

 高凤友 主编

无源逆变电源的

原理与应用

WUYUAN NIBIAN DIANYUAN DE
YUANLI YU YINGYONG



化学工业出版社

DIANYUAN

无源逆变电源的 原理与应用

高凤友 主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

无源逆变电源的原理与应用 / 高凤友主编. —北京:
化学工业出版社, 2011.8

ISBN 978-7-122-11802-8

I. 无… II. 高… III. 逆变电源 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 138265 号

责任编辑: 宋 辉

文字编辑: 云 雷

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 刘丽华

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: 三河市延风印装厂

850mm×1168mm 1/32 印张 7 $\frac{3}{4}$ 字数 170 千字

2011 年 11 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: 28.00 元

版权所有 违者必究



前言

无源逆变技术是电力电子技术中的一个重要组成部分，它的作用是把从市电电网上得到的已经遭受污染的定压定频“粗电能”，或从蓄电池、太阳能电池、燃料电池等得到的电能质量较差的直流原始电能，变换成电能质量较高、能满足用户负载对电压和频率要求的交流电能。无源逆变技术主要应用于交流电动机的传动、步进电机的控制、应急电源（EPS）、不间断电源（UPS）、变频电源、太阳能光伏发电系统、风力发电系统等所有需要将直流电能变换成交流电能的场合。

由市电电网+整流设备，或蓄电池、太阳能电池、燃料电池等直流原始电源，与逆变器组合，共同构成了直接向交流负载供电的无源逆变电源。

随着科学技术的发展，用户对交流电能质量的要求也越来越高，包括市电电源在内的所有原始电能，已经满足不了一部分用户对供电质量的需求，原始电能必须经过加工处理后才能使用，高质量的不间断电源（UPS）就是完成上述加

工处理工作的典型无源逆变电源。

目前，城市供电系统的安全对策一般是采用并网供电，为城市电力提供可靠的电源保护。但从企业及工业、民用建筑使用情况来看，仅靠公用电网还远远不够，必须具备应急供电系统（EPS）。组建应急供电系统的重要性是在事故发生的情况下确保提供所需的应急电力，以有效降低因为断电而造成的损失，为人们生产和生活安全提供保障。

由蓄电池组与逆变器组成的无源逆变电源（EPS 应急电源）也是目前广泛使用的，它是各种建筑物和重要公共设施的消防应急照明和消防动力用应急备用电源的一种。

近十几年来，随着世界能源短缺和环境污染等问题日趋严重，太阳能电池的清洁性、安全性、长寿命，免维护以及资源可再生等优点更加显现。因此，太阳能电池产业及太阳能发电系统制造业又遇到了良好的发展机遇和巨大的市场空间，太阳能发电业也步入了高速发展时期，作为无源逆变电源的独立型光伏发电系统，已广泛用于航天、通信、交通，以及偏远地区居民的供电等领域，近年来又开辟了太阳能路灯、草坪灯和屋顶太阳能光伏发电等新的应用领域。

由于上述原因，为满足当前人们对“无源逆变电源的原理及应用”的了解和掌握的需要，编写了本书。

本书主要介绍了三个方面的内容。在器件及系统组件方面：除了传统的晶闸管之外，主要介绍了全控型自关断器件和新型功率半导体器件，详细介绍了逆变电源用蓄电池的组成、结构及工作原理。在电路方面：重点介绍了电力电子器件的常用驱动电路、缓冲电路，着重分析了无源逆变电源中的核心电路——DC/AC 无源逆变电路。在应用方面：从结

构、原理及应用等方面重点介绍了三个典型无源逆变电源系统，即 EPS 应急电源系统、UPS 不间断电源系统和太阳能光伏发电系统。全书形式新颖、概念清晰、内容深入浅出、通俗易懂。

本书适合作为从事电力电子电源设备研发、设计、生产及维护人员的参考用书，也可作为高等院校和高职院校自动化、电气工程及其相关专业教师及学生用教学参考书。

本书由天津职业技术师范大学高凤友主编，许书云、林嵩、孙永强参编。全书共分 8 章，其中第 1、2、5、7、8 章由高凤友编写，第 3、4 章由天津职业技术师范大学许书云编写，第 6 章由天津机电工艺学院林嵩编写。全书由高凤友统稿，林嵩审核，天津职业技术师范大学孙永强、天津公用技师学院高铮协助整理。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者



