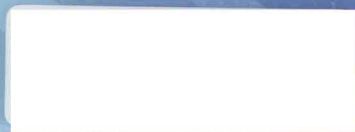
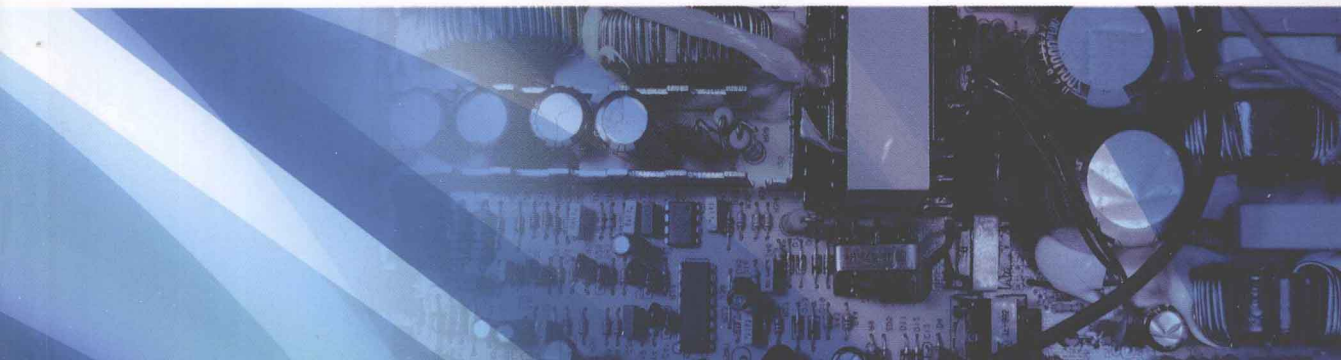


现代开关电源技术 及其应用

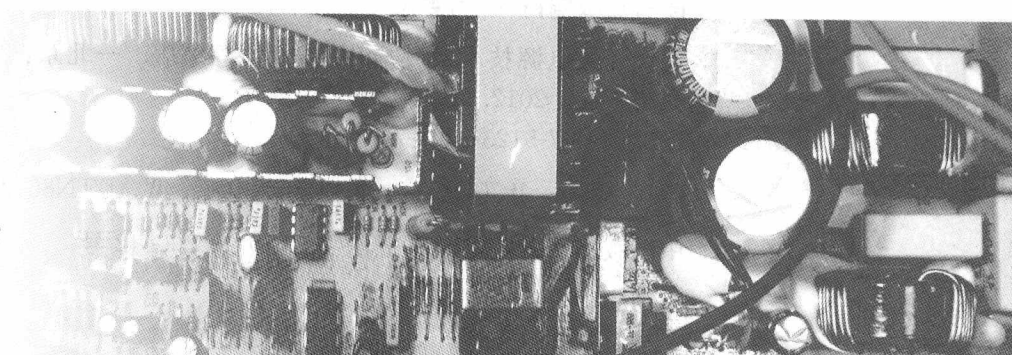
杨贵恒 刘 扬 张颖超 钱希森 蒲红梅 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

现代开关电源技术 及其应用

杨贵恒 刘 扬 张颖超 钱希森 蒲红梅 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书首先对开关电源的基本概念、新技术及其发展趋势作了简要综述；其次介绍了开关电源常用的功率半导体器件（电力二极管、MOSFET 和 IGBT 等）及其驱动电路以及直流变换器与常用 PWM 控制器；然后详细阐述了现代开关电源技术（有源功率因数校正技术、软开关技术、同步整流技术、并联均流技术）及其典型应用；最后结合全国各通信局（站）广泛使用的两种通信用高频开关电源系统实例（中兴 ZXDU68 S601/T601 开关电源系统和中达 MCS1800B 开关电源系统），详细介绍了其系统组成与工作原理、操作使用与参数设定以及维护管理等方面的内容，对各通信局（站）通信电源使用、维修与管理人员具有直接性的指导作用。

本书内容丰富、语言通俗，具有较强的实用性与可操作性，可供从事开关电源设计、生产、调试、使用与维修的工程技术人员阅读，也可供高等院校电气工程、电力工程及其自动化、电力电子与电力传动、供电技术和通信电源等相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代开关电源技术及其应用/杨贵恒等编著. —北京：中国电力出版社，2012. 11

ISBN 978-7-5123-3707-7

I. ①现… II. ①杨… III. ①开关电源 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 260442 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 3 月第一版 2013 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 634 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 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

随着经济的不断发展,人们生活水平的不断提高,任何电器和电气设备要正常工作都离不开电源供电,由于开关电源具有体积小、重量轻、耗能低和使用方便等一系列优点,在邮电通信、航空航天、仪器仪表、医疗器械和家用电器等领域得到了广泛应用。

目前,工作效率、开关损耗和功率因数是开关电源设计、生产和使用过程中需要高度重视的问题。这一方面是节能的要求,另一方面是使开关电源可靠工作、提高开关电源抗干扰能力和改善开关电源对外干扰的要求,而要满足以上有关技术要求,离不开一些新技术的推出。例如有源功率因数校正技术、软开关技术和同步整流技术等新技术的推出,为制造出满足以上技术要求的新型开关电源产品提供了可能。新技术的推出改善了开关电源产品的性能和质量,也极大地方便了人们的生活,改善了人们的生活质量。直流大电流输出的开关电源在通信系统中得到了广泛的应用,而并联均流技术又是一个很好的应用实例,并联均流技术为实现大电流输出电源产品的模块化提供了可能。

