

超宽范围输入电压 Buck 变换器设计

熊才伟, 朱永亮

(中国电子科技集团公司第 14 研究所, 江苏 南京 210039)

摘要:针对风力发电中 DC/DC 模块电源高可靠性、超宽输入电压范围、高效率、高功率密度的要求,设计了单级 Buck 变换器,采用 UC2843 芯片为控制核心及峰值电流控制模式,并加入斜坡补偿技术,满足超宽输入电压范围内电源的稳定;改进了保护电路,使电源能具备长时间短路并可自动恢复及过温、输入过/欠压等保护功能,提高了电源可靠性。最后通过样机的设计,满足了各种指标要求,验证了此电源模块设计的正确性。

关键词:变换器;超宽范围;峰值电流控制;短路保护

中图分类号:TM46

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2011)09-0058-03

Design of Buck Converter With Ultra Wide Input Voltage Range

XIONG Cai-wei, ZHU Yong-liang

(No.14 Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract:As to the requirement of high reliability, ultra wide input voltage range, high power density and high efficiency in the DC/DC power module used in wind power system, a single stage Buck converter which using the UC2843, peak current control mode and slope compensation to ensure the stable state of the power is designed in the ultra wide input voltage range. Meanwhile, the design raises the reliability of this power module by improving the protect circuits like longer time short circuit ability of self-recovery, over temperature protection and input over voltage/under voltage protection. At last, the test of sample module meets all needs of the power supply, proving the correctness of this design.

Keywords:converter; ultra wide range; peak current control; short circuit protection

1 引言

风力发电的变桨电机制动系统中需要一种可靠的模块电源,它要求:①高效率的蓄电池输入;②28~160 V 超宽输入直流电压范围;③高功率密度,输出为 24 V/13 A,体积要求 90×64×26 mm³;④高可靠性,适用于海边等恶劣环境。由于输入电压变化范围很宽(1:6),最低输入与输出电压差值小(占空比达 90%),且为了保证因变桨电机频繁起停而导致负载突变时的电源稳定,通常采用两级变换,电压输入较低时先升压后再进行降压,但采用两级变换,必然减少了效率,增大了电源的体积,这与电源要求的高功率密度、高效率不符。

为提高电源效率及可靠性,在超宽范围输入电压的直流稳压源的设计中,采用高频高效的单级 Buck 变换器及有效的控制方式满足全输入电压及全负载范围内电源的稳定。

2 Buck 变换器控制回路设计

2.1 控制方式的确定

一般 Buck 电路中,较常使用的控制方式为电压型和峰值电流型。在仅电压环形成闭环控制的电压型 PWM 控制方式中,由于 LC 滤波器中存在电感 L,导致了 180°相移和 40 dB/dec 的增益衰减,导致电压模式环路不易稳定,特别是对于电源要求的宽范围输入电压条件。而在输出电感峰值电流内环和电压外环的电流模式控制方式中,通过小信号分析,输出电感可视为一个恒流源,输出可视为一个电流源给并联的电容和负载电阻供电,故仅造成 90°相移和 20 dB/dec 的增益衰减,使得误差放大器的补偿简化,适应于该输入电压和负载大范围变化的场合。

电源采用峰值电流模式的控制方式,由峰值电流模式控制芯片 UC2843 构成 PWM 控制电路^[1-3]。图 1 示出 Buck 主电路及控制驱动电路的原理图。图中 T₁ 为检测开关管峰值电流的互感器,它将检测的开关管峰值电流信号比例缩小,滤波后送入 UC2843 的电流检测脚。此外,由于本电源的宽输入电压变化,需要占空比变化范围为 15%~90%,

定稿日期:2011-05-23

作者简介:熊才伟(1985-),男,安徽金寨人,硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动。

而峰值电流模式控制方式在占空比超过 50% 时会引起环路不稳定,需通过 VQ_2 、 R_5 进行斜坡补偿。经过改进后的电流模式控制方式很好地满足了电源的要求。

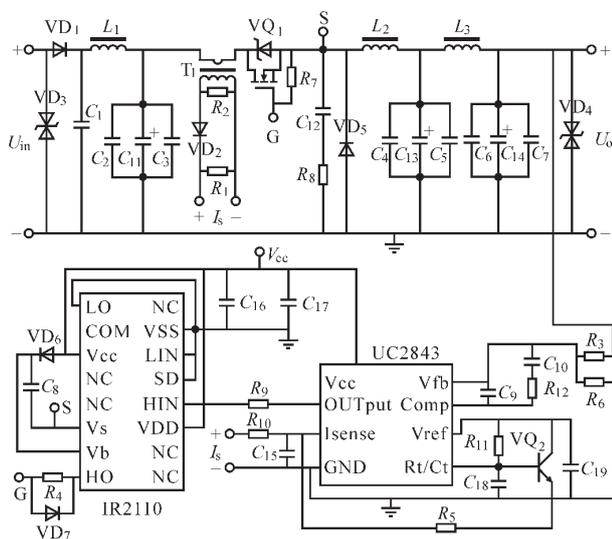


图1 Buck主电路、控制及驱动电路

2.2 驱动回路、保护电路的设计

根据 Buck 电路的特点,其功率管门极在导通后参考地的电压为电源电压,所以需要驱动电路进行处理。通常采用变压器隔离方式进行驱动,但该方式不适合此处占空比变化范围过宽的情况。如图 1 所示,采用半桥自举驱动集成电路 IR2110,利用其上桥臂的输出,驱动电流 $\pm 2\text{ A}$,自举电压可达到 500 V ,不仅较好地解决了悬浮驱动的问题,而且可靠性高,成本低廉。

