

# 恩智浦GD3160及日立能源ROADPAK SiC功率模块，助力提升电动汽车能效

过去几年，碳化硅（SiC）MOSFET在功率电子领域迅速普及。同时，为了在汽车和电动车的三相逆变器中加强SiC的应用，SiC器件的电压电流能力需要显著提高。提高电压等级需要提升SiC芯片本身的设计，而提高电流能力在大多数情况下则需要单个功率模块中并联多个SiC芯片。模块经过精心设计，在高电流、散热、寄生组件管理和使用寿命之间实现了平衡。

为了充分利用SiC MOSFET技术实现的低损耗，应用层面必须实现高速切换，以降低开关损耗，提高效率。然而，在实践中，功率半导体器件的开通和关断面临一系列困难，需要仔细设计整个系统。模块的栅极驱动单元需要与功率模块完美协调，不仅要平衡栅源电压的性能，还要能驱动基本的安全特性，为逆变器的运行提供安全的机制。

RoadPak SiC MOSFET：1.2 kV模块完美满足上述要求，采用半桥配置，每侧可并联多达10个SiC MOSFET芯片，支持大电流。

## 目录

简介	1
恩智浦GD3160分段驱动	2
分段驱动效果的基础示例	3
日立ROADPAK和GD3160使用分段驱动降低开关损耗	3
延长续航里程或降低车辆成本	6
结语	6

此外，栅极驱动单元还具备智能化的特色和控制方法，可进一步提高功率模块的性能。恩智浦GD3160高级栅极驱动（器）是一款功能齐全的集成式栅极驱动单元，不仅为下一代SiC功率模块提供了稳健的控制，还带有确保功率转换器安全、高效运行等多种功能。

本白皮书重点介绍了名为“分段驱动”的栅波整形功能，具体请参见在日立RoadPak SiC MOSFET模块上演示的恩智浦GD3160高级栅极驱动。该功能支持在正常电流范围内实现功率模块快速开关，同时在发生过流时保护模块免受过压影响。这种去耦合支持设计高效的逆变器单元，而不用担心发生故障时会损坏模块。本白皮书证明了这种“分段驱动”特性可以将模块关闭切换损耗降低30% ~40%，具体取决于实际工况。从而支持更高的电流吞吐量和更高能效的逆变器，而不会因应力过冲减少使用寿命。

