

SiC Combo JFET 技术概览

AND90336/D

范围

安森美 (onsemi) 推出了具有卓越 $R_{DS(on)}$ 性能的 SiC JFET。该器件特别适用于需要大电流处理能力和较低开关速度的应用, 如固态断路器和 大电流开关系统。得益于碳化硅 (SiC) 优异的材料特性和 JFET 的高效结构, 可实现更低的导通电阻和更佳的热性能, 非常适合需要多个器件并联以高效管理大电流负载的应用场景。

对于需要常关器件的应用, 可以将 低压硅 (Si) MOSFET 与常开碳化硅 (SiC) JFET 串联使用, 以创建共源共栅 (cascode) 结构。在这种设置中, SiC JFET 负责处理高电压, 而 Si MOSFET 提供常关功能。这种组合充分利用了 SiC JFET 的高性能以及 Si MOSFET 易于控制的优点。

安森美 Combo JFET 将一个 SiC JFET 和一个 低压 Si MOSFET 集成到一个封装中, 在满足小尺寸需求的同时, 还具有高性能的常关特性。此外, 通过各种栅极驱动配置, 该 Combo JFET 还提供了诸如与具有 5 V 阈值的硅器件的栅极驱动兼容性、更高可靠性和简化速度控制等优势。

本文档提供了安森美 SiC Combo JFET 的技术概述信息, 涵盖静态和动态性能。本应用笔记还提供了仿真工具、装配指南、热特性、可靠性和合格性文档的相关链接。

资源和参考

- [1] JFET 入门: [AND90329](#)
- [2] JFET 用户指南: [UM70113/D](#)
- [3] [安森美 SiC 电源解决方案中心](#)

表 1. COMBO JFET 产品清单

| Part Number | $R_{DS(on)}$ | Package | Voltage Level |
|----------------|---------------|----------|---------------|
| UG4SC075006K4S | 6 m Ω | TO-247-4 | 750 V |
| UG4SC075005L8S | 5 m Ω | TOLL | 750 V |
| UG4SC075009K4S | 9 m Ω | TO-247-4 | 750 V |
| UG4SC075011K4S | 11 m Ω | TO-247-4 | 750 V |
| UG3SC120009K4S | 9 m Ω | TO-247-4 | 1200 V |

产品介绍

Combo JFET 将一个 SiC JFET 和一个 低压 Si MOSFET 集成到一个封装中, SiC JFET 和 低压 MOSFET 的栅极均可使用。

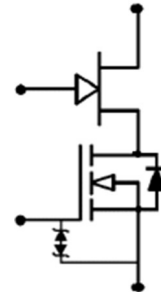


图 1. Combo JFET 结构

由于 JFET 和 低压 MOSFET 栅极均可使用, Combo JFET 具有多种优势。这些优势包括过驱动 (overdrive) 时 $R_{DS(on)}$ 降低, 通过外部 cascode 简化栅极驱动电路, 通过 JFET 栅极电阻调节开关速度, 以及通过测量栅极-源极压降来监测 JFET 结温。

