

高耐压、低损耗SiC混合模块的开发

邓隐北, 张慧敏 编译

河南汇德电气有限公司

摘要: 作为有利于节能的逆变器所用的功率器件, 富士电机公司已开发出高耐压低损耗的SiC混合模块。该混合模块采用了SiC-SBD芯片和最新第6代「V系列」IGBT芯片, 并确认在300A的产品中, 与原来Si模块比较, 产生的损耗约下降25%, 由于高耐压SiC混合模块器件本身损耗的大幅度降低, 这对逆变器的高效率化极为有利。

关键词: SiC混合模块, 功率器件, 续流二极管(FWD), 逆变器, 开关特性, 损耗

中图分类号: TM5 文献标识码: A 文章编号: 1606-7517(2016)09-5-154

1 前言

近年来, 为防止地球环境的升温, 到目前为止, 一直都在要求削减CO₂等温室效应气体。作为削减方式之一是广泛利用电力电子(PE)设备的节能化, 其中重要的一项是组成逆变器的功率器件, 通过电路、控制等的技术革新, 使得逆变器的高效率化。典型的IGBT模块就是迫切要求低损耗的功率器件, 但迄今一直采用Si的IGBT芯片和续流二极管芯片, 而Si器件的性能正接近基本物理性能的理论极限。因此, 具有超越Si极限的耐热性和高的击穿电场强度的SiC器件, 真正可望实现装置的高效率化和小型化。

本文对这次系列化的1200V耐压SiC混合模块(2并1组件), 以及配置于「M₂₇₇组件」的1700V耐压SiC混合模块(690V输入逆变器用)等有关技术予以阐述。

2 产品的组成

富士电机公司的SiC混合模块系列如表1所列。迄今为止, 使用200V系的600V耐压SiC-SBD(肖特基二极管)和400V系的1200V耐压SiC-SBD的EP组件和PC组件的混合模块, 以及使用690V系的1700V耐压SiC-SBD 2并1(2 in 1)组件的混合模块, 都正在实现产品化。使用这些混合模块的装置中, 对比原来的Si-IGBT模块, 产生的损耗约减少25%。

对于这次系列化的1200V耐压SiC混合模块的组件, 已经采用与Si模块相同的2并1组件(图1)。由于采用了加上原来EP组件和PC组件、现正广泛普及的2并1组

表1: SiC混合模块系列

用途	组成	组件
200V系	600V耐压SiC-SBD+ V系列IGBT	EP组件与PC 组件
400V系	1200V耐压SiC-SBD+ V系列IGBT	
400V系	1200V耐压SiC-SBD+ V系列IGBT	2并1组件
690V系	1700V耐压SiC-SBD+ V系列IGBT	2并2组件

件, 故能容易更换原来的Si模块。对于FWD, 是与独立行政法人、产业技术综合研究所共同开发的, 使用了富士电机已批量生产的SiC-SBD芯片; 对于IGBT, 采用了富士电机最新第6代「V系列」IGBT芯片。在300A的产品中, 与原来的Si模块比较, 已确认产生的损耗约降低25%。

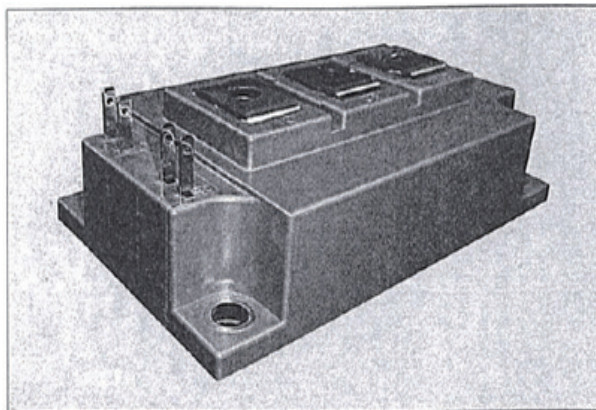


图1: SiC混合模块(2并1组件)

