



碳化硅器件主动栅极驱动技术的思考与展望

胡润晨¹, 王嘉义², 罗湘³, 李孟好¹, 张建良¹, 胡斯登¹

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027;

2. 中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001;

3. 宁波市江北九方和荣电气有限公司, 浙江 宁波 315300)

摘要: 碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 凭借其优越性能, 在高频、高温、高压、大电流工作条件下展现出显著优势, 然而, 其高开关速度使得开关瞬态过程极为短暂, 容易引发超调、振荡以及电磁干扰等问题, 从而制约了 SiC MOSFET 的进一步推广与应用。主动栅极驱动 (AGD) 技术作为一种先进的驱动方案, 能够通过动态调整驱动参数, 优化开关轨迹, 从而显著改善 SiC MOSFET 的开关特性。文章围绕碳化硅器件, 尤其是中压碳化硅器件应用中可能出现的问题展开讨论, 结合现有的基于 SiC MOSFET 的 AGD 技术研究, 从器件状态信息的采集与综合、多目标优化算法的运用、开关暂态轨迹的主动控制、AGD 与主电路布局的协同优化 4 个方面探讨 AGD 技术对碳化硅器件推广应用的重要意义, 并对未来研究方向提出展望。

关键词: 碳化硅器件; 主动栅极驱动; 开关轨迹; 状态信息; 多目标优化; 布局优化

中图分类号: U264.3⁺7; TN304.2⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-128X(2025)03-0113-06

0 引言

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 凭借其突破性的材料特性在高频、高温、高压、大电流场景中展现出显著的应用潜力。相较于传统的硅基器件, 碳化硅器件具有以下优势: ①碳化硅属于宽禁带半导体, 器件耐压能力大幅提升, 推动了新能源汽车电压平台向 800 V 等级跃迁^[1]; ②具备低电阻导电沟道和反向恢复特性优越的体二极管, 为系统效率提升提供关键支持^[2]; ③高热导率结合支持 150 °C 以上工作温度的能力, 可降低散热系统复杂度。在产业化层面, 碳化硅器件综合优势明显: 新能源汽车主驱逆变器采用碳化硅器件后, 续航里程提升了 5%~10%^[1], 800 V 平台车型中碳化硅渗透率已达

70%^[3]; 光伏发电领域, 系统效率可提升 1%~2%^[4]; 轨道交通领域, 3.3 kV 以上高压模块可减轻牵引系统重量约 40%^[5]。

SiC MOSFET 的高频特性虽然可以提升能效, 但其开关暂态过程易受寄生参数影响, 引发栅极振荡、电压应力以及电磁干扰等衍生问题^[6]。在低压 SiC 器件中, 采用 TO-247-4L 等封装形式可减弱功率回路和驱动回路间的电磁耦合, 优化器件寄生参数。中压 (1.7~3.3 kV) SiC 器件因增大电流容量而采用了复杂的封装结构, 导致内部寄生参数控制难度增加; 同时, 大容量装置中大尺寸母排换流回路的寄生参数高于低压板载变流平台, 进一步增加了性能优化的难度。在此背景下, 通过系统级协同设计实现开关波形的数字化精准调控, 这对提升碳化硅器件整体性能及推动其在更广泛领域的高效应用具有重要意义。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52177199)

通信作者: 张建良, 男, 工学博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事能源系统故障诊断方面的研究; E-mail: jlzhang@zju.edu.cn

引用格式: 胡润晨, 王嘉义, 罗湘, 等. 碳化硅器件主动栅极驱动技术的思考与展望[J]. 机车电传动, 2025(3): 113-118. DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.03.014.

Citation: HU Runchen, WANG Jiayi, LUO Xiang, et al. Discussion and prospects of active gate driver technology for SiC devices[J]. Electric drive for locomotives, 2025(3): 113-118. DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.03.014.