安森美 SiC Combo JFET 产品系列

表 1 和图 2 显示了 Combo JFET 产品和可用封装。

AND90336/D

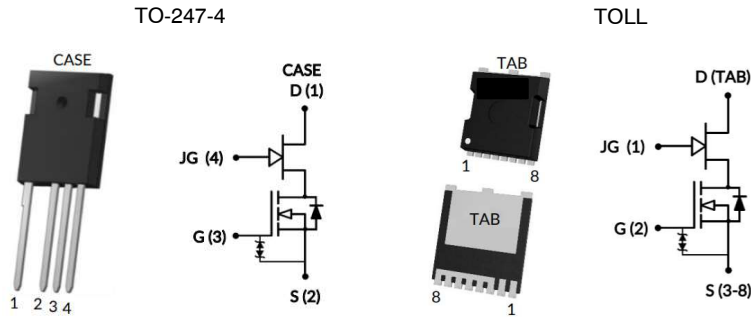


图 2. Combo JFET 封装和原理图

安森美 SiC Combo JFET 器件的特性和优势

表 2 总结了 安森美 SiC Combo JFET 器件的特性和优势。

表 2. 安森美 SiC COMBO JFET 的特性和优势

| 产品特性 | 优势 |
|-------------------|------------------|
| 低 $R_{DS(on)}$ | 低损耗 |
| 峰值电流 (I_{DM}) | 大电流穿越能力 |
| 低 $R_{\theta JC}$ | T_J 低, 使用寿命更长 |
| 速度可控性 | 电路保护和多路并联应用的理想选择 |
| 结构简单 | 使用寿命长, 无参数偏移 |

本节评估的静态特性包括 $R_{DS(on)}$ 、峰值电流 (I_{DM})、 $R_{\theta JC}$ (从结点到外壳的热阻)。对于电路保护和多路并联应用, dv/dt 可控性至关重要。以 750 V 5 mΩ TOLL 封装 (UG4SC075005L8S) 器件为例, 评估其静态特性和动态特性。

静态特性

如表 3 所示, 安森美先进的 SiC JFET 技术在市场上实现了卓越的电气性能和热性能。

表 3. 安森美 COMBO JFET 主要参数

| Specs | 值 |
|--|---|
| 器件型号 | UG4SC075005L8S |
| I_D | 120 A ($T_C = 144\text{ }^\circ\text{C}$) |
| I_{DM} ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$) | 588 A |
| V_{DS} (max) | 750 V |
| JFET $V_{GS} \geq 2\text{ V}$, $25\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下, $R_{DS(on)}$ 阻值 | 5.0 mΩ |
| JFET $V_{GS} \geq 2\text{ V}$, $125\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下, $R_{DS(on)}$ 阻值 | 8.3 mΩ |
| $R_{\theta JC}$ (max) | 0.13 $^\circ\text{C/W}$ |

安森美 Combo JFET 具有低 $R_{DS(on)}$ 、高 I_{DM} 和低热阻特性。

低 $R_{DS(on)}$: 安森美 Combo JFET 器件采用 SiC JFET 技术, 单位面积 $R_{DS(on)}$ 显著降低 ($R_{ds,A}$)。如图 1 所示, 该器件采用灵活、可从外部配置的 cascode 结构 (SiC Combo-FET) 来实现常关操作。在 安森美 SiC Combo JFET 结构中, 低电压 Si MOSFET 对总 $R_{DS(on)}$ 的贡献不到 10%。