全书共分9章,第1章对开关电源的基本概念、新技术及其发展趋势作了简要综述;第2章和第3章分别介绍了开关电源常用的功率半导体器件(电力二极管、MOSFET和IGBT等)及其驱动电路以及直流变换器与常用PWM控制器;第4章至第7章详细阐述了现代开关电源技术(有源功率因数校正技术、软开关技术、同步整流技术、并联均流技术)及其典型应用;第8章和第9章结合全国各通信局(站)广泛使用的两种通信用高频开关电源系统实例(中兴ZXDU68 S601/T601开关电源系统和中达MCS1800B开关电源系统),详细介绍了其系统组成与工作原理、操作使用与参数设定以及维护管理等方面的内容,对各通信局(站)通信电源使用、维修与管理人员具有直接性的指导作用。

本书由杨贵恒主编，刘扬、张颖超、钱希森、蒲红梅、曹均灿、卢明伦、强生泽、王建红、叶奇睿、金丽萍、李龙、景有泉、龚伟、张海呈、向成宣、刘凡、张传富、张瑞伟、聂金铜、张杨俊、詹景君、赵志旺、冯继明和魏志超等参加编写。温中珍、余江、刘嫣婷、蒋王莉和杨胜等做了大量的资料收集与整理工作。在编写过程中，中达电通股份有限公司的高进平先生、中兴通讯股份有限公司的黄富刚先生提供了相关产品的技术资料，同时，得到了重庆通信学院训练部教保科和电力工程系全体同仁的大力支持与帮助，并提出了许多修改意见，在此表示衷心感谢！

本书内容丰富、语言通俗，具有较强的实用性与可操作性，可供从事开关电源设计、生产、调试、使用与维修的工程技术人员阅读，也可供高等院校电气工程、电力工程及其自动化、电力电子与电力传动、发供电技术和通信电源等相关专业的师生参考。

随着开关电源技术的快速发展，现代电源新理论与新技术不断涌现，由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

前言

第1章	概述	1
1.1	开关电源的概念	1
1.1.1	电能变换电源	1
1.1.2	电能变换电源的基本类型	2
1.1.3	开关电源	3
1.2	开关电源新技术	6
1.2.1	功率因数校正技术	6
1.2.2	软开关功率变换技术	10
1.2.3	同步整流技术	11
1.2.4	并联均流技术	12
1.3	开关电源的发展趋势	12
1.3.1	电力电子技术的发展趋势	13
1.3.2	开关电源设备的发展趋势	14
第2章	电力电子器件及其驱动电路	16
2.1	电力二极管	17
2.1.1	工作原理	17
2.1.2	伏安特性	18
2.1.3	主要参数	18
2.1.4	主要类型	19
2.1.5	检测方法	20
2.2	电力晶体管 GTR	21
2.2.1	工作原理	21
2.2.2	基本类型	22
2.2.3	特性参数	23
2.3	功率场效应晶体管 MOSFET	27
2.3.1	工作原理	27
2.3.2	主要特性	28
2.3.3	主要参数	29

2.3.4 检测方法	30
2.4 绝缘栅双极晶体管 IGBT	32
2.4.1 工作原理	32
2.4.2 基本特性	33
2.4.3 擎住效应	34
2.4.4 主要参数	35
2.4.5 安全工作区	35
2.4.6 检测方法	36
2.5 电力电子器件的驱动电路	37
2.5.1 电力电子器件对驱动电路的要求	37
2.5.2 直接(非隔离)驱动电路	38
2.5.3 集成驱动电路	42
2.5.4 隔离驱动电路	44

第3章 直流变换器及常用 PWM 控制器 48

3.1 非隔离型直流变换器	48
3.1.1 降压式直流变换器	48
3.1.2 升压式直流变换器	55
3.1.3 反相式直流变换器	56
3.2 隔离型直流变换器	58
3.2.1 单端反激式直流变换器	58
3.2.2 单端正激式直流变换器	63
3.2.3 推挽式直流变换器	65
3.2.4 全桥式直流变换器	69
3.2.5 半桥式直流变换器	71
3.3 常用集成 PWM 控制器	74
3.3.1 SG3525A PWM 控制器	74
3.3.2 UC3842 PWM 控制器	80
3.3.3 UC3846/UC3847 PWM 控制器	88

第4章 有源功率因数校正技术及其应用 94

4.1 单相有源功率因数校正技术	95
4.1.1 升压式(Boost) APFC 电路	95
4.1.2 降压式(Buck) APFC 电路	97
4.1.3 单端反激型(Flyback) APFC 电路	98
4.1.4 Boost 隔离型 APFC 电路	100
4.1.5 有无源钳位的 Boost 反激型 APFC 电路	100
4.1.6 并联式单级 APFC 电路	101
4.2 三相有源功率因数校正技术	101
4.2.1 三相单开关 APFC 电路	102
4.2.2 三相多开关 APFC 电路	113

