

文章编号: 2095-2163(2020)12-0075-05

中图分类号: TN86

文献标志码: A

超低功耗电源芯片综述

张晶¹, 马奎^{1,2}

(1 贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025; 2 贵州省微纳电子与软件技术重点实验室, 贵阳 550025)

摘要: 开关电源在现代生活中的运用十分广泛,已经进入了高度集成化的时代。随着电子技术的飞速发展,开关电源正朝着超低功耗、高效率、小体积的方向发展。本文首先对超低功耗电源进行了整体的调研,对DC-DC的发展史、现状做了基本了解。对超低功耗电源芯片的发展、现状以及如何实现低功耗的途径进行了简单阐述,并对超低功耗的未来前景及发展进行预测。

关键词: 低功耗; 开关电源; DC-DC

Summary of ultra-low power supply chips

ZHANG Jing¹, MA Kui^{1,2}

(1 School of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2 Key Laboratory of Micro-Nano-Electronics of Guizhou Province, Guiyang 550025, China)

[Abstract] Switching power supply is widely used in modern life. Now switching power supply has entered a highly integrated era. Similarly, with the development of electronic technology. Ultra-low power consumption, high efficiency and small volume are the main research directions of DC-DC at present. At first, this paper makes an overall research on the ultra-low power supply, and makes some understanding of the development history, current situation and basic introduction of DC-DC. At last, through the development and current situation of ultra-low power supply chip and how to realize the low power consumption, this paper briefly introduces the future development trend of low power consumption.

[Key words] Low power; Switching power supply; DC-DC

0 引言

开关电源是所有设备在开关状态下操作的电源^[1],其出现在一定程度上是发展后线性调节器的替代品。常见的几类开关电源电路有:AC-AC(交流电压转换为交流电压)电路、AC-DC(交流电压转换为直流电压)电路、DC-AC(直流电压转换为交流电压)电路、DC-DC(直流电压转换为直流电压)电路^[2]。

在开关电源被推出之前,市场上的控制设备基本都是使用线性稳压电源。线性稳压电源成本较低、结构简易。同时,也因结构简单而存在一些缺点。如,输出精度及转换效率都较低,转换效率也不高^[3]。而在技术发展中,使用电子设备的集成度不断上升,就需要体积更小、性能更好、性价比更高的电源。二十世纪50年代初,人们开始将目光和重点放在开关电源上。1955年美国人发明的直流变换器,为研制开关电源打下了基础,也开启了电源发展的新篇章^[4]。开关电源是通过功率管栅信号的占空比或频率的调节以达到输出稳定电压,其转换率和可靠性更好^[5]。如何使开关电源能够从各方面降低其功耗,实现超低功耗电源芯片的设计和发

展,是需要攻克的难关。

1 开关电源简介

1.1 开关电源拓扑分析

开关电源根据其不同的结构,也具有不同的功能和特点。其中最常见有如下5种结构形式。

1.1.1 Boost 结构

Boost结构也就是常说的升压变换器,该结构可以将输入的低电压转换输出为高电压。拓扑结构如图1所示。

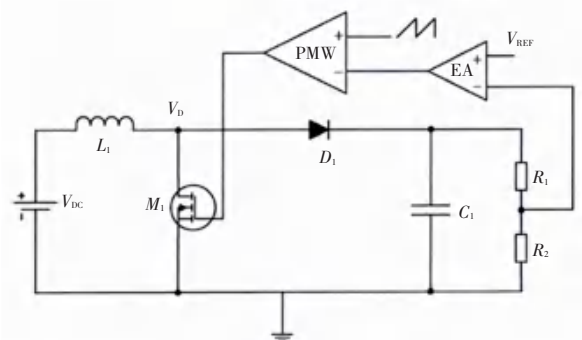


图1 Boost 结构拓扑

Fig. 1 Boost structure topology

作者简介: 张晶(1996-),女,硕士研究生,主要研究方向:功率器件、模拟集成电路设计;马奎(1985-),男,博士,副教授,主要研究方向:半导体集成技术、三维集成技术、功率器件和功率集成电路。

