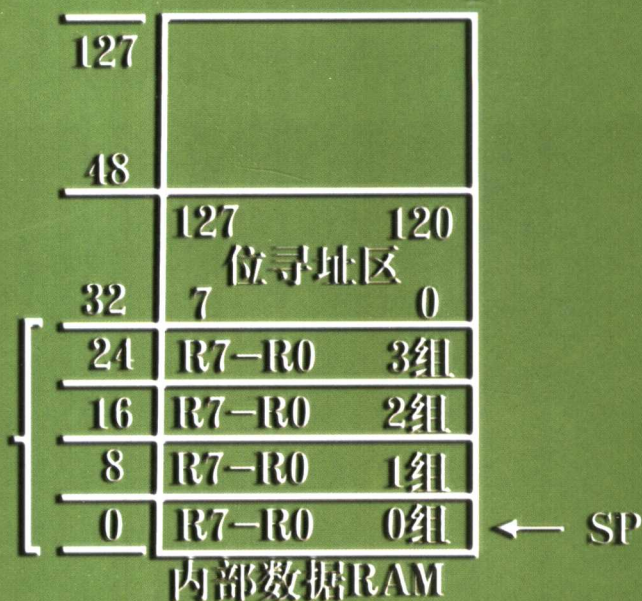


电能变换技术丛书

高频开关电源集成控制器

倪海东 蒋玉萍 编著



电能变换技术丛书

高频开关电源集成控制器

倪海东 蒋玉萍 编著



机械工业出版社

本书详细介绍了电能变换领域中常用的主流高频开关电源集成控制器的特点、引脚功能、电气参数、工作原理及其典型应用,涉及的控制器的包括高频开关电源 PWM 控制器、功率因数校正器、PFC+PWM Combo 控制器和软开关控制器,基本涵盖了目前高频开关电源的主要应用领域。

书中的原始素材均源自全球知名的高频开关电源集成控制器生产商,包括 TI、Infineon、Fairchild、SGS-THOMSON、On Semiconductor 等公司。全书内容广泛,详实权威,重点突出,具有实用性、指导性和资料性,是从事电能变换技术开发、设计和研究的工程技术人员必备的工具书,也可作为电能变换技术爱好者和大、中专院校相关专业广大师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

高频开关电源集成控制器/倪海东,蒋玉萍编著. —北京:
机械工业出版社, 2004. 9

(电能变换技术丛书)

ISBN 7-111-14900-9

I. 高... II. ①倪...②蒋... III. 高频—开关电源—控制器
IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 068611 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:牛新国 王 玫

责任印制:石冉

三河市宏达印刷有限公司印刷 • 新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 • 第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 • 21 印张 • 519 千字

0 001—4 000 册

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

电能变换技术丛书

编辑委员会

主任：蔡宣三

副主任：严仰光 牛新国 倪本来

委员：牛新国 王 玫 王 聪 毛三可

艾多文 刘凤君 刘胜利 严仰光

何湘宁 张卫平 张 立 张占松

张志国 李厚福 杨继深 沙 斐

陆 鸣 陈 坚 陈永真 陈建业

陈道炼 区健昌 赵良炳 侯振程

倪本来 倪海东 徐德鸿 崔鼎新

黄济青 龚绍文 路秋生 蔡宣三

执行主编：倪本来

责任编辑：王 玫

序

电能是当今最重要的能源形式。很难想像失去电能支撑的文明世界如何运行。在所有的动力资源中，电能使用最方便，适用范围非常广，并且是清洁的。电能变换则是用电之门，是用好电的必由之路。

供人类使用的电能都是通过一些方法生产或收集得来的。世界上绝大部分的电能来自发电站，例如水电站、火力发电厂和核电站，发电站是交流电网的源头。燃油发电机是防备电网故障或远离电网的应急和补充。风力发电、潮汐发电等是自然能与电能之间的有效转换。太阳能电池是太空最理想的发电装置。燃料电池、锂离子电池、镍氢电池、镍镉电池、铅酸蓄电池等是经过电化学反应而产生电能的固定或移动式电能载体。形形色色的干电池是一次性的微小电能载体。所有称得上“电池”的都是直流电的储蓄体。

直接从电网或电池汲取的原生态的电能（姑且称之为原电）在某种意义上都是“粗电”。在大多数情况下，使用这些“粗电”都不能尽如人意，譬如电网上的电就不一定好使。电网是共用的，宏观上有高峰期和低谷期之分，电网在高峰期和低谷期的电压存在差异；由于不同用户从电网支取电能的时机和电量的不确定性和偶然性，特别是大型设备的起动和停止，足以给邻近电网造成随机的瞬时冲击和定式落差；由于雷电、风暴、炎热等自然因素造成电网扰动甚至供电瞬时中断等，都将给敏感用户带来麻烦：设备运转失常、系统效率降低、计算机数据丢失、逻辑功能混乱，严重时还将造成系统硬件损坏，使系统工作陷于瘫痪。为此需要稳压器和 UPS 对电网下载的粗电进行整合和修补。

