

Mathcad 在电力电子变换器分析设计中的应用*

王建冈¹, 阮新波²

(1. 盐城工学院 电气工程系, 江苏 盐城 224003 2. 南京航空航天大学 航空电源重点实验室, 江苏 南京 210016)

摘 要: Mathcad 具有强大的数值、方程、符号、文本以及图形的处理能力, 运算速度快, 使用简单。给出了 Mathcad 在电力电子变换器的参数选择、瞬态分析、波形生成等方面的应用。

关键词: 计算机数学辅助设计; 电力电子变换器; 应用

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2002)03-0001-03

Mathcad 是 Mathematical Computer Aided Design (计算机数学辅助设计) 的缩写, 它是 MATH SOFT 公司推出的一套数学软件。Mathcad 具有强大的处理数值、方程、符号、文本以及图形的能力。Mathcad 运算速度快, 使用简单, 它的工作单就像一张功能强大的稿纸。用户不需进行繁琐的编程, 可直接使用数学语言, 按自己的方式, 形象直观地在稿纸上书写公式、方程、图形、数据以及带文本的注释, Mathcad 就会立即显示出计算结果或生成曲线、图形或表格, 并且工作单中的内容可以直接粘贴到自己的文档中。Mathcad 的等式和图形处于活动状态, 如果改变任何一个数据、变量或等式, Mathcad 就会立即对数学公式进行计算, 并重新描绘图形。Mathcad 还提供仅包括几个命令或关键词的结构简单的编程语言, 方便了用户的特定需要。为了方便用户进行多媒体演示, 用 Mathcad 制成的动画文件可以脱离 Mathcad 系统在 windows 中直接播放。因而, Mathcad 在工程实践和科学研究中得到了广泛的应用^[1]。

在电力电子变换器分析、设计过程中, Mathcad 也得到了广泛应用。DC/DC 变换器是电力电子变换器的重要组成部分, 而 BUCK 变换器是最基本的 DC/DC 变换器。结合一台 300 W BUCK 变换器的分析设计, 介绍 Mathcad 在参数选择、瞬态分析和波形生成等方面的应用^[2]。

1 BUCK 变换器的结构与技术指标

BUCK 变换器的主电路结构如图 1 所示, 其中 Q 为开关管, D 为二极管, L_f 、 C_f 分别是输出滤波电感、滤波电容, R_{ld} 是负载。变换器采用脉宽调制控制方式。分析设计前, 作如下的假设: ①所有元器件, 即 Q、D、 L_f 、 C_f 均为理想元器件; ②稳态分析时, 在一个开关周期中, 输入直流电压 V_{in} 不变, 输出直流电压 V_o 认为基本不变。

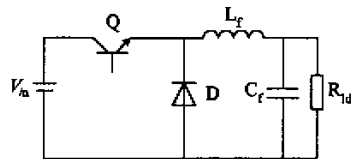


图 1 BUCK 变换器

Fig.1 BUCK Converter

设 BUCK 变换器的主要技术指标为: 输入直流电压 $V_{in} = 50$ V, 输出直流电压 $V_o = 28.5$ V, 输出直流电流 $I_o = 10$ A, 工作频率 $f_s = 100$ kHz, 输出电压允许纹波电压 $\Delta V_o = 50$ mV。

2 参数选择

数学计算的很大部分是数值计算。Mathcad 提供了简便、快捷、直观的数值计算的途径。BUCK 变换器的电感、电容选择, 可根据公式算出, 实质上就是数值计算。

* 收稿日期 2001-11-07

作者简介: 王建冈(1968-), 女, 江苏建湖县人, 盐城工学院讲师, 南京航空航天大学在职博士研究生, 现从事电气技术教学和科研工作。

在 Mathcad 的工作单中 输入过程如下:

(1)在空白区中选择适当的位置,单击,这时的光标变成一红色的十字形;

(2)按键盘冒号键获得赋值等于号“:=”,输入技术指标(为了方便阅读,可同时加入文本文件);

输入电压 $V_{in} := 50 \text{ V}$

输出电压 $V_o := 28.5 \text{ V}$

输出电流 $I_o := 10 \text{ A}$

工作频率 $f_s := 10^5 \text{ Hz}$

(3)输入电感的计算公式:

$$L_f := \frac{(V_{in} - V_o)V_o}{V_{in}f_s(20\%I_o)}$$

(4)输入“ $L_f =$ ”给出结果。

$$L_f = 6.127 \times 10^{-5} \text{ H}$$

采用同样的方法,可得到应选择的电容大小:

$$C_f = 5 \times 10^{-5} \text{ F}$$

3 瞬态分析

在分析之前作如下的假设 (1)变换器的初始状态为零状态 (2)瞬时开通开关管 Q。此时,等效电路如图 2 所示。

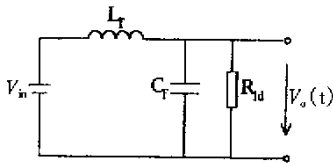


图 2 等效电路

Fig.2 Equivalent circuit

输出电压 $V_o(t)$ 的瞬态过程通过非齐次线性微分方程求解可得。

$V_o(t)$ 满足方程

$$L_f C_f \frac{d^2}{dt^2} V_o(t) + \frac{L_f}{R_{ld}} \frac{d}{dt} V_o(t) + V_o(t) = V_{in}$$

