



极驱动器设计 - **15kW** 三相三电平双向AC / DC转换器

Arrow Asia Pac Ltd

18 Oct 2024, Version 1.1

Sam Wong

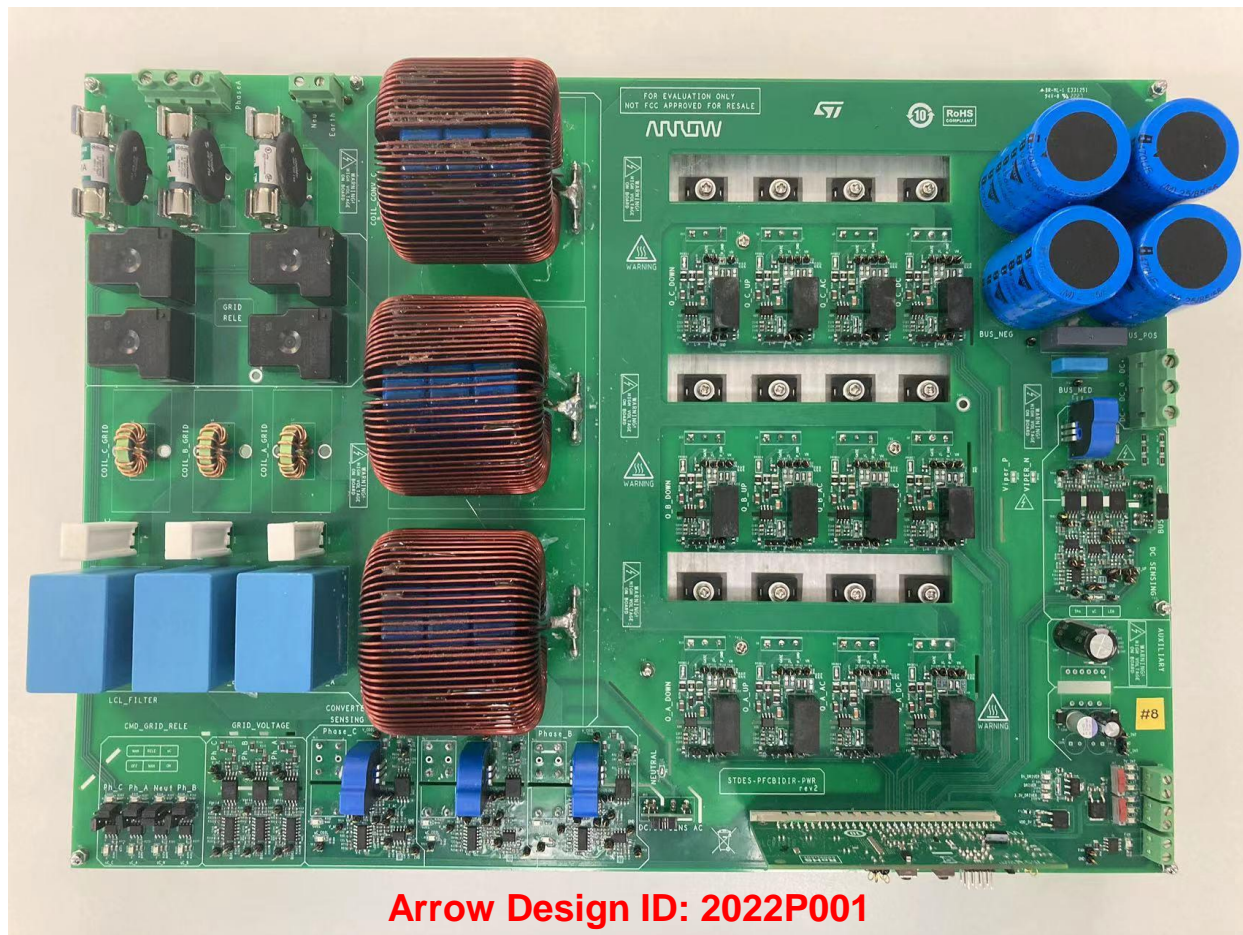


目录

- 简介
- **SiC MOSFET 的栅极驱动**
- 栅极驱动器优化
- 设计实例
- 总结

简介

15kW 三相三电平双向AC / DC转换器

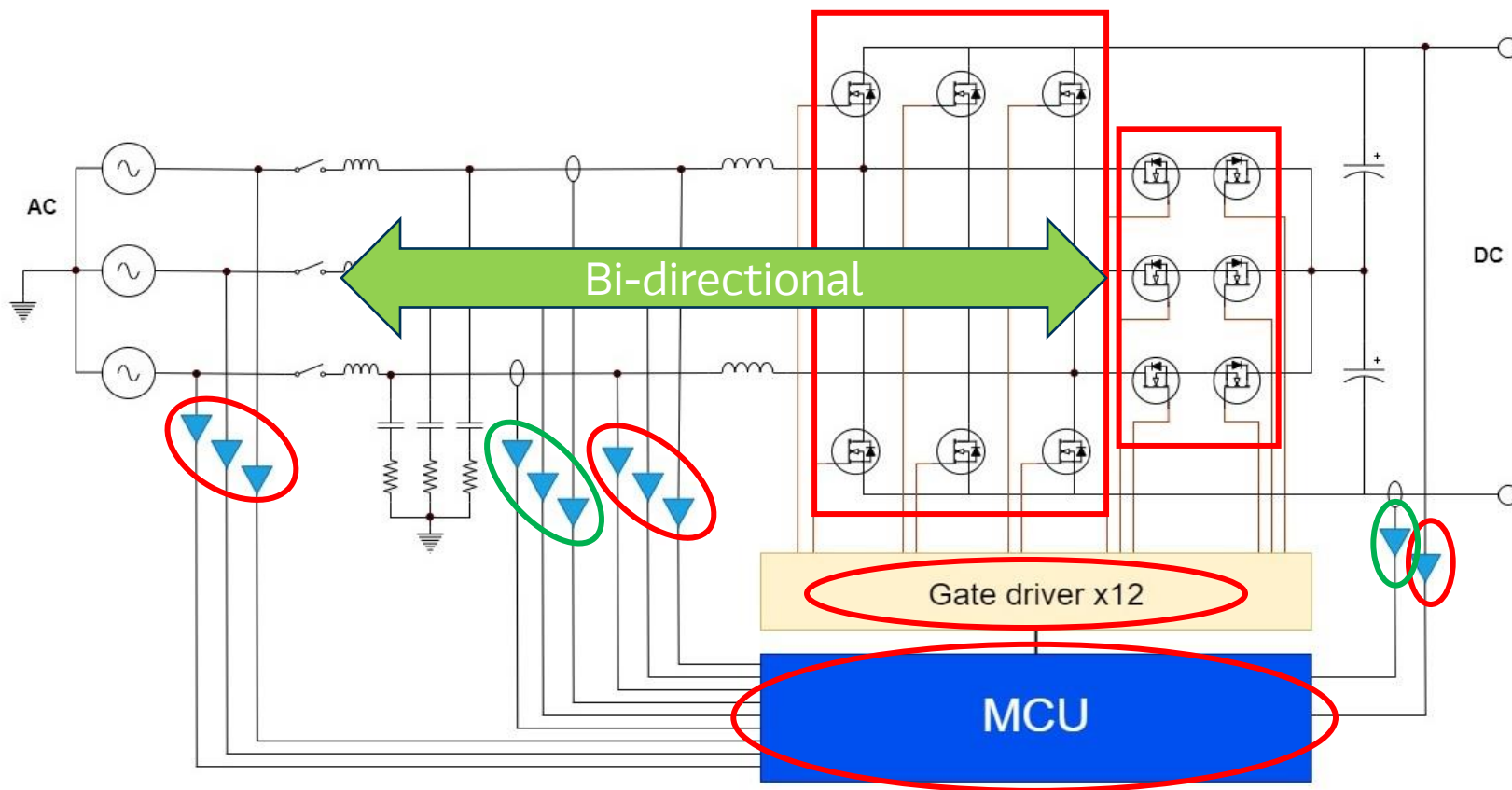


特点

- AC/DC 双向转换
- 开关频率：70kHz
- 额定 AC 电压：400VAC_{L-L}
- 工频：50Hz
- 额定 DC电压：800VDC
- 标称功率 (整流模式)：15kW max.
- 标称功率 (逆变模式)：11kW max.
- 功率因数：>0.99
- 效率：>98%
- THD：<5%

