

三安 1200V 75mΩ SiC MOSFET 在 OBC 中的应用

车载电源系统的高效、高功率密度设计

AN2025-D02 应用文档



作者：三安半导体 应用工程师 杨威、黄俊添、姚晨

随着纯电动汽车市场份额的不断增加，动力电池的装机容量也在不断增加。拥有足够电池容量的电动汽车将有可能充当储能系统，实现各种车到其他用电设备的供电场景，比如车辆到家庭、车辆到电网和车辆到车辆充电等，因此 OBC 正在从单向拓扑向双向拓扑转变，越来越多的电动汽车采用双向 OBC。消费者对大容量电池更快的充电时间提出了新的需求，这种需求也促使电池的工作电压逐步从 400V_{DC} 增加到 800V_{DC}，甚至更高的充电电压。面对双向 OBC 和输出高压平台的市场需求，车载 OBC 设计需要更高的功率密度和高转换效率，以充分利用有限可用的整车空间并最小化体积和重量。传统的 Si 基 MOSFET 器件的耐压难以满足高压输出平台 OBC 的设计要求，Si 基 IGBT 器件由于开关损耗较高的原因使得整机效率也难以进一步提升，不利于整机功率密度的提升。第三代功率半导体的典型代表 SiC 器件因高禁带宽度、高电导率、高导热率、低导通损耗、更高的开关频率等特性，满足了市场对 OBC 高压充电、高功率密度、高效率等性能需求，并将逐步取代 Si 基 MOSFET、超级结 MOSFET 与 Si 基 IGBT，成为 OBC 系统优化的首选核心器件。

面对 OBC 系统的发展趋势以及市场的需求，三安半导体针对性的设计研发的新型第三代 SiC 功率器件 1200V/75mΩ SiC MOSFET (AMS1200075M)，封装为 TO247-4L 如图 1，采用开尔文源极设计，有效减小实际使用过程中其它电路以及寄生参数对驱动的干扰，降低炸管风险；栅极(Gate)、漏极 (Drain)、源极 (Source) PIN 脚如图 2 所示。AMS1200075M 满足车规级要求，其持续导通电流最大达到 41A；1200V 的耐压能力可直接支持 800V_{DC} 的电池系统，降低高压传输电流，减小线缆成本以及能量损耗。与市场上同规格的其它 SiC 产品相比，具有更低的导通电阻 $R_{DS(on)}$ 、更少的开关电荷损耗 E_{oss} 等优点。AMS1200075M 有助于 OBC 产品往高效率、高集成度、高功率密度、低成本方向快速推进。



图 1 AMS1200075M

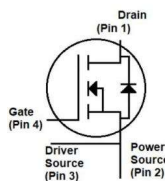


图 2 TO247-4L



为了更好的验证 AMS1200075M 在实际应用场景中的整体表现, 全面评估 AMS1200075M 的电气性能。三安半导体经过调研 OBC 市场, 自主设计了 SiC 器件电气性能验证平台 6.6kW 功率等级的 OBC Demo 板。Demo 测试板采用目前市场上 OBC 主流电路拓扑结构, 前级采用两相交错无桥图腾柱 PFC, 后级采用输出同步整流 CLLC 结构。整机拓扑结构如图 3。Demo 采用的 CLLC 拓扑兼容双向 OBC 的开发测试。Demo 测试系统设计的 SiC 驱动电路具有 DESAT 短路保护、CLAMP 米勒钳位、低延时、高隔离电压、低驱动回路杂感、高 CMTI 等优点。为了兼容不同设计平台 SiC 器件驱动电压的差异, 驱动电路采用了驱动正压、负压可调的电路设计, 便于匹配不同驱动电压规格的 SiC 器件的评估。

