

基于Saber的Buck电路仿真与分析*

罗 伟¹, 张明焱²

(1. 辽宁工程技术大学电气工程系, 阜新 123000;
2. 阜新市第一中等职业技术专业学校, 阜新 123000)

摘要: 通过电路仿真可以缩短产品开发周期, 减小研究开发成本; 另外还可以使得电力电子课堂教学概念讲解直观化, 理论结果可视化。本文介绍了Saber 仿真软件的组成、特点和分析功能, 并采用Saber 软件对降压式DC-DC 变换器(Buck 电路)进行了仿真研究, 分析得到Buck 电路工作机理, 体现了理论结果的直观化和可视化, 为Saber 软件进一步应用奠定了基础。

关键词: 仿真分析; 降压式变换器; 可视化

中图分类号: TP319 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-8930(2007) 03-0122-03

Simulation and Analysis of Buck Circuit Based on Saber

LUO Wei¹, ZHANG Ming-yan²

(1. Department of Electrical Engineering, Liaoning Technical University,
Fuxin 123000, China;

2. Fuxin No. 1 Vocational and Technical Secondary School, Fuxin 123000, China)

Abstract: The development cycle and research cost of new products can be reduced by the application of circuit simulation, and the teaching of power electronics course can be visualized by the same way. The saber simulation software is one of the most powerful simulation software for electric and electronics. The components, specialties and analysis functions of saber simulation software are introduced in the paper. By the simulation research of the step-down DC-DC converter (the buck circuit) using saber software, the running mechanism of the buck circuit is obtained and the theory results are visualized, which established the foundation for the further application of saber software.

Key words: simulation and analysis; step-down converter; visualization

1 前言

在实际电力电子装置中, 工程人员往往凭经验通过不断更换元器件或改变结构使装置满足一定的动态和静态特性, 而通过计算机仿真能方便地完成这种改变, 从而缩短产品开发周期, 减小研究开发成本。另外, 在电力电子课程教学中, 单纯地讲解开关元器件和各种变换电路理论, 显得枯燥而缺乏生动, 计算机辅助分析和设计在电力电子课程教学中显示出了它的强大的优势, 通过电路仿真使得课堂教学概念讲解直观化, 理论结果可视化。Saber 仿真软件是美国 Analogy 公司开发的功能强大的

电力电子系统仿真软件之一, 可用于电子、电力电子、机电一体化、机械、水力、控制等领域的系统设计和仿真。它具有很大的通用模型库和较为精确的具体型号的器件模型, 其元件模型库中有 4 700 多种具体型号的器件模型, 500 多种通用模型。针对电力电子应用, Saber 提供了电源设计的环境——PowerExpress, 它支持行为级和元件级的设计。Saber 的 MAST 语言是一种硬件描述语言, 运用该语言可以方便地建立用户自身的元件或电路模型, 其程序兼容 Spice 仿真程序。专门为 Saber 仿真器而设计的 SaberSketch 提供了友好的用户图形界面, 使得仿真非常直观, 让使用者易学易用。掌

握 Saber 仿真软件对于研究开发电力电子装置及其控制系统, 以及电力电子教学都具有重要的意义。

2 Saber 软件概述

介绍 Saber 软件的组成、特点及其分析功能。

2.1 Saber 仿真软件的组成部分

1) SaberSketch

SaberSketch 是设计系统的图形化输入软件包, 用它可以直观、方便地设计系统, 产生系统网络表。用户也可以用它设计自己开发的部件模型的图形符号。

2) SaberDesigner

SaberDesigner 是一个集成分析环境, 其组成部分为: Saber 仿真器, 或称 Saber 模拟和混合信号仿真引擎, 它是 SaberDesigner 集成环境的核心; SaberGuide, 菜单或按钮驱动的人机界面, 用于指导仿真进程; SaberScope, 波形显示、分析器, 用于显示、分析仿真结果的波形。

