

# Bodo's 功率系统 Bodo's Power Systems®

Electronics in Motion and Conversion

2019年10月刊 · October 2019

一款高温高压隔离型  
栅极驱动器，用于驱动  
62 mm SiC MOSFET  
半桥功率模块

A High Temperature  
Gate Driver for Half  
Bridge SiC MOSFET  
62mm Power Modules

ISSN 2305-5774



10



9

772305 577006



i2i GROUP

爱戴爱集团  
荣誉出品

# 一款高温高压隔离型栅极驱动器 用于驱动 62 mm SiC MOSFET 半桥功率模块

本文展示了一种经过优化、额定工作温度高达 125°C ( $T_a$ ) 的新型栅极驱动器电路参考设计、CMT-TIT8243 [图 1]; 该驱动电路专为驱动 62mm 碳化硅场效应管 (SiC MOSFET) 设计。该设计基于额定温度高达 175°C ( $T_j$ ) 的 CISSOID HADES2 栅极驱动器芯片组 [图 2、3、4], 是目前汽车和工业设备高密度功率模块的优秀驱动电路: 支持高频 (>100Khz) 和快速开关 ( $dv/dt > 50KV/\mu s$ ), 从而提高功率模块的效率, 并减少其尺寸和重量。CMT-TIT8243 的设计, 对标恶劣环境应用, 可支持驱动 1200V 和 1700V 功率模块, 隔离电压高达 3600Vrms (50Hz, 1 分钟), 爬电距离为 14mm。欠压锁定 (UVLO)、有源米勒箝位 (AMC) 和饱和监测等功能保障了故障事件中的安全驱动, 可以更可靠地保护功率模块。

作者: CISSOID 首席技术官 Pierre Delatte  
CISSOID S.A., 3 Rue Emile Francqui, 1435 Belgium

## 简介

今天, 宽禁带半导体器件, 尤其是碳化硅器件, 正在迅速成为汽车 OEM 高压驱动的首选。随着技术的进步, 碳化硅器件将进一步提高效率, 降低开关损耗。在工业设备驱动领域, 也有越来越多的人被碳化硅功率器件的先进性能所吸引。为了充分利用开关速度更快、导通和开关损耗更低的 SiC MOSFET 器件, 我们面临着两大难题: 其一, 需要充分优化具有更低寄生电容、寄生电感的功率模块; 其二, 提供强大快速的栅极驱动, 来更可靠、更高效地驱动这些模块。

本文介绍一种新型栅极驱动解决方案, 该方案为隔离型的耐高温、耐高压参考设计 CMT-TIT8243, 能够满足目前和未来的碳化硅场效应管驱动的核心需求:

- 快速转换能力 (高  $dv/dt$ ), 以实现高效率
- 高转换频率, 以实现高功率密度
- 高压鲁棒性
- 稳定可靠运行



图 1. 62mm 碳化硅场效应管功率模块的 CMT-TIT8243 高温高压隔离型栅极驱动器



图 2. CMT-TIT8243 高温高压绝缘型栅极驱动器

参数	条件	最小值	最大值	单位
峰值电流	Rgate_on = Rgate_off = 0Ω, Ta = 125°C	10		A
最大平均栅极电流	Ta = 125°C, V+ = 20V, V- = -5V	95		mA
正向驱动电压	-40 到 125°C, 从 0 到最大负荷	19.4	20.6	V
负偏驱动电压	-40 到 125°C, 从 0 到最大负荷	-5.2	-4.8	V
寄生电容	高压侧次级到初级之间		10	pF
最大 $dv/dt$		50		kV/ $\mu s$
漏源极间耐压			1200/1700	V
绝缘电压	(50Hz, 1 分钟)	3.6		KVrms
爬电距离/间隙		14/12		mm
稳态工作温度 (Ta)		-40	125	°C

表 1. CMT-TIT8243 栅极驱动器的主要特征

## 快速转换

碳化硅场效应管 (SiC MOSFET) 支持快速开关, 即高  $dv/dt$ , 从而产生极低的开关损耗。对于给定功率模块, 可以通过降低模块外部的栅极电阻来提高峰值栅极电流和  $dv/dt$ , 以降低开关损耗 (见图 3)。因此, 栅极驱动器必须能够提供较大的峰值栅极电流, 从而实现更高开关速率、更低开关损耗。

