

基于 IGBT 串联运行的动态均压研究

查申森¹, 郑建勇¹, 苏 麟¹, 吴恒荣², 陈 军²

(1. 东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096; 2. 江苏华厦电气集团, 江苏 扬中 212200)

摘要: 绝缘栅双极晶体管 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 串联运行易于实现 IGBT 的扩容, 但同时也带来了不均压的问题。设计了以 L, R 为感性负载的实验电路, 采用仿真软件 PSpice 仿真分析出 IGBT 串联运行时动态不均压原因是吸收电路参数不一致、门极驱动信号延时不同、门极驱动电路参数不一致引起的。并提出了 IGBT 串联运行动态均压措施(选同型号 IGBT、吸收电路参数与结构一致、门极驱动信号同步、门极电路参数一致)。

关键词: 绝缘栅双极晶体管; 串联; 动态均压; 吸收电路

中图分类号: TN 344

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)05-0020-03

绝缘栅双极晶体管 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)综合了电力晶体管 GTR 和电力场效应晶体管 MOSFET 的优点, 具有电压型驱动、驱动功率小、开关速度快、饱和压降低和可耐高电压和大电流等一系列优点^[1], 表现出很好的综合性能, 已成为当前在工业领域应用最广泛的电力电子器件。然而, 在许多高压场合的应用中, 由于其单个器件的耐压等级较低, 导致其使用受到局限。于是人们开始研究 IGBT 的串联运行。在 IGBT 串联运行时, 时常会出现动态不均压的问题, 引起其不均压的因素比较多, 如门槛电压、输入电容、密勒电容及栅极电阻、栅极驱动电压波形等。这些因素共同影响串联 IGBT 开通及关断时间的一致性, 使得直接串联的动态均压复杂化^[2]。串联联接 IGBT 实行均压的目的是为了保证在开通、关断瞬间对每个 IGBT 的过电压保持均衡, 因而要求控制电路的响应是快速的, 不允许产生更多的损耗和降低系统的开关频率, 同时在工程上是经济有效的。可见, 设计有效的动态均压电路有重要意义。

1 IGBT 串联运行动态不均压原因分析

为了分析引起 IGBT 串联运行时的动态不均压的原因, 设计了如图 1 所示实验方案, L 和 R 为感性负载, 运用仿真软件 PSpice 对 2 个串联的 V_{IG1}, V_{IG2} 进行关断时刻的动态仿真实验, 分别验证在吸收电路参数不一致、门极驱动信号延时不同和门极驱动电路参数不一致三种情况下的不均压情况。

1.1 吸收电路参数不一致

仿真实验电路中, C_1, C_2 分别为 V_{IG1}, V_{IG2} 吸收电路中的电容参数。

图 2 示出了仿真结果, 仿真结果表明 2 点。

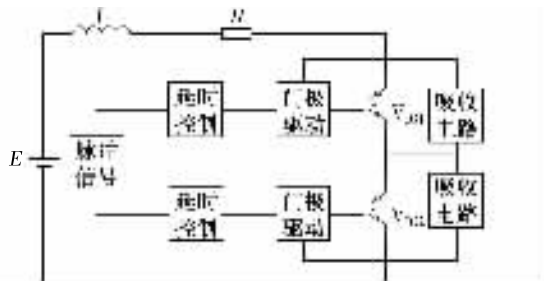
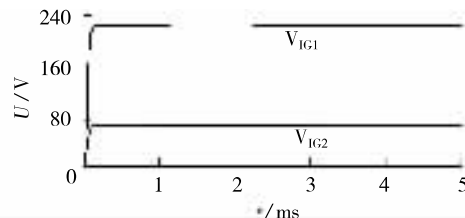
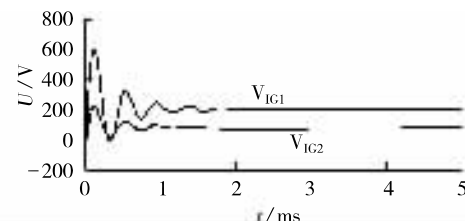