目录

第①章 逆变电源基础知识

- 1.1 逆变电源的基本概念 1
- 1.2 逆变电源的分类 2
- 1.3 无源逆变电路的基本组成 3
- 1.4 无源逆变电源的主要技术指标 5
- 1.5 逆变电源的发展过程与发展现状 6

第②章 逆变电源用大功率开关器件

- 2.1 晶闸管 10
 - 2.1.1 晶闸管的基本结构 10
 - 2.1.2 晶闸管的基本工作原理 11
 - 2.1.3 晶闸管的基本特性 14
 - 2.1.4 晶闸管的主要参数 17
 - 2.1.5 其他晶闸管 20

2.2	可关断晶闸管	22
2.2.1	可关断晶闸管的基本结构和工作原理	23
2.2.2	可关断晶闸管 GTO 的主要技术参数	26
2.3	功率晶体管	28
2.3.1	功率晶体管的基本结构和工作原理	29
2.3.2	功率晶体管的二次击穿和安全工作区	32
2.3.3	功率晶体管的主要技术参数	35
2.4	功率场效应晶体管	36
2.4.1	功率场效应晶体管的结构与工作原理	36
2.4.2	功率场效应晶体管的主要技术参数	39
2.5	绝缘栅双极晶体管	40
2.5.1	绝缘栅双极晶体管的基本结构和工作原理	41
2.5.2	绝缘栅双极晶体管的主要技术参数	45
2.6	其他新型电力电子器件简介	45
2.7	功率集成电路	48

第③章 逆变电源用功率电子器件的驱动与缓冲电路

3.1	逆变电源用功率电子器件的驱动电路	50
3.1.1	晶闸管门极驱动电路	51
3.1.2	可关断晶闸管常用驱动电路	59
3.1.3	功率晶体管常用驱动电路	62
3.1.4	功率场效应晶体管和绝缘栅双极晶体管 常用驱动电路	66
3.2	逆变电源用功率电子器件的缓冲电路	70
3.2.1	功率晶体管缓冲电路	71
3.2.2	可关断晶闸管缓冲电路	72

3.2.3 功率场效应晶体管和绝缘栅双极晶体管 常用缓冲电路.....	72
--	----

第④章 无源逆变电路

4.1 无源逆变电路的基本工作原理.....	74
4.2 电压型方波逆变电路.....	75
4.2.1 电压型单相半桥方波逆变电路.....	75
4.2.2 电压型单相全桥方波逆变电路.....	77
4.2.3 电压型三相桥式方波逆变电路.....	80
4.3 电流型方波逆变电路.....	84
4.3.1 电流型单相桥式方波逆变电路.....	84
4.3.2 电流型三相桥式方波逆变电路.....	85
4.4 方波逆变器存在的问题.....	86
4.5 PWM 波脉宽调制逆变电路.....	88
4.5.1 SPWM 波的产生原理与控制方式.....	89
4.5.2 电压型单相桥式 SPWM 波逆变电路.....	90
4.5.3 电压型三相桥式 SPWM 波逆变电路.....	92
4.5.4 PWM 控制逆变电路的优点.....	94

第⑤章 逆变电源用蓄电池

5.1 蓄电池基本知识.....	96
5.1.1 电池的定义与分类.....	96
5.1.2 蓄电池的分类与用途.....	97
5.2 铅酸蓄电池.....	98
5.2.1 铅酸蓄电池的结构.....	99

5.2.2	铅酸蓄电池的工作原理	102
5.2.3	铅酸蓄电池的放电、充电特性	108
5.2.4	蓄电池的主要性能指标	111
5.2.5	蓄电池的型号	114
5.2.6	铅酸蓄电池的使用与维护	115
5.2.7	蓄电池常见故障现象及分析处理	125