3 特性

3.1 FWD 的顺方向特性

图 2 所示为 SiC 混合模块与 Si 模块的 FWD 顺方向特性。在结点 (junction) 温度 25℃ 下, 额定电流 300A 时的混合模块顺方向电压 V_F , 与 Si 模块的 V_F 是相等的。在 125℃ 下的 V_F , 与 Si 模块的比较, SiC 混合模块的 V_F 高。这是因为如下节 (3.2) 所述的总损耗, 在 SiC 混合模块中总损耗小之故。

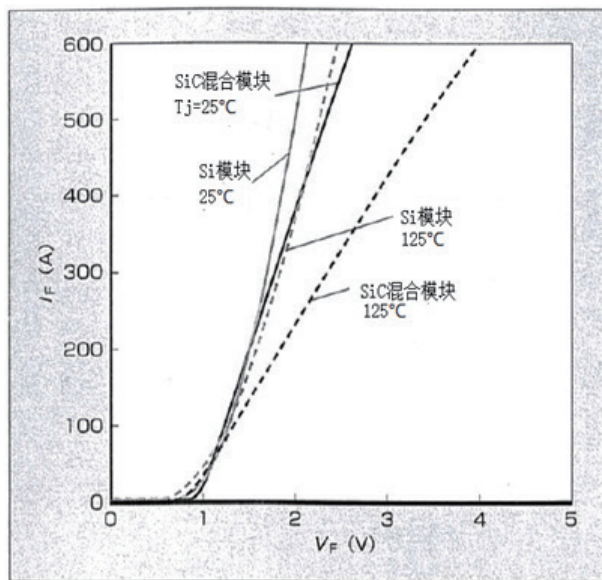


图 2：FWD 之顺方向特性

3.2 开关损耗

图 3 所示为 SiC 混合模块与 Si 模块的开关损耗对比。SiC 混合模块的接通损耗 E_{on} 比 Si 模块约小 35%；逆回复损耗 E_{rr} 基本为零；断开损耗 E_{off} , SiC 混合模块与 Si 模块几乎没有差别。

(1) 接通波形 图 4 所示为接通波形的比较。SiC-SBD 的逆回复峰值电流, 影响到对置支路侧的 IGBT 接通电流, SiC 混合模块的 E_{on} 比 Si 模块的约小 35%。

(2) 断开波形 图 5 所示为断开波形的比较。SiC-SBD 与 Si-FWD 比较, 因为漂移 (drift) 层的阻抗非常低, 过渡接通电压降低。因而, SiC 混合模块中断开时的涌浪电压降低能得到抑制。

(3) 逆回复波形 图 6 所示为逆回复波形的比较。SiC 混合模块几乎无逆回复电流, E_{rr} 基本为零。这是因为 SiC-SBD 为单极性器件, 不会引起少数载流子的注入之故。

