

# 升降压型 DC 电源的设计与仿真

孙频东

(南京师范大学电气与电子工程学院, 210042, 南京)

【摘要】 用稳态分析的方法对 BUCK-BOOST 升降压型电源的工作原理及主电路的参数选取作了理论上的分析, 用 Matlab 的 Power System Blockset 对理论分析的结果进行仿真校验, 得到的结果与理论计算结果相符。

【关键词】 仿真 DC 电源, MATLAB, Power System Blockset

【中图分类号】TP391.9, 【文献标识码】B, 【文章编号】1672-1292(2002)04-0030-04

## 0 引言

目前, 在 DC/DC 电源升降压变换中常使用一种称为 BUCK-BOOST 的电路, 该电路克服了传统串联型稳压电源能耗大、体积大的缺点, 具有体积小、结构简单、变换效率高等优点。以下给出这种电源电路的工作原理及用 MATLAB 6.1 中的 Power System Blockset 所做的仿真校验。

## 1 升降压型电源变换电路的原理

### 1.1 电路工作原理

升降压型(BUCK-BOOST)电源又称为串、并联开关变换器电路, 如图 1 所示。由 IGBT( $V_1$ )、二极管( $VD_1$ )、储能电感( $L_1$ )和滤波电容( $C_1$ )组成。IGBT 以几十到几百 kHz 的频率工作。在  $t_{on}$  期间  $V_1$  导通,  $t_{off}$  期间  $V_1$  关断, 工作周期为  $T = t_{on} + t_{off}$ , 工作频率为  $f = 1/T$ 。当  $V_1$  导通时, 电感  $L_1$  储能,  $L_1$  上的电压上正下负, 约等于输入电压  $V_i$ 。此时

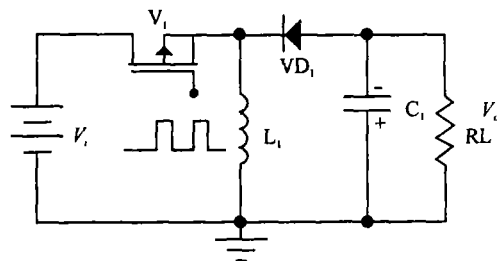


图1 升降压型直流电源原理图

二极管  $VD_1$  反偏截止,  $C_1$  向负载供电; 当  $V_1$  截止时, 由于电感  $L_1$  上的电流不能突变,  $L_1$  中的感应电势极性为上负下正, 当电感  $L_1$  上的电压超过输出电压  $V_o$  时,  $VD_1$  导通向电容充电同时向负载提供能量。

### 1.2 电路输入输出电压间的关系

根据公式  $V_L = L \frac{di_L}{dt}$ , 当电源进入稳态, 且  $V_1$  导通期间, 电感  $L_1$  中的电流以  $V_i/L_1$  的速率上升, 到  $t_{on}$  时刻  $L_1$  中的电流增量为

$$\Delta I_L(+) = (V_i/L_1)t_{on} \quad (1)$$

在  $V_1$  截止期间,  $L_1$  上的电流以  $V_o/L_1$  的速率线性下降, 到  $t_{off}$  时刻  $L_1$  中的电流减量为

$$\Delta I_L(-) = (V_o/L_1)t_{off} \quad (2)$$

一个周期中电流的增量应等于电流的减量即有(3)式

$$\Delta I_L(+) = \Delta I_L(-) \stackrel{\Delta}{=} \Delta I_L \quad (3)$$

收稿日期: 2002-03-04.

作者简介: 孙频东, 1957-, 南京师范大学电气与电子工程学院副教授, 主要从事应用电子的研究。

由(1)、(2)、(3)式可得(4)式

$$V_o = V_i \frac{t_{on}}{T - t_{on}} = V_i \frac{D}{1 - D} \quad (4)$$

式中  $D = t_{on}/T$  称为占空比,从(4)式中可见,改变占空比可改变电源的输出电压,当

$D < 0.5$  时,  $V_o < V_i$ ;

$D = 0.5$  时,  $V_o = V_i$ ;

$D > 0.5$  时,  $V_o > V_i$ ;

