

Bodo's 功率系统®

Bodo's Power Systems®

Electronics in Motion and Conversion

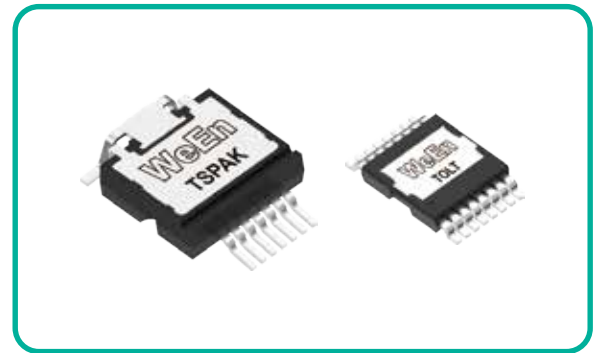
2026年3/4月 · Mar/Apr 2026



瑞能SiC顶部散热产品

瑞能顶部散热封装包括TOLT & TSPAK
应用于SiC二极管和SiC MOSFET产品中
产品电压等级覆盖650V, 750V, 1200V

提供更灵活的系统散热方案, 可实现更低的系统热阻
SiC二极管和MOSFET采用同封装, 可共用散热面
丰富的产品列表, 包含工规和车规产品
可降低选型规格, 优化系统成本
可以实现更低的EMI辐射
更低的回路电感



主要面向车载应用 光伏储能设备 高功率密度电源产品等

瑞能2000V高压大电流标准整流管

产品特点

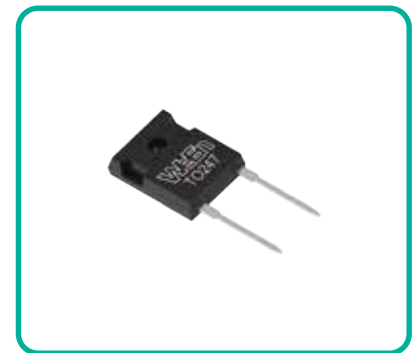
较低的正向导通压降VF, 更低的功率损耗, 有效提高效率降低系统温升
60A/90A可选更好适配充电桩模块30/40/60KW不同功率段
2000V超高耐压更匹配1500V 直流母线系统, 提高系统鲁棒性
出色的正向浪涌和抗雷击浪涌能力, 确保系统的坚强可靠
优异的品质管理, 确保充电桩/光伏系统运行的高可靠性

推荐料号

WND90P20W WND60P20W

应用领域

充电桩模块 光伏逆变器 大功率工业电源



www.ween-semi.com

创新需要及时获得合适的零件

让我们以2,300多家行业领先品牌厂商的数百万种现货产品，助您设计成真，擘画未来。

寻找所需零件，请访问 digikkey.cn 或致电 400 920 1199

DigiKey 得捷

we get technical

DigiKey 是所有供应商合作伙伴的授权分销商。每日添加新产品。DigiKey 和 DigiKey Electronics 是 DigiKey Electronics 在美国及其他国家的注册商标。© 2026 得捷电子（上海）有限公司。上海客服中心：上海市长宁区长宁路1133号长宁来福士广场T1幢办公楼32层3202、3203、3205、3206单元 邮编：200051



Bodo's 功率系统®

2026年3/4月 · 目录

主编寄语	05	封面故事	20
新闻	06	简面向SiC MOSFET 与SiC SBD的顶部散热封装	
观点		TOLT与TSPAK	
从 SiC 到 900V：车规半导体正在重塑智能电动车体验	12	作者：瑞能半导体公司王越，张哲宇	
绿色产品		电源管理	
高性能隔离式电源模块助力提高数据中心和电动汽车功率密度	14	简单制胜——第三部分：高效主动均衡背后的架构	24
		作者：ADI 公司 Frank Zhang, 应用工程师	
		Henry Chen, 资深工程师	
		Meng Wang, 资深工程师	
		Nandin Xu, 经理	
蓝色产品		新产品	30
TOPSwitchGaN：以氮化镓重塑高功率反激电源边界	16	广告索引	34
热管理			
突破极限——确保碳化硅冷却无忧	18		
作者：罗杰斯科技创新与新业务发展高级经理 Vitalij Gil			

54年电量测量解决方案专家

莱姆电子新一代集成式电流传感器

GXL AN汽车级大电流、超低内阻传感器

GXM AN汽车级高隔离封装传感器

GXM AT超快的TMR技术传感器

应用领域

- 工业自动化
- 家用电器
- 光伏逆变器
- 汽车电子

www.lem.com

DigiKey 是所有供应商合作伙伴的授权分销商。每日添加新产品。DigiKey 和 DigiKey Electronics 是 DigiKey Electronics 在美国及其他国家的注册商标。© 2026 得捷电子（上海）有限公司。上海客服中心：上海市长宁区长宁路1133号长宁来福士广场T1幢办公楼32层3202、3203、3205、3206单元 邮编：200051





Bodo's 功率系统®
ISSN: 23055774

出版商
i2i Group Hong Kong Limited
6/F - Shun Feng International Center
174-182 Queens Road East Wanchai, Hong Kong, SAR
Tel: 852.8177.7254
Fax: 852.3015.4840

出版人 | Alexander Glos
aglos@i2imedia.net

联合出版人 | 徐敏
xumin@i2imedia.net

编辑部

上海
上海愚园路 888 号 10 号楼 3502 室
+86 21 6095 6570

北京
北京永安东里 16 号 CBD 国际大厦 5 层 D551
+86 10 6563 7528

总编辑 | Bodo Arlt

编辑 | 徐敏
+86 21 6095 6571 | bpsc@i2i-m.com.cn

数字编辑 | 姚明鹏
mannix@i2i-m.com.cn

美术设计 | 许清伟
+86 21 6095 6572 | xuqingwei@i2imedia.net

发行部
+86 21 6095 6572 | bpsc@i2i-m.com.cn

广告部

中国
美唯广告(上海)有限公司
+86 21 6095 6573 | xumin@i2imedia.net

德国
Katzbek 17a
D-24235 Laboe, Germany

英国
June Hulme / GEMINI MARKETING
+44 (0) 1270 872315
junehulme@geminimarketing.co.uk

国内订阅请直接与本刊发行部联系。
本杂志所有文字和图片, 归本刊所有, 未经许可, 不得转载摘编。读者如发现本刊有掉页、残缺等印刷、装订质量问题, 请与本刊编辑部联系。

All rights reserved. Any unauthorized reproduction of the magazine or any part thereof is strictly prohibited. Matters involving any alleged infringement of design, copyright, patent, trademark or other intellectual property rights (in the advertisements) should be addressed to the advertisers.