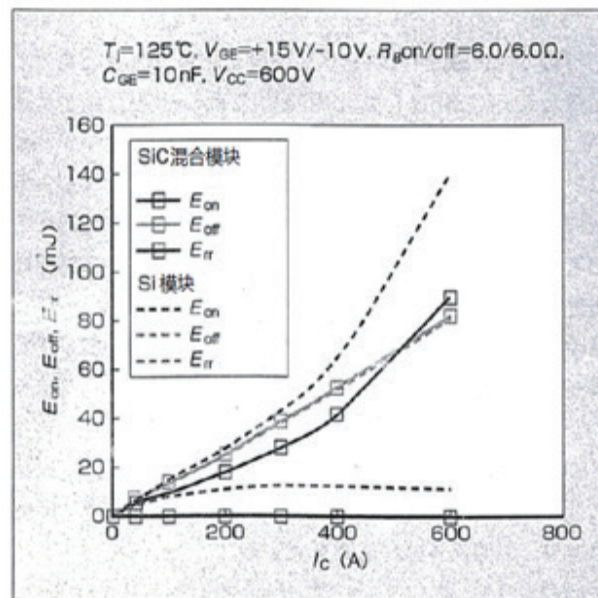


图 3：开关损耗

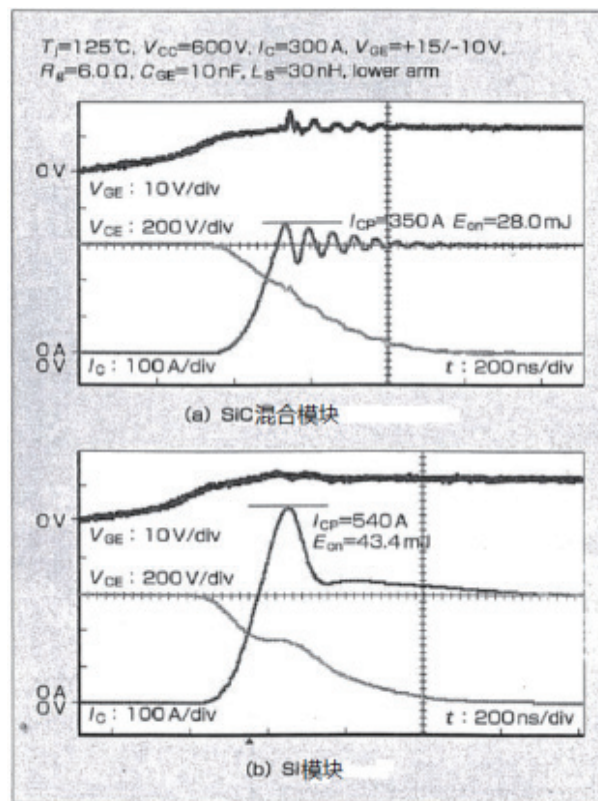


图 4：接通波形

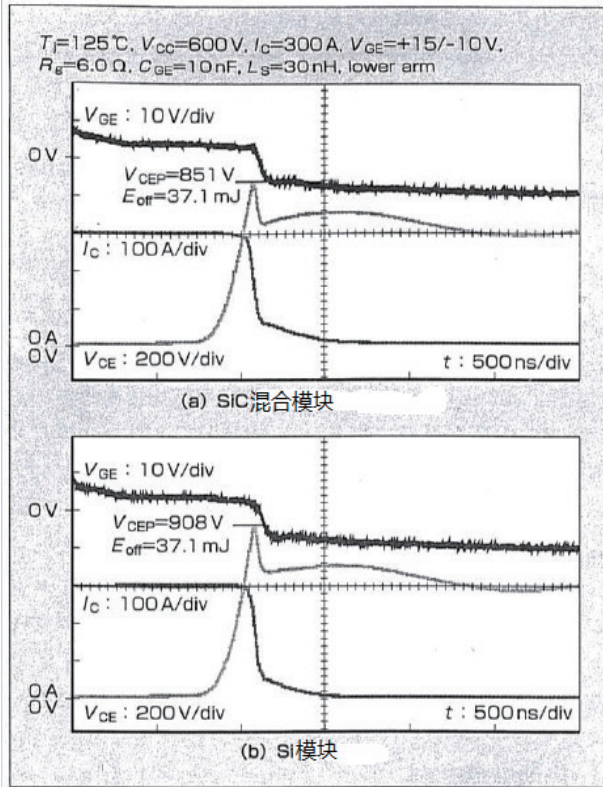


图5：断开波形

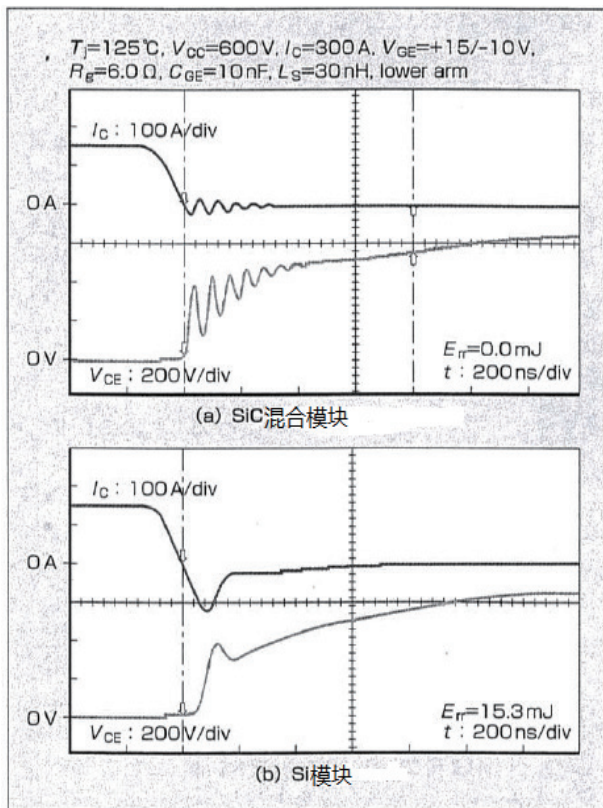


图6：逆回复波形

3.3 负荷短路评价

图7所示为SiC混合模块的Tj在-40~+125℃时的负荷短路波形。已经确认，从低温到高温的范围内没有问题。

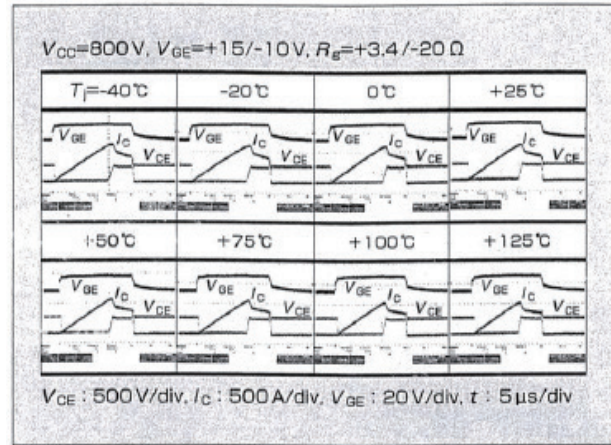


图7：负荷短路波形

3.4 逆变器产生的损耗

如图8所示，使用SiC混合模块的逆变器，其产生的损耗比使用Si模块时产生的损耗，减小12~28%。载波频率越高，减小率越大。因而，SiC混合模块在高频操作时更有利。

