

交错并联式 BOOST 电路的 Pspice 仿真分析

侯冲¹, 张建军²

(1. 西安科技大学 陕西 西安 710054; 2. 西安石油大学 陕西 西安 710054)

摘要:文中研究基于 Pspice 软件的交错并联 BOOST 变换器的拓扑结构, 并对其建立仿真模型, 进而延伸到 N 个相同的 BOOST 拓扑结构的并联, 从中分析了此种拓扑结构的优点, 进而得出此种拓扑结构适于在功率因数校正电路中的应用的结论。

关键词: 交错并联; BOOST 拓扑; Pspice 仿真; PWM

中图分类号: TM133

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2012)11-0135-04

Analysis of interleaving parallel BOOST circuit based Pspice

HOU Chong¹, ZHANG Jian-jun²

(1. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an Shiyou University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The article researches on the topology of interleaving parallel BOOST converter, and build the model of the simulation, then extending to the parallel of several same boost topology analyzing the advantages of this topology, concluding the application of power factor emendation.

Key words: interleaving parallel; BOOST topology; Pspice simulation; Pulse-Width Modulation

随着电力电子行业的发展, 电路设计的复杂程度越来越高, 仿真作为一种便利的设计手段被广泛的应用于电路设计、分析和验证中, 包括用于电路设计中的一系列仿真软件如 MATLAB 中的 Simulink 及其 Pspice 等软件, 这些软件可以对电路中的信号进行仿真, 让设计人员了解电路的工作特性, 设计人员可以通过仿真来预测和验证电路设计的准确性, 具有时效性强的优点, 对于科学研究工作具有十分有用的价值。笔者在基于 Pspice 仿真软件的基础上对 BOOST 变换器的并联交错技术进行仿真分析, 通过搭建 Pspice 模型分析了并联交错 BOOST 变换器的优点, 即输出纹波很小适用于带载要求纹波小的设备, 如应用于计算机的 CPU 等。

1 DC-DC 变换器

DC-DC 变换器的基本拓扑结构非为 BUCK 变换器、BOOST 变换器和 BUCK-BOOST 变换器。由于 DC-DC 变换器中, 输入端和输出端共地, 所以也称为三端开关变换器^[1]。

开关变换器同三端线性调节器有很多相同点, 例如输入电压不能调节, 但是输出电压可以调节, 在效率要求较高的情况下可以替代线性调节器, 开关变化器在输入跟输出之间使用的是扼流圈而不是变压器。

BOOST 电路是升压电路, 升压电感完成升压, 并通过电容保持电压值。其结构图如图 1 所示^[2]。

其工作状态如下当开关管导通时, 输入直流电压流经电

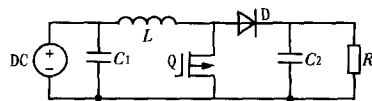


图 1 BOOST 拓扑结构

Fig. 1 Structure diagram of the boost topology

感, 在稳态工作下, 电感中的电流开始正向增加, 二极管处于反向偏置, 输出电容通过电阻放电, 当开关管关断时, 此时通过二极管续流, 同时通过输出电容和电阻组成回路。此时, 电感中的电流减小。

上面拓扑结构中, 通过开关管开通和关断时, 对电感运用伏秒平衡方程有下式:

$$(U_o - U_i)T_{off} = U_i T_{on} \quad (1)$$

得到
$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{T_i}{T_s - T_{on}} = \frac{1}{1 - D} \quad \left(\text{其中 } D = \frac{T_{on}}{T_s} \right) \quad (2)$$

从而通过调节占空比 D 可以调节输出电压。

BOOST 变换器又称为升压变压器, 输出电压的极性跟输入电压的极性相反。

通常电感值的选择要保证临界电流地域所需要的最小负载电流, 另外, 电感在最大负载和最小导通时间的情况下, 不能饱和。

2 交错并联 BOOST 变换器

交错并联拓扑结构是通过开关变换器的并联得到, 一般这种拓扑结构采用一个公用的滤波电路, 相比一般的拓扑结

构,交错并联拓扑结构本身有自身的好处,负载变化时的动态响应更快,功率处理能力强^[3]。

根据载波和信号波是否同步及载波比 N 的变化 ($N = \frac{f_c}{f_r}$)

