
第四节	负载短路保护与过载保护	238
第五节	IGBT 的驱动和保护电路	243
第七章	中频电源的主电路设计	252
第一节	中频电源主电路选择	252
第二节	IGBT 模块的选择	254
第三节	智能功率模块在中频电源设计中的选用	259
第四节	单相中频电源的设计	265
第八章	中频电源栅极驱动电路设计	269
第一节	IGBT 的基本驱动电路及驱动电压	269
第二节	栅极驱动电路参数设计基本原则	272
第三节	IGBT 栅极驱动电路的抗干扰措施	277
第四节	专用集成栅极驱动电路	279
第九章	高频链单相中频电源设计与调试	303
第一节	高频链推挽式单相中频电源	303
第二节	高频链正激式三相 200Hz 变频电源设计	313
第十章	6kVA 单相中频电源的设计与调试	322
第一节	单相中频电源的设计与调试	322
第二节	铁路用逆变电源的设计与调试	328
第十一章	60kVA 三相中频电源的设计与调试	334
第一节	三相中频电源的主要技术指标	334
第二节	三相桥式中频电源设计	335
第十二章	100kVA 三相组合式中频电源设计与调试	343
第一节	三相组合式中频电源主要技术指标	343
第二节	三相组合式中频电源设计与调试	344
第三节	SA8282 在静止变频电源中的应用	351
第四节	高压中频电源设计与调试	355
参考文献		359

绪 论

中频电源,也称变频电源,是指其输出频率在 $60\sim 1000\text{Hz}$ 频段的专用电源,也是目前可用于供配电设备的大型电源。其主要原理是:由 AC/DC 和 DC/AC 组成,首先是将市电 AC380V/50Hz (或 AC220V/50Hz) 通过不控整流成直流 DC530V (或 DC310V),再通过半导体器件 (SCR、GTO、GTR、IGBT 和功率 MOSFET 等) 的开通和关断作用,把直流电能变换成交流电能的一种电力电子变换器。其核心技术就是逆变技术。由于它是通过半导体功率开关器件的开通和关断来实现电能变换的,因此体积小、变换效率高、噪声小、波形质量好。

逆变技术是电力电子学四种变换技术中最重要的一种,这四种变换是:①DC/DC 变换:将一种直流电能变换成另一种或多种直流电能的变换;②AC/DC 变换:将交流电能变换成直流电能的变换,俗称整流或顺变;③AC/AC 变换:将一种交流电能变换成另一种交流电能的变换,俗称变频;④DC/AC 变换:将直流电能变换成交流电能的变换,俗称逆变。仔细分析以上四种变换,内部都包含了应用半导体功率开关器件的开通和关断,实现电能的变换和控制的技术。它包括电压、电流、频率、相数和波形等方面的变换。电力电子学也称为电力电子技术 (Power electronics),是一门以电能为研究对象的学科,是由电气工程与技术 (发电机、变压器等各种电力设备和处理电能的电力网络)、控制理论 (模拟控制理论、数字控制理论)、电子科学与技术 (各种电子元器件、处理信息的电子电路) 三大学科交叉形成,这一观点已被学术界普遍接受,如图 1-1 所示。它是以电力电子器件为基础,对电能进行控制、转换和传输,是现代电子学的一个重要分支,包括电力电子器件、变流电路和控制电路三大部分。从 20 世纪 80 年代以来,随着电力电子技术及电力电子器件的飞速发展,及其对工业发展所产生的作用,它已被各国专家学者称为人类社会继计算机之后的第二次电子革命,对航空航天、国防、交通运输、城市供电、节能、环境污染控制等方面的发展,将会产生更大的推动作用。

本书所讲述的中频电源是对我国现行供电体制的一个补充,特别是我国改革开放几十年引进了很多国外设备和航空航天、国防方面设备,它们要求的输入电源品质则是频率在 60、400、