4.2.3 由单相 APFC 组成的三相 APFC 电路	122
4.3 APFC 的控制方法及常用功率因数校正控制器	124
4.3.1 APFC 的控制方法	125
4.3.2 UC3854 功率因数校正控制器	128
4.4 三相 PWM 整流	133
4.4.1 PWM 整流器原理概述	133
4.4.2 PWM 电路拓扑结构	135
4.4.3 PWM 整流器数学模型	135
4.4.4 PWM 整流器控制技术	139
4.5 PWM 整流器设计实例	144
4.5.1 主电路设计	145
4.5.2 控制系统设计	146
4.5.3 辅助电源设计	149
4.5.4 PWM 整流器软件设计	150
4.5.5 实验结果	151

第 5 章 软开关技术及其应用 **153**

5.1 脉冲频率调制型软开关变换器	153
5.1.1 零电流开关准谐振变换器	153
5.1.2 零电压开关准谐振变换器	156
5.1.3 零电压开关多谐振变换器	158
5.1.4 零电压和零电流谐振变换器的比较	158
5.2 脉冲宽度调制型软开关变换器	160
5.2.1 零电压开关 PWM 变换器	160
5.2.2 零电流开关 PWM 变换器	162
5.2.3 零电压转换 PWM 变换器	163
5.2.4 零电流转换 PWM 变换器	166
5.3 移相控制软开关变换器	168
5.3.1 移相全桥零电压变换器	169
5.3.2 带辅助支路的移相全桥零电压变换器	175
5.3.3 带饱和电感移相全桥零电压零电流变换器	178
5.3.4 串联二极管阻断移相全桥零电压零电流变换器	183
5.4 移相全桥零电压零电流开关电源设计实例	186
5.4.1 主电路设计	187
5.4.2 控制电路设计	190
5.4.3 驱动保护电路设计	192
5.4.4 实验结果	192

第 6 章 同步整流技术及其应用 **195**

6.1 同步整流技术	196
6.1.1 自驱动同步整流技术	196

6.1.2	辅助绕组驱动同步整流技术	197
6.1.3	有源钳位同步整流技术	197
6.1.4	电压外驱动同步整流技术	198
6.1.5	应用谐振技术的软开关同步整流技术	198
6.1.6	正激有源钳位电路的外驱动软开关同步整流技术	199
6.2	常用同步整流控制器及其典型应用	200
6.2.1	FPP06R001-75V/60A 同步整流模块及其典型应用	200
6.2.2	IR1167 同步整流控制集成电路及其典型应用	203
6.2.3	STSR2P/2PM 同步整流控制集成电路及其典型应用	212
6.2.4	STSR3 同步整流用智能驱动控制集成电路及其典型应用	224

第7章 并联均流技术及其应用

7.1	并联均流技术	232
7.1.1	串接均流电阻法	234
7.1.2	主从均流法	235
7.1.3	平均电流自动均流法	236
7.1.4	最大电流自动均流法	237
7.1.5	热应力自动均流法	238
7.2	常用并联均流控制器及其典型应用	238
7.2.1	UC3907 并联均流控制器及其典型应用	239
7.2.2	UC3902 并联均流控制器及其典型应用	246
7.2.3	LM5080 并联均流控制器及其典型应用	250
7.2.4	L6615 并联均流控制器及其典型应用	257

第8章 中兴 ZXDU68 S601/T601 开关电源系统

8.1	系统概述	269
8.1.1	外形结构	269
8.1.2	系统配置	270
8.1.3	主要特点	271
8.2	工作原理	271
8.2.1	系统原理框图	271
8.2.2	交流配电单元	272
8.2.3	直流配电单元	273
8.2.4	整流器单元	274
8.2.5	监控单元	280
8.3	操作使用	284
8.3.1	开关机步骤	284
8.3.2	操作菜单介绍	285
8.3.3	运行信息查阅	286
8.3.4	系统参数设置	292
8.3.5	日常操作	302

8.4 维护管理	304
8.4.1 日常维护	305
8.4.2 告警分析与处理	308
8.4.3 常见故障检修	328

第9章 中达 MCS1800B 开关电源系统

9.1 系统概述	331
9.1.1 机柜式系统及其特性	331
9.1.2 系统基本功能	332
9.1.3 系统技术参数	334
9.2 系统组成	335
9.2.1 整流模块	335
9.2.2 系统用 ATS (单相)	340
9.2.3 直流配电单元	342
9.2.4 监控单元	342
9.3 系统操作与参数设定	348
9.3.1 系统显示	348
9.3.2 前面板按钮	348
9.3.3 状态指示灯	349
9.3.4 操作	350
9.4 使用保养与维护	361
9.4.1 系统启动	361
9.4.2 系统维护与保养	362
9.4.3 系统异常告警与故障排除	363