3) SaberBook

SaberBook 是文档浏览软件包。

2.2 Saber 仿真软件的特点

1) 混合系统仿真

Saber 能够对由电子、电力电子、机电一体化、机械、光电、光学、控制等不同类型系统构成的混合系统进行仿真, 这也是 Saber 的最大特点。

2) 适合于建立混合仿真模型的硬件描述语言——MAST

MAST 语言是 Analogy 公司开发的对物理部件建立仿真模型的硬件描述语言。用 MAST 语言可以对电子(数字或模型)、机械、控制等不同类型的部件建立仿真模型, 实现混合仿真。

3) 开放的部件库

Saber 的部件库是开放式的, 用户可以借助于 MAST 语言建立自己的部件模型, 并用 SaberSketch 为其设计图形符号, 以便能用图形输入方式设计系统。用户也可以用已有的部件组合出一个符合自己要求的子系统, 并为此子系统建立一个图形符号, 作为部件来用。

4) 模块化、分级式系统设计

Saber 允许系统按功能模块分级设计, 即顶层系统可以包含若干个按功能划分的子系统, 各子系统又可以包含下一层的子系统, 以此类推。这种结构为大系统设计的分工合作带来了方便。

2.3 Saber 的分析功能

Saber 的分析功能是比较强的, 主要有 5 种: ①DC analysis(直流分析), 用于计算设计的工作点; ②Transient(瞬态分析), 分析确定系统的时域响应; ③AC(频响分析), 分析系统随频率变化的响应特性; ④Fourier 和 FFT(傅里叶和快速傅里叶变换分析), 将时域波形变换成频谱; ⑤FFT(反快速傅里叶变换分析), 将频域波形变换成时域波形。

3 Buck 电路仿真

降压式(Buck)DC-DC 变换器是构成包括开关电源等电力电子装置的重要电路, 同时也是电力电子课程中 DC-DC 变换器的第一个讲解的单管电路。对 Buck 电路进行仿真分析有助于了解 Buck 电路的工作原理, 同时也为相关电路的进一步分析打下基础。

Buck 电路如图 1 所示, 图中 U_i 为输入直流电源。 $M1$ 为场效应管, 工作于开关状态, 其栅极通过限流电阻 R_1 接脉冲信号源 U_s 。 $D1$ 为续流二极管, 当场效应管 $M1$ 截止时, $D1$ 导通, 给滤波电感 L_1 中的电流提供通路。 L_1 与 C_1 构成滤波器, 将 U_1 点的脉冲电压变为较为平滑的直流电压输出给负载 R_L 。

该电路的输出电压在理想情况下($M1$ 、 $D1$ 的管压降为零, $L1$ 、 $C1$ 无损耗) 为 $U_{out} = DU_i$, 式中 $D = t_{on}/T$ 为占空比。因 $D < 1$, 所以 $U_{out} < U_i$, 故称为降压式变换器。

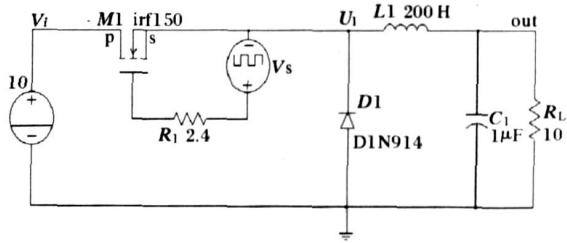


图 1 Buck 电路图
Fig.1 Buck circuit

应用 Saber 软件对此电路进行仿真, 可分为 3 个步骤:

1) 画电路

启动 SaberSketch 应用程序, 从 Part Gallery 中调出图中所需的元件并赋给元件值。点选“wire”图标, 将各元件连接起来构成一个完整的电路。图中输入直流电源 U_i 设为 10 V, 脉冲信号源幅度 U_s

$= 5$, 上升时间 $T_R = 0.01 \mu\text{s}$, 下降时间 $T_F = 0.01 \mu\text{s}$, 脉冲宽度 $P_W = 7 \mu\text{s}$, 周期 $P_{ER} = 20 \mu\text{s}$ 。