简介

框图-三相三电平T型双向转换



主要芯片

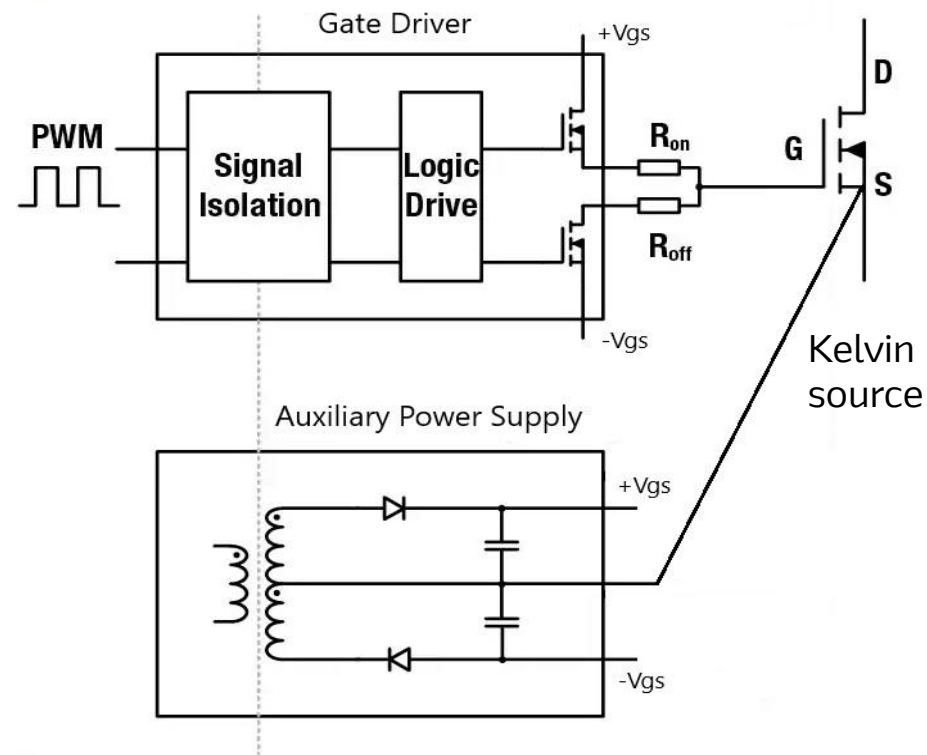
- MCU 控制器:
STM32G474RET3
- 栅极驱动器: STGAP2SiCSNCTR
- 碳化硅 MOS:
SCTW40N120G2V /
SCT070W120G3-4AG
- 碳化硅 MOS:
SCTW35N65G2V/
SCT055W65G3-4AG
- 电压检测
- 电流检测

SiC MOSFET 的栅极驱动

准则

使用碳化硅 (SiC) MOSFET 可以获到许多优势，例如更高的开关频率、更高的工作电压、更好的热导率和更高的工作温度等。但其驱动方法与传统的 IGBT 或 Si MOSFET 略有不同。以下是在设计过程中将考虑的一些准则。

- 隔离或非隔离电路
- 负电压关断
- 有源米勒钳位
- 共模瞬变抗扰度 (CMTI)
- 驱动能力、传输延迟等

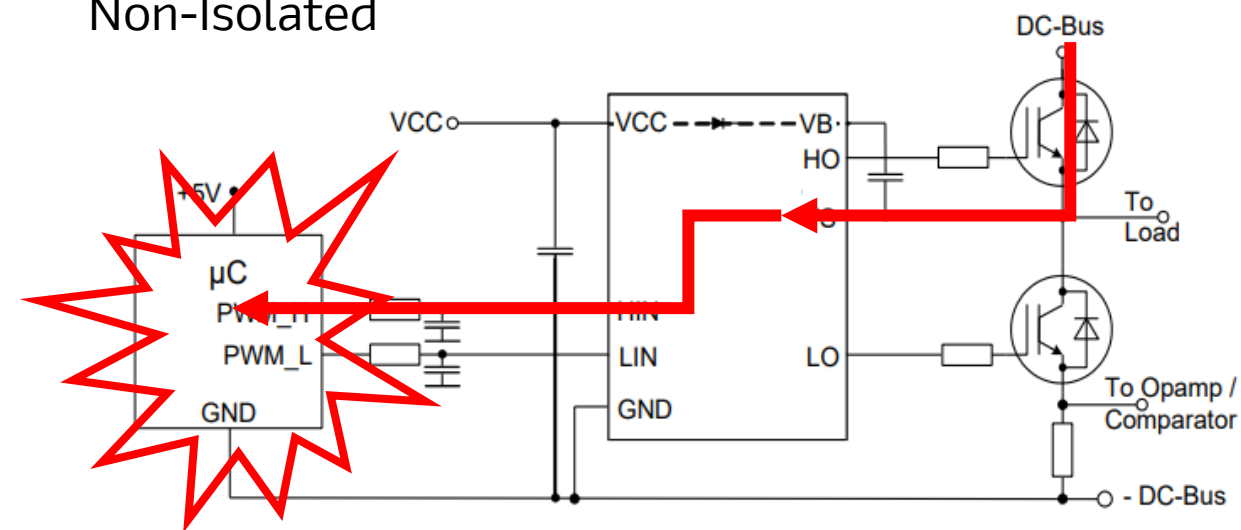


SiC MOSFET 的栅极驱动

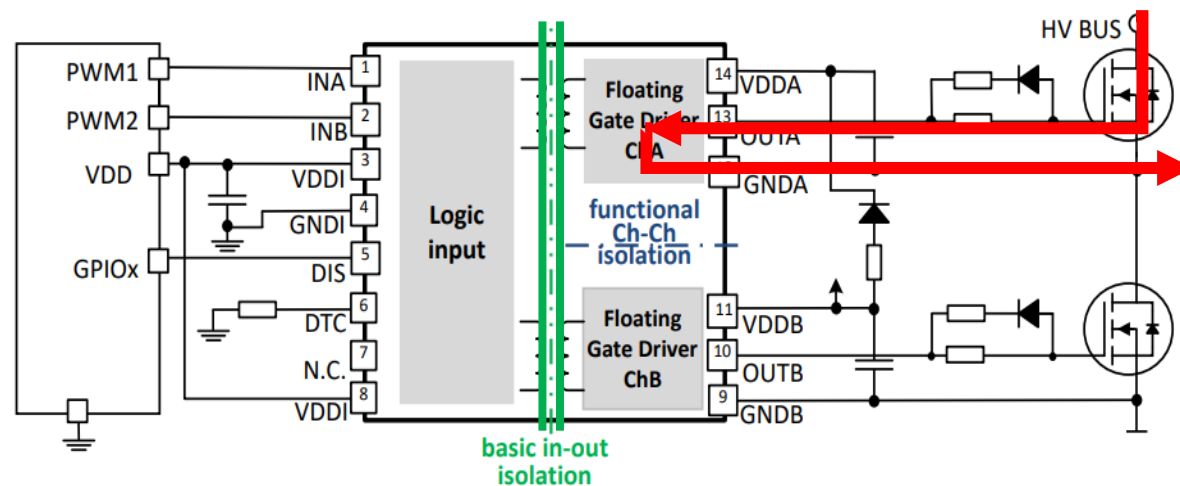
隔离或非隔离电路

- 安全原因
- 保护操作人员和 MCU 控制器

Non-Isolated



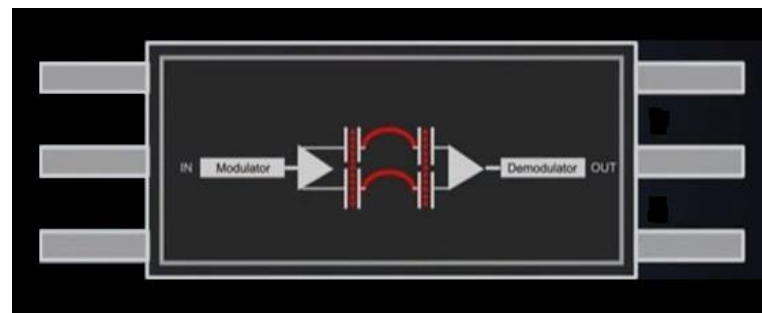
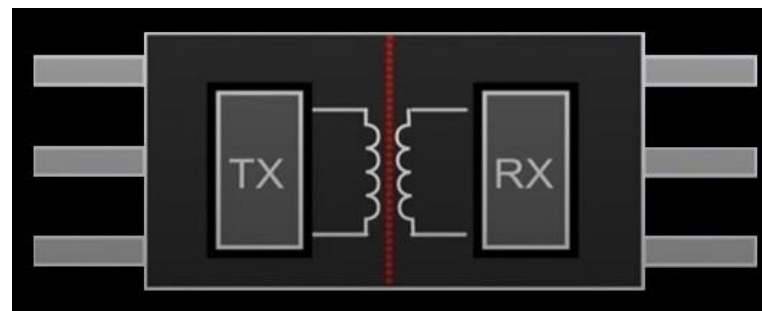
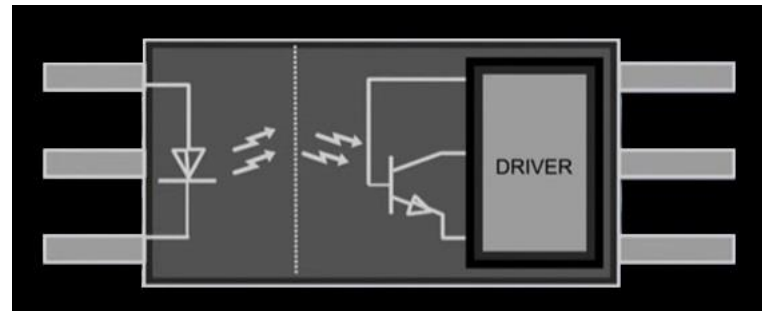
Isolated