收稿日期: 2020-08-20

如图所见,在M1导通或关闭的不同状态下,D1出现相反的导通情况,从而使电感电流流过的路径不同,电感L1的储存能量也不相同^[6]。由此可知,Boost结构可以进行电压的提升,是因为电路中有电感,而电感具有储能的功能。根据Boost的原理,可以得到如下关系式:

$$V_{OUT} = V_{dc} \sqrt{\frac{kR_0 T_{on}}{2L_1}} \quad (1)$$

1.1.2 Buck 结构

Buck结构解决了以往电源功耗过高、体积过大的问题。Buck转换电路因其可以得到低于输入的输出,也被称为降压型转换电路。拓扑结构如图2所示。

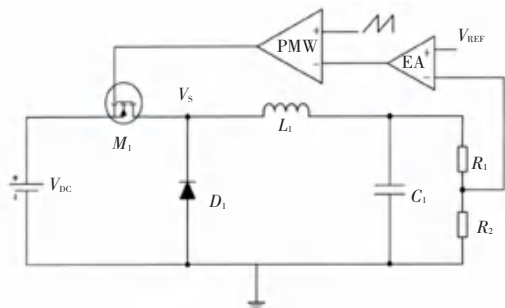


图2 Buck结构拓扑

Fig. 2 Buck structure topology

根据Buck的原理,可以得到如下关系式:

$$\frac{V_o}{V_{dc}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2)$$

1.1.3 Buck-Boost 结构

Buck-Boost结构是将Buck电路和Boost电路结合起来而形成的。该结构也被称为反极性Boost调整器,并同时拥有Buck结构和Boost结构的特点。输出电压既可以高于也可以低于输入电压,因此也叫做升降压变化器^[7]。拓扑结构如图3所示。

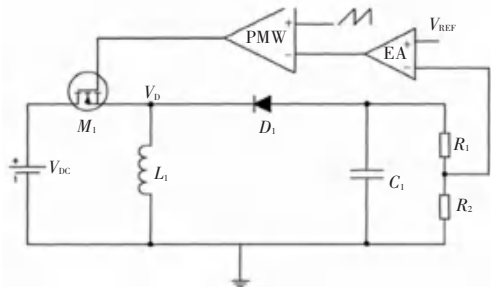


图3 Buck-Boost结构拓扑

Fig. 3 Buck boost structure topology

由图可见,电路与Buck电路相近,原理与Boost相似。但与前两者不相同的是,该转换电路的输出

电压相对于地是负电压。根据Buck-Boost原理,得到如下关系式:

$$V_o = V_{dc} T_{on} \sqrt{\frac{R_o}{2TL_1}} \quad (3)$$

1.1.4 正激变换器

正激变换器由复杂结构的推挽拓扑开发而来的,是目前使用最普遍的一种结构。该结构十分简单,没有过多的开关功率管。相比前几种结构,其体积更小、成本更低、性价比更高^[8]。拓扑结构如图4所示。

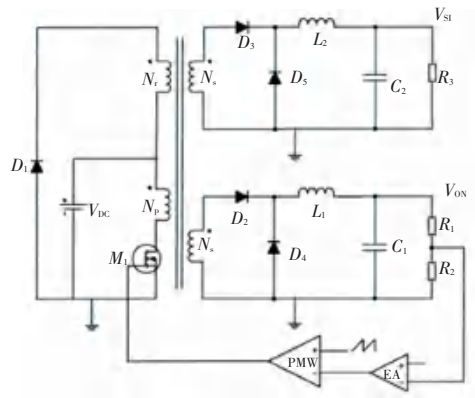


图4 正激变换器结构

Fig. 4 Forward converter structure

1.1.5 反激变换器

反激式变换器是由Buck-Boost变换器演变而来的,因而也继承了Buck-Boost反极性的特点。反激变换器比正激变换器的成本低,体积小。这是因为有次级绕组励磁电感,所以不用将输出段电路连接到电感上^[1]。拓扑结构如图5所示。