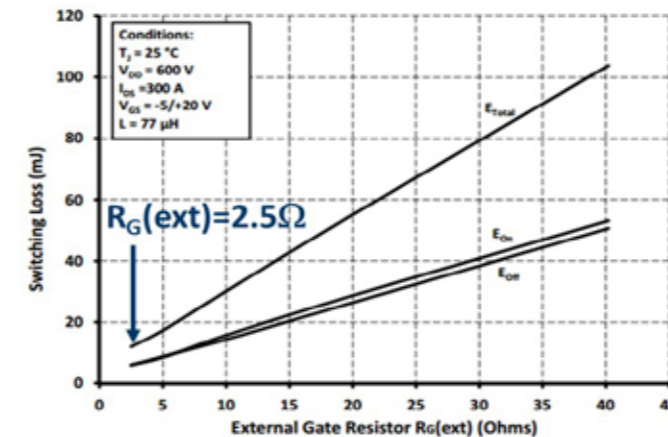


图 3. CAS300M12BM2 模块 [2] 的开关损耗与外部栅极电阻的对比关系

碳化硅场效应管功率模块一般采用内部阻尼来限制  $dv/dt$  的速率, 并避免模块内部振铃, 例如, CAS300M12BM2 模块 [2] 有一个 3 欧姆的内部栅极阻尼电阻。栅极驱动电压为 +20V/-5V 时, 内部栅极阻尼器峰值栅极电流限制在 8.3 A。我们通常建议设置一个最小的内部电阻, 通常为 2.5 欧姆, 以避免振铃。这意味着实际上峰值电流被限制在 4.5A。温度 125°C, 最大峰值栅极电流为 10A 时, CMT-TIT8243 栅极驱动器可以以最大  $dv/dt$  以及最小的转换损耗驱动 1200V/300A 碳化硅场效应管模块。

由于更高的  $dv/dt$  将显著降低碳化硅场效应管的开关损耗, 因此将给栅极驱动器设计带来更多的挑战。更高的  $dv/dt$  及隔离层 (例如, 电源变压器及信号隔离器) 的寄生电容, 将产生更高的共模电流, 从而干扰栅极驱动器运行, 产生误开关等有害动作。CMT-TIT8243 栅极驱动器能够有效适应更高的  $dv/dt$ : 具有较低的寄生电容, 能够最大程度地降低共模电流; CMT-TIT8243 的高压次级侧和低压初级之间的寄生电容, 总值小于 10pF。CMT-TIT8243 能够在  $dv/dt > 50Kv/\mu s$  情况下可靠运行。

CMT-TIT8243 栅极驱动器还具备 RS-422 规格的 PWM 信号的差分接口, 能够在功率级快速开关过程中提高信号完整性。由于初级和次级之间的寄生电容低于 10pF,  $dv/dt$  可高达 50Kv/ $\mu s$  时, 共模电流也还只是 0.5A; 当然, 在使用单端接口时, 这个级别的共模电流可能会干扰输入输出信号。

图 4 显示了 CMT-TIT8243 栅极驱动器和 CAS300M12BM2 模块在 250A/600V 时的双脉冲开关。图 5 显示高压端开关开启时,  $dv/dt > 40kv/\mu s$  的信号细节。



图 4. CMT-TIT8243 栅极驱动器和 CAS300M12BM2 模块 [5] 的双脉冲开关信号。



图 5. 开启时  $dv/dt > 40KV/\mu s$ , CMT-TIT8243 高温高压隔离栅极驱动器和 CAS300M12BM2 模块 [5]

### 高开关频率

得益于更低开关损耗，碳化硅晶体管能够在提高功率部件的开关频率时使得功率模块的冷却依然可控。这个特点降低了过滤器和功率部件的尺寸，从而大大缩小了功率模块的尺寸和重量，显著提高了功率密度。当然，为确保高频开关，CISSOID 的高温高压隔离栅极驱动器设计了足够大的平均栅极电流，满足栅极电荷总值乘以转换频率的一般规律。

