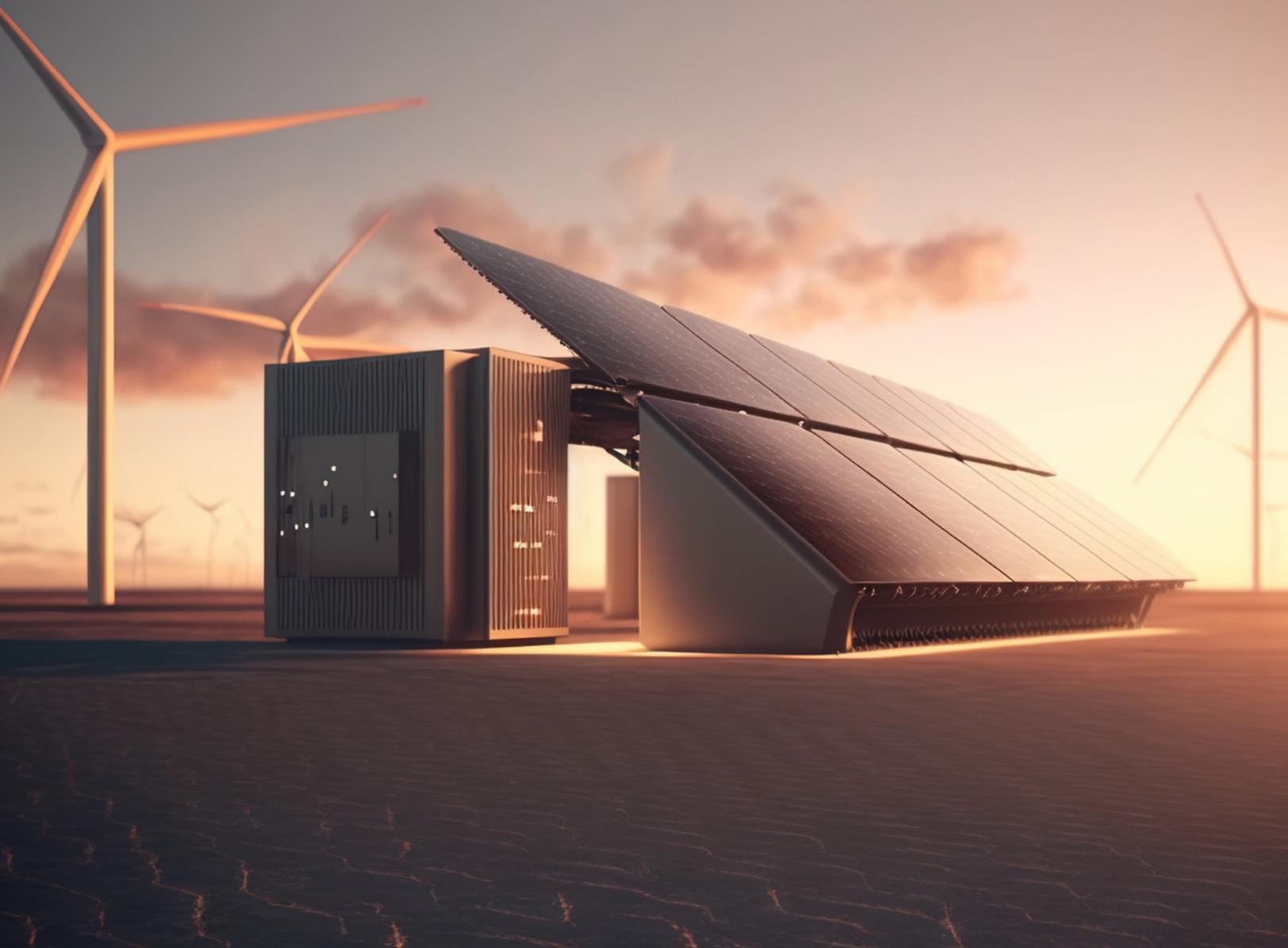


储能系统 解决方案

BRD8092CN/D
修订版 2, 2023 年 8 月



推动创新, 创造智能电源和智能感知技术,
帮助客户解决最具挑战的问题

onsemiTM

onsemi.cn

了解住宅和商业系统中的储能系统

越来越多的国家和企业宣布了实现低碳可持续发展的战略。2021 年全球可再生能源装机容量达 1600 GW^[1], 展现了惊人的增长率。然而, 清洁能源的产生在某种程度上具有局限性, 与传统能源不同, 它们是动态的和不稳定的。例如, 太阳能逆变器的输出功率很大程度上取决于阳光, 而这是我们无法控制的。在恶劣天气下, 电网压力增大, 能源需求增加, 这种不可控的能源可能无法帮助解决电网压力问题。因此, 在实现净零排放的过程中不应忽视储能。

电池储能系统

目前有四种类型的储能系统, 电化学储能、化学储能、热储能和机械储能。抽水蓄能水电 (PSH) 仍然是发展最成熟的机械储能系统, 覆盖了全球 90% 以上的电网规模储能容量。但是, 此类巨型设施的安装对地理方面的要求非常高。

根据 MarketsandMarkets 的市场研究, 全球电池储能系统市场规模预计将从 2022 年的 44 亿美元增长到 2027 年的 151 亿美元^[2], 复合年增长率为 27.9%。锂离子电池占据了该市场约 86% 的份额。

锂离子电池作为电化学储能系统中最为人所知的一种类型, 具有高功率/高能量密度、高往返效率, 而且占地面积小、扩展灵活。锂离子电池是一项相对成熟的技术, 经过三十多年的商业发展, 已成为一种可靠且低成本解决方案。可以说, 锂离子电池成本的持续下降正在有力加速储能的发展^[3]。