参考文献	366
-------------------	-----

第 1 章

概 述

我们所说的“电”，其实是能量的一种形态，由另一种形态的能量转变而来。人们接触最多的是公用电网所提供的电源。无论企事业单位，还是家庭所使用的电能几乎都直接或间接地由电力网提供。电力网电源来自发电厂，目前发电厂的发电方式主要有火力发电、水力发电和核能发电等几种形式。火力发电是把热能转换为电能，水力发电是把机械能（水的位能）转换为电能，核能发电是把核能转换为电能。除上述三大主要发电方式外，还有风力发电、太阳能发电、氢能（燃料电池）发电等可再生能源发电方式以及柴油、汽油发电机组发电等应急发电形式。由公用电力网提供给普通用户的电源都是工频交流电源。另一种能提供电能的电源是化学电源，蓄电池、干电池、锂离子电池等就是其中的典型代表。这种电源所提供的电能虽然占的比例较小，但却与人们的日常生活越来越密切。虽然化学电源所存储的化学能是靠充电电源得到的，但因其利用（放电）时的电能是由化学能直接转变而来，所以化学电源仍然属于提供电能的电源。

电能源与我们当今人类的生产生活密不可分，也正因为如此，人们一直在努力探寻稳定高效的发电途径、方法和设备，认真研究区域性电能供给网络的合理架构和输配电模式，仔细分析用电设备对电能供给的质量要求，探索科学合理地利用电能的新理论与新技术，不断完善电能供给系统及其设备的开发、运行操作、维护管理等方面的理论与法规制度，以期更加科学合理、安全高效地开发与利用电能源。

1.1 开关电源的概念

1.1.1 电能变换电源

人们要开发与利用电能就必须有相应的技术途径、方法与相应的设备。广义上讲，凡是能够为用电者提供电能源的装置就可称其为电源，于是属于电能产生、电能传输、电能分配、电能变换等任何一个环节所使用的设备都可称其为电源设备。实际上，为了更准确地表达一种电源设备的功能与用途，一般将用于电能产生的设备或装置称为发电设备，如火力发电机组、水轮发电机组、风力发电机组、柴油发电机组等，人们通常将化学电源直接称为“××电池”，如铅酸蓄电池、锂离子蓄电池和燃料电池等；用于电能传输的设备或装置称为输电设备；用于电能分配控制的设备或装置称为配电设备；将具有电能变换功能的一类设备或装置称为电能变换电源。当然，将广义上的电源设备进行分类的方法有多种，但其目的都是为使设备的功能、用途和特点在设备

的名称上能够得以充分体现。

在有些情况下,发出电能的电源并不符合使用要求,需要进行再一次变换。这种变换是把一种形态的电能变换为另一种形态的电能。这种电能形态的变换可以是交流电和直流电之间的变换,也可以是电压或电流幅值的变换,或者是交流电频率与相数的变换。在有些场合下,这种电能形态的变换可能仅仅是稳定精度的提高或其他性能的改进。由于这种电源的输入也是电能,所以人们常把这种输入和输出都是电能的电源称为电能变换电源。

电能变换电源不能产生电能,只能起到对电能进行参数变换或稳定处理的作用。常用的电能变换设备主要有直流稳定电源和交流稳定电源两大类。人们之所以需要这种设备,主要是人们日常工作和生活所使用的各种用电设备对电能质量都有一定要求,这些要求通常包括供电电源是交流还是直流、电压额定值及其变化范围、频率额定值及其变化范围、最大功率等,其中对供电电压的要求是最常见的也是最重要的一项要求。例如,有的用电设备要求为之提供额定频率为50Hz、额定电压为220V的交流电,而且电压变化不超过额定值的 $\pm 10\%$,即电压应在198V到242V之间,如果超出这个范围,可能导致用电设备工作不正常;采用锂离子电池的手机配套充电电源,要求其输出为直流,电压上限为4.2V,且最大输出电流要控制在某额定值以下,否则就有可能导致锂离子电池损坏。自动化程度较高生产线,对供电电压保持稳定不变的要求比手机充电电源等生活用电设备更严格。

由此可见,电能变换设备是一种介于发电设备与用电设备之间的必备设备,是一种介于发电设备与用电设备之间的电能加工厂。仅就用电设备的供电电压而言,其值应该具有一定的稳定性,最好是供电电压稳定不变。用电设备一经确定之后,为之供电的电压也就确定了,于是为之供电的电源电压能否满足用电设备需求,就成了由供电电源本身决定的事。一般来说,当供电电源电压的稳定性不能满足负载要求时,最简单的办法就是在负载前面加装一个调压器,这个调压器送给负载的可以是直流也可以是交流,通过调压器将供给负载的电压调到符合要求。但人工调整不但麻烦,有时甚至是不可能的,于是能够自动调整与稳定电压的电源(稳压器)便应运而生。这种电源的功能就是自动保持输出电压的稳定,当然,这里所说的“稳定”,是指电压的变化较小,并不是绝对不变。

要制造这种自动稳压的电能变换设备(包括实现参数变换或稳定处理的其他设备),就必须有相应的技术理论作支撑,这种技术理论就是电力电子(Power Electronics)技术。电力电子技术是以电能控制和变换为研究对象的电子技术,它是一门利用由电力电子器件构成的电能变换电路对电能进行变换和控制的学科,可以认为电力电子技术就是电能处理技术。正是由于电力电子技术在电能变换设备中的支撑作用,人们通常将利用电力电子技术而制造出的电能变换设备称之为电力电子电源或功率变换电源。

