

非线性电阻 Pspice 模型的建立*

李晓颖 曲杰琳

(哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 提出一种基于 Pspice 上新颖的非线性器件的仿真方法, 并以非线性电阻为例具体加以实现. 该模型是一个通用子电路模型, 并且可以应用于任何电路仿真及电力半导体器件建模中. 由于在该模型的建立中采取了非线性函数的曲线拟和方法, 使得原先在 Pspice 中无法实现的非线性器件可以通过易于实现的受控源来模拟拟和多项式函数.

关键词: 建模; 曲线拟合; 仿真

中图分类号: TM132 **文献标识码:** A

0 前言

在电力电子元器件及产品设计中, 非线性特性始终占据着非常重要的地位, 因为它的存在很大地影响着器件及系统的稳定. 这使得我们在电力电子器件建模及系统仿真中必须完全仔细地考虑非线性特性对各方面的影响.

在本文中, 我们将主要针对电力半导体器件模型建立过程中所涉及到的非线性特性来进行研究, 从而实现非线性元件的精确特性仿真, 最终得到精确的器件模型. 其中, 我们将以文献[1]中的 IGBT 子电路模型中的非线性电阻为例, 在目前国内外通用的电子电路仿真软件 Pspice 专用功能之下建立其等效的子电路模型.

1 非线性电阻模型建立原理及步骤

IGBT 内部典型的呈非线性变化的沟道调制电阻 R_b 见 IR 公司的 IRGBC40S 相应器件参数及我们给出相应的变化曲线, 如图 1 所示.

在本文中我们将针对通用电子电路仿真软件 Pspice 的特点提出一种新颖的非线性元件的子电路模型建立方法. 对于线性电阻而言, 它满足的伏安特性为:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

我们可以通过曲线拟合软件(Matlab 5.2)来实现其多项式拟合, 使得其满足以下关系:

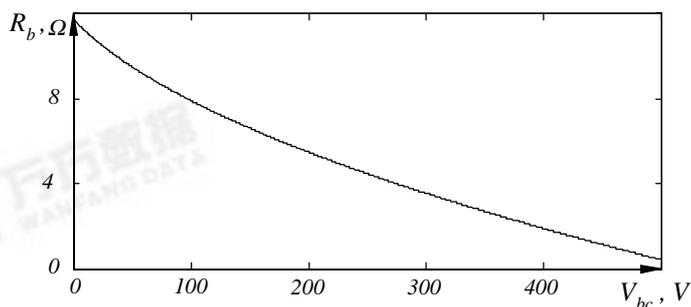


图1 沟道调制电阻 R_b 非线性特性

收稿日期: 1999-10-20

作者简介: 李晓颖 (1955-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 哈尔滨工程大学电工电子实验中心实验师.

$$R = K_0 + K_1 I + K_2 I^2 + K_3 I^3 + \Lambda = R_0(1 + K_{R1} I + K_{R2} I^2 + K_{R3} I^3 + \Lambda) \quad (2)$$

将式(2)代入公式(1)中, 即可得到:

$$U = IR = IR_0(1 + K_{R1} I + K_{R2} I^2 + K_{R3} I^3 + \Lambda) = SIR_0 \quad (3)$$

其中,

$$S = 1 + K_{R1} I + K_{R2} I^2 + K_{R3} I^3 + \Lambda \quad (4)$$

为非线性电阻比例因子。

由此可见, 我们可以用一线性电阻 R_0 和其比例因子的乘积来模拟非线性电阻 R , 大大简化了仿真难度。在 Pspice 中实现可以分为以下几个步骤:

1) 利用式(2)中提取的线性电阻和图 2(a)中电流 I (以电流控制电流源 F_1 实现) 构造成如图 2(e)中子电路, 从而得到线性电阻上的压降 $U=IR_0$ 。

2) 按照所给一定范围的非线性电阻伏安曲线, 我们必须使得经曲线拟合后的多项式函数与之保持一致, 这样, 我们就采取了图 2(c)中的限幅子电路。其中, V_{LIM} 为限幅电压源, $V_2=|I|$ 。

3) 构造比例因子 S , 取

$$E_s = 1 + K_{R1} V_2 + K_{R2} V_2^2 + K_{R3} V_2^3 + \Lambda = I + K_{R1} |I| + K_{R2} |I|^2 + K_{R3} |I|^3 + \Lambda \quad (5)$$

使得电压控制电压源 E_s 与电阻 R_s 构成比例因子子电路, 从而得到比例因子 S 。

4) 根据步骤 1-3 得到的 $U=IR_0$ 和 S , 最后便可得到图 2(b)中的该非线性电阻的等效电路模型。

2 实际非线性电阻模型的建立与验证

按照上述分析所得非线性元件子电路模型, 我们来建立并模拟前面例中的 IGBT 等效沟道调制电阻 R_b 的模型。

从 IR 公司的手册资料所得到的 RGBC40S 的 R_b 表达式, 经过简化, 可以表示为:

$$R_b = \frac{60 - 2.864\sqrt{V_{bc} + 0.6}}{5.04} \quad (6)$$

我们可以通过上述所述的步骤来对其建模仿真。首先我们通过 Matlab 建立下述 M-File:

```
x=0:0.1:400
y=(60-2.864.*(x+0.6).^0.5)/5.04
format long
polyfit(x,y,5)
plot(x,y)
```