恩智浦GD3160分段驱动

分段驱动是一种先进的栅极驱动技术，栅极关断强度（以安培为单位）根据关断时序逐级降低。分段驱动通过降低关断过程中短时很重要的那部分的电流来减缓关断过程。

这减少了电压过冲，甚至支持在条件允许的情况下使用较小的栅极驱动电阻来降低开关损耗。这类智能、复杂的方法利用连接到功率器件漏极/集电极之间的DESET电路来实现。

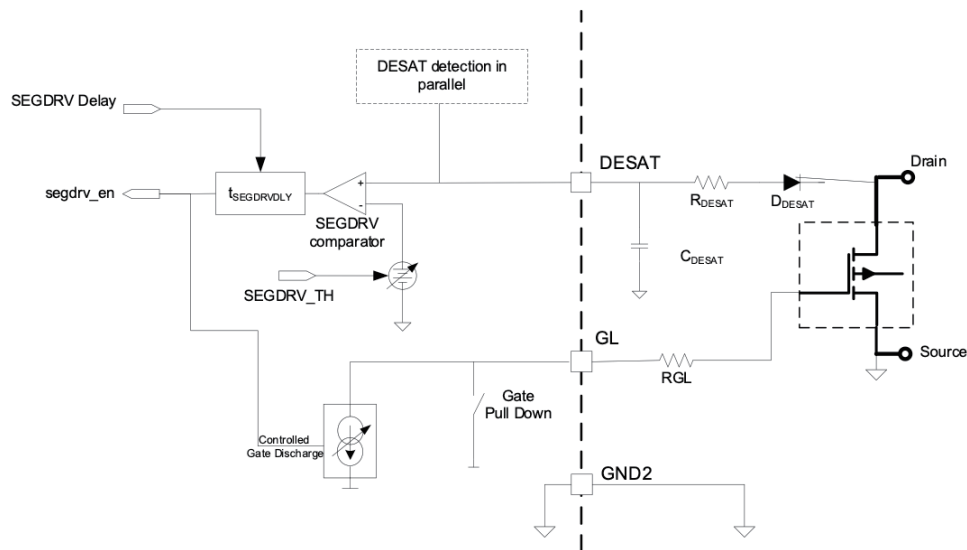


图 1：恩智浦GD3160分段驱动框图

不采用分段驱动时，关断期间的过冲和损耗取决于栅极驱动电阻值（RGL），通常直接成反比关系（即过冲较低意味着关断损耗较高，反之亦然）。

启用和配置了分段驱动后，可以实现更低的过冲和更低的关断能耗，因为GD3160的电流限制了部分关断时序的关断路径。由于栅极驱动修改了关断电流时序，关断性能不再仅仅取决于栅极驱动电阻值。

