



 **应用电子**
Application Electronics

电源系列丛书

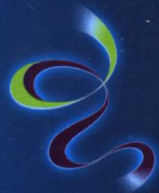
逆变技术基础 与应用

<http://www.phei.com.cn>

曲学基 曲敬铠 于明扬 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



电源系列丛书

逆变技术的历史使命：

- 改善电能质量
- 高效节能
- 绿色环保
- 提高抗电磁干扰的能力

ISBN 7-121-03491-3



9 787121 034916 >



责任编辑：魏永昌

责任美编：闫欢玲

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 7-121-03491-3

定价：38.00 元

电源系列丛书

逆变技术基础与应用

曲学基 曲敬铠 于明扬 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书结合电力电子技术和逆变技术的现状和发展方向,对逆变技术中重要的基础内容和在工业中的主要应用给予了重点介绍。书中部分章节以输出与输入的电气隔离方式为主线,对逆变器电路作了较详细的介绍,避免繁杂的数学推导,重点讲述电路的结构和性能,是一本实用性很强的书籍。

本书可作为高等院校的电力电子和电力传动专业及其有关专业师生的参考书,也可供从事逆变技术研究、逆变电路设计和相关技术应用的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

逆变技术基础与应用/曲学基,曲敬铠,于明扬编著. —北京:电子工业出版社,2007.1

(电源系列丛书)

ISBN 7-121-03491-3

I. 逆… II. ①曲… ②曲… ③于… III. 逆变器 IV. TM464

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 137123 号

责任编辑:魏永昌 特约编辑:李云霞

印 刷:北京智力达印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20.25 字数:500 千字

印 次:2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系电话:(010)68279077;邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010)88254396;(010)88258888

传 真:(010)88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

前 言

随着国民经济的高速发展和国内外能源供应的紧张,电能的开发和利用显得更为重要。目前,国内外都在大力开发新能源,如太阳能发电、风力发电、潮汐发电等。一般情况下,这些新型发电装置输出不稳定的直流电,不能直接提供给需要交流电的用户使用。为此,需要将直流电变换成交流电,需要时可并入市电电网。这种 DC-AC 变换需要逆变技术来完成。

用电设备对市电电网造成严重的污染,反过来,被污染的市电电网也会使用电设备工作不正常,用电设备之间通过市电电网相互干扰。为解决此问题,必须提高市电电网的供电质量。以逆变技术为基础的电力有源滤波器和电能质量综合补偿器可以净化市电电网,使其为用电设备提供高质量的电能。

由于在用电高峰期间或者雷电、暴风雨等自然灾害可能造成市电电网的超量波动,甚至供电中断。这将造成用电设备工作失常,特别是计算机的数据丢失或者硬件的损坏。为此,需要不间断电源(UPS)来保证计算机的运行安全。UPS 中的核心部件是逆变器。

总之,逆变技术在新能源开发与利用、提高供电质量等众多领域占有至关重要的地位。

本书力图从逆变技术的基础入手,以输出与输入电气隔离方式为主线、避免繁杂的数学推导、深入浅出地介绍各种逆变器电路的结构和应用。本书共分 13 章。第 1 章为概述。主要介绍逆变技术的现状和发展方向,本章用了一节专门介绍逆变器的工作可靠性和 EMC,其目的是期望从事逆变技术研究和设计的工程技术人员,能够充分重视逆变器的可靠性和 EMC 问题;第 2 章介绍逆变器中常用的大功率开关器件。大功率开关器件与逆变技术的发展是密切相关和相互促进的。逆变器设计的一项重要工作是合理选用大功率开关器件。为此,在本章中重点介绍几种常用的大功率开关器件(如 GTR、SCR、GTO、VMOS、IGBT 等)的基本结构、工作原理、基本特性和主要参数;在第 3 章到第 5 章中,按输出与输入电气隔离方式这条主线,介绍了低频链逆变器和高频链逆变器(包括电压源高频链逆变器和电流源高频链逆变器),其主要内容为逆变器的电路结构和控制方式;第 6 章介绍三相逆变器。本章是在第 3 章到第 5 章的单相逆变器的基础上,介绍了各种三相逆变器的电路结构及其特点;第 7 章介绍多电平逆变器。主要内容是多电平逆变器的电路结构,其中包括二极管钳位式多电平逆变器、电容钳位式多电平逆变器、具有独立直流电源的级联式多电平逆变器以及多电平逆变器的 PWM 控制;第 8 章介绍 Delta 逆变技术。Delta 逆变技术是 20 世纪末发展起来的新的逆变技术。本章简要地介绍了 Delta 逆变器的基本电路和工作原理,并在 Delta 逆变器的众多应用中,选择部分应用加以介绍;第 9 章介绍并联逆变技术。本章对逆变器并联运行的方式、均流技术、同步技术给予重点介绍;第 10 章介绍逆变器中的控制技术。本章不仅介绍了逆变器的各种控制技术,还对控制系统中所必需的电流检测电路做了介绍;第 11 章介绍逆变器中的驱动电路。本章分别介绍了 GTR、GTO、VMOS、IGBT 的驱动电路,并给出了部分集成驱动器;第 12 章介绍逆变器中的缓冲电路。缓冲电路和驱动电路为电力电子变换器的两大关键技术。本章简要介绍了缓冲电路在逆变器中的应用;第 13 章介绍逆变技术的应用示例。逆变技术在电力、交通、邮电通信、航空航天、工业控制和家用电器等众多领域有着广泛的应用,这里仅选择几个示例给予了简要的介绍。