SiC MOSFET 的栅极驱动

隔离栅极驱动器的类型

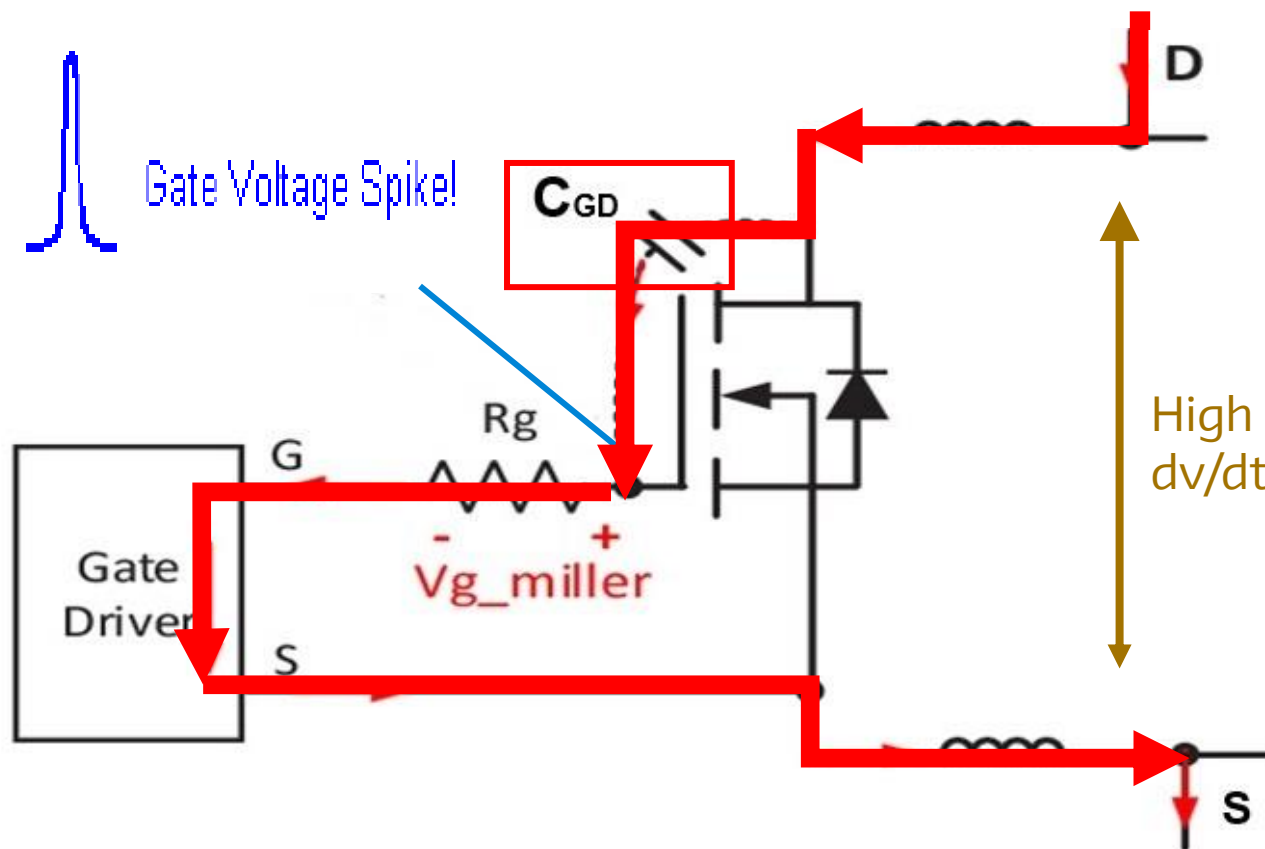
- 光隔离
 - 技术成熟、经济高效、高隔离电压的尺寸较大、性能随时间衰减
- 变压器隔离
 - 隔离电压更高、传播延迟更少、开关频率更高、成本较高
- 电容隔离
 - 最新技术、高可靠性、最小延迟、小封装



SiC MOSFET 的栅极驱动

负电压关断

- 米勒电容 C_{GD}
- 高 dv/dt
- $i = C \frac{dv}{dt}$
- 产生栅极电压尖峰

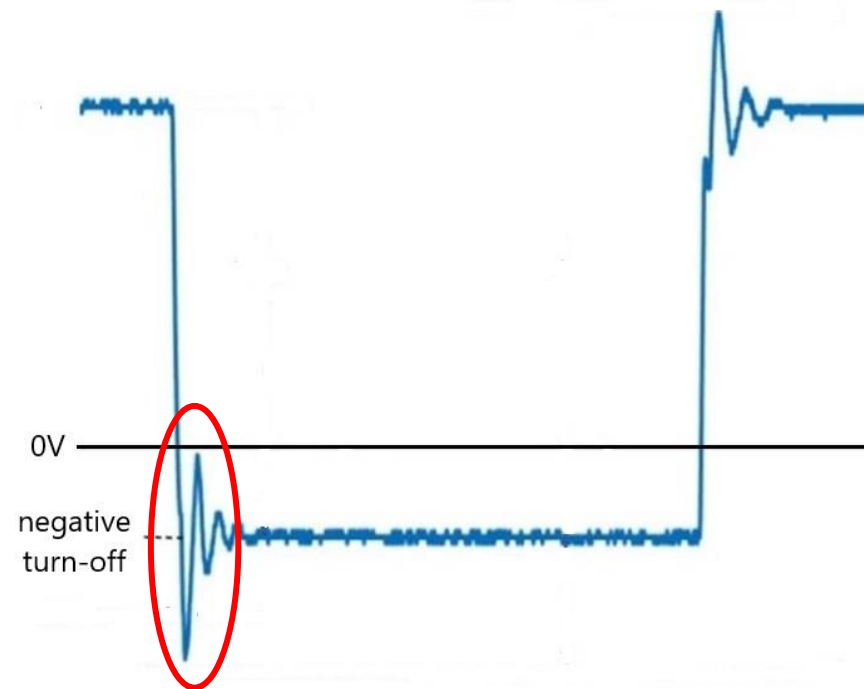


SiC MOSFET 的栅极驱动

负电压关断 (续)

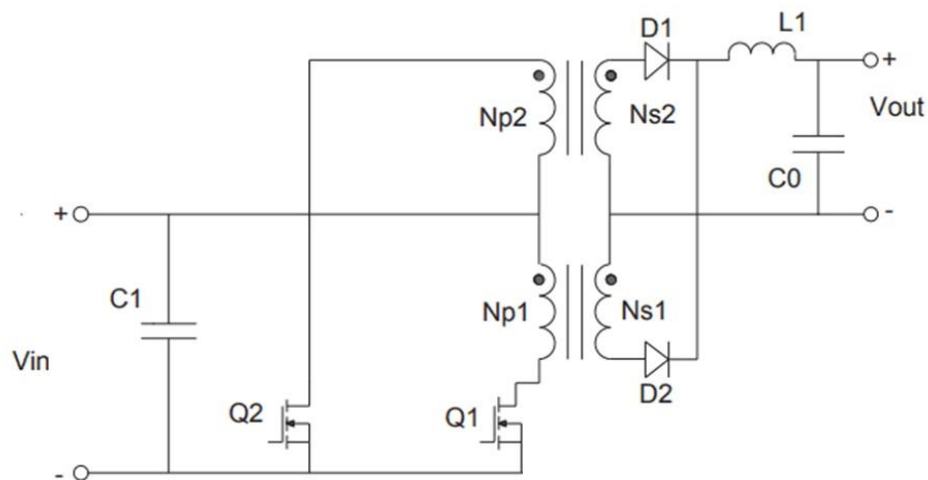
- 米勒电容 C_{GD}
- 高 dv/dt
- $i = C \frac{dv}{dt}$
- 产生栅极电压尖峰
- $V_{g_miller} > V_{g_th} \rightarrow$ MOSFET turn-on
- 负关断电压提供负偏移

