



ACFL-3161

TO-247 SiC MOSFET EB1200-3161评估板

参考手册

V1.0

目录

ACFL-3161: TO-247 SiC MOSFET EB1200-3161评估板	4
1 介绍	4
1.1 设计特性	5
1.2 目标应用	5
1.3 警告	5
2 系统描述	5
2.1 关键规范	5
2.2 功能块图	6
2.3 引脚配置	8
2.3.1 电源接口	8
2.3.2 信号接口	9
2.4 机械数据	9
3 电路描述	9
3.1 电源管理	9
3.2 栅极驱动器电路	12
3.2.1 保护特性	14
3.2.2 开关电流测量	14
3.3 连接器	15
3.3.1 高压侧电源连接器	15
3.3.2 Vcc +15V 连接器	16
4 使用设置	16
4.1 EB1200-3161的安装	16
4.2 EB1200-3161的评估	17
5 测量结果	17
5.1 典型开关波形和开关损耗表现	17
5.1.1 SCTWA70N120G2V4的典型开关波形	17
5.1.2 SCTWA70N120G2V4的典型开关损耗	18
5.1.3 C3M0021120K的典型开关波形	19

5.1.4 C3M0021120K的典型开关损耗.....	19
5.2 降/升压测量结果.....	20
6 索引.....	21
6.1 原理图.....	22
6.2 PCB.....	24
6.3 材料清单.....	27
6.4 测试点.....	28
7 免责声明.....	28
版本历史.....	29

Version 1.0, 2021年7月15

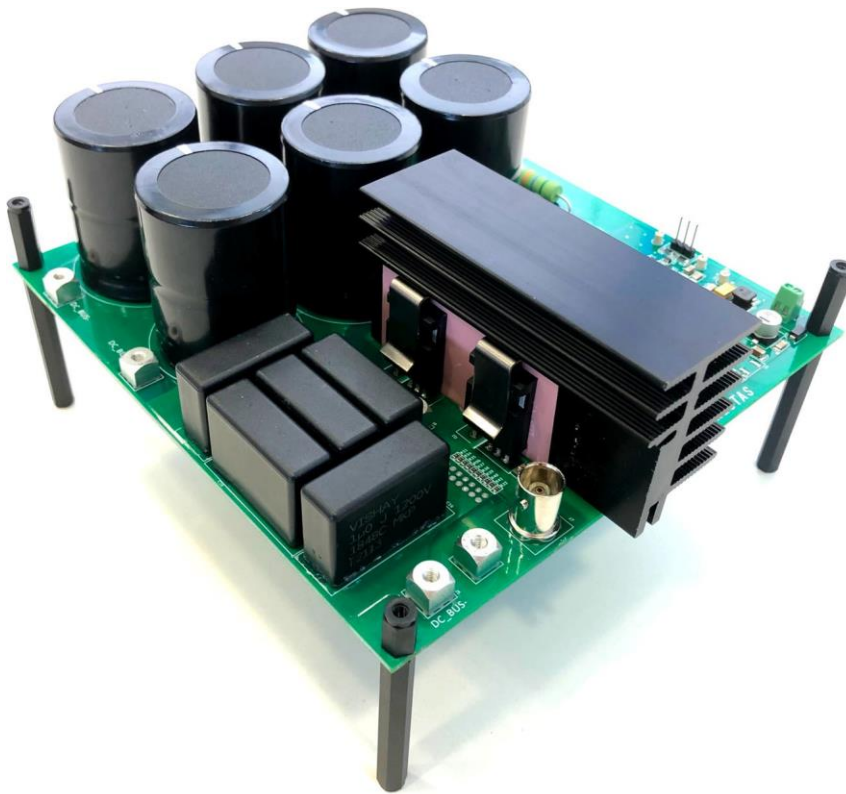
ACFL-3161: TO-247 SiC MOSFET EB1200-3161 评估板

1 简介

EB1200-3161评估板带有 Broadcom® 双输出隔离式栅极驱动光耦（合器）ACFL-3161，可驱动采用分立 TO-247 封装的 SiC MOSFET。该板具有集成电容器直流总线，其布局经过优化，可最大限度地减少换向环路电感，及可进行基于分流电阻的源极电流测量。图1所示的 EB1200-3161 旨在支持博通（Broadcom）客户上手设计带有 ACFL-3161 驱动器的电源转换器应用。在以下各部分中描述该评估板的属性。

元件的选择考虑了适合无铅回流焊接组装工艺。该设计已通过本文档中描述的基本测量进行了测试和验证，但没对其在整个工作温度范围或整个使用寿命周期进行确能验证。该板仅限于功能测试。

图 1：栅极驱动器评估板 EB120-3161



对栅极电阻和隔离辅助电源进行适当调整，EB1200-3161可支持来自不同制造商封装相同、具有相同引脚分配、额定电压高达1200V的器件

1.1 设计特点

EB1200-3161 包括以下主要功能:

- 两个隔离式 ACFL-3161 栅极驱动光耦, 具有以下特点:
 - UVLO (欠压锁定) 保护
 - 双输出驱动来控制导通和关断瞬态
- 电气和机械上适用于 TO-247 4引脚封装
- 通过调整栅极电阻和隔离辅助电源, 评估板支持以下 SiC MOSFET:
 - STM SCTWA70N120G2V4
 - Wolfspeed C3M0021120K
- 直流总线和平衡/放电电阻
- 用于栅极驱动器的隔离式 SMPS
- 通过 BNC 接口的基于电阻分流器的低侧开关电流测量
- 可接入PWM 输入信号。
- 可在降压/升压配置中连续工作, 输出功率高达 3kW、开关频率高达 50kHz。在连续工作情况下, 用户必须提供并集成合适的散热器。

1.2 目标应用

Broadcom ACFL-3161 栅极驱动光耦面向以下应用:

- 用于工业自动化和机器人的电机驱动
- 电源和电池充电器
- 可再生能源逆变器和存储。

1.3 警告

评估板工作在高电压。小心避免受伤和危及生命的风险。操作电路板时, 请考虑以下安全预防措施:

- 如果板子已通电, 请勿触摸板子, 尤其是裸露的金属部件。
- 注意最大额定值。
- 必须使用绝缘材料制成的保护罩。
- 如果电路板用于驱动连续负载, 请在 SiC 半导体上安装适当尺寸的散热器。板子可能会产生高温, 必须避免与人体的任何接触。
- 每当测试设置发生变化 (例如, 改变探头位置) 时, 请关断电源并确保直流总线完全放电, 以避免人员受伤和损坏电路板。
- 电路板本身不提供死区时间生成。建议的最小死区时间为 300ns。