第6章 EPS 应急电源

6.1	EPS 应急电源的组成、基本工作原理及应用范围	136
6.2	EPS 逆变器的负载适应能力	143
6.3	EPS 应急电源的分类、选择及配电要求	144
6.3.1	EPS 应急电源的分类	144
6.3.2	EPS 应急电源的选择	145
6.3.3	EPS 应急电源系统配电要求	151
6.4	EPS 应急电源容量选择计算方法	151
6.4.1	容量选择计算方法	151
6.4.2	EPS 应急电源典型配电方案及容量确定方法	152
6.5	EPS 应急电源系统与 UPS 不间断电源系统的区别、 技术特点	153
6.5.1	EPS 应急电源系统与 UPS 不间断电源系统的 区别	153
6.5.2	技术特点	154

第7章 UPS 不间断电源系统

7.1	公共电网存在的问题	156
-----	-----------	-----

7.1.1	电压波动、频率漂移	156
7.1.2	谐波干扰	157
7.1.3	电网噪声	160
7.1.4	过压、欠压	162
7.1.5	断电及间断	163
7.2	解决公共电网存在问题的方法	163
7.3	UPS 电源系统的组成、作用及工作原理	165
7.3.1	UPS 电源系统的基本组成及其作用	165
7.3.2	UPS 电源的分类	167
7.4	UPS 电源系统主要性能和技术指标	195
7.5	不间断电源系统使用注意事项	199

第⑧章 太阳能光伏发电系统

8.1	概述	202
8.1.1	太阳能	202
8.1.2	太阳能发电技术的应用	203
8.1.3	太阳能电池及太阳能发电技术发展的 主要阶段	205
8.2	太阳能电池的分类、结构及工作原理	207
8.2.1	太阳能电池的定义与分类	207
8.2.2	太阳能电池的结构及工作原理	208
8.2.3	太阳能电池的效率	212
8.2.4	硅太阳能电池的生产流程	213
8.2.5	光伏发电的优点及缺点	214
8.3	太阳能光伏发电系统的组成与工作原理	215
8.3.1	太阳能光伏发电系统的基本组成	215

8.3.2	光伏发电系统分类.....	217
8.3.3	典型光伏发电系统.....	224
8.4	独立光伏发电系统的分类、特点及应用	226

参考文献



第1章

逆变电源基础知识

1.1 逆变电源的基本概念

利用专用电路把直流电转变成交流电,这种对应于整流的逆向过程,称为逆变。

例如:当各种直流电源(蓄电池、太阳能光伏电池等)需要向交流负载供电时,都需要先进行逆变,把直流电能转换为交流电能后再供给负载使用。

一般来说,将能够完成逆变功能的电路称为逆变电路。该电路的作用是通过控制半导体功率开关器件(如 SCR、GTO、GTR、IGBT 和功率 MOSFET 等)的开通和关断,把直流电能转变为交流电能。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,因此其变换效率比较高。

在某些场合下,同一套电路既可用于整流,又可用于逆变,这种电路称为变流电路。

通常，人们把能够完成逆变并对外提供电能的全部装置，称为逆变电源。逆变电源主要包括直流电源和逆变电路两部分。

如果把逆变电源的交流侧接到交流电源上，把直流电逆变为与电源同频率同幅度的正弦交流电回送到交流电网，这种逆变称为有源逆变。如果逆变电源的交流侧不是与电网连接，而是直接与交流用电负载相接，即把直流电逆变为某一固定频率或频率可调的交流电直接供给负载，这种逆变称为无源逆变。UPS 电源、交流变频调速电路等设备的逆变，均属无源逆变。

有源逆变除用于直流可逆调速系统外，还广泛用于高压直流输电系统。无源逆变在科研、国防、生产和生活领域中均有广泛应用，如：在通信系统中，通信电源是通信网络的源动力，是确保通信系统正常运行的首要条件，在通信系统中的地位举足轻重。为了确保可靠供电，一些由交流供电的重要设备，均配备有无源逆变电源作为具备一定后备时间的交流不间断电源。

随着电力电子器件和逆变技术的不断发展，在以蓄电池、太阳能电池、燃料电池为主直流电源的领域；以变频或恒频交流电为主交流电源，而采用交—直—交变换方式的场合；在不间断电源（UPS）系统以及在交流电机变频调速领域，无源逆变电源的应用必将会得到进一步的扩大。