V _{GS}	Gate-source voltage			-10 to 22			V	
	Gate-source voltage (recommended operational values)			-5 to 18				
V _{GS(th)}	Gate threshold voltage	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 1 mA			1.9	3.0	5.0	V

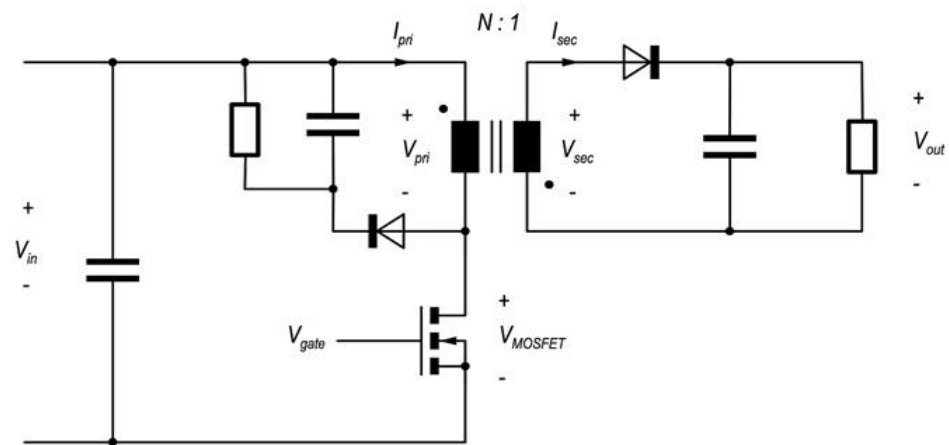


SiC MOSFET 的栅极驱动

栅极驱动器的隔离电源



- 推挽转换器
- 非稳压输出
- 高成本效益
- 尺寸较小
- 效率较低



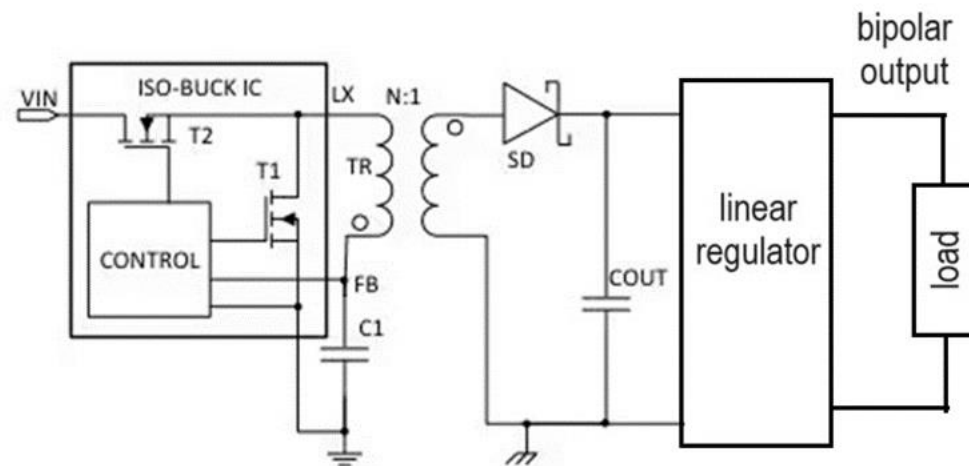
- 反激式转换器
- 稳压输出
- 中等成本
- 设计稍为复杂
- 较高效率

SiC MOSFET 的栅极驱动

栅极驱动器的隔离电源



- DC-DC 模块
- 稳压或非稳压
- 成本价格高
- 占用空间小，使用方便
- 中等效率

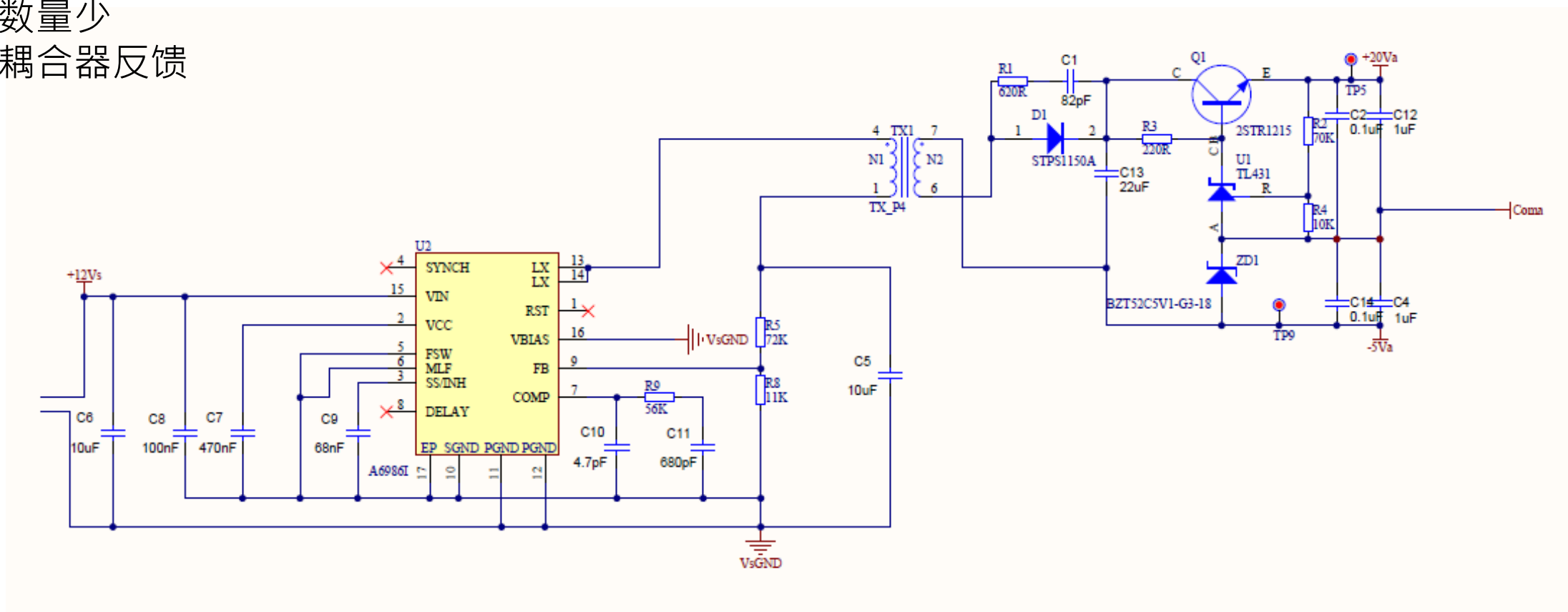


- Iso-buck转换器
- 稳压输出
- 中等成本
- 灵活性设计
- 较高效率

SiC MOSFET 的栅极驱动

Iso-buck 转换器

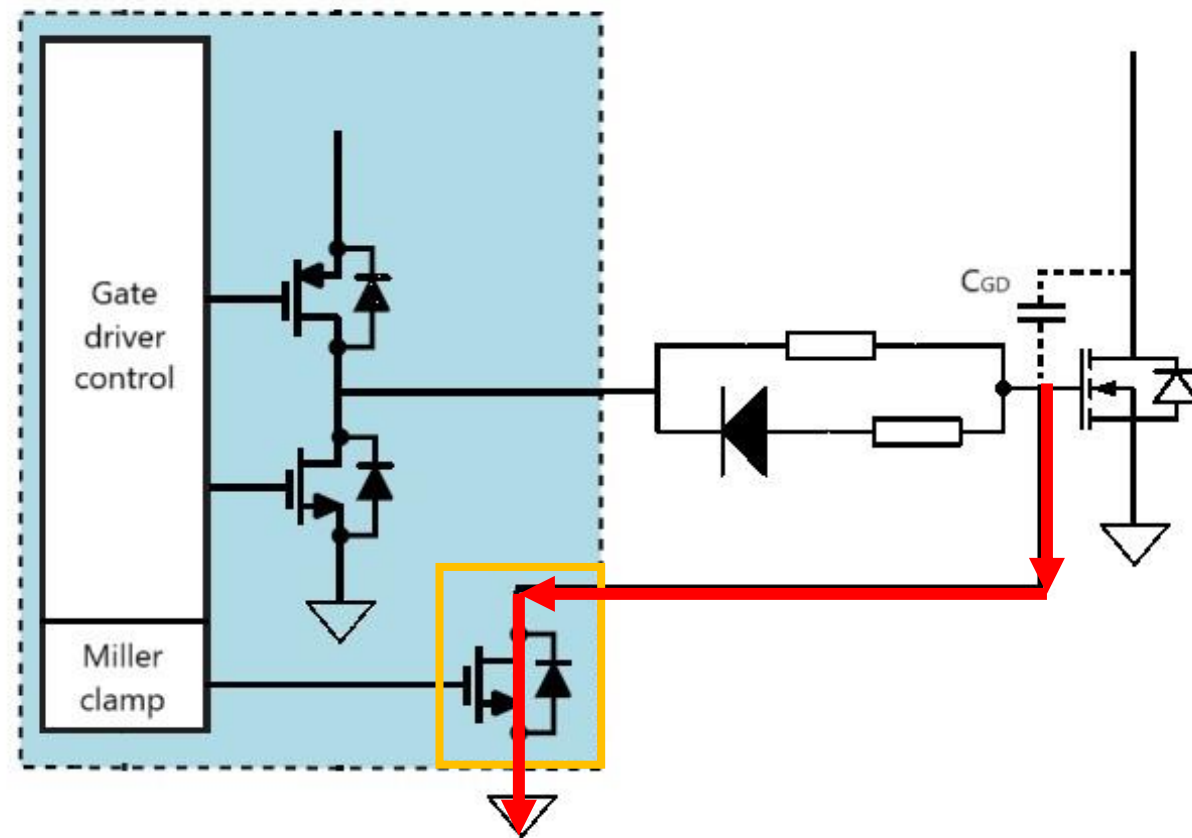
- **ST L6986I**
- 可调双极驱动电压
- 元件数量少
- 无光耦合器反馈