带有蓄电池的并网/离网太阳能逆变器系统为住宅和商业用途带来了诸多好处。

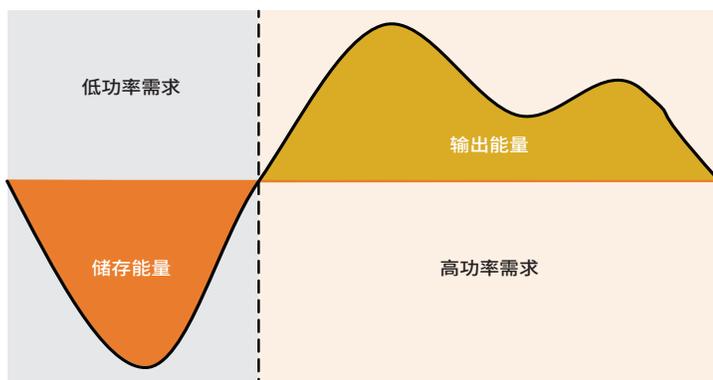


图 2. 能源套利

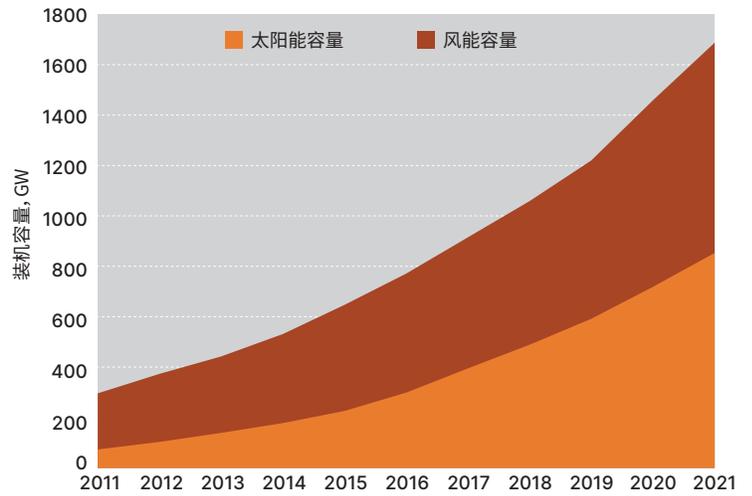


图 1. 全球可再生能源装机容量

- **能源套利** – 储存能量以供日后使用, 这样可以在电价变化时降低电力成本。
- **自产自用** – 通过存储白天产生的多余太阳能, 安装带有太阳能逆变器的储能设备, 可以减少或消除对电网的依赖。
- **备用电源** – 与 UPS (不间断电源) 一样, 存储的电力可用于在输入电源或主电源出现故障时为负载提供应急电源。

构建 BESS 的四个要素：

- **电池模块/组** – 电池模块由电池单元组成, 为了建立商业级系统, 模块可以集成到机架/组中以获得更高的容量。因此, 充电/放电电压取决于电池容量, 范围从 50 V 到超过 1000 V。
- **电池管理系统 (BMS)** – 电池管理系统是一种管理可充电电池的电子系统, 例如保护电池在安全工作范围内运行、监控状态、计算辅助数据、报告数据、控制电池所在环境、对电池进行验证和/或平衡。
- **变流器 (PCS)** – 变流器是电池组与电网和/或负载之间连接的电能双向转换的另一个重要子系统。它在很大程度上决定了系统成本、尺寸和性能。
- **能源管理系统 (EMS)** – 能源管理系统是一种基于软件的计算机辅助工具系统, 供电网运营商用来监测、控制和优化发电或输电系统的性能。



应用和拓扑结构

PCS 是储能系统的重要组成部分, 控制双向功率转换。与其他大功率能源基础设施应用有着相似的趋势, 为了匹配电力需求的高增长率, 无论是住宅还是商业类型, 总是期望更高的功率。同时, 更小的尺寸可以显著降低运输和安装过程中的成本。此外, 像碳化硅这样的宽禁带半导体元件的大规模生产可以将系统效率和热性能提升到一个新的水平。

储能系统目前分为两种方式, 交流耦合或直流耦合和功率级。

交流耦合和直流耦合

交流耦合储能系统是一个独立的系统, 可以添加到现有的太阳能/能源发电系统中。这是一个简单的升级, 但是, 它将涉及额外的电源转换步骤以对电池进行充电/放电, 这意味着更多的功率损耗。直流耦合系统, 或者我们可以称之为混合 (太阳能) 逆变器, 只需要一步功率转换, 但必须在一开始就进行设计。

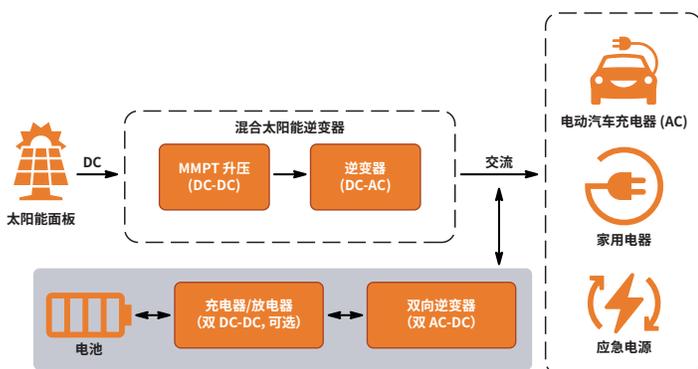


图 3.住宅交流耦合 ESS
(灰块)