由于电池自身具有的电容性，电压瞬时波动可能比电网要小。不过电池在工作中也问题不少，最常见的是电池电量随工作时间的延长或用电量的加大会逐渐衰竭；另外，电池单体的电压较低，很少以其自然形态直接拿来使用，多数是串联或串并联组合，但很难保证串联或串并联组合中的每个单体的特性一致。为此，必须实施合理的充电、放电和监控。

太阳能电池用来将阳光转换成电能，但阳光的照射会因向背、阴晴、昼夜、四季而不均衡，为此，需要对转换的电能进行收集储存，再经 DC-DC 或 DC-AC 变换，获得稳定的直流电和交流电；风力等自然能发电同样受自然因素牵制，借助风力等自然力传动的发电机输出的电力经常处于不稳定状态，也必须实行调整控制。

不管是电网、电池还是相对独立的供电系统，都存在电磁环境问题。即在运行中因环境电磁干扰（如雷电、汽车点火引发），或共享电源母线的“惹事”负载设备的电磁干扰，或 DC-DC、DC-AC 变换装置自身的电磁干扰，都能搅得“四邻不安”。

今天的电网面临的承载非常严酷。由于功率半导体开关器件的长足进步、控制技术日益先进，变流设备的功率等级提升极快；又由于采用变流举措的负载设备日益增多，其复杂的负载性质带来的负面影响突出。基于这些因素的电网存在功率因数低下、波形畸变、浪涌、相位丢失等不良境况。因此，电能质量控制刻不容缓，电力补偿、有源滤波、柔性输配电等电能变换技术在电网和用户之间能起到较佳的缓冲匹配作用。

能源问题在本世纪仍占据瞩目位置,人们追求在节约电能方面有卓越贡献的高效能供电设备和用电方法。在现实中,相当一部分电能消费是以驱动电动机的形式进行的,如机床、电动工具、电动汽车、城市轻轨、传动系统、机器人、风机、水泵、纺机、空调等等。直接用粗放的原电驱动,免不了要引入串联阻抗或并联阻抗,以控制和调节电动机的运行状态,而这些不得已介入的阻抗会白白消耗电能。为了将这些浪费掉的非常可观的电能拣回来,利用现代电能变换技术对电动机实行变频调速控制,具有很好的节电潜力。

照明用电据称占全球总体用电的20%,节电潜力巨大,起源于欧美的绿色照明浪潮大有席卷全球之势。绿色照明的主题词:最小耗电产生最大流明。除了新型电光源和新型发光介质外,以全新的电能变换技术装备的电子镇流器将是实现绿色照明的主要角色。

生产力越发展,技术越进步,环境问题越加突出。电能的生产、变换、使用在很大程度上影响到环境。电能的生产一般伴随二氧化碳、二氧化硫气体排放,前者是地球温室效应的参与者,后者是酸雨的成因,两者对环境危害都很大。少一点电能生产却能换得环境少一点恶化。生产发展必然要增加电力的需求,关键在于节约电力,减少电力的浪费。这要求我们的电源装置、电能变换系统提高效率。另外,干净的电磁环境也要求电能变换设备在电磁兼容性方面达标。节约电能、电磁兼容、无环境污染的绿色供电势在必行。

21世纪将是科学技术突飞猛进的时代,技术进步定会牵动电能变换技术需求急速膨胀。“电能变换技术丛书”在这一时刻呈献给读者,意在诠释电能变换技术的最新应用。但是电能变换技术是实用性极强的技术,服务于各种领域,内容异常丰富,丛书限于规模实难尽述。不过,我们仍然企望借助几个具有典型意义的层面,如高频功率变换、变频传动、电能质量控制等在学术、产业都呈热点的几个方面展示多彩的电能变换技术应用。丛书主要供中等技术水平的科技人员阅读,在概念和应用实例方面照顾到其他层面的科技人员。丛书的读者定位为电源技术、运动控制、电力电子、电子技术、信息技术、能源转换、过程控制等应用领域的工程技术人员,以及科技爱好者们。读者如能从“电能变换技术丛书”中得到启示,并能在自己的工作实践中获得应用,编者将足以自慰。本丛书从立意到选题到写作内容,定有不足之处,欢迎读者批评斧正。

“电能变换技术丛书”编辑委员会

前 言

进入 21 世纪以来,开关式电能变换技术无论是技术理论还是产业进程,都在以爆炸式的速度飞速发展,新技术、新产品不断涌现,而作为高频开关电源产品的控制核心——集成控制器同样在不断地更新。全球集成控制器制造商都争相推出新产品和新技术,以迎合这一发展潮流。目前国内相关出版物中也经常有介绍性文章,但此类介绍比较分散,而且一些已淘汰、即将停产或已经停产的产品也时有罗列,指导作用有限。

