维普资讯 http://www.cqvip.com

伺服技术·SERVO TECHNIQUE

基于PSPICE仿真的IGBT功耗计算

曹永娟 李强 林明耀

(东南大学电气工程系,南京 210096)

摘 要:基于PSPICE仿真,结合无刷直流电机提出了IGBT功率损耗的估算方法,研究了IGBT功率损耗与开关频率和栅极电阻阻值之间的关系。

关键词:功耗;IGBT;仿真;

中图分类号:TP211.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-6848(2004)06-0040-02

Method of estimating Power loss of IGBT based on PSPICE Simulation

CAO Yong-juan, LI Qiang, LIN Ming-yao

(Southeast Uniuersity, Nanjing 210096, China)

Abstract: In this paper, a method of estimating power loss of IGBT based on PSPICE simulation is proposed, and the relations between power loss of IGBT and switch frequency, gate resistance are presented.

Key words: power loss; IGBT; simulation

1 IGBT电路仿真模型

图1所示是三相星形连接的无刷直流电机的全控电路。T1,T2…T6为6只IGBT绝缘栅晶体管,S1,S2…S6为6个控制信号。本电路采用两两导通六状态运行方式,同时PWM调制采用上桥臂调制下桥臂恒通的调制方式,这样可以降低逆变器的开关损耗。通过控制上桥臂PWM波形的占空比来改变加到电机绕组的电压,从而控制电机的转速。为了缩短仿真时间,将三相电路简化为如图2所示的一相绕组电路进行仿真。

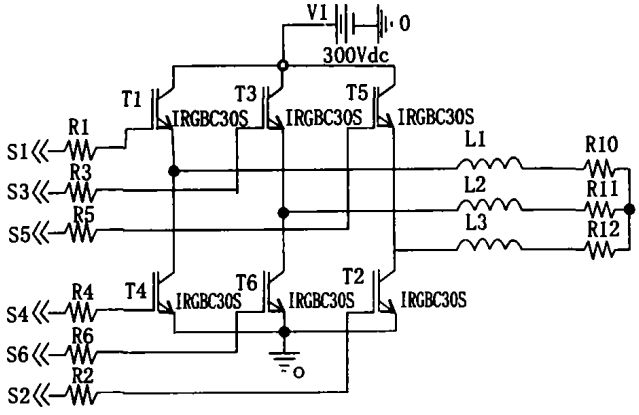


图1 三相全控电路图

设定PWM信号的高电压为+15V,为了确保IGBT可靠关断,设定低电压为-5V;下桥臂直流源为+15V;栅极电阻R_G暂取为100,加至IGBT的电源为300Vdc,负载为电感性。

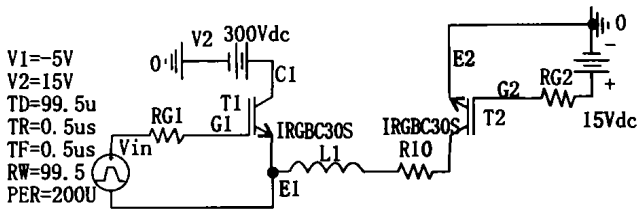


图2 一相绕组仿真电路图

2 仿真结果

图3所示为加在IGBT的G1、E1间控制上桥臂晶体管导通与关断的PWM信号波形。由于下桥臂晶体管始终导通,负载为电感性,并且由于集射极间电压的变化通过极间电容耦合的作用,所以控制电压PWM波形略有失真。

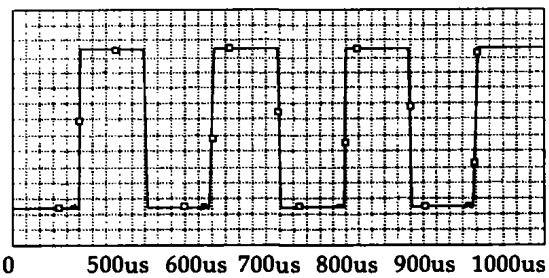


图3 门极控制电压波形图

图4所示为IGBT集射间电压V_C波形。当V_{GE}为15V时,IGBT导通,V_{CE}为饱和压降,大约为0.