主动栅极驱动 (active gate driver, AGD) 技术凭借其动态调节栅极参数、实时补偿开关轨迹等核心优势,可兼顾抑制电压过冲与降低开关损耗,为突破碳化硅器件应用壁垒提供了有效的解决方案。本文将首先介绍主动栅极技术的原理、组成与特点,然后从碳化硅器件,尤其是中压碳化硅器件推广应用过程中的重点需求出发,结合目前 SiC MOSFET 主动栅极技术的研究进展,从器件状态信息的采集与综合、多目标优化算法的运用、开关暂态轨迹的主动控制、AGD 与主电路布局的协同优化 4 个角度,具体阐述 AGD 技术对提升碳化硅器件及装置整体性能的潜在作用,并给出基于碳化硅器件的 AGD 技术可行的未来研究方向。

1 主动栅极驱动技术的原理、组成与特点

基于传统栅极驱动架构,主动栅极驱动技术在硬件拓扑与调控算法方面进行了提升与改进。硬件方面,通过集成辅助开关器件、精密数模转换模块等有源元件,构建了具有多栅极参数调控自由度的硬件平台。控制算法方面突破传统驱动的固定参数限制,将开关暂态分解为电荷建立、米勒平台等关键时域特征区间,并依据各阶段物理特性,动态优化栅极电阻、电流及电压幅值等核心参数。典型的 AGD 架构由控制单元和驱动单元等部分组成,如图 1 所示,其中控制单元负责生成时序控制信号,并将其传递给驱动单元,而驱动单元则根据具体的控制信号,对器件栅极波进行主动塑形,确保整个系统的高效运行。

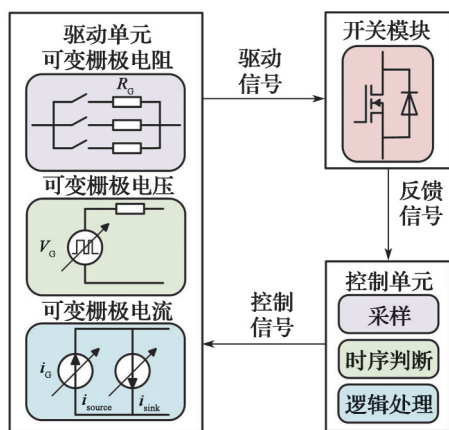


图 1 AGD 的基本架构

Fig. 1 Basic architecture of AGD

1.1 驱动单元

驱动单元主要负责信号功率放大,将控制信号放大为可控制功率器件通断的驱动信号,并实现驱动参数的动态调整。根据所调整的参数,驱动单元可分为可变栅极电阻驱动电路、可变栅极电流驱动电路、可变栅极电压驱动电路 3 种类型,以下进行具体分析。

可变栅极电阻驱动电路在开关瞬态的不同阶段通

过采用不同的栅极电阻来调节开关速度。在电压电流快速变化阶段,使用较大电阻来降低开关速度,抑制超调和振荡;而在电压电流平稳变化阶段,则使用较小电阻来加快开关进程,降低开关损耗。该电路结构简单、成本低,因而实际应用较为广泛。

可变栅极电流驱动电路通过改变栅极电流的大小来调节输入电容的充放电速度。在电压电流快速变化阶段,通过抽取或注入栅极电流来降低开关速度。在该方法中,恒流源的使用有助于提高对电压电流变化率的调节精度,但同时会增加电路的损耗和复杂性。

可变栅极电压驱动电路通过调节驱动电压来调控开关速度。在电压电流快速变化阶段,通过降低驱动电压来减小输入电容的充电速度,进而降低电压电流变化率。该方法保持了传统栅极驱动电路的基本架构,通用性较强,但如何进行驱动电平的设计以优化调控过程仍然是一个需要继续研究的课题。

1.2 采样、控制与时序逻辑处理电路

目前,主动栅极驱动电路大多采用开环控制,这种方式不需要反馈回路,直接在预设的时机切换驱动电路参数。开环控制不需要传感器,实现结构简单、成本低且响应迅速。然而,当器件的工作结温等状态信息随着运行而发生变化时,开关暂态各阶段的持续时间也会随之改变,导致原先设定的调节时序和驱动参数无法适应新的工作条件,从而使 AGD 的调节效果变差。因此,引入闭环控制十分必要。闭环控制通过采样开关器件的电压、电流、结温等信号作为反馈量,经时序检测单元判断后生成相应的时序信号,再由逻辑判断模块处理,生成控制信号并将其传递给驱动单元,可以实现驱动参数的动态调整。