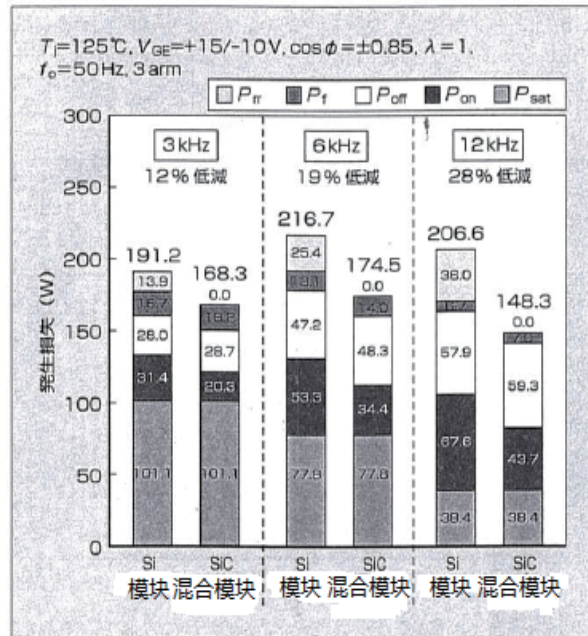


图8：逆变器产生的损耗

4 1700v 耐压 SiC 混合模块的特点

「M₂₇₇ 组件」的外观与外形图如图 9 所示。由于能容易更换原来的 Si 模块，采用了与 Si 模块等同的「M₂₇₇ 组件」，并配置了富士电机公司现正进行批量生产的 1700V 耐压 SiC-SBD 芯片和第 6 代「V 系列」IGBT 芯片。SiC-SBD，与迄今使用的 Si 二极管比较，具有低的阻抗和优良的开关特性。而且，由于能带间隙 (band gap) 宽，热激励的载流子 (carrier) 非常少，不易受到温度的影响。因而，可以高温操作。图 10 所示为产生总损耗的模拟结果。载波频率 f_c 在 2KHZ 时，SiC 混合模块的损耗比 Si 模块的约降低 26%。此外，SiC 混合模块在 f_c 处于高频端的损耗比 Si 模块的低，故在高频操作下是有利的。