高压化浪潮下, 功率半导体走向系统共创



当 AI 算力以指数级速度扩张、电动汽车从 "可选转型" 走向 "刚需选择", 功率电子正被推到一个前所未有的位置。它不再是隐藏在系统深处、默默完成能量转换的幕后角色, 而是直接决定下一台 AI 服务器能否点亮、一辆电动车能否在十分钟内补能数百公里的核心变量。

最鲜明的信号来自电压等级的整体跃迁。从 NVIDIA 与德州仪器联合推出的 800V DC 数据中心架构, 到安森美与吉利共同推进的 900V 整车平台; 从英飞凌 CoolSiC 进入丰田 bZ4X 的车载充电器与 DC/DC 转换器, 到罗姆借助与台积电的工艺融合加速 GaN 在 AI 服务器及车载电源领域的供应——"提升电压、降低电流、减小损耗" 已成为跨越数据中心与汽车两大主战场的共同语言。高压化不仅意味着更高能效, 更意味着配电架构、热管理、功率密度与可靠性都需要被重新定义。

支撑这场跃迁的, 是宽禁带半导体的持续突破。Wolfspeed 分享了先进碳化硅封装技术如何提升系统耐久性; 安森美则呈现了 SiC JFET 在固态断路器中的破局价值。与此同时, 6 英寸氧化镓单晶衬底样品的交付、300mm QST™ 工程衬底的产业化推进, 正为下一代超宽禁带器件铺设量产经济性的基石。

绿色贴士:

待机也耗电, 别让电费悄悄溜走。家电不用时拔掉插头或关闭总开关, 每年可为地球减少近百公斤碳排放。举手之劳, 为生活 "减负", 让地球 "降温"

另一个值得关注的变化, 是产业协作模式的重塑。安森美与吉利的合作之所以具有标志性意义, 在于它折射出芯片厂商与整车厂的关系正在从 "器件采购" 走向 "系统共创"。同样的趋势, 也出现在恩智浦 CoreRide Z248 为汽车制造商提供的 48V 区域架构平台中, 出现在英飞凌与麦格米特围绕 5.5 kW AI 服务器电源的长期协同中。当电源、计算、互连、热管理与功能安全深度耦合, 单一器件的性能优势已不足以决定胜负, 能否在平台早期就与客户共同定义系统方案, 正在成为新的竞争门槛。

回望过去十年, 功率半导体经历了从硅到 SiC、GaN 再到氧化镓的材料迭代, 也经历了从分立器件到模块、再到系统级集成的封装演进。展望未来, 800V 数据中心、900V 电动汽车平台与宽禁带功率器件的全面协同, 将共同塑造下一代电气化基础设施的竞争格局。在这条路上, 没有旁观者, 只有共创者。



扫描二维码或搜索微信号 "dlz360" 即可添加

地缘冲突加速全球电动汽车普及



2026年第一季度，全球车市呈明显的区域分化特征，多重宏观与产业因素交织影响市场走势。其中，美国市场受售价高企、补贴退坡等利空压制，新车销量出现明显下滑。

欧洲市场电动化进程加速，插混车成为核心增长引擎，多国销量及电动汽车市占率同步提升。

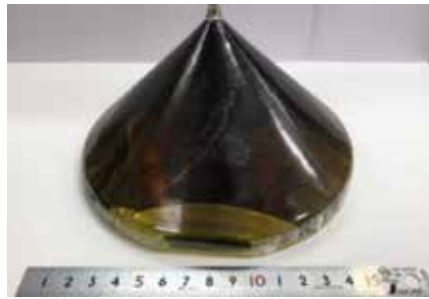
印度车市强势复苏，税改政策落地带动结构性回暖，电动汽车占比稳步上升。日本受加息及高通胀等影响，车市出现小幅下滑，但电动汽车销量逆势上扬。

巴西市场快速回暖，中国车企加速本土化布局；俄罗斯市场虽实现微增，但前景难言乐观。

近来，中东冲突直接冲击全球石油供应链与价格，从消费者成本、国家能源安全、产业政策、市场需求4个层面，快速放大电动汽车的经济性与战略价值，使其从“可选转型”向“刚需选择”转变，地缘政治危机正大幅提升全球对电动汽车的兴趣与普及速度。

www.cnauto.com

6英寸氧化镓开始交付



日本厂商Novel Crystal Technology宣布，将于2026年3月开始向全球客户

交付150毫米（6英寸）氧化镓单晶衬底样品。

此前，该领域的商业供应主要局限于100毫米（4英寸）及以下尺寸，而150毫米则是当前全球功率半导体主流生产线（如碳化硅产线）的标准物理规格。

NCT成功实现这一尺寸的跨越，意味着下游功率器件制造商无需进行大规模的设备更替，即可利用现有的6英寸晶

圆加工配套设施进行氧化镓器件的规模化试制与量产准备。

氧化镓作为一种超宽禁带材料，其物理特性在电力电子领域极具竞争力。其禁带宽度约为4.5至4.9eV，远超硅（Si）和碳化硅（SiC），这赋予了材料极高的击穿电场强度和极低的能量损耗。在同等耐压水平下，氧化镓器件理论上能实现比碳化硅更小的芯片尺寸和更高的能量转换效率。

www.crystaltechlb.com

融合台积电工艺技术，加强GaN功率器件供应能力



全球知名半导体制造商罗姆（总部位于日本京都市）宣布，决定将自身拥有的GaN功率器件开发和制造技术，与合作伙伴台积电（TSMC）的工艺技术相融合，在集团内部建立一体化生产体系。通过获得台积电的GaN技术授权，罗姆将进一步增强相应产品的供应能力，从而满足AI服务器和电动汽车等领域对GaN产品日益增长的需求。

GaN功率器件具有优异的高电压和高频特性，有助于应用产品实现更高效率和更小体积，因此已被广泛应用于AC适配器等消费电子产品。此外，其在AI服务器的电源单元及电动汽车（EV）的车载充电器等高电压领域的应用也日益广泛，预计未来需求还将持续扩大。

罗姆很早就开始着手开发GaN功率器件，并于2022年3月在罗姆滨松工厂建立了150V GaN的量产体系。在中等功率领域，罗姆在积极开展外部合作的同时不断完善供应体系。其中，台积电是罗姆非常重要的合作伙伴之一，自2023年起，罗姆就采用了台积电的650V GaN工艺，双方还于2024年12月缔结

