



可行性分析计报告

学年学期：2023-2024-2

课程名称：功率半导体器件应用课程设计

题 目：DC-DC 变换电路的研究与设计

起止日期：2024 年 06 月 24 日 ~ 2024 年 06 月 28 日

学 院：轨道交通学院

班 级：电子技术 2101

学生姓名：彭 鹏

学 号：21419000326

成绩评定：

课程目标	成绩	评定人签名
目标 1		
目标 2		
目标 3		
目标 4		
目标 5		

2024 年 06 月

目 录

1	项目的背景及意义.....	1
1.1	电源的分类及特点	1
1.2	开关电源的应用	1
1.3	设计的目的和意义	2
2	方案的优选与设计.....	3
2.1	产品设计的一般流程分析	3
2.2	研究内容及路线	3
2.3	实验方案设计	4
2.4	控制方案设计	5
2.5	控制的动静态指标	5
3	电路参数的计算	6
3.1	负载电阻的计算	6
3.2	占空比的计算	6
3.3	电感值的计算	6
3.4	电容值的计算	6
4	项目影响评价报告.....	7
5	项目中新知识、新技术的应用.....	8
5.1	TL494 芯片控制原理.....	8
5.2	PI 控制.....	9
6	总结.....	10
	参考文献.....	11

1 项目的背景及意义

1.1 电源的分类及特点

电源是电子设备中非常重要的组成部分，它负责将电能转换成设备所需的电压和电流。电源的分类及特点是一个广泛且复杂的话题，涉及到多种类型的电源及其应用。我们可以将电源大致分为以下几类：

（1）UPS 电源：UPS（不间断电源）是一种在市电中断时能够提供持续电力的设备。它主要分为后备式、在线式和双逆变电压补偿在线式三种类型。这些类型的 UPS 各有其特点，例如在线式 UPS 能够在任何情况下都提供稳定的电力输出，而后备式则仅在市电中断时工作。

（2）开关电源：开关电源通过高频开关变换技术来实现能量的转换，具有高效率、体积小、重量轻等特点。这种电源广泛应用于电子设备中，特别是在需要小型化和轻量化的产品中。

（3）直流稳压电源：直流稳压电源主要用于提供稳定的直流电压。它们可以分为线性电源、铁磁谐振电源和开关电源三大类。其中，开关电源因其高效率 and 小型化的特点而成为现代直流稳压电源的主流。

（4）交流稳压电源：这类电源主要用于稳定交流电网电压，以满足特定负载的需求。

（5）变频电源：变频电源能够提供可调频率的电力输出，适用于需要精确控制电机速度的应用场景。

1.2 开关电源的应用

开关电源是一种利用现代电力电子技术，通过控制开关晶体管的开通和关断时间比率来维持稳定输出电压的电源，具有高效率、小体积、低噪声等优点，在多种电子设备和不同领域中得到了广泛应用。

在工业上开关电源主要体现在其高效节能的特性上。由于工业用电设备如电动机、电焊机等需要大量的电能才能正常运转，开关电源能够提供高效稳定的电源转换，满足这些设备的需求。此外，开关电源的小型化和高功率密度特点使其在工业自动化、机器人技术等领域有着重要的应用价值。

在民用产品方面，开关电源同样发挥着重要作用。电视机、电风扇、手机以及空调等家用电器都需要电能来维持运行，而开关电源则为这些设备提供了高效稳定的电源供应。特别是对于便携式电子产品，如手机和笔记本电脑，开关电源的小型化和轻量化特性尤为重要。

在电力系统中，开关电源的应用主要体现在其能够提供高效、可靠的电源转换能力。与传统的相控型直流电源相比，开关电源模块具有更优异的性能指标和维护方便性，因此有望全面替代相控电源，成为电力用直流电源的首选。

其次开关电源的发展与应用在节约能源、节约资源及保护环境方面都具有重要的意义。通过提高电源效率和减少电磁污染，开关电源有助于降低整个社会的能耗和环境影响。

1.3 设计的目的和意义

提高能源利用效率。通过高效的能量转换，DC-DC 电源能够将输入的高电压或低电压转换为更适合作为电子设备工作电压的稳定输出。这种转换过程通常伴随着较高的转换效率，减少了能量损失，符合节能环保的要求。

适应不同的应用需求。DC-DC 电源设计可以针对特定的应用场景进行优化，如宽输入电压范围、高输出电流、快速响应等，以满足不同电子设备的需求。例如，机载电源系统需要具备较宽的输入电压范围和良好的阶跃响应能力，而便携式电子产品则可能需要小体积、轻重量的电源解决方案。