其中 f_c 为载波频率, f_r 为调制信号), PWM 调制方式分为异步调制和同步调制^[3]。

异步调制为载波信号与调制信号不同步的调制方式,在不变的情况下,变化时,载波比 N 由此发生变化。在信号波的半周期内, PWM 的脉冲个数不固定,相位也不同,正负半周的脉冲不对称。

交错并联拓扑结构通过异步驱动每个并联的变换器的控制信号来实现,可以减少输出电压的纹波。

2.1 拓扑结构图

交错并联 BOOST 拓扑,如图 2 所示。

2.2 PSPICE 仿真

Pspice 是一种功能强大的模拟电路和数字电路混合仿真

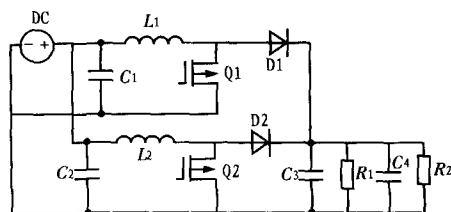


图 2 交错并联 BOOST 拓扑

Fig. 2 Structure diagram of the interleaving parallel boost topology

软件,通过此软件可以对常用的电路进行仿真,同时还可以对电路中某一输出信号,用探针进行采样仿真,通过仿真给出仿真信号的波形,同时可以对信号进行直流分析和瞬态分析等,从而得到仿真结果。Pspice 自带的基本电路特性分析功能包括直流分析,交流小信号频率特性分析,瞬态分析,傅里叶分析等。

交错并联 BOOST 电路的 Pspice 模型如图 3 所示。

交错并联 BOOST 拓扑公用一个电源,输出电容也为一个

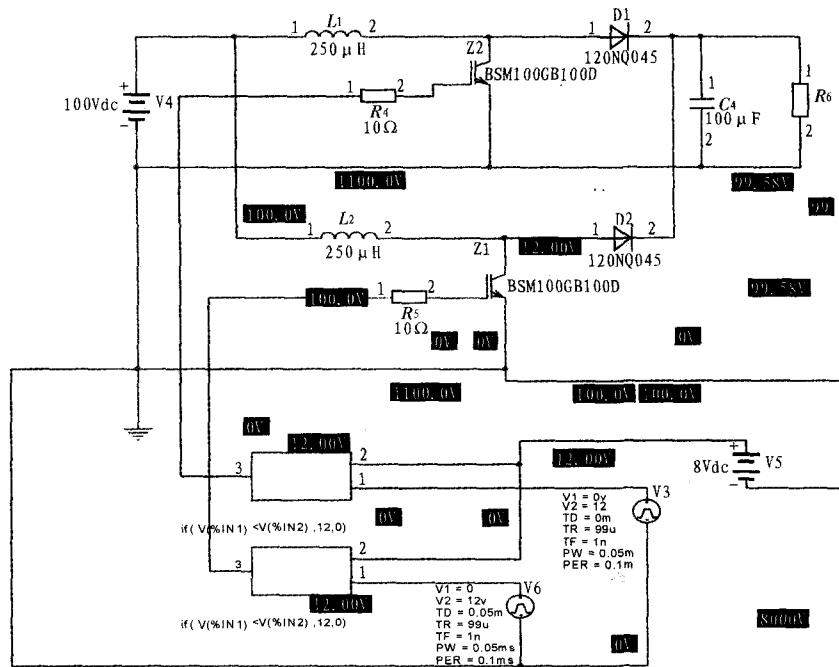


图 3 交错并联 Boost 电路的 Pspice 模型

Fig. 3 Structure diagram of the interleaving parallel boost topology pspice model