1.1.2 电能变换电源的基本类型

一般而言,一次电能有交流和直流两种形式,而用电设备对电能的要求也有直流和交流两种。因此,电能变换也就围绕直流电和交流电的相互变换而展开。按照这种观点,电能变换电源就可根据其电能变换过程中的功能和作用,按输入和输出的电能形式,将其分为以下四种:①交流电变换为直流电(AC/DC);②交流电变换为交流电(AC/AC);③直流电变换为交流电(DC/AC);④直流电变换为直流电(DC/DC)。而且将实现交流电变换为直流电的设备称之为整流器,将实现交流电变换为交流电的设备称之为交流稳压器(稳定输出交流电压而不稳定输出交流电频率)或变频器(既可改变输出交流电压又能改变输出交流电频率),将实现直流电变换为交流电的设备称之为逆变器,将实现直流电变换为直流电的设备称之为直流变换器。在以上的分类名称中,之所以将各种电能变换设备都称之为“器”,其原因有两个方面:一是“器”字本身

表示了装置的概念；二是用“器”字表示了装置的相对静止，以此区别有机运动类的电源设备。如柴油机、汽油机、电动机和发电机等都表示其自身含有机械运动过程或环节，因此这类设备都称之为 $\times\times$ “机”。

当然，以上对电能变换类电源进行分类的方法不是唯一的，也就是说对电能变换类电源还有其他的分类方法，如，依照输出是直流还是交流而分为直流电源和交流电源，依照所采用的具体技术不同，可分为线性电源、相控电源和开关电源等。有些时候人们更习惯于将各种分类方式综合使用，例如，将采用线性调整技术制造的整流器称之为线性电源，将采用开关变换技术制造的整流器称之为高频开关整流器或高频开关电源。

1.1.3 开关电源

众所周知，很多电子装置和电气控制设备的工作电源是直流电源。而在开关电源出现之前，这些装置的工作电源大都采用线性电源。

线性电源是一种用功率调整管与负载串联，使输出直流电压或电流稳定的设备，也叫做串联调整型直流稳定电源。它有直流稳压型和直流稳流型两种。线性电源一般由工频变压器、不可控整流滤波电路、调整管和控制电路等几部分组成，其工作原理框图如图 1-1 所示。输入交流电经变压器隔离变压、整流滤波、调整管调整，向负载提供电压或电流稳定的直流电能。当输入端交流电压或负载端电流变化引起输出不稳定时，控制电路根据输出的变化，适时改变调整管的压降（导通程度），使输出的直流电压或电流保持稳定。线性电源具有电路简单、纹波小、电磁兼容性好、稳压精度高、成本低等优点，但其内部功耗大、效率低、体积大、重量重、输入电压动态范围小、输出电压不能高于输入电压等缺点也非常明显，将其作为小功率直流电源，尤其是微功率直流电源比较适宜。

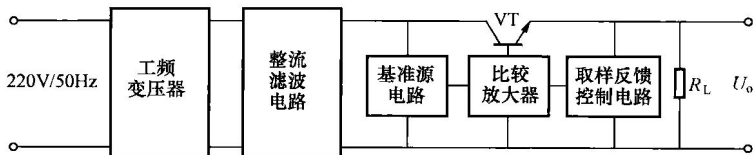


图 1-1 线性电源工作原理框图

随着电子技术的不断发展，电子装置的集成度不断增加，功能越来越强，其体积却越来越小。因此，迫切需要体积小、重量轻、效率高、性能好的新型电源，以适应电子设备的发展需求，于是这种需求就转化成了开关电源技术发展的强大动力。

线性电源的效率之所以不高，其根本原因是调整管工作在线性放大状态及调整管与负载呈串联关系。这种工作模式造成了调整管两端有较大压降，重载时的功率损耗势必较大，这在交流输入电压高于额定值时更是如此。

为了减小功率损耗，人们首先想到的就是改变功率管的工作状态，即调整管不是工作在线性放大状态而是工作在饱和与截止两种状态，即将功率管当作一个开关，从而减小功率管两端压降，进而减小其功率损耗。这种工作模式的改变带来了两个问题，一是如何为负载提供平滑的直流电，二是如何稳定输出直流电压。解决第一个问题的方法是采用低通滤波器滤波，解决第二个问题的方法是采用时间比例控制（TRC，Time Ratio Control）。所谓的时间比例控制是指控制功率管的饱和导通与截止的时间成比例。具体的实现方法可以是饱和导通及截止总时间（周期）固定，改变功率管的饱和导通时间从而改变时间比例，这种方法被称之为脉宽调制（PWM，Pulse Width Modulation）；其次是功率管饱和导通时间固定，改变功率管的饱和导通及截止总时间（周期）从而改变时间比例，这种方法被称之为脉频调制（PFM，Pulse Frequency Modulation）；第

三是功率管的饱和及截止总时间（周期）及功率管饱和及导通时间均不固定，可通过改变周期和饱和及导通时间来改变时间比例，这种方法被称之为混合调制。上述三种调制方法中，脉宽调制的应用最为广泛与普及，基于线性电源和脉宽调制思想实现的开关电源原理框图如图 1-2 所示。