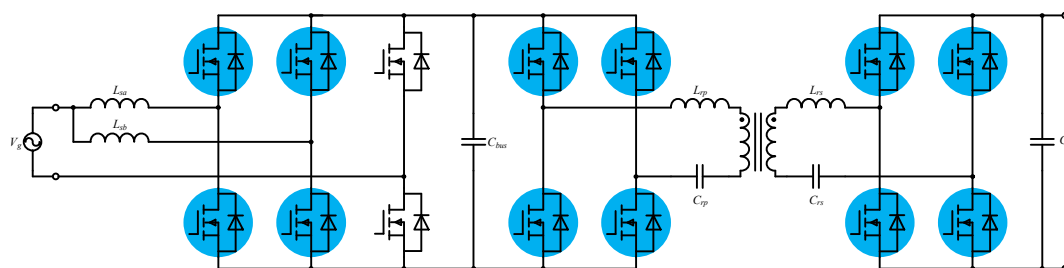


图 3 OBC Demo 拓扑结构

为了方便、直观的评估 SiC 器件电压应力、温升等电性, Demo 板并没有沿用 OBC 传统的布局和外形结构, 而是采用散热器在 PCB 板顶部和底部对称结构。SiC 器件可以依据测试需求安装在 PCB 的顶部或者底部。同时, 这种结构设计方便采用 SiC 器件塑封外壳“开窗”, 用热成像仪直接测量器件在实际功率系统中的工作结温。得益于 SiC 器件高工作频率特性, Demo 测试板采用了体积更小的 PFC 电感和功率变压器, 提高了系统的功率密度。AMS1200075M 优异的导通电阻特性、更小的结电容, 相比 Si 基 MOSFET, 开关损耗和导通损耗都有显著降低, 降低了 Demo 散热器设计难度, 整机的可靠性得到提升。整机设计 3D 结构图如图 4。

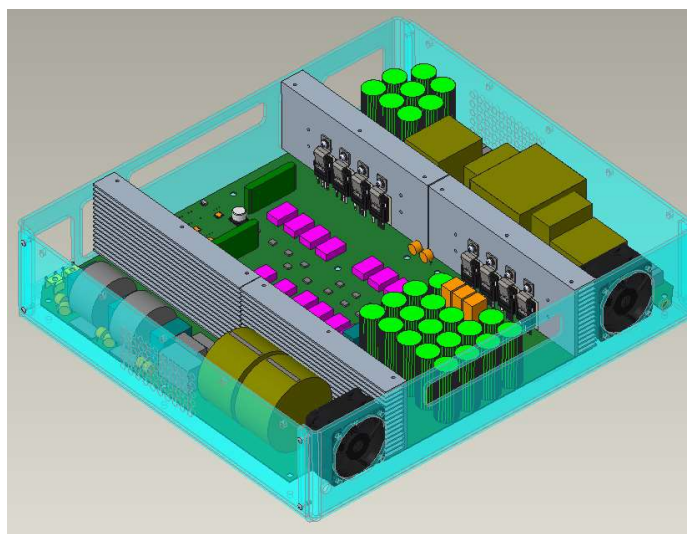


图 4 OBC 3D 结构图



为了更准确、快速评测 SiC 器件在 OBC 系统中的整体性能，三安半导体开发了满足包含 OBC、DC/DC、逆变电源等不同终端应用场景的综合测试平台。利用此综合测试平台，可以测试 OBC 系统的整机效率、温升、电压纹波、电流纹波、功率循环等电气特性测试，并自动提取测试数据。

6.6kW 的 OBC Demo 设计输入电压为单相 $180V_{AC} \sim 240V_{AC}$ ，输出电压 $650V_{DC} \sim 850V_{DC}$ ，最大输出功率 6.6kW，采用风冷散热方式。利用三安综合功率测试系统对 SiC OBC Demo 进行了全面系统的测试评估。图 5 展示了测试 Demo 在直流输入 $230V_{AC}$ ，输出电压分别为 $650V_{DC}$ 、 $750V_{DC}$ 和 $850V_{DC}$ 条件下，不同输出功率对应的效率变化曲线。其中输出 $650V_{DC}$ ，整机效率达 96.47%；输出 $750V_{DC}$ 下，整机效率最高达 96.11%；输出 $850V_{DC}$ 下最高效率达 95.9%。图 6 所示为满载 6.6kW 功率输出时，不同输出电压对应的整机效率变化情况。由图中效率曲线可知，随着输出电压的提升，因输出整流采用同步整流方式，设置同步整流开启条件的差异，整机的效率略有不同。与 Si 基功率器件相比，基于 SiC 功率器件的 OBC 设计方案可以采用无桥图腾柱 PFC，整机效率明显提升。