个,通过 PSpice 软件中的 ABM2 模块实现^[4],其输入为两路电压信号,输出为一电压信号,上图中的两路控制信号 PWM 相位相差 180° ,通过设置的锯齿波信号与同一个输入信号比较得到。

交错并联 BOOST 拓扑中输入电流为两个电感电流的和,输入电压相同,在连续型模式下,相位差为 $\frac{2\pi}{N}$,其中 N

为并联的变换器的个数,本课题中 N 为 2,交错并联 BOOST 拓扑中的 PWM 信号的一种时序图如图 4 所示。

由图 4 的驱动波形分析拓扑结构的工作状态:

状态 1 当两个管子都为高电平时,直流电源经过电感

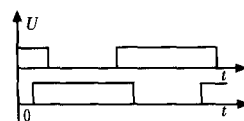


图 4 PWM 波形图

Fig. 4 Schematic diagram of the wave picture of pulse-width modulation

与地相连,输出电容通过输出电阻放电,状态 2 两个开关管中工,其中一个为高电平,一个为低电平,高电平的那只管子通过电感、开关管与地相连接,另外电感的感生电压使此时的电压方向反向,使正向的二极管导通,然后与输出电容、输

出电阻相连接;状态3开关管都为高电平,直流电压经过电感与地相连,输出电容此时通过电阻放电,最后状态4与状态2相反,状态2中高电平的开关管在此时的电平变为低电平,原来状态2中的低电平的开关管此时电平变为高电平,此时直流电压同过电感,经过高电平的开关管与地连接,由于另一个并联的电感此时的电压反向,使二极管正向导通,

通过二极管与电容、电阻连接。

由图3交错并联 Boost 电路的 Pspice 模型所测的各点的波形图如图5所示。

在输出电容为 $100\ \mu\text{F}$ 时和 $300\ \mu\text{F}$ 时,输出电压波形如图6所示。由图6可知道,增加输出电容值可以输出纹波电压减小。