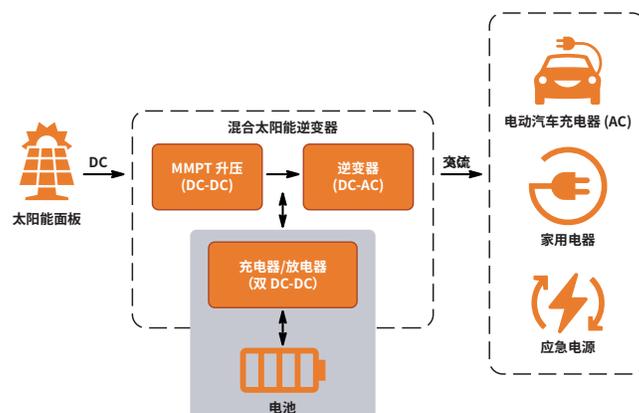


图 4.住宅直流耦合 ESS
(灰块)

住宅 BESS

住宅变流器要么添加到现有的太阳能逆变器系统中, 要么与太阳能逆变器一起设计为混合逆变器。储存的能量可用于为备用电池充电或为电动汽车和家电充电以节省成本。

双向 DC-DC 转换器连接在电池组和直流链路之间。在安全和用例方面, 单相系统的母线电压通常小于 600 V, 而充放电功率不会超过 10kW。降压-升压是最常见的双向 DC-DC 配置, 具有组件少和易于控制等优点。使用两个具有良好 IF 值的并联二极管的 650 V IGBT/MOSFET 足以满足此双向系统的需求。

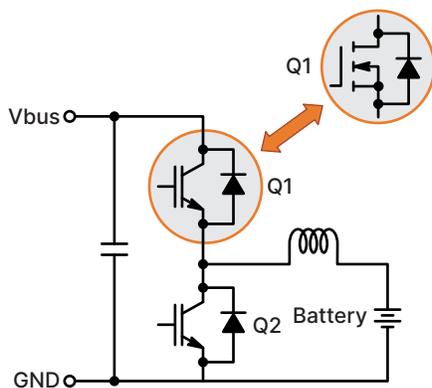


图 5.双向 DC-DC 的降压-升压配置

650V FS4 IGBT 与 co-pack SiC 二极管

特性

- 采用新颖的场截止第 4 代 IGBT 和第 1.5 代 SiC 肖特基二极管技术
- 低 $V_{ce(sat)}$
- 低 E_{on} 和 E_{off}
- 开尔文源

应用

- 太阳能逆变器
- UPS
- 储能系统



[FG4L75T65MQDC50](#)

FG4L75T65MQDC50 是新发布的 650 V FS4 IGBT, 集成了 SiC 二极管, 可为高效应用 提供出色性能, 且导通损耗和开关损耗低。

在考虑电池安全时, 隔离也是另一个需要考虑的方面。双有源桥转换器 (DAB) 或 CLLC 已成为 EV 和 ESS 领域隔离双向 DC-DC 转换器的通用解决方案。采用级联前端降压-升压电路, 可在电池电压变化的情况下实现宽范围的电压输入/输出, 同时降低无功功率环流, 扩大软开关区。^[4]

功率 MOSFET, N 沟道屏蔽栅极 PowerTrench®

特性

- 屏蔽栅极 MOSFET 技术
- 最大 $R_{DS(on)} = 5.0 \text{ m}\Omega$ ($V_{GS} = 10 \text{ V}$, $I_D = 97 \text{ A}$ 时)
- Q_{rr} 比其他 MOSFET 供应商低 50%
- 降低开关噪声/EMI

应用

- ATX / 服务器 / 电信电源
- 电机驱动和不间断电源
- 微信太阳能逆变器



[NTP5D0N15MC](#)

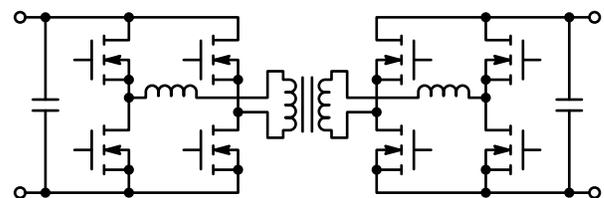


图 6.双有源桥式 DC-DC 转换器

三相电源通常被视为商业用例中常用的供电方式,但如今,这种技术已变得更加可靠,可以用于对电力需求较高的家庭。为了应对高达 15 kW 的功率,以及可能接近 1000 V 的直流链路电压,开关应该能够承受更高的工作电压和电流。

将 650 V 开关换成 1200 V 的系列很容易解决这个问题,但也可以考虑三电平对称降压-升压。这种三电平配置提供更小的开关损耗,因为只有一半的输出电压施加到开关和二极管,这种特性有助于减小电感器和实现更好的 EMI 性能。然而,组件数量增加一倍将不可避免地增加物料清单的复杂性、控制难度和总成本。^[5]

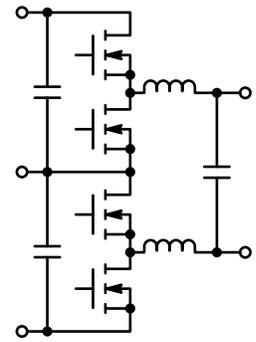


图 7.对称降压-升压转换器



Commercial BESS

商用储能系统的输入/输出功率范围从 100 kW 到 2 MW,这样的巨型系统通常由几十 kW 到 100 多 kW 的三相子系统组成。

其中一项重要规格是最大直流电压,这取决于现有太阳能系统的母线电压或电池电压。商用太阳能逆变器常见的直流母线电压为 1100 V 和 1500 V,有时用于公用事业规模的系统。这类应用的一个明显趋势是增加直流母线电压,这有助于降低给定功率的互连电缆成本,因为电流较低。

交流耦合系统在储能项目中更为常见,因为它可以添加到已经构建的系统中。此外,集中式储能单元更易于管理和放置。相比之下,直流耦合系统需要更大的空间和更多的成本来处理分布式电池组。

