

AN-2016 应用笔记

One Technology Way • P.O. Box 9106 • Norwood, MA 02062-9106, U.S.A. • Tel: 781.329.4700 • Fax: 781.461.3113 • www.analog.com/cn

### 使用ADuM4136隔离式栅极驱动器和LT3999 DC/DC转换器 驱动1200 V SiC电源模块

#### 作者: Juan Carlos Rodriguez和Martin Murnane

#### 简介

电动汽车、可再生能源和储能系统等电源发展技术的成功取 决于电力转换方案能否有效实施。电力电子转换器的核心包 含专用半导体器件和通过栅极驱动器控制这些新型半导体器 件开和关的策略。

目前最先进的宽带器件,如碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)半导体具有更高的性能,如600 V至2000 V的高电压额定值、低通 道阻抗,以及高达MHz范围的快速切换速度。这些提高了栅 极驱动器的性能要求,例如,通过去饱和以得到更短的传输 延迟和改进的短路保护。

本应用笔记展示了ADuM4136栅极驱动器的优势,这款单通 道器件的输出驱动能力高达4A,最大共模瞬变抗扰度(CMTI) 为150 kV/µs,并具有包括去饱和保护的快速故障管理功能。 与Stercom Power Solutions GmbH协作开发,用于SiC功率器件 的栅极驱动单元(GDU)展现了ADuM4136的性能(参见图1)。 电路板采用双极性隔离电源供电,其基于使用LT3999电源驱 动器构建的推挽式转换器。此单片式高压、高频、DC/DC转 换驱动器包含具有可编程限流功能的1A双开关,提供高达 1 MHz的同步频率,具有2.7 V至36 V的宽工作范围,关断 电流<1 μA。

该解决方案采用SiC金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET) 电源模块(F23MR12W1M1\_B11)进行测试,SiC模块提供1200 V 的漏源击穿电压、22.5 mΩ典型通道电阻和100 A脉冲漏电流能 力,最大额定栅极源极电压为-10 V和+20 V。

本应用笔记评估了该解决方案生成的死区时间,并分析研究 GDU引入的总传输延迟。通过去饱和检测,测试了对SiC器 件的过载和短路保护功能。

测试结果表明,该解决方案响应快速。



图1. GDU

# 目录

简介	1
修订历史	
测试设置	
测试结果	
死区时间和传输延迟	
去饱和保护	6
原理图	9
结论	

### 修订历史

2019年7月—修订版0:初始版

### AN-2016

图4中所示的GDU接收来自脉冲波发生器的开关信号。这些

信号传送至死区时间产生电路,由LT1720超快、双通道比

较器来实现,比较器的输出馈入两个ADuM4136器件。

ADuM4136栅极驱动器向栅极端发送隔离信号,并从电源

模块中的两个SiC MOSFET的漏极端接收隔离信号。栅极驱动器的输出级由推挽式转换器提供隔离电源,该转换器使

用了由外部5 V直流电源供电的LT3999 DC/DC驱动器。SiC

模块的温度测量使用了ADuM4190高精度隔离放大器。

图3展示了实验连接设置,表2描述了去饱和保护测试中使

ADuM4190由LT3080低压差(LDO)线性稳压器供电。

# 测试设置

用于报告测试的完整设置如图2所示。在电源模块两端提供 高压直流输入电源(V1)。在输入端添加1.2 mF、去耦箔电容 组(C1)。输出级为38 μH电感(L1),在去饱和保护测试过程 中可将其连接至电源模块的高边或低边。表1总结了测试设 置功率器件。



#### 表1. 测试设置功率器件

器件	值
V1	0 V至1000 V
C1	1.2 mF
SiC电源模块(FF23MR12W1M1_B11)	1200 V、23 mΩ
L1	38 µH

#### 表2. 测试设置设备

设备	制造厂商	产品型号
示波器	Rohde & Schwarz	HMO3004, 500 MHz
直流电源	Komerci	QJE3005EIII
栅极驱动单元(GDU)	Stercom	SC18025.1
脉冲波发生器	IB Billmann	PMG02A
数字万用表(DMM)	FLUKE	Fluke 175
高压差分探针	Testec	TT-SI 9010
AC Rogowski电流探针	PEM	CWT mini

用的设备。



0650-0

图3. 测试设备连接图

# AN-2016

### 测试结果

#### 死区时间和传输延迟

硬件死区时间由GDU引入,以避免半桥电源模块中出现短路,这在打开或关闭高边和低边SiC MOSFET时可能会发生 (请参见图4)。请注意,延迟的PWM\_B信号在本文中表示 为PWM\_B\_D。