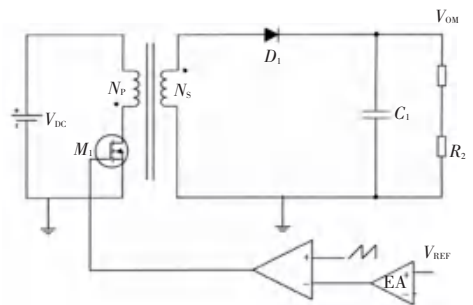


图5 反激型变换器结构

Fig. 5 Flyback converter structure

1.2 开关电源的控制方式

开关电源的反馈控制模式有两种,分别是电压型控制和电流型控制。

1.2.1 电压型控制方式

电压型控制方法是一种相对简单的电路结构,

控制方式为单回路负反馈,如图 6 所示。

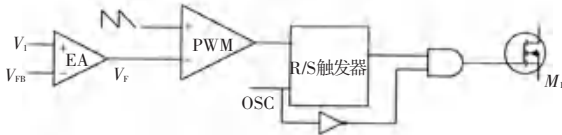


图 6 电压型控制方式

Fig. 6 Voltage type control mode

电压型控制方式有许多缺点:

(1) 因为流过功率管的电流不能被检测出来, 而为了避免电流过大而损耗功率管, 必须加入保护电路;

(2) 电压型控制方式是对输出的电压进行采样, 再把采样而来的信号作为反馈信号, 经过触发器反馈回到输入源中。所以反馈响应很慢;

(3) 为了实现稳定的输出和电路, 整个电路的补偿网络需要比较复杂的结构^[9]。

1.2.2 电流型控制方式

电流型控制方式采取双环负反馈设计, 可同时检测输出电压和电流。由于电流型控制方法可以对流过功率管的电流实现检测然后直接进行反馈, 而不像电压型那样需要对输出电压进行采样, 所以电流型控制方式提高了芯片对外围变化的响应速度^[2]。电流型控制方式如图 7 所示。

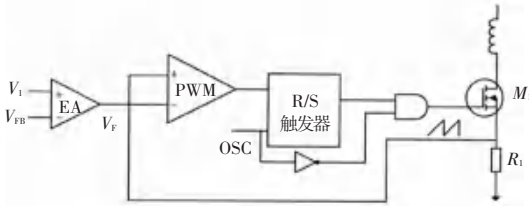


图 7 电流型控制方式

Fig. 7 Current mode control mode

1.3 开关电源的调节方式

调制方式是开关电源中一个非常重要的特性, 根据调制方式的不同可以控制不同的占空比, 从而影响功率管的导通与否。根据在一个周期中, 开关电源开关时间的不同, 常见的调制方式可分为以下几种。

1.3.1 脉宽调制(PWM)方式

脉冲宽度调制是目前使用最多的一种方法, 它是在不改变开关周期下, 通过调节脉冲宽度来控制占空比, 实现稳定带电压的目的。脉宽调制方式的调整波形如图 8 所示。PWM 电压控制是现在使用最频繁的一种, 同时也是几种调制方法中率先被使用的。在负载比较大的情况下, 该技术在工作效率、调整率、线性度上的表现都要优于负载小时^[10]。

1.3.2 频率调制(PFM)方式

脉冲频率调制通常被应用于 DC-DC 转换器中, 用来提升转换器的轻负载效率。在一些产品说明书中, 该模式也被称作节电模式。它是在不改变方波宽度下, 通过调整开关管的导通和关断时间, 对输出电压进行控制。相比其它调制方式, PFM 的开关电源在占空比较低以及频率比较低时, 能够降低控制芯片的电流, 从而减少功耗。因此, 很多便携设备采用的都是这一调制方式。