图 1 实验电路原理图

Fig.1 The principle diagram of experimental circuit



(a) $C_1 < C_2, 16 \mu s$ 关断电压波形(阻性负载)



(b) $C_1 < C_2, 16 \mu s$ 关断电压波形(感性负载)

图 2 吸收电路仿真结果

Fig.2 The simulative results of absorption circuit

a. 在 IGBT 关断瞬间, 器件两端的电压上升率 dU/dt 主要取决于吸收电路中吸收电容 C 的大小。吸收电容越大, 器件关断瞬间端电压上升越慢, 即 dU/dt 越小; 相反, 吸收电容越小, 器件关断瞬间端电压上升越快, dU/dt 越大, 容易造成过冲电压和器件静态不均压, 通过仿真可发现, 吸收电容小的器件在静态时电压较高, 容易对器件产生损害, 反之亦然。

b. 吸收电容的大小对 IGBT 开通时的特性几乎没有影响。

1.2 门极驱动信号延时不同

图 3 示出了仿真结果。

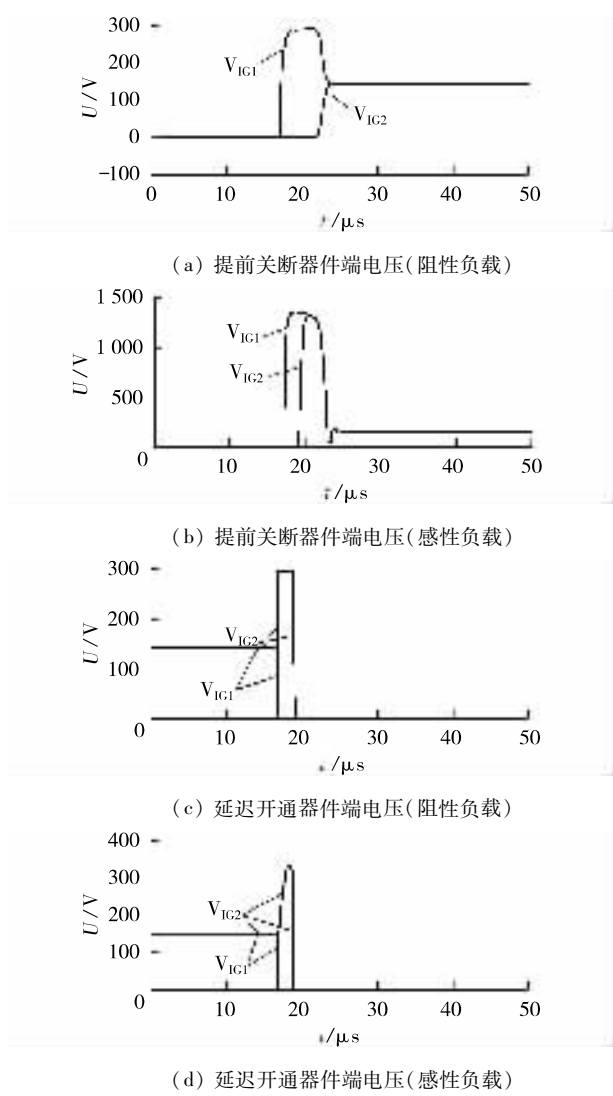


图 3 门极驱动信号仿真结果

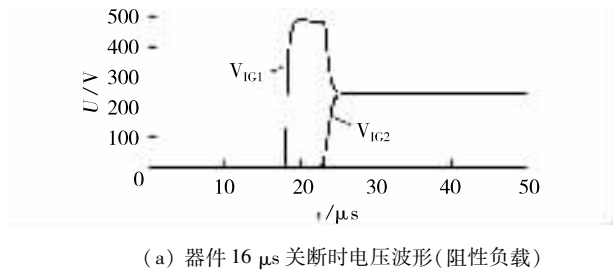
Fig.3 The simulative results of gate driving signals