器件多元状态信息的实时采集与反馈是决定 AGD 闭环控制性能的关键因素。一方面,AGD 需要实时且精准地获取器件的电压、电流、结温等关键参数,并将处于不同时间尺度的状态信息准确输入控制系统,才能为后续的控制提供可靠依据;另一方面,控制系统将依据预设的控制目标,如开关损耗优化、电压过冲抑制等,对这些状态信息进行综合处理,通过复杂的运算生成相应的 AGD 脉冲输出信号,进而实现高性能的开关暂态轨迹分阶段控制,达到优化碳化硅器件开关特性的目的。这一过程对提升碳化硅装置的可靠性,尤其是在采用中压碳化硅模块的高压大容量应用场合,具有至关重要的意义。

2 碳化硅器件主动栅极驱动技术分析

2.1 器件多元状态信息的采集与综合

在驱动中集成结温、电压、电流等状态信息的检测是保障碳化硅器件可靠运行的关键环节。一方面,

SiC MOSFET 在高频、高功率密度的应用场景产生的大量热量为变换器系统的热管理带来挑战, 局部过热可能会降低器件的性能, 甚至导致器件失效, 因此实时监测与有效控制器件结温至关重要; 另一方面, 与传统硅基器件相比, SiC 器件具有更高的电流密度和更低的热容量, 短路承受能力较弱, 短路承受时间仅为 $2\sim 7\ \mu\text{s}$ ^[7], 实际应用中必须配合高效的短路检测与保护策略, 才能确保系统的安全可靠运行。

传统栅极驱动电路因缺乏反馈通道, 无法监测器件运行状况, 而 AGD 技术通过闭环反馈机制, 可实时采集碳化硅器件的状态信息, 如漏源极电压、漏极电流、结温等。在采集这些多元状态信息时, 常用的技术包括直接检测技术和间接检测技术。

直接检测技术可通过测量关键参数并实时反馈实现动态调节, 其优势在于响应速度快, 但这种方式对传感器精度的要求较高且易受寄生参数干扰。文献[8]提出了一种栅极参考电压在线提取电路, 经脉冲测试和老化试验验证, 表明其所提方法可有效监测栅极氧化物健康状态, 并能集成于栅极驱动中而不显著增加系统复杂度。脉冲测试电路如图2所示。

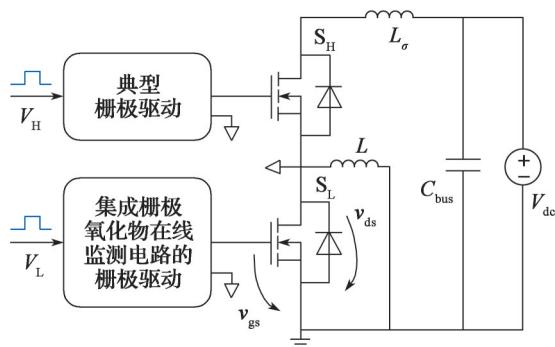


图2 脉冲测试电路^[8]

Fig. 2 Pulse testing circuit^[8]

文献[9]充分利用电路的寄生参数, 通过检测源极电感电压直接获取漏极电流变化率信息, 以此反映并联 SiC 器件动态电流的不平衡程度, 其电路架构如图3所示。该方法不需要增加额外的检测电路, 易于实现, 但因不同器件的源极寄生参数存在偏差, 会对电流均

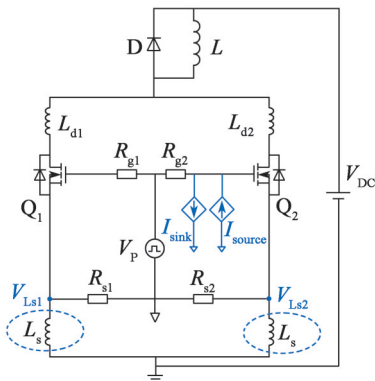


图3 具有动态均流功能的主动栅极电路^[9]

Fig. 3 Active gate circuit with dynamic current balancing function^[9]

衡的效果造成一定影响。

间接检测技术则利用不同电气参数之间的耦合关系, 如部分参数表现出的温变特性等, 基于模型与算法推导器件的状态信息。其优势是可以降低硬件成本, 适合长期可靠性预测; 然而, 该类方法对模型准确性依赖较强, 并且容易造成动态响应滞后。