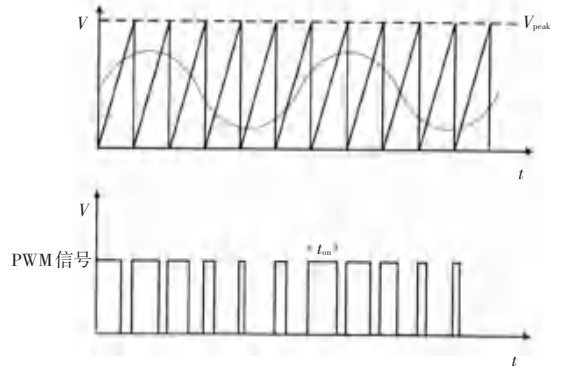


图 8 脉宽调制方式

Fig. 8 PWM mode

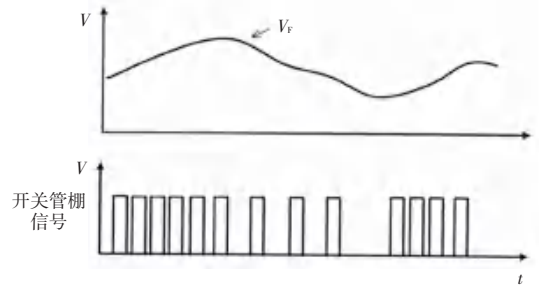


图 9 频率调制方式

Fig. 9 PFM mode

1.3.3 混合调制方式

混合调制方式是将前两种调制方法的优缺点结合起来, 它包含了脉宽调制器和脉频调制器, 可以同时改变时钟频率和占空比, 在不同负载情况下都有很高的效率。但是其电路结构非常复杂, 所以成本比较高, 价格也比较贵。

1.4 DC-DC 转换器的主要损耗

目前电源芯片在各方面的发展越来越广泛, 最主要的两个方向为低功耗和高效率。要同时满足这两个要求就需要在保证高效率的条件下尽量地降低功耗的损失。开关电源的主要损耗有以下这几方面。

1.4.1 导通损耗

导通损耗是在开关管完全打开后通过电流, 而

开关管存在电阻,于是在两端产生了电压,从而产生损耗^[3]。可用一个线性电阻来对工作在线性区的MOS管进行等效:

$$R_{ON} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \quad (4)$$

所以完整的导通损耗为:

$$P = \frac{1}{3} I^2 D \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \quad (5)$$

从公式(5)可以看出,导通功耗与电流大小、占空比成正比,而与MOS管的宽长比成反比。所以,可通过减小正比量,增大反比量来降低功耗。

1.4.2 开关损耗

开关损耗是功率管在导通关断时,流过的电压和电流不为零造成的功率耗散^[3]。因为MOS管不是理想器件,在导通和关断的过程中并不是瞬间完成的,所以它的波形图并不是理想的方波,而是如图10(b)所示的波形。



(a) 理想状态下波形图

(a) Waveforms under ideal conditions



(b) 实际状态下的波形图

(b) Waveform diagram in actual state

图10 理想状态下和实际状态下的波形图

Fig. 10 Waveform in ideal state and actual state

在功率管从关断到开通的过程中,消耗的开关损耗为:

$$P = I^2 * R. \quad (6)$$

依据上述分析,若要减小开关过程中带来的损耗,可采用以下方法:

(1)降低频率,减少开关的次数,从根本上减少开关损耗;

(2)尽量使实际状态下的开关管波形图接近于理想状态,减少功率管在导通和关短过程中的时间。

1.4.3 电路损耗

芯片内各模块会受工作电压和静态电流的影响,所产生的功率损耗称为电路损耗。其大小可以从式(7)中得到:

$$P = V * I. \quad (7)$$

通过对电路损耗的了解,想要降低其损耗,就需

要在工作电压一定的情况下,降低通过各模块的静态电流。或者在不影响电路整体功能的条件下尽量减少元器件的数量,达到降低其损耗的目的。

2 低功耗的实现方法

2.1 同步整流技术

同步整流技术是近几年以实现低功耗为目的而涌现出的新兴技术之一。该技术具有以下优点:

(1)降低功率损耗,提高转换性能。利用MOS管作为整流管代替二极管,从而降低整流损耗。

(2)提高工作效率。由于MOS管不会对开关速度产生影响,所以采用同步整流技术的转换器工作效率会更高。

(3)采用同步整流技术,可以避免转换器在工作时功率开关闭合,使电感电流变为0的情况,即断续模式。同步整流结构如图11所示。

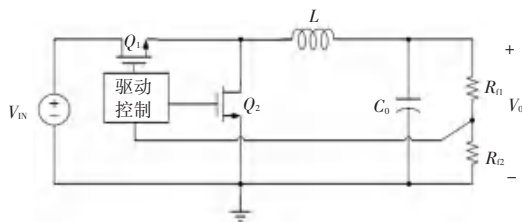


图11 同步整流结构拓扑

Fig. 11 Topology of synchronous rectifier structure

2.2 调整功率开关管

通过对导通损耗以及开关损耗分析可知,调节功率开关管的宽长比,可减小导通损耗;同理,增加反相器的宽长比也可降低开关损耗。综上,将功率开关管以及反相器的宽长比设置到最佳的比例,都是实现低功耗的方法^[11]。

2.3 设计电路过程中的方法

在设计电路的过程中,也有一些降低开关电源芯片功耗的方法。例如:

(1)采用多电源供电的方式来降低芯片功耗。比如,芯片内部供电并不是直接使用输入电压(在输入电压比较大时,功耗很大),而是设置了一个模拟供电模块和一个数字供电模块。模拟电路部分和数字模块分别供电,这样不仅减少功耗也减少了串扰。

(2)设置多种轻载模式可供选择,这样可以很大程度上提高芯片的轻载效率。

(3)为降低导通损耗,提高转换效率,在电路设计对于一些器件的选择上有更深的思考,如为降低电路功耗可在设计时选用MOS管,因为其导通电阻会更低等。

3 结束语

本文针对开关电源的拓扑结构、调节方式以及 DCDC 转换器的功率损耗做了较为详细的介绍。在此基础上,对开关电源的低功耗功能的实现进行了分析和描述。

集成电路的发展已达到了瓶颈,低功耗成为了模拟 IC 设计中的必然要求,而随着集成电路工艺的迅猛发展和便携式电子产品需求的不断增长,低功耗技术也将面临更大挑战。但可以看到现在的超低功耗电源芯片的设计和开发正在逐步完善,其应用会越来越广泛,发展也会越来越快速。

参考文献

- [1] 柯志强. 一种低功耗 AC/DC 开关电源控制器的设计[D]. 武汉:武汉科技大学,2014.
- [2] 宋志成. 一种具有多种保护功能的低功耗 AC-DC 电源芯片设计[D]. 成都:电子科技大学,2014.

- [3] 黄晨. 具有恒压恒流功能的电源管理芯片的低功耗设计[D]. 成都:电子科技大学,2012.
- [4] 赵少敏. 一种低功耗、电流模式降压 DC/DC 转换器的研究与测试[D]. 成都:电子科技大学,2015.
- [5] 时晨杰. 一种超低功耗高效率降压 DC-DC 转换器芯片设计[D]. 贵阳:贵州大学,2019.
- [6] 张学连. Matlab 在 PSPICE 仿真软件中的应用研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2013.
- [7] 叶强. TFT-LCD 低功耗多输出电源管理芯片的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.
- [8] 张海瑞. 一种低输入 DC-DC 升压型开关电源的设计[D]. 武汉:武汉科技大学,2011.
- [9] 华伟. 通信开关电源的五种 PWM 反馈控制模式研究[J]. 通信电源技术 2001,2(8):12.
- [10] 冷朝霞,刘健,刘庆丰,等. 一种新颖的 DC-DC 开关变换器数字控制方法[J]. 西安理工大学学报,2008,24(4):421-425.
- [11] 欧健. 基于 PWM/PSM 的低输入升压 DC/DC 转换器芯片的设计[D]. 西安:西安电子科技大学,2013.