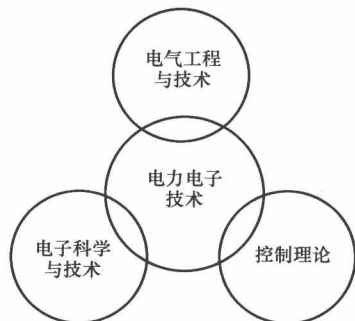


图 1-1 电力电子学的定义示意图

1000Hz, 电压在 110V/220V 的专用电源。

• 第一节 中频电源的基本组成

现代中频电源既包含了逆变技术, 又包含了变频技术, 是重要的节能和环保技术。中频电源是一种将市电交流电能变换成其他中频交流电能的变换装置。如果它是用柴油机(或交流电动机)与交流发电机组来实现这种电能变换的, 则称为中频发电机(或旋转式变流机); 如果它是通过半导体功率开关器件的开通和关断来实现电能变换的, 则称为静止变频电源, 俗称中频电源。所以中频电源也属于开关电源的范畴, 或者说是输出交流信号的开关电源。中频电源在体积、质量、变换效率、可靠性、电能质量、噪声等方面都比旋转式变流机优越。

中频电源按照结构、种类、工作方式的不同, 有多种分类方法。按照主电路的结构形式, 可以分为半桥式中频电源、全桥式中频电源、推挽式中频电源; 按照主电路的功率开关器件的种类, 可以分为 SCR 中频电源、GTR 中频电源、GTO 中频电源、MOSFET 中频电源、还有 IGBT (IPM) 中频电源; 按照调制方式, 可以分为 PWM 脉宽调制中频电源、SPWM 正弦波脉宽调制中频电源; 按照输入、输出的隔离方式, 可以分为非隔离中频电源、变压器隔离中频电源; 按照控制技术, 可以分为模拟控制中频电源、全数字控制中频电源; 按照输出电压波形的电平数, 可以分为二电平中频电源、三电平中频电源和多电平中频电源; 按照输出电压的波形, 可以分为纯正弦波中频电源、准正弦波中频电源、非正弦波中频电源; 按照输出电压的相数, 可以分为单相中频电源、三相中频电源、多相中频电源; 按照功率开关的工作方式, 可以分为硬开关中频电源和软开关中频电源; 按照对输出电压波形的改善方式, 可以分为 PWM 中频电源、多重叠加中频电源和多电平中频电源。

1. 三相中频电源全机组成框图 (见图 1-2)

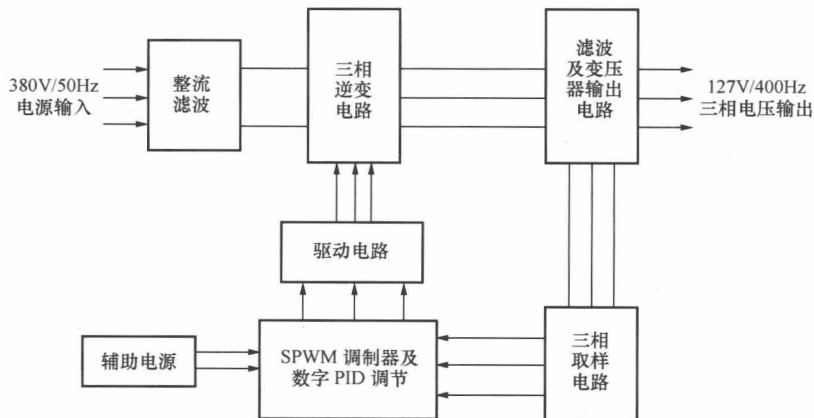


图 1-2 三相中频电源的组成框图

2. 中频电源工作过程

该中频电源是一种将 380V/50Hz 三相交流电, 变换为三相 127V/400Hz 交流电的装置。从三相输入连接器输入的 380V/50Hz (三相四线制) 市电经三相高分断断路器、三相电源滤波器, 加到三相不控整流桥上进行整流。整流桥输出的脉动直流电压经电感、电容滤波后加到三相全桥变换器进行变换, 它的作用是把直流电变换成 400Hz 交流电。逆变电路由六个绝缘栅极晶体管 (IGBT) 构成, 它以正弦脉宽调制 (SPWM) 方式工作, 其输出经 LC 三相滤波后得到正弦波, 再经变压器 T 隔离后输出稳定的三相 127V/400Hz 中频电压。取样电路把 400Hz 输出电压衰减、整流成直流电压, 送至数字 PID 调节器, PID 的输出用来控制 SPWM 调制器的调制系数, 以达到稳定输出电压的目的。全机所需的低压电源由两只 R 型变压器和低压辅助电源板提供。