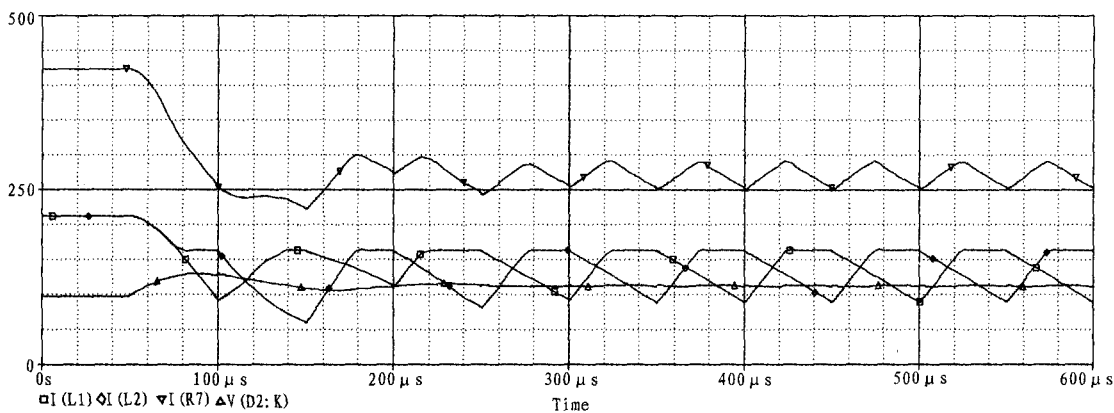


图5 PSpice 模型所测的各点的波形图

Fig. 5 Structure diagram of several points wave pictures of pspice model

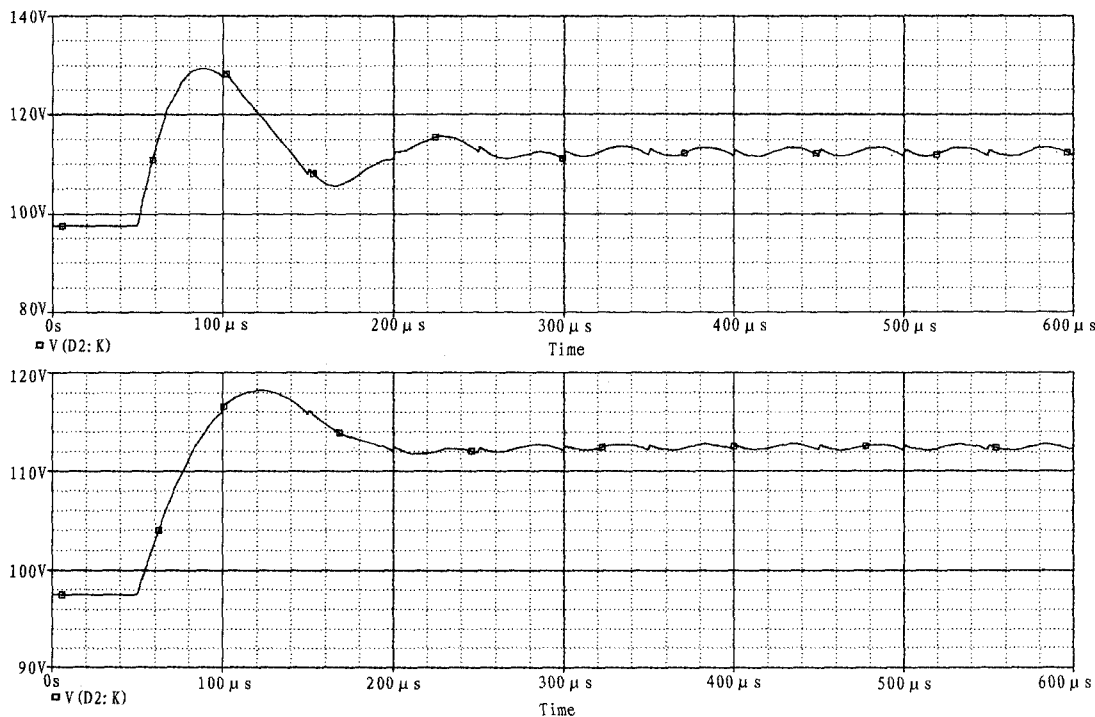


图6 交错并联 Boost 电路的 PSpice 模型输出电压波形

Fig. 6 Structure diagram of the wave of output voltage of the interleaving parallel boost topology pspice model

3 N 个 BOOST 拓扑结构的并联

通过并联多个不同的 BOOST 拓扑结构,可以实现多个并联变换器。采用 Giral 等人提出的电流模式交错驱动的方法^[9],实现控制。其中用二进制表示开通和关断,1 为开通,0 为关断。3 个相同的 BOOST 变换器连接如图7所示。

3 个相同的 BOOST 变换器交错并联变换器的 PSpice 模型^[6]如图8所示。

$$\text{此种拓扑机构的输出纹波电压: } \Delta V_{\text{out}} = \frac{(N-1)\Delta i D T}{8C} \quad (3)$$

