

驱动新一代SiC/GaN功率转换器的IC生态系统

Stefano Gallinaro
ADI公司

新型和未来的SiC/GaN功率开关将会给方方面面带来巨大进步，从新一代再生电力的大幅增加到电动汽车市场的迅速增长。其巨大的优势——更高功率密度、更高工作频率、更高电压和更高效率——将有助于实现更紧凑、更具成本效益的功率应用。为了获得所有这些优势，必须设计更高性能的开关驱动系统。实际的以开关为中心的视角正在演变成一种更完整的系统解决方案，新一代的具有更鲁棒的片上隔离的先进栅极驱动器IC、检测IC、电源控制器和高集成度嵌入式处理器，将能管理复杂的多电平、多级功率回路，从而正确发挥新一代SiC/GaN功率转换器的优势。

Stefano Gallinaro
ADI公司再生能源战略营销经理

各种应用的功率转换器正从纯硅IGBT转向SiC/GaN MOSFET。一些市场（比如电机驱动逆变器市场）采用新技术的速度较慢，而另一些市场（比如太阳能逆变器、电动汽车牵引逆变器和充电器市场）在创新中发挥着关键作用。

预计未来五年太阳能市场将以10%的年复合增长率增长，非常乐观，而光伏系统价格预计将再下降20%。这很可能是光伏逆变器电子元件技术进步的结果。功率开关（SiC/GaN MOSFET）的新技术将提高开关频率，从而减小电感和电容尺寸，同时要求更精确、更快速、能效更高的检测、控制和驱动IC。到2021年，在全部电站级逆变器中，30 kW至100 kW的1500 V_{DC}电站级串式逆变器将占有90%以上的市场份额。它们代表了采用创新多电平拓扑结构的新型高密度SiC/GaN功率开关的测试基准。

电动汽车（EV）和储能系统（ESS）等颠覆性新应用，产生了对超高效率、高功率密度、高频SiC功率转换器的需求。车载牵引电机驱

动器希望获得最大功率密度以减小尺寸和重量，并刷新新的效率记录，而车外快速充电器希求高电压（高达2000 VDC、> 150 kW）和复杂的高频拓扑结构，从而降低磁性部件、机械部件和总成的整体系统成本。除此之外，这些新应用也推动了创新多核控制处理器的发展，并能管理复杂的控制算法，确保系统在双向模式下（从交流电网到直流负载及相反）工作时的效率和稳定性。

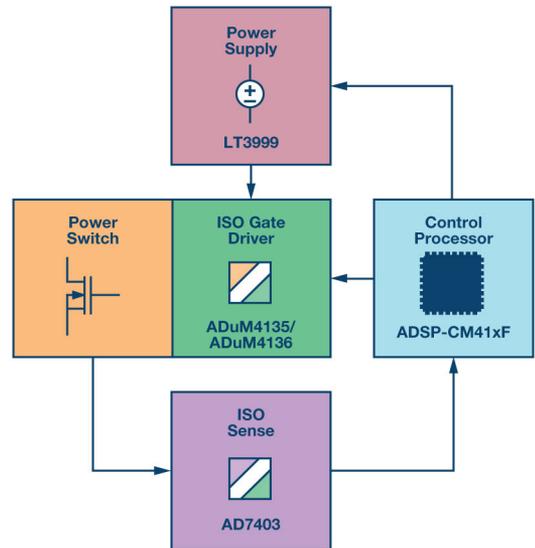


图1. ADI公司IC生态系统

驱动SiC/GaN功率开关需要设计一个完整的IC生态系统，这些IC经过精密调整，彼此配合。设计重点不再只是以开关为中心，必须加以扩大。应用的工作频率、效率要求和拓扑结构的复杂性要求使用同类最佳的隔离式栅极驱动器（例如ADuM4135），其由高端隔离式电源电路（例如LT3999）供电。控制须利用集成高级模拟前端和特定安全特性的多核控制处理器（例如ADSP-CM419F）完成。最后，利用高能效隔离式Σ-Δ型转换器（例如AD7403）检测电压，从而实现设计的紧凑性。

在Si IGBT到SiC MOSFET的过渡阶段，必须考虑混合拓扑结构，其中SiC MOSFET用于高频开关，Si IGBT用于低频开关。隔离式栅极驱动器必须能够驱动不同要求的开关，其中较多的是并联且采用硅IGBT/SiC MOS混合式多电平配置。客户希望一种器件就能满足其所有应用要求，从而简化BOM并降低成本。利用多电平转换器很容易达到1500 V_{DC}以上的高工作电压（例如大规模储能可以使用2000 V_{DC}），此类电压对于为安全而实施的隔离栅是一个重大挑战。