● 第二节 中频电源的主要技术指标

一、开关电源的各种标准

开关电源的标准是以国际电工委员会标准 IEC 为基础, 标准之一是信息处理设备 (含办公设备) 的安全性 IEC950 标准。当然, IEC 待定标准本身并不具有强制性, 但各国制定标准都是以 IEC 的标准为基础。

目前, 各国政府都从一般人使用开关电源或装有开关电源的电子设备时生命与财产安全可以得到保证的角度制定出安全标准, 以据此认定有关产品是否符合要求。对于不符合安全标准的产品, 则不准出售。

一些地区和国家都根据 IEC950 制定出更加严格的安全标准来替代旧标准。例如, 在欧盟地区, 旧的安全标准 VDE0805/0806 到 1995 年废止, 取而代之的是新标准 EN60950; 在加拿大, 旧标准 1402C 可以一直适用到 2015 年, 但是新上市的机型必须符合新标准 CSA、C22.2No. 234; 在美国, 是新上市的机型必须符合新标准 UL1950。

准备出口开关电源的企业, 必须接受产品出口国的公共机构认证并取得认证号, 如 UL 认证和 CAS 认证等。而且, 处理产品的性能与加工应满足要求条件外, 还必须对电源采取功率因数校正措施、绝缘措施、电磁兼容措施, 并进行必要的质量控制等。

尤其是打算在欧盟地区范围内销售开关电源及装有开关电源的电子设备时, 出口厂家有义务在产品上贴 CE 标志, 以标明该产品符合安全和质量控制等要求, 并且不至于对环境造成危害。在欧盟地区内, 自 1995 年 1 月 1 日开始强制执行某些安全指令, 其后, 1996 年 1 月 1 日开始强制执行了包括电磁干扰 EMI 抑制, 电磁抗扰性 EMS 以及谐波电流抑制 PFHC 要求在内的电磁兼容 EMC 指令, 从 1997 年 1 月 1 日起开始强制执行了相当于安全标准的低电压 LVD 指令。其他国家和地区

也相继采取类似的行动，建立类似的限制性规范。有关 CE 标志的体系如图 1-3 所示，适用于各种电子产品的主要 EMI 标准见表 1-1。

EMC 指令的适用对象是涉及所有产生电磁干扰的产品，受到电磁干扰而可能发生故障的产品及可能产生谐波电流的产品。低电压指令适用于交流 50~1000V 的产品和直流 75~1500V 的产品。

因此，开关电源生产厂家必须在充分了解有关指令、标准及规范的基础上，实施相应的严格管理，设计和制造可以满足相关要求的各种电源产品。当然，非生产开关电源厂家在自行设计和制造开关电源时，必须熟悉相关的指令、标准及规范。不过，考虑到开关电源产品需要通过认证过程及成本效率等因素，除非有特殊必要，还是从开关电源的专业生产厂家购买比较合算。在选购时，不论是购买电源单机还是装入电子产品的内置电源单元，都应当注意选择可以满足有关指令、标准及规范的产品。