2 系统说明

本节提供了EB1200-3161评估板的基本电气和机械规范。

2.1 主要规范

EB1200-3161 评估板的绝对最大额定值列于表 1。请注意，该表仅包含与 EB1200-3161 相关的关键参数。使用 EB1200-3161 时，必须考虑 ACFL-3161 数据表中的限制以及其它关键组件规范。

表1: EB1200-3161的绝对最大额定值

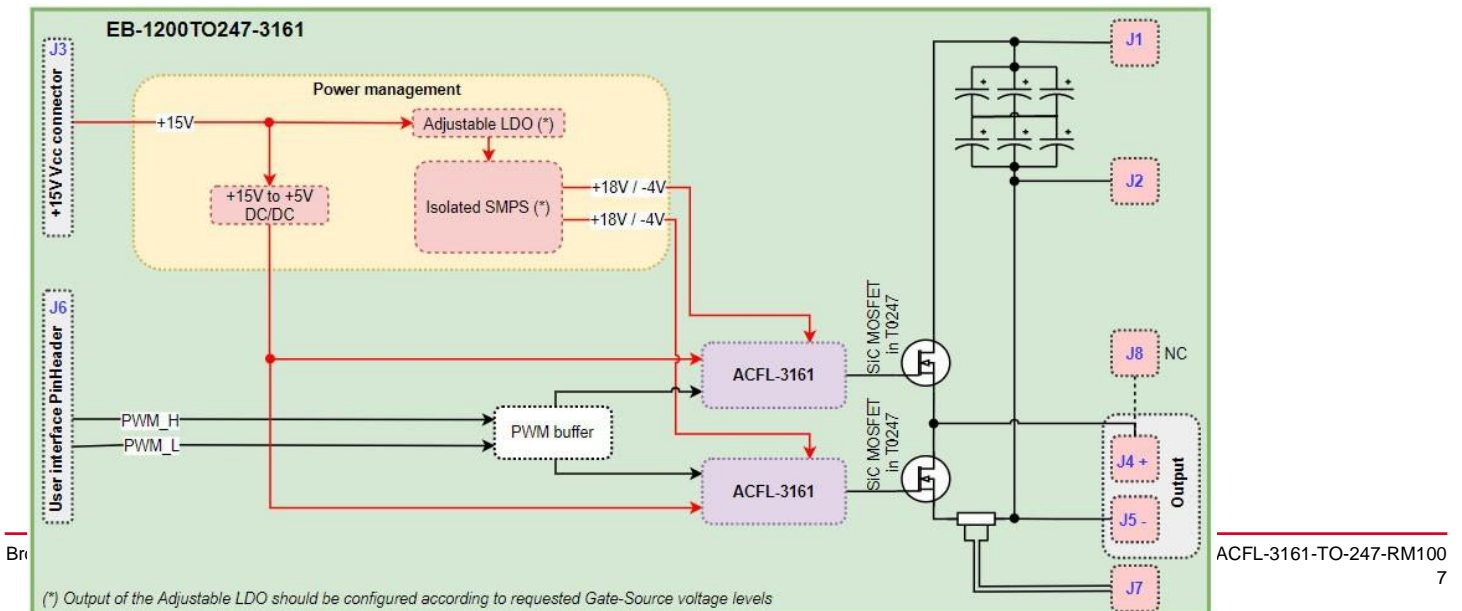
参数	Values			Units	Notes
	Min.	Typ.	Max.		
直流总线供电电压	—	600	800	V	受直流总线电容器电压额定值限制
MOSFET半桥输出电流 (RMS)	—	15	30	A	受PCB铜走线限制
Vcc 输入电压	15	15	15	V	数字电路的外部直流输入电源 受限于栅极驱动器的SMPS范围
PWM逻辑输入电平	0	3.3	5	V	栅极驱动器的外部PWM输入

2.2 功能框图

EB1200-3161 栅极驱动器评估板的功能框图和功能块排布图，如图2 和图3 所示。框图显示了几个功能块：

- 电源管理：
 - +15V/+12V LDO
 - +15V/+5V 降压 DC/DC 稳压器
- 具有两个双输出的隔离式 SMPS（一个用于高端驱动器，一个用于低端驱动器）
- 带电路的高端和低端 ACFL-3161 栅极驱动器
- 直流总线和用于电压对称的平衡电阻
- 直流总线供电端子
- 用户接口连接器
- +15V Vcc 电源连接器
- 半桥输出端子