了关于车载GaN的合作伙伴关系*1，并一直在不断深化合作关系。

本次技术融合正是双方合作伙伴关系进一步深化的印证，在签订授权合同后，台积电的工艺技术将转移给罗姆滨松工厂。罗姆计划在2027年内建立起相应的生产体系，以应对AI服务器等领域不断扩大的需求。

随着技术转移的完成，双方关于车载GaN的合作伙伴关系将告一段落，但双方还将继续加强合作，共同致力于推动电源系统的效率提升和小型化。

www.rohm.com.cn

碳化硅功率半导体成功应用于丰田“bZ4X”新车型



英飞凌科技股份有限公司宣布，全球最大汽车制造商丰田已在其新款车型bZ4X中采用了英飞凌的CoolSiC™ MOSFET（碳化硅功率MOSFET）产品。这款碳化硅MOSFET集成在车载充电器（OBC）和DC/DC转换器中，利用碳化硅材料低损耗、

耐高温、耐高压的特性和优势，能够有效延长电动汽车的续航里程并缩短充电时间。

英飞凌科技执行副总裁、汽车业务首席营销官Peter Schaefer表示：“全球最大的汽车制造商之一丰田选用了英飞凌的CoolSiC技术，对此我们深感自豪。碳化硅能够有效提升电动汽车的续航能力、效率和性能，因此也将在塑造未来交通出行的过程中发挥重要作用。英飞凌矢志创新，承诺零缺陷品质，已做好充分准备，蓄势待发，以应对电动交通出行领域

功率电子需求的快速增长。”

英飞凌CoolSiC™ MOSFET采用独特的沟槽栅结构，可降低归一化导通电阻并缩减芯片尺寸，从而减少导通和开关损耗，有助于提升汽车车载电源系统的效率。此外，经过优化的寄生电容和栅极阈值电压支持单极栅极驱动，不仅有助于简化汽车电驱系统的驱动电路设计，也能为车载充电器和DC/DC转换器实现高密度、高可靠性的设计提供支持。

www.infineon.cn

提供《优化下一代数据中心 AI 服务器的供电网络技术指南》



助力数据中心电力稳定化株式会社村田制作所开始提供《优化下一代数据中心AI服务器的供电网络技术指南》(1)（以下简称“本资料”）。本资料提出了村田面向AI服务器的电源供给网络效率化解

决方案，有助于实现数据中心电力稳定化。

近年来，随着AI的迅速发展及普及，全球各地的数据中心建设不断推进。同时，相关设备与器件的高电压化、高密度化趋势叠加，预计电力消耗量今后将持续扩大。本资料聚焦于数据中心的电源电路设计，介绍市场动向、电力供给相关的技术趋势与课题，以及针对这些课题的村田解决方案。这些解决方案通过实现电源电路的电力稳定化，有助于降低AI服务器的电力损耗。

《优化下一代数据中心AI服务器的供电网络技术指南》的构成：市场概况，包括功耗构成、电源供给线路中的技术动向与课题等。市场课题与解决方案，包括电源供给线路设计中需要考虑的重要要点；通过电源配置的演进，实现电力稳定化并降低电力损耗。村田解决方案，包括可对应不断演进的电力供给方式的多种产品阵容；运用解析技术，对元器件布局与选型提供支持；覆盖全球的供给与支持网络。

www.murata.com.cn

下一代3300V和6500V HiPak模块

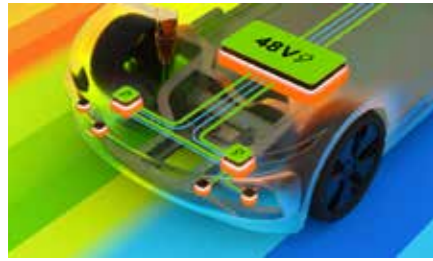
HiPak IGBT模块在牵引、工业以及可再生能源应用中以高性能而闻名。现在，随着3.3 kV 1800A的沟槽栅TSPT+芯片技术和6.5 kV 1000 A增强型平面栅SPT+芯片技术的到来，产品性能得到了提升。采用沟槽栅TSPT+芯片技术后，日立能源提供了下一代IGBT，其芯片损耗进一步降低了30%，并为提高电流密度开辟了可能性。

hitachienergy.com/semiconductors



HITACHI

助力汽车制造商加速迈向可扩展的48V区域架构



恩智浦半导体发布 CoreRide Z248 区域参考系统——首个经过预验证、可直接用于设计的区域架构基础平台，结合了先进的 48V 能量分配、确定性数据处理、功能安全与实时响应能力。该软硬件基础平台旨在优化系统性能、降低系统集成工作量、缩短开发周期，并使汽车制造商和

一级供应商能够将资源集中投入到最具价值的领域。它为加速从区域架构概念到可量产的进程树立了新标杆。

Z248 参考系统基于恩智浦的 S32K5 微控制器系列构建，其集成的先进 MRAM 技术可在整个车辆生命周期内实现超快速、超高频的无线升级（OTA）。在软件层面，Z248 搭载了一套经过全面预验证的软件栈，能够大幅简化智能数据能源网络（SDEN）各项复杂功能的开发流程。

该系统内置经验证的远程协议栈（RCP），支持将终端节点功能上移集成

与 ECU 整合，从而实现成本优化的新型车辆架构。此外，通过在单一集成架构内管理能量转换、分配与保护，它还解决了 48V 区域系统的关键挑战。

Z248 经过了数千次系统级测试的严格验证，展示了优异的低功耗模式表现、快速启动和快速唤醒响应能力。该系统配备一个现代化、协作式的持续集成、持续测试与持续交付（CI/CT/CD）开发环境，可显著加快与汽车制造商及一级供应商的测试迭代，从而缩短验证周期。

www.nxp.com.cn

助推上能电气光伏与储能解决方案升级

安森美宣布，其混合功率集成模块（PIM）将应用于上能电气下一代 430kW 液冷储能系统（ESS）以及 320kW 公用事业级光伏组串式逆变器。这一设计合作进一步巩固了安森美与上能电气之间的长期合作关系，为快速增长的可再生能源与人工智能（AI）基础设施市场提供高性能、面向未来的解决方案。