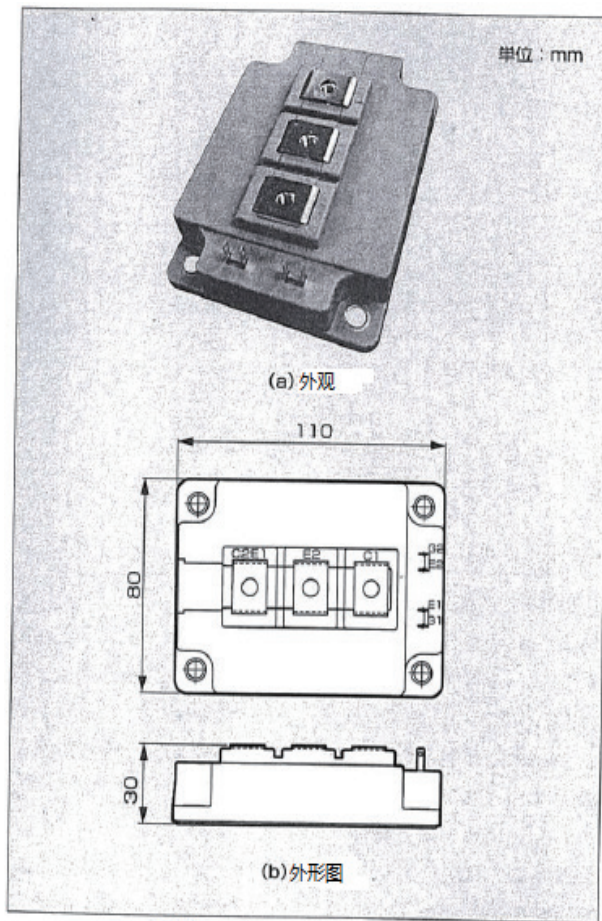


图9：「M₂₇₇组件」

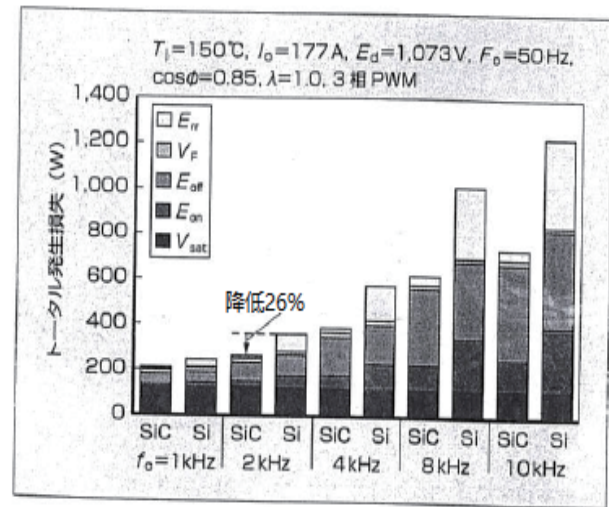


图10：产生总损耗的模拟结果

5 1700 耐压 SiC 混合模块的开关特性

(1) 逆回复损耗特性 图 11 所示为 SiC 混合模块与 Si 模块在 400A 产品中的逆回复损耗。SiC 混合模块，几乎没有逆回复的峰值电流，这是因为 SiC-SBD 是单极性器件，不会引起少数载流子的注入之故。与 Si 模块比较，400A 产品的逆回复损耗约降低 91%。