SiC MOSFET 的栅极驱动

有源米勒钳位

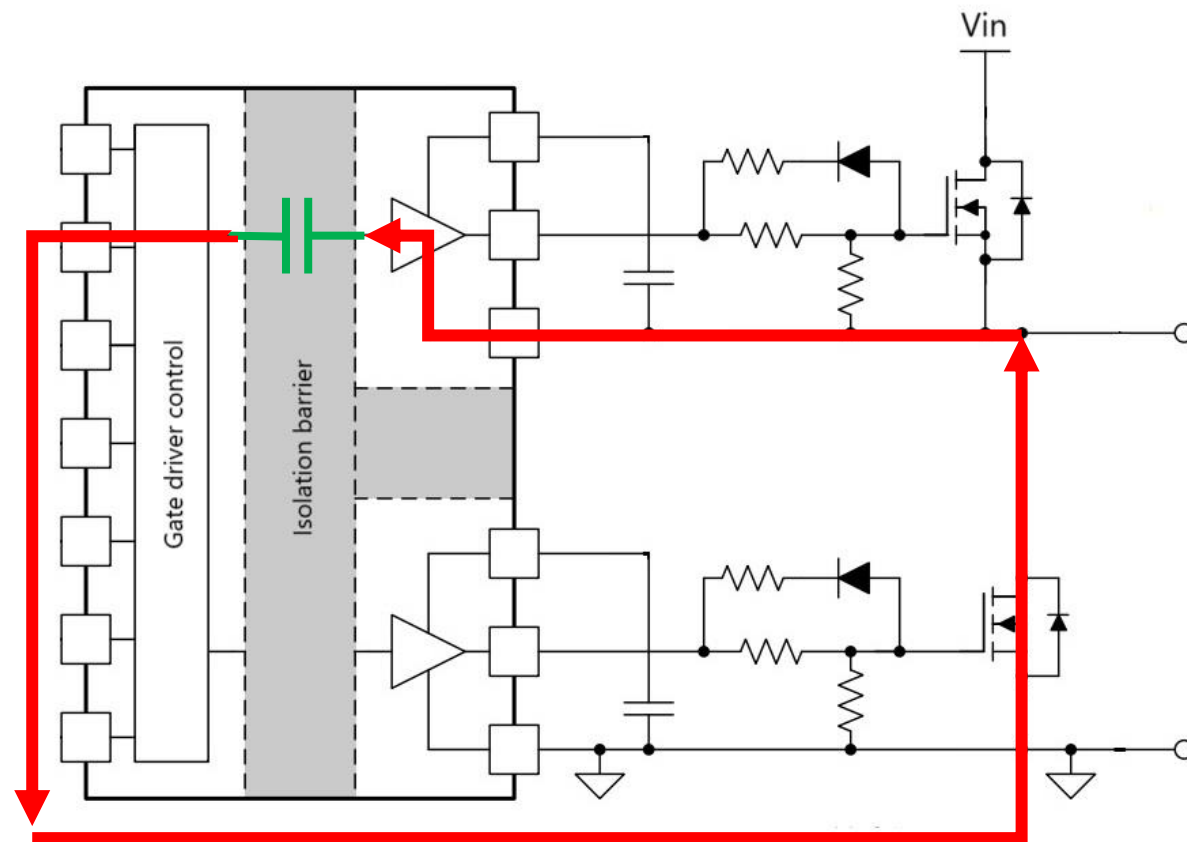
- 驱动 IC 的钳位管直接连接到 SiC 栅极
- 当栅极电压低于阈值时激活钳位晶体管
- 提供了低阻抗路径给米勒电流
- 减少振铃和下冲



SiC MOSFET 的栅极驱动

共模瞬变抗扰度 (CMTI)

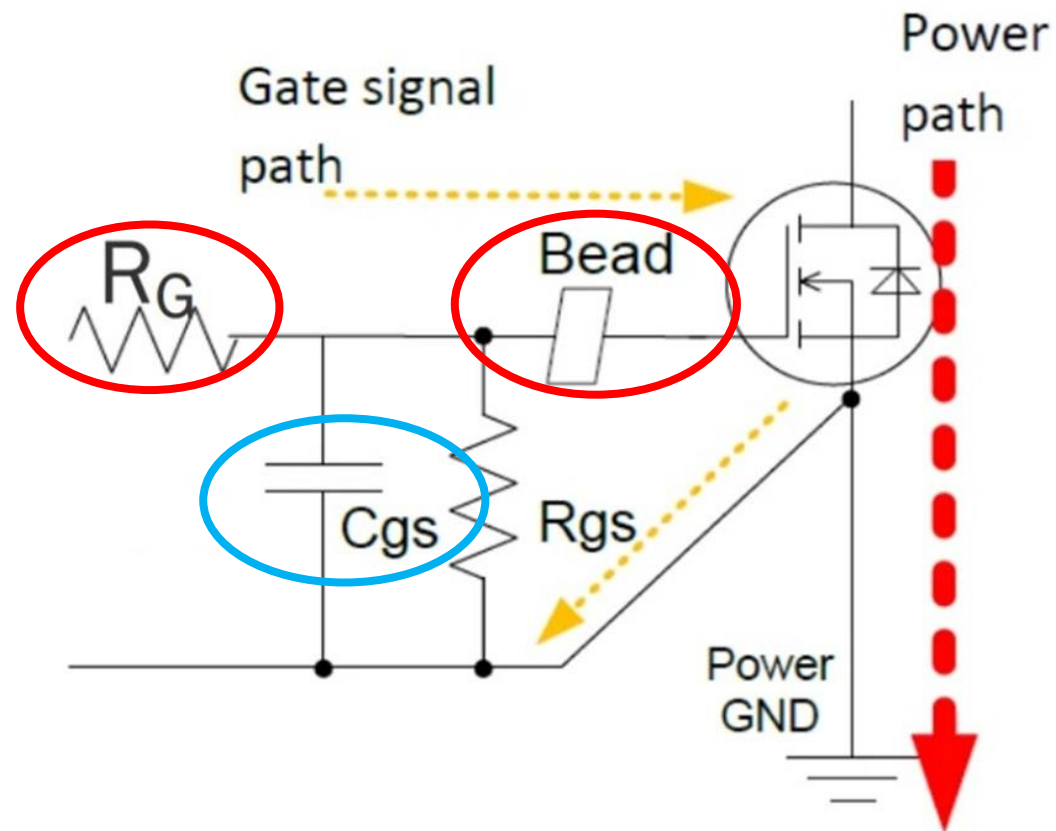
- 高 dv/dt 会引起高共模噪声 \rightarrow 通过绝缘屏障的寄生电容耦合到初级侧
- CMTI – 施加在隔离电路之间的共模电压的最大容许速率 (上升或下降)。单位为 $kV/\mu s$ 或 V/ns
- 高 CMTI – 以非常高的转换速率冲击绝缘屏障时，信号不会发生错误