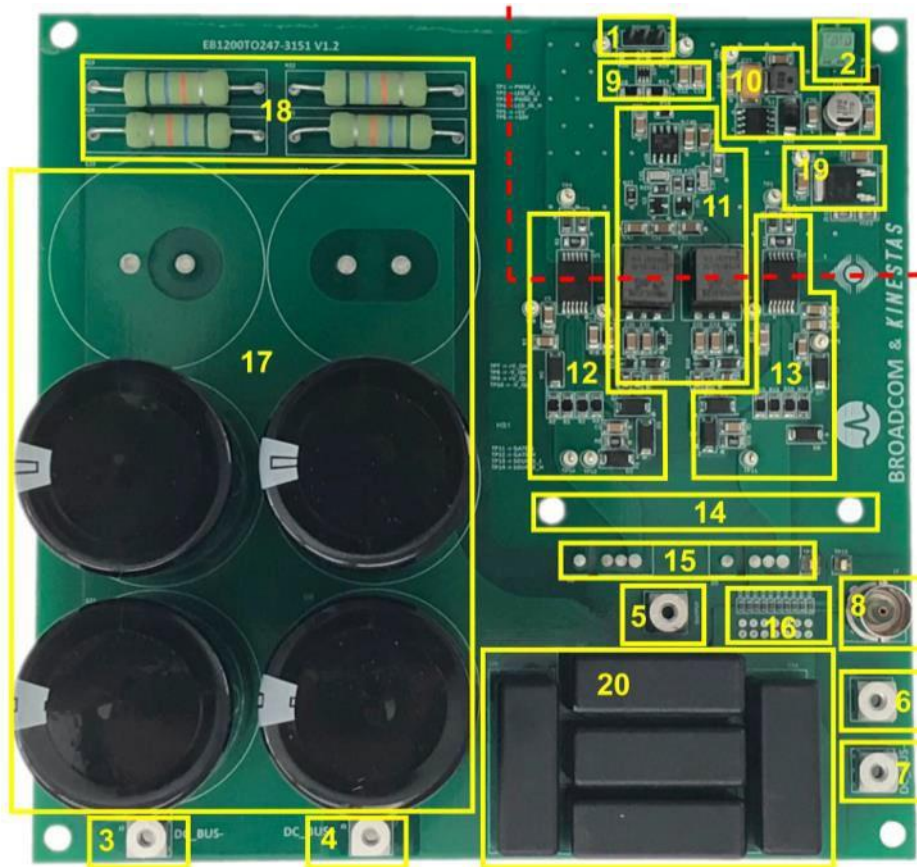
图2: EB1200-3161的功能框图



根据图3，标注的功能块如下：

1. J6 – PWM 输入
2. J3 – 辅助电源 +15V
3. J2 – 电源连接器 DC_Bus +
4. J1 – 电源连接器 DC_Bus -
5. J4 – 电源连接器相位输出
6. J8 – NC
7. J5 – 电源连接器 DC_Bus -
8. J7 – BNC 接口，用于低侧开关电流测量
9. PWM缓冲
10. 开关电源15V/5V
11. 用于栅极驱动器的隔离式SMPS
12. 基于ACFL-3161的高侧SiC MOSFET驱动器
13. 基于ACFL-3161的低侧SiC MOSFET驱动器
14. 散热片安装孔
15. SiC MOSFET
16. 用于低侧开关电流测量的电阻分流器
17. 直流总线电解电容
18. 平衡电阻
19. 可调LDO
20. 直流总线滤波支持——薄膜电容器

图3：EB1200-3161的功能块排布图。隔离边界用红色虚线标记



2.3 引脚分配

以下段落列出了 EB1200-3161 上所有连接器的引脚分配。

2.3.1 电源接口

J3 电源连接器为所有 IC 供电并提供栅极驱动器电压电源，其引脚分配如表 2 所示。四个螺钉端子 (J1、J2、J5、J4) 连接 DC 总线电压和半桥 (MOSFET 半桥的交流输出)。为便于与连接器 J4 连接，还放置了一个辅助 NC 螺钉连接器 J8，旨在通过调整桥接线来提供半桥输出的电流扩展。表 3 列出了上面提及的每个连接器的功能。

表 2：连接器 J1 (电源连接器) 的引脚分配

引脚	标签	功能
1	+V_SUPPLY	低压侧外接电源
2	GND	地

表3: 电源连接器 J1、J2、J4、J5、J8

指示符	标签	功能
J1	DC+	直流总线电源 - 正极端子
J2	DC-	直流总线电源 - 负极端子
J4	OUTPUT	半桥 MOSFET 模块的交流输出 (开关节点)
J5	DC-	直流总线负电源
J8	NC	辅助占位符连接器

2.3.2 信号接口

表4列出了连接器J6的引脚分配

表4: 排针J6的引脚分配

引脚	标签	功能	方向
1	PWM_L	低端驱动器的PWM信号	输入
2	GND	地	双向
3	PWM_H	高端驱动器的PWM信号	输入

2.4 机械数据

表5列出了评估板的基本机械数据。

表5: EB1200-3161评估板的机械特性

描述	值
层数	4
PCB铜厚	所有层铜箔厚度都是70 μ m
PCB绝缘材料	FR4
板长	160 mm
板宽	155 mm
板高	65 mm
PCB厚度	1.6 mm

3 电路描述

本节深入介绍了 EB1200-3161 栅极驱动器评估板的特性。

3.1 电源管理

图4显示了 EB1200-3161 的辅助电源管理框图。默认情况下，评估板由外部 +15V电源供电。EB1200-3161 配备非隔离开关模式电源 (SMPS)，可为低压侧的 IC 提供5V电压。15V/5V电源通过LM2674 DC-DC 开关稳压器实现，如图5所示。+5V输出为 ACFL-3161 栅极驱动器和隔离式SMPS控制器IC的低压侧供电。+5V电源可以驱动500mA负载并为板上的所有IC供电。

图4: 电源管理

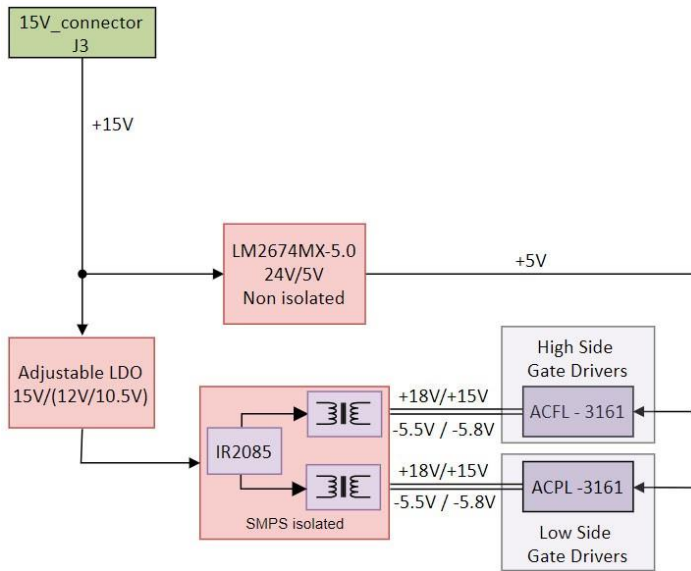
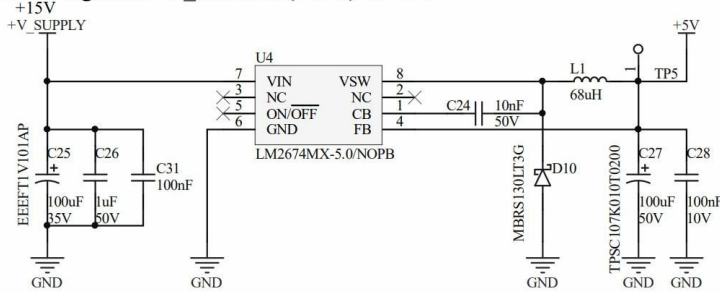