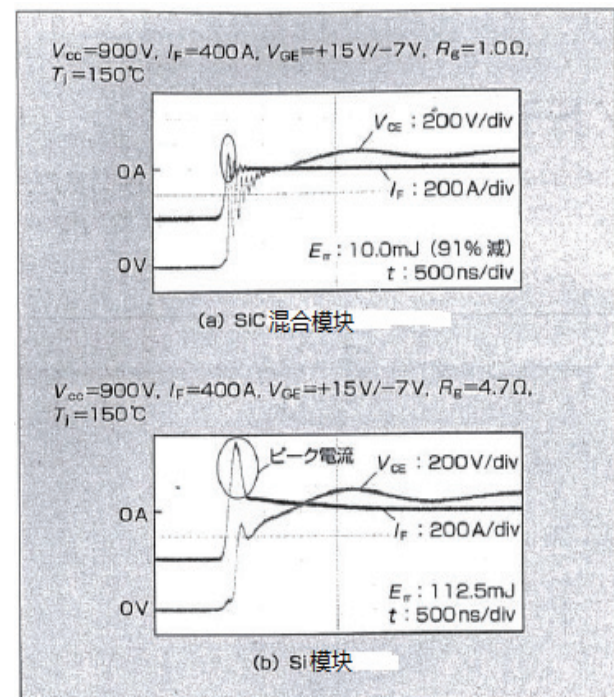


图11：逆回复波形

(2) 接通损耗特性 图12所示为SiC混合模块与Si模块在400A产品中的接通波形。SiC混合模块,因SiC-SBD的逆回复峰值电流影响到对置支路侧的IGBT接通电流,故接通损耗降低。与逆回复波形同样的接通峰值电流几乎没有,400A产品的接通损耗比Si模块的约降低58%。

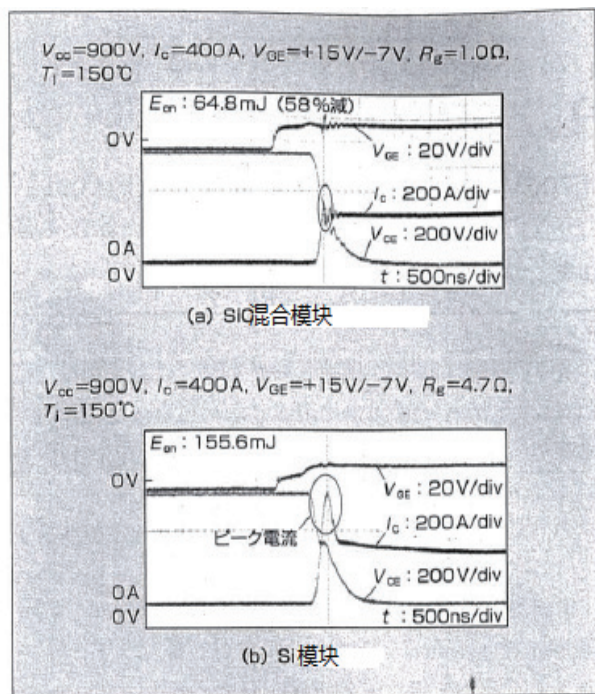


图12：接通波形

6 结束语

本文,对与独立行政法人、产业技术综合研究所共同开发的SiC-SBD和富士电机公司最新Si-IGBT第6代「V系列」,同时应用于SiC混合模块中的有关技术进行了介绍。本产品由于器件本身损耗的大幅度降低,被认为这对逆变器的高效率化很有利。今后,促进耐压、电流容量、组件的系列化,满足市场需求的同时,还要推广应用SiC芯片产品,通过电力电子(PE)设备的节能降损,对防止地球环境的升温做出贡献。

参考文献

- [1] 小林 邦雄 北村 祥司 安达 和哉 1,200V Withstand Voltage SiC Hybrid Module 《富士电机技报》2014vol.87no.4 P240-242
- [2] 牛岛 太郎 1,700V Withstand Voltage SiC Hybrid Module 《富士电机技报》2014vol.87no.4 P277-278