图 3 显示了 TOLL 封装中 $R_{DS(on)}$ 的对比。

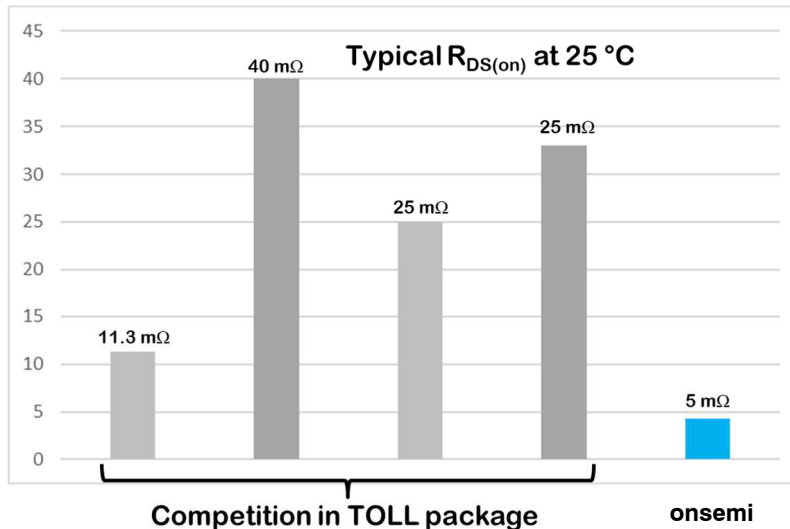


图 3. TOLL 封装的 $R_{DS(on)}$ 的对比

更高的 I_{DM} : 峰值电流对于电路保护应用至关重要, 而高 I_{DM} SiC Combo JFET 正是实现这一目的的理想选

择。电路保护应用因其特定的工作条件而要求稳健性和大电流穿越能力。

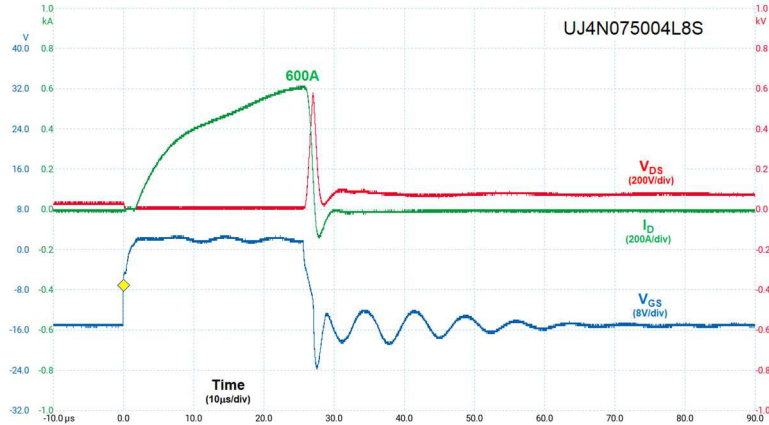


图 4. 采用 Combo JFET 封装的 JFET 的 I_{DM}

低 $R_{\theta JC}$: 安森美的 SiC Combo JFET 采用银烧结裸片贴装技术, 与大多数焊接材料相比, 界面导热性能提高了六倍, 从而在更小的裸片尺寸下实现相同甚至更低的结至外壳热阻 ($R_{\theta JC}$)。低 $R_{\theta JC}$ 有助于保持较低的结温, 并确保更高的可靠性。

动态特性

通过调整 Combo JFET 配置中的 JFET 栅极电阻, 可实现出色的速度可控性, 从而带来以下优势:

- 通过降低关断速度来减少电压过冲, 可加强电路保护, 尤其是短路保护。
- 易于并联, 在开关损耗和动态电流平衡之间实现了出色的权衡。

功率循环

功率器件的可靠性及寿命评估对于提高系统可靠性和延长使用寿命至关重要, 尤其是对于新兴的宽禁带 (WBG) 半导体 (如 SiC、GaN 等) 而言。功率器件的主要失效模式与热机械疲劳 (TMF) 有关。功率热循环测试是一种加速测试方法, 被测器件 (DUT) 频繁地开关, 使其结温以一种受控的方式循环变化。这种方法通过施加热机械应力来评估封装 (接线、裸片贴装等) 的可靠性。同时, 它也对半导体裸片和封装元器件 (接线、引线等) 施加电应力, 相比被动温度循环测试, 能更准确地模拟实际应用中遇到的温度梯度变化。

在堆叠结构中, Si MOSFET 位于 SiC JFET 之上, 电源线连接到 Si MOSFET 的源极金属化层。由于硅的硬度低于碳化硅, 在功率循环过程中产生的热机械应力显著减少, 从而使功率循环寿命延长至原来的 2 倍。此外, 无论是从 Si MOSFET 到 SiC JFET, 还是从 SiC JFET 到散热焊盘, 都采用了银烧结裸片贴装 (silver sinter die-attach) 技术, 相比现今广泛使用的焊接裸片贴装 (solder die-attach, 常见于 SiC 分立器件), 进一步增强了可靠性。关于 Si 与 SiC 功率循环性能的更多信息, 请参考以下出版物: *F. Hoffmann, N. Kaminski 和 S. Schmitt 的《不同温度波动范围下无基板模块封装中硅与碳化硅功率器件功率循环性能对比研究》(Comparison of the Power Cycling Performance of Silicon and Silicon Carbide Power Devices in a Baseplate Less Module Package at Different Temperature Swings)*, 发表于 2021 年在名古屋, 日本举行的第 33 届国际电力半导体器件和集成电路研讨会 (ISPSD), 2021, pp. 175–178, doi: 10.23919/ISPSD50666.2021.9452242。