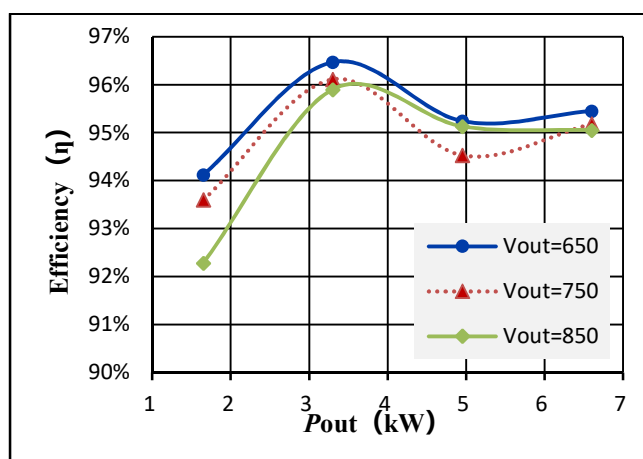


图 5 不同输出功率对应的效率曲线

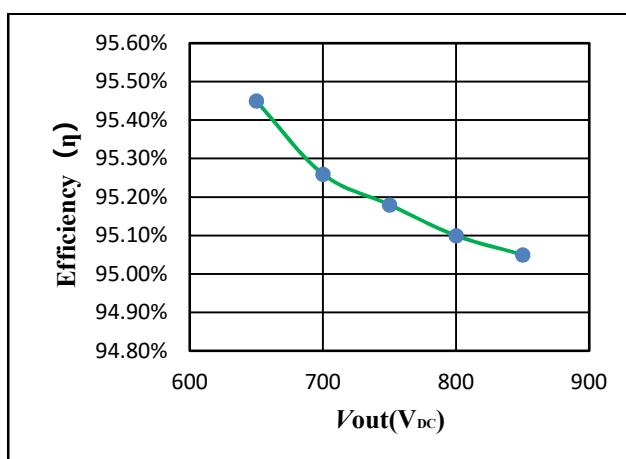