本书由曲学基、曲敬锐、于明扬编著,还有许多同志参与了本书的编写、资料收集与整理、图表制作等工作,电子工业出版社的魏永昌同志也为本书的出版做了大量的工作,编者对这些同志表示谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不当或不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 逆变技术的现状	(1)
1.1.1 逆变技术的分类	(1)
1.1.2 逆变器的基本电路	(1)
1.1.3 逆变器的技术指标	(3)
1.1.4 逆变技术的应用	(4)
1.2 逆变技术的发展方向	(5)
1.2.1 大功率开关器件的研发	(5)
1.2.2 提高逆变器的变换效率	(6)
1.2.3 提高逆变器的工作可靠性和 EMC 性能	(7)
1.2.4 智能化	(15)
第 2 章 逆变器中常用的大功率开关器件	(16)
2.1 大功率晶体管(GTR)	(16)
2.1.1 GTR 的特性曲线	(16)
2.1.2 GTR 的主要参数	(16)
2.2 晶闸管(SCR)	(19)
2.2.1 SCR 的结构和原理	(19)
2.2.2 SCR 的伏-安特性	(21)
2.3 可关断晶闸管(GTO)	(31)
2.3.1 GTO 的基本结构和工作原理	(32)
2.3.2 GTO 的基本特性	(32)
2.3.3 GTO 的主要参数	(36)
2.4 功率场效应晶体管(VMOSFET)	(38)
2.4.1 VMOSFET 的基本结构和工作原理	(38)
2.4.2 VMOSFET 的技术参数	(40)
2.4.3 VMOSFET 的外形和分类	(41)
2.4.4 应用 VMOSFET 时应注意的问题	(43)
2.5 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	(44)
2.5.1 IGBT 的结构和特点	(44)
2.5.2 IGBT 的基本特性	(45)
2.5.3 IGBT 的主要参数	(49)
第 3 章 低频链逆变器	(52)
3.1 方波逆变器	(52)
3.1.1 自激式方波逆变器	(52)
3.1.2 他激式方波逆变器	(55)