1.2 逆变电源的分类



逆变电源按照不同的分类方式可分为以下多种类型。

① 按照逆变电源输出能量的去向,可以分为有源逆变电源和无源逆变电源。

② 按照逆变电源的输出相数,可以分为单相逆变电源、三相逆变电源和多相逆变电源。

③ 按照逆变电源输出交流电的频率,可以分为工频逆变电源、中频逆变电源和高频逆变电源。工频逆变电源一般指交流频率为 50~60Hz 的逆变电源,中频逆变电源的频率一般为 400Hz 到十几千赫兹,高频逆变电源的频率则一般为十几千赫兹到兆赫兹。

④ 按照逆变电源主电路的结构形式,可以分为单端式、推挽式、半桥式和全桥式逆变电源。

⑤ 按照逆变电源主电路所使用的功率器件,可以分为晶闸管逆变电源、GTO 逆变电源、BJT 逆变电源、MOSFET 逆变电源、IGBT 逆变电源、混合式逆变电源。

⑥ 按照逆变电源输出量频率是否可调,可以分为恒频输出逆变电源和变频输出逆变电源。

⑦ 按照逆变电源负载电流波形,可以分为正弦波逆变电源和非正弦波逆变电源。

当然还存在其他的分类方式,可以把逆变电源分为不同的种类,这里不再叙述。

1.3 无源逆变电路的基本组成

无源逆变系统的基本组成框图如图 1-1 所示。

(1) 输入电路

逆变电路的输入为直流电,若是直流电网供电、蓄电池

供电或直流发电机供电，则输入电路必须加上滤波电路；若为交流电网供电，首先必须进行整流，将交流电变成直流电，再加上滤波电路。

(2) 输出电路

输出电路一般包括输出滤波电路，对隔离式逆变器，输出电路的前面要加逆变变压器；对开环控制的逆变系统，输出量不用反馈到控制电路；但对闭环控制逆变系统，输出量要反馈到控制电路，见图 1-1 中的虚线。

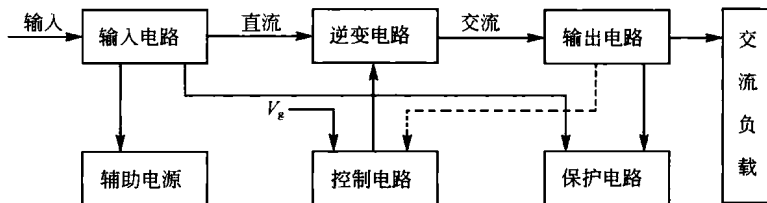


图 1-1 无源逆变系统基本组成框图

(3) 控制电路

控制电路的功能是按要求产生和调节一系列的控制脉冲来控制逆变开关管的导通和关断，也就是说，没有控制电路，逆变电路的开关器件就不能实现导通与关断，逆变电路就不可能完成逆变功能。因此，控制电路和逆变电路同等重要，二者缺一不可。

(4) 辅助电源和保护电路

辅助电源的功能是将逆变器的输入电压变换成适合控制电路工作的直流电压，若是直流输入，则是一个或几个

DC/DC 变换器：若是交流输入，则采用工频降压、整流、线性稳压的方式。

保护电路主要起到保护作用，一般指的是输入过压、欠压保护，输出过压、欠压保护，过载保护、过流和短路保护、过热保护等。

1.4 无源逆变电源的主要技术指标

逆变器的技术指标通常用额定容量、逆变效率、功率密度、输入电压变化范围、输入电流纹波峰峰值、输出电压静态精度、输出电压频率精度、输出电压直流分量、输出电压波形质量、过载能力、抗短路能力、电磁干扰（EMI）及电磁兼容性（EMC）等技术指标来衡量它的技术性能。其中输出电压的波形质量，可用以下参数来评价。

（1）谐波系数 HF（Harmonic Factor）

第 n 次谐波系数 HF_n 定义为第 n 次谐波分量有效值同基波分量有效值之比，即

$$HF_n = \frac{U_n}{U_1} \quad (1-1)$$

式中， $n=1, 2, 3, \dots$ ，表示谐波次数， $n=1$ 时为基波。

（2）总谐波系数 THD（Total Harmonic Distortion）

THD 定义为各次谐波分量有效值平方之和的开方与基波分量有效值的比值，即