(上接第 74 页)

段长度相对较长,早晚高峰通勤车辆较多。节点 6 为关键节点,同时承担三个方向的车流压力,且北进口和西进口路口较窄,均为一块板机非混合行驶,车流密集,若该路径中断失效,极可能导致路网瘫痪。A1(R16→R15) 路径关键度最低,为 0.015,这是一条从节点 1 通往节点 11 的干道,由两条连续路段组成,由于其组成结构较为简单,且道路条件较好,因此即便处于过饱和状态,对路网的整体影响也较小。

4 结束语

案例分析表明,本文提出的关键路径辨识体系可以很好运用于实际路网中,亦可运用于较为复杂的路网,通过对路网内各条路径的重要程度进行排序定义路径的关键程度。模型考虑了多个影响因素,增加了路段之间的关联性及其随机影响性,从路网中断的角度切入,也提高了关键路径识别的可靠性和准确性。有助于相关交通管制有针对性的制定,也为通勤者出行的路径选取提供参考依据。

传统的辨识方法通常依据交通量、饱和度等调查数据,指标单一,且结果区间分布较大,各路径间关键度差值较大,而本文的研究体系所得的路径关键度分布区间较为集中,利于评价分析。需要指出的是,本文未考虑路段流量在交叉口转向的流量损失,对路段单位出入口的流量干扰亦未作考虑,这些需要在后续的工作中进一步改进和深入探讨研究。

参考文献

- [1] 涂颖菲,杨超,陈小鸿. 路网拓扑脆弱性及关键路段分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2010,38(3):364-367.

- [2] 郑黎黎,王世广,王伟,等. 城市道路交通网络关键节点辨识方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015(4):675-679.
- [3] MINE H, KAWAI H. Mathematics for Reliability Analysis[M]. Tokyo: Asakura-shoten,1982.
- [4] JENELIUS E, MATTSSON, LARSGÖRAN. Developing a Methodology for Road Network Vulnerability Analysis[C]// Nectar Cluster 1 Meeting. 2006.
- [5] 李彦瑾,罗霞,车国鹏. 基于 GERT 网络的应急救援关键路段识别[J]. 交通运输系统工程与信息,2017,17(4):166-172.
- [6] 张建旭,蒋燕. 基于局部路网交通流重分配的路段关键度计算[J]. 交通运输系统工程与信息,2016,16(1):105-110.
- [7] 左志,王涛,潘晓峰. 基于路网可靠性的关键点段辨识——以乌鲁木齐市为例[J]. 交通运输研究,2015,1(5):18-24.
- [8] YU D C, NGUYEN T C, HADDAWY P. Bayesian Network Model for Reliability Assessment of Power Systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems,1999,14(2):426-432.
- [9] LI X, YANG Y, LI L, et al. Uncertainty Quantification in Machining Deformation Based on Bayesian Network[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2020;107-113.
- [10] 尹洪英,徐丽群. 基于贝叶斯网络的路网脆弱路段识别模型[J]. 系统管理学报,2010,19(6):656-661.
- [11] 刘昇. 基于贝叶斯网络的城市道路拥挤概率预测研究[D]. 北京:北京交通大学,2015.
- [12] SAHOO R R, RAY M. PSO based test case generation for critical path using improved combined fitness function[J]. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 2020, 32(4):479-490.
- [13] 李岩,杨洁,过秀成,等. 基于小波变换的关联交叉口群关键路径识别方法[J]. 中国公路学报,2012,25(1):135-140.
- [14] 沈鸿飞,贾利民,王笑京,等. 基于公路网结构特性的关键节点评价指标与辨识方法[J]. 公路交通科技,2012,29(9):137-142.
- [15] 曾明华,黄细燕. 基于经典 BPR 阻抗函数的随机交通网络主从博弈的效率损失[J]. 数学的实践与认识,2016,46(2):190-195.