3.2 阶梯波合成逆变器	(64)
3.2.1 阶梯波合成原理	(64)
3.2.2 谐波抵消	(65)
3.2.3 调压阶梯波合成逆变器	(69)
3.3 PWM 调制逆变器	(72)
3.3.1 正弦 PWM 逆变器	(72)
3.3.2 多脉冲等脉宽调制	(77)
第4章 电压源高频链逆变器	(79)
4.1 单向电压源高频链逆变器	(79)
4.1.1 单向电压源高频链逆变器的电路结构	(79)
4.1.2 DC-DC 变换器	(79)
4.1.3 DC-AC 变换器	(85)
4.1.4 PWM 集成控制器	(88)
4.2 双向电压源高频链逆变器	(104)
4.2.1 双向电压源高频链逆变器的电路结构	(105)
4.2.2 双向电压源高频链逆变器的移相控制	(106)
4.3 软开关电压源高频链逆变器	(113)
4.3.1 ZVS 和 ZCS 逆变器	(114)
4.3.2 ZVS-PWM 和 ZCS-PWM 逆变器	(117)
4.3.3 ZVT-PWM 和 ZCT-PWM 逆变器	(120)
4.3.4 PS 软开关逆变器	(124)
4.3.5 有源钳位 ZVS-PWM 逆变器	(127)
第5章 电流源高频链逆变器	(133)
5.1 电流源高频链逆变器的电路结构	(133)
5.2 电流源高频链逆变器的控制	(134)
第6章 三相逆变器	(137)
6.1 三相全桥式逆变器	(137)
6.1.1 电压型三相全桥式逆变器	(137)
6.1.2 电流型三相全桥式逆变器	(140)
6.2 三相半波式逆变器	(145)
6.3 三相软开关逆变器	(146)
6.3.1 三相 ZVT-PWM 逆变器	(146)
6.3.2 三相 ZCT-PWM 逆变器	(146)
6.4 三相组合式逆变器	(147)
第7章 多电平逆变器	(150)
7.1 多电平逆变器的电路结构	(150)
7.2 二极管钳位式多电平逆变器	(151)
7.2.1 二极管钳位式三电平逆变器	(151)
7.2.2 二极管钳位式多电平逆变器	(152)
7.2.3 二极管钳位式软开关多电平逆变器	(154)

7.3	电容钳位式多电平逆变器	(156)
7.3.1	电容钳位式三电平逆变器	(156)
7.3.2	电容钳位式多电平逆变器	(156)
7.3.3	电容钳位式软开关多电平逆变器	(158)
7.4	具有独立直流电源的级联式多电平逆变器	(159)
7.4.1	多电平级联逆变器	(159)
7.4.2	混合式级联逆变器	(160)
7.5	多电平逆变器的 PWM 控制	(161)
7.5.1	消除谐波 PWM(SH—PWM)法	(161)
7.5.2	三角波相移 PWM(PS—PWM)法	(162)
7.5.3	三角载波相移—开关频率最优 PWM(PS—SFO—PWM)法	(162)
7.5.4	空间电压矢量 PWM 法	(162)
第 8 章	Delta 逆变技术	(163)
8.1	Delta 逆变器的基本电路和工作原理	(163)
8.1.1	单相 Delta 逆变器	(163)
8.1.2	三相 Delta 逆变器	(164)
8.1.3	Delta 逆变器的控制方式	(165)
8.2	Delta 逆变器的应用	(166)
8.2.1	Delta 逆变器在在线 UPS 中的应用	(166)
8.2.2	Delta 逆变器在有源滤波器中的应用	(172)
8.2.3	Delta 逆变器在交流稳压电源中的应用	(180)
第 9 章	并联逆变技术	(185)
9.1	逆变器的并联运行	(185)
9.1.1	自整步法并联逆变运行	(185)
9.1.2	功率调节(外特性下垂)法并联运行	(186)
9.1.3	主从法并联逆变运行	(187)
9.1.4	无主从模块法并联逆变运行	(188)
9.1.5	同步开关控制法并联逆变运行	(190)
9.1.6	平均值电流控制法并联逆变运行	(190)
9.1.7	DSP 控制法并联逆变运行	(191)
9.2	逆变器并联运行的均流技术	(191)
9.2.1	均流原理	(191)
9.2.2	均流控制电路	(195)
9.3	逆变器并联运行的同步技术	(196)
9.4	逆变电源的并联运行	(197)
第 10 章	逆变器中的控制技术	(199)
10.1	电压型控制技术	(199)
10.2	电流型控制技术	(200)
10.2.1	峰值电流控制法	(202)
10.2.2	谷值电流控制法	(204)