该功能可配置度高，具有动态灵活性，可适应不断变化的电流和温度条件。分段驱动仅在非故障关闭时有效，不应与电流限制软关断的去饱和、短路保护或过流故障保护相混淆。

分段驱动效果的基础示例

分段驱动时序只是略微修改正常无故障的关断操作。

下图显示了GD3160上栅极驱动修改的程度（及其对过冲电压的影响）。

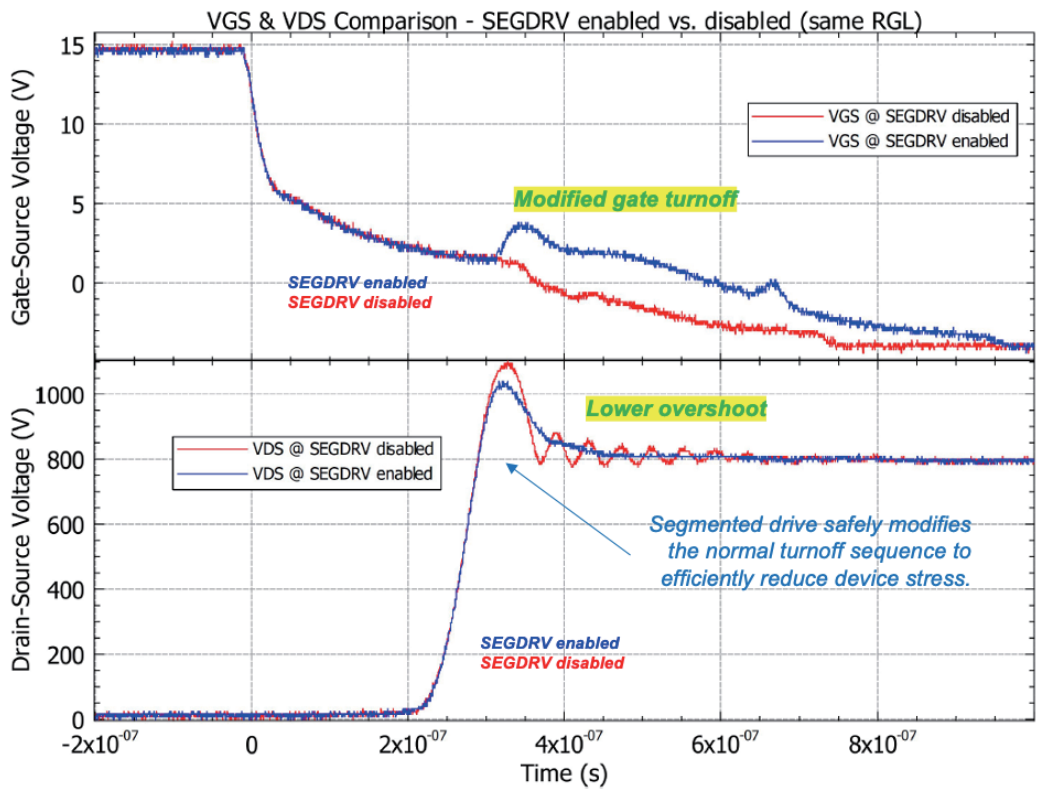


图2：分段驱动对栅极和过冲的影响

在分段驱动时序中执行以下步骤：

- 1. 发出PWM命令，关闭功率模块。
- 2. 栅极开始使用RGL关断电阻的最高强度关闭，DESAT引脚电压上升。
- 3. 当DESAT引脚上的电压超过分段驱动激活阈值（VSEGDRV\_TH）时，栅极驱动开始改变关断流程并持续到时序结束。
- 4. 在激活软关断电流（ISSD）之前，增加了100 ns的延迟以及分段驱动激活延迟时间（tSEGDRV DLY）。
- 5. 软关断功能用于缓慢通过功率器件的阈值区域，减少di/dt和过冲应力。

日立ROADPAK和GD3160使用分段驱动降低开关损耗

可选择关断栅极电阻（RGL）

通过限制最坏情况的过冲，分段驱动允许系统设计师使用比其他情况下更低的关断电阻值。使用较小的电阻可降低总关断损耗并提高效率。

我们使用日立RoadPak和GD3160进行了实验室测试，以证明使用这种分段驱动功能可以实现效率提升。

测试用例使用的是800 V逆变器。为了确定安全的栅极电阻RGL，我们使用了950 V/1000 A车辆中可能发生的最坏情况。得益于日立RoadPak 模块的低杂散电感，在这种最坏情况下出现过冲的概率非常低，如果不启用分段驱动功能，系统设计人员需要将RGL 设置为 3 欧姆。