ADuM4135隔离式栅极驱动器采用ADI公司经过验证的iCoupler®技术，可以给高电压和高开关速度应用带来诸多重要优势。ADuM4135是驱动SiC/GaN MOS的最佳选择，出色的传播延迟优于50 ns，通道间匹配小于5 ns，共模瞬变抗扰度 (CMTI) 优于100 kV/μs，单一封装能够支持高达1500 V_{DC}的全寿命工作电压。

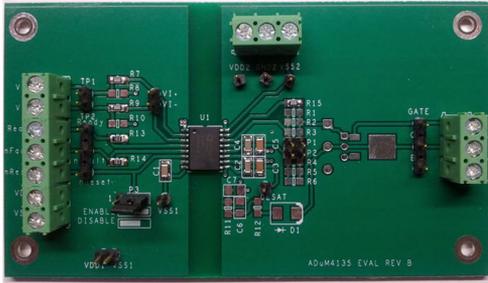
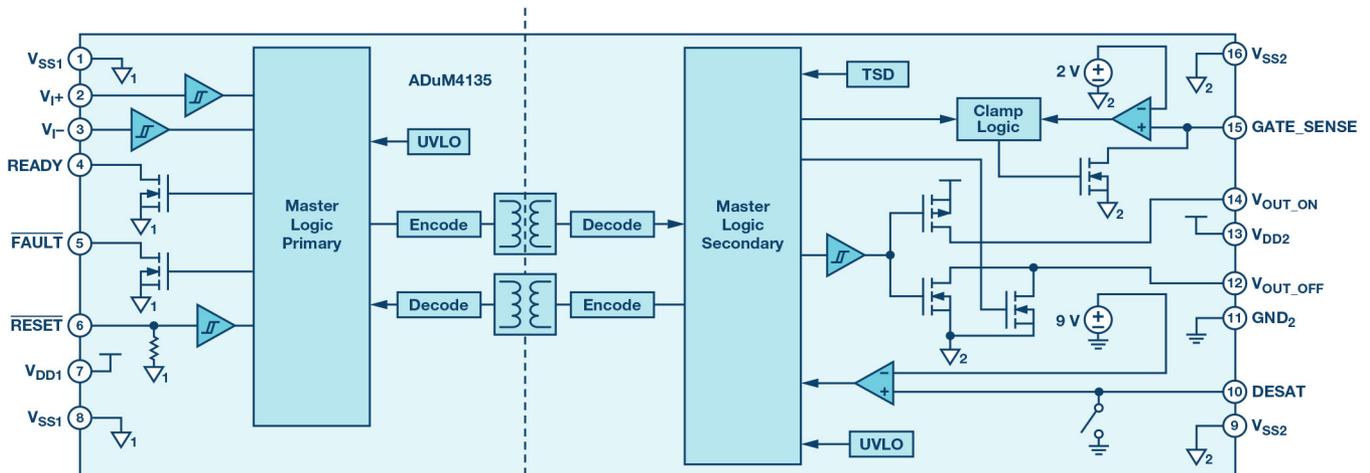


图2. ADuM4135评估板

ADuM4135采用16引脚宽体SOIC封装，包含米勒箝位，以便栅极电压低于2 V时实现稳健的SiC/GaN MOS或IGBT单轨电源关断。输出侧可以由单电源或双电源供电。去饱和和检测电路集成在ADuM4135上，提供高压短路开关工作保护。去饱和保护包含降低噪声干扰的功能，比如在开关动作之后提供300 ns的屏蔽时间，用来屏蔽初始导通时产生的电压尖峰。内部500 μA电流源有助于



Notes
1. Grounds on Primary and Secondary Side Are Isolated from Each Other.