我们可以得到该曲线的曲线拟合后的多项式表达式:

$$R_b = 0.00000000077219V_{bc}^4 - 0.00000077138661V_{bc}^3 + 0.00029107511753V_{bc}^2 - 0.06753926361379V_{bc} + 10.68394848798087 \quad \Omega$$

因此, 该非线性沟道调制电阻 R_b 在 Pspice 中的子电路参数为:

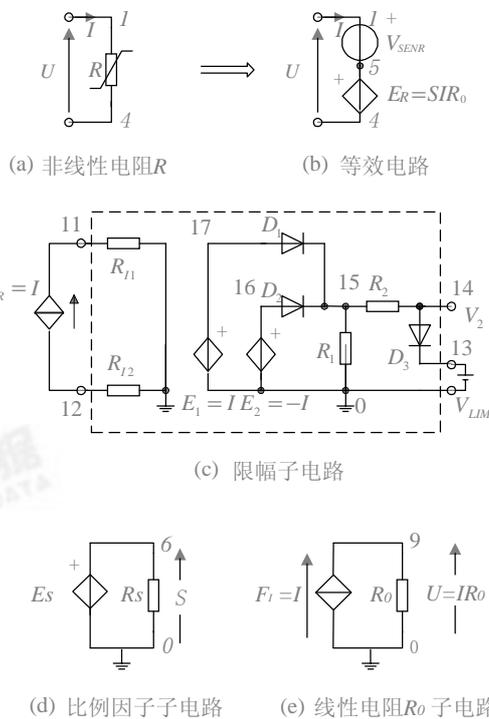


图 2 非线性电阻 Pspice 子电路模型

$$R_{b0} = 10.684\Omega$$

$$S = (1 \quad -0.00632156395080 \quad 0.00002724415209 \quad -0.00000007220052 \quad 0.0000000007228)$$

最后我们就可以利用上述分析得到的沟道调制电阻 Pspice 模型参数对其进行仿真, 图 3 就是最后所得 R_b 仿真曲线。可以看出, 除了在限幅电压 V_{LIM} 的作用下有一个有效范围(本例中, V_{LIM} 取 10V) 外, 其变化趋势显然与图 1 中实际特性曲线吻合。

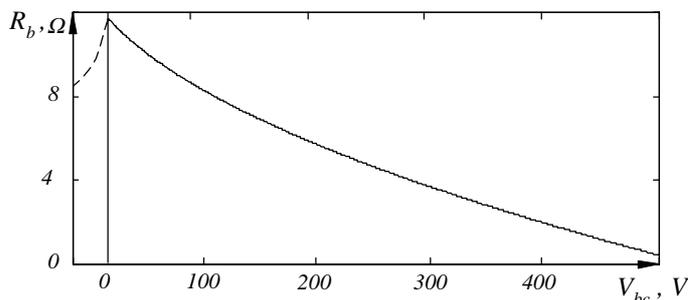


图 3 沟道调制电阻 R_b 变化曲线

3 结 论

非线性元件尤其是非线性电阻对电力半导体器件的模型特性起着至关重要的作用。本文就如何在通用电子电路仿真软件 Pspice 中对非线性电阻建立精确且高效的模型做出了细致的分析并给出了其子电路模型。而且经过实际对器件 IGBT 的模型仿真, 验证了非线性特点的重要性和本非线性元件建模方法的精确性。

不仅如此, 在今后大量的非线性特性分析中, 该非线性建模思想必将起到抛砖引玉的作用。

参考文献

- [1] A. R. Hefner. An Experimentally Verified IGBT Model Implemented in the Saber Circuit Simulator[J]. IEEE PESC Rec. 1991. Vol. 1:pp10-19
- [2] A. R. Hefner. An Improved Understanding for the Transient Operation of the Power Insulated Gate Bipolar Transistor(IGBT)[J]. IEEE Trans. On Power Electronics. 1990. Vol. PE.5(No. 10): pp459-471
- [3] Paul W. Tuinenga. SPICE: a guide to circuit simulation and analysis using Pspice[M]. Prentice Hall. 1988: pp1-22
- [4] MicroSim Co. Pspice 使用手册[M]. USA. MicroSim Co. : 1991

MODELING THE NON-LINEAR RESISTOR BASED ON PSPICE

LI Xiao-ying QU Jie-lin

(Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China)

ABSTRACT: A general modeling way for nonlinear devices based on the Micro-Sim Corporation's general electronic and circuit simulation software, Pspice, is proposed for and implemented on the nonlinear resistor. This model is a general subcircuit model and can be used in any circuit simulating and for modeling of power devices. As the model adopts the curve-fitting way for the nonlinear function, it is easy to realize the simulation of nonlinear devices in Pspice using the controlled-source, which simulates the curve-fitting polynomial function. The veracity and practicability of modeling way is proved by the result of comparing IR Corporation's IGBT Corporation's IGBT base's drain modulating resistor characteristic with the simulating curve. In actual application, the power device IGBT is simulated successfully with the simulating way of these nonlinear components. The modeling way can be used to establish the model for nonlinear component in others simulation software as well.

KEY WORDS: modeling; curve-fitting; simulation