栅极控制方法

用于固态断路器的 Combo JFET 有两种主要控制方法: 准 cascode 驱动模式和直接驱动模式。

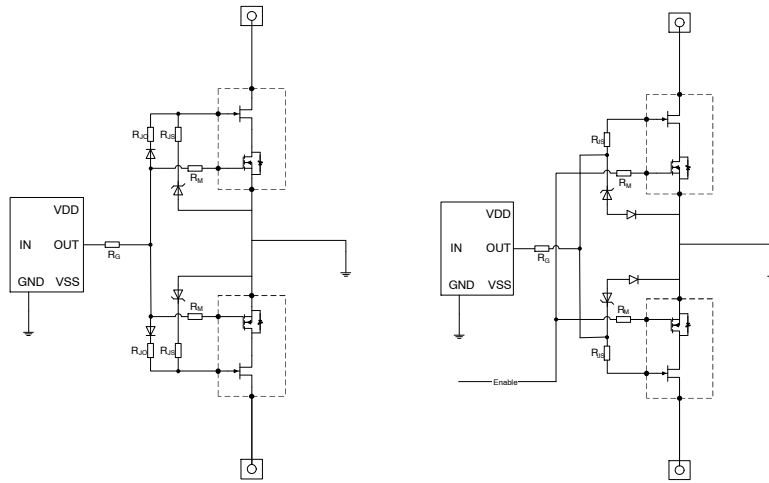


图 5. Combo JFET 驱动模式: 准 Cascode 驱动模式 (左) 和直接驱动模式 (右)

对于大功率开关模式应用, 除了图 5 所示的上述两种控制方法外, 我们还开发并推荐使用 ClampDRIVE。

或者采用最简单的栅极控制方法, 用单个 JFET 栅极电阻来调整其开关速度, 详见图 6。

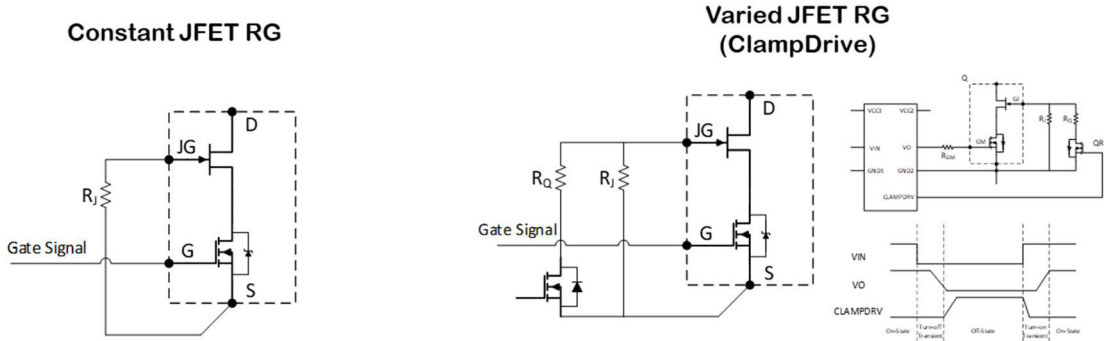


图 6. 开关模式应用中 Combo JFET 的控制方法 (左: 恒定 JFET 栅极电阻, 右: ClampDRIVE)

结语

安森美 SiC Combo JFET 具有极低 $R_{DS(on)}$ 和可控开关速度, 可为断路器和大功率低开关速度应用实现卓越的效率和功率密度。它还具有与硅器件相当的功率