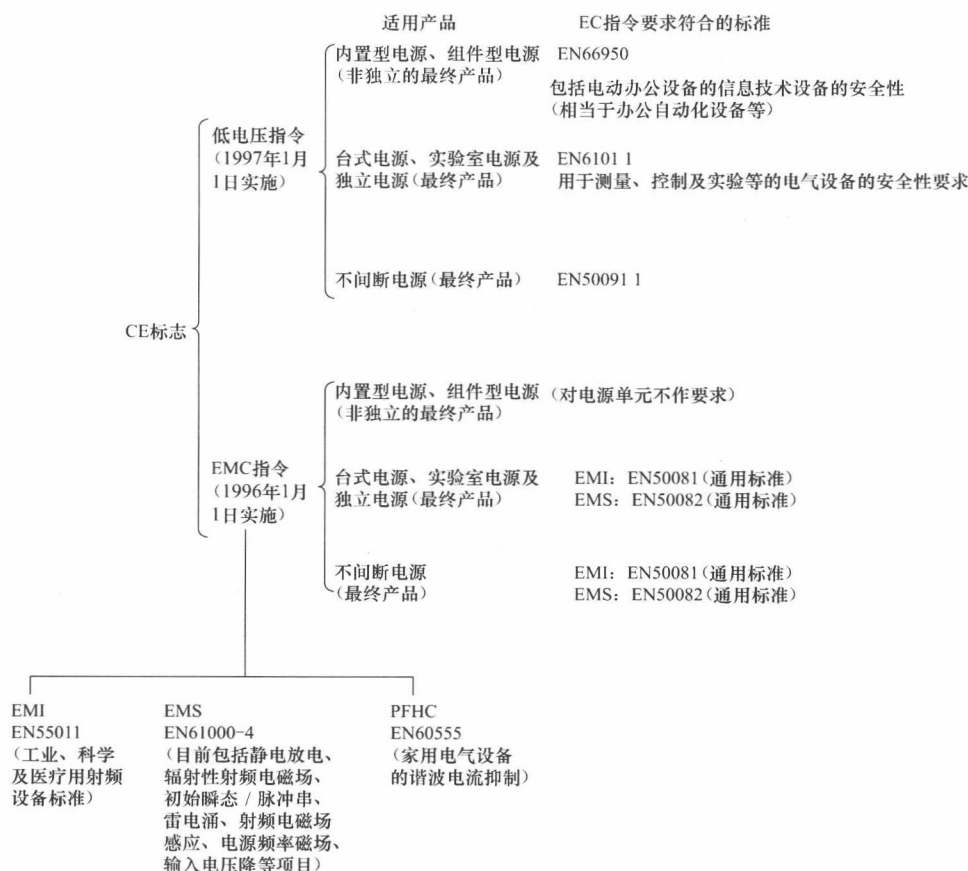


图 1-3 CE 标志体系简图

表 1-1

主要 EMI 标准示例

适用电子产品	国际标准	美国标准	欧洲标准	日本标准
电视机、收音机及音响设备	CISPR Pub. 13 Subpart B Subpart C	FCC Part 15	EN55013	电气用品管理法
磁带录像机	CISPR Pub. 13	FCC Part 15 Subpart B	EN55013	电气用品管理法
信息技术设备、复印机	CISPR Pub. 22	FCC Part 15 Subpart B	EN55022	VCCI
电话机、传真机	CISPR Pub. 22 CCITT	FCC Part 15 FCC Part 68	EN55022	VCCI
无线通信设备	CCIR	FCC Part 15 FCC Part 68	ET5300/33	电气用品管理法 电磁波法 VCCI
家用电器设备， 便携式电动工具	CISPR Pub. 14	—	EN55014	电气用品管理法

二、中频电源的技术指标

(一) 电气技术指标

1. 输入技术指标

(1) 输入电源电压。作为开关电源输入的技术指标有输入电源相数、额定输入电压及电压的变化范围、频率、输入电流等。输入电源一般为单相二线制和三相三线制，以及单相三线制及三相四线制等。电源的额定输入电压因各国或地区不同而异，例如，美国规定的交流输入电源电压为 120V，欧洲为 220~240V，日本为 100V 及 200V，我国为 220V 及 380V。输入电压的变化范围一般为 $\pm 10\%$ ，加上配线路径及给过的具体情况，输入电压的变化范围多为 $-15\% \sim +10\%$ 。