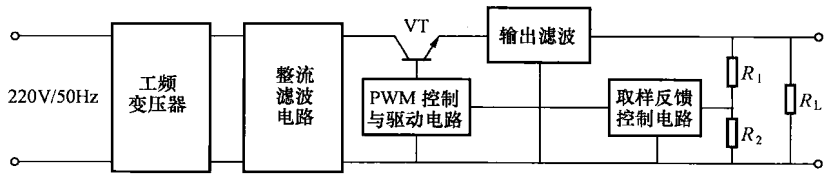


图 1-2 基于线性电源和脉宽调制思想实现的开关电源原理框图

其次，为了减小线性电源的体积并减轻其重量，如何去掉交流输入工频变压器就成了关键问题。在图 1-2 中，如果简单地去掉工频变压器，电路就存在着整流后的直流电压与后续电路的匹配以及输入与输出的电气隔离问题。经人们研究和探索后发现，可以在功率开关器件之后插入变压器，该变压器的体积和重量会随着功率开关器件的频率升高而下降，从而减小整个电源的体积和重量。按照这种思想得到了如图 1-3 所示的无工频变压器（有高频变压器 T）开关电源原理框图，这就是典型的高频开关电源电路结构图。

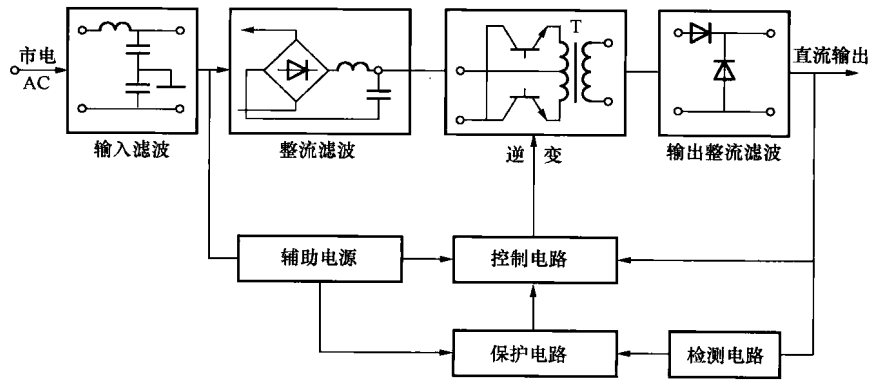


图 1-3 典型的高频开关电源电路结构图

高频开关电源的主要优点就在于“高频”二字，我们从《电路》中知道，铁心电路与无铁心电路的主要区别见表 1-1。

表 1-1 铁心电路与无铁心电路的主要区别

铁心电路	无铁心电路
μ_r 大，不是常量	$\mu_r \approx 1$ ，常量
L 大，不是常量	L 小，是常量
Φ 与 i 不成正比	Φ 与 i 成正比
除铜损外，还有铁损	只有铜损，无铁损

由表 1-1 可见，铁心电路不能用视 L 为常数的有关公式，如： $e = -L di/dt$ 等，只能用基本公式： $e = -W d\Phi/dt$ 等。设铁心中的磁通按正弦规律变化，即： $\Phi = \Phi_M \sin \omega t$ ，由此可知： $e_L = -W d\Phi/dt = -\omega W \Phi_M \cos \omega t = -E_M \cos \omega t$ ， $E_M = \omega W \Phi_M = 2\pi f W \Phi_M$ 。在正弦情况下， $E_M = \sqrt{2} E$ ，因此

$$E = 2\pi f W \Phi_M / \sqrt{2} = 4.44 f W B_M S$$

式中 f ——通过铁心电路的电源频率;

W ——铁心电路线圈匝数;

B_M ——铁心的磁感应强度;

S ——铁心线圈的截面积。

以上公式是计算变压器和一切铁心电路匝数与所需铁心截面的基本公式,从公式中不难看出:频率越高,铁心的截面积可以设计得越小,如果能把频率从工频 50Hz 提高到高频 50kHz,即提高 1000 倍,则从理论上讲,变压器所需截面积可以缩小 1000 倍。

在图 1-3 中,交流电直接经过输入滤波、不控(二极管)整流电路和电容滤波后得到直流电压,该直流电压由逆变电路逆变成高频交流方波脉冲电压,经高频变压器 T 隔离并变成适当的交流电压,再经输出整流与滤波电路转换成所需的直流电压输出。当输入交流电压或负载等变化时,直流输出电压也会呈现变化的趋势,这时可调节逆变电路输出的方波脉冲电压的时间比例,从而使直流输出电压保持稳定。通过图 1-3 可以看出,逆变电路是高频开关电源的核心。另外,由于人耳可听到的音频的范围大体上为 20Hz~20kHz,因此当逆变电路的开关频率选择在 20kHz 以上时,就可避免产生令人烦躁的噪声。

图 1-3 所示的高频开关电源电路结构与图 1-1 所示的线性电源的电路结构相比,看起来变得更加复杂了,但却由此带来了几个突出的优点。首先,该电路中起调节输出作用的逆变电路中的电力电子器件都工作在开关状态,损耗较小,使得电源的效率可达到 90% 以上,甚至 95% 以上。其次,电路中起隔离和电压变换作用的变压器 T 不是工频变压器,而是高频变压器,其工作频率多为 20kHz 以上。因此高频变压器的体积可做得较小,从而使整个电源的体积大为缩小,重量也大大减轻(原因前已述及)。当然,由于工作频率高,滤波器体积也大为减小。正是由于在图 1-3 中的功率器件总是工作在开关状态,故人们称之为“开关电源”,这就是开关电源这一称谓产生的背景。