笔者在北京奥米伽电源技术服务中心参与研究和笔耕多年,接触到不少电能变换集成控制器,今借“电能变换技术丛书”编撰的机会,愿和同仁分享这方面的心得。

北京奥米伽电源技术服务中心作为中国科学技术协会继续教育中心和中国继续教育联合学院指定的专业从事电能变换工程技术支持、技术培训和技术的专业机构,长期从事电能变换领域的专业技术培训和研修活动,具有颁发《中国继续教育证书》的资格,自 1999 年以来已先后为国内百余家公司、科研院所、外资机构培训过千余名技术骨干。笔者在与这些工作在一线的工程技术人员的交往中发现,由于种种原因,高频开关电源集成控制器的应用问题长期以来一直是困扰着他们的难题。虽然可以通过各种渠道获取到这些产品的相关资料,但大多是零散的,缺乏实质性的指导意义。在实际开发和研究工作中,往往需要花费大量的时间和精力去查找和消化所需的技术资料。一线的工程技术人员迫切地需要更多的类似于《开关电源技术指南》这样一套既有权权威性,又有指导性和参考性的工具书来指导他们日常的开发和研究工作。由于北京奥米伽电源技术服务中心常年与国外知名厂商合作,掌握着最新的技术资料,为了帮助广大从事电能变换技术开发、设计和研究的工程技术人员及时地跟踪并应用国际高频开关电源集成控制器的最新技术,提高我国高频开关电源研发水平,改善产品质量,增强市场竞争力,笔者认为撰写一套有针对性的专业工具书供广大工程技术人员参考是十分必要的。高频开关电源集成控制器是高频开关电源产品的控制核心,广大工程技术人员对这类集成控制器的关注程度也最高。为此,笔者从目前常用的高频开关电源集成控制器中精选出四大类,共 26 种集成控制器,介绍给读者。

本书介绍的四大类高频开关电源集成控制器包括高频开关电源 PWM 控制器、功率因数校正器、PFC+PWM Combo 控制器和软开关控制器,这些产品由美国德州仪器公司(Texas Instruments Incorporated)、美国安森美半导体公司(On Semiconductor)、美国飞兆半导体公司(Fairchild Semiconductor Corporation)、意法半导体公司(SGS-THOMSON Microelectronics)和德国英飞凌技术公司(Infineon Technologies AG)等知名国际半导体厂商生产,基本涵盖了目前高频开关电源的主要应用领域。书中介绍了这些高频开关电源集成控制器的特点、引脚功能、电气参数、工作原理及其典型应用。由于本书撰写的目的是向广大从事电能变换技术开发、设计和研究的工程技术人员提供一本内容详实的专业工具书,因此本书中对高频开关电源的基本理论和电路拓扑等问题不作更多的涉及,而更多地侧重于集成控制器本身的原理和应用,有关高频开关电源的基本理论和电路拓扑形式方面的内容,读者可

以参考其他相关书籍。

本书书稿的录入和排版工作由徐玮玮、张洁共同完成，倪曼春、徐传兰一起绘制了本书中大量的电路图，对他们付出的辛勤劳动深表感谢。

本书在筹划、撰写过程中得到了北京奥米伽电源技术服务中心、中国继续教育联合学院、中国电源学会编辑工作委员会、航天科技集团公司、机械工业出版社的大力支持和帮助。美国德州仪器公司、美国安森美半导体公司、美国飞兆半导体公司、意法半导体公司以及德国英飞凌技术公司为本书的编写提供了大量的技术资料，给予了热情的帮助。中国电源学会副理事长倪本来教授、中国运载火箭技术研究院的蒋仁学高级工程师在百忙之中审阅了书稿，提出了许多宝贵的意见和指导性建议，给作者很大的启迪和帮助。机械工业出版社电工电子分社的牛新国主任、王玫编辑为本书的出版做了大量的工作，使本书得以顺利出版。在此谨向上述单位、公司和个人致以最衷心的感谢。