特征方程为 $L_f C_f p^2 + \frac{L_f}{R_{ld}} p + 1 = 0$

本电路中, $R_{ld} = \frac{V_o}{I_o}$, 那么 $R_{ld} > \sqrt{L_f/C_f}$, 特征方程的解为 $p_1 = -\delta + j\omega$, $p_2 = -\delta - j\omega$, 其中 $\delta =$

$$\frac{1}{2R_{ld}C_f}, \omega = \sqrt{\frac{1}{L_f C_f} - \delta^2}$$

电路为零状态, 那么

$$V_o(t) = V_{in} - V_{in} \sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{\omega}\right)^2} e^{-\delta t} \cos\left(\omega t - \arctan^{-1} \frac{\delta}{\omega}\right)$$

Mathcad 工作清单如下:

$$R_{ld} = \frac{V_o}{I_o}$$

$$\delta := \frac{1}{2R_{ld}C_f}$$

$$\omega := \sqrt{\frac{1}{L_f C_f} - \delta^2}$$

$$V_o(t) := V_{in} - V_{in} \sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{\omega}\right)^2} e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos\left(\omega t - \arctan \frac{\delta}{\omega}\right)$$

图形可以直观地表达某一变化规律, Mathcad 提供了快捷、方便的二维、三维作图方法。输出电压的瞬态过程可用平面图直观表示。

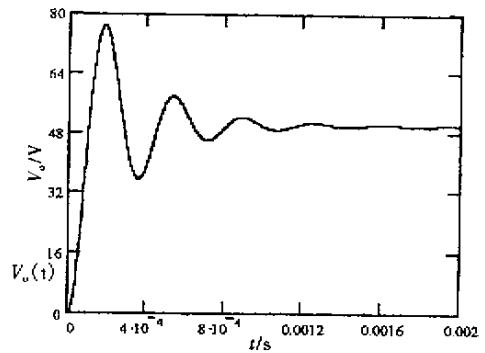


图 3 输出电压的瞬态波形

Fig.3 Transient voltage waveform of output

在 Mathcad 的菜单中, 输入过程如下:

(1)从 Graphics 菜单种选择 Create X-Y Plot 在 Mathcad 工作单中, 得到待输入数据的空白图。

(2)方框下边有 3 个占位符, 中间占位符上输入 X 轴的表达式, 在左占位符上输入 X 轴的下限值, 在右占位符上输入 X 轴的上限值。

(3)方框左边有 3 个占位符, 中间占位符上输入 Y 轴的表达式, 在上占位符上输入 Y 轴的上限值, 在下占位符上输入 Y 轴的下限值。

(4)光标在 Mathcad 工作单的其他位置点击, 即显示出图形。

4 波形生成

稳态工作时, 副边滤波电感 L_f 中的电流 $I_L(t)$ 的波形可用内置的编程语言生成。 $I_L(t)$ 可用周期函数表示。

在 Mathcad 的工作单中, 输入过程如下:

(1)单击工具栏上的编程工具图标, 调出编程工具面板。

(2)将红色的 Mathcad 十字光标放在适当的位置上, 输入 $I_L(t) :=$ 。

(3)单击工具面板上的 Add Line 按钮,出现占位符后,选择上面的占位符。

(4)单击工具面板上的 If 按钮,在 If 的左边的占位符中输入函数表达式,而在右边的占位符

中输入条件。

(5)再次单击工具面板上的 Add Line 按钮后,依上面的步骤输入第 2、3 行。

$$i_L(t) := \begin{cases} \left(I_o - \frac{V_{in} - V_o}{2L_f}DT_s + \frac{V_{in} - V_o}{L_f}t \right) \text{if } (t \geq 0) \cdot [t \leq (DT_s)] \\ \left[I_o + \frac{V_{in} - V_o}{2L_f}DT_s - \frac{V_o}{L_f}(t - DT_s) \right] \text{if } [t \geq (DT_s)] \cdot (t \leq T_s) \\ I_L(t - T_s) \text{ if } t > T_s \end{cases}$$

程序中, $D = V_o/V_{in}$, $T_s = 1/f_s$ 。

形成的电感电流的波形如图 4 所示。

需要说明的是:图 3、图 4 均从 Mathcad 工作单直接粘贴过来的。

以上仅仅是 Mathcad 在电力电子变换器分析设计中的几方面的应用。实际上,Mathcad 可在更为广泛的领域内应用。

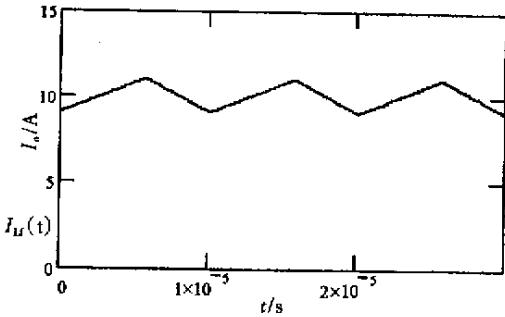


图 4 电感电流的稳态波形

Fig.4 Steady current waveform of inductance

参考文献:

[1] 李善茂,杜国梁,武钦佩. Mathcad PLUS 6.0 使用及其实例[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
 [2] 阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术[M]. 北京:科学出版社,2000.

The Application in Power Electronic Converter Using Mathcad

WANG Jian-gang¹, RUAN Xin-bo²

(1. Department of Electric Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China; 2. Aeronautics Power Electronic Center of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Jiangsu Nanjing 210016, China)

Abstract: Mathcad has powerful ability of treating numerical value, equation, symbol, text, graph and so on. It operates rapidly and is easily used. Give the application of Mathcad in parameters-choosing, dynamic analysis and wave-forming of power electronic converter.

Keywords: Mathcad; Power electronic converter; Application