文献[10]提出一种基于 SiC MOSFET 开通时漏源电流过冲的高灵敏度在线结温监测方法, 通过改变温度平台温度和负载电流等工作条件进行一系列的双脉冲测试, 建立全工况的数据特征库后利用自校准程序完成结温的在线标定。

文献[11]提出一种基于人工神经网络的热模型结温监测方法, 思路如图4所示。该方法在显著降低测量点需求的同时, 提升了数据丰富性与多样性, 从而实现了在紧凑型封装中多芯片交叉热耦合效应影响下的结温的准确监测。

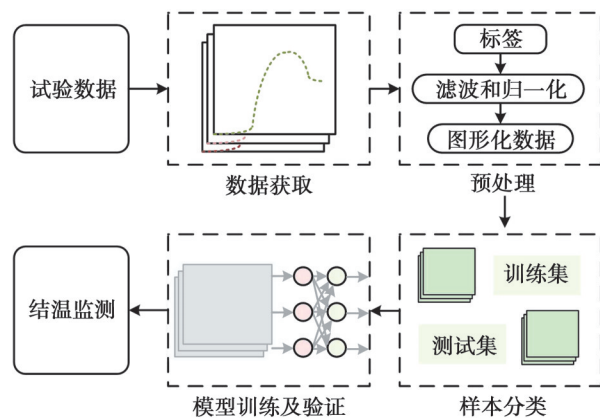


图4 基于神经网络的结温测量方法^[11]

Fig. 4 Junction temperature measuring method based on neural network^[11]

2.2 多目标优化算法的运用

在实际应用中, SiC 器件行为优化面临包括电气应力、开关损耗、结温控制、老化延缓、多模块并联均流等多方面的挑战。鉴于此, 必须采用多目标优化算法, 对以上关键指标进行综合考虑, 动态调整器件状态以实现平衡控制。

文献[12]提出了一种基于固定权重成本函数的变栅极电压驱动方案。通过设置权重因子将漏源极电压变化率 dv/dt 、漏极电流变化率 di/dt 、开关损耗 E_{loss} 等性能指标整合成单一目标, 进而在开关速度与开关损耗之间取得了较好的平衡。与上述固定权重方法相比, 动态权重分配算法可实时响应器件参数漂移及工况变化, 具备更强的自适应能力, 而该方法在主动栅极驱动中的性能优势亟待深入探讨。

文献[13]运用多目标粒子群优化算法对 4H-SiC 功率 MOSFET 的特性参数进行优化设计, 实现了击穿电压和导通电阻之间的最优权衡。

文献[14]提出了一种基于模拟退火算法的自动优化方法,用于优化IGBT的栅极驱动波形,有效实现了能量损耗和电压电流过冲之间的权衡。

未来碳化硅器件主动栅极驱动技术中的多目标优化算法研究可以朝着以下几个方面开展:

①边缘智能计算。在驱动芯片内部部署轻量化深度学习模型,可采用离线预训练和在线轻量推理相结合的方式,降低控制器的瞬时运算负荷。

②数字孪生协同测试。通过虚拟仿真平台预训练优化算法,完成参数寻优和故障注入试验,降低实际调试的风险,可以配合硬件在环测试手段实现算法性能和鲁棒性的多重验证。

③优化目标的维度拓展与跨层级协同。可以将结温、机械应力、EMI等纳入优化目标,构建多物理场耦合约束下的鲁棒优化,提升算法对器件参数漂移的容忍度;同时探索器件级AGD与系统级能效管理的联动机制,例如将主动栅极驱动策略与SiC模块的3D集成散热设计进行联合优化,实现从芯片到系统的全局性能提升。

2.3 开关暂态轨迹的主动控制

与传统的硅基IGBT器件相比,SiC器件在开关瞬态过程中面临着更加严重的电气应力。特别是中压SiC器件,在高压大电流工况下,其所承受的电气应力、电磁干扰和串扰等问题更为突出。因此,为了保障设备的安全可靠运行,对SiC器件的开关轨迹进行控制十分必要。