下图显示，在950 V / 1000 A的最坏情况下，RGL = 3欧姆时，VDS过冲达到1096 V，接近1100 V的目标，对于这个SiC模块来说是安全的。

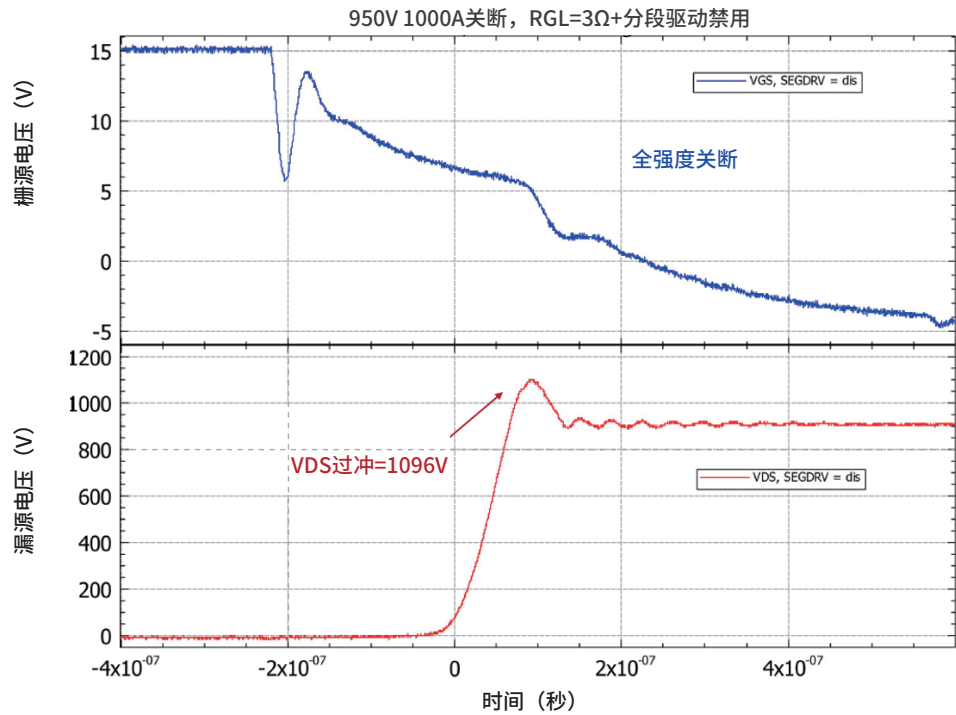


图3：950V/1000A时的关断波形，关闭分段驱动功能，RGL=3欧姆

启用分段驱动，减少GL，仍然防止过冲

我们还开启了分段驱动进行了类似的测试，并适当调整到只有在负载电流高于 600 A时才会产生冲击，以限制过冲。如图4所示，采用同样的配置（950 V / 1000 A）但启用分段驱动，我们可以实现相同的过冲防护，但RGL可以设置为1.5欧姆。分段驱动功能有助于减少最坏情况下的压力，实现更有效的开关设计。

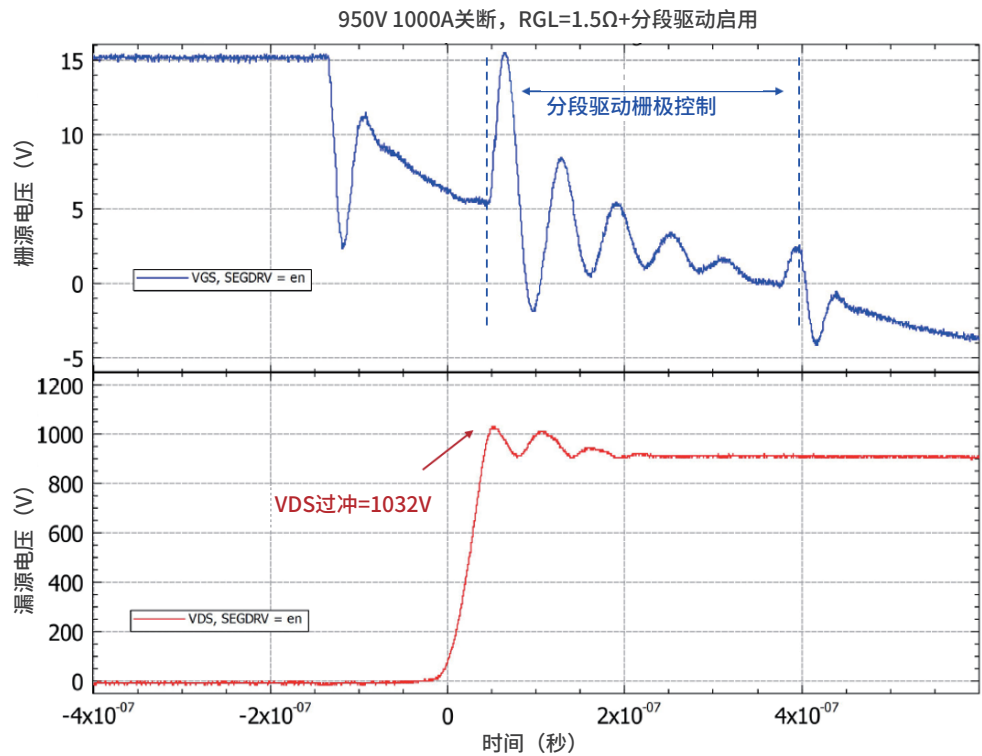


图4：950V/1000A时的关断波形，开启分段驱动功能，RGL=1.5欧姆

典型驱动条件下的节能

分段驱动的主要优点是，当所选栅极电阻较低时，即使分段驱动本身未激活电流值（即接近RoadPak模块的500 A–600 A额定范围），也可以减轻最坏情况的影响。在前一种情况下，它支持将RGL值从3欧姆降低到1.5欧姆，从而提高开关速度并减少开关损耗，而不会由于高于额定电流而产生过压。