收稿日期:2003-05-28

维普资讯 http://www.cqvip.com

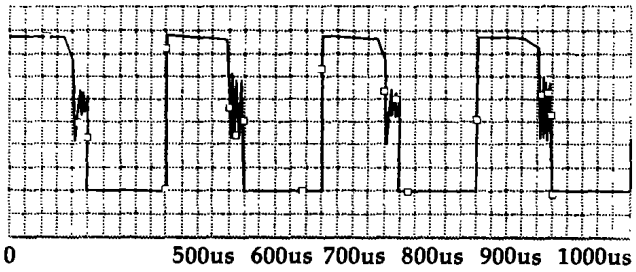


图 4　集射间电压波形图

7V。当 V_{GE}降为－5V 时，IGBT 关断，关断过程中集射电压 V_{CE}的变化情况与负载的性质有关，V_{CE}上升到 700 多伏。在电感性负载情况下，V_{CE}会突然上升而产生过冲现象，IGBT 将承受较高的 du/dt 冲击。

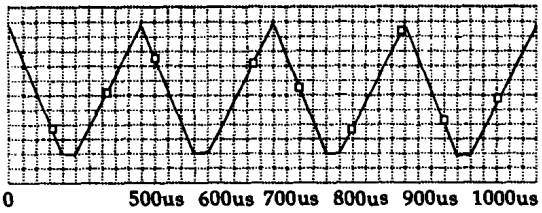


图 5　集电极电流波形图

图 5 所示为集电极电流 I_C 随时间变化的仿真波形。如果负载是纯电阻性的，则集电极的一发射极电压 V_{CE}就反映了集电极电流 I_C，集电极电流与集电极—发射极电压以同样规律变化。但对于电感性负载，电感中的电流不能突变，故在图 5 中 I_c 呈连续状态。在图 2 中，电感 $L1=6.7$mH，电阻 $R10=1.8$。负载阻抗为 $R+j2\pi fL$(取 $f=5k$Hz)，即约为 1.8＋j210，可见，负载几乎为纯电感性。当 IGBT 导通或关断时，电感电流不能突变，呈缓慢上升或下降趋势。

3　功耗计算

功率半导体器件大多数工作于开关形式，在开、关过程和导通工作过程都有功率损耗。IGBT 器件的总功耗 P，是由开和关瞬时功耗 P_s 和通态功耗 P_f 组成的。

$$P=P_f+P_s \tag{1}$$

3.1　通态损耗

IGBT 开通后，在饱和条件工作，其通态损耗为：

$$P_f=V_{on}\times I_{on} \tag{2}$$

式中，　I_{on}—器件导通时工作的有效电流；

V_{on}—器件导通时工作的有效电压

3.2　开关损耗

开关损耗取决于 IGBT 的开关特性，与集射间电压及集电极电流有关。

其开关损耗分别为：

$$P_{soff}=\frac{1}{T_{off}}\int_{t}^{t+toff} uidt \tag{3}$$

$$P_{son}=\frac{1}{T_{on}}\int^{t+ton} uidt \tag{4}$$

$$P_s=P_{soff}+P_{son} \tag{5}$$

式(3)～(4)中，u、i 分别表示 IGBT 集射间电压瞬时值及集电极电流瞬时值。开通与关断功耗不相同，关断时间比开通时间长，关断损耗明显大于开通损耗。忽略开通时的功率损耗。因此总功率损耗由关断功率损耗和导通时的功率损耗构成。功率损耗计算程序流程图如图 6 所示。

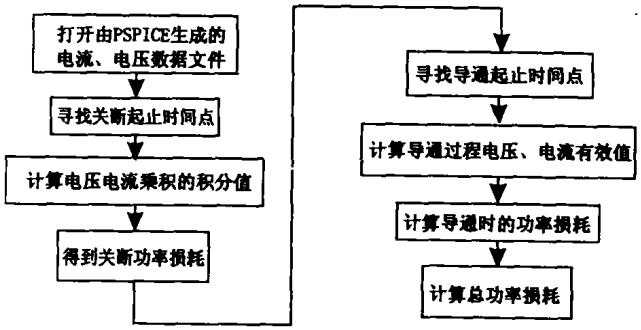


图 6　IGBT 功率损耗计算程序流程图

在针对于 IGBT 电路模拟的 PSPICE 仿真图形中，提供了功耗计算所需的集射间电压瞬时值和流过集电极的电流瞬时值。利用它们再根据式(1)～(5)，进行数值计算，即可求得电路的总能耗。