上能电气新平台的核心——安森美最新一代集成 FS7 绝缘栅双极晶体管管

（IGBT）和碳化硅（SiC）的混合功率集成模块（PIM），采用 F5BP 封装，旨在提升公用事业级光伏组串式逆变器与储能系统（ESS）的输出功率。与前代产品相比，这些模块在相同尺寸下，将功率密度提升了 32%，能效提升了 0.1%，使光伏逆变器的系统总功率从 320kW 提升至 350kW。

安森美的混合 F5BP PIM 结合 FS7 IGBT 与 EliteSiC 二极管技术，与上一代产品相比，可降低高达 8% 的功率损耗和

10% 的开关损耗。其先进的直接键合铜（DBC）基板设计可最大限度减少杂散电感，并将散热片的热阻降低 9.3%。开关损耗和热阻的共同降低，使系统在相同重量和功率密度下，整体功率较上一代设计提升高达 32%。搭配优化的电气布局与创新的底板设计，为系统带来更优的热管理性能。这些改进共同实现更出色的系统性能并提升长期可靠性。

www.onsemi.cn

合作驱动其新一代 AI 服务器



中国人工智能服务器电源供应商深圳麦格米特电气股份有限公司（麦米电气）宣布，将在其 5.5 kW 人工智能（AI）服务器电源中采用由全球功率系统和物联网领域的半导体领导者英飞凌科技股份公司最新推出的 CoolMOS™ 8 超结 MOSFET 技术。为满足日益增长的 AI 服务器需求，麦米电气依托英飞凌

CoolMOS™ 8 半导体器件，实现了高效率与白金级性能。基于该技术，麦米电气面向 AI 服务器及开放计算生态系统开发出一套紧凑、可扩展的系统。该设计包含通过公共总线分配电力的可扩展中央电源架，每个机架可根据总功率需求配置多个电源架。

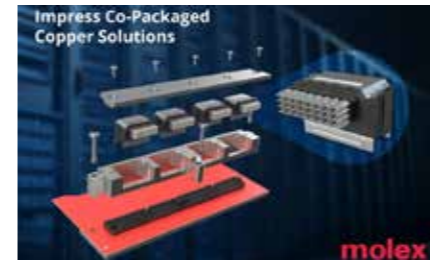
英飞凌科技全球高级副总裁及大中华区总裁潘大伟表示：“麦米电气是我们重要的长期合作伙伴，共同见证了电源行业的多次技术变革。面对 AI 时代数据中心对电源的爆发式增长需求，我们很高兴以 CoolMOS™ 8 等产品，助力麦米电气在高

功率电源领域保持领先竞争力。英飞凌将持续深耕中国市场，与本土伙伴协同创新，共同推动绿色高效能源基础设施的发展。”

麦米电气电源事业群总经理张威力表示：“麦米电气与英飞凌合作逾二十载，我们高度认可英飞凌电源产品为我们的系统带来的出色的性能、质量与效率。我们相信英飞凌最新的 CoolMOS™ 8 半导体器件是 5.5 kW AI 服务器电源的最佳选择，使我们能够在快速增长的数据中心领域，为客户实现高效率、高功率密度和高可靠性。”

www.infineon.cn

Impress 共封装铜缆方案扩展 ASIC 连接创新，满足下一代数据传输率需求



全球电子设备领军企业暨连接技术创新企业 Molex 莫仕推出 Impress 共封装铜缆解决方案，通过提供超高速数据传输和卓越的信号完整性，满足下一代数据中心和 AI workflows 的需求。Impress 以

Molex 莫仕成熟可靠的基板上和近 ASIC 专业知识为基础，提供压缩式基板上连接器和对配电缆组件，支持高达 224Gbps PAM-4 及以上的数据传输率。

Molex 莫仕铜缆解决方案副总裁兼总经理 Jairo Guerrero 表示：“随着 AI 工作负载将数据中心推向物理极限，我们全力以赴在不影响信号完整性的情况下最大限度地提高效率。Impress 是我们的前沿创新，旨在帮助扩展基础设施，同时避免功耗或成本呈指数级增长。Molex 莫仕通过实现机架级的高性能，正逐步提高下一

代计算在技术和经济方面的可行性。”

Impress 凭借 NearStack 基板上（OTS）连接器延续了公司的成功，该连接器采用直连芯片解决方案，将高速路径移出电路板，为可扩展的下一代系统铺平了道路。Molex 莫仕已交付逾百万台 NearStack 设备，在降低任务关键型服务器架构的延迟和提升空间利用率方面，创下了卓越的业绩记录。

www.molex.com

启用泰国新工厂，强化全球制造韧性



全球领先的半导体公司 Analog Devices, Inc. 宣布公司在泰国新落成的先进制造工厂已经正式启用。此举将进一步提升 ADI 的先进制造与测试能力，同时推动公司在亚太地区形成更具韧性

和可持续性的半导体生产布局。此次扩建基于 ADI 的混合制造战略，依托由内部工厂、外部代工厂与外包半导体组装和测试（OSAT）合作伙伴构成的全球网络，打造兼具韧性与高性能的解决方案。

泰国在 ADI 全球制造网络中发挥着至关重要的作用。通过扩大 ADI 在泰布局，提升制造韧性、灵活性与产能规模，为多元市场客户提供支持，从而有力支撑公司的长期发展。新工厂的定位是智能可持续工厂，融合先进自动化、数字化制造技术与完善运营体系，兼顾高效

生产与绿色环保，能够更快响应市场需求，并在瞬息万变的全球环境中，持续提供客户所期望的品质、可靠性与性能。

ADI 首席执行官兼董事会主席 Vincent Roche 表示：“泰国是 ADI 全球制造布局中的战略枢纽之一。此次扩建彰显了我们长期致力于将泰国及该地区打造为能够可靠且可持续地提供世界级技术的关键环节的决心。随着客户需求的不断演变，此次扩建投资将确保我们能够持续大规模交付独具优势的创新成果。”

www.analog.com

携手推出面向下一代 AI 数据中心的完整 800V DC 电源架构



德州仪器（TI）近期推出完整的 800V 直流（DC）电源架构，该架构基于 NVIDIA 800 VDC 参考设计，用于下一代 AI 数据中心。该解决方案于 2026 年 3 月 16 日至 19 日在 NVIDIA GTC 的功率架构大会

和 TI 的 169 号展位上亮相，展示 TI 的模拟和嵌入式处理技术如何助力 NVIDIA 推动 AI 数据中心高压系统革新的愿景。

TI 高压电源副总裁兼总经理 Kannan Soundarapandian 表示：“AI 算力的指数级增长，正推动数据中心供电方式发生根本性变革。我们推出的这款先进的 800 VDC 架构是一项具有重要意义的突破，它不仅能够帮助数据中心运营商应对当前的电力挑战，更能为未来的 AI 工作负载需求做好准备。