10.2.3	平均值电流控制法	(205)
10.2.4	迟滞环电流控制法	(206)
10.2.5	电流型 PWM 集成控制器	(208)
10.3	电流检测电路	(212)
10.3.1	电阻检测法	(212)
10.3.2	电流互感器检测法	(213)
10.3.3	霍尔传感器检测法	(214)
10.4	单周期控制技术	(217)
10.4.1	单周期控制技术的概念	(217)
10.4.2	恒定导通时间单周期控制技术	(218)
10.4.3	恒定关断时间单周期控制技术	(219)
10.4.4	恒频 PWM 单周期控制技术	(220)
10.5	数字控制技术	(221)
10.5.1	PID 控制法	(221)
10.5.2	基于微处理器和 DSP 的控制法	(221)
第 11 章	逆变器中的驱动电路	(224)
11.1	GTR 的驱动电路	(224)
11.1.1	基极驱动电路	(224)
11.1.2	集成基极驱动电路	(229)
11.2	GTO 的驱动电路	(232)
11.2.1	栅极控制信号	(232)
11.2.2	栅极驱动电路	(234)
11.3	MOSFET 的驱动电路	(235)
11.3.1	MOSFET 对驱动电路的要求	(236)
11.3.2	MOSFET 的栅极驱动电路	(237)
11.3.3	集成 MOSFET 栅极驱动电路	(243)
11.4	IGBT 的驱动电路	(257)
11.4.1	EXB840/EXB841 直接驱动 IGBT	(258)
11.4.2	IR2155 直接驱动 IGBT	(260)
11.4.3	IR2130 直接驱动 IGBT	(262)
11.4.4	M57959L/M57962L 直接驱动 IGBT	(266)
11.4.5	M57959AL/M57962AL 直接驱动 IGBT	(268)
11.4.6	HR065 直接驱动 IGBT	(271)
第 12 章	逆变器中的缓冲电路	(273)
12.1	关断和导通缓冲电路	(273)
12.1.1	关断缓冲电路	(273)
12.1.2	RCD 有损缓冲电路	(274)
12.1.3	导通缓冲电路	(275)
12.2	无源无损缓冲电路	(277)
12.2.1	LCD 无源无损缓冲电路	(277)

12.2.2	CD ² 型和LCD ² 型无源无损缓冲电路	(281)
12.2.3	互感型无源无损缓冲电路	(282)
12.3	有源无损缓冲电路	(283)
12.3.1	有源无损缓冲电路的工作原理	(283)
12.3.2	谐振缓冲RS ³ 逆变器	(285)
12.3.3	互感型有源无损缓冲电路	(287)
第13章	逆变技术的应用示例	(289)
13.1	逆变技术在交流电动机变频调速中的应用	(289)
13.2	逆变技术在太阳能发电系统中的应用	(291)
13.3	电力有源滤波器在电力系统中的应用	(295)
13.4	逆变技术在电子镇流器中的应用	(305)
参考文献		(311)

第 1 章 概 述

1.1 逆变技术的现状

电能变换的类型有四种:①DC-DC 变换器,它是将一种直流电能变换为另一种直流电能的变换器;②DC-AC 变换器,它是将直流电能变换为交流电能的变换器,这种变流装置称为逆变器;③AC-DC 变换器,它是将交流电能变换为直流电能的变换器;④AC-AC 变换器,它是将一种交流电能变换为另一种交流电能的变流器。

在逆变器未出现以前,DC-AC 变换是通过直流电动机-交流发电机组来实现的,这种组合称为旋转变流机。随着电力电子技术的高速发展,大功率开关器件和集成控制电路的研发成功,利用半导体技术就可以完成 DC-AC 变换,这种变换装置称为静止变流器,通常所说的逆变器均指静止逆变器。静止逆变器与旋转变流机相比较,其电气性能优良、高效节能、可靠性高、重量轻和体积小。近来,燃料电池的发展方兴未艾,超大功率 DC-AC 变换器必将取代旋转变流机。

1.1.1 逆变技术的分类

逆变技术的分类方式很多,主要分类方式叙述如下。

- (1) 按逆变器输出交流的频率分为:工频(50~60Hz)逆变、中频(400Hz 到几十 kHz)逆变和高频(几十 kHz 到几 MHz)逆变;
- (2) 按逆变器输出交流能量的去向分为:无源逆变和有源逆变;
- (3) 按逆变器功率的流动方向分为:单向逆变和双向逆变;
- (4) 按逆变器输出电压的波形分为:正弦波逆变和非正弦波逆变;
- (5) 按逆变器输出电压的电平分为:二电平逆变和多电平逆变;
- (6) 按逆变器输出交流的相数分为:单相逆变、三相逆变和多相逆变;
- (7) 按逆变器输入与输出的电气隔离分为:非隔离型逆变、低频链逆变和高频链逆变;
- (8) 按逆变器输入直流电源的性质分为:电压源逆变和电流源逆变;
- (9) 按逆变器的电路结构分为:单端式逆变、推挽式逆变、半桥式逆变和全桥式逆变;
- (10) 按逆变器的功率开关管分为:大功率晶体管(GTR)逆变、晶闸管(SCR)逆变、可关断晶闸管(GTO)逆变、功率场效应晶体管(MOSFET)逆变和绝缘栅双极晶体管(IGBT)逆变;
- (11) 按逆变器的功率开关管工作分式分为:硬开关逆变、谐振式逆变和软开关逆变;
- (12) 按逆变器的控制方式分为:脉宽调制(PWM)逆变、脉频调制(PFM)逆变和数字逆变。