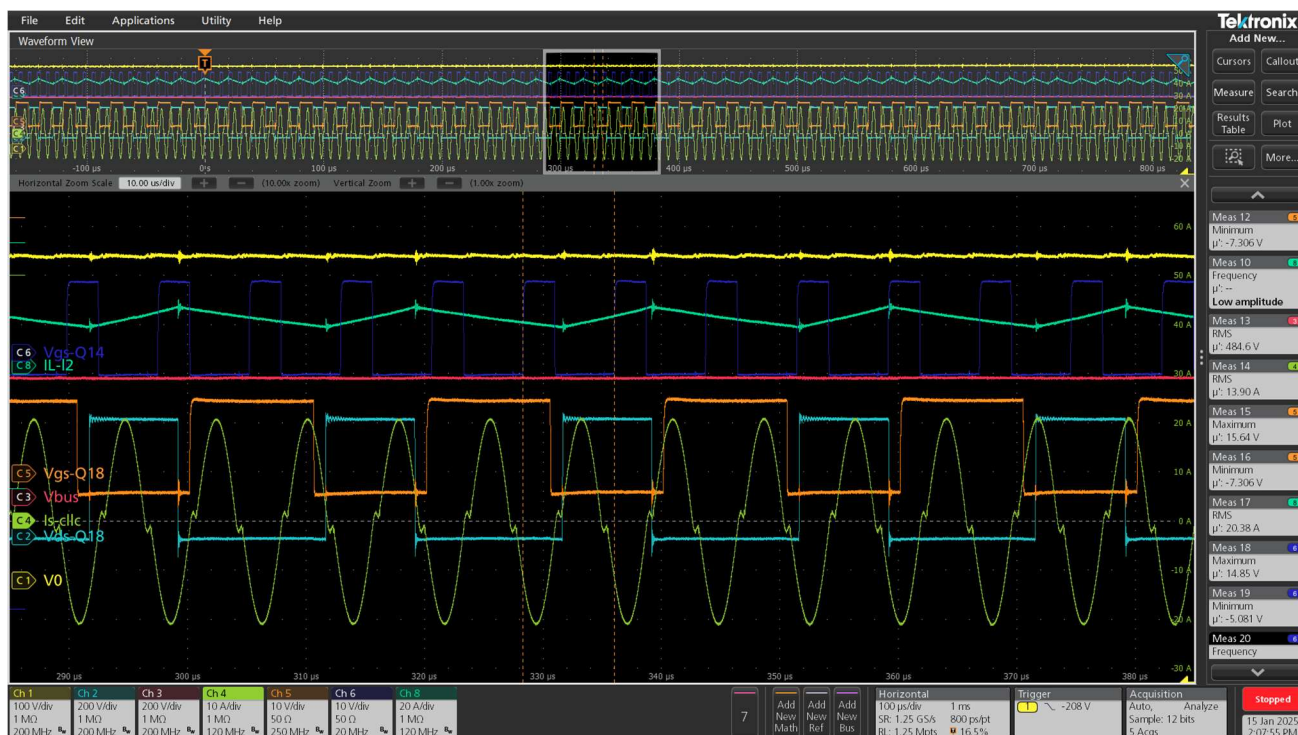
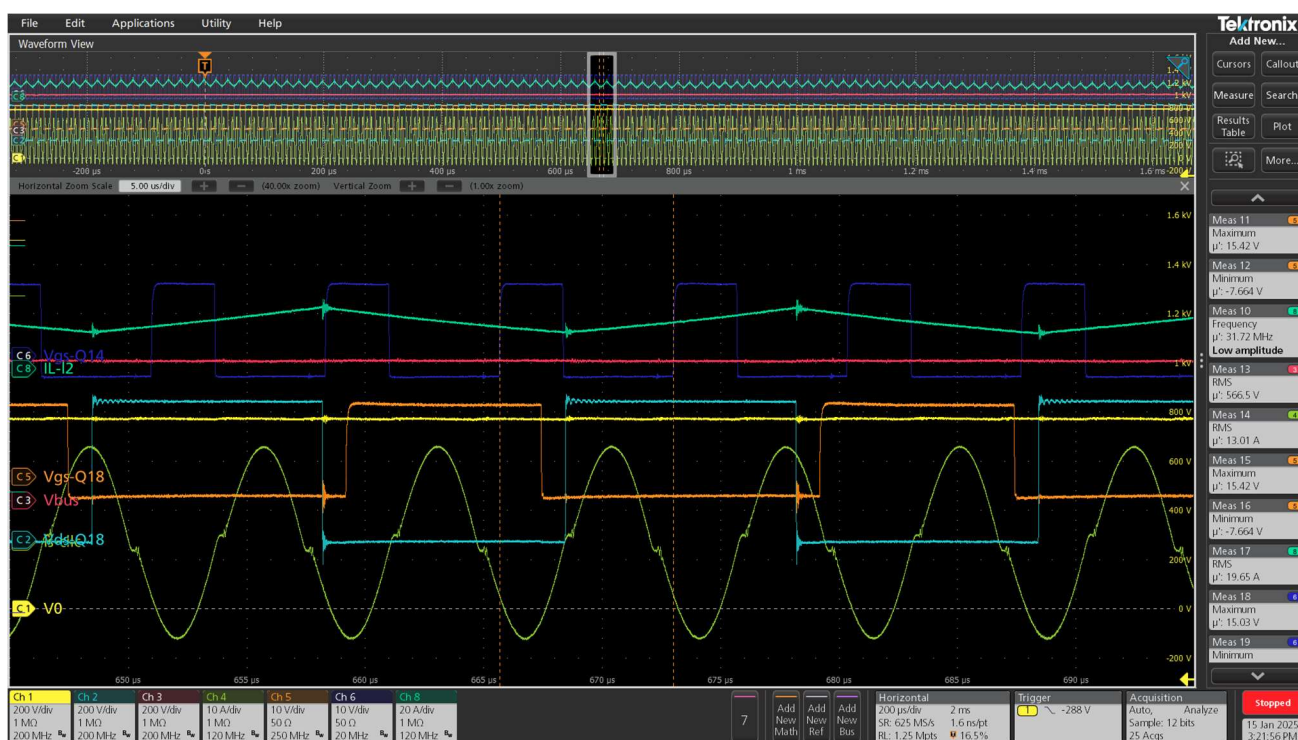