CMT-TIT8243 栅极驱动器能够提供每个驱动输出 95mA 的平均栅极电流。由于 1200V/300A 碳化硅场效应管的栅极电流总值约为 800V/300A (1  $\mu$ C 时) [2]，这意味着栅极驱动器能够以 92Khz 的转换频率运行。实际上，最大开关频率将受到功率模块的转换损耗限制，而非栅极驱动器。

由于运行结温更高，因此 SiC MOSFET 还能够实现更大功率密度。随着功率部件功率密度的提高，环境温度也会上升。人们通常投入大量精力来冷却功率模块，却忽略了栅极驱动器自身的冷却。当环境温度为 125 $^{\circ}$ C 时，最大平均栅极电流不下降的话，CMT-TIT8243 栅极驱动器能够为高功率密度模块提高耐热裕量，从而减少其热设计和机械设计的难度。

由于碳化硅场效应管的导通电阻因栅极控制电压 Vgs 的上升而下降，所以，稳定而准确的正向驱动电压就显得非常重要。要应对正向驱动电压的波动，就要在功率转换器的热量设计中，留出更多的裕量。CMT-TIT8243 栅极驱动器比正向驱动电压的精确度高达 5%，从而降低了功率级的热量设计难度。

### 高压鲁棒性

碳化硅技术最大的优势在于其阻断电压高达 600V 以上。此外，较高 dv/dt 和 di/dt 在功率回路（包括功率模块、母线和直流总线电容器）中的寄生电容上带来了更高的电压尖峰。栅极驱动器还应具备高压耐受性，从而保证高绝缘性。

CMT-TIT8243 栅极驱动器拥有高隔离电压，能够在恶劣的电压环境中提供安全余裕：

- IC 内部的信号隔离（次级到初级侧）> 3600 Vrms（50Hz，1 分钟）
- 外部初级信道隔离（初级到次级）> 3600 Vrms（50Hz，1 分钟）
- 外部次级信道绝缘（次级到初级）> 3600 Vrms（50Hz，1 分钟）

为了在恶劣环境中运作，CMT-TIT8243 还设计了高绝缘距离：

- 爬电距离 > 14 mm（初级到任何二级、及任何二级之间）
- 安全间隙 > 12 mm（初级到任何二级、及任何二级之间）

### 安全可靠的运行能力

通常需要以负电压关闭功率晶体管，以防在传输过程中出现误动作开启。但是，需要很好地控制该负压，因为负压偏差过大可能会影响碳化硅场效应管的栅极氧化层的长期可靠性 [6]。CMT-TIT8243 栅极驱动器的负压控制精度也为 5%。

如果说故障保护对栅极驱动器极其重要，那么故障保护对 SiC MOSFET 或 GaN 器件就更重要了。CMT-TIT8243 的主要保护功能有：

欠压锁定 (UVLO)：CMT-TIT8243 栅极驱动器监测隔离 DC-DC 转换器的输入初级供给电压以及次级的输出电压，并且在其低于设定阈值时报告故障。增加了延迟以预防伪故障事件。

预防重叠：该功能将上臂和下臂的 PWM 信号的重叠降至最低，从而防止同时开启而导致短接。

有源米勒箝位 (AMC)：在栅极电阻器上搭接，保护功率器件不会发生误动作。这一功能对于通过米勒电容 Cgd 产生的陡变电流的抑制非常有用。

饱和监测：在开启状态下，在消隐时间之后检查、确定功率场效应管漏源电压低于预定阈值。如果高于该预定阈值，就可能意味着电路出现了短路，此时 CMT-TIT8243 会主动关闭，并即时向控制器报告故障。

软开关：发生故障时，CMT-TIT8243 会平缓关闭驱动输出，最大程度减少因较高 di/dt 产生的尖峰。

### 结论

本文介绍了经过优化的、用于 62mm SiC MOSFET 功率模块驱动的新型高温高压隔离型栅极驱动电路的参考设计，CMT-TIT8243。该参考设计的额定的工作温度扩展至 125 $^{\circ}$ C (Ta)，并为高密度功率模块的设计提供了热余裕。更高峰值的栅极驱动电流和更大的平均栅极维持电流，使得 CMT-TIT8243 可支持高速开关和更低开关损耗。此外，高压隔离与保护等功能使得 CMT-TIT8243 能够在恶劣电气环境中安全运行。

