

学校编码: 10384
学号: 23120081153186

分类号_____密级_____
UDC

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

无光耦原边反馈反激式开关电源的设计研究

Research and Design of PSR Flyback converter without
an opto-coupler or third wind

陈晓亮

指导教师姓名: 邢建力 高级工程师

专 业 名 称: 微电子学与固体电子学

论文提交日期: 2011 年 6 月

论文答辩日期: 2011 年 6 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 6 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

全球性的能源危机使得高性能、低成本的电源管理方案备受关注。高效率、低能耗的开关电源芯片逐渐替代传统的线性稳压器芯片，成为电源管理芯片研究的主流趋势。在要求电气隔离的中、小功率应用场合中，反激型 DC-DC 变换器是电源应用工程师的首选拓扑。通常，隔离式反激型开关电源通过光耦合器件或者辅助绕组实现反馈控制。该方案外围电路复杂、调试过程繁琐并且成品良率低，导致电源系统无法实现量产。

本文设计了一款基于先进 Bicmos 高压工艺的隔离式反激型开关电源芯片，它具有高集成度、最简外围电路、最优整机效率等优点。该方案无须光耦合器件或者辅助绕组，只需要通过简单的设计两个电阻值和变压器的匝数比就可以获得稳定的电压输出。该电源管理芯片允许的工作电压操作范围为 3~40V，该电压接入变压器的原边侧作为开关电源的输入电压，变压器的副边侧接入负载作为开关电源的输出电压，通过原边侧的电感电压反馈调节副边侧的输出电压，该反馈方式称为原边反馈。

论文首先比较电流连续和电流断续、PWM 和 PFM、电流控制和电压控制三组工作模式各自不同的优缺点，提出了一种使用边界模式、PFM、电流型的新颖控制方案。该方案介于电流断续和电流断续的工作模式之间，既能减少磁性变压器的体积，又可以降低 EMI 干扰。接着，设计和分析为实现该方案所需的带隙基准电压、运算放大器和功率推挽驱动模块。为了保证芯片能够可靠的工作，该电源管理芯片内部集成了软启动、欠电压锁定、功率管限流保护功能。最后，使用 EDA 软件对各个子电路模块和整体电路进行功能和性能仿真，仿真结果达到预期指标，验证了芯片方案的可行性。

关键字：反激型变换器；原边反馈；边界模式

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

Global energy crisis result in that more and more attention is now paid to power manage projects with the high performance and low cost. Switch power supply integrated circuit with high efficiency and lower energy consumption gradual replacement of the traditional linear voltage regulator, which reflect the main trend of the power management Unit.

In low and medium power applications provides electrical isolation, flyback dc-dc topology is the best selection for of power management application engineers. Generally, third winding or opto-isolator is required for flyback converter control. However, this application need complex external components design and debug process, leading to power system mass production hard to achieve.

A monolithic switching regulator based on Bimos process is designed for the isolated flyback topology. This chip features high integration, simple external components and optimum efficiency. The output voltage is easily set with two external resistors and the transformer turns ratio, while no third winding or opto-isolator is required for regulation. This Power Management IC operates with input supply voltages from 3V to 40V. An input terminal on the primary side is operable to receive an input voltage. An output terminal on the secondary side is operable to be connected to a load for providing voltage thereto. Circuitry is provided which is operable to regulate the power supply system from the primary side so that the voltage provided to the load at the output terminal is substantially constant. This feedback mode is called "Primary Side Regulation" or "PSR" for short.

On the base of analysis the merits and demerits between CCM and DCM, PWM and PFM, current mode and voltage mode, a new application utilizes CRM, PFM, current mode is introduced thereof which operation to provide a small magnetic solution and EMI decrease. After that, the whole chip is designed including BandGap Reference, Amplifier and Power Driver module. And the feature of the chip integrated soft start, under voltage lock out and line over current protection for high maximum reliability. Finally, the simulations of the whole chip are presented and the simulation by EDA tools, The results indicate that the IC application has realized its function and

meet the prospective specifications.