栅极驱动器优化

元件的使用

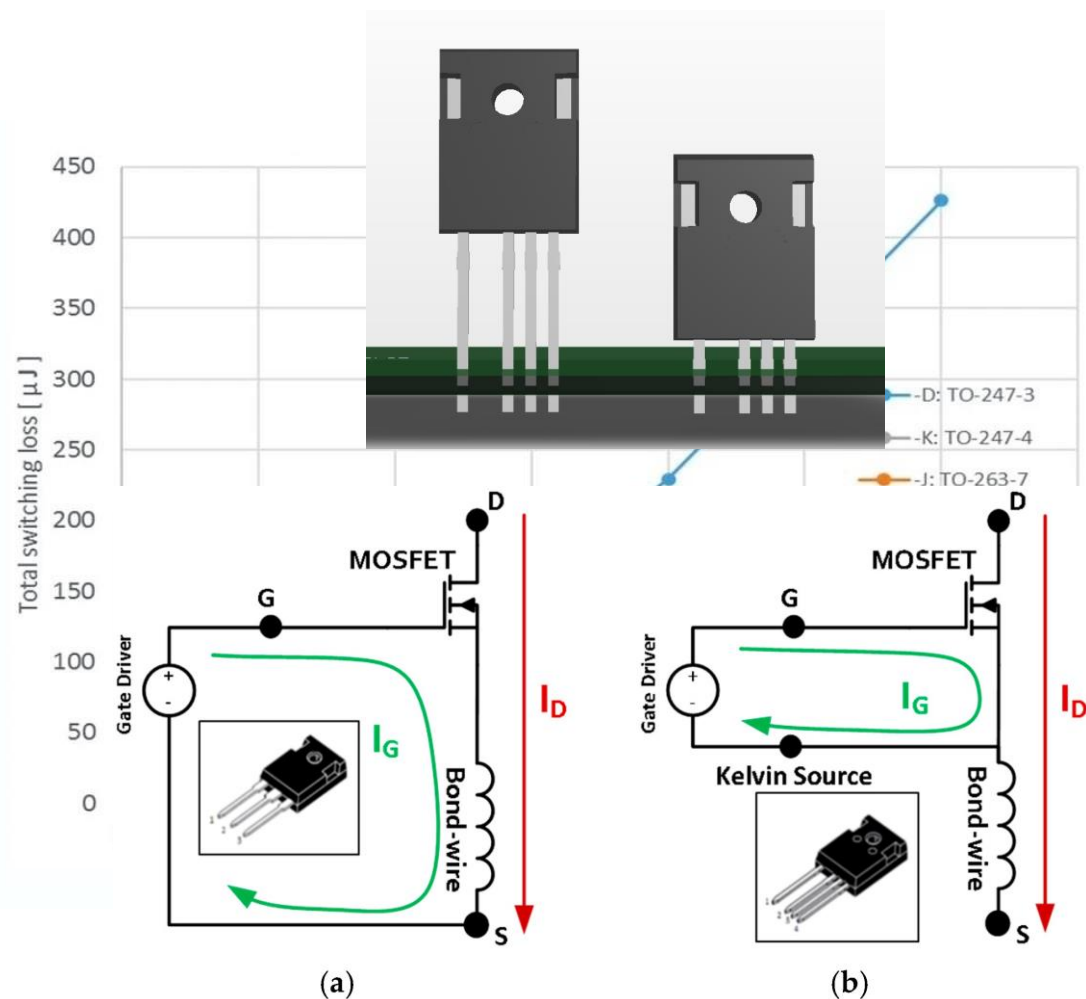
- 在栅极串联电阻和磁珠，增加阻尼效应
- MOSFET 的栅极和源极之间放置去耦电容



栅极驱动器优化

元件的使用 (续)

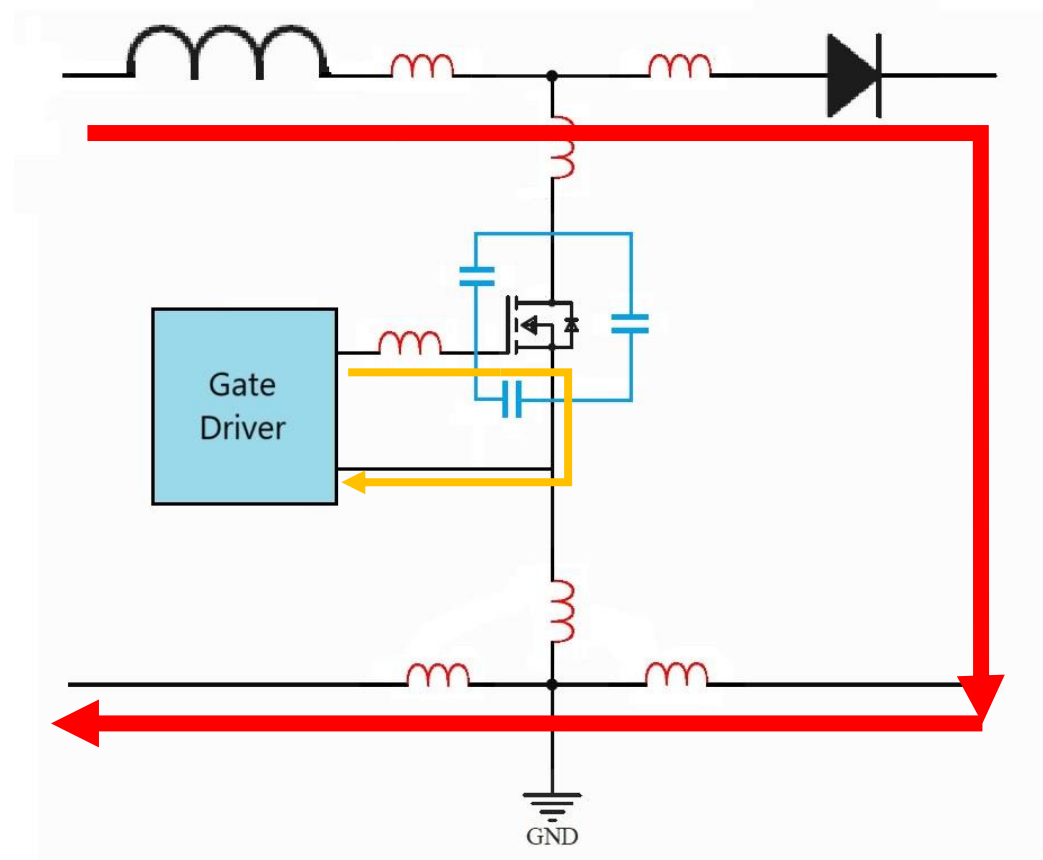
- 在栅极串联电阻和磁珠，增加阻尼效应
- MOSFET 的栅极和源极之间放置去耦电容
- 使用通孔元件时，保持最短引线 → 减少寄生电感
- 使用具有 Kelvin source 的 SiC MOSFET → 最小化寄生电感