图3. ADuM4135框图

降低器件数量；如需提高抗噪水平，内部消隐开关也支持使用外部电流源。考虑到IGBT通用阈值水平，副边UVLO设置为11 V。ADI公司iCoupler芯片级变压器还提供芯片高压侧与低压侧之间的控制信息隔离通信。芯片状态信息可从专用输出读取。器件原边控制器件在副边发生故障后复位。

对于更紧凑的纯SiC/GaN应用，新型隔离式栅极驱动器ADuM4121是解决方案。该驱动器同样基于ADI公司的iCoupler数字隔离技术，其传播延迟在同类器件中最低（38 ns），支持最高开关频率和150 kV/μs的最高共模瞬变抗扰度。ADuM4121提供5 kV rms隔离，采用宽体8引脚SOIC封装。

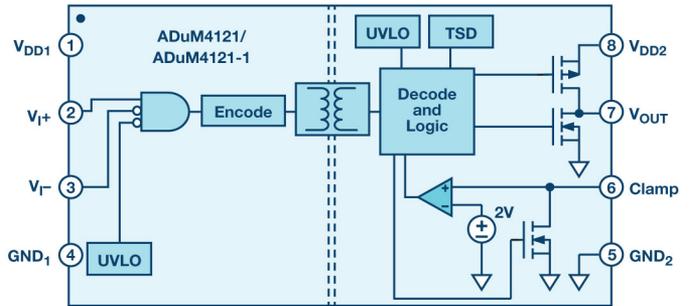


图4. ADuM4121框图



图5. ADuM4121评估板

当隔离式栅极驱动器用在高速拓扑中时, 必须对其正确供电以保持其性能水平。ADI公司的LT8304/LT8304-1是单芯片、低功耗、隔离式反激转换器。这些器件从原边反激式波形直接对隔离输出电压采样, 无需第三绕组或隔离器进行调节。输出电压通过两个外部电阻和第三个可选温度补偿电阻进行编程。边界工作模式提供一种具有出色负载调整率的小型解决方案。低纹波突发工作模式可在小负载时保持高效率, 同时使输出电压纹波最小。散热增强型8引脚S0封装中集成了2 A、150 V DMOS功率开关, 以及所有高压电路和控制逻辑。LT8304/LT8304-1支持3 V至100 V的输入电压范围, 最多可提供24 W的隔离输出功率。

ADI公司的LT3999是一款单芯片、高电压、高频DC-DC变压器驱动器, 提供隔离电源, 解决方案尺寸很小。LT3999的最大开关频率为1 MHz, 具有外部同步能力和2.7 V至36 V的宽输入工作电压范围, 代表了为高速栅极驱动器提供稳定受控谐波和隔离电源的最高技术水平。它采用裸露焊盘的10引脚MSOP和3 mm × 3 mm DFN封装。



图6. LT3999评估板

系统控制单元(一般是MCU、DSP或FPGA的组合)必须能够并行运行多个高速控制环路, 而且还能管理安全特性。它们必须提供冗余性以及大量独立的PWM信号、ADC和I/O。ADI公司的ADSP-CM419F支持设计人员通过一个混合信号双核处理器来管理并行高功率、高密度、混合开关、多电功率转换系统。