三电平 I-NPC 是大功率工业应用特别是逆变器中常见的拓扑结构之一,它有 4 个开关、4 个反向二极管和 2 个钳位二极管,击穿电压低于实际直流母线电压,例如 650 V 开关在 1100 V 系统中就足够了。

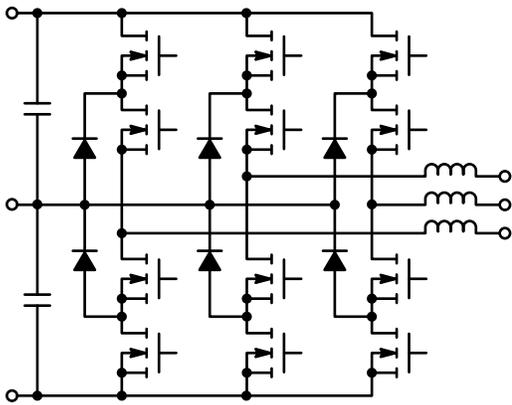


图 8.三相 I-NPC

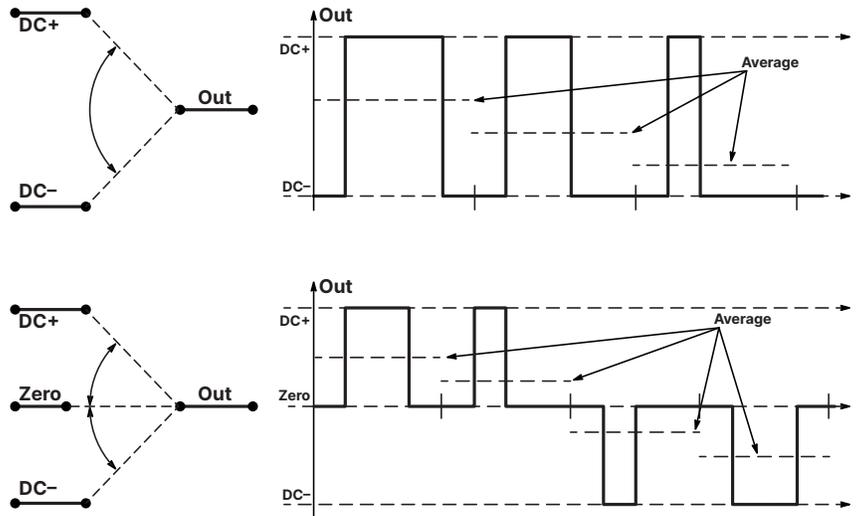


图 9.两电平和三电平开关原理

使用三电平拓扑结构有三个优点。首先, 开关损耗更低。通常, 开关损耗与施加到开关和二极管的电压的二次方成正比(开关损耗 $\propto V_{\text{switch or diode}}^2$)。在三电平拓扑结构中, 只有一半的总输出电压被施加到(一些)开关或(一些)二极管。其次, 升压电感器中的电流纹波变小。对于相同的电感值, 施加到电感器的峰峰值电压也是三电平拓扑结构中总输出电压的一半。这使得电流纹波更小, 更容易使用更小的电感器进行滤波, 从而实现更紧凑的电感器设计并降低成本。最后, EMI 降低, 而传导 EMI 主要与电流纹波有关。正如刚刚提到的, 三电平拓扑结构减少了电流纹波, 使滤波更容易并产生更低的传导 EMI。同时, 在电磁辐射方面也有好处。[5]

作为升级版, A-NPC 系统提供了更高的性能, 因为两个钳位二极管被两个有源开关所取代, 在损耗方面具有明显的优势。但是驱动器配对和延迟匹配很关键, 可以看作是一个缺点。

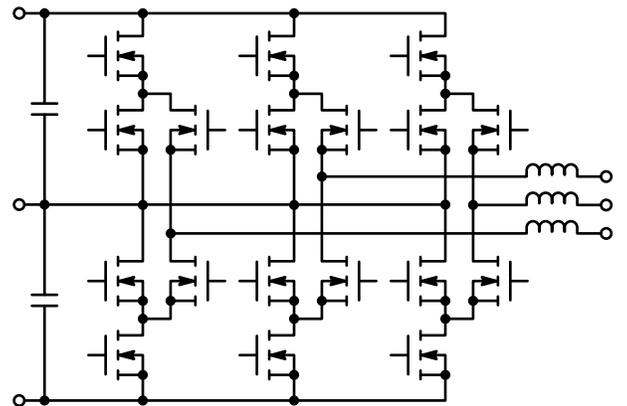


图 10.三相 A-NPC

IGBT 模块, A 型 NPC 1000 V, 800 A

特性

- 采用场截止技术的超高效沟槽
- 低开关损耗降低了系统功耗
- 高功率密度
- 低电感布局
- 内部 NTC

应用

- 1500 V 太阳能逆变器
- 1500 V 储能



[NXH800A100L4Q2](#)