Key words: Flyback converter; PSR; BCM

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 电源管理芯片简介	2
1.3 开关电源的发展趋势	4
1.4 研究目标和论文体系结构	5
第二章 反激型 DC-DC 变换器的拓扑与控制	7
2.1 反激型 DC-DC 变换器的拓扑结构	7
2.1.1 非隔离式开关电源	7
2.1.2 隔离式开关电源	9
2.2 反激型 DC-DC 变换器的控制模式	11
2.2.1 电流连续和电流断续模式	12
2.2.2 调宽模式和调频模式	13
2.2.3 电压模式和电流模式	19
2.3 输出电压的反馈类型	21
2.3.1 传统电压反馈	21
2.3.2 无光耦、原边电压反馈	23
第三章 反激型电源管理芯片子电路的设计与仿真	25
3.1 带隙基准电压模块	25
3.1.1 带隙基准电压源的基本原理	25
3.1.2 带隙基准电压源的核心电路	31
3.1.3 独立电流源的基本原理	33
3.1.4 独立电流源的核心电路	35
3.1.5 欠压锁定的基本原理	38
3.1.6 欠压锁定的核心电路	41
3.1.7 带隙基准输出模块的整体仿真和分析	43
3.2 运算放大器模块	48
3.2.1 误差放大器的基本原理	48
3.2.2 误差放大器的核心电路	50
3.2.3 峰值电流检测的基本原理	56
3.2.4 峰值电流检测的核心电路	58
3.2.5 电感电压检测的基本原理	60
3.2.6 电感电压检测的核心电路	62
3.2.7 运算放大器模块的整体仿真和分析	64

3.3 功率推挽驱动模块.....	66
3.3.1 功率推挽驱动的基本原理.....	67
3.3.2 功率推挽驱动的核心电路.....	70
3.3.3 功率推挽驱动的整体仿真与分析.....	72
3.4 软启动及逻辑控制模块.....	73
3.4.1 软启动的核心电路.....	73
3.4.1 逻辑控制单元的核心电路.....	76
第四章 反激型电源管理芯片的整体仿真与分析.....	79
4.1 芯片整体性能的仿真与分析.....	79
4.1.1 不同负载时的关键点波形.....	80
4.1.2 软启动过程及正常工作波形.....	83
4.1.3 负载调整率测试.....	84
4.1.4 电压调整率测试.....	85
4.2 芯片异常保护的仿真与分析.....	87
4.2.1 欠电压锁定保护及恢复.....	87
4.2.2 输出负载接入调整.....	88
第五章 总结与展望.....	91
参考文献.....	93
攻读硕士学位期间发表的论文.....	97
致谢.....	99

CONTENTS

1	Introduction.....	1
1.1	Introduction.....	1
1.2	Outline of Power Management	2
1.3	Development trend of SMPS.....	4
1.4	Structure and goals of this article	5
2	Topology and control.....	7
2.1	Topology.....	7
2.1.1	Non-isolated SMPS	7
2.1.2	Isolated SMPS	9
2.2	Control Mode in Flyback	11
2.2.1	CCM and DCM	12
2.2.2	PWM and PFM.....	13
2.2.3	Voltage Mode and Current Mode	19
2.3	Output feedback.....	21
2.3.1	Tradition voltage feedback.....	21
2.3.2	Advance PSR feedback.....	23
3	Subcircuits design.....	25
3.1	Voltage reference module	25
3.1.1	Principles of bandgap voltage	25
3.1.2	Bandgap voltage circuit	31
3.1.3	Principles of independent current.....	33
3.1.4	Independent current circuit	35
3.1.5	Principles of under-voltage lockout.....	38
3.1.6	Under-voltage lockout circuit.....	41
3.1.7	Simulation and analysis of voltage reference module	43
3.2	Amplifier module.....	48
3.2.1	Principles of error amplifier	48
3.2.2	Error amplifier circuit	50
3.2.3	Principles of peak-current sense.....	56
3.2.4	Peak-current sense circuit	58
3.2.5	Principles of inductor voltage sense	60
3.2.6	Inductor voltage sense circuit.....	62
3.2.7	Simulation and analysis of amplifier module.....	64
3.3	Power driver module.....	66
3.3.1	Principles of power driver.....	67

3.3.2 Power driver circuit	70
3.3.3 Simulation and analysis of power driver module	72
3.4 Soft Start and Logic Control.....	73
3.4.1 Soft start circuit	73
3.4.1 Logic control circuit	76
4 Global Simulation.....	79
4.1 Typical applications.....	79
4.1.1 Main waveforms with different loads	80
4.1.2 Soft start and steady waveforms	83
4.1.3 Load regulation testing	84
4.1.4 Line regulation testing	85
4.2 Abnormal behaviors	87
4.2.1 Under-voltage protect and restore	87
4.2.2 Load access regulation.....	88
5 Summay and Future Work	91
References.....	93
Published and Accepted Paper List.....	97
Acknowledgement	99

第一章 绪论

1.1 引言

任何一款电子设备都离不开稳定、可靠的供电电源。在所有电源管理产品中，开关电源芯片是目前电源研究领域的学术前沿和市场热点。开关电源芯片以其高效率、低功耗的显著特点，在便携式电子产品中，具有其它电源类芯片不可替代的优势。虽然从电源电路的发展历史来看，线性稳压电源几乎占据了早期电源类产品的全部市场。然而随着电子产品的不断发展，特别是低压和超高压应用领域的延伸，对供电电源的性能、效率、重量等提出了更高的要求，传统的线性电源已经不能够满足。产品种类的增多、应用领域的延伸、性能要求的提高，正是在这样的背景之下，开关电源技术走入了电源研究领域的行列。