由于笔者水平有限，加之时间极为仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

2003年12月于北京

目 录

序	
前言	
第 1 章 高频开关电源 PWM 控制器	1
1.1 高频开关电源 PWM 控制技术综述	1
1.1.1 高频开关电源 PWM 控制技术发展回顾	1
1.1.2 电压模式 PWM 控制器	3
1.1.3 电流模式 PWM 控制器	3
1.1.4 典型高频开关电源 PWM 控制器	4
1.2 TL494 普通型 PWM 控制器	5
1.2.1 特点和引脚说明	6
1.2.2 额定参数及推荐工作条件	7
1.2.3 主要电气参数	8
1.2.4 工作原理	9
1.2.5 典型应用	12
1.3 SG3524 普通型 PWM 控制器	13
1.3.1 特点和引脚说明	15
1.3.2 额定参数及推荐工作条件	16
1.3.3 主要电气参数	17
1.3.4 工作原理	18
1.3.5 典型应用	19
1.4 SG3525A 普通型 PWM 控制器	22
1.4.1 特点和引脚说明	22
1.4.2 额定参数及推荐工作条件	23
1.4.3 主要电气参数	24
1.4.4 工作原理	25
1.4.5 典型应用	28
1.5 UC3842/42A 系列电流模式 PWM 控制器	29
1.5.1 特点和引脚说明	30
1.5.2 额定参数	31
1.5.3 主要电气参数	31
1.5.4 工作原理	33
1.5.5 典型应用	37
1.6 UC3846/UC3847 电流模式 PWM 控制器	39
1.6.1 特点和引脚说明	39
1.6.2 额定参数	41
1.6.3 主要电气参数	41
1.6.4 工作原理	42
1.6.5 典型应用	45
1.7 UC3823/23A/23B 和 UC3825/25A/25B 高速 PWM 控制器	46
1.7.1 UC3823/UC3825 高速 PWM 控制器	46
1.7.2 UC3823A/B 和 UC3825A/B 高速 PWM 控制器	52
1.8 MC44603 混合频率模式绿色 PWM 控制器	59
1.8.1 特点和引脚说明	59
1.8.2 极限参数	61
1.8.3 主要电气参数	62
1.8.4 工作原理	63
1.8.5 典型应用	66
1.9 小结	67
第 2 章 功率因数校正器(PFC)	69
2.1 功率因数校正技术发展综述	69
2.1.1 功率因数校正技术发展回顾	69
2.1.2 常用的功率因数校正控制	

技术	70	2.6.5 典型应用	134
2.1.3 功率因数校正技术的发展趋势	74	2.7 ML4812 峰值电流模式 PFC 控制器	134
2.1.4 典型功率因数校正器	74	2.7.1 特点和引脚说明	135
2.2 UC3852 高功率因数预调 节器	75	2.7.2 额定参数	136
2.2.1 特点和引脚说明	76	2.7.3 主要电气参数	136
2.2.2 额定参数	77	2.7.4 工作原理	137
2.2.3 主要电气参数	77	2.7.5 典型应用及主要电气参数 设计	140
2.2.4 工作原理	78	2.8 ML4821 平均电流模式 PFC 控制器	144
2.2.5 设计参考	81	2.8.1 特点和引脚说明	144
2.3 MC34262/MC33262 高功 率因数控制器	83	2.8.2 额定参数	146
2.3.1 特点和引脚说明	83	2.8.3 主要电气参数	147
2.3.2 额定参数	84	2.8.4 工作原理	148
2.3.3 主要电气参数	85	2.8.5 典型应用及主要电气参数 设计	151
2.3.4 工作原理	86	2.9 FAN4822 ZVS 平均电流模 式 PFC 控制器	155
2.3.5 典型应用	90	2.9.1 特点和引脚说明	155
2.4 L6560/60A 和 L6561 高功 率因数控制器	91	2.9.2 额定参数	156
2.4.1 特点和引脚说明	91	2.9.3 主要电气参数	156
2.4.2 额定参数	92	2.9.4 工作原理	158
2.4.3 主要电气参数	92	2.9.5 典型应用	161
2.4.4 工作原理	93	2.10 L4981A/81B 平均电流模 式 PFC 控制器	161
2.4.5 典型应用	99	2.10.1 特点和引脚说明	163
2.4.6 电路设计	101	2.10.2 额定参数	164
2.5 UC3854/54A/54B 平均电流 模式高功率因数预调节器	101	2.10.3 主要电气参数	165
2.5.1 特点和引脚说明	103	2.10.4 工作原理	167
2.5.2 额定参数	106	2.10.5 典型应用	171
2.5.3 主要电气参数	106	2.11 MC33368 高压 Greenline 功率因数控制器	176
2.5.4 工作原理	107	2.11.1 特点和引脚说明	176
2.5.5 典型应用	120	2.11.2 额定参数	177
2.6 UC3855A/55B 高性能功率 因数预调节器	121	2.11.3 主要电气参数	177
2.6.1 特点和引脚说明	121	2.11.4 工作原理	179
2.6.2 额定参数	124	2.11.5 典型应用	182
2.6.3 主要电气参数	124	2.12 小结	183
2.6.4 工作原理	125		