提升系统的可靠性和安全性。通过采用先进的控制技术和保护机制，DC-DC 电源能够有效抑制输出电压纹波与输出电流谐波，提高系统的动态响应速度和抗扰能力。此外，过压、欠压保护电路的设计也确保了电源在异常情况下的安全运行。

促进技术创新和产品升级。随着科技的发展，对电源性能的要求也在不断提高。DC-DC 电源的设计不仅需要考虑当前的技术标准和市场需求，还需要预见未来的发展趋势，推动技术创新和产品升级。例如，采用同步整流技术和降压型 PWM 控制模式的 DC-DC 转换器，就是为适应便携式电子产品的应用要求而设计的。

在支持新兴技术方面发挥着重要作用。例如，在电池储能装置中，双向 DC-DC 变换器能够实现对锂电池的高效率恒流充电和恒压放电；在混合动力汽车电控系统中，基于超级电容与燃料电池的双向 DC-DC 电源设计实现了能量优化分配的控制功能。

2 方案的优选与设计

2.1 产品设计的一般流程分析

首先，需要对目标市场进行深入的分析，了解潜在用户的需求和期望。这包括了解不同应用场景下对电源性能（如效率、尺寸、成本等）的具体要求。

根据需求分析的结果，选择合适的电源拓扑结构和技术方案。这可能涉及到线性稳压器或开关稳压器的选择，以及考虑使用集成降压型 DC-DC 变换器等高性能技术。同时，还需要考虑电源的输入输出特性，如高电压宽范围输入、低电压输出等。

在确定了设计方案后，进行电路设计工作。这包括电源芯片的选型、外围电路的设计，以及控制策略的制定。设计过程中，需要利用仿真软件（Cadence、Matlab 等）进行电路仿真，以验证设计的可行性和性能指标是否满足要求。

设计完成后，制作样品并进行实际测试。测试内容包括但不限于电源的输出电压稳定性、效率、过载保护能力、电磁兼容性等。通过测试结果来评估设计是否达到了预期目标，并根据测试反馈进行必要的调整和优化。

根据样品测试的结果，对设计方案进行优化和迭代。这可能涉及到改进电路设计、调整控制策略、优化散热设计等方面的工作。目的是提高电源的整体性能，确保其能够满足更广泛的应用需求。

在设计方案最终确定后，进入生产准备阶段。这包括 PCB 设计、元件采购、生产工艺规划等。同时，需要建立严格的质量控制体系，确保每一批次生产的电源产品都能达到设计要求。

产品上市后，需要进行市场推广活动，扩大品牌影响力。同时，提供优质的售后服务，解决用户在使用过程中遇到的问题，以提升用户满意度和忠诚度。

整个设计流程是一个循环迭代的过程，需要不断地收集反馈信息，对设计方案进行优化和调整，以适应市场的变化和技术的进步。

2.2 研究内容及路线

（1）了解电源的背景和意义，认识开关电源的组成和工作原理，并了解开关电源在不同领域的应用。

（2）熟悉 DC-DC 变换器的各种拓扑结构及其工作原理，并重点掌握降压型 DC-DC 转换器在连续电流模式和非电流连续模式下的工作原理。

（3）对 DC-DC 变换器进行仿真设计，选择合适的控制方式，对方案的可行性进行分析，确保系统能够正常运行。

(4) 按照目标指标在确定设计方案后进行实物设计,对电路的指标进行数据测量。对测量的数据进行分析、评估,根据实际情况,去不断优化电路的参数,完成指标设计。

2.3 实验方案设计

按照图 1 所示的电路,设计一个 DC-DC 电源,具体参数如下:直流输入 30V,输出直流电压 20V,纹波系数<5%,功率约 50W,开关频率 10kHz,占空比可调。

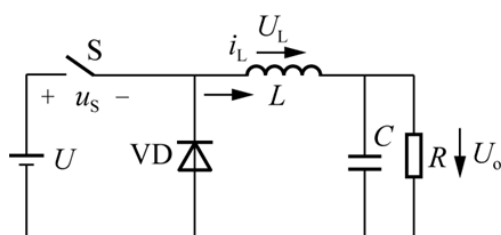


图 1 Buck 变换器

(1) 对电路的结构拓扑和工作原理进行分析。要实现一个降压 DC-DC 变换器,我们需要用到的元器件有 MOS 管、二极管、电感、电容和负载。MOS 管的作用是作为开关管,控制电源的通断;二极管起到续流作用;而电感作为储能元件,本身的能量是在不断的变化,通过不断地储存和释放能量,保证了负载上有电流流过;电容同样作为储能元件,可以起到滤波作用,平滑输出的电压纹波。