上述的由线性电源发展演变而来的高频开关电源,由于有高频变压器隔离,因而属于隔离型开关电源。还有一种没有变压器的电源,也属于开关电源的范畴。图 1-4 就是一种典型的非隔离型开关电源电路,它实际上是一个降压斩波电路,其控制和调整输出电压方式与隔离型开关电源

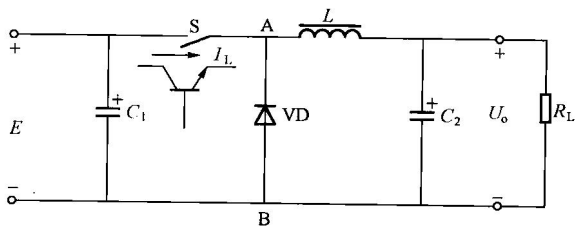


图 1-4 非隔离降压型开关变换电路

完全相同。这类非隔离型开关电源电路,还有升压型、升降压型等多种非隔离型开关电源电路(详见第 3 章非隔离型直流变换器部分)。

另外,还有一类常见的直流电源,就是如图 1-5 所示的单相桥式全控整流电路,即由晶闸管为功率元件的相位控制电源,简称相控电源。它一般由变压器、整流电路、滤波电路和控制电路等组成。交流电经变压器变压隔离、全控整流电路整流、无源滤波器滤波变换成直流电输出。当输入的交流电或负载电流变化引起输出不稳定时,控制电路适时改变晶闸管的触发脉冲相位,使晶闸管的导通角发生变化,从而使输出量保持稳定。就图 1-5 所给出的单相桥式全控(晶闸管)整流电路而言,其输出电压除直流分量外,所含有交流分量的最低频率为 100Hz,如果改为如图 1-6 所示的三相桥式全控(晶闸管)整流电路,输出电压所含有交流分量的最低频率则为 300Hz。但不论哪一种形式的全控整流电路,其功率器件——晶闸管——的开关频率都是工频。它与高频开关电源相比,具有主电路结构简单、控制方便的优点以及体积大、瞬态特性差、功率因数低和有噪声的缺点。20 世纪 90 年代以前,以 KGVA 整流器为代表的相控电源曾广泛应用于通信电源

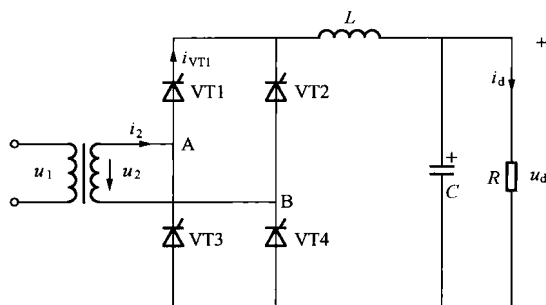


图 1-5 单相桥式全控整流电路

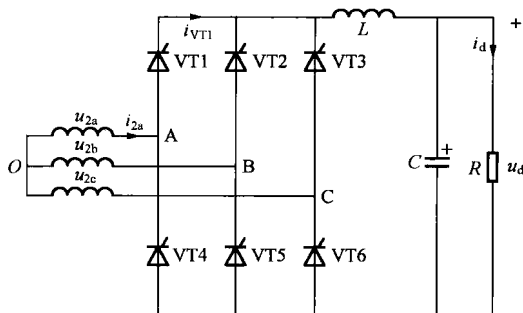


图 1-6 三相桥式全控整流电路

领域，是通信电源系统的重要组成部分，但此后逐渐被性能优良的高频开关电源所取代。尽管相控电源具有不可克服的缺点，但以其独特的优点在同步发电机励磁、蓄电池充电以及电解电镀等领域仍占有一席之地。

按照人们的习惯，开关电源通常是指功率器件工作在高频开关状态下的直流电源，因此开关电源也常被称为高频开关电源，而相控电源则不包括在开关电源之列。此外，对输出为恒压恒频（CVCF，Constant Voltage Constant Frequency）的逆变电源、交流不间断电源系统（UPS，Uninterruptible Power System）、提供变压变频（VVVF，Variable Voltage Variable Frequency）的变频器而言，其功率器件也工作在高频开关状态，但它们的输出都是交流而不是直流，通常不包括在开关电源之中。但也有人认为，只要在电能变换电源中功率器件工作在开关状态，并且开关的频率远远高于工频，这种电源就应称为开关电源。按照这种界定在理论上应该没什么问题，即运用了高频开关变换技术的电源就称之为开关电源。但这对电源使用者造成了极大的不便，从产品名称能够更多地反映该产品的功能及技术特点的角度看，开关电源应是专指功率器件工作在高频开关状态下的直流电源为好。