在传输延迟测试中,在底部驱动器的信号链上测量死区时间,其由GDU PWM\_B信号的(有效低电平)输入激发。 死区时间通过使用电阻电容(RC)滤波器和LT1720超快比较器生成。图5至图8显示传输延迟测试的结果。表3描述了图5至图8所示的信号。

#### 表3. 示波器信号描述(低端驱动器)

符号	信号功能	通道号
VGS_B	MOSFET栅极	2
PWM_B_D	比较器后	3
PWM_B	GDU输入	4

当PWM\_B输入信号被拉低时,比较器将其延迟PWM\_B\_D 输出状态从高变为低,死区时间由RC电路确定(~160 ns, 参见图5)。

当SiC MOSFET关断,且PWM\_B输入信号被拉高时,与SiC MOSFET开启时测量的延迟时间相比,PWM\_B\_D延迟时间可以忽略不计(~20 ns),如图6所示。

开启和关断时在PWM\_B\_D死区时间生成和VGS\_B信号切换后测得的延迟时间如图7和图8所示。这些延迟时间比较短暂,分别为66 ns和68 ns,是由ADuM4136。引入的延迟。

开启时的总传输延迟时间(死区时间加上传输延迟)约为 226 ns,关断时的总传输延迟时间约为90 ns。表4总结了传 输延迟时间的结果。



图4. GDU信号链

### AN-2016

#### 表4. 传播延迟测试结果

				驱动器延迟时间	
事件	切换信号,高-低	切换信号,低-高	死区时间(ns)	(ns)	总传输延迟时间(ns)
器件开启	PWM_B、PWM_B_D	栅极信号	160	66	226
器件关断	栅极信号	PWM_B、PWM_B_D	22	68	90



图5. 死区时间测量,器件开启



图6. 死区时间测量,器件关断



图7. 延迟时间测量,器件开启



图8. 延迟时间测量,器件关断

### 应用笔记

#### 去饱和保护

避免驱动开关高压短路的去饱和保护功能集成在 ADuM4136 IC上。

在此应用中,每个栅极驱动器间接监控MOSFET的漏极至 源极引脚的电压( $V_{DS}$ ),检查并确认其DESAT引脚的电压 ( $V_{DESAT}$ )不超过介于8.66 V至9.57 V之间的基准去饱和电压 电平VDESAT\_REF (VDESAT\_REF = 9.2 V,典型值)。此外,  $V_{DESAT}$ 的值取决于MOSFET操作和外部电路:两个高压保护 二极管和一个齐纳二极管(参见表6和原理图部分)。

V<sub>DESAT</sub>的值可通过以下等式计算:

$$V_{DESAT} = V_Z + 2 \times V_{DIODE\_DROP} + V_{DS}$$

其中:

Vz是齐纳二极管击穿电压。

V<sub>DIODE\_DROP</sub>是每个保护二极管的正向压降。

在关断期间,DESAT引脚在内部被拉低,未发生饱和事件。 此外,MOSFET电压(V<sub>MOSFET</sub>)高,且两个二极管反向偏置, 以保护DESAT引脚。

在接通期间,DESAT引脚在300 ns内部消隐时间后释放,两 个保护二极管正向偏置,齐纳二极管出现故障。在这里, V<sub>DESAT</sub>电压是否超出VDESAT\_REF值取决于V<sub>DS</sub>的值。

正常工作时, $V_{DS}$ 和 $V_{DESAT}$ 电压一直很低。当高电流流经 MOSFET时, $V_{DS}$ 电压增大,导致 $V_{DESAT}$ 电压电平升至 VDESAT\_REF以上。

在这种情况下,ADuM4136栅极驱动器输出引脚(V<sub>OUT</sub>)在 200 ns内变为低电平并去饱和MOSFET,同时生成延迟<2 μs 的FAULT信号,使栅极驱动器信号(VGS)立即锁定。这些信 号只能由RESET引脚解锁。

检测电压电平取决于 $V_{Ds}$ 的值,并可通过选择具有击穿电压  $V_z$ 的合适齐纳二极管设定为任何电平。反过来,可根据 MOSFET制造商数据手册中所述的 $V_{Ds}$ 来估计用于去饱和的 MOSFET电流( $I_D$ )。 用栅极脉冲对高边和低边MOSFET进行了两次去饱和保护 测试。通过选择不同的齐纳二极管,在每次测试中测试了 不同的故障电流。测得的电流值如表4所示,假定最大 VDESAT\_REF = 9.57 V (最大值),标称V<sub>DIODE\_DROP</sub> = 0.6 V。

#### 低边测试

25℃室温下,通过在100 V至800 V的范围内改变输入电压 (V1),进行了低边去饱和保护测试(参见图9)。



图9. 低边去饱和保护测试

图10至图17显示低边去饱和保护测试的结果。表5说明了图 10至图17所示的信号。

表5. 示波器信号描述(低边测试)

