基于 PSpice 的 Buck 变换器仿真教学研究

王贞艳，陈志梅，张井岗，赵志诚

（太原科技大学 电子信息工程学院，山西 太原 030024）

摘要：作为一种基本的 DC/DC 降压式变换电路，Buck 变换器被广泛应用于电机的无级变速与控制。本文基于 PSpice 软件，对 Buck 变换器进行参数仿真、对其功耗分析和吸收电路设计方面进行电路仿真。形象化的教学，可以直观观察分析 Buck 变换器元器件参数的选取对电路性能的影响，为实际 Buck 变换器设计与研发提供可靠依据。

关键词：Buck 变换器；PSpice；电路仿真

中图分类号：TP271　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-0686(2012)02-0095-03

Buck Converter Simulation Based on PSpice

WANG Zhen-yan, CHEN Zhi-mei, ZHANG Jing-gang, ZHAO Zhi-cheng

(*School of Electronical and Information Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan* 030024, *China*)

Abstract: As a basic DC/DC step-down converter circuit, Buck converter is widely used in continuously variable transmission technique and control of motor. Based on the PSpice software, the circuit simulations including the parameters simulation, power analysis and absorption circuit design are developed for Buck converter in this paper. By visualization teaching, the influence on the circuit performance with different Buck circuit parameters can be observed and analyzed visually and it provides reliable basis for actual circuit design, research and development.

Keywords: Buck converter; PSpice; circuit simulation

Buck 变换器是一种基本的 DC/DC 降压式变换电路，又称为直流斩波电路或者直流斩波变换器，它可以将一个固定的直流电压变换为可变的直流电压。该电路广泛应用于电机的无级变速与控制，可以使控制具有加速平稳、快速响应的性能，并且能节约电能。另外，该电路结构还可以演变为升压斩波电路和升降压斩波电路。

本文以 Buck 变换器为例，详细探讨了用 PSpice 软件进行电路元器件参数分析和功耗及吸收电路设计和分析等方面的问题。

目前，微机上广泛使用的 PSpice 电路仿真软件是由美国 ORCAD 公司开发的。它能对模拟电路进行直流、交流和瞬态等基本电路特性分析，还能够对数字电路、数/模混合电路进行仿真。随着集成度的提高，电路图绘制完成后可直接进行电路仿真，并且可以随时分析观察仿真结果。该软件不仅可以用来分析 RLC 电路中参数的改变对电路频率特性的影响，可以对 Boost 电路的连续和断流两种工作状态进行仿真和分析，还可以对电机系统及其它电路进行仿真和分析[1,2]。

1 Buck 变换器

Buck 变换器由功率晶体管，快速恢复二极管，储能电感和滤波电容组成，其结构如图 1 所示。

按照一个周期中电感 L 上的电流连续与否的原则，Buck 变换器工作模式可分为两种：连续导电

修稿日期：2011-10-27；修回日期：2012-12-30

第一作者：王贞艳（1981-），女，在读博士，讲师，主要从事电路与系统、复杂系统控制等教学和科研工作，E-mail：w9851@126.com

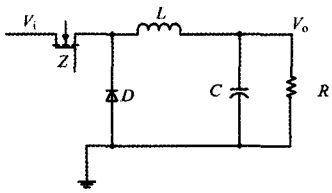


图1 Buck变换器结构简图

模式CCM和不连续导电模式DCM。在断续模式DCM变换器中,一个周期的某些时刻,流过电感的电流将为零。本文主要讨论工作于CCM模式的Buck变换器。

基本Buck变换器连续导电模式的临界条件为[3]