力路径上最大限度地提高转换效率和功率密度来应对这些挑战，简化了配电架构，并使 AI 数据中心能够实现更高可扩展性和可靠性。

TI 这一突破性方案仅需要两个功率转换级，即可将 800V 转换为 GPU 核心电源，首先通过高峰值效率的紧凑型 800V 至 6V 隔离式母线转换器，之后再通过高电流密度的 6V 至 1V 以下多相降压解决方案。这种简化架构符合 NVIDIA 的参考设计要求。

TI 的 800VDC 架构通过在整个电

TI.com.cn

持续巩固全球车用半导体市场领导地位



英飞凌科技股份有限公司再次证明了其作为全球领先车用半导体供应商的地位。根据 TechInsights [1] 发布的 2025 年最新市场分析，英飞凌连续六年蝉联全球车用半导体市场份额第一，并进一步扩大了对主要竞争对手的领先优势。这再次证明了英飞凌在快速发展的汽车行业中作为首选合作伙伴的地位。

英飞凌科技执行副总裁兼英飞凌汽车业务首席营销官 Peter Schaefer 表示：“英飞凌持续领跑车用半导体市场，彰显了我们为客户的坚定承诺，以及在应对软件定义汽车和传动系统电气化等核心趋势方面的卓越能力。尤其在微控制器等关键领域，我们的领导地位得到进一步巩固，这凸显了我们的创新实力。同时，我们在全球在所有关键市场的份额均位列第一或第二，充分体现了全球合作伙伴对我们的深厚信任。”

根据 TechInsights 的数据，2025 年全球车用半导体市场规模增长至 744 亿美元（2024 年为 699 亿美元 [2]）。英飞凌自 2020 年首次登顶市场榜首以来，今

年再次蝉联冠军，市场份额达到 12.8%（2024 年为 13.2% [2]），并进一步扩大了与市场第二名的差距。

这一成就得益于英飞凌在全球所有重要汽车区域的强劲布局：在中国（全球最大的车用半导体市场）以及欧洲和韩国，英飞凌均巩固了其区域市场领导者地位，并在中国和欧洲两地持续拉大对第二名的领先优势。在北美和日本市场，英飞凌位列第二，并显著缩小了与当地市场领导者的差距。

www.infineon.cn

达成收购协议，加快可扩展共封装光学的普及

全球电子设备领军企业暨连接技术创新企业 Molex 莫仕宣布达成收购 Teramount Ltd. 的协议。该公司总部位于以色列，专注于开发可拆卸光纤直连芯片互连解决方案，并针对大规模共封装光学 (CPO) 及其他硅光子学应用对该解决方案进行优化。Teramount 的 TeraVERSE® 平台基于其通用光子耦合器和芯片级自对准光学技术，可在光纤与硅光子芯片之间提供一个实用且可现场维护的接口，该平台近期在 OFC 2026 大

会上作为 Molex 莫仕一站式 CPO 解决方案的一部分正式发布。TeraVERSE 是一种创新型被动对准解决方案，不仅能够支持 AI 普及所需的高速数据传输率，还能降低能耗，从而减少超大规模数据中心在电力和散热方面的需求。

Molex 莫仕 Datacom 解决方案部门总裁 Aldo Lopez 说道：“Teramount 的 TeraVERSE 技术将填补 CPO 架构中的关键空白，为我们的光学解决方案组

合提供具有竞争优势的战略性补充。凭借这个实用且可拆卸的光纤直连芯片接口，我们将获得推动 CPO 主流化应用的基础要素。Teramount 的 IP 和工程人才与 Molex 莫仕的创新产品组合、制造规模、供应链专业知识及系统技术强强联合，将为客户提供一条部署可扩展 CPO 的大规模集成路径。”

www.Molex.com

全面启动新型SiC塑封型模块网售



全球知名半导体制造商 ROHM 宣布，其新型 SiC 模块“TRCDRIVE pack™”、“HSDIP20”及“DOT-247”已开始网售。近年来，全球电力紧缺危机加剧，节能的重要性日益凸显，这促使更多的应用产品通过采用 SiC 产

品来实现高效率的功率转换。

这些产品通过 Ameya360、Oneyac 等电商平台均可购买。详见罗姆官方网站。

TRCDRIVE pack™ 是适用于 300kW 以下 xEV（电动汽车）牵引逆变器的二合一（2in1）SiC 塑封型模块。该系列产品搭载了低导通电阻的第 4 代 SiC MOSFET，与普通的 SiC 塑封型模块相比，可实现 1.5 倍的业界超高功率密度，非常有助于电动汽车逆变器的小型化。另外，产品采用 ROHM 自有的引脚排列方式，仅需从顶部按压栅极驱

动器电路板即可完成连接，有助于减少安装工时。

HSDIP20 是非常适用于 xEV 用的车载充电器（OBC）、电动汽车充电桩、服务器电源、AC 伺服等应用的四合一（4in1）及六合一（6in1）结构的 SiC 模块。该系列产品包括 750V 耐压 6 款、1200V 耐压 7 款型号。由于已在小型模块封装中内置各种大功率应用所需的功率转换基础电路，因此有助于缩短客户的设计周期并减小功率转换电路的规模。

www.rohm.com.cn



驱动电子制造迈向智能与可持续新纪元

Powering the Future of Smart & Sustainable Electronics Manufacturing

2026年6月2-4日
上海世博展览馆

June 2-4, 2026

Shanghai World Expo Exhibition & Convention Center



能源管理
Energy Management

工厂环境
Factory Environment

工厂运维
Factory Operations

碳足迹
Carbon Footprint

ESG

绿色
Sustainable

柔性
Flexible

SMT
Surface Mounted Technology

智能工厂
Smart Factory



微信公众号

同期展会
Held In Conjunction

NEPCON
CHINA 2026

S-FACTORY
智能工厂及自动化技术展览会

主办单位
Organized By

CICTE
工业和信息化部国际经济技术合作中心
MINISTRY OF INDUSTRY AND INFORMATION TECHNOLOGY

RX 励展博览集团
同励百业·共展商机

联系我们
Contact Us

孙梅女士 | Ms. Summer Sun

400 650 5611 / +86 182 3187 0376

mei.sun@rxglobal.com

官方网址: www.factec.com.cn

从 SiC 到 900V：车规半导体正在重塑智能电动车体验

智能电动车的竞争正在进入一个新阶段。过去，消费者更关注续航里程、智能座舱、辅助驾驶功能和补能速度；现在，这些体验背后的底层能力，越来越取决于车规半导体、整车电子电气架构和软件平台之间的协同。