2) 设置仿真参数

电路画好后, 选择瞬态分析(transient), 出现对话框, 在打印步长(print step) 中填 200 ns , 这一时间表示计算机在绘制曲线时, 曲线中相邻两点间的时间间隔。这一间隔太大, 曲线不够平滑, 间隔太小, 计算机运算时间就会增大, 终止时间(final time) 可填 $200 \mu\text{s}$ 。

3) 仿真及分析结果

仿真参数设置好后, 就可以进行仿真研究了。仿真结果如图 2 ~ 图 5 所示。

图 2 和图 3 分别为 $V1$ 点电压及流过场效应管 $M1$ 的漏极电流波形, 由于 $M1$ 处于开关状态, U_1

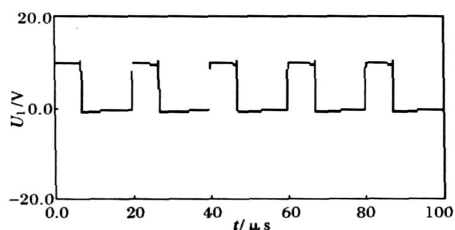


图 2 1 点的电压 U_1
Fig. 2 Voltage U_1 at point 1

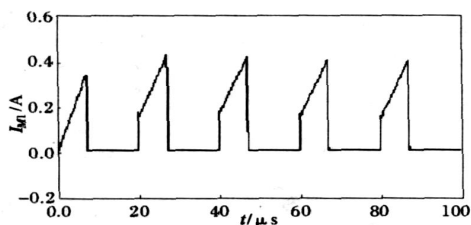


图 3 流过功率管 $M1$ 的电流波形
Fig. 3 Current of power tube $M1$

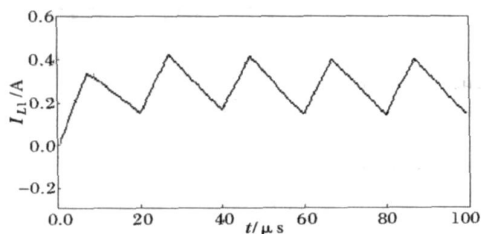


图 4 电感 $L1$ 的电流
Fig. 4 Current of inductance $L1$

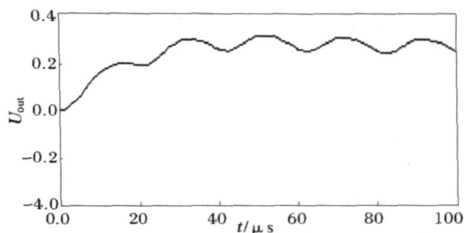


图 5 输出电压 U_{out} 的波形
Fig. 5 Output voltage

的波形为方波脉冲, 其脉宽为 $7 \mu\text{s}$, 周期为 $20 \mu\text{s}$, 故 $D = \text{ton}/T_s = 7/20 = 0.37$ 。当 $M1$ 导通时, $V1$ 点为高电平 ($U_1 \approx 10 \text{ V}$)。漏极电流跳变到某一值, 然后线性增长。当 $M1$ 截止时, $D1$ 导通, $V1$ 点为低电平 ($U_1 \approx 0 \text{ V}$), 此时 $I(M1)$ 跳变为 0。

图 4 和图 5 分别为流经电感 $L1$ 的电流 $I(L1)$ 及输出电压 U_{out} 的波形, 可见输出电压 U_{out} 在开始时由 0 迅速增长, 约 $50 \mu\text{s}$ 后达到稳态值 (平均值约 2.7 V , 有纹波)。由理论计算可得 (在理想情况下)

$$U_{out} = DU_i = 0.35 \times 10 = 3.5 \text{ V}$$

由于 $M1$ 、 $D1$ 管饱和压降的存在及滤波电路 $L1C1$ 时间常数为有限值, 实际输出电压会低于 3.5 V , 且有纹波存在, 仿真结果证实了这一点。电感 $L1$ 中电流 $I(L1)$ 为锯齿波, 当 $M1$ 导通时, 电源电流经 $M1$ 、 $L1$ 流向负载 R_L , 同时给电容 $C1$ 充电, $I(L1)$ 电流线性增长; 当 $M1$ 截止时, $D1$ 导通, $I(L1)$ 经 $L1$ 、 R_L 、 $D1$ 构成的回路流通, $I(L1)$ 线性减小, 其平均电流即为负载电流 $I(R_L)$ 。