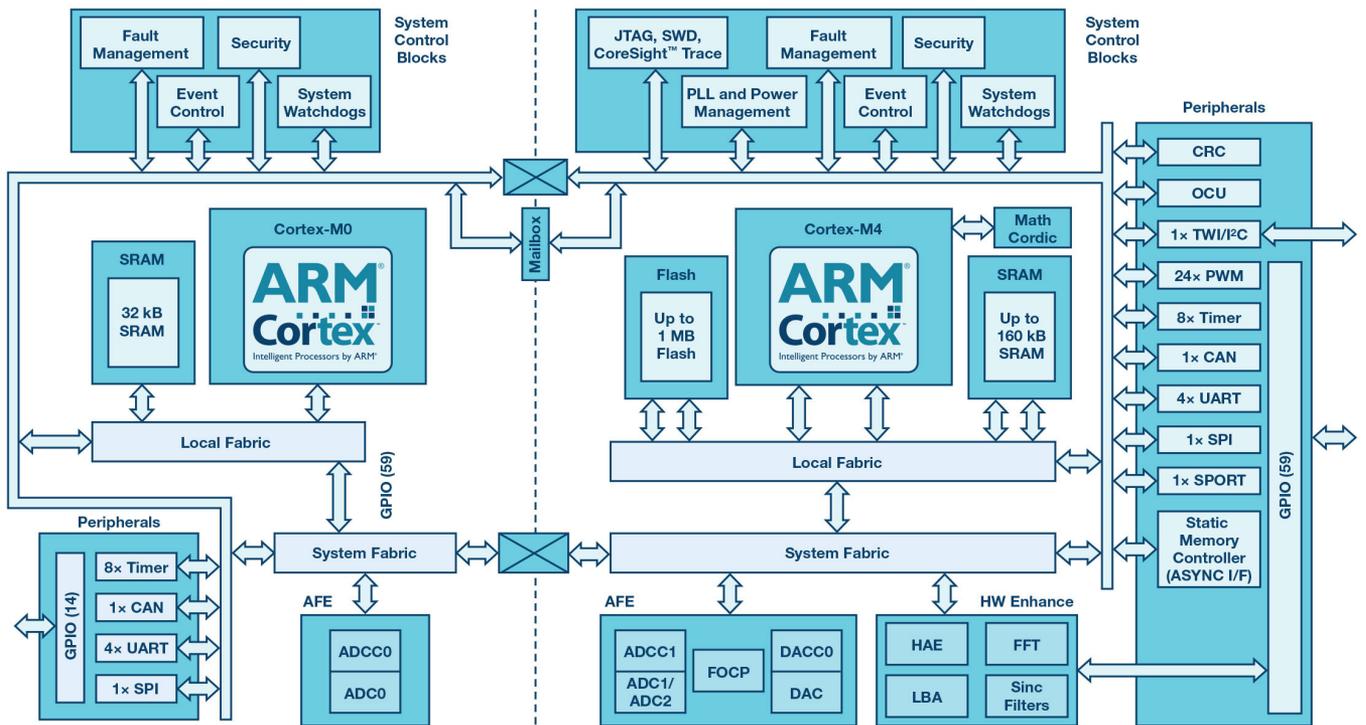


图7. ADSP-CM419F框图

ADSP-CM419F基于ARM® Cortex®-M4处理器内核, 浮点单元工作频率高达240 MHz, 而且包含一个工作频率高达100 MHz的ARM Cortex-M0处理器内核。这使得单个芯片可以集成双核安全冗余性。主ARM Cortex-M4处理器集成带ECC (错误检查与校正) 的160 KB SRAM存储器, 带ECC的1 MB闪存, 针对功率转换器控制而优化的加速器和外设 (包括24个独立的PWM), 以及由两个16位SAR型ADC、一个14位M0 ADC和一个12位DAC组成的模拟模块。ADSP-CM419F采用单电源供电, 利用内部稳压器和一个外部调整管自行生成内部电压源。它采用210引脚BGA封装。



图8. ADSP-CM419F评估板

快速精确的电压检测是高速设计必备的功能。ADI公司的AD7403是一款高性能二阶 Σ - Δ 调制器, 能将模拟输入信号转换为高速 (高达20 MHz) 单比特数据流。8引脚宽体SOIC封装中集高速互补金属氧化物半导体 (CMOS) 技术与单芯片变压器技术 (iCoupler技术) 于一体。AD7403采用5 V电源供电, 可输入 ± 250 mV的差分信号。通过适当的数字滤波器可重构原始信息, 以在78.1 kSPS时实现88 dB的信噪比 (SNR)。

为使客户的新一代功率转换器设计具备高性能、高可靠性和市场竞争力, ADI公司已决定开发各种硬件和软件设计平台, 其既可用于评估IC, 又可作为完整系统的构建模块。这些设计平台目前针对战略客户而推出, 代表了驱动新一代SiC/GaN功率转换器的完整IC生态系统的最高水准。设计平台类型众多, 既有用于高电压、大电流SiC功率模块的隔离式栅极驱动器板, 也有完整的交流/直流双向转换器, 其中ADSP-CM419F的软件在正确控制SiC/GaN功率开关方面起着关键作用。

作者简介

Stefano Gallinaro于2016年加入ADI公司再生能源业务部。他负责管理太阳能、电动汽车、充电和储能领域的战略营销活动, 同时特别关注功率转换。他在慕尼黑工作, 负责全球相关业务。Stefano曾在意大利都灵理工大学学习电子工程, 获学士学位。他的职业生涯始于意大利奥斯塔的STMicroelectronics Srl—DORA S.p.A., 担任应用工程师。2016年加入ADI公司之前, 他在德国安达赫治Vincotech GmbH担任了两年半的产品营销经理。联系方式: stefano.gallinaro@analog.com。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区, 与ADI技术专家互动。

提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问 ezchina.analog.com



全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路2290号展想广场5楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区西小口路66号
中关村东升科技园
B-6号楼A座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路889号光谷国际广场
写字楼B座2403-2405室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2017 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA16336sc-0-10/17

analog.com/cn

ANALOG DEVICES
超越一切可能™