作者：Bodo's 功率系统杂志编辑部



图片来源：安森美官网

近日，安森美与吉利汽车集团深化全球战略合作，将 EliteSiC 碳化硅功率技术更广泛地集成到吉利浩瀚-S 超级电混架构车型中，并支持新一代 900V 电动汽车架构。安森美官方公告显示，这一合作将服务于下一代纯电动及混动汽车开发，目标包括更快充电、更长续航和更稳定一致的整车性能。

这不是一次简单的供应链合作。它释放出的信号是：在智能电动车时代，芯片厂商与整车厂之间的关系正在从“器件采购”走向“系统共创”。尤其在高压电驱、智能驾驶、能量管理和功能安全高度耦合的背景下，主机厂越来越需要在车型平台早期就与半导体伙伴共同定义系统方案。

高压平台背后，是用户体验的重新分配

对普通用户来说，900V、SiC、功率密度、开关损耗这些词并不直观。但它们最终影响的是几个非常具体的体验：充电等多久、续航是否稳定、加速是否顺畅、高速和高温工况下性能是否衰减。



图片来源：安森美官网

高压架构的核心价值，在于以更高电压降低同等功率下的电流需求，从而减少线缆、器件和系统中的热损耗。安森美在其技术文章中指出，许多电动车平台正在从 400V 电池组向 800V 电池组迁移；在驱动模式下，更高电压可提升电机功率输出或在同等功率下改善系统效率；在充电模式下，更高电池电压可降低充电电流并缩短充电时间。

SiC 碳化硅功率器件则是高压平台落地的重要基础。与传统硅基器件相比，SiC 更适合高电压、高频率和高效率场景，能够帮助电驱、车载充电机、DC-DC 转换器等系统提升效率并缩小体积。安森美介绍其第二代 1200V EliteSiC M3 MOSFET 时称，M3S 相比上一代产品总开关损耗降低 34%，关断损耗降低 40%，开通损耗降低 20% 至 30%。

这类指标看似属于工程端，实则会在整车端形成连锁反应。损耗降低意味着热管理压力下降，系统可以在更紧凑的空间内实现更高功率密度，也能为续航、补能和整车稳定性释放更多设计空间。STMicroelectronics 也指出，基于 SiC 的 800V 电驱系统已经帮助车辆实现更快充电、降低车重，并使车企能够生产续航更长的车型。

智能驾驶竞争，不能只看算法

智能驾驶体验常被理解为算法能力、感知能力和算力水平的竞争，但这只是表层。真正支撑智能驾驶持续升级的，是整车电子电气架构、车规芯片、软件平台、通信网络和功能安全体系。



图片来源：Monolithic Power Systems 官网

随着车辆从分布式 ECU 向域控制、中央计算和区域控制演进，芯片不再只是单点器件，而是整车平台能力的一部分。麦肯锡认为，下一代汽车 E/E 架构正在向集中化演进，到 2032 年全球生产车辆中约 30% 将采用带区域控制器的 E/E 架构。

这意味着，智能电动车的体验升级会越来越依赖跨系统协同。电驱系统要更高效，智能驾驶域要有更强计算能力，座舱系统要持续 OTA，底盘和能量管理要与整车控制策略联动。任何一个环节的芯片、软件或架构短板，都可能限制整车体验的上限。

麦肯锡还判断，汽车半导体市场预计将在未来十年从 600 亿美元增长到 1400 亿美元，增速高于半导体市场其他垂直领域。麦肯锡这也解释了为什么主机厂正在更深入参与半导体价值链：芯片选型和架构定义已经不只是采购问题，而是产品竞争力问题。

车规级的门槛，是长期可靠性和功能安全

车用芯片与消费电子芯片最大的不同，不只是应用场景不同，而是可靠性要求和安全责任不同。汽车要在高温、低温、振动、潮湿、电磁干扰等复杂环境中长期运行，且一旦涉及动力、制动、电池和辅助驾驶，芯片失效可能带来直接安全风险。

因此，“车规级”不是营销标签，而是一套验证和质量体系。瑞萨对 AEC-Q100 的说明显示，AEC-Q100 是针对封装集成电路的、基于失效机制的应力测试资格认证，用于规范车用集成电路

的新产品和重大变更资格要求。

功能安全同样关键。Synopsys 对 ISO 26262 的说明指出，该标准已将半导体组件纳入道路车辆功能安全分析范围，车用 IC、SoC、系统级封装及相关工具链都需要满足汽车电子功能安全与可靠性要求。

对整车厂来说，这意味着与半导体伙伴越早协同，越有机会把安全、热设计、功耗、冗余和量产一致性纳入统一开发流程。对半导体厂商来说，单纯提供器件已经不够，理解整车系统、平台节奏和应用场景，正在成为新的竞争门槛。

从供应链合作走向平台共创

安森美与吉利的合作之所以具有观察价值，正在于它折射出智能电动车产业链的角色变化。主机厂不再只是把芯片装进车里，而是需要围绕整车平台能力进行芯片、软件、热管理和电气架构的共同规划。半导体厂商也不再只是提供标准器件，而是要以系统级方案参与整车设计。

贝恩曾指出，在自动驾驶、电动汽车和能效提升等应用驱动型市场中，客户越来越需要把多个 IP、芯片、软件、参考设计和生态支持结合起来的解决方案，而不是孤立器件。贝恩这一趋势正在汽车行业加速显现。

未来，智能电动车的竞争可能不再只发生在车型上市后的配置表上，而会更早发生在芯片选型、平台架构、软件接口和系统级联合开发阶段。谁能把车规半导体、高压平台、集中式 E/E 架构和软件定义能力整合得更好，谁就更有机会把“技术参数”转化为用户真正可感知的驾驶体验。

从这个角度看，车规半导体与整车厂的协同升级，不只是供应链效率提升，更是智能驾驶和电动化体验升级的基础工程。随着 900V 架构、SiC 功率器件和集中式电子电气架构继续推进，汽车产业的下一轮竞争，很可能会从更底层的芯片与系统协同开始。