此电源安装在风力发电机上,在变桨频繁启停及负载突变过程中,要求电源模块安全工作,可靠性高,不能损坏。除常规的过温保护、输入过/欠压保护、输入反接保护 (VD_1)及输入/输出瞬态电压防护 (VD_3, VD_4)外,另加入打嗝式保护电路,使其可承受长时间短路状态,且当短路消失后自动恢复工作。

由于存在峰值电流内环,电源本身具有限流及短路保护的作用,当负载短路时,流过开关管的电流迅速增大,经过电流互感器采样后,超过设定值时,UC2842 封锁脉冲输出,等待下一个周期时再次输出脉冲。但在长时间短路时,每个周期都有较大的峰值电流脉冲经过开关管,开关管损耗大,易引起雪崩效应导致开关管损坏,故此处利用比较器设计打嗝保护电路,如图 2 所示。图中电路检测输出电压,当小于额定值的 $1/10$ 时,即认为电路发生短路,然后由可变门限的比较器构成脉冲发

生器,输出低电平时,UC2843 的 COMP 脚拉低,电源关闭输出。输出高电平时,电源正常输出。输出低电平的时间可由 $R_7, R_{12}, R_{13}, R_{14}, C_4$ 进行确定。

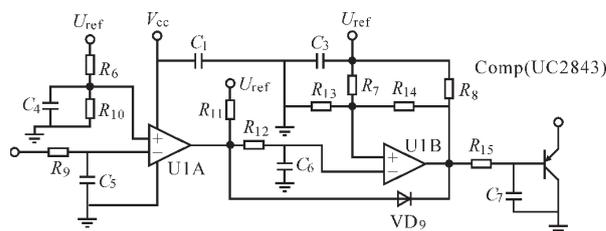


图2 电源短路打嗝保护电路

3 输入、输出单元设计

3.1 输出电感及电容的选取

输出滤波元件不仅决定了电源的稳定性,同时也是 DC/DC 变换器设计中关键部分。输出电感 L 作为储能和滤除纹波的元件需综合考虑体积、电流脉动大小来选择,并防止饱和,其表达式为:

$$L = (U_{in} - U_o) T_{on} / \Delta i \quad (1)$$

式中: U_{in} 为输入电压; U_o 为输出电压; T_{on} 为导通时间; Δi 为电流脉动量。

滤波电容的选择需满足输出纹波的要求。对于给定的电感电流纹波,在 500 kHz 以下,输出纹波由输出滤波电容及其等效串联电阻 (ESR) 确定。通常情况下,输出电压纹波主要由交流纹波电流与电容 ESR 的乘积决定。电感确定后即可得出纹波电流,再根据所需的纹波大小选择电容,应选择高频低阻的电解电容或低 ESR 贴片陶瓷电容。

3.2 输入滤波器的选取

除电容的耐压值要大于电源电容最大输入电压外,输入电容的选择还需要满足所需的纹波电流,故纹波电流可通过下式进行计算得到:

$$I_{Cin (rms)} = I_{o (max)} \sqrt{D(1-D)} \quad (2)$$

式中: $I_{Cin (rms)}$ 为输入电容纹波电流有效值; $I_{o (max)}$ 为输出最大电流; D 为占空比。

由上式可知,最大纹波电流发生在 $D=0.5$ 时,此时纹波电流为输出电流的 $1/2$,于是可根据此值选择电容。可根据体积要求选择电解电容、薄膜电容或是陶瓷电容^[4]。

为减少 Buck 变换器的输入电流纹波,从而减少对蓄电池的其他负载的影响,这里在输入电容前加入一个约为几微亨的小电感。

3.3 启动及供电回路设计

为了减少体积和提高可靠性,此处电源采用恒流源启动及利用输出进行自供电,如图 3 所示。 $VQ_1, VD_1, VD_3, VD_4, VD_6, R_3, R_4$ 构成恒流源,在电