4　计算结果

改变 PWM 脉冲电压的工作频率，即改变 IGBT 的开关频率，分别计算在相同的时间内 IGBT 的功率损耗，得出开关频率与功率损耗的对应数值如表 1 所示。对应于 $R_G=100$，占空比＝50%，改变栅极电阻 R_G 值，分别计算 IGBT 在一个周期内的功率损耗，得功率损耗与栅极电阻 R_G 的对应数值如表 2 所示，对应于 $f=5k$，占空比＝50%。

对表 1 数据分析可知，随着开关频率的增大，在相同时间内 IGBT 的开关次数增多，开关损耗也增大，功率损耗随之变大。上述分析表明，在逆变器的设计中，从降低功率器件的开关损耗的角度考虑，应降低 PWM 波的工作频率。但过低的 PWM 工作频率会明显增大电机的噪音。故设计中需综合考虑，在 PWM 波工作频率上升的同时，应适当增大散热器的有效面积。

(下转第 57 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

的研究为基础，为了使模型更适合于控制系统设计和稳定性分析，作了一些修改，考虑了整个次级循环过程，给出了通过电流加热产生焦耳热的计算公式。

2.3 研究实例综述

由于SMAA应用场合、形状尺寸的不同以及实验结果的缺乏，而且SMAA是一个非线性系统，其动作品质依赖于输入，所以将众多SMAA的性能加以比较是一件比较困难的事情。因此，有必要提出一个性能指标，对不同SMAA的行为进行量化比较。大多数研究瞄准SMAA的位置控制，关于力控制的数据很少，所以定义分辨率(Resolution)为电机最大位置误差与运动范围的百分比，将文献中的SMAA性能加以比较。现有研究实例综述如表1所示。

参考文献

[1] Takaoka Satoshi, Horikawa Hiroshi, Kobayashi Jyunji and Shimizu Ken'ichi[J]. Applications and development of shape－memory and superelastic alloys in Japan. Materials Science Forum. 2002(394－395):61－68

[2] Johnson. A. D, Martynov. V and Gupta. V. Applications of shape memory alloys: Advantages. disadvantages and limitations. Proceedings of SPIE－The International Society for Optical Engineerign[J]. 2001(4557):341－351

[3] Dai Honma. Yoshiyki Miwa, and Nobuhiro Iguchi. Micro robots and micromechanisms using shape memory alloy[J]. Intergrated Micro Motion Systems, Micro－Machining, Control and Application. The third Toyota Confrence, 1984

[4] K. Kuribayashi. A new actuator of a joint mechanism using Ni Ti alloy wire [J]. The Int. Journal of Robotics Research, 1986(4):89－99

[5] 杨凯，辜承林. 基于内嵌式SMA电机的柔性机械手研制[J]。中国电机工程学报，2002(12):74－80

[6] Danny. Grant, Vincent. Hayward. Design of shape memory alloy actuatro with high strain and variable structure control[J]. Proceeding of 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995(3):344－350.

作者简介：杨凯(1976－)，男，湖北汉川人，博士后，从事形状记忆合金电机及其柔性伺服系统的研究。

(上接第41页)

表1 功率损耗与开关频率关系

开关频率 f(kHz)	功率损耗 P(W)
3	1.9262
4	2.2533
5	3.6231
6	3.8129
7	3.8947
8	4.1388
9	4.5854
10	5.9100
11	6.4171
12	6.8140

表2 功率损耗与栅极电阻阻值关系

栅极电阻 R_G(Ω)	功率损耗 P(W)
20	2.0847
40	2.5028
60	2.8092
80	3.3951
100	3.6231
110	3.9303
120	4.0100
140	4.2391
160	4.5566
180	4.7263

对表2数据分析可知，随着栅极电阻的增大，开关时间增大，功率损耗随之变大。为了降低了开关损耗，在选择栅极电阻时，阻值应尽量小。但同时要考虑功率器件对 dv/dt, dic/dt 的承受能力，以免超出其承受范围，造成损坏。

参考文献

[1] 张立. 黄两一. 电力电子场控器件及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，1995

[2] 苏开才，毛宗源. 现代功率电子技术[M]. 北京：国防工业出版社，1995

[3] 潭浩强. C程序设计[M]. 北京：清华大学出版社，1991

作者简介：曹永娟(1975－)，女，江苏人，硕士研究生，研究方向为电机及控制。