(2) 选择合适的元器件。MOS 需要承受较大的电源电压,因此在选择 MOS 管时需要保证 MOS 管的耐压值足够,并且选择较低的导通电阻,减少系统功耗;二极管在电路中的作用是起到续流作用,一般使用普通的二极管便可达到目的,但同时尽量选择较低压降的二极管,减小系统功耗,提高效率;电感根据设计的要求是 CCM 还是 DCM 模式,根据目标指标计算出电感值的大小,一般采用的储能电感值较大,因此实际应用中常用铁硅铝磁环电感;滤波电容一般按照输出纹波需求计算出,在根据实际的电容容值,取稍大一点的电容即可。

(3) 控制方案的选取。开环控制的输出电压不稳定,系统容易受外界干扰从而发生改变。要实现稳定的电压输出,我们便需要引入闭环控制。闭环控制一般采取 PI 控制,可采用纯硬件控制和软件控制方法,硬件控制可使用专用的 PWM 发生芯片,成本低,实现简单。软件控制需要引入 DSP 系统,并进行软件编写。该方法精度高,但复杂度较高,实现难度大,成本也大。这两种方法在的实现都需要建立一系列的采样电路进行反馈,达到调节的作用。

(4) 搭建仿真验证系统可行性。在实际的应用当中,一般在实物制作前都会进行仿真验证。一方面是可以验证设计的正确与否,保证系统的正确性;另一方面是可以通过仿真观察实验中的一些现象,帮助实物的正常制作,同时可以方

便的调整系统参数，减少项目开发的时间和成本。

(5) 进行实物制作。实物制作过程中根据仿真进行，保证电路的连接正常，并不断的测试系统的稳定性，同时根据指标去调整电路的参数。

2.4 控制方案设计

如果想要实现对 Buck 变换器的输出电压或输出电流进行控制，就必须要建立相应的闭环控制系统。Buck 变换器的基本控制框图结构如下图 2 所示。给定值与输出反馈值的偏差信号作为控制系统的输入信号，控制器控制的目标是使偏差信号的值趋近于零，即给定值与输出反馈值相等。控制器输出 Buck 变换器的占空比信息，该占空比经过 PWM 发生器产生脉冲作用于 Buck 变换器的开关管，控制开关管的通断实现对 Buck 变换器输出电压或输出电流的控制。

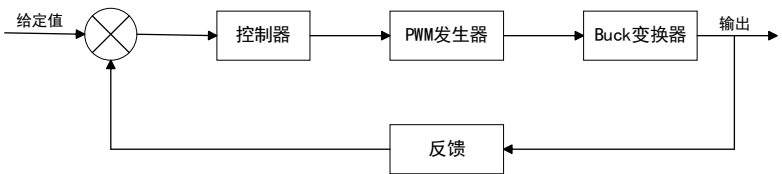


图 2 Buck 变换器闭环控制原理图

在控制器的控制方式中采用 PI 控制，PI 控制也是 Buck 变换器中常见的控制策略。根据给定值与实际输出值形成的偏差，将偏差的比例项、积分项通过线性的叠加构成控制量，对被控制对象进行控制，这种控制器结构简单，易于实现。控制框图如图 3 所示。

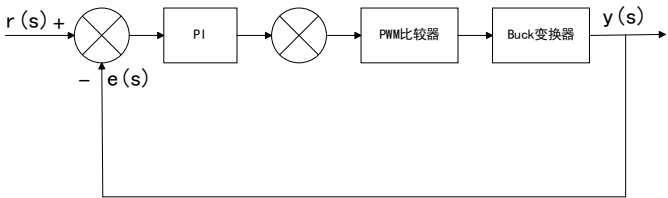


图 3 PI 控制框图

2.5 控制的动静态指标

动态性能方面，Buck 转换器在面对输入电压和负载突变时的响应能力是关键指标之一。例如，通过集成输入电压前馈（IVFF）与电压模式反馈（VFB）控制器，可以显著提高闭环性能，实现对线性和负载变化的快速稳定响应。

静态性能方面，稳态精度和效率是重要的考量因素。PI 控制器的应用使得输出电压能够在输入电压波动和负载变化下稳定在预设值上，且具有较高的稳态精度。而在电源效率方面，通过优化设计策略，可以在宽输入输出范围内实现高效的能量转换。