例如，我们的测试表明，日立RoadPak SiC功率模块和恩智浦GD3160，在负载为30 A–800 A时，Eoff开关损耗平均降低约40%，如下图所示。

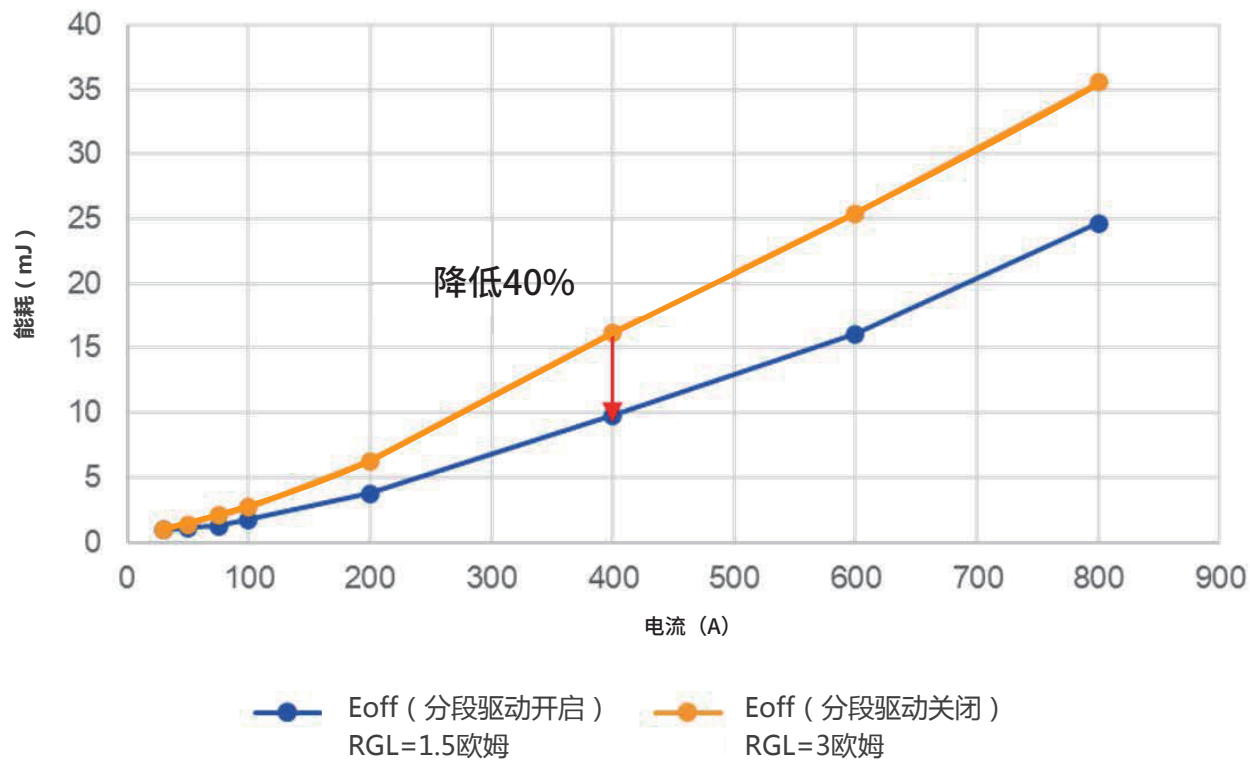


图5：启用分段驱动和不启用分段驱动时，Eoff损耗与负载电流的关系

产生影响不是因为保护级别的降低或风险的增加。当电流上升到接近目标限值时，例如高于800A时，分段驱动将开启，栅极电流将降低，避免过冲。

带有日立RoadPak SiC功率模块和六个GD3160（PWM频率为20kHz）的典型逆变器应用在200A负载下，整个系统节省的Eoff开关损耗可达：

$$\text{开关频率} \times (\text{Eoff (SegDrive ON)} - \text{Eoff (SegDrive OFF)}) \times 6 = 20 \text{ kHz} \times (6.2 \text{ mJ} - 3.7 \text{ mJ}) \times 6 = 229 \text{ W}$$