因此,从该电路可以得到变化范围较大的输出电压。

### 1.3 电路输入输出电流之间的关系

假如不考虑电路中的损耗,则电路中的输入平均功率应等于输出平均功率,即电路中有下列关系

$$V_i I_i t_{on} / T = V_o I_o \quad (5)$$

由(4)、(5)式得(6)式

$$I_i = \left(1 + \frac{V_o}{V_i}\right) I_o \quad (6)$$

实际上,电路内部存在损耗,故流过  $V_1$  管的电流要比(6)式计算所得的值大。

### 1.4 储能电感 $L_1$ 和滤波电容 $C_1$ 的选择

在  $t_{on}$  期间,IGBT 导通,  $VD_1$  截止,  $L_1$  储能;在  $t_{off}$  期间,IGBT 截止,电感  $L_1$  向负载及电容释放能量. 流经电感的电流波形如图 3 所示. 电感电流中的纹波电流  $\Delta I_L$  如式(7)所示

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} \quad (7)$$

如图 3 所示,在电流连续的情况下,

当  $I_{Lmin}$  的值等于零时,电感电流的纹波  $\Delta I_L$  值最大。

设电感中允许的最大电流为  $I_{Lmax}$ ,则电感值  $L_1$  可用(8)式求取

$$L_1 = \frac{V_i t_{on}}{I_{Lmax}} = \frac{V_i V_o}{I_{Lmax} f (V_i + V_o)} \quad (8)$$

设输出电压的允许纹波值为  $\Delta V_o$ ,则电容  $C_1$  值可用(9)式求取

$$C_1 = \frac{I_o t_{on}}{\Delta V_o} = \frac{I_o V_o}{\Delta V_o f (V_i + V_o)} \quad (9)$$

## 2 用 MATLAB 进行仿真校验

### 2.1 构建仿真框图

MATLAB 6.1 中提供了用于电力电子仿真用的 Power System Blockset (PSB) 工具箱. 在 SIMULINK 下打开 PSB 工具箱,建立新文件,用鼠标将要用到的图标拖放到新建的窗口文件中,将各模块按一定顺序进行连接,构建成图 4 所示的系统仿真框图。

需要说明的是,图中二极管、IGBT 管均有一个输出端 m,通过 m 端可测量器件中的电压和电流波形,这里二极管的 m 端没有使用. 图中  $CM_1$  为电流检测方块的符号,  $VM_1$  为电压检测方块的符号. 对元件模型设置相应的参数。