在传统栅极驱动电路的基础上引入有源元件,并在开关暂态过程中动态调整驱动参数,构成了典型的开关轨迹主动控制方法。该方法可以主动控制 dv/dt 和 di/dt ,实现电气应力抑制。与传统的采用低感互联组件或缓冲电路的方案相比,该方法减少了对大功率硬件电路的依赖,降低了系统的复杂性与实现难度。

目前,开关轨迹主动控制方法主要包括分阶段栅极参数调节技术和闭环反馈控制技术。其中,分阶段栅极参数调节技术将开关暂态分为多个阶段(如米勒平台期、电流上升期),并在不同阶段动态调整栅极驱动参数。该方案响应速度快,各阶段间耦合因素少,但对时序电路的精度要求较高。

文献[15]提出了一种基于驱动电流调节的主动栅极驱动方案。该方案通过监测功率器件在开关瞬态过程中的 di/dt ,实现对开关瞬态过程不同阶段的区分;通过在电流上升和下降阶段降低驱动电流,实现在不增加开关损耗的情况下降低电气应力。

闭环反馈控制技术方面,文献[16]提出了一种基于 dv/dt 反馈的闭环AGD,该方法利用RC分压电路监测 dv/dt ,并将监测得到的 dv/dt 与驱动信号经误差放大器生成驱动电压。试验结果表明,在不同母线电压和负

载电流条件下,该驱动电路均能有效降低关断电压尖峰。

此外,当前围绕AGD对开关轨迹的主动控制的研究多从定性角度开展,包括限制EMI、抑制超调振荡等,很少从定量角度给出AGD各阶段驱动参数设计的理论支撑,这限制了SiC MOSFET开关特性的进一步优化。因此,对SiC MOSFET开关暂态过程的建模是有待深入研究的重要课题,定量研究其开关暂态过程可以为AGD的参数优化提供坚实的理论基础^[17-20]。

2.4 AGD与主电路布局的协同优化

与理想化的电路拓扑结构不同,实际变流器中存在很多nH级别的寄生电感与pF级别的寄生电容,会对SiC变流器性能产生影响。

在主电路中采用叠层母排降低回路寄生电感,以及采用AGD优化SiC器件开关轨迹,均是提升SiC变流器性能的重要手段。然而,单独使用这2种方法存在局限性:一方面,在大容量系统中,受几何尺寸和制作工艺制约,叠层母排成本高昂;另一方面,AGD通过分段调整驱动参数优化器件行为时,其参数设计对变流器回路电感存在依赖。因此,将AGD和主电路优化相结合,实现协同优化,这是提升系统性能的关键。

例如,文献[21]提出基于栅极阻抗匹配的振荡抑制方法,通过AGD动态切换栅极电阻以增大回路阻尼,显著抑制了开关振荡,有效降低了对母排等低感互联组件的依赖。同样,在热管理方面,文献[22]展示了AGD的应用潜力,通过实时监测器件温度并动态调节驱动电阻以控制开关损耗,成功将器件结温波动降低了24.1%,缓解了主电路布局在热均衡设计上的压力。

在布局改进的同时,辅助AGD技术对驱动参数进行动态调整,可在不显著增加系统成本的条件下,实现功率器件开关性能的进一步优化。未来碳化硅器件的AGD与主电路布局的协同优化可以从以下几个方面展开深入研究:

①多物理场联合仿真。建立由栅极驱动回路、功率回路以及散热结构等构成的电磁-热-机械耦合模型,指导电路布局设计,实现寄生参数的协同优化。

②异构集成技术。探索SiC功率芯片与栅极驱动的晶圆级集成方案,通过缩短栅极回路、降低寄生电感,实现布局和驱动的原生协同优化。

③自感知封装。在设计好的母排结构中嵌入分布式传感器实现布局参数在线辨识,并将参数反馈给AGD控制器,实现驱动参数的自适应调整。

3 结束语与展望

主动栅极驱动通过对器件栅极波形进行主动塑形,实现开关轨迹控制,为提升碳化硅器件的性能提供了

有效的途径。本文从器件状态信息的采集与综合、多目标优化算法的运用、开关暂态轨迹的主动控制、主动栅极驱动与主电路布局协同优化4个方面探讨了主动栅极驱动技术的重要意义和发展方向。该技术不仅仅是一类电力电子器件应用技术,也是未来电力电子智能化以及边缘信息采集与计算的重要研究切入口,可以为未来电力装备革新奠定重要技术储备。