## 延长续航里程或降低汽车成本

汽车采用日立RoadPak等优化SiC功率模块，再结合恩智浦GD3160等具有波形整形能力的先进栅极驱动，可以大幅节能，对成本产生直接影响，不仅能增加逆变器上的额定电流，还能降低工作温度，从而提高可靠性、缩小电池尺寸并延长续航里程。

通过前文提及的Eoff节余、对典型驱动循环进行模拟，并对电机进行空间矢量调制（尽可能接近真实的逆变器），整个逆变器的损耗可降低约10%，也就是说，逆变器的电流可以增加类似的量，工作温度也能由于损耗的减少而降低。

此外，损耗较低意味着电动汽车（EV）的续航里程将相应延长或电池尺寸减小，从而节省成本（超过300美元）。例如，采用50 kWh电池的电动汽车续航里程为370Km，假设汽车可以上述电流行驶8小时，将节省8hx 0.229 W（1.832 kWh），从而将续航里程延长4%（约15Km）。这种节省可以通过简单的实施实现，而无需调整硬件或采用复杂的电子系统，这是一项重大成就。

## 结语

综上，结合日立RoadPak SiC模块与恩智浦的GD3160分段驱动功能的优点包括：

- 降低关断损耗（Eoff），延长续航里程
- 降低杂散电感，减少过冲
- 消除对关断电阻（RGL）的过度规定
- 在较低电流下没有能效损失
- 使用新的较低RGL抑制过冲

## 联系方式

主页：[www.nxp.com](http://www.nxp.com)

网络支持：[www.nxp.com/support](http://www.nxp.com/support)

### 美国/欧洲或未列出的地区：

恩智浦半导体美国有限公司  
技术信息中心，EL516 2100 East Elliot Road  
Tempe, Arizona 85284  
+1-800-521-6274 或 +1-480-768-2130  
[www.nxp.com/support](http://www.nxp.com/support)

### 欧洲、中东和非洲：

恩智浦半导体德国有限公司  
技术信息中心  
Schatzbogen 7  
81829 Muenchen, Germany  
+44 1296 380 456 ( 英语 )  
+46 8 52200080 ( 英语 )  
+49 89 92103 559 ( 德语 )  
+33 1 69 35 48 48 ( 法语 )  
[www.nxp.com/support](http://www.nxp.com/support)

### 日语：

恩智浦日本有限公司  
Yebisu Garden Place Tower 24F, 4-20-3, Ebisu,  
Shibuya-ku,  
Tokyo 150-6024, Japan  
0120 950 032 ( 国内免费电话 )  
[www.nxp.com/jp/support/](http://www.nxp.com/jp/support/)

### 亚太地区：

恩智浦半导体香港有限公司  
技术信息中心  
2 Dai King Street  
Tai Po Industrial Estate  
Tai Po, N.T., Hong Kong  
+800 2666 8080  
[support.asia@nxp.com](mailto:support.asia@nxp.com)

## 作者

恩智浦半导体的作者：

Pierre Calmes，恩智浦全球系统和应用经理

Travis Alexander，恩智浦系统与应用工程师

Wayne Anderson，恩智浦系统和应用工程师

日立能源半导体公司作者：

Athanasios Mesemanolis博士，日立能源半导体公司高级研发工程师

Tobias Keller，日立能源半导体公司副总裁兼全球产品管理主管

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

恩智浦和恩智浦标识是恩智浦公司的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。  
© 恩智浦公司2022年版权所有。

文档编号：BYLINKWPA4 REV 2