上式中增大 C 可以减小输出纹波的大小,另外通过改变 Δi 也可以纹波电压发生变化。

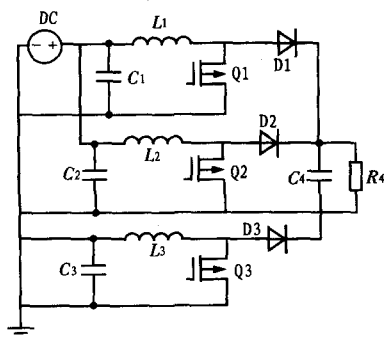
图7 $N=3$, 交错并联 BOOST 变换器

Fig. 7 Structure diagram of three interleaving parallel boost topology converter

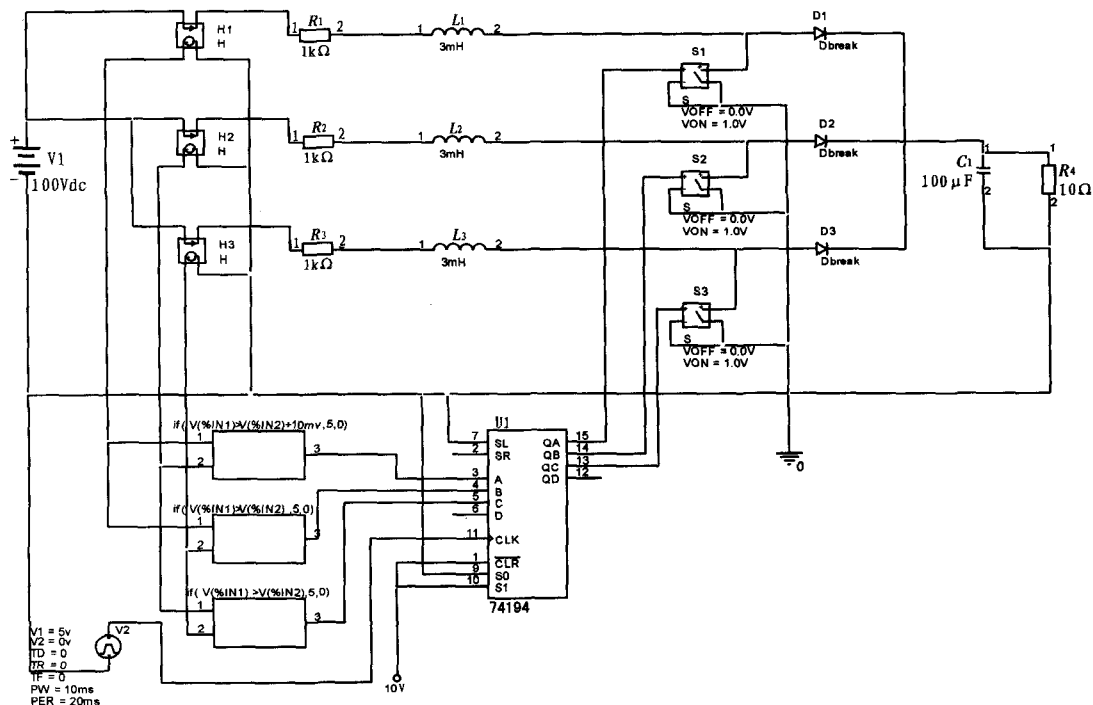


图8 BOOST 变换器交错并联变换器的 PSpice 模型

Fig. 8 Structure diagram of the interleaving parallel boost topology pspice model

4 结论

交错并联变换器的优点是可以减小输出电压的纹波,因此此种拓扑结构广泛应用于功率因数校正中。使负载表现为阻性负载,对电网的影响减小。

参考文献:

- [1] Billings K. Switching Power Supply design [M]. MC Graw Hill professional, 2009.
- [2] Severns. R P, Bloom G E. Mordern DC to DC Switchmode Power converter circuits[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985.
- [3] Miftakhutdinov R. Optimal design of interleaved synchronous buck converter at high slew-rate load current transients[C]// IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2001.
- [4] 徐德鸿, 译. 开关功率变换器——开关电源的原理、仿真和设计[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [5] Giral R, Martinez S L, Singer S. Interleaved converters, Applications and Design[M]. New York John Wiley and Sons, 1989.
- [6] Basso C P. Switch Mode Power Supply SPICE Cookbook[M]. McGraw Hill Professional, 2001.

欢迎订阅 2012 年度《电子设计工程》(半月刊)

国内邮发代号: 52-142

国际发行代号: M2996

订价: 15.00 元/期 360.00 元/年