使用碳化硅提高效率

6-Switch是大功率工业应用的另一种选择,它是一种 两电平拓扑结构,开关数量有限,易于控制,但 EMI 性能差,开关损耗高。

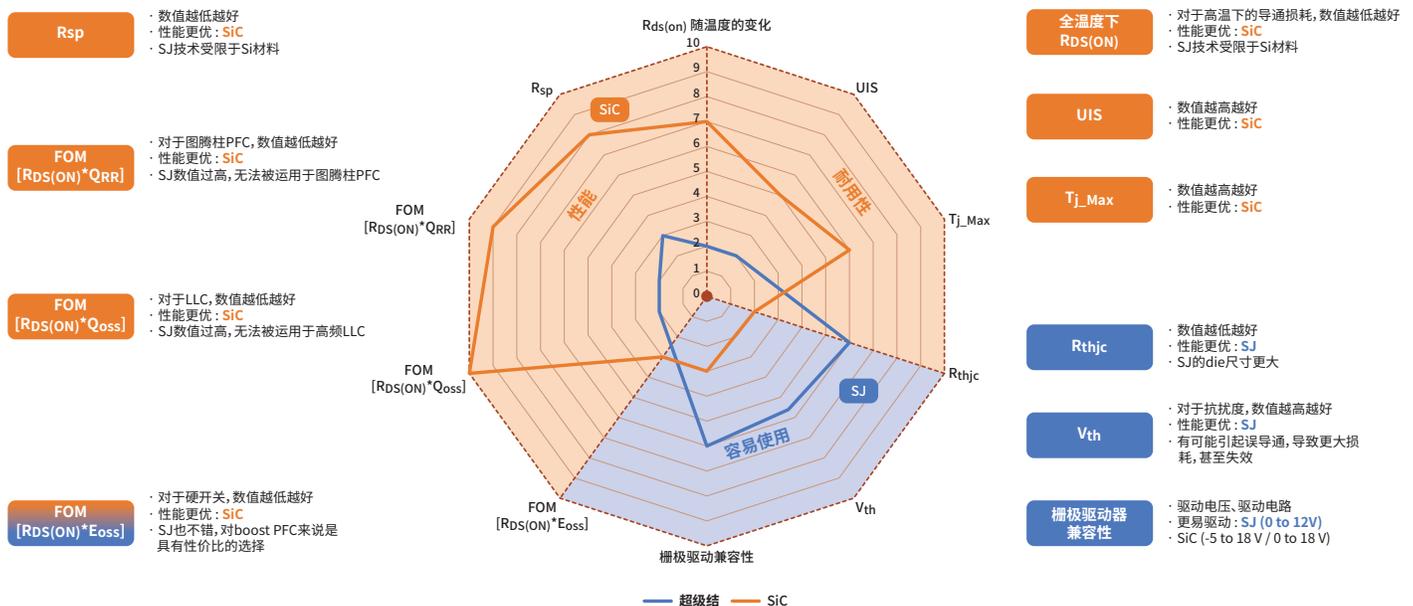
使用碳化硅解决方案后,下一代宽禁带半导体材料可以显著改善性能问题。碳化硅在带能量、击穿场、热导率等几个参数方面具有优越的特性。这些特性允许 SiC 系统以更高的频率运行而不会损失输出功率,从而可以减小电感器的尺寸。它还可以优化散热系统,

用自然散热代替强制风冷系统。在某些情况下,可以移除散热片以节省资金和减轻重量。^[6]

为了平衡成本和性能,强烈建议更换二极管(用 SiC SBD 代替硅 SBD)。与硅 SBD 相比, SiC SBD 具有更低的 trr 和 Irr,从而带来更低的 Err 和更好的系统效率。



材料特性			应用优势		
属性	硅	SiC	对器件的影响	对系统的影响	对终端应用的影响
击穿场强 (MV/cm)	0.3	3	高电压低 Rsp	高 Fsw + 小型无源	更小的尺寸 更轻的重量 更高的效率 更低的成本
带隙能量 (eV)	1.12	3.26			
电子迁移率 (cm ² /Vs)	1400	900	更低的导通阻抗	节省散热成本	
空穴迁移率 (cm ² /Vs)	600	100			
热导率 (W/cm ² °C)	1.5	4.9			
最高结温 (°C)	150	600			



SiC MOSFET, EliteSiC, 12 mohm, 650 V, TO247-4

特性

- RDS(on)典型值= 12 mΩ @ VGS = 18 V
- RDS(on)典型值= 15 mΩ @ VGS = 15 V
- 超低门电荷 (QG(tot)= 283 nC)
- 高速开关, 低电容 (COSS = 430 pF)

应用

- 太阳能逆变器
- 不间断电源
- 储能

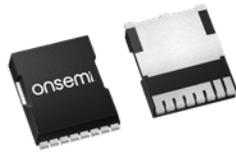


[NTH4L015N065SC1](#)

SiC MOSFET, EliteSiC, 33 mohm, 650 V, TOLL

特性

- RDS(on)典型值= 12 mΩ @ VGS= 18 V
- RDS(on)典型值= 15 mΩ @ VGS= 15 V
- PCB占位面积比 D2PAK 小30% (9.9 mm × 11.68 mm)
- 体积比D2PAK 小60%(H = 2.3 mm)
- 超低封装电感(2 nH)
- 开尔文源引脚降低60%导通损耗EON



[NTBL045N065SC1](#)

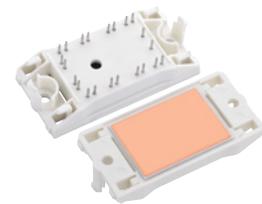
全 SiC MOSFET 模块, EliteSiC, 双通道升压, Q0

特性

- 2 × 1200 V/40 mΩ SiC MOSFET
- 2 × 1200 V/40 A SiC 二极管,
2 × 1200 V/50 A 旁路 SiC 二极管
- 低电感布局
- 内置 NTC

应用

- 太阳能逆变器
- 不间断电源



[NXH40B120MNQ0](#)



更换 PIM (功率集成模块), 以提升功率密度

为了最大限度地提高系统效率和功率密度, 应考虑模块解决方案。SiC 模块成本更高, 但能带来以下优势。

- 改进了由引脚和不良布局引起的寄生效应
- 提高生产效率, 减少元件数量, 易于安装
- 提高芯片一致性以便电流共享
- 热性能更好

NTH4L020N120SC1 (分立 SiC)		NXH020F120MNF1PTG (SiC 模块)	
EON	Eoff	EON	Eoff
0.49 mJ	0.39 mJ	0.24 mJ	0.24 mJ
Tthjc	Rthjh	Tthjc	Rthjh
0.3 °C/W	3.3 °C/W, 5 kV 隔离*	0.45 °C/W	0.8 °C/W, 5 kV 隔离