参考文献:

- [1] 孙雪霏. 800 V碳化硅平台有望破解“里程焦虑”[N]. 中国城市报, 2023-09-04(5).
SUN Xuefei. The 800 V SiC platform: a solution to "range anxiety"[N]. China City News, 2023-09-04(5).
- [2] 高远, 陈桥梁. 碳化硅功率器件: 特性、测试和应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.
GAO Yuan, CHEN Qiaoliang. Silicon carbide power devices: characteristics, testing, and application technologies [M]. Beijing: China Machine Press, 2021.
- [3] 金融界. 能源电子行业观察: 新能源汽车功率突破450 kW; 碳化硅渗透率升至18.9%[EB/OL]. (2025-03-25) [2025-03-31]. <https://www.toutiao.com/article/7485559285217329701/?wid=1756195872517>.
The financial community. Observation of the energy electronics industry: the power of new energy vehicles has exceeded 450 kW; the penetration rate of silicon carbide has risen to 18.9%[EB/OL]. (2025-03-25) [2025-03-31]. <https://www.toutiao.com/article/7485559285217329701/?wid=1756195872517>.
- [4] 功率半导体生态圈. 碳化硅器件在光伏逆变器中的应用[EB/OL]. (2023-11-06) [2025-03-31]. <https://www.elecfans.com/d/2303384.html>.
Power Semiconductor Ecosystem. Applications of silicon carbide devices in photovoltaic inverters[EB/OL]. (2023-11-06) [2025-03-31]. <https://www.elecfans.com/d/2303384.html>.
- [5] 丁荣军, 窦泽春, 罗海辉. 高压大容量功率半导体器件技术及其应用[J]. 机车电传动, 2023(2): 1-13.
DING Rongjun, DOU Zechun, LUO Haihui. Technology and application of high-voltage and large-capacity power semiconductor devices[J]. Electric drive for locomotives, 2023(2): 1-13.
- [6] 孙帅, 林仲康, 唐新灵, 等. 宽禁带半导体器件开关振荡研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(6): 2386-2407.
SUN Shuai, LIN Zhongkang, TANG Xinling, et al. A review of switching oscillation in wide band gap semiconductor devices[J]. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(6): 2386-2407.
- [7] 李虹, 胡肖飞, 王玉婷, 等. 适用于SiC MOSFET的漏源电压积分自适应快速短路保护电路研究[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(4): 1542-1552.
LI Hong, HU Xiaofei, WANG Yuting, et al. Research on drain-source voltage integration-based adaptive fast short-circuit protection circuit for SiC MOSFET[J]. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(4): 1542-1552.
- [8] 于圣旭, 王智强, 辛国庆, 等. 基于栅极参考电压的SiC MOSFET栅极氧化物健康状态在线监测方法[J]. 电源学报, 2024, 22(3): 248-257.
YU Shengxu, WANG Zhiqiang, XIN Guoqing, et al. Online monitoring method for SiC MOSFET gate-oxide health status based on gate reference voltage[J]. Journal of power supply, 2024, 22(3): 248-257.
- [9] HE Yang, WANG Xun, SHAO Shuai, et al. Active gate driver for dynamic current balancing of parallel-connected SiC MOSFETs[J]. IEEE transactions on power electronics, 2023, 38(5): 6116-6127.
- [10] ZHANG Qinghao, LU Geye, ZHANG Pinjia. A high-sensitivity online junction temperature monitoring method for SiC MOSFETs based on the turn-on drain - source current overshoot[J]. IEEE transactions on power electronics, 2022, 37(12): 15505-15516.
- [11] ZHANG Yi, WANG Zhongxu, WANG Huai, et al. Artificial intelligence-aided thermal model considering cross-coupling effects[J]. IEEE transactions on power electronics, 2020, 35(10): 9998-10002.
- [12] ZHAO Shuang, ZHAO Xingchen, DEARIEN A, et al. An intelligent versatile model-based trajectory-optimized active gate driver for silicon carbide devices[J]. IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics, 2020, 8(1): 429-441.
- [13] LUO Rundong, SUN Botao, HOU Xinlan, et al. Optimal design of 100-2 000 V 4H-SiC power MOSFETs using multi-objective particle swarm optimization algorithms[J]. IEEE electron device letters, 2024, 45(5): 786-788.
- [14] MIYAZAKI K, TAKAMIYA M, SAKURAI T. Automatic optimization of IGBT gate driving waveform using simulated annealing for programmable gate driver IC[C]//IEEE. 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. Milwaukee: IEEE, 2016: 1-6.
- [15] 刘平, 李海鹏, 苗轶如, 等. 基于驱动电流动态调节的低过冲低损耗SiC MOSFET有源门极驱动[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(18): 5730-5741.
LIU Ping, LI Haipeng, MIAO Yiru, et al. Low overshoot and low loss active gate driver for SiC MOSFET based on driving current dynamic regulation[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(18): 5730-5741.
- [16] GAO Zongqiu, ZHANG Jian, HUANG Yiyun, et al. A closed-loop active gate driver of SiC MOSFET for voltage spike suppression[J]. IEEE open journal of power electronics, 2022, 3: 723-730.
- [17] HU Sideng, WU Xu, LI Menghao, et al. Switching loss reduction for 3.3 kV-750 A full-SiC MOSFET module by active gate driver[C]//IEEE. International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renew-