源启动及短路条件下,由恒流源供辅助电。当电源正常时,由输出 24 V 经降压后供电,同时切断恒流源回路,减少损耗。

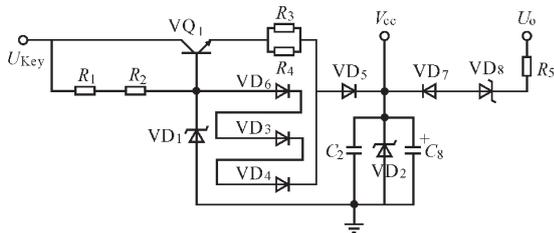


图 3 电源的启动及自供电回路

4 实验结果及结论

按上述分析设计样机,开关频率为 120 kHz,选择 IRFB4227 型主开关管和 MBR20100CT 型续流二极管,输出滤波电感为 50 μH。在额定负载 24 V/13 A 的条件下,当输入分别为 160 V 和 28 V 时,测得开关管驱动电压 u_{gs} 及漏源极电压 u_{ds} 波形如图 4 所示。其中,纹波最大值为 70 mV,整机效率在满载、全输入电压范围内最低为 89%,最高为 93%,在 -40~+55 °C 皆可正常工作,平均无故

障时间大于 10⁵ h,且该电路形式简单,可靠性高,已在风力发电中的关键场合代替国外电源模块。

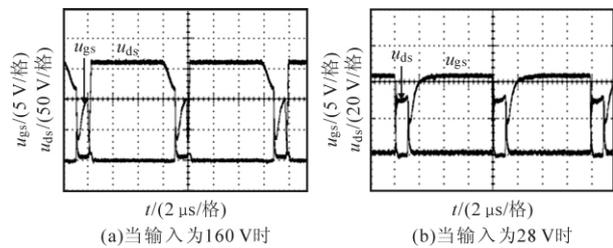


图 4 开关管电压实验波形

参考文献

- [1] 夏泽中,李远正,陶小鹏.峰值电流模式斜坡补偿电路研究[J].电力电子技术,2008,42(12):71-73.
- [2] 普里斯曼.开关电源设计(第2版)[M].王志强,郑俊杰,译.北京:电子工业出版社,2005.
- [3] U-111.Practical Considerations in Current Mode Power Supplies.Unitrode Application Note[S].1999:3-106.
- [4] Scolt Dearbom.AN793.Power Management in Portable Applications:Understanding the Buck Switch Mode Power Converter.Microchip Technology Inc[S].2001:2-8.

(上接第 20 页)情况下波动约为 1 V,图 5b 为输出电压的谐波分析,电压不平衡度控制在 5% 内,THD<1。

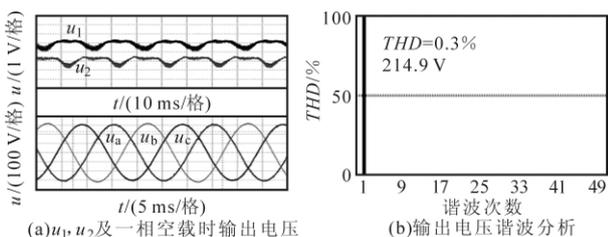


图 5 带不平衡负载时的实验波形

图 6 示出带非线性负载时实验波形,其中非线性负载为整流桥后端接阻性负载和 3.3 mF 电解电容,负载总功率 35.5 kW。可见,各次谐波得到很好的抑制,输出电压 THD=3.2%。

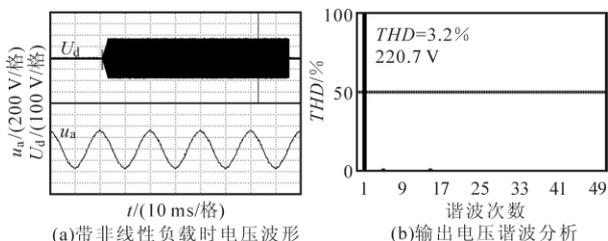


图 6 带非线性负载时的实验波形

6 结论

采用双向 DC/DC 变换器作为逆变器的前级

稳压环节,以提高超级电容器的容量利用率。针对分裂电容式逆变器结构中直流母线电容中点电压波动和不易控制的问题,采用两组双向 DC/DC 变换器串联控制逆变器直流母线电压的结构,引入带重复控制的双闭环控制方法,有效解决了超级电容器储能逆变器带大功率不平衡和非线性负载时输出畸变问题。实验结果表明所采用的超级电容器储能系统拓扑结构和控制方法行之有效。

参考文献

- [1] 鲁蓉,张建成.超级电容器储能系统在分布式发电系统中的应用[J].电力科学与工程,2006,21(3):63-67.
- [2] 胡文华,马伟明,刘春喜.一种新的不平衡控制策略的研究[J].电气传动,2009,39(10):3-7.
- [3] Kyung-Hwan Kim, Nam-Joo Park, Dong-Seok Hyun.Advanced Synchronous Reference Frame Controller for Three-phase UPS Powering Unbalanced and Nonlinear Loads[A].Power Electronics Specialists Conf. PESC'05, IEEE 36th[C].2005:1699-1704.
- [4] 白丹,蔡志开,彭力,等.三相逆变电源不平衡负载研究[J].电力系统自动化,2004,28(9):53-57.
- [5] L Rossetto, L Malesani, P Tenti, et al.Fully Digital Control of A Three-phase UPS by VECON Integrated Controller[A].IEEE Industry Applications Conference[C].1995:2663-2669.