通道号	信号名称
1	FAULT
2	V <sub>DS</sub>
3	I <sub>D</sub>
4	VGS

在图16和图17中,在25°C下对~125 A的电流触发了去饱和 保护,并且故障状态引脚在延迟约1.34 μs后触发为低电平。

对电源模块的高边进行了类似测试,其中在25℃下对~160A 的电流触发了去饱和保护,并在1.32 μs后触发故障状态引 脚为低电平。

低边和高边测试的结果表明,栅极驱动解决方案可在<2 μs 的高速下,能够上报去饱和检测的电流值,这个电流值接 近设定的电流值(参见表4)。

#### 表6. 去饱和保护测试的计算条件

测试	齐纳击穿电压,V <sub>z</sub> (V)	检测电压电平,V <sub>DS</sub> (V)	检测电流电平,Ⅰ <sub>D</sub> , 25℃ (A)	检测电流电平,I <sub>D</sub> ,125℃ (A)
低边	5.1	3.27	116	95
高边	4.3	4.07	140	110

# AN-2016



### 应用笔记





## 原理图

#### 图18至图20显示ADuM4136栅极驱动器板的原理图。







图18. ADuM4136栅极驱动板原理图(初级端)

20650-018

 $\begin{array}{ccc} \times \frac{P}{P} & P\$1 \\ \times \frac{P}{P} & P\$1 \\ \times \frac{P}{P} & P\$1 \\ \times \frac{P}{P} & P\$1 \end{array}$ 

H101 MOUNT-PAD-ROUND4.2

H102 MOUNT-PAD-ROUND4.2



图19. ADuM4136栅极驱动板原理图(隔离电源和高边栅极信号)

#### +5V $\uparrow$ IC302 0R VIN R301 WE 742792141 SYNC 305 LED302 WE 150080GS75000 UVLO 1u/50\ 10u/16V/X5R D303 SWA OVLO/DC L303 D303 . TF301G\$3 1u/50V/X7R RDC C315 C314 <sup>E</sup> 1u/50V/X7R 1u/50V/X7R WE 74279214 R32 **P** ģ C316 Ð R319 뒑 D305 D306 rF301G\$2● 人人人 RT SWB 1u/50V/X7R ILIM/SS D312 TZMC3V C317 RBIAS <u>s\_</u>т ắŮ C306 GND 1304 1300 7300 7300 73 LT3999-EMSE 49k9 R310 WE 74279214 ↓ -з∨\_т RB521S30T1G RB521S30T1G 100n/50V/X7R +15V\_B TP301 ∳ 100R BZX84C4V3 1n/50V/C0G D308 H RGL34K D309 H RGL34K ╢ D\_B - <del>[4</del> D307 R313 C309 +5VINT S\_B n.b. 100n/50V/X7R R312 R312 R311 100n/50V/X7R 1u/50V/X7R C304 C302 S\_B 302 C307 Т +15V\_B RST IC301 ADUM4136-BRWZ T301 ZXMN6A11G R316 RST FLT RDY VDD2 DESAT 13 14 FAULT D313 n.b. R315 G\_B 12 10R R317 VDD2 RDY R304 A-42404-10-A1 IN+ R303 100R PWM\_T\*\_\_\_ VOUT 11 DB\_ X301-1 3R3 ZXMP6A17G T302 INn.b. 15 VSS2 ł PWM\_B\*\_\_\_ D310 n.b D311 X n.b. 301-2 VDD1 VSS1 VSS1 GND2 VSS2 VSS2 16 10 ×301-3 S\_B GND WE 150080GS75000 8 -3V\_B X301-4 9 ×301-5 ×301-6 C310 C312 C308 IEOVIX7R TP305 SB 100n/50V/X7R <u>s</u>в +10V\_B\_ - X301-9 S\_B NTC2-SIC S\_B 图20. ADuM4136栅极驱动板原理图(隔离电源和低边栅极信号)

AN-2016

## 结论

ADuM4136栅极驱动器能够通过去饱和保护上报短传输延 迟和快速过流故障。这些优势结合适当的外部电路设计, 可满足使用SiC和GaN等先进宽禁带半导体器件应用的严 格要求。 本应用笔记中的测试结果是全栅极驱动解决方案在高电 压下驱动SiC MOSFET模块的数据,并通过去饱和保护功 能提供超快响应和相应的故障管理。此栅极驱动解决方 案由LT3999,构建的紧凑、低噪声功率转换器供电,其 提供具有适当电压电平的隔离电源以及低关断电流和软 启动功能。



www.analog.com/cn



©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. AN20650sc-0-7/19(0)