中频电源的输入几乎都是用电容进行滤波的电容输入方式，因此，有高次谐波失真带来的电压尖峰问题，但通常在正弦波的情况下能保证上述给定的指标。三相输入时虽有相电压的不平衡，但输入电压在规定变化范围之内。

(2) 输入频率。工频为 50Hz (或 60Hz)，在频率变化范围不影响开关电源的特性时多半为 48~63Hz，还有航天及船舶用的特殊电源频率为 400Hz，但因输入电容滤波器的电容电流及输入整流二极管的损耗增加等，降低了效率，若考虑要满足 EMI 的规定，可以采取减小此影响。

(3) 输入电流。开关电源最大输入电流是表示输入电压为下限值时，输出电压及电流为上限值时的输入电流。额定输入电流是在输入电压及输出电压、电流为额定时的电流。开关电源的输入滤波方式是电容输入方式，有较大的峰值电流，要有考虑电流的波峰系数 (最大值/有效值之比，通常为 3.5) 以及功率因数的规定。

输入电压瞬时跌落或瞬时断电时，在额定输出电压与电路条件下规定的输入电压是额定输入电压。瞬时断电有 10ms 与 20ms，在实用中按规定瞬时断电，多数情况下不会有问题。在输入的下限，输出保持时间变得很短，但在 100% 输出时，

在较低额定输入条件下,实用上问题也不是很大。

(4) 冲击电流。在规定的时间间隔对输入电压进行通断时,输入电路达到稳定状态之前流经的最大瞬时电流为冲击电流。对于开关电压是输入电压接通时与其后输出电压上升时流经的电流,这由输入开关的承受能力所限制,峰值电流一般为 $(3\sim 5)I$ 。

一般情况下,当输入电源跌落与瞬时断电时,要防止冲击电流的对电路的影响。用热敏电阻只能防止冷启动时的冲击电流,而对每隔几十秒的瞬时通断不起什么作用,因此,也要规定通断的重复时间。

(5) 漏电流。漏电流是流经输入侧地线的电流,从安全考虑一般为 $0.5\sim 1\text{mA}$ 。

(6) 效率。效率是指输入、输出为额定值时,其输出功率与输入有效功率之比值。效率随输出电压、电流与输出路数及开关方式不同而异,多为 $80\%\sim 90\%$,并随输入与输出的条件而变化,因此,要注意电子设备的散热条件等。

2. 输出技术指标

(1) 额定输出电压。输出端的交流电压值称为额定输出电压,对于其电压有精度与总谐波畸变因数等。

(2) 额定输出电流。是指输出端供给负载的最大平均电流。依据电子设备的不同,多路输出的电源中某路输出电流增大,另外几路输出电流就得减小,以保持总的输出电流不变。市场上的开关电源产品为使其有更好的通用性,多是在一次侧允许功率范围内,增大二次侧各路输出功率。

(3) 输出电压稳定度也称为输出电压精度或电压调整率。输出电压变动有多种原因。

1) 静态输入电压引起的变动。这是指在其他指标为额定情况下,在规定的范围内输入电压缓慢变动引起输出电压的变动。

2) 静态负载引起的变动。这是指其他指标为额定条件下,输出电流在规定的范围内缓慢变动时的输出电压变动。在规定负载变动范围内及多路输出的条件下,可能有非稳定输出的情况,因此,还应该包括规定最低负载电流。最低负载电流下的规定精度,一般是指保护功能发挥作用时的情况,另外,对于多路输出的电源,电路方式的不同,也会受到其他输出负载变动的影响。

3) 环境温度引起的变动。这是指在规定的温度范围内,其他指标为额定值时,输出电压的变动。

4) 初始特性的变动。这是指在输入输出为额定时,接入输入电源之后到规定时间(多为 30min)时输出电压的变动。

5) 长时间特性的变动。这是指输入输出为额定时,从接入输入电源后的规定时间,到下一次规定时间输出电压的变动,则称为长时间特性的变动,一般多为接入输入电源后 $30\text{min}\sim 8\text{h}$ 的变化值。