图5: 降压稳压器15V/5V

DC-DC regulator +V_SUPPLY (+15V) to +5V



栅极驱动器高压侧的电源通过隔离式SMPS实现，它提供+18V (+15V) 和 -5.5V (-5.8V) 两个双输出。

由于不同制造商的 SiC MOSFET 具有不同的推荐栅极电压水平，因此栅极驱动器高压侧的电源是可配置的。板子使用前必须对板子实施两处设置调整：

- 通过调节可调LDO稳压器的反馈电阻R43来配置隔离式SMPS的输入电压，图6。可调LDO LD1086的输出计算如下：

$$V_o = 1.25V \cdot \left(1 + \frac{R_{43}}{120} \right)$$

- Vo的最小值受限于隔离式 SMPS，为10V。请勿将Vo调到低于10V，以避免出现意外的电路板行为
- 将齐纳二极管D12和D17放置在SMPS的输出级，该输出决定了正栅极驱动器电压，图 7。使用齐纳电压等于推荐正栅极电压电平的齐纳二极管。

图6: 可调LDO +15V/(+10V...+12V)

LDO +15V/(+10V... +12V)

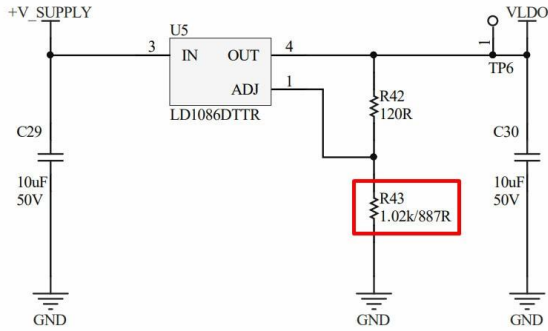
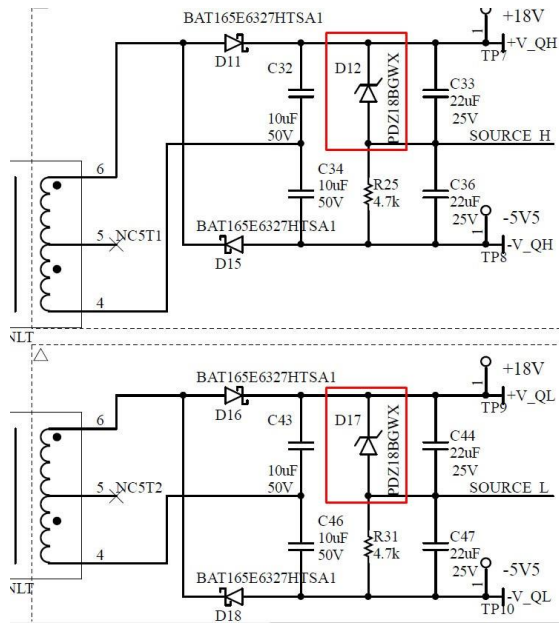


图7: 隔离式SMPS的输出级



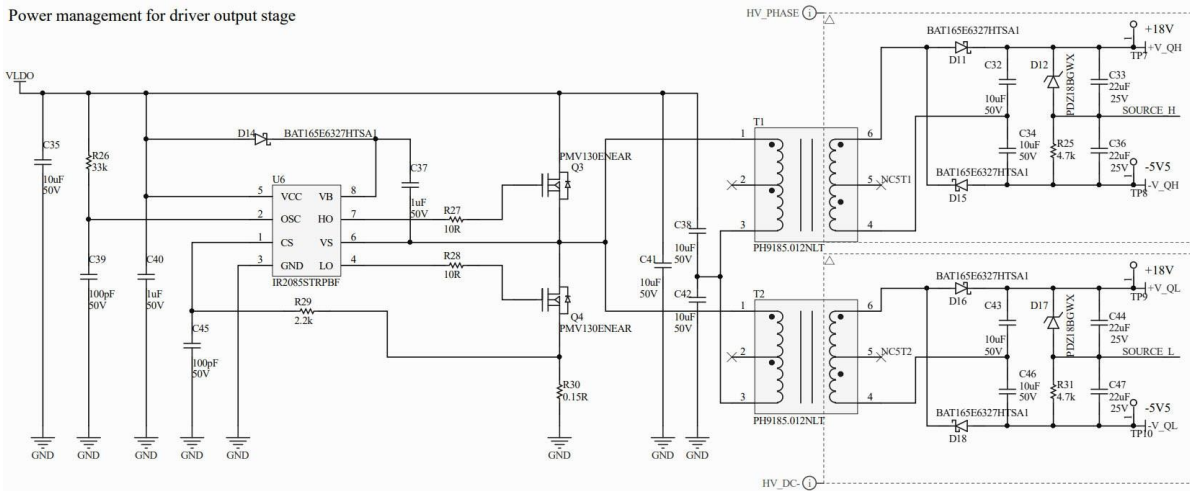
隔离式 SMPS 电路如图 8 所示。SMPS 基于 IR2085 自振荡半桥栅极驱动器和两个比例为 1:2 的变压器。通过正确选择齐纳二极管 D12 和 D17 来调整隔离式 SMPS 的输出电压。

表6显示了SCTWA70N120G2V4和C3M0021120K的推荐电源配置。

表6: 电源配置

Device	Vgs_pos	Vgs_neg	R43	D12 and D17
SCTWA70N120G2V4	+18V	-5.5V	1.02k	18V Zener diode
C3M0021120K	+15V	-5.8V	887R	15V Zener diode

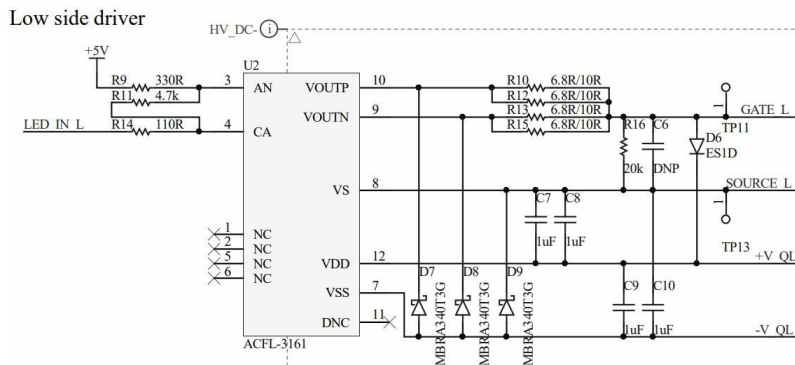
图8：用于栅极驱动器输出级的隔离式SMPS



3.2 栅极驱动器电路

本节介绍EB1200-3161上的栅极驱动器电路，如图9所示。

图9：ACFL-3161栅极驱动器电路



ACFL-3161驱动器是10A峰值、轨到轨输出栅极驱动光耦。ACFL-3161采用紧凑的表贴SO-12封装，以节省空间。它在输入和输出通道之间提供5kV RMS的隔离电压。ACFL-3161具有高峰值驱动电流能力，可确保在各种应用中直接驱动SiC MOSFET或IGBT时提供最佳性能。ACFL-3161具有快速传播延迟和严格的死区时间失真特性，非常适合在高频DC-DC和AC-DC转换器应用中驱动SiC MOSFET和IGBT。