1.1.2 逆变器的基本电路

1. 逆变器电路的工作原理

我们以单相桥式逆变器电路为例来说明逆变器电路的工作原理。单相桥式逆变器电路的

原理图如图 1-1 所示。图中的 $V_1 \sim V_4$ 是桥臂上的四个功率开关管，它们的通/断由驱动脉冲来控制， R_o 是负载电阻。电路的工作波形如图 1-2 所示。

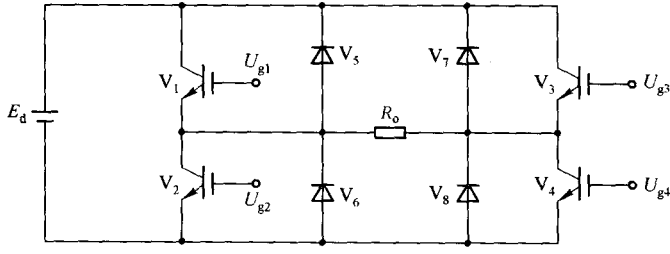


图 1-1 单相桥式逆变器电路的原理图

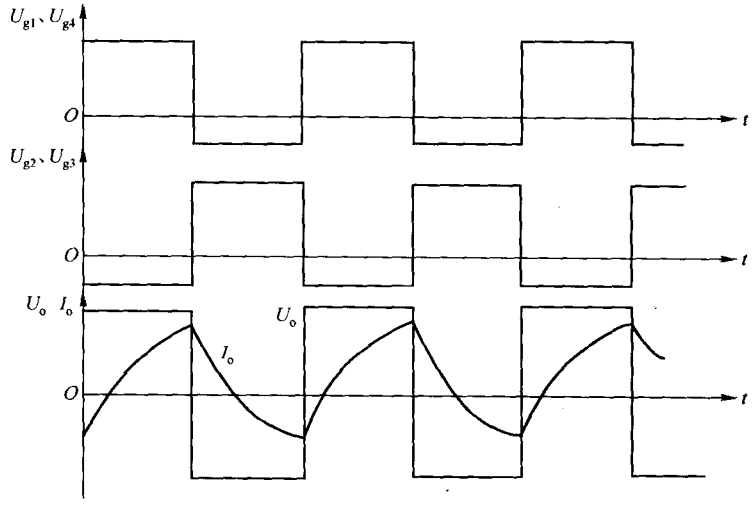


图 1-2 单相桥式逆变器电路的工作波形图

在驱动脉冲 U_{g1} 、 U_{g4} 和 U_{g2} 、 U_{g3} 的作用下，功率开关管 V_1 、 V_4 导通，而 V_2 、 V_3 关断，负载电阻 R_o 上的电压 U_o 为正。当 U_{g1} 、 U_{g4} 和 U_{g2} 、 U_{g3} 同时反相时， V_1 、 V_4 关断，而 V_2 、 V_3 导通， R_o 上的电压 U_o 为负。其波形为正、负幅值相等的矩形脉冲。改变驱动脉冲 $U_{g1} \sim U_{g4}$ 的频率，即可改变两组桥臂上的功率开关管 $V_1 \sim V_4$ 的开关变换频率，直流电变换为交流电，完成了 DC-AC 变换。

以上分析是假设负载为纯阻性的，流经负载的电流 I_o 与负载上的电压 U_o 相位相同，波形也相同。但当负载为感性时， I_o 滞后于 U_o ， I_o 的波形如图 1-2 所示。