3 电路参数的计算

3.1 负载电阻的计算

根据电路设计要求，直流输出电压 20V，功率约 50W，根据负载电阻大小计算公式：

$$I_o = \frac{P}{U_o} = \frac{50}{20} = 2.5A$$
$$R = \frac{U_o}{I_o} = \frac{20}{2.5} = 8\Omega$$

因此负载电阻大小为 8Ω 。

3.2 占空比的计算

根据占空比大小计算公式：

$$\rho = \frac{U_o}{U_i} = 0.67$$

其中，D 为占空比大小， U_o 为直流输入电压， U_i 为直流输出电压。

因此，占空比大小为 0.67。

3.3 电感值的计算

若要使电路工作在 CCM 模式下，即电感电流连续。则：

$$K = \frac{2L}{R_L T_s} > 1$$

根据电流临界状态下：

$$L = \frac{R_L}{2}(1 - \rho)T_s$$

计算得在 CCM 模式下电感的最小值为 132 μ H

3.4 电容值的计算

根据设计要求，纹波 ΔU_o 取值应为：

$$\Delta U_o = 5\%U_o = 0.05 \times 20V = 1V$$

根据电容计算公式，使电路工作在 CCM 模式下：

$$C = \frac{U_o \times (1 - \rho) \times T_s^2}{8 \times L \times \Delta U_o} = \frac{20 \times (1 - 0.67) \times 0.0001^2}{8 \times 1.32 \times 10^{-4} \times 1} = 62.5\mu F$$

因此，电容量至少为 62.5 μ F。

4 项目影响评价报告

项目名称	DC-DC 变换电路的研究与设计	项目组成员	彭鹏
项目概况	对 DC-DC 变换器的电路和工作原理进行分析，利用 Matlab 搭建一套 buck 变换器系统进行仿真分析，同时制作出实物进行研究。		
社会影响	随着物联网时代的到来，对低功耗、小尺寸、高效率的 DC-DC 变换器芯片的需求日益增加。这些技术的进步直接推动了智能家居、智慧城市等领域的快速发展，提高了人们的生活质量和工作效率。同时 DC-DC 变换器的研究与设计不断推动电源管理技术的进步，满足日益增长的电子设备对电源管理的需求。		
健康影响	DC-DC 变换器在运行过程中会产生电磁干扰（EMI），这种干扰可能会影响周围的电子设备，甚至对人体健康造成潜在威胁。但随着电子产品的快速发展，系统设备对电源系统的性能以及可靠性提出了更高的要求。DC-DC 变换器可以广泛应用在这些领域，基于健康管理的智能维护技术可以帮助实现模块电源的健康状态评估，从而提高电源的可靠性和安全性。这对于保障使用这些设备的人员的安全和健康具有重要意义。		
安全影响	不合规的 DC-DC 变换器的设计可能会引发安全隐患，寄生参数是引发 DC-DC 变换器潜在电路的根本原因，可能导致变换器出现无法预期的工作状态，影响其工作特性。因此在进行 DC-DC 变换器的设计过程中我们还需设计一些保护电路，通过采用先进的控制策略和保护措施，如环流抑制策略和故障时的保护措施，可以显著提高系统的可靠性。		
法律影响	随着电力电子技术的发展，特别是 DC-DC 变换器技术的进步，相关的研究成果和技术专利成为了企业竞争的重要资源，这类创新性的研究成果可能涉及专利申请。并且随着 DC-DC 变换器技术的应用越来越广泛，相关的行业标准也在不断完善。在 DC-DC 变换器的研究过程中，需要遵循相关的法律法规，否则违反这些法规可能会导致产品被禁止销售或出口，甚至面临罚款等法律后果。		
文化及环境影响	<p>在全球化的背景下，DC-DC 变换器技术的研究与设计不仅是国内科研机构和企业任务，也需要国际间的合作与交流。通过参与国际学术会议、期刊发表研究成果等方式，可以促进不同国家和地区在电力电子领域的技术交流和融合。</p> <p>随着传统化石能源的日益枯竭和环境污染问题的加剧，开发清洁、可再生的新能源变得尤为重要。DC-DC 变换器作为新能源发电系统中的关键组件，其研究与设计对于提高新能源发电效率、促进能源的可持续利用具有重要意义。DC-DC 变换器技术的进步不仅促进了相关产业的技术升级和产品创新，也为社会经济的发展提供了新的动力。</p>		