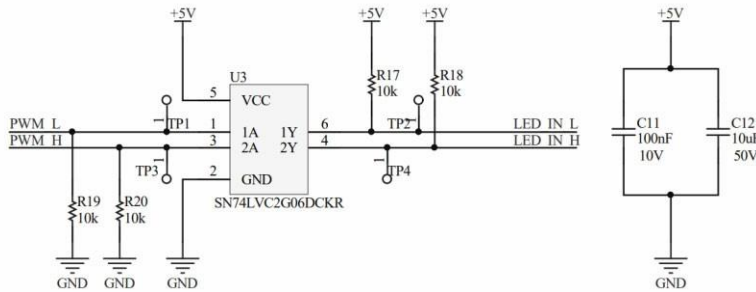
栅极驱动电路的低压侧包含用于预调制LED阳极和阴极输入信号的电阻。

负责LED正向电流设置的电阻分为两部分，这些电阻放置在阳极引脚3和阴极引脚4上，以平衡LED阳极和阴极的共模阻抗。这有助于均衡共模电压变化。请根据栅极驱动器的数据表选择电阻值。

当输入 LED 直接极化且没有 UVLO 故障时，导通命令被输送到高压侧，ACFL-3161 的 VOUTP 引脚将置为高电平。通过用户接口连接器传播的外部 PWM 信号由反相缓冲器 IC 缓冲，如图 10 所示。由于缓冲器具有开漏输出，缓冲器的输入被拉低，而缓冲器的输出被拉高，以确保如果输入的 PWM 输入信号处于高阻态，则 MOSFET 模块被关断。ANODE 引脚通过电阻 R9 被拉高。缓冲后的输入信号 LED_IN_L 连接到阴极引脚。当输入 PWM 信号置为高电平时，缓冲的 LED_IN_L 信号为低电平、LED 直接极化并且 MOSFET 导通。如果输入 PWM 信号置为低电平，则 LED_IN_L 信号为高电平，LED 和两个电阻间的电压为低电平，因此 LED 不导通，MOSFET 处于关断状态。

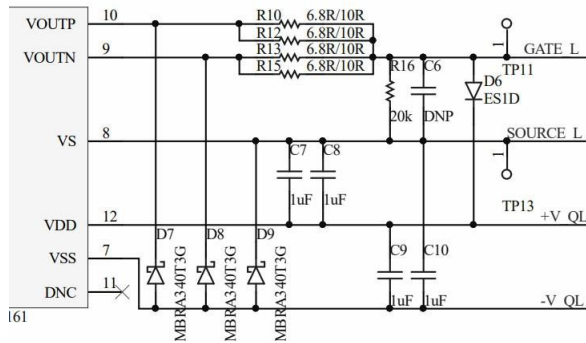
图10: PWM缓冲器

PWM buffer



栅极驱动电路的次级侧，如图 11 所示，包括单独的导通和关断输出，这些输出通过两个并联的导通电阻 R10 和 R12 以及两个并联的关断电阻 R13 和 R15 连接到 SiC MOSFET 器件的栅极。

图11: 栅极驱动器电路：高压侧



当栅极驱动器输入置为高电平时，VOUTP 变为高电平，+18V (+15V) 通过两个 10 Ω (默认值) 并联电阻提供给 MOSFET 栅极。当栅极驱动器输入置为低电平时，VOUTN 引脚激活且 -5.5V (-5.8V) 通过两个 10 Ω (默认值) 并联电阻提供给 MOSFET 栅极，当 VOUTN 为低电平时，-5.5V 连接到 MOSFET 栅极。这些电压以相应的 MOSFET 源极为参考。开关时间由栅极充放电过程决定。较小的栅极电阻会导致较高的峰值栅极电流，从而缩短导通和关断时间、进而降低开关损耗。然而，小的栅极电阻可能会在 MOSFET 上引入电压尖峰和电流振荡，或者可能使栅极驱动器 IC 过载。为正确选择栅极电阻，必须满足几个标准。

首先是栅极峰值电流的限制。在计算栅极电阻理想值和驱动器RVOUTP 的内部最小导通阻抗时，请考虑MOSFET内部的RGint。ACFL-3161 的数据表提供了栅极电阻计算公式。

$$R_G \geq \frac{V_{DD2} - V_{SS2}}{I_{O(PEAK)}} - R_{Gint} - R_{VOUTP}$$

选择正确栅极电阻的下一步是检查 ACFL-3161 栅极驱动器的功耗。如果功耗过高，请加大栅极电阻值。有关选择栅极电阻的相关指示，请参考 ACFL-3161 的数据表。

最后，测量开关性能、尤其是关断速度，因为快速开关瞬变与开关环路中的寄生电感相结合会产生高过压和振荡。

为确保在最坏情况下的预设限制，EB1200-3161配备了分别用于正、负栅控的两个5Ω 等效栅极电阻。两个阻值都是通过两个并联电阻实现的，以增加栅极电路的功耗能力。此外，评估板使 Broadcom 客户能够通过改变或组合导通和关断电阻来评估半导体的开关特性。

此外，放置钳位二极管 D7、D8 和 D9 以钳位可能在开关瞬变期间发生在栅极驱动器 IC 引脚上的最终过压。ESD 二极管 D6 为 MOSFET 栅极引脚提供额外保护。

3.2.1 保护特性

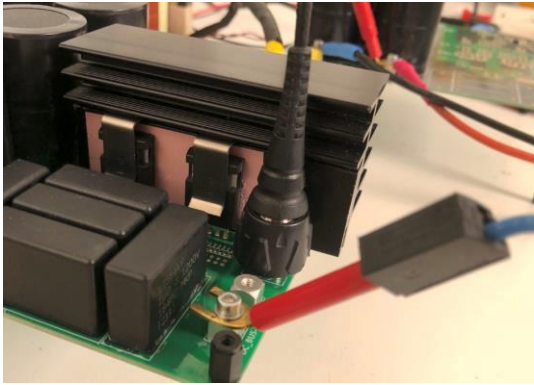
欠压锁定

在导通阶段，MOSFET上的栅极电压不够高会增加 MOSFET 上的压降。由于高散热，会加大功耗并导致 MOSFET 损坏。ACFL-3161 持续监控输出电源。如果电源电压低于UVLO阈值，驱动器输出关断以保护MOSFET免受低电压偏置。