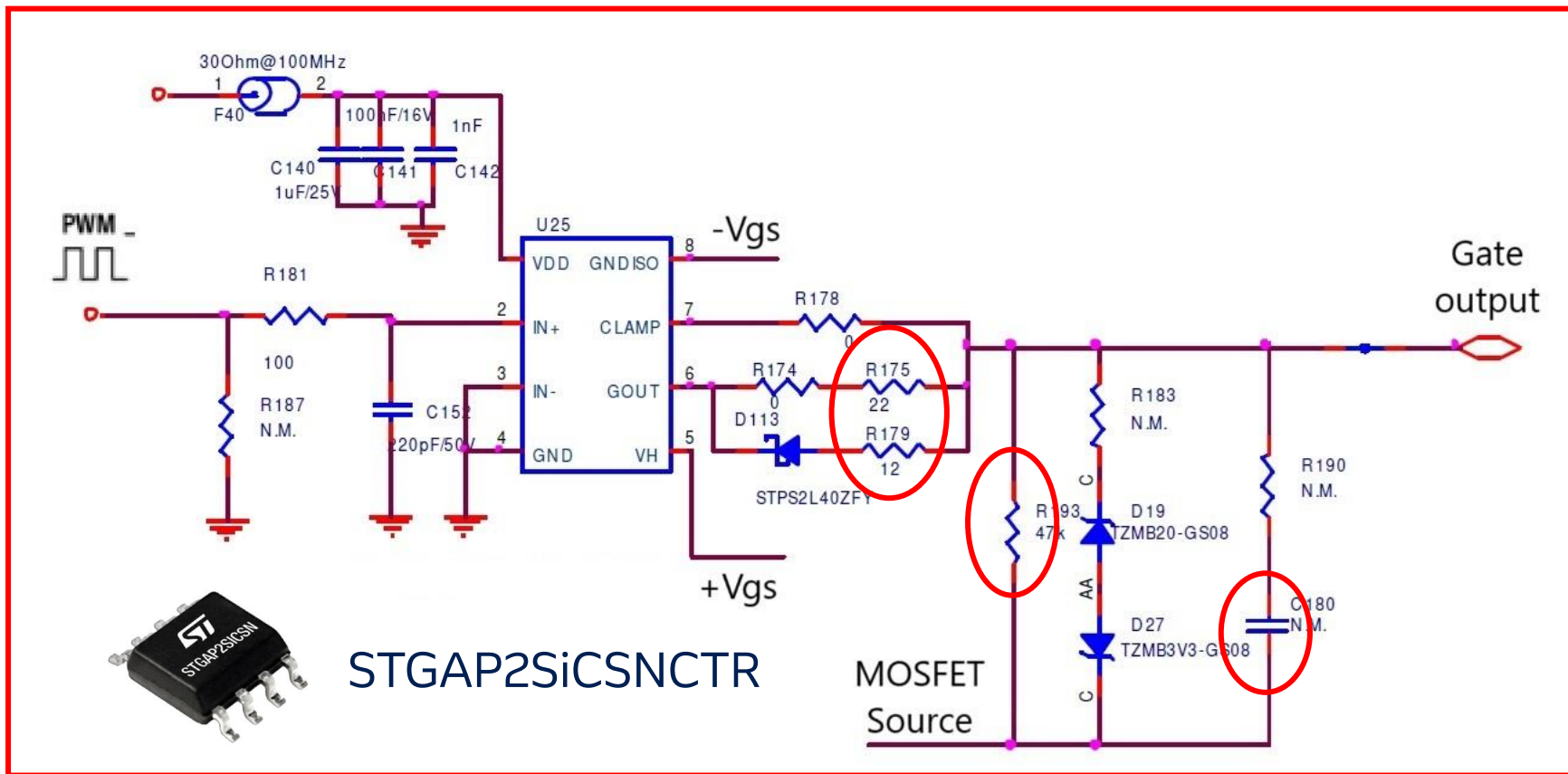
栅极驱动器优化

PCB 布局

- 尽量缩短栅极驱动器与 MOSFET 之间的距离
- 最小化栅极环路面积
- 使用短而宽的走线
- 对直流母线使用较大重叠的铺铜
- 尽量减少开关节点与总线和其他信号的重叠
- 使敏感信号远离高频磁场
- 保持电源环路和栅极驱动器信号分离
- 如要使用并联MOSFET，栅极连接布线尽量保持对称

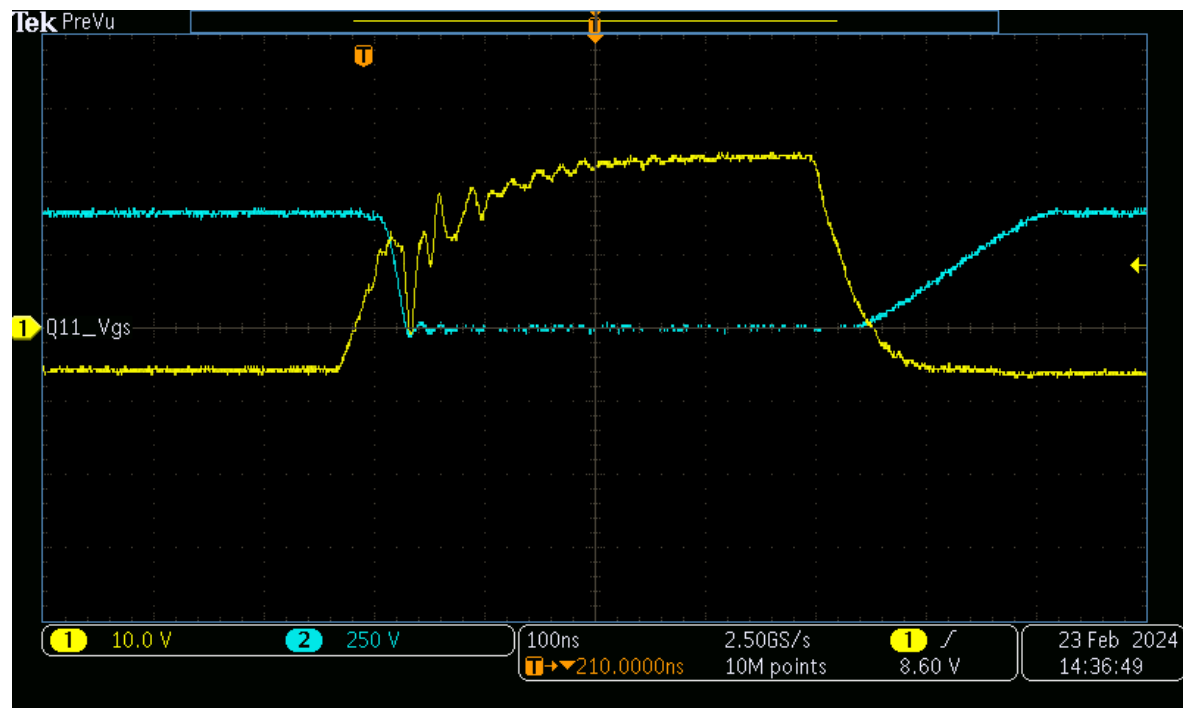


15kW 三相三电平双向AC / DC转换器

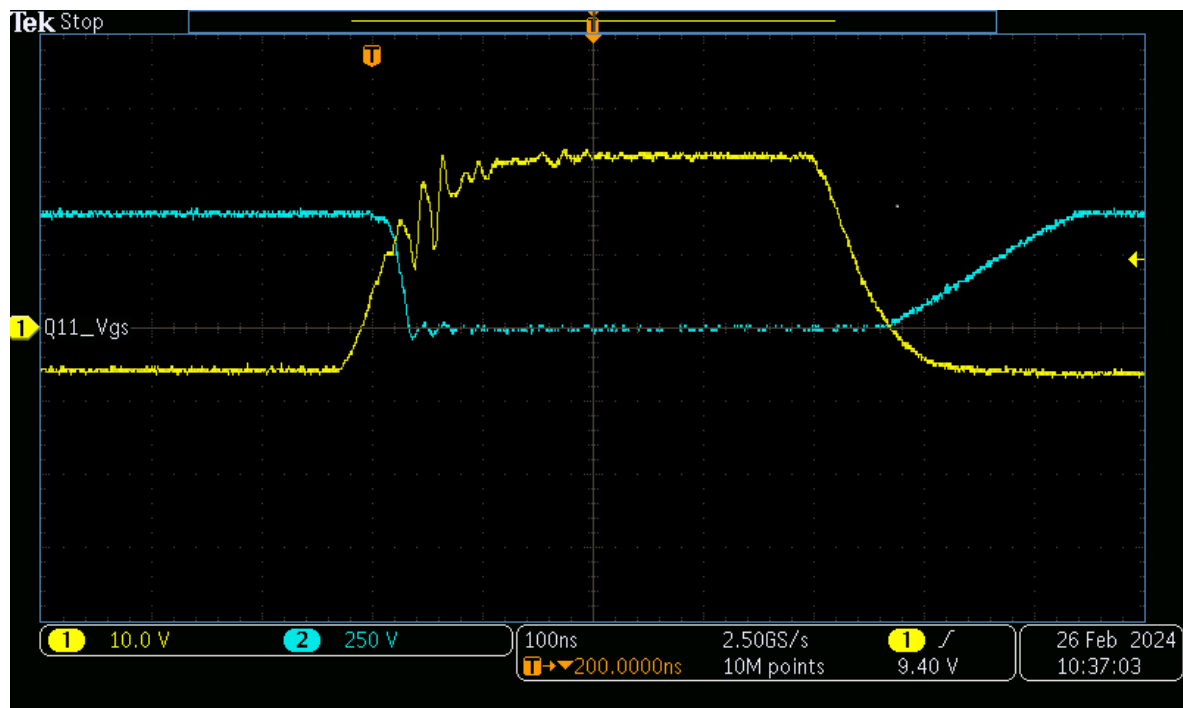


设计实例

15kW 三相三电平双向AC / DC转换器



Before modification



After modification

设计实例

15kW 三相三电平双向AC / DC转换器

L6983i: 2W Iso_buck Converter for SiC Gate Drive Power Supply

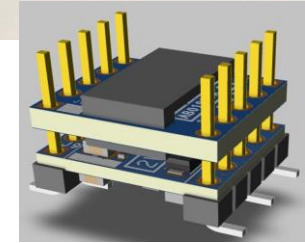
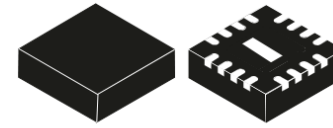
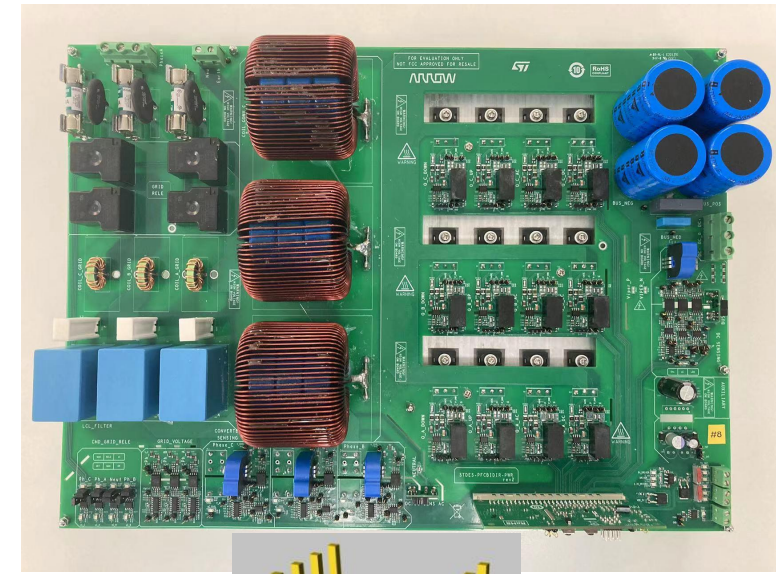
L6983i