第3章 PFC+PWM Combo 控

制器 185

3.1 PFC+PWM Combo 控制

器发展综述 185

3.1.1 PFC+PWM Combo 控制

器简介 185

3.1.2 典型 PFC+PWM Combo

控制器 185

3.2 FAN4803-1/FAN4803-2

PFC-PWM Combo 控制器 ... 186

3.2.1 特点和引脚说明 186

3.2.2 额定参数 188

3.2.3 主要电气参数 188

3.2.4 工作原理 189

3.2.5 典型应用 193

3.2.6 印制电路板 196

3.3 ML4824-1/ML4824-2

PFC-PWM Combo 控制器 ... 197

3.3.1 特点和引脚说明 198

3.3.2 额定参数 199

3.3.3 主要电气参数 199

3.3.4 工作原理 201

3.3.5 典型应用 207

3.4 TDA16888 PFC - PWM

Combo 控制器 210

3.4.1 特点和引脚说明 211

3.4.2 额定参数 213

3.4.3 主要电气参数 213

3.4.4 工作原理 215

3.4.5 典型应用 222

3.5 UCC3850X(0-3)BiCMOS

PFC - PWM Combo 控制器 ... 227

3.5.1 特点和引脚说明 227

3.5.2 额定参数 229

3.5.3 主要电气参数 229

3.5.4 工作原理 231

3.5.5 典型应用 233

3.6 小结 238

第4章 软开关控制器 239

4.1 软开关控制技术发展概述 ... 239

4.1.1 硬开关控制技术和软开关

控制技术 239

4.1.2 软开关控制技术的发展历程 ... 240

4.1.3 典型软开关控制器 242

4.2 ML4818 移相谐振全桥软

开关控制器 243

4.2.1 特点和引脚说明 243

4.2.2 额定参数 244

4.2.3 主要电气参数 245

4.2.4 工作原理 246

4.2.5 相位调制 PWM 拓扑技术 ... 251

4.2.6 控制电路 254

4.2.7 栅极驱动信号延迟 256

4.2.8 零电压开关的设计 258

4.2.9 工作模式 259

4.2.10 典型应用 260

4.3 UC3875 移相谐振全桥软

开关控制器 262

4.3.1 特点和引脚说明 262

4.3.2 额定参数 264

4.3.3 主要电气参数 265

4.3.4 工作原理 266

4.3.5 典型应用 275

4.4 UC3879 移相谐振全桥软

开关控制器 275

4.4.1 特点和引脚说明 276

4.4.2 额定参数 278

4.4.3 主要电气参数 278

4.4.4 工作原理 279

4.4.5 UC3879 与 UC3875 的

比较 284

4.5 UC386X(61~68)准谐振软

开关控制器 285

4.5.1 特点和引脚说明 285

4.5.2 额定参数 286

4.5.3 主要电气参数 287

4.5.4 工作原理 287

4.5.5 典型应用 294

4.6	L6565 准谐振 SMPS 控制	
	器	297
4.6.1	特点和引脚说明	297
4.6.2	额定参数	298
4.6.3	主要电气参数	298
4.6.4	工作原理	299
4.6.5	应用指南	303
4.6.6	典型应用	305
4.7	小结	307
附录		308
附录 A	高频开关电源集成控制器	
	主要封装形式	308
附录 B	高频开关电源常用词汇中	
	英文对照表	320

第 1 章 高频开关电源 PWM 控制器

1.1 高频开关电源 PWM 控制技术综述

1.1.1 高频开关电源 PWM 控制技术发展回顾

高频开关电源 PWM 控制技术发展的历史从一个侧面反映了高频开关电源技术的发展历史。现代高频开关电源分为直流开关电源和交流开关电源两大类,而其核心是直流开关电源。从线性电源到开关电源是电源发展史上的一个质的飞跃。对 PWM(脉冲宽度调制)控制技术的认识是从对磁放大器控制式电源的研究逐步演变而来的。磁放大器按半波磁放大器来说,相当于一个晶闸管开关控制的可变电感,在正弦输入时进行相位控制。20 世纪 50 年代末期, Royer 发明了多谐振荡器,将直流信号变为交变的矩形波。用交变的矩形波为磁放大器供电时,磁放大器的相位控制就变为导通时间或关断时间在整个矩形波中所占比例的控制,即时间比例控制。如果将矩形波看成宽度可变化的脉冲信号,时间比例控制就可视为脉冲宽度调制,即 PWM。至此,为线性电源向开关电源转化奠定了理论基础。此后,以晶体管为开关,采用 PWM 信号进行控制,形成各种斩波式开关电源。到 20 世纪 60 年代,开关电源的基本电路形式都已形成。随着晶闸管及其派生器件的出现,开关电源逐渐取代了晶体管线性稳压电源。最早出现的是串联型开关电源,其主电路拓扑形式与线性电源相仿,只是功率晶体管工作在开关状态,采用 PWM(脉冲宽度调制)控制技术或 PFM(脉冲频率调制)技术控制开关变换器,组成电压调节系统,即 PWM 开关电源。早期 PWM 开关电源的效率可以达到 65%~70%,而线性电源仅为 30%~40%。