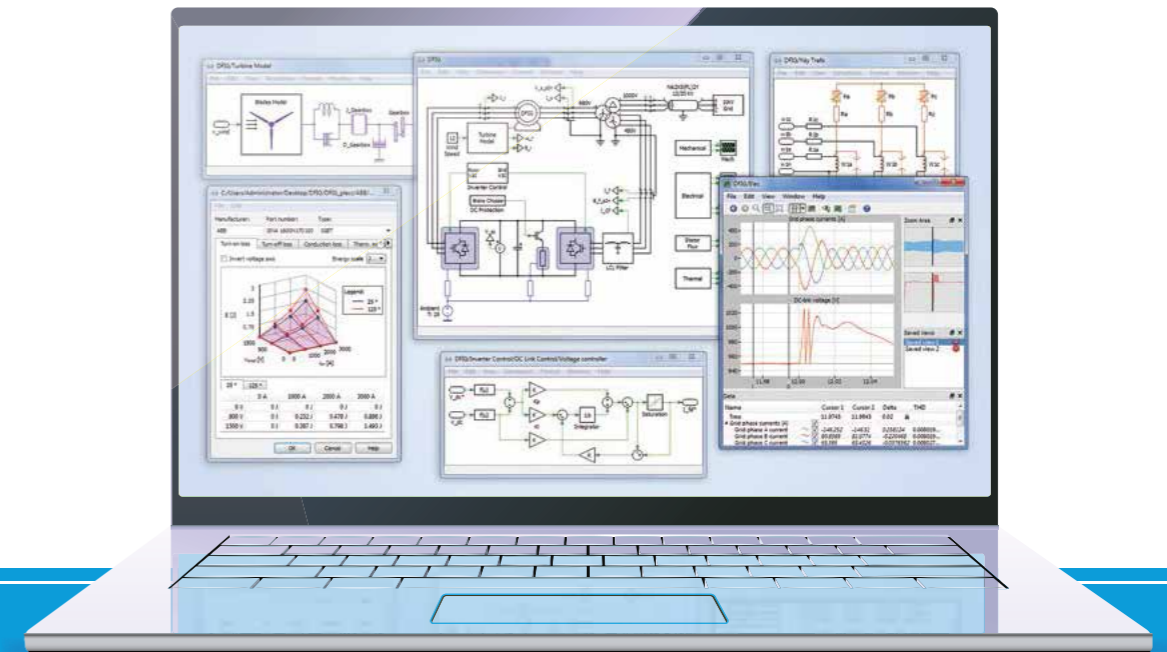
### 参考资料

- [1] CMT-TIT8243: 1200V/1700V High Temperature (125  $^{\circ}$ C) Half-Bridge SiC MOSFET Gate Driver Datasheet : <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-TIT8243.pdf>
- [2] P. Delatte “Designing a temperature ruggedized gate driver”, EETimes, May 2015, p40-41
- [3] High Temperature Gate Driver Primary Side IC Datasheet: DC-DC Controller & Isolated Signal Transceivers <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-HADES2P-High-temperature-Isolated-Gate-driver-Primary-side.pdf>
- [4] High Temperature Gate Driver -Secondary Side IC Datasheet: Driver & Protection Functions <http://www.cisoid.com/files/files/products/titan/CMT-HADES2S-High-temperature-Gate-Driver-Secondary-side.pdf>
- [5] Wolfsped CAS300M12BM2 1200V, 4.2mOhm SiC MOSFET module datasheet
- [6] R. J. Kaplar, et. al., “Degradation mechanisms and characterization techniques in SiC MOSFETs at high temperature operation”, Electrical Energy Storage Application and Technologies (EESAT) Conference, 16-19 Oct 2011, San Diego, CA, USA

[www.cisoid.com](http://www.cisoid.com)



系统级别仿真平台  
加速电力电子原型设计



### 综合建模

- ▶ 功率电气
- ▶ 控制回路
- ▶ 热损耗
- ▶ 磁性元件
- ▶ 机械传动

### 功能特点

- ▶ 高速模拟极端复杂系统
- ▶ 方便观测瞬态波形
- ▶ 动态评估开关管损耗
- ▶ 独立运行或集成在Simulink内

获取免费试用  
[www.plexim.com/cn/trial](http://www.plexim.com/cn/trial)