6) 动态输入电压引起的变动。这是指输入电压以规定的幅度急剧变化时输出

电压的变动。

7) 动态负载引起的变动。这是指输出电流按规定的幅度急剧变化时, 输出电压的变动(后述的脉冲负载等情况除外)。

(4) 输出电压可调范围。是指在保证电压稳定精度条件下, 由外部可能调整的输出电压范围, 一般为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$, 条件是在输入电压的下限时输出电压的最大值, 以及在输入电压上限时输出电压的最小值。

(5) 输出电压波形为正弦波。

1) 波形的谐波因数 HF 。第 n 次谐波因数 HF_n 定义为第 n 次谐波分量有效值与基波分量有效值之比。

2) 总谐波畸变因数 THD 。也称失真度、总谐波含量。

总谐波畸变因数 THD 定义为各次谐波分量有效值平方之和与基波分量有效值的比值。一般总谐波含量 $THD < 5\%$ 。

(6) 输出频率稳定度。这是指在其他指标为额定情况下, 输出频率稳定精度, 一般应小于 $\pm 0.5\%$ 。

(7) 输出对称性。

1) 输出相位对称性。输出是三相交流电压时, 相电压与相电压之间互差 120° , 一般要求三相相位对称性应小于 $\pm 2^\circ$ 。

2) 输出电压对称性。输出是三相交流电压时, 其他指标为额定条件下, 各相电压值相等, 一般要求三相电压对称性小于 1% 。

3. 附属功能

(1) 过电流保护。输出短路或过负载时, 对电源或负载要进行保护, 即为过电流保护。保护特性有额定电流下垂特性、恒流特性、恒功率特性, 大多数为下垂特性。过电流的设定值一般为额定电流的 $110\% \sim 130\%$ 。但在不损坏电源与负载的前提下, 不规定短路保护时的电流值的情况也很多, 一般为自动恢复型。

(2) 过电压保护。过电压保护就是输出端出现过大电压时对负载进行保护的功能。过电压保护值一般规定为额定输出电压的 $130\% \sim 150\%$ 。对于输出电压可调范围比较大的电源, 过电压保护值规定为在电压上限时不会发生误动作即可。发生过电压时使开关电源停止工作。恢复的方法一般是再接通输入电源或加复位信号, 使开关电源恢复正常工作状态。

(3) 欠电压保护。在输出电压达到规定值以下时, 检测输出电压下降值, 为保护负载以及防止负载误动作, 使电源停止工作, 并送出报警信号。

(4) 过热保护。电源内部异常或使用方法不当, 电源温升超过规定值以上时, 使电源停止工作, 并送出报警信号。强制风冷情况下, 当冷却功能异常时, 多数情况规定使用部件在最高温度以内使电源动作。

(5) 近、远程通/断控制。规定由外部信号通/断电源的输出所采用的装置, 例如, 采用 TTL 等半导体器件与开关等开环控制通/断, 还必须规定采用继电器与

开关时的机械振荡持续时间。

(6) 顺序。是指电源上电与负载接通的时间顺序要求,不仅要规定输出电压的上升与下降时间,还要规定电源准备就绪的各种信号。

(7) 远程检测。用输出端到电压检测点的输出引线电压对电压进行补偿。但对于大电流与高精度输出的电源,这种功能不太适用。该功能的补偿电压一般为额定电压的5%,在输出电压的可调范围内,补偿是要根据负载条件而定,以免引起振荡等故障。

(8) 接口。规定输入、输出以及信号等端子,除端子形状与接插件的名称以外,还要标记端子的编号。这时输入、输出及信号端子要很好地分开。有接插件时要按规定使用输入和输出接插件(一般输入插座为针式,输出插座为孔式),要标记对方的编号,以免弄错。

(9) 绝缘。用500V数字绝缘电阻表测得输入端与机壳间以及输入、输出端子之间绝缘电阻,一般应为 $50\text{M}\Omega$ 以上;用100V数字绝缘电阻表测得输出与机壳间的绝缘电阻一般要为 $10\text{M}\Omega$ 以上。