3.2.2 开关电流测量

EB1200-3161 配备了位于电源和 DC- 之间的平面电流测量分流器。平面分流器是通过并联 10 个 1Ω SMD 电阻实现的，从而得到 100 mΩ 的分流电阻（图3，位置16）。这样做是为了实现一个类似结构，以最大限度地减少添加到开关回路的杂散电感。BNC 连接器是被测电流信号的接口，它将被测信号的噪声和质量降至最低。

图12: 经由BNC接口, 基于分流器的低侧开关电流测量



注意: 如果电路板用于连续工作, 请将分流电阻更换为 0Ω 电阻或取下并用铜箔或类似结构代替, 以避免分流器的热过载和损坏。

3.3 连接器

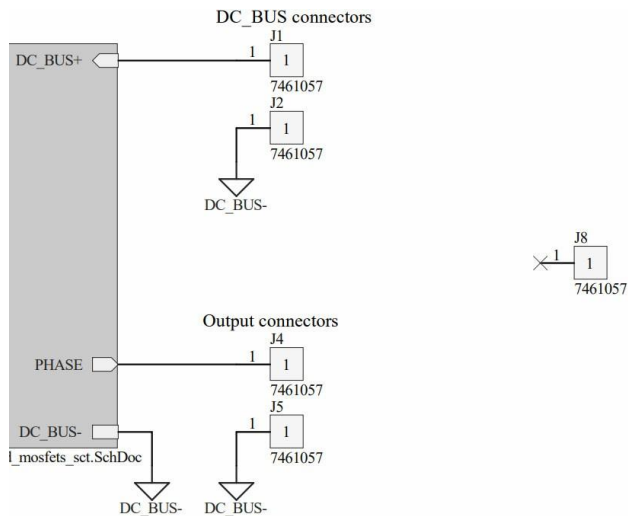
EB1200-3161 的连接器在以下部分进行描述。

3.3.1 高压侧电源连接器

该板随附通过螺钉 (M3螺钉) 端子实现的电源连接器。板上提供以下电源连接器:

- J4用于DC+
- J5和 J7用于DC-
- J6用于半桥输出
- J8 辅助 NC 连接器

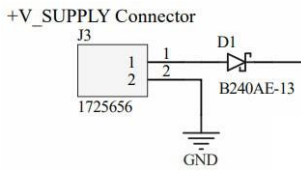
图13: 电源连接器示意图



3.3.2 Vcc +15V 连接器

辅助电源连接器+15V是标准的两针PCB 接线端子。此连接器支持最大0.5mm² 的导线横截面。图 14 显示了连接器原理图。

图14: +15V电源连接器



将一只肖特基二极管与主电源串联，用于反向电压保护

4 使用中的设置

警告!

EB1200-3161 栅极驱动器评估板可在高达 800V 的电压下工作，因此需要采取所有安全预防措施、遵循国家事故预防规则。该板的安装和使用应由熟练的技术人员实施。如果未正确使用或安装电路板，则存在发生严重伤害和财产损失的危险。配备一个为评估板提供控制和保护设备的系统，以符合适用的安全标准。

注意：专用于高端驱动器和低端驱动器的信号必须具有适当的死区时间。电路板本身不提供死区时间生成。推荐的最小死区时间值为 300ns。

4.1 EB1200-3161的安装

在开始用该电路板评估之前，请思考并观察以下安装步骤：

1. 在任何安装之前，对电路板进行目视检查以确保它包含所有组装的组件（请参阅第 6.3 节，材料清单，了解组件列表）。默认情况下，EB1200-3161 不包含安装好的 SiC 晶体管，以避免在运输过程中损坏；此举也为客户提供了使用具有相同引脚配置的其他晶体管选项。
2. 在 TO247- 4 引脚封装中安装MOSFET器件。
3. 如果电路板将用于驱动连续工作负载，请准备并安装适当尺寸的散热器。
4. 确保调整为适当的栅极电压配置。
5. 连接用户接口连接器。使用 5V 逻辑将 PWM 信号连接到控制板。
6. 连接15V外接电源。虽然标注了极性，板子在外接电源VCC的+15V端仍是反向保护的。
7. 将 DC 总线电源和负载连接到板上。

4.2 EB1200-3161的评估

EB1200-3161 使用户能够评估以下项目：

- ACFL-3161驱动器特性
 - TO-247 4脚封装中SiC功率半导体的开关特性
 - 半桥逆变器基本特性
 - 升-降压功能
- 在使用 EB1200-3161评估功率半导体开关特性时，进行双脉冲测试，并测量与半导体和 ACFL-3161 栅极驱动器电路相关的开关瞬变。

为了在降压/升压模式下持续工作，请确保您已准备好以下外部硬件组件：

- 安装好适当尺寸的散热器
- 大小合适的磁扼流圈
- 大小合适的输出电容器组
- 大小合适的电子或可调电阻负载

5 测量结果

5.1 典型开关波形和开关损耗性能

本节提供在标准双脉冲测试过程中使用示波器获得的测量结果。用于测试的SiC MOSFET 器件为 SCTWA70N120G2V4 和 C3M0021120K。表 7 中给出了开关性能测试期间的调整后参数。

表7：用于双脉冲测试测量的调整后参数

SiC (碳化硅) MOSFET器件	外接栅极电阻 [Ω]	栅-源极电压 [V]
SCTWA70N120G2V4	2.5	+18V/-5.5V
C3M0021120K	2.5	+15V/-5.8V

5.1.1 SCTWA70N120G2V4典型开关波形

使用示波器、利用标准双脉冲测试程序测量半导体硬开关期间的开关波形。用于测试的 SiC MOSFET 模块为 SCTWA70N120G2V4。图 15 显示了导通开关瞬态，而在图 16 中，描绘了不同漏极电流水平下的关断开关瞬态。开关性能测量是使用默认的2.5 Ω 栅极电阻值（开和关电阻都是该值）、以及 +15V/-5.8V 栅极电源完成的。