高性能隔离式电源模块助力提高数据中心和电动汽车功率密度

全新电源模块采用专有 IsoShield™ 技术，可实现业界领先的功率密度



德州仪器 (TI) 发布新型隔离式电源模块，帮助从数据中心到电动汽车 (EV) 等众多应用领域提升功率密度、效率和安全性。UCC34141-Q1 和 UCC33420 隔离式电源模块采用 TI 的 IsoShield™ 技术，这种专有的多芯片封装解决方案在隔离式电源设计中，功率密度比分立式解决方案高出多达三倍。3 月 23 日至 26 日，在德克萨斯州圣安东尼奥市举行的 2026 年应用电力电子技术展览会 (APEC) 上，TI 将展示这些创新。

“封装创新正在革新电源行业，而电源模块正处于这场变革的前沿。” TI 高压产品副总裁兼总经理 Kannan Soundarapandian 表示，“TI 的新型 IsoShield™ 技术满足了电源工程师最迫切的需求：更小巧的解决方案，兼具更高的效率和可靠性，以及更快的上市速度。这再次体现了 TI 致力于推进功率半导体技术发展，以帮助解决当今工程挑战的决心。”

TI 采用专有 IsoShield™ 技术的新型隔离式电源模块能够在更小的空间内封装更多功率，同时降低面积、成本和重量。

TI 封装技术重新定义功率密度

长期以来，电源设计人员一直采用电源模块来节省宝贵的电路板空间并简化设计流程。随着芯片尺寸接近物理极限，小型化也变得日益重要，封装技术的进步正在进一步推动性能和效率的提升。

TI 的新 IsoShield™ 技术将高性能平面变压器与隔离式功率级封装于一体，提供功能、基础和增强隔离功能。它支持分布式电源架构，通过避免单点故障帮助制造商满足功能安全要求。封装

技术的进步可使得解决方案尺寸缩小多达 70%，同时提供高达 2W 的功率，从而为需要增强隔离的汽车、工业和数据中心应用提供紧凑、高性能和可靠的设计。

通过电源创新提升数据中心和电动汽车性能

在当今不断发展的数据中心和汽车设计中，功率密度创新至关重要。满足这些应用的设计要求始于先进的模拟半导体，这些元件能够实现更智能、更高效的运行。随着全球数据中心不断扩展以满足指数级增长的需求，高性能电源模块必须在更小的空间内集成更多功率。借助 TI 的 IsoShield™ 封装技术，设计人员可以在紧凑的尺寸下实现更高的功率密度，从而确保全球数字基础设施的可靠安全运行。同样，IsoShield™ 技术带来的更高功率密度也有助于工程师设计更轻便、更高效的电动汽车，显著延长续航里程并提升性能。

基于创新技术的电源模块创新

数十年来，TI 一直致力于电源管理技术的战略性创新投入，近期在集成变压器和集成电感器的电源模块方面取得了显著进展。凭借 IsoShield™ 和 MagPack™ 等创新专有封装解决方案，以及包含 350 多种优化封装电源模块的全面产品组合，TI 的半导体产品助力工程师在任何功率设计或应用中实现性能最大化。

探索下一代电源技术创新

在 2026 年 APEC 上，TI 在一款高功率、高性能的汽车级 300kW 碳化硅 (SiC) 牵引逆变器参考设计中，展示了采用 IsoShield™ 技术的隔离式电源模块。此外，TI 还首次推出数据中心、汽车、人形机器人、可持续能源和 USB Type-C® 应用领域的其他创新成果，包括一款 800V 至 6V 的直流 / 直流配电板。该设计采用了 TI 的氮化镓集成功率级、数字隔离器和微控制器产品组合，有助于为搭载 AI 处理器的下一代数据中心计算平台实现高效率和高功率密度的电源转换。

TI.com.cn

Bodo's 功率系统®

Bodo's Power Systems®

Real-Time Clocks

Lowest power
High accuracy
Temperature compensation

45 nA
0.22 s/day, 2.5 ppm
-40 to +125°C

Low Freq. Oscillators

32.768 kHz
100.000 kHz
Lowest power, wide supply voltage

MHz Oscillators

SPXO up to 210°C
VCXO up to 210°C
OCXO up to 120 MHz

kHz TF Crystals

32.768 kHz
Tuning fork crystal
Miniature ceramic SMD

MHz AT-cut Crystals

Frequency up to 250 MHz
High temperature up to 200°C
High-end applications

NEW

Temperature Sensor Module

Lowest power
High accuracy
RTC functions, embedded XTAL

160 nA
1°C, 0.0625°C resolution
Alarms, timestamps



MC
MICRO CRYSTAL SWITZERLAND
www.microcrystal.com

TOPSwitchGaN: 以氮化镓重塑高功率反激电源边界

在电源管理与功率器件持续升级的背景下，反激式电源正迎来新一轮能力扩展。近日，Power Integrations（以下简称PI）推出新品 TOPSwitchGaN™，将其标志性的 TOPSwitch™ 系列推进到第七代，并首次将 800V PowiGaN™ 功率开关集成到这一经典反激平台之中。凭借氮化镓器件在开关损耗、导通损耗和高压耐受能力上的优势，TOPSwitchGaN 将传统单端反激电源的功率范围进一步提升至 400W 以上，为多个原本更依赖半桥或 LLC 谐振拓扑的应用领域提供了新的设计选择。

作者：Bodo's 功率系统杂志 编辑部

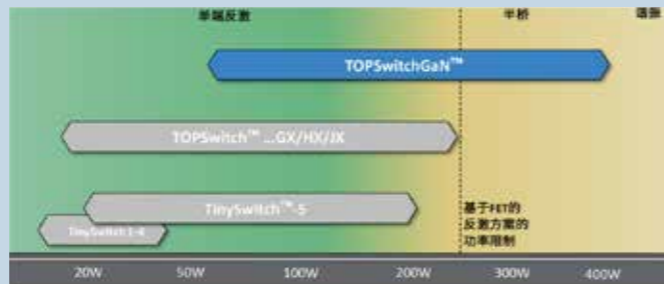


TOPSwitch 在 PI 产品体系中具有特殊地位。自上世纪 90 年代问世以来，这一系列率先将高压 MOSFET 与低压控制器集成于单芯片中，凭借高集成度、易设计和广泛适用性，成为离线式反激电源的代表性产品之一。多年来，其出货量持续增长，也反映出该架构在家电、消费电子及工业应用中的长期生命力。如今，随着氮化镓技术导入，TOPSwitchGaN 不只是一次器件升级，更意味着反激电源能力边界被重新定义。