绝缘耐压根据输入电压的不同而异,但除各种安全规格规定以外,输入与输出端子间以及输入与机壳间为交流 $1000\text{V}/\text{min}$ 、 $1250\text{V}/\text{min}$ 或 $1500\text{V}/\text{min}$ 。输出与机壳间一般没有其他特殊规定。输出端子之间必要时要规定特殊的绝缘。输出是三相交流电压时,用500V数字绝缘电阻表测得输出端与机壳间以及输出端之间绝缘电阻,一般为 $50\text{M}\Omega$ 以上输出与机壳间一般为 $50\text{M}\Omega$ 以上。

(二) 机械结构

机械结构规定的项目有:机箱的形状、外形尺寸与公差、装配位置、装配孔及螺钉的长度等、机箱的材料及表面处理、冷却条件(如强制风冷还是自然冷却)、通风方向与风量与开口尺寸、机外温升、接口位置及显示、操作部件的位置及文字显示的位置、电源设备的质量等。

(三) 环境等条件

规定的使用温度范围随使用场所不同而异,商业级一般为 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$,储存温度一般为 $-25\sim 75^{\circ}\text{C}$;工业级一般为 $-25\sim 50^{\circ}\text{C}$,储存温度一般为 $-40\sim 75^{\circ}\text{C}$;军品级一般为 $-40\sim 55^{\circ}\text{C}$,储存温度一般为 $-55\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。在温度急剧变化的场所使用时,有必要规定温度斜率,一般为 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以内。

规定的使用相对湿度范围为 $20\%\sim 85\%$,储存相对湿度范围一般为 $18\%\sim 90\%$,结露时必须要有相应指示。一般规定常温、常湿的环境为 $15\sim 35^{\circ}\text{C}$ 及 $25\%\sim 85\%$ 。

对于耐振动的规定,多是在振动频率为 $10\sim 55\text{Hz}$ 时,工作时振动力为 $0.5\sim 1.0\text{G}$,不工作时为 $2.5\sim 4\text{G}$ 。耐冲击的规定随电源产品不同而异,为 $10\sim 100\text{G}$ 数量级。

对于噪声的规定有输入噪声、雷击浪涌以及静态噪声等。输入噪声是由叠加在

工频上的脉冲电压造成的,脉冲宽度一般为 $100\sim 800\mu\text{s}$,加的电压为 1000V ,最近也有规定脉冲宽度为几毫秒,电压为几百伏。雷击浪涌的规定对于通信设备为几千伏,一般为 1200V 。静态噪声的规定随电容容量与串联电阻值不同而异。

一个高质量的开关电源要达到一定的技术指标通常要通过仿真、实验、测试来检验参数的正确性,首先是要能测到这些指标,其次是调整使其达到这些指标。中频电源的一般技术指标如下。

- (1) 输入电源。 50Hz 、 380V 、 $\pm 15\%$ 、三相四线。
- (2) 输出电压。三相 220V ,三相四线。
- (3) 输出相电压为 127V 。
- (4) 频率为 $(1\pm 1\%) 400\text{Hz}$ 。
- (5) 输出电压波形为正弦波。
- (6) 输出电压的波形质量。总谐波含量 $THD < 3\%$ 。
- (7) 输出对称性。三相相位对称性小于 $\pm 2^\circ$,三相电压对称性小于 1% 。
- (8) 额定输出电流不小于 120A (三相)。
- (9) 额定输出功率(额定容量)为 $15\text{kV}\cdot\text{A}$ 。
- (10) 输出电压稳定度小于 1% 。
- (11) 输出负载稳定度小于 1% 。
- (12) 电压恢复时间为 0.1s 。
- (13) 过载能力为 120% 额定负载 30s 。
- (14) 短路能力为立即保护(限电流保护)。
- (15) 可靠性。 $MTBF=50000\text{h}$ 。
- (16) 电源工作效率不小于 90% 。
- (17) 输出电压的直流分量小于 1% 。
- (18) 负载的功率因数大于 95% 。
- (19) 体积:长(800mm)宽(600mm)高(1200mm)。
- (20) 质量 150kg 。
- (21) 工作环境。
 - 1) 连续工作时间为 8h 。
 - 2) 工作温度为 $-25\sim +55^\circ\text{C}$,相对湿度不大于 90% 。
 - 3) 适于野外工作。
 - 4) 电磁兼容。有良好的电磁兼容性。