图15: 不同负载电流下导通开关瞬态期间的特征波形

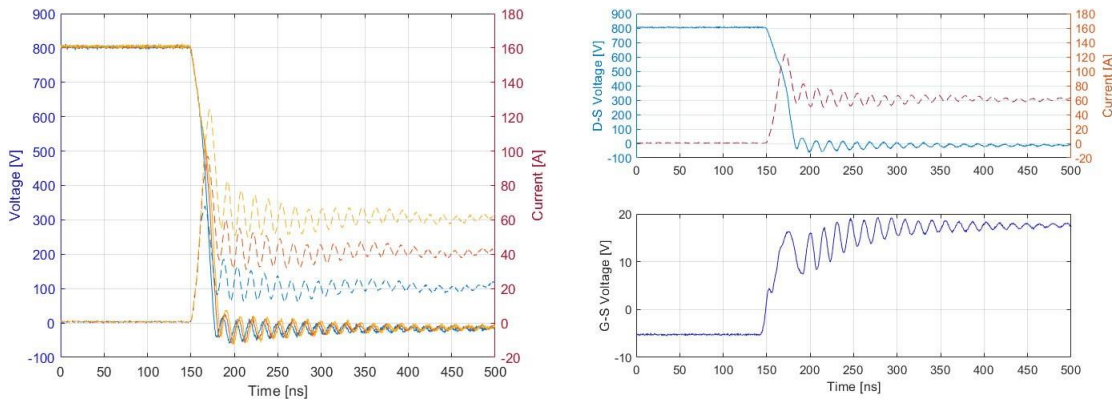
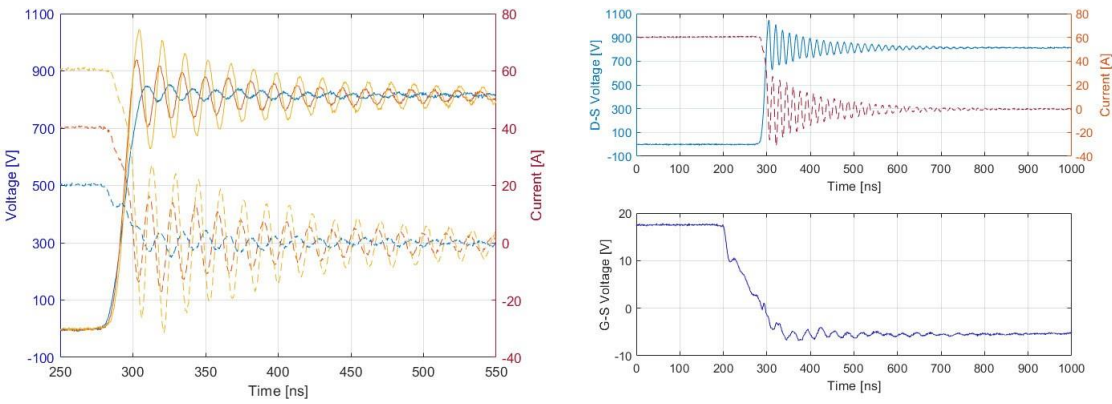


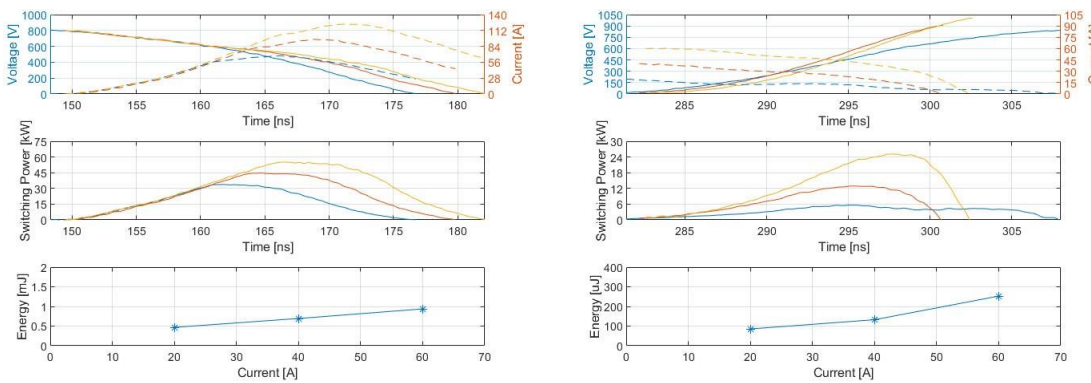
图16: 不同负载电流下开关截止瞬态期间的特征波形



5.1.2 SCTWA70N120G2V4的典型开关损耗性能

图 17, 显示了 SCTWA70N120G2V4 开关器件在 800V 直流总线上、开关过程中的瞬时功率以及由此产生的导通 (左) 和关断 (右) 开关能量损耗。

图17: 800V DC总线上的导通 (左) 和关闭 (右) 开关能量损耗



5.1.3 C3M0021120K典型开关波形

使用示波器、利用标准双脉冲测试程序测量半导体硬开关期间的开关波形。用于测试的 SiC MOSFET 模块为 C3M0021120K。图 18 显示了导通开关瞬态，而在图 19 中，描绘了不同漏极电流水平下的关断开关瞬态。开关性能测量是使用默认的 2.5Ω 栅极电阻值（开和关电阻都是该值）、以及 +15V/-5.8V 栅极电源完成的。