$$f_s L/R \geq (1-D)/2 . \quad (1)$$

式中,f_s为开关频率,L为Buck环节滤波电感,R为负载电阻,D为占空比。因此,L的最小值为

$$L_{f\min}(1-D)R/(2f_s) . \quad (2)$$

储能电感L除了起滤波作用外,还有限制开关电流的作用。稳态时,L的值决定了电感电流峰-峰值(也即电感电流脉动)。假设允许的最大电感电流脉动为Δ,则有

$$L \geq (U_i - U_o)D/(\Delta_i \cdot f_s) \quad (3)$$

式中,U_i为输入电压,U_0为输出电压。

根据输出电压纹波分量ΔU_0等参数,滤波电容由下式求出

$$C \geq U_0(1-D)/(8Lf_s^2\Delta U_0) \quad (4)$$

开关电源的截止频率f一般取开关频率的1/10~1/100,截止频率为

$$f = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \quad (5)$$

2 Buck变换器的PSpice仿真

2.1 Buck变换器参数仿真

Buck变换器输出电压的灵敏度和纹波等性能主要取决于电路中电感量、电容值和激励信号频率。对理论设计得到的Buck变换器参数,可用PSpice软件进行仿真,可以直观地分析观察基于所设计参数的Buck变换器的性能,判断其正确性,为进一步的实际应用提供依据。

Buck变换器PSpice参数仿真如图2所示。设置仿真参数如下:V_1=310V,L_1=2mH,,C_1=20uF,占空比D为50%,Z_1为IGBT(BSM25GB100D),激励信号为矩形脉冲频率为100kHz,D1为快恢复二极管(BYT30P-600)。设仿真步长为0.1μs,则电容C_1两端输出电压V_c和流过电感L_1的电流I_L曲线如图3所示。横坐标为仿真时间,固定仿真游标就可以读出对应点的电容端电压和流过电感电流的瞬态数值。

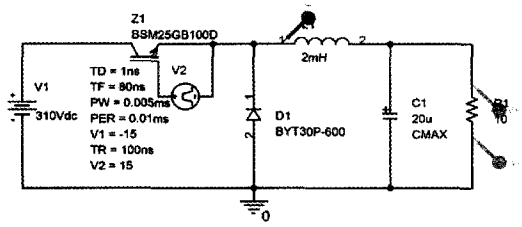


图2 Buck仿真电路图

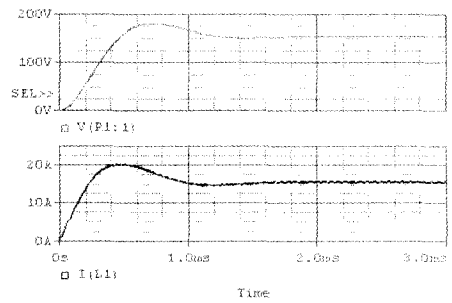


图3 电容端电压(上)和电感电流(下)

为了分析某个参数对电路的影响,通过改变激励信号频率f、电感值L_1、电容值C_1或负载电阻R_1,观察输出电压的变化。图4是Buck变换器在电感L_1分别为1mH和2mH时的输出电压曲线。随着电感的增大,浪涌电压减小,电压攀升时间变长改变激励信号频率,输出电压和电压纹波如表1所示。同时要指出激励信号频率的增加导致开关损耗的增大,严重时会使开关管的损坏。

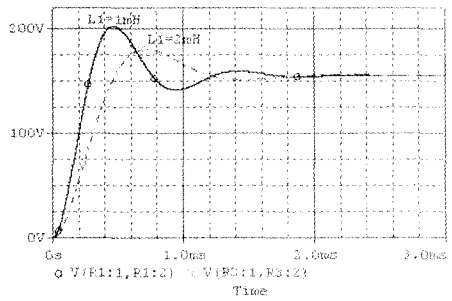


图4 Buck变换器输出电压曲线

表1 不同激励信号频率下的稳态输出电压

激励频率	10kHz	20kHz	30kHz	40kHz	50kHz
输出电压(V)	153	154	158	154	154
电压纹波(mV)	774	178	83	5	3
纹波系数(%)	0.506	0.116	0.052	0.003	0.002

通过 PSpice 进行 Buck 变换器电感、电容及负载电阻等参数的优化仿真,可以直观地观察参数变化对电路输出的影响,对理论设计得到的 Buck 变换器参数是否合理和有效进行仿真验证和测试,为进一步的实际应用打好基础。在实际电路应用中,还需要加入电压反馈闭环调节电路,以保证 Buck 变换器输出电压稳定。