通过 Saber 仿真平台很好地分析了 Buck 电路的工作原理, 为电路的深入研究工作奠定了一定的基础。

4 结语

应用 Saber 软件对 Buck 电路进行了仿真研究, 分析了该电路的工作原理。Saber 包含有大量的电力电子元器件模型库, 因此, 比系统仿真软件 Matlab/Simulink 更适合于电力电子电路的分析和系统研究。同时, 由于它方便的模型构造方法, 较之普通的 Pspice 仿真软件具有更强的电路和系统研究功能, 为电力电子技术的应用提供更有效的仿真研究手段。

(下转第 128 页)

- 79.

[2] 张占松, 孙时生, 伍言真. 电路和系统的仿真实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 65- 110.

[3] 孙鹤旭, 迟岩. 电力电子系统计算机仿真和辅助分析 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1994: 246- 251.

[4] 张玉平. 通用电路模拟技术- PSPICE for Windows [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 118- 133.

[5] 罗飞. 通用电路计算机分析与设计: PSPICE 应用教程 [M]. 中国水利出版社, 2004: 3- 6.

[6] 田亚菲, 何继爱, 黄智武 (Tian Yafei, He Jiai, Huang

Zhiwu). 电压空间矢量脉宽调制 (SV PWM) 算法仿真实现及分析 (Simulation and analysis of space vector PWM) [J]. 电力系统及其自动化学报 (Proceedings of the CSU-EPSCA), 2004, 8(4): 68- 71.

作者简介:

高春侠(1977-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事电气工程及其自动化教学与科研工作. Email: gcxzale@ sina. com

张 磊(1977-), 男, 硕士, 助教, 主要从事电气工程及其自动化教学与科研工作. Email: zhanglupe@ yahoo. com. cn

(上接第 124 页)

参考文献:

[1] Saber Designer Introductory Course [Z]. Analogy, Inc, 1997.

[2] Analogy Modeling Class Using MAST [Z]. Analogy, Inc, 1997.

[3] 张占松, 孙时生, 伍言真. 电路和系统的仿真实践 [M]. 科学出版社, 2000.

[4] 杨玉岗. 现代电力电子的磁技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[5] 林渭勋. 电力电子电路 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1986.

[6] 王云岭, 高建树 (Wang Yunling, Gao jianshu). 仿真技术在课堂教学中的应用 (Application of simulation technology in teaching) [J]. 电力系统及其自动化学

报 (Proceedings of the CSU-EPSCA), 2004, 16(2): 77 - 79.

[7] 盛义发, 肖金凤 (Sheng Yifa, Xiao Jinfeng). 电力电子学 CAI 课件的研发与应用 (Development and applicatoin of power electronics system CAI courseware) [J]. 电力系统及其自动化学报 (Proceedings of the CSU-EPSCA), 2004, 16(5): 81- 84.

作者简介:

罗 伟(1970-), 男, 讲师, 研究方向为电力电子及电力传动. Email: luowei_cn@ 126. com

张明焱(1963-), 男, 高级讲师, 研究方向为电力电子。电话: 0418- 3350491

更 正 启 事

我刊于 2007 年第 2 期发表的《基于 SVG 的电力调度图形支撑平台设计与实现》一文, 由于工作疏忽, 没有标明以下内容:

1. 郭创新老师的职称应为“教授”;

2. 该篇论文得到国家自然科学基金支持, 基金号“50677062”。

特此更正, 并向作者致歉。