图18：不同负载电流下开关导通瞬态期间的特征波形

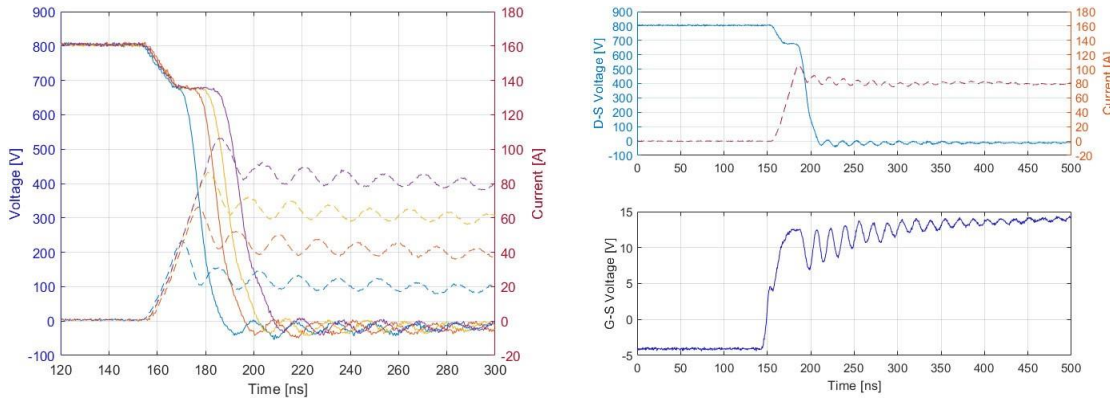
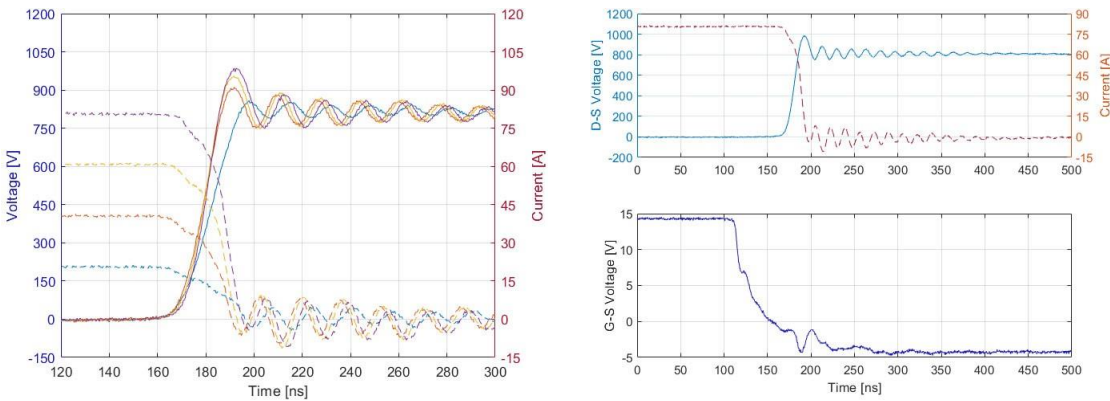


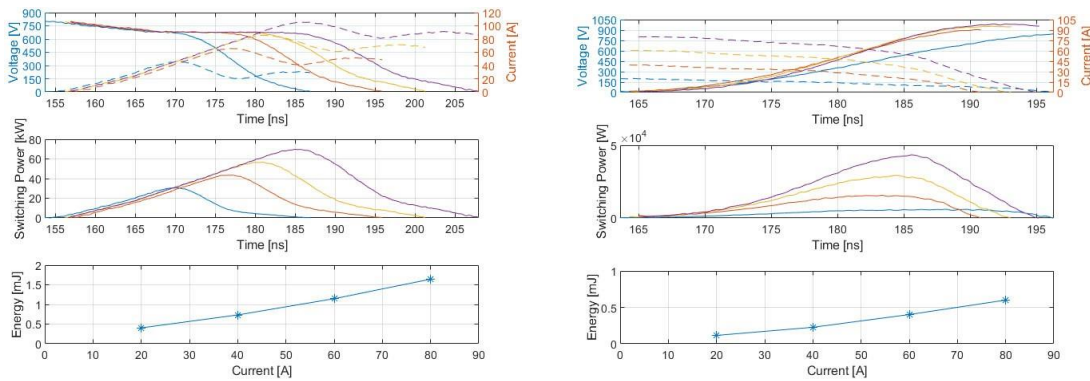
图19：不同负载电流下开关关断瞬态期间的特征波形



5.1.4 C3M0021120K典型开关损耗性能

在图 20 中，显示了 C3M0021120K 开关器件在 800V 直流总线下的开关过程中的瞬时功率以及由此产生的导通（左）和关断（右）开关能量损耗。

图20: 800V DC总线上的导通 (左) 关闭 (右) 开关能量损耗



5.2 降压/升压测量结果

本节给出了在连续工作期间获得的与 EB1200-3161 板在降压和升压工作模式下的效率相关的测量结果。表 8 列出了效率测量期间使用的降压/升压调整参数。

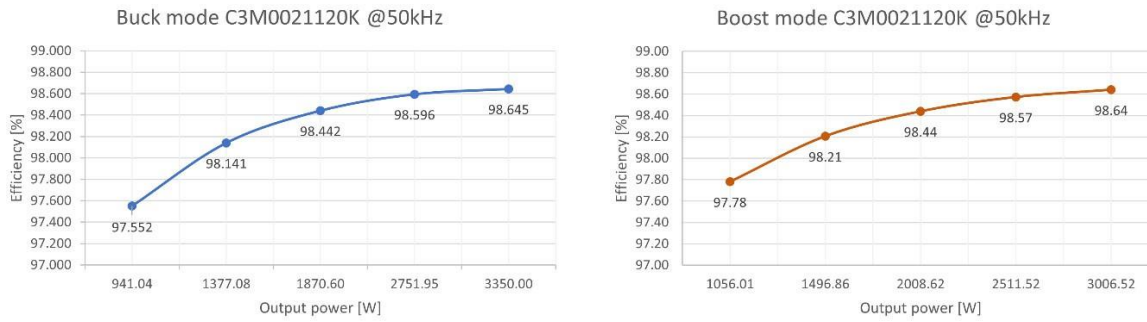
表8: 降压/升压参数

SiC MOSFET器件	Rg [Ω]	Vgs [V]	降压		升压	
			Vin	Vout	Vin	Vout
SCTWA70N120G2V4	5	+18V/-5.5V	600	400	400	600
C3M0021120K	2.5	+15V/-5.8V				

测试期间使用的外接硬件是外部定制的 1mH 扼流圈、总容量为 705μF 的直流链路电容器组和可调电阻负载。使用高精度功率分析仪在 22°C 环境温度下测量效率。为了在连续工作中使用 EB1200-3161，在 SiC 半导体上，安装了 Fischer Elektronik 专用于 TO247 封装器件的商用散热器 sk489，图 21。在 3.1kW 输出功率下测得的最高散热器温度为 74°C。图 22 和图 23 显示了与被测 SiC MOSFET 器件的输出功率相对应的效率。

图21: 为连续工作组装的EB1200-3161



图22: 实测的降压 (左) 和升压 (右) 模式的工作效率**使用Wolfspeed C3M0021120K SiC MOSFET器件, 工作在50kHz开关频率****图23: 实测的降压 (左) 和升压 (右) 模式的工作效率****使用STM SCTWA70N120G2V-4 SiC MOSFET器件, 工作在50kHz开关频率**