现开关电源、逆变电源、DC-DC 变换电路等电路的控制。

5.2 PI 控制

DC-DC 变换器中的 PI 控制原理主要基于比例和积分两个基本环节的组合，用于调节输出电压或电流，以实现 DC-DC 变换器性能的优化。PI 控制器通过调整比例增益 (K_p) 和积分增益 (K_i) 来平衡系统的动态响应和稳态误差，从而达到预期的控制目标。

PI 控制器使用比例项来响应系统输出与参考输入之间的差异，即误差。比例项的系数被称为比例增益，它控制了响应速度和稳定性之间的权衡关系。如果比例增益较大，系统的响应速度将更快，但可能会引起振荡；如果比例增益较小，则系统将更加稳定，但响应速度可能会受到影响。

PI 控制器还使用积分项来响应系统输出与参考输入之间的持续误差。积分项的系数被称为积分时间常数，它控制了系统的稳态误差和响应速度之间的权衡关系。如果积分时间常数较大，系统的稳态误差将更小，但响应速度可能会变慢；如果积分时间常数较小，则系统的响应速度将更快，但稳态误差可能会增加。

在 DC-DC 变换器中，PI 控制器通常用于电压闭环控制方式。例如，在 Buck 型 DC-DC 变换器中，PI 控制器可以根据输出电压误差决定是否调整占空比，以维持期望的输出电压。此外，PI 控制器还可以应用于 Buck-Boost 变换器和全桥隔离型 DC-DC 变换器等不同类型的变换器中，通过建模和仿真验证其控制效果。

在 DC-DC 变换器的应用中，PI 控制器的设计和优化是一个重要的研究领域。PI 控制器的设计和参数整定是确保变换器稳定性和性能的关键。通过对变换器参数的合理调整，可以优化控制效果，提高系统的动态响应时间和输出纹波值。

6 总结

本次课程设计可行性报告对 DC-DC 变换电路的研究与设计进行了分析总结。首先对电源的背景和意义进行了探究，并列出了电源在多领域的应用。接着按照课程设计的任务内容，对接下来要展开的课程设计进行了方案设计与选择。并根据目标指标，对 Buck 变换电路的实际参数进行了分析和计算。同时在报告的最后对本次课程设计涉及到的新知识和技术的应用进行了研究，以此来了解更多的前沿新技术和掌握本次课程设计的内容。

DC-DC 变换电路的未来发展前景广阔。随着 CMOS 技术的发展，DC-DC 变换器正朝着更高的集成度方向发展。特别是开关电容方法在实现高效、全集成化直流转换和调节功能方面显示出显著优势。此外，混合型 DC-DC 转换器，结合了开关电容和电感的优点，已成为低功耗应用中的热门选择。这表明，未来的 DC-DC 变换器将更加依赖于先进的集成电路技术和集成化设计。

而且随着便携式设备的普及，对小型化、轻量化、高功率密度的 DC-DC 变换器的需求不断增加。这推动了嵌入式 DC-DC 变换器的设计趋势，旨在实现更紧凑的尺寸和更高的性能。未来的电源变换器的发展会更加的迅速，并且推动电力电子技术的发展，成为一大热点领域。

参考文献

- [1] 冯子健. PWM 降压型 DC-DC 开关变换器的设计[D]. 哈尔滨工业大学, 2009.
- [2] 刘树林,刘健,寇蕾,等.Buck DC/DC 变换器的输出纹波电压分析及其应用[J]. 电工技术学报,2007,(02):91-97.
- [3] 吕庆永, 黄世震, 林伟. Buck 变换器在 SIMULINK 下的建模仿真[J]. 通信电源技术, 2008, 25(6):3.
- [4] 唐玉雪.Buck 变换器的模糊 PI 控制研究与设计[D].东北石油大学,2019.
- [5] 黄苏平.Buck 变换器环路稳定性的研究与设计[D].西南交通大学,2014.
- [6] 桑绘绘,杨奕,沈彩琳.基于 PID 控制的 Buck 变换器仿真系统设计[J].南通大学学报(自然科学版),2011,10(01):24-28.
- [7] 孟德越,马永正.Buck 变换器 MATLAB 仿真控制研究[J].沧州师范学院学报,2020,36(02):56-59.
- [8] 曹霞,关振宏,黄栋杰,等.Buck 变换器在 Matlab/Simulink 下的仿真研究[J].电气开关,2009,47(06):23-25.
- [9] Franklin, Gene F., et al. Feedback Control of Dynamic Systems. Pearson Education, 2015.