用 PWM 开关电源代替线性电源,无疑可大幅度节约能源;又由于 PWM 开关电源直接对电网进行整流而省去工频电源变压器,使电源装置突破了小型化制约的瓶颈;开关电源进一步小型化受到输入整流器和输出功率变压器的阻碍,提高工作频率是惟一的出路。提高频率的主要物质基础是高频功率开关,在没有功率 MOSFET 和 IGBT 模块的当时,用双极型晶体管作为变换器开关,最高能将工作频率提升到 20kHz。这个频率非常重要,因为 20kHz 是超声频段,避开了开关变换产生的刺耳尖叫声,只有实现了这一点,PWM 开关电源商品化才有意义。在 20 世纪 70 年代早期,完成了 20kHz 下的 PWM 开关变换,是划时代的创举,被称为“20kHz 革命”,是电源发展史上的第二个飞跃。随之而来的是控制电路变得复杂,为解决产品成品率低下和制造成本高昂的现实,势必出现集成控制器件代替分立元件控制电路,为 PWM 开关电源商品化铺平了道路。

PWM 控制技术发展到今天,已经非常成熟,其基本工作原理就是固定开关频率,通过控制开关管的占空比,实现对变换器输出的控制。PWM 变换可以应用于大部分电路拓扑形式,如单端式、推挽式、半桥式、全桥式、降压型、升压型、升降压型、隔离式、非隔离式、正弦波逆变以及单相、三相逆变等等。

人们追求高功率密度的努力一直没有停步,提高频率仍然是有效的,在拓展频率的道路上,解决了功率开关器件、磁性材料等一系列难题。然而频率的急速提高,致使功率开关管的开关损耗同步增长,整机高效率难以维持。于是人们关注的焦点集中到降低开关损耗上。由于开关管并非理想开关,在开关动作时,电流、电压是按某种速率出现和消失的,也就是在实际的开关动作中,发生电流电压有限值交叉,在这个交叉过程中,产生了开关损耗。在常规的 PWM 开关里,开关损耗是不可避免的。可以联想到,在开关动作中,若能让电流或电压为零,开关损耗将为零。这种开关被称作软开关,与此对应的常规 PWM 开关则称为硬开关。为了寻求软开关,高频变换电路一下子发展起来了,谐振变换、准谐振变换、零电压变换、零电流变换、零电压(电流)转换、移相谐振等软开关变换器电路把开关频率推向高峰。20 世纪 80 年代,开关电源的工作频率已达到 $100 \sim 250\text{kHz}$ 。到 20 世纪 90 年代,已发展到 $500\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ 。现在,已达到几十甚至上百 MHz。软开关 PWM 控制电路更离不开集成化的支持,因此与各种软开关 PWM 变换相适应的集成控制器应运而生。

由硬开关 PWM 技术向软开关技术的发展是电源发展史上的第三次飞跃。在整个 20 世纪 90 年代,软开关技术成为研究热点。各种基于谐振变换的电路拓扑形式不断涌现,新的电路层出不穷。

新技术和新电路的出现,并没有使传统的硬开关 PWM 控制技术走向没落,相反使其焕发了新的活力。现在,传统的硬开关 PWM 技术已经和软开关技术成功地结合在了一起,如 ZCT - PWM 和 ZVT - PWM。ZCT 是零电流过渡(Zero Current Transition),ZVT 是零电压过渡(Zero Voltage Transition),这两种控制技术采用辅助开关管配合 LC 参数的部分谐振使得开关管实现零电流开通或者零电压开通。ZCT - PWM 和 ZVT - PWM 功率变换技术是真正的 PWM 控制方式,既具有软开关的开关损耗小、EMI 低、频率高、效率高、节能效果好等优点,又具有定频 PWM 变换的开关管电压、电流容量定额小,容易实现滤波等优点,是谐振变换技术与传统硬开关 PWM 控制技术的完美结合,是现代电能变换技术的发展方向之一。

从最初的用半导体分立元件组成三角波发生器、基准电压和比较器实现的 PWM 控制器,到被 PWM 集成控制器所取代,经历的时间很短。20 世纪 70 年代,开始出现 PWM 集成电路。最早的有 TL494,是美国德州仪器公司最先研制并生产的。该控制器经过 30 多年的不断改进,时至今日仍然活跃在市场上。到了 20 世纪 80 年代,开始出现高频 PWM 控制器,其工作频率达到了 $500\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ 。比较有代表性的有 UC 系列 PWM 控制器。现在已出现可编程控制的数字式 PWM 控制器。