图 3 仿真结果表明:串联 IGBT 门极信号的延迟会引起电压的不平衡。

- a.** 在延迟开通的器件上会产生电压尖峰。
- b.** 在提前关断的器件上会产生过电压。

1.3 门极驱动电路参数不一致

仿真时设定 $R_{g1} < R_{g2}$ (R_{g1}, R_{g2} 分别为 V_{IG1}, V_{IG2} 的门极电阻)。图 4 示出了仿真结果。



(a) 器件 16 μ s 关断时电压波形(阻性负载)

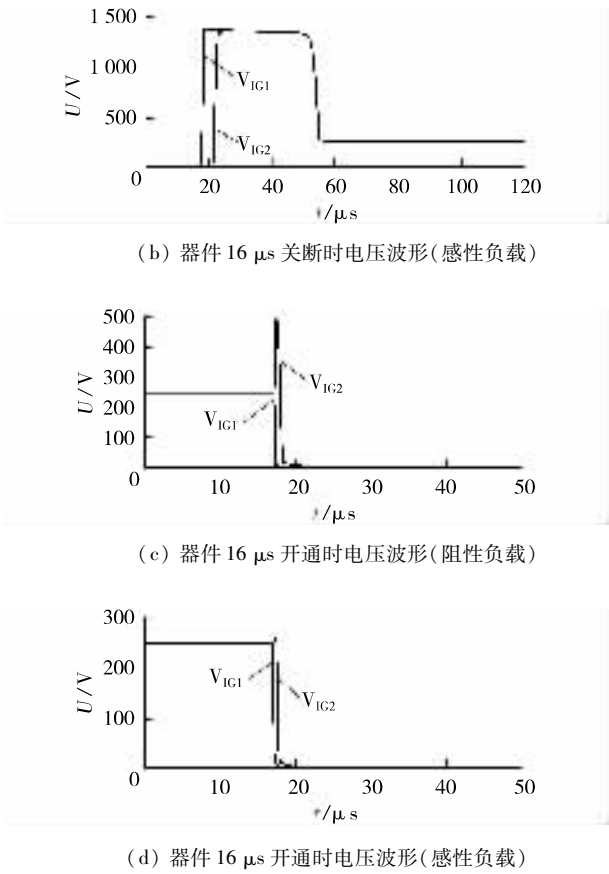


图 4 门极驱动电路仿真结果

Fig.4 The simulative results of gate driving circuit

图 4 仿真结果表明:串联 IGBT 的门极驱动电路参数的不一致也会引起电压的不平衡。门极电阻大的 IGBT 在开通瞬间会产生电压尖峰,门极电阻的不同会导致串联的 IGBT 在关断瞬间出现过电压失衡。

此外,IGBT 型号和引线电感的不一致,都会导致不同的开关特性和电压尖峰^[3,4]。

2 IGBT 串联运行动态均压措施

受上面的仿真实验启发,提出 IGBT 串联动态均压的 5 条措施。

- a.** 选用相同型号的 IGBT。
- b.** 选择合适的吸收电路;吸收电路参数和结构应保持一致。
- c.** 门极驱动信号保持同步。
- d.** 门极电路参数应保持一致。
- e.** 本文实验建立在 2 个 IGBT 串联基础上,故这里重点讨论二级串联的动态均压措施,图 5 为动态均压电路图^[5,6]。

图 5 中: R, L 为负载; $V_{D3} \sim V_{D6}$ 分别为 $V_{IG1} \sim V_{IG4}$ 的续流二极管; $C_1, R_3, V_{D5}, V_{IG3}$ 及门极驱动电路组成 V_{IG1} 的吸收电路^[7]; $C_2, R_4, V_{D6}, V_{IG4}$ 及门极驱动电路组成 V_{IG2} 的吸收电路; V_{IG3}, V_{IG4} 的门极驱动电路参数、驱动信号延迟应分别与 V_{IG1}, V_{IG2} 保持一致。

这种吸收电路的优点是:吸收电容 C_1 和 C_2 能够