*如果使用热阻抗为 3°C/W 的 TIM

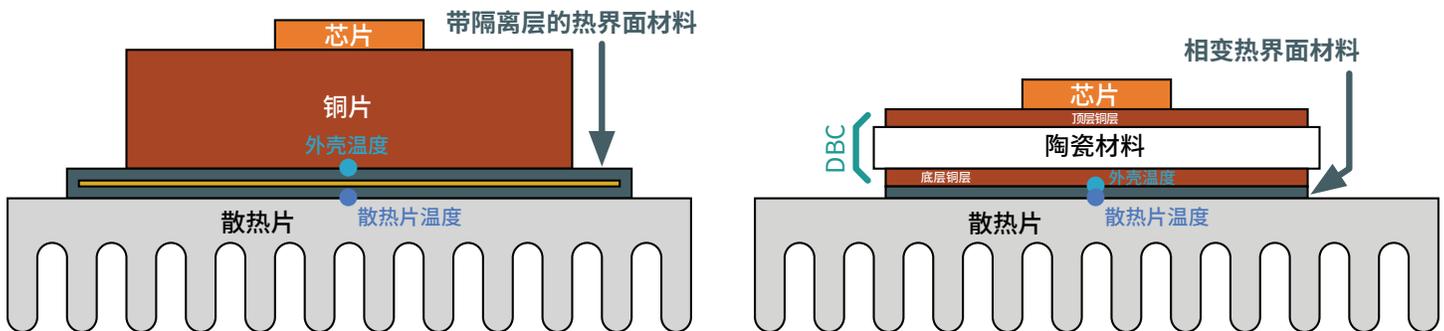


图 12. 热性能比较: 分立与模块

2-Pack 半桥全 SiC 功率集成模块

特性

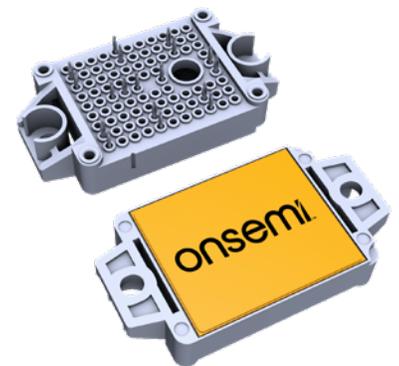
- 2 × 1200 V SiC MOSFET, $R_{DS(ON)} = 10 \text{ m}\Omega$
- 低热阻
- 内部 NTC 热敏电阻