高频开关电源 PWM 控制技术的发展,除了新技术和新的电路结构的推动作用以外,PWM 控制器的广泛使用也发挥了非常重要的作用。这其中,集成电路生产商功不可没。比较著名的有美国德州仪器公司、摩托罗拉公司、飞兆半导体公司、Unitrode 公司、Micro Linear 公司、硅通用半导体公司,以及德国西门子公司、意法半导体公司、荷兰皇家飞利浦半导体公司等。随着市场竞争的日益加剧,PWM 控制器生产厂商也在发生着变化。变化最为显著的是美国 Unitrode 公司和 Micro Linear 公司,这两家公司推出的高频开关电源控制器对高频开关电源技术的发展起到了非常重要的作用。现在,美国 Unitrode 公司已经被美国德州仪器公司收购,美国 Micro Linear 公司已经完全退出了电能变换领域。另外,美国硅通用半导体公司已逐渐被人淡忘,美国摩托罗拉公司和德国西门子公司则从电能变换领域全身而退,取而代之的分别是美国安森美半导体公司和德国英飞凌技术公司。目前,依然活跃在电能变换领域的知名集

成电路生产商包括:美国德州仪器公司、安森美半导体公司、飞兆半导体公司、凌特半导体公司、国家半导体公司,以及德国英飞凌技术公司、意法半导体公司、荷兰皇家飞利浦半导体公司等。

1.1.2 电压模式 PWM 控制器

PWM 控制技术主要分为两种,一种是电压模式 PWM 控制技术。另一种是电流模式 PWM 控制技术。

最初在开关电源采用的电压模式 PWM 控制技术,其工作原理如图 1-1 所示。输出电压 V_{OUT} 与基准电压相比较后得到误差信号 V_{error} 。该误差电压与锯齿波发生器产生的锯齿波信号进行比较,由 PWM 比较器输出占空比变化的矩形波驱动信号,这就是电压模式 PWM 控制技术的工作原理。由于该系统是单环控制系统,其最大的缺点是没有电流反馈信号。由于开关电源的电流都要流经电感,因此相应的电压信号会有一定的延迟。然而对于稳压电源来说,需要不断地调节输入电流,以适应输入电压的变化和负载的需求,从而达到稳定输出电压的目的。因此仅采用采样输出电压的方法,其稳压响应速度慢,甚至在大信号变化时,会因产生振荡而造成功率管损坏等故障发生。这是电压模式 PWM 控制技术最大的不足。

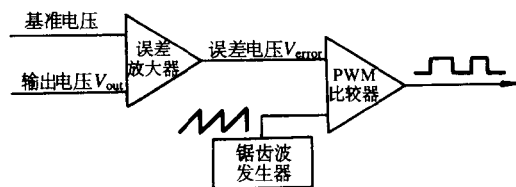


图 1-1 电压模式 PWM 控制原理

具有代表性的电压模式 PWM 控制器主要有 TL494、SG3524 和 SG3525A 等。

1.1.3 电流模式 PWM 控制器

电流模式 PWM 控制技术是针对电压模式 PWM 控制技术的缺点发展起来的。所谓电流模式 PWM 控制,就是在 PWM 比较器的输入端直接用输出电感电流检测信号与误差放大器的输出信号进行比较,实现对输出脉冲占空比的控制,使输出电感的峰值电流跟随误差电压变化。这种控制方式可以有效地改善开关管电源的电压调整率和电流调整率,也可改善整个系统的瞬态响应。电流模式 PWM 控制技术的工作原理如图 1-2 所示。

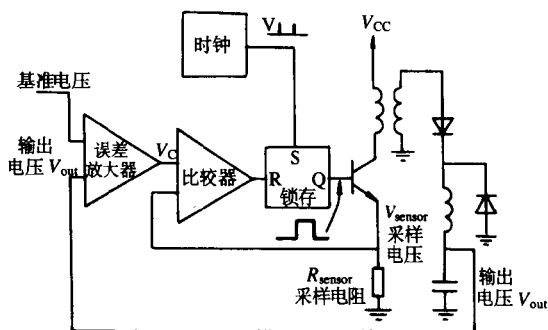


图 1-2 电流模式 PWM 控制原理

电流型 PWM 控制技术又分为峰值电流型控制技术和平均电流型控制技术。这两种控制技术检测并反馈的是一个导通周期内电流变化的峰值和平均值。峰值电流型控制技术方便、快速,但是需要稳定性补偿;平均电流型控制技术稳定可靠,但是响应速度较慢,而且控制起来比较复杂。因此,实际应用当中,峰值电流控制模式比平均电流控制模式应用更为普遍。

电流模式 PWM 控制技术的优点:

(1) 采用逐个脉冲控制,动态响应快,调节性能好。当输入线电压或输出负载变化时,马上引起电感中电流的变化,检测信号也随之变化,脉冲宽度立刻被调整。而在电压模式控制技术

中,检测电路对输入电压的变化没有直接的反映,需要输出电压发生了一定的变化之后,才能对脉冲宽度进行调节,通常需要 5~10 个工频周期之后才能响应输入电压的变化。因此,在采用电压模式 PWM 控制技术的开关电源中,开关管经常会因为输入电压浪涌造成的电压尖峰信号而损坏。电流模式 PWM 控制技术则能够很好地避免类似故障的发生。