循环性能 (可靠性和使用寿命), 比 SiC MOSFET 高出 2 倍以上。

AND90336/D

可用的评估板

安森美提供两种评估板以支持客户评估 Combo JFET器件, 一种用于断路器应用 (共源极), 另一种用于

大功率开关模式应用 (半桥)。评估板通过安森美销售渠道提供。图 7 和图 8 显示了 Combo JFET 断路器和半桥开关模式评估板的图片。

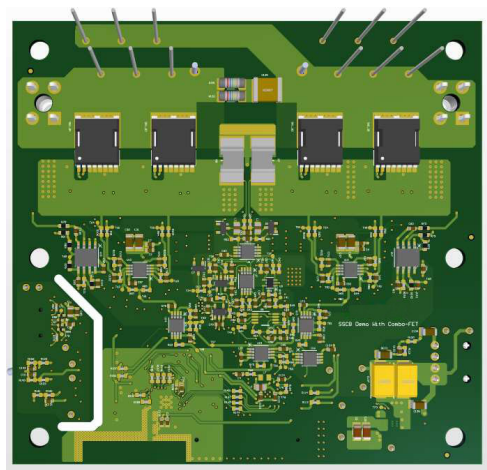
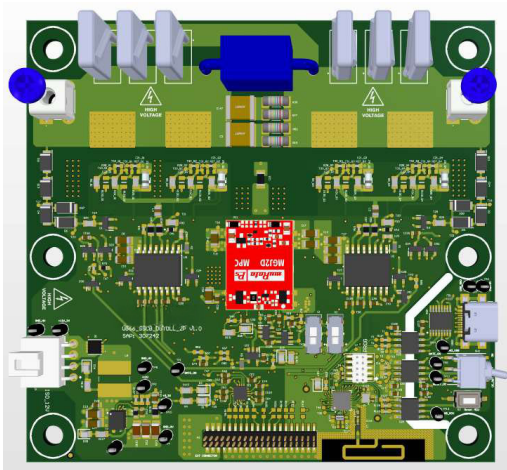


图 7. 用于断路器应用的评估板 (共源极)

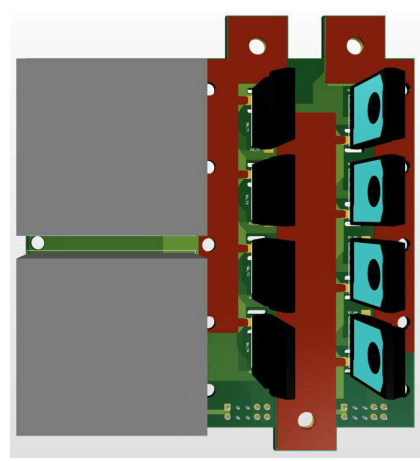
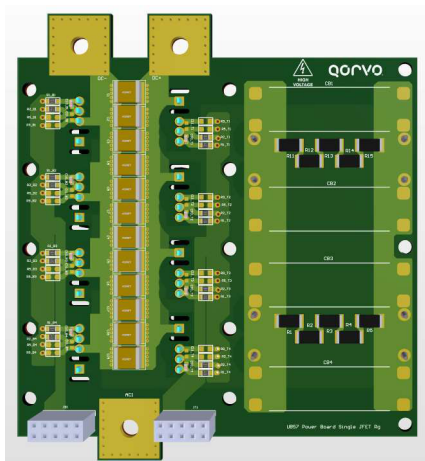


图 8. 用于大功率开关模式应用的评估板 (半桥)

AND90336/D

修订历史

| 修订 | 变更说明 | 日期 |
|----|-------|-----------|
| 3 | 新增中文版 | 6/17/2025 |

All brand names and product names appearing in this document are registered trademarks or trademarks of their respective holders.

onsemi, Onsemi, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba "**onsemi**" or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. **onsemi** owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of **onsemi**'s product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. **onsemi** reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided "as-is" and **onsemi** makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does **onsemi** assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using **onsemi** products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by **onsemi**. "Typical" parameters which may be provided in **onsemi** data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. **onsemi** does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. **onsemi** products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use **onsemi** products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold **onsemi** and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that **onsemi** was negligent regarding the design or manufacture of the part. **onsemi** is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

ADDITIONAL INFORMATION

TECHNICAL PUBLICATIONS:
Technical Library: www.onsemi.com/design/resources/technical-documentation
onsemi Website: www.onsemi.com

ONLINE SUPPORT: www.onsemi.com/support
For additional information, please contact your local Sales Representative at www.onsemi.com/support/sales