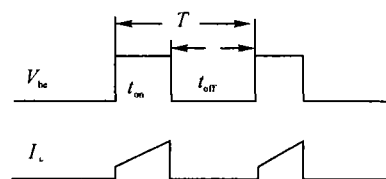


图 2 IGBT 基极电压和集电极电流

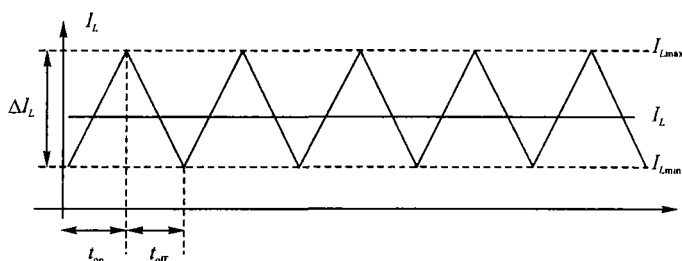


图 3 进入稳态后电感中的电流波形

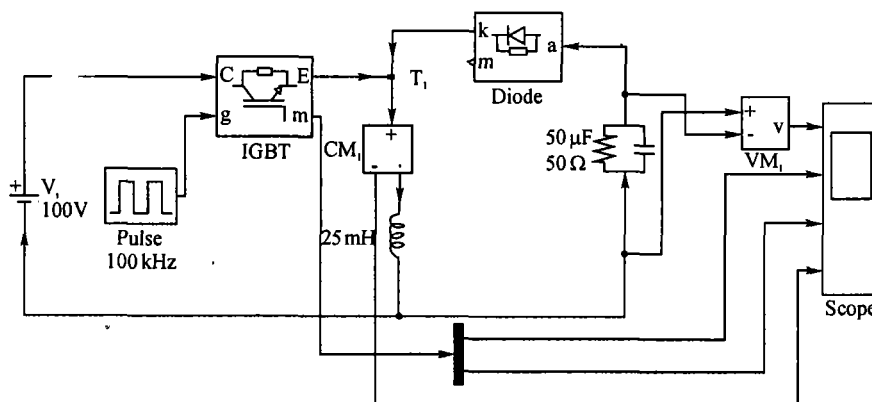


图4 BUCK-BOOST 直流电源仿真结构图

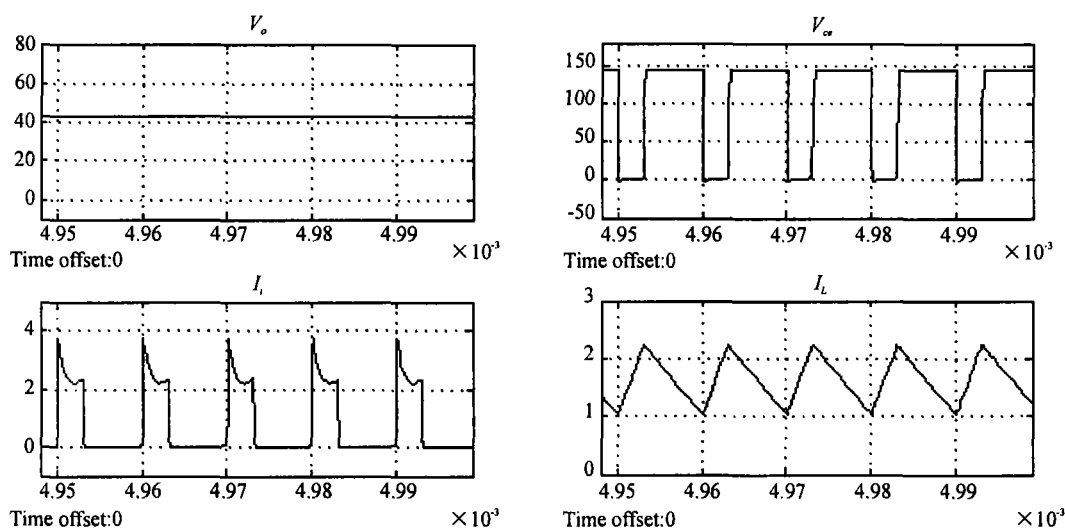


图5 BUCK-BOOST 电路的仿真波形图

## 2.2 设定仿真算法

点击仿真菜单下的仿真参数设定项,在弹出的对话框中选取 ode23tb 算法,步长可变,其余使用缺省值,便可对系统进行仿真.这里对图1所示的升降压型电源主电路数据的合理性进行仿真校验.

## 2.3 仿真结果

假如,直流电源的输入直流电压  $V_i$  设定为 100 V,要求输出电压为 43 V,电感电流纹波为 1.2 A,输出电压的纹波允许为 5%,IGBT 晶体管的开关频率实际使用值一般为 10 kHz 到 100 kHz,这里取 100 kHz.则经计算占空比  $D$  应取 30%;储能电感的大小按公式(8)进行计算,得到的结果为 0.25 mH;输出滤波电容  $C_1$  用公式(9)进行计算,得到的结果为 52  $\mu$ F,这里近似取 50  $\mu$ F.设置以上电路元件参数后,对电路进行仿真,仿真结果,如图5所示.从图中可见,电路进入稳态以后的仿真结果与根据公式计算出的数据基本吻合.另外,以上结果固定了占空比  $D$  为 30%,根据公式(4)当占空比  $D$  改变时,输出电压也将发生变化,用 MATLAB 计算后所得的曲线如图6所示,和公式(4)的预期值基

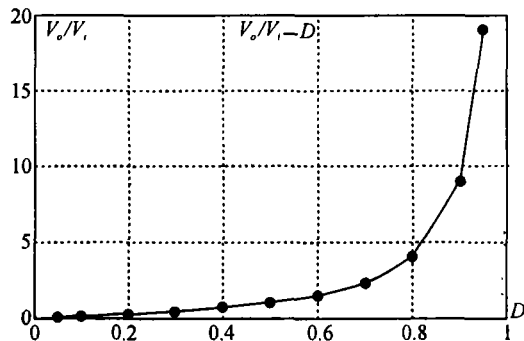


图6 占空比  $D$  和输出输入电压比间的关系曲线

— 32 —

本吻合.

### 3 结论

将计算机仿真用于开关电源的设计,对提高设计者的工作效率、减少实验费用的投入具有十分重要的意义. 计算机仿真应作为电子产品设计的一个重要环节或步骤. 使用 MATLAB 作为仿真工具,有助于减少仿真的工作量,减少仿真程序编制的时间,减少因程序编制的问题而带来的仿真误差.

#### [参考文献]

[2] 沙占友. 新型单片开关电源的设计与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.

[3] 陆治国. 电源的计算机仿真技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

## Design & Simulation of DC BUCK-BOOST Power Circuit

Sun Pindong

(College of Electrical and Electronic Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

**Abstract:** The paper introduces calculating method of circuit parameters of DC BUCK-BOOST power circuit and uses power system blockset of Matlab as simulating tools for circuit simulation. The results of calculation are corresponding to the results of simulation.

**Key words:** simulation, electrical power, matlab, power system blockset

[责任编辑: 严海琳]