图 6 不同输出电压对应的满载效率

借助综合功率测试系统，我们测试了 AMS1200075M 在 OBC Demo 上交流输入 $230V_{AC}$ ，满载输出 6.6kW 时的工作波形。图 7、图 8 分别为直流输出 $650V_{DC}$ 和 $750V_{DC}$ 的工作波形。其中 CH1 (黄色) 为输出电压 V_{out} ，CH2 (浅蓝色) 为 SiC MOSFET 的电压应力 V_{DS} ，CH3 (红色) 为 PFC 电压 V_{bus} ，CH4 (绿色) 为 CLLC 谐振腔电流，CH5 (橙色) 为 OBC PFC 电路 SiC MOSFET 的驱动电压 V_{GS} ，CH6 (深蓝色) 为 OBC CLLC 电路 SiC MOSFET 的驱动电压 V_{GS} ，CH8 为 OBC PFC 电感电流。从测试波形数据可以看到，SiC MOSFET 的驱动波形无明显震荡和串扰干扰；电压应力 V_{DS} 波形震荡小，没有明显的尖峰。满载工作的波形表明 AMS1200075M 在 6.6kW OBC Demo 系统中驱动和电压应力表现良好，满足市场的需求。



图 7 直流输出 650V_{DC} 满载工作波形图 8 直流输出 750V_{DC} 满载工作波形

同时对 AMS1200075M 在系统中的热性能表现进行了评估。在交流输入 230V_{AC}，满载输出 6.6kW 时，用热成像仪获取了器件塑封表面的温度，环境温度为室内 23°C。图 9 所示为直流输出 850V_{DC} 时，满载输出 6.6kW OBC Demo PFC 电路对应的 SiC MOSFET 温度热成像；图 10 所示直流输出 850V_{DC} 时，满载输出 6.6kW OBC Demo CLLC 电路对应的 SiC MOSFET 温度



热成像。热成像数据可以看出在 OBC Demo 满载工作时, AMS1200075M 的塑封表面温度最高仅为 63°C, 热性能表现优秀, 为 OBC 系统设计降低了热管理的难度和设计成本。

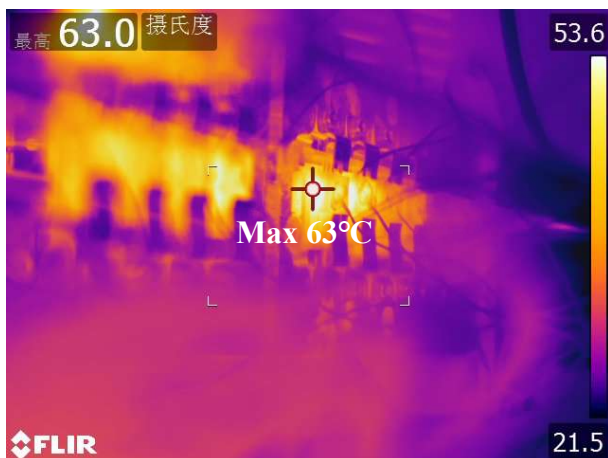


图 9 PFC 电路 SiC MOSFET 器件温度

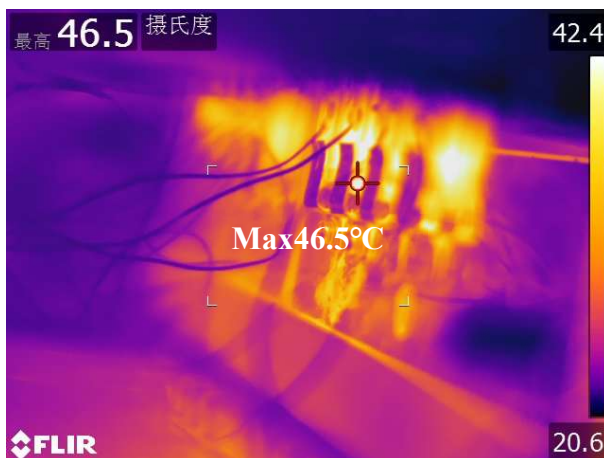


图 10 CLLC 电路 SiC MOSFET 器件温度

从 OBC Demo 测试数据分析, 三安半导体设计的 1200V/75mΩ SiC MOSFET (AMS1200075M)满足 OBC 市场的应用需求。三安半导体将遵循 OBC 市场的发展规律, 紧跟客户的步伐, 不断技术革新, 发挥 SiC 产业超级垂直工厂的优势, 利用最新的 8 英寸晶圆技术, 优化 SiC 器件的设计参数、改进生产工艺、降低成本, 推出高可靠性和高性价比的 SiC 器件, 为 OBC 系统的高效化、小型化发展提供动能。