2.2　功耗分析

PSpice 可以仿真功率器件的功率。以储能电感 L_1 为例,其功率仿真波形如图 5 所示。通过仿真游标从波形上可以得到电感的峰值功率和稳态功率变化。通过该波形,还可以向学生讲解电感周期性能量储存和能量释放,直到进入稳定工作状态的过程。

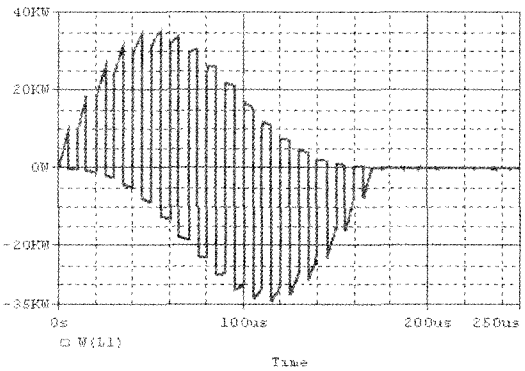


图 5　电感功率仿真波形

类似地,可以仿真得到器件 IGBT 和快恢复二极管 D_1 等功率器件的波形,用来研究其功率损耗和发热量,为选择合适的散热器提供依据。使得学生在学习损耗和发热量理论计算方法的同时,直观观察功率的变化曲线。

2.3　吸收电路设计

Buck 变换器工作于大功率高频状态时,由于实际器件的非理想特性和线路的寄生参数的影响,开关器件的两端会出现电压尖峰和电流尖峰,增加了电路的故障概率。因此需要进行 RCD 或者 RLC 缓冲吸收电路的设计。

具有吸收电路的 Buck 变换器如图 6 所示,快恢复二极管 D_1 两端电压波形,如图 7 所示。可以看出,由于 RCD 吸收电路的存在,电压上升沿斜率变缓,电压波形的尖峰被钳位。另外,注意在仿真时对吸收电路与功率器件之间的布线要做到尽量粗、短。

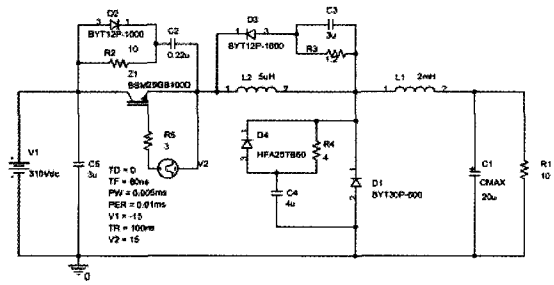


图 6　带吸收电路的 Buck 变换器

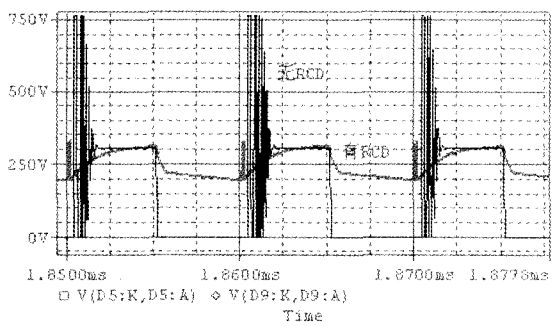


图 7　快恢复二极管 D_1 两端电压波形

3　结语

本文中所有的仿真举例都是在 PSpice Capture CIS 10.5.0.b001 CS 版本环境下运行得到的。

综上所述,在学习电路设计原理等理论知识的同时,通过 PSpice 软件进行电路仿真分析了解 Buck 变换器元器件参数的选取对电路性能的影响,为功率器件散热设计,特别是大功率电路的吸收电路设计提供依据,可以增强学生对 Buck 变换器的理解,并为以后实际电路应用设计打好基础。

本文使用 PSpice 软件对 Buck 变换器进行仿真,不但可以应用于课堂教学、实验教学与课程设计,而且是学生自学和完成课外作业的重要辅助工具。应用 PSpice 进行电路仿真对于教学、研究和电子类课程设计都是十分必要的。

参考文献:

[1]　贾新章,等. OrCAD/PSpice9 实用教程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1999

[2]　储成伟,PSpice 电路仿真程序设计[J],北京:国防工业出版社, 2006

[3]　刘刚, 王志强, 房建成. 永磁无刷直流电机控制技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社. 2008