2. 逆变器电路的换流方式

如上所述，逆变器电路完成 DC-AC 变换是通过换流来实现的。换流过程是电流从一个支路变换到另一个支路的过程，也叫换相。逆变器电路中的功率开关管在驱动脉冲或外部电压的作用下导通或关断，从而完成换流。按功率开关管的工作类型，换流方式可分为以下几种：

1) 自换流方式

(1) 全控型功率开关管在驱动脉冲的作用下通或断，完成换流过程，称为器件换流 (Device Commutation)；

(2) 当用晶闸管作功率开关管时，必须在电流过零时，通过施加外部反向电压，才能令其

关断,完成换流过程,称为强迫换流(Forced Commutation)。

2) 外部换流方式

(1) 若由电网来提供功率开关管换流时所必需的外部电压,这种换流过程称为电网换流(Line Commutation);

(2) 若由负载来提供功率开关管换流时所必需的外部电压,这种换流过程称为负载换流(Load Commutation)。

1.1.3 逆变器的技术指标

逆变器的主要技术指标如下。

(1) 输入电压范围 U_i : 逆变器直流输入电压的范围。它取决于功率开关管工作时所能承受的最高电压(包括功率开关管关断时所产生的过冲电压)和逆变器的输出电压范围。

(2) 输出电压 U_o : 逆变器工作在额定输入电压时,交流输出电压的有效值。

(3) 额定输出功率 P_o : 逆变器正常工作时,所能提供的最大输出功率。

(4) 变换效率 η : 逆变器的交流输出功率与直流输入功率之比。

(5) 输出电压频率 f_o : 逆变器的交流输出电压的重复频率。

(6) 谐波因数 HF(Harmonic Factor): 逆变器的交流输出电流的某次谐波分量有效值与基波分量有效值之比。第 n 次谐波分量的谐波因数 HF_n 可写成

$$HF_n = I_n / I_1 \quad (1-1)$$

式中 I_n ——交流输出电流的 n 次谐波分量有效值;

I_1 ——交流输出电流的基波分量有效值。

(7) 总谐波畸变度 THD(Total Harmonic Distortion): 逆变器交流输出各次谐波分量的有效值与基波分量的有效值之比,即

$$THD = \sqrt{\frac{(I_2^2 + I_3^2 + \cdots + I_n^2)}{I_1^2}} \quad (1-2)$$

式中 $I_1, I_2, I_3, \cdots, I_n$ ——基波分量与各次谐波分量的有效值。THD 表明逆变器交流输出的实际波形与其基波分量接近的程度。理想正弦波的 $THD=0$ 。若逆变器的交流输出并入市电网,THD 用来衡量谐波对市电网的污染程度。

(8) 畸变因数 DF(Distortion Factor): 某次谐波分量对波形畸变的贡献,即

$$DF = \frac{1}{n^2 I_1} (I_2 + I_3 + \cdots + I_n) \quad (1-3)$$

对于第 n 次谐波来说,其畸变因数 DF_n 为

$$DF_n = \frac{I_n}{n^2 I_1} \quad (1-4)$$

(9) 功率因数 f_p : 有功功率与视在功率之比,即

$$f_p = \frac{P_{ac}}{P_{ap}} \quad (1-5)$$

式中 P_{ac} ——逆变器输出的有功功率;

P_{ap} ——逆变器输出的视在功率。

有功功率 P_{ac} 为

$$P_{ac} = UI_1 \cos \alpha \quad (1-6)$$

式中 U ——逆变器的输出电压;

α ——逆变器的输出电流基波分量有效值 I_1 滞后输出电压 U_o 的相位角。

视在功率 P_{ap} 为

$$P_{ap} = U \cdot I = U \cdot \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \quad (1-7)$$

所以

$$f_p = \frac{P_{ac}}{P_{ap}} = \frac{I_1}{I} \cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + (\text{THD})^2}} \cos\alpha \quad (1-8)$$

从式(1-2)和式(1-8)可知,抑制谐波分量可以减小 THD 和提高 f_p 。式(1-8)中, I_1/I 是基波电流的相对值(以电流有效值为基值), $\cos\alpha$ 称为位移因数(Displacement Factor)。式(1-8)表明功率因数 f_p 是基波电流相对值和位移因数的乘积。