- able Energy and Energy Management. Shenzhen: IEEE, 2024: 566-572.
- [18] 王莉娜, 袁泽卓, 常峻铭, 等. SiC MOSFET 开关瞬态解析建模综述[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(19): 7772-7783. WANG Lina, YUAN Zezhuo, CHANG Junming, et al. Overview of switching transient analytical modeling of SiC MOSFET[J]. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(19): 7772-7783.
- [19] 王宁, 张建忠. 基于开关轨迹优化的 SiC MOSFET 有源驱动电路研究综述[J]. 电工技术学报, 2022, 37(10): 2523-2537. WANG Ning, ZHANG Jianzhong. Review of active gate driver for SiC MOSFET with switching trajectory optimization[J]. Transactions of China electrotechnical society, 2022, 37(10): 2523-2537.
- [20] TAHIR M, HU Sideng, HE Xiangning. Performance improvement strategies for discrete wide bandgap devices: a systematic review[J]. Frontiers in energy research, 2021, 9: 788689.
- [21] LI Q, YANG Y, Y. WEN, et al. Active gate driver with the independent suppression of overshoot and oscillation for SiC MOSFET modules[J]. IEEE transactions on industrial electronics, 2025, 72(3): 2325-2335.
- [22] DING X, SONG X, et al. Active junction temperature control for SiC MOSFETs based on a resistor-less gate driver [J]. IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics, 2022, 10(5): 4952-4964.

Discussion and prospects of active gate driver technology for SiC devices

HU Runchen¹, WANG Jiayi², LUO Xiang³, LI Menghao¹, ZHANG Jianliang¹, HU Sideng¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China;

2. CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;

3. Ningbo Jiangbei Gofront Herong Electric Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315300, China)

Abstract: Silicon carbide metal-oxide-semiconductor field effect transistors (SiC MOSFETs) exhibit outstanding advantages in high-frequency, high-temperature, high-voltage, and high-current applications due to their superior performance. However, their high switching speeds result in extremely brief switching transients, giving rise to several challenges: overshoot, oscillation and electromagnetic interference. These issues hinder the broader adoption and application of SiC MOSFETs. The active gate driver (AGD) has emerged as an advanced drive solution that can significantly improve the switching characteristics of SiC MOSFETs by dynamically adjusting drive parameters and optimizing switching trajectories. This paper focuses on potential issues related to the application of SiC devices, particularly medium-voltage SiC devices. Based on current research on AGD technology for SiC MOSFETs, four aspects are examined to discuss the significant role of AGD technology in facilitating the widespread application of SiC MOSFETs: the acquisition and integration of device status information, the application of multi-objective optimization algorithms, the active control of switching transient trajectories, and the co-optimization of AGD and main circuit layouts. Finally, the paper proposes prospects for future research directions in this field.

Keywords: SiC device; active gate driver; switching trajectory; status information; multi-objective optimization; layout optimization