1.2 开关电源新技术

社会需求是科技发展的原动力，开关电源技术的发展过程也清楚地表明了这一点。在开关电源发展初期，只是在线性电源的基础上改变了功率管的工作状态，使其按开关方式工作。但随着开关电源的逐步应用，人们逐步发现了一些制约开关电源发展的技术问题。例如，要通过进一步提高开关频率来减小体积和重量，既要受制于功率器件的性能又要受制于功率器件在高电压及大电流条件下通、断的工作模式，要进一步提高开关频率就必须在这两方面进行改进；开关电源在工作时会在交流输入侧产生谐波电流，造成系统功率因数降低并对电力网造成污染；还有电磁噪声抑制、模块化过程中的并联均流等。针对这一系列技术问题，人们开展了不懈的探索与研究，取得了诸多的技术成果，推动了开关电源的发展进程。这些在近期所取得的技术成果往往被称之为开关电源新技术。

1.2.1 功率因数校正技术

开关电源因省去了笨重的工频变压器和低频滤波电感线圈，从而具有体积小，重量轻和效率高优点，但传统的开关电源一般都采用市电不控整流和大电容滤波得到较为平滑的直流电，整流二极管的非线性和滤波电容的储能作用，使得输入电流为一个时间很短、峰值很高的周期性尖峰电流。传统整流电路及相关波形如图 1-7 所示。

对这种畸变的输入电流进行傅里叶分析可知，它除了含有基波外，还含有丰富的次谐波分

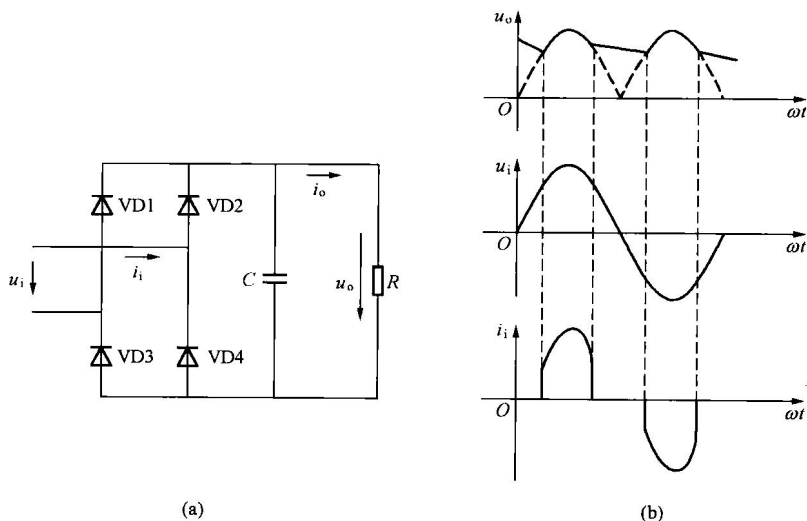


图 1-7 传统整流电路及相关波形

(a) 整流滤波电路; (b) 相关波形

量,特别是其中的三次谐波尤为突出,这会造成开关电源交流侧功率因数偏低,不仅给公共电网带来很多危害,而且给用电单位增加了很多基础投资。归纳起来有以下四点。

(1) 谐波严重污染公共电网,干扰其他用电设备。

(2) 谐波会增大输入电流在传输线上的损耗。

(3) 增加了前级设备的功率容量,如 UPS,发电机组等,从而增加了基建投资。

(4) 当采用三相四线制供电时,三次谐波在中线中是同相位,合成后中线电流很大,有可能超过相线电流,而中线配置一般小于相线线径,会造成中线严重过载,而且按安全规定,中线无保护装置,这将造成中线过热,严重时会引起火灾事故。

为了使传统开关电源的交流侧功率因数提高,满足有关部门做出的关于用电设备波形失真的技术规定,为此人们开展了相关技术研究,其核心目标是将畸变电流校正为正弦,并使之与电压同相位,从而使功率因数接近于 1。由此,产生了功率因数校正技术。

功率因数校正的方法主要有无源功率因数校正和有源功率因数校正两大类。

1. 无源功率因数校正

无源功率因数校正电路是利用电感和电容等元器件组成滤波器,将输入电流波形进行相移和整形,采用这种方法可以使功率因数提高至 0.9 以上,如图 1-8 所示。其优点是原理和结构简单、成本较低;缺点是电路体积较大,交流输入的谐波成分还相对较大,功率因数还远没有达到或接近理想数值,并且可能在某些频率点产生谐振而损坏用电设备。无源功率因数校正电路主要

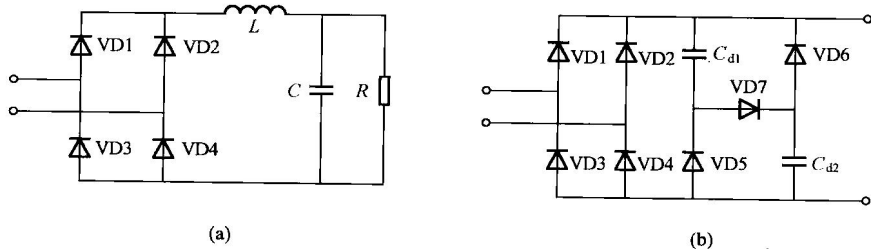


图 1-8 无源功率因数校正电路

(a) 无源电感校正; (b) 逐流式(填谷)无源校正