(10) 最低次谐波 LOH(Lowest-order Harmonic):与基波频率最接近的谐波。

1.1.4 逆变技术的应用

现代逆变技术是一门实用技术,随着电力电子技术的高速发展,大量高功率开关器件相继出现,可以满足各行各业对逆变技术的需求,逆变技术的应用领域越来越广泛。

1. 交流电动机的变频调速

运用逆变技术将市电网电压变换成电压和频率均可调节的交流电,对交流电动机进行无级调速。变频调速技术在许多场合有广泛应用,如机床、风机、机车牵引、电梯、空调等的控制。

2. 新能源的开发和利用

目前,主要能源是煤、石油、天然气等,但这些能源日趋紧张,许多国家都在进行新能源的开发和利用,如太阳能发电、风力发电、潮汐发电等。一般情况下,这些发电设备输出的是直流电(或者是不稳定的交流电,输出前变换成直流电),运用逆变技术将其变换成 50Hz 的交流电,直接提供给用电设备,或并入市电网。

3. 提高市电网的供电质量

随着国民经济的高速发展,供电质量日趋恶化,利用有源滤波器和交流电网净化装置,可以大大改善市电网的供电质量。有源滤波器和交流电网净化装置是运用逆变技术来消除谐波和对无功分量进行补偿,以净化市电网。

4. 不间断电源(UPS)

大到某些系统工程,小到单台计算机,均需要不间断电源(UPS)的支持。UPS 主要由蓄电池和逆变器组成。逆变器具有能量双向传输功能。在市电网正常供电时,逆变器工作于整流状态,给蓄电池充电。在市电网断电的情况下,逆变器工作于逆变状态,给用电设备提供 50Hz 的交流电。

5. 开关稳压电源和专用电源

传统的调整型直流稳压电源性能较好,但笨重且效率低。开关稳压电源是利用逆变技术实现 LFAC-DC-HFAC-DC 的变换,得到稳定的直流输出。开关稳压电源有良好的稳压性能,体积小、重量轻。

电弧焊、等离子弧焊、切割焊等弧焊电源采用逆变技术,以逆变式弧焊电源取代传统的整流式弧焊电源。

在电镀、蒸发镀膜、离子镀膜、静电喷涂、刷镀等表面工程领域广泛应用逆变式开关电源。

对水、空气进行消毒、除尘所用的臭氧发生器、超声波发生器和高压静电除尘器中的电源均利用了逆变技术。

6. 产生和利用电磁场

利用逆变技术产生交流电,进而产生交变磁场,金属在交变磁场中产生涡流而发热,金属被加热。如高频和中频加热炉、电磁炉等。

磁悬浮列车是利用高尖技术产生一种磁场,使列车车轮和铁轨不完全接触,减小摩擦,提高牵引效率。其中就利用了逆变技术。

7. 电子镇流器

负阻性气体放电灯利用节能的电子镇流器,构成了“绿色照明”的新兴产业。电子镇流器采用逆变技术实现负阻性气体放电灯的镇流,具有无频闪、效率高、可调光、体积小、重量轻等优点。

8. 家用电器

逆变技术用于家用电器,可以做到节能和改善性能。如平板电视、家用计算机、微波炉、变频空调、电磁炉等均采用了逆变技术。

逆变技术的应用领域十分广泛,除上面介绍的几点外,逆变技术还可用于电力电子、航空、航天、化工、工业控制、机器人、军工等众多领域。

1.2 逆变技术的发展方向

1.2.1 大功率开关器件的研发

大功率开关器件及其应用技术是现代逆变技术发展的基础。大功率开关器件的发展进程主要表现在以下几个方面:

- (1) 从强迫关断发展到自关断;
- (2) 从中、小容量发展到大容量、超大容量;
- (3) 开关频率从几 kHz 发展到近 100MHz;
- (4) 向集成化、多功能化的方向发展。

根据目前在逆变电路中常用的大功率开关器件,我们将其分类和性能比较分别列在表1-1和表 1-2 中。

表 1-1 大功率开关器件的分类

类 型	器 件 名 称	器 件 符 号
单极型	功率场效应晶体管	MOSFET
	静电感应晶体管	SIT
双极型	普通晶闸管	SCR
	可关断晶闸管	GTO
	静电感应晶闸管	SITH
	大功率晶体管	GTR
复合型	绝缘栅型晶体管	IGBT
	MOS 控制晶体管	MCT