特点

- 3.5 V to 38 V operating input voltage
- 200kHz to 1MHz programmable switching frequency
- Primary output voltage regulation / no optocoupler required
- 4.5 A source/sink peak primary current capability
- Internal Loop Compensation
- 2 μ A shut down current
- Internal soft-start
- Overvoltage protection, output voltage sequencing, Thermal protection
- Enable, Power good, Synchronization to external clock
- QFN16 (3x3 mm) package

应用

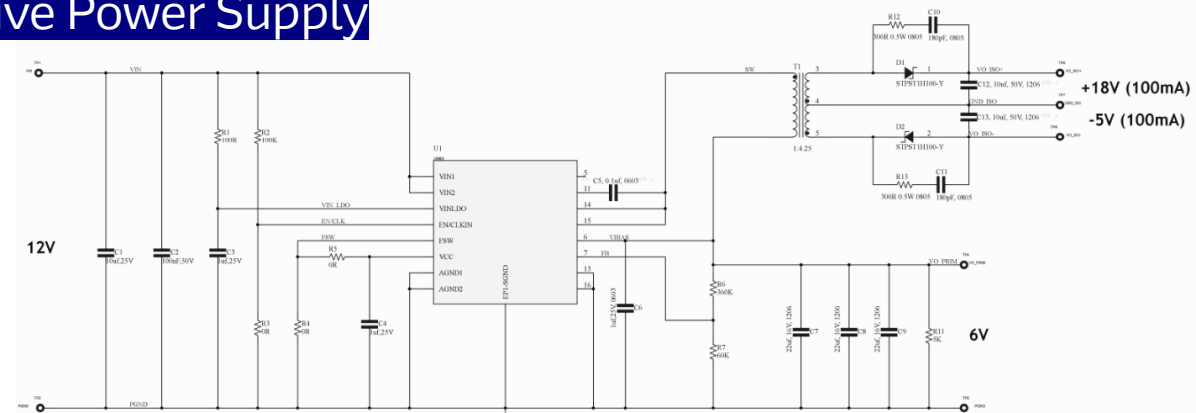
- Isolated IGBT/SiC MOSFET gate drive supply
- OBC (On-board charge) for HEV/EV
- Electric traction systems



QFN16 (3 x 3 mm)

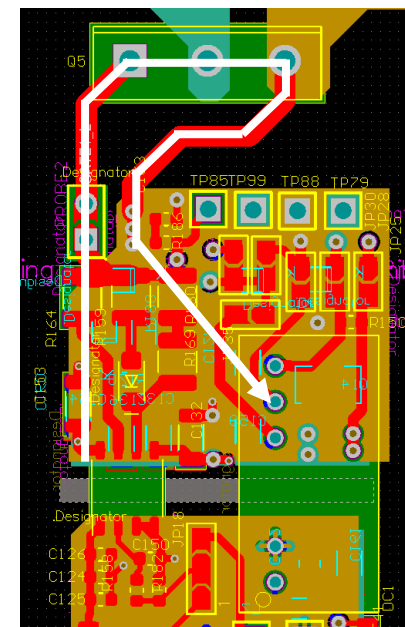
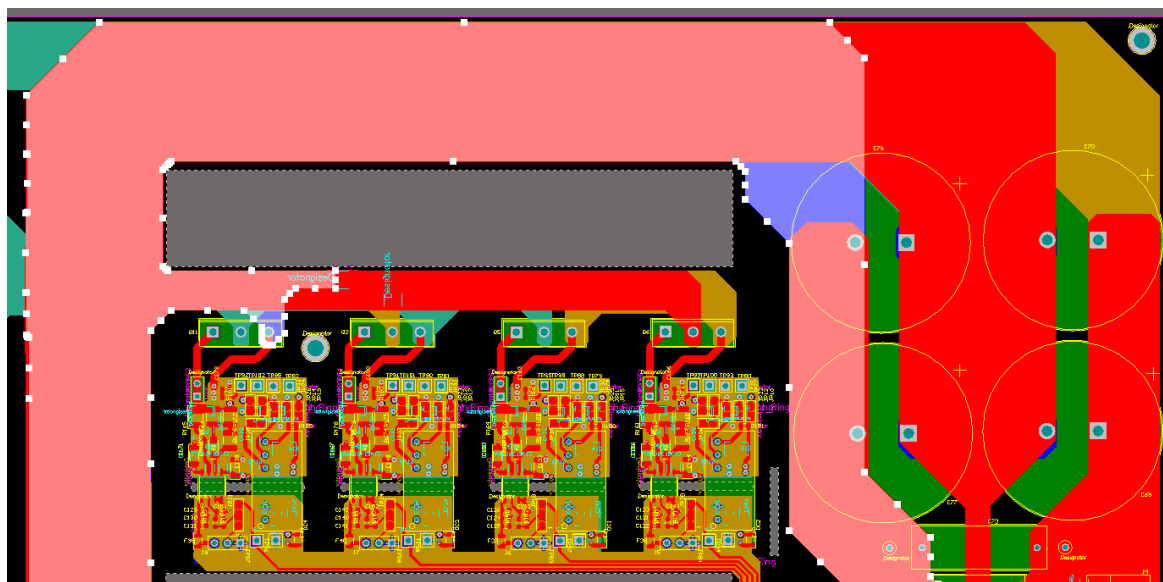
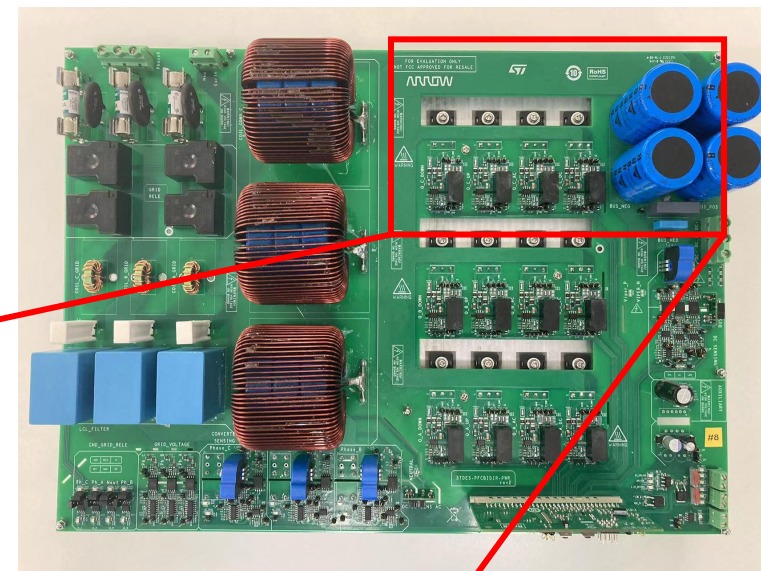
2W Iso_buck Converter for SiC Gate Drive Power Supply

Drive Power Supply



设计实例

15kW 三相三电平双向AC / DC转换器



总结

实现 3 高的设计技巧 - 高效率、高功率密度、高导热性

- 选择合适的 SiC MOSFET – 考虑额定电压、额定电流、封装等因素
- 优化栅极驱动器设计，使性能得到最大程度提升
- 应使用具有足够驱动能力、高CMTI、低传输延迟的栅极驱动器
- 强烈建议使用有米勒钳位功能的驱动器
- 负电压可实现可靠的 MOSFET 关断
- 尽量减少电路寄生
- 添加栅极电阻、栅极和源极之间的去耦电容

您最好的 SiC 设计合作伙伴



Arrow Open Lab





Design & Projects

https://www.arrowopenlab.com/HkOpenLab/ESC_Solution.html



Thank You



Five Years Out