(2) 一阶系统,稳定性好,负载响应速度快。

(3) 具有自动限流作用,限流保护和过流保护易于实现。

(4) 采用逐个电流脉冲峰值检测,可以有效抑制变压器偏磁引起的饱和问题。在全桥变换器或推挽变换器中,无需增加祛磁耦合电容。而电压模式 PWM 控制技术很难实现这一点。

(5) 输入线电压的交流纹波可以比较大,减小了输入滤波电容,可靠性得到提高。

(6) 并联运行时,均流效果好。

(7) 功率因数高。

电流模式 PWM 控制技术的缺点:

(1) 电感峰值电流与输出平均电流之间存在误差,控制精度不高。

(2) 对高频噪声衰减的速度较慢,抗高频干扰能力差。

(3) 不适用于半桥变换器。

由于电流模式 PWM 控制技术与电压模式 PWM 控制技术相比,具有不可比拟的优势,因此电流模式 PWM 控制器成为 PWM 控制器的主流,全球各大集成电路生产商竞相研制并推出电流模式 PWM 控制器。比较有代表性的电流模式 PWM 控制器有 UC3842、UC3846 等。另外,UC3823 和 UC3825 系列 PWM 控制器以及 MC44603 既可以工作在电压模式下,也可以工作在电流模式下。

1.1.4 典型高频开关电源 PWM 控制器

高频开关电源 PWM 控制器的种类很多,限于篇幅,不可能一一罗列。而且,随着高频开关电源 PWM 控制技术的发展,有些控制器已经退出或正在退出历史舞台。本章涉及的典型高频开关电源 PWM 控制器主要包括 TL494、SG3524、SG3525A、UC3842/42A、UC3846/47、UC3823X、UC3825X 和 MC44603,见表 1-1。上述这些高频开关电源 PWM 控制器目前仍活跃在市场上,被广泛使用,显示出强大的生命力,因此更具有指导意义。

本章将对上述典型高频开关电源 PWM 控制器的特点、引脚功能、电气参数、工作原理以及典型应用进行详细的介绍。

表 1-1 本章涉及的典型高频开关电源 PWM 控制器一览表

型 号	封装形式	开关频率	控制模式	主要应用领域	国外主要生成商
TL494	DIP - 16 SOP - 16	1.0~200kHz	电压模式	开关电源 直流调速 步进电动机控制 逆变器 感应加热 斩波器	Texas Instruments Incorporated On Semiconductor Fairchild Semiconductor Corporation

(续)

型 号	封装形式	开关频率	控制模式	主要应用领域	国外主要生成商
SG3524	DIP - 16 SOP - 16	450kHz (典型值)	电压模式	开关电源 DC - DC 变换器 直流调速 步进电动机控制	Texas Instruments Incorporated On Semiconductor Fairchild Semiconductor Corporation SGS - THOMSON Microelectronics Philips Semiconductors
SG3525A	DIP - 16 SOP - 16	0.1~400kHz	电压模式	开关电源 DC - DC 变换器 直流调速 步进电动机控制	Texas Instruments Incorporated On Semiconductor Fairchild Semiconductor Corporation SGS - THOMSON Microelectronics Philips Semiconductors
UC3842/42A	DIL - 8 SOIC8 SOIC - 14 CFP - 14 PLCC20	最高 500kHz	峰值电流模式	开关电源 DC - DC 变换器 斩波器	Texas Instruments Incorporated On Semiconductor Fairchild Semiconductor Corporation SGS - THOMSON Microelectronics Philips Semiconductors
UC3846/47	DIL - 16 SOIC - 16 PLCC - 20 LCC - 20	最高 500kHz	峰值电流模式	开关电源 DC - DC 变换器	Texas Instruments Incorporated
UC3823/ 23A/23B UC3825/ 25A/25B	DIL - 16 SOIC - 16 PLCC - 20 LCC - 20	最高 1MHz	峰值电 流 模 式/电压模式	开关电源 直流电动机调速	Texas Instruments Incorporated
MC44603	PDIP - 16 SOP - 16L	最高 250kHz	峰 值 电 流 模 式/电压模式	开关电源 DC - DC 变换器	On Semiconductor

1.2 TL494 普通型 PWM 控制器

TL494 是针对硬开关变换器推出的一种定频 PWM 控制器,该控制器最早是由美国德州仪器公司(Texas Instruments Incorporated)生产的,进入中国市场已有近 20 多年的历史,直到现在仍被广泛采用。目前,全球知名的半导体生产厂商,如美国德州仪器公司(Texas Instruments Incorporated)、美国安森美半导体公司(On Semiconductor,其前身是美国摩托罗拉