优势

- 在更高的电压下, $R_{DS(ON)}$ 得到改进
- 更高的效率或更高的功率密度
- 高可靠性热界面的灵活解决方案

应用

- 三相太阳能逆变器
- 储能系统

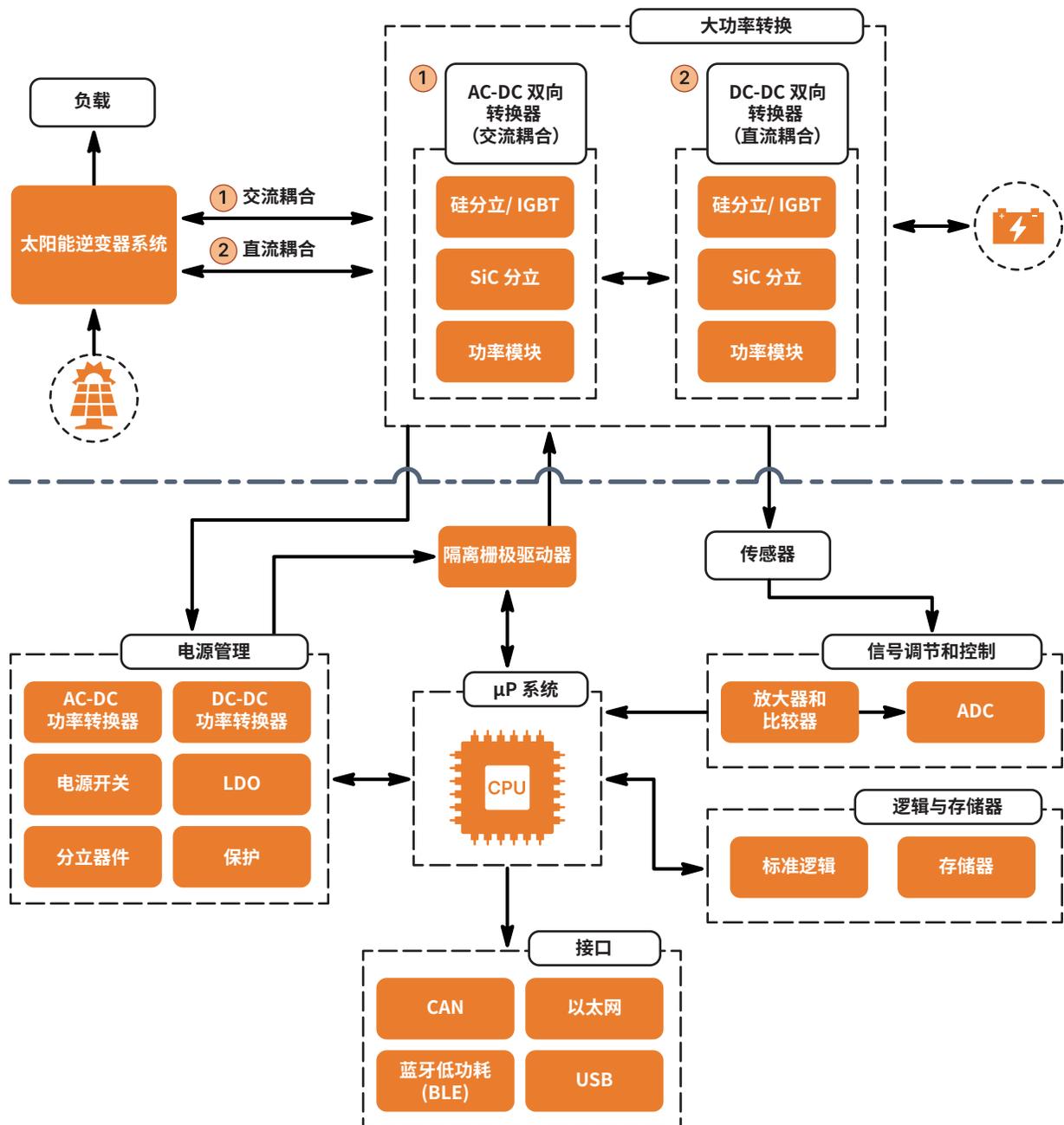


NXH010P120MNF1

应用和拓扑结构

安森美 (onsemi) 在储能系统和太阳能组串式逆变器方面拥有广泛的产品组合, 请点击下面的链接或访问我们的网站 www.onsemi.cn/energy-storage 查找更多信息。

- [功率模块](#)
- [SiC MOSFET](#)
- [SiC 二极管](#)
- [IGBT](#)
- [栅极驱动器](#)
- [电源转换管理](#)
- [信号调节和控制](#)
- [逻辑与存储器](#)
- [接口](#)



栅极驱动器

为了快速安全地驱动 SiC MOSFET, 需要可靠的 SiC MOSFET 驱动器。在选择 SiC MOSFET 以提高 SiC MOSFET 电源实现方案的稳健性时, 需要注意以下 3 点:

- **大电流能力** – 在导通和关断时输送高峰值电流以使 CGS 和 CGD 电容快速充电和放电。
- **抗扰度强** – 在具有快速开关 SiC MOSFET 的系统中, SiC 栅极驱动器必须考虑与快速 dV/dt 和感应噪声相关的抗扰度。特别是, 允许的最大和最小电压表示对正负浪涌事件的抗扰度。
- **匹配的传播延迟** – 传播延迟是从 50% 的输入到 50% 的输出的时间延迟, 这在高频应用中至关重要; 延迟不匹配会导致开关损耗和发热。

栅极驱动器, 双通道

特性

- 4.5 A 峰值源电流、9 A 峰值灌电流输出能力
- 传播延迟典型值为 36 ns, 每通道最大延迟匹配为 8 ns
- 共模瞬变抗扰度 $CMTI > 200 \text{ V/ns}$
- 5 kVRMS 电气隔离

应用

- 隔离转换器
- 碳化硅驱动器



[NCP51561](#)

电流检测放大器

要在 ESS 中进行准确的电压和电流测量, 需要可靠且精密的运算放大器 (OpAmp) 或电流检测放大器。安森美提供高精度、低功耗、电流监测 (集成电阻) 放大器, 具有不同的供电电流、增益带宽积和封装, 以便电压电流信号的反馈, 实现闭环控制。

电流检测放大器, 单/双通道

特性

- 集成精密、比率匹配的电阻器, 精度为 0.1%
- 宽共模输入: -0.1 至 40 V
- 低失调电压: $\pm 100 \mu\text{V}$
- 低失调漂移: 最大 $\pm 1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- 低增益误差: 最大 $\pm 1\%$
- 低功耗: 每个通道最大 $300 \mu\text{A}$

应用

- 高/低边电流检测



[NCS2167x](#)

以太网控制器

10BASE-T1S MACPHY 以太网控制器

特性

- 超过 IEEE 802.3cg 中规定的抗噪水平, 支持 8 个节点和最多 50 m 的范围
- 每 25 m 区段启用更多节点, 从而降低布线、连接器和安装成本
- 每端口使用一个 MACPHY, 在单对线缆上连接多个器件
- 连接到没有集成 MAC 的控制器、传感器和其他器件
- 进一步提高纯 PLCA 网络的抗噪性
- 超过 IEEE 802.3cg 中规定的抗噪水平, 支持 8 个节点和最多 50 m 的范围

应用

- 工业自动化
- 传感器和控制接口
- 安全防护和现场仪表



NCN26010

系统级仿真工具

安森美 (onsemi) 的 [Elite Power 在线仿真工具](#) 能够在开发周期的早期进行系统级仿真, 为复杂的电力电子应用提供有价值的参考信息。Elite Power 仿真工具能够精确呈现所设计的电路在使用我们的 [EliteSiC 产品系列](#) 时的工况, 包括 EliteSiC 技术的制造边界工况。

特性

- 适用于硬开关和软开关仿真的引领业界的 PLECS 模型自助生成工具
- 涵盖 DC-DC、AC-DC、DC-AC 应用, 包括工业和汽车领域的 32 种电路拓扑结构
- 损耗和热数据绘图
- 灵活设计和快速仿真结果
- 基于应用和拓扑结构的产品推荐功能



图 13. Elite Power 仿真工具: 仿真结果和波形

[PLECS 模型自助生成工具](#)让电子工程师能灵活自由地创建定制化高保真系统级 PLECS 模型。工程师可以直接在自己的仿真平台中使用模型,也可将模型上传到安森美 Elite Power 仿真工具进行仿真。