首先，开关电源的出现归功于器件工艺技术的进步，特别是高频电子器件和高压集成电路制备技术的成熟。高频电子器件的发展，譬如VDMOS的出现^{[1],[2]}，将功率管的开关频率从最早的10KHz提高到1MHz以上。人耳能够听到声音的频率范围是20Hz到20KHz，特别的对4KHz附近的声音最敏感^[3]。因此，10KHz的开关频率带来的功率管噪声会带来人耳明显不适，极易产生烦躁、不安的情绪波动。只有开关频率提高到40KHz以上才能完全消除影响。另一方面，工作频率提高带来的有利影响是功率器件体积的减小。这样芯片和外围电路所占的PCB面积可以方便电路实现集成化的应用，甚至通过某些技术可以同芯片直接封装在一起。同时，针对开关电源中关键部件变压器研究的突破^[4]，填补了变压器在磁芯、漏感、磁通饱和等方面的理论空白，避免了原本依靠经验、不断调试的落后设计，极大地提高了开关电源的研发周期。而高压集成电路工艺的发展，使集成电路芯片上可以集成更多的高压器件。保护环、分压环、沟道终止环、场板、RESURF^{[5],[6],[7]}等表面终端技术的研究并实现应用，特别是场板技术在不明显增加版图面积的情况下提高器件的击穿电压，将芯片的最大工作电压从20V提高到80V以上^[8]，甚至可以直接由220V的交流市电供电，无须依赖辅助绕组和过电压电路的保护，减少了外围电路的损耗，提高了启动芯片的时间。

其次，开关电源的发展有赖于电子产品，特别是消费类电子产品市场广阔的需求前景。无论是采用二次电源的手持式设备，还是直接采用市电的家电产品，其内部都需要稳定可靠

的电源以保证正常的工作状态。手持式设备的普及和锂离子电池技术的成熟，加速了消费类产品的更新。采用开关电源可以在较大的输入电压范围内始终保持高效率工作，最大限度地延长电子产品使用时间，提高二次电源的使用寿命。目前电子产品市场上功率因数调整、LED恒流调光等热点概念的炒作，同样是基于开关电源技术的应用延伸。

最后，开关电源的完善离不开多学科的并行发展。网络拓扑理论、工程控制理论、系统建模理论为其提供了坚实的基础。网络拓扑理论将肖特基二极管（或者快速恢复二极管）当作普通的网络开关，提出使用同步整流MOS管替代二极管可以减少开关的动态损耗，最大限度地提高电路的整体效率^[9]。工程控制理论证明了单电感、单电容环路的最优控制方案是采用双闭环控制系统^[10]。峰值电流控制模式同时采样电感电流内环和电容电压外环，其动态响应优于单环路的电压控制模式。系统建模理论通过数学近似处理，对逻辑控制、开关状态工作的功率管和肖特基二极管进行数学建模，等效作系统函数为 $H_a(s)$ 的模块。开环传递函数 $H(s) = H_a(s) \cdot H_{RLC}(s)$ 的结果表明连续工作的峰值电流控制模式为单极点系统，连续工作的电压控制模式为共轭极点系统，断续工作的电压控制模式为单极点系统。单极点系统的补偿网络总是简单于多极点系统，因此峰值电流控制模式逐渐取代早期的PWM电压控制，方便了电源应用工程师对外围电路特别是补偿环路的调试，而如今峰值电流控制已经成为开关电源的主流技术。

当然，开关电源的出现与发展，不仅仅是技术层面的问题，它已经上升为社会民生的问题。在能源成本不断攀升的今天，低碳、节能、环保的绿色能源引起了社会各方面的重视，特别是被誉为高效节能电源的开关电源，代表了当前稳压电源的发展方向。单从性能指标上考虑，开关电源独具的高效率特性可以最简单、最方便地符合加州能源委员会(CEC)、能源之星、联邦能源管理计划(FEMP)等机构所制订的一系列功率标准。

1.2 电源管理芯片简介

目前，电源管理芯片已经发展为模拟集成电路的一个重要分类。按照芯片中充当电压调整的变换器所处的工作状态，电源类集成电路可以划分为线性电源、开关电源两大类^{[11],[12],[13]}。

顾名思义，线性电源的调整管工作在线性区，通常它串联在输入端和输出端之间。如图1.1所示，通过输出电压的反馈调节晶体管上所承担的压降，在输出端获得稳定的电压。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库