● 第三节 中频电源的基本电路

电源的电路拓扑与输入电源的性质息息相关,中频电源的输入电源是市电,是电压源,所以中频电源中的变换器均为电压型,本书主要讨论电压源开关逆变器。

在中频电源中,一般要求输出电压与输入电源隔离,但也有非隔离的。在中频电源中,根据电源的容量,决定输入电源的连接方式,一般要求输出功率大于 $5\text{kV} \cdot \text{A}$ 时,则要求输入电源采用 380V 三相四线制供电。

一、单相无隔离变压器的中频电源

无隔离变压器的中频电源电路如图 1-4 所示。这种电源首先是 AC/DC 不控整流,再经过 LC 滤波、DC/AC 逆变器变换、输出滤波,交流输出 u , 提供给负载。这种电压型逆变器的特点是:逆变器直流电源侧有较大的直流滤波电容 C_d , 等负载功率因数变化时,交流输出电压的波形不变,即交流输出电压的波形与负载无关(交流输出电压的波形,通过逆变开关的动作被电容 C_d 上的电压钳位成方波);在逆变器中,与逆变开关并联有反馈二极管 VD, 交流电压与负载无关,是方波;输出电流的相位随着负载功率因数的变化而变化,换流是在同桥臂开关管之间进行的,可以通过控制输出电压的幅值和波形来控制其输出电压。

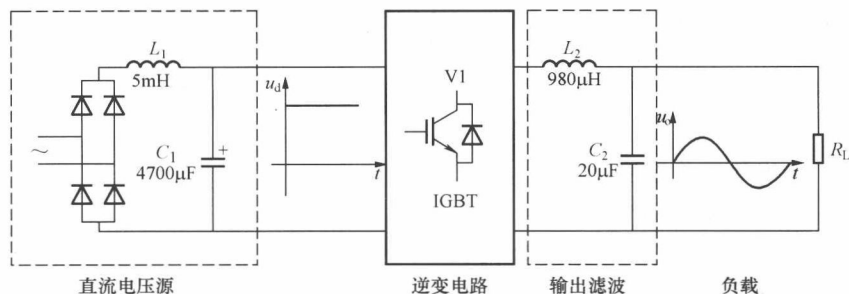


图 1-4 电压型直接变换的中频电源电路

二、带隔离变压器的单相中频电源

1. 带中频隔离变压器的中频电源

带隔离变压器的单相中频电源电路如图 1-5 所示。在电压型直接变换的中频电源电路逆变环节后加入工频变压器,起到电气隔离的作用。这种传统的隔离逆变技

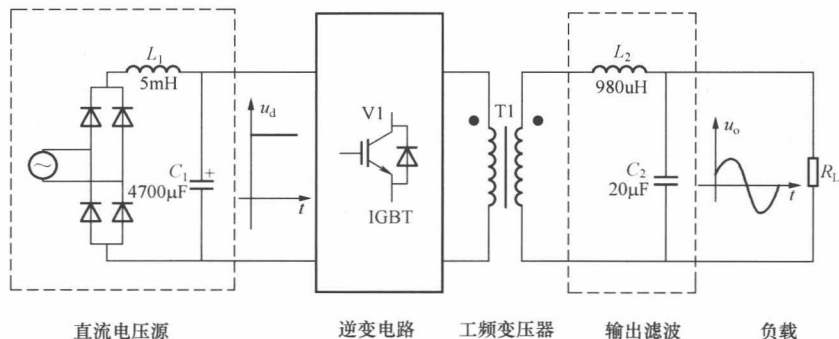


图 1-5 带隔离变压器的单相中频电源电路