特性

- 适用于硬开关和软开关仿真的 PLECS 模型自助生成工具
- 自定义应用寄生参数,根据用户指定的应用电路寄生参数进行调整,可显著影响导通损耗和开关损耗
- 高密度宽表根据用户指定的电气偏置和温度条件进行调整,提供导通损耗和开关损耗数据
- 边界模型在产品的典型条件和边界条件下有效,使用户能够跟踪产品在导通损耗和开关损耗处于最差、标称和最佳制造条件下的应用性能

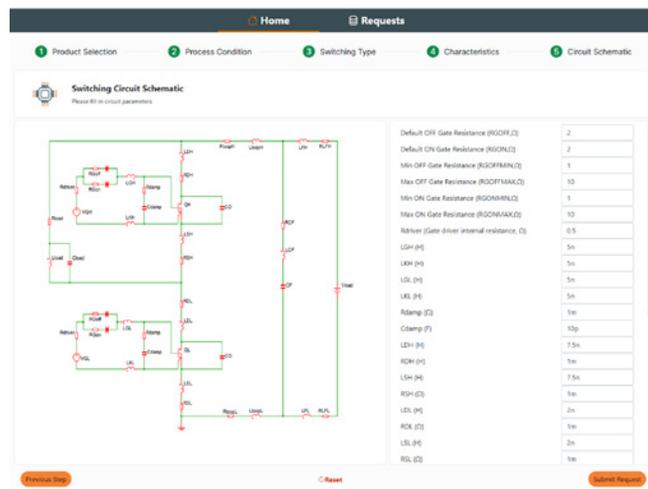
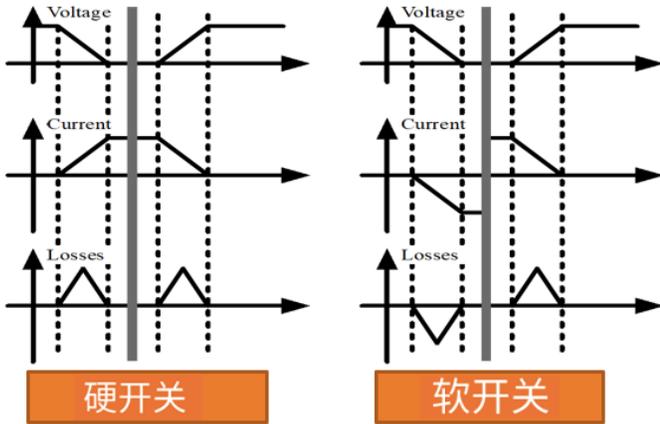


图 14. PLECS 模型自助生成工具



图15. 如何选择 Elite Power 仿真工具和 PLECS 模型自助生成工具



Switching Characteristics		
Current (A)		
Start *	Stop* (> Start)	Step Size*
-50	50	5
di/dt (A/μs)		
Start *	Stop* (> Start)	Step Size*
10	10	2
Max Delay (ns)		Resonant Inductor (μH)
50		50
Load Voltage (V)		
List of values separated by space *		
600 750 900		

图 16. PLECS 模型自助生成工具 - 硬开关和软开关选择

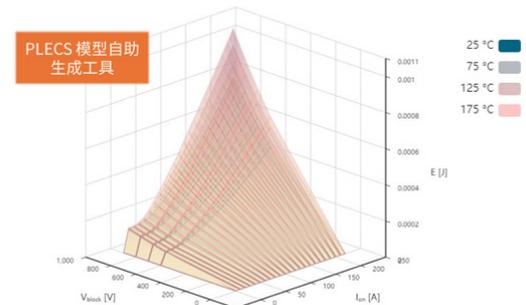
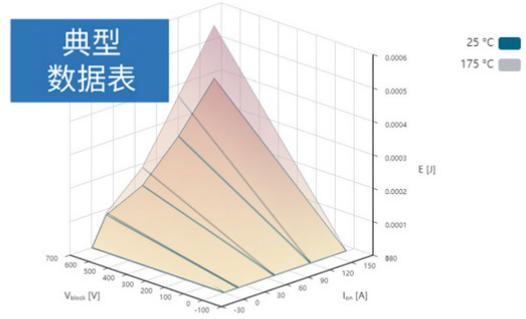


图 17. PLECS 模型自助生成工具 - 密集损耗表

进一步了解“适用于软开关和硬开关的引领行业的新型 PLECS 模型自助生成工具和 Elite Power 仿真工具”。

参考文献

1. [bp's Statistical Review of World Energy 2022. bp](#)
2. [Battery Energy Storage System Market. MarketsandMarkets](#)
3. [The Future of Energy Storage. MIT](#)
4. [Yaxi Liu et al., "A Dual Active Bridge Converter Integrating Buck-Boost for Wide Voltage Range", 2021 24th International Conference on Electrical Machines and Systems \(ICEMS\) Oct 31-Nov 3, 2021 | Hybrid. Korea](#)
5. ["Demystifying Three-Phase Active Front End or Power Factor Correction \(PFC\) Topologies". AND90142/D](#)
6. ["Performance Comparison of 1200V SiC MOSFET and Si IGBT Used in Power Integrated Module for 1100V Solar Boost Stage". AND90082/D](#)

onsemi, ONSEMI, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba "onsemi" or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. onsemi owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of onsemi's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. onsemi reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided "as-is" and onsemi makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does onsemi assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using onsemi products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by onsemi. "Typical" parameters which may be provided in onsemi data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. onsemi does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. onsemi products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use onsemi products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold onsemi and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that onsemi was negligent regarding the design or manufacture of the part. onsemi is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

ADDITIONAL INFORMATION

TECHNICAL PUBLICATIONS

Technical Library: www.onsemi.com/design/resources/technical-documentation
 onsemi Website: www.onsemi.com

ONLINE SUPPORT: www.onsemi.com/support

For additional information, please contact your local Sales Representative at www.onsemi.com/support/sales