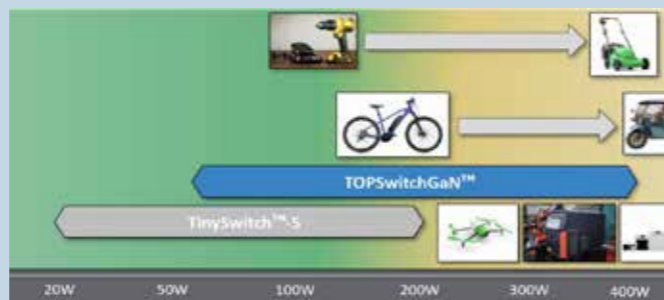
从 250W 走向 400W 以上，反激拓扑打开更大功率空间

传统来看，单端反激电源在成本、结构和设计便利性方面优势明显，但功率通常受限于初级功率开关及热设计能力，行业普遍将其功率上限视为约 250W。当输出功率继续提升时，工程师往往会转向半桥或 LLC 谐振等更复杂拓扑，以降低开关损耗并缓解热挑战。

TOPSwitchGaN 的意义，正在于借助 GaN 器件的低损耗特性，把单端反激的实用功率显著向上推升。PI 资深技术培训经理 Jason Yan 介绍，这一新品可覆盖 50W 至 440W 的应用区间；在 400V 直流输入条件下，E 封装器件最大可实现 440W 输出。这意味着过去必须采用半桥或 LLC 实现的部分中高功率应用，如今可以重新评估是否通过更简单的反激架构完成设计。



这对应用市场具有直接影响。随着电动自行车、电动三轮车、无人机、电动工具以及部分大家电设备对更高充电功率和更快补能速度的需求增加，设计人员越来越需要在功率、成本、体积与复杂度之间寻找更优平衡。TOPSwitchGaN 的出现，正好为这类需求提供了新的方案路径。



PowiGaN 加持，兼顾效率、鲁棒性与热设计优化

TOPSwitchGaN 内部集成了 800V PowiGaN 开关。与传统硅 MOSFET 相比，GaN 器件最大的价值不仅在于更低的开关损耗和导通损耗，还体现在更强的高压瞬态承受能力。Jason Yan 在介绍中提到，传统硅 MOSFET 在过压情况下可能发生雪崩击穿并造成永久失效；而 GaN 器件在瞬时高压冲击下，表现出更好的耐受性，不容易发生永久性损伤。这使得电源在面对尖峰、电网扰动等异常工况时，整体鲁棒性更高。

热设计方面，GaN 同样带来明显优势。在 50W 至 200W 这一与 TinySwitch™-5 存在交叉的功率区间内，TOPSwitchGaN 可帮助部分设计实现免外加散热片方案，直接依靠 PCB 进行散热。这对追求更紧凑结构、更低材料成本或更高装配效率的设计而言，具有现实吸引力。当然，在 300W 至 400W 以上功率段，若板面积受限，散热片仍可能是必要的，但 GaN 已明显降低了热管理压力。



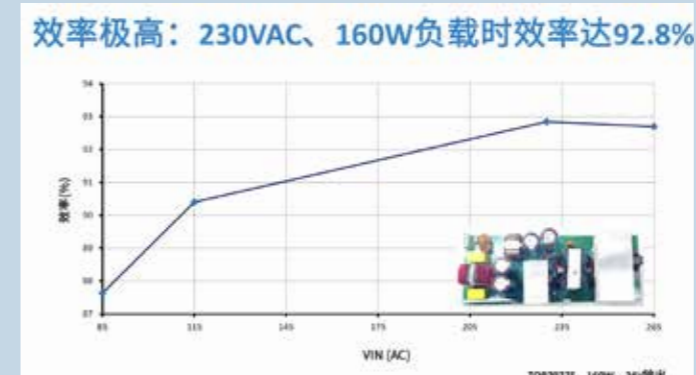
与 TinySwitch-5 引脚兼容，帮助客户平滑升级

值得关注的是，TOPSwitchGaN 在控制方式上与 TinySwitch-5 保持一致，并实现了封装和引脚兼容。这意味着部分既有平台可在较少修改 PCB 的情况下完成升级，获得更好的温升表现与更高输出能力。这种兼容性设计，有助于缩短开发周期，也降低了客户切换至 GaN 方案的门槛。

与此同时，器件内部还集成了高压启动功能，无需外部启动电阻；通过内部高压电流源对 BP 端充电，简化外围设计，进一步延续了 PI 高集成度电源 IC 一贯的优势。

高效率与低待机功耗并重

在效率表现上，TOPSwitchGaN 体现出较强的“全工况一致性”。以 PI 展示的一个 24V/160W 参考设计为例，其在高压输入条件下效率可达 92.8%，即便在 115V 输入下，也仍能保持 90% 以上效率。更重要的是，不论输入电压高低还是负载从轻载到满载变化，整体效率波动都较小，表现出稳定的高效特性。



相比之下，LLC 等谐振拓扑虽然在满载、固定输入输出条件下可实现很高效率，但在轻载和宽范围工作条件下，效率往往会明显下滑。尤其在需要宽输出电压范围的充电应用中，LLC 并不总能保

持最佳状态。TOPSwitchGaN 则利用数字化控制机制与反激架构优势，在宽输入、宽负载范围内实现更均衡的效率表现。

待机功耗同样是这一新品的一大亮点。相较于传统 TOPSwitch 产品，TOPSwitchGaN 在控制架构上进一步优化，空载功耗可低于 50mW。这对于满足日益严格的能效法规非常关键，同时也意味着终端设备可在有限待机功耗预算下支持更多显示、时钟、告警等待机功能。

更快动态响应，更精确保护

TOPSwitchGaN 仍采用业界熟悉的二极管整流 + 光耦反馈架构，但由于内部控制电流已降至微安级，并在芯片内部完成模拟量到数字量转换，因此整体控制环路具备更快响应速度。负载在轻载与满载之间快速变化时，输出调节能力更强，也有助于减少输出滤波电容，从而在尺寸和成本之间获得更优平衡。

安全性方面，产品延续并强化了 PI 在保护机制上的传统优势，支持过温、过压等多种故障检测与保护。尤其在功率充电、电池供电及户外设备中，精确的过温保护尤为重要。随着功率提高，热失控风险和安全要求同步上升，保护精度的提升也因此成为 TOPSwitchGaN 的重要竞争力之一。

此外，器件还采用频率调制技术以降低 EMI 设计压力，并通过导通时间延长技术增强低输入电压条件下的满载输出能力。这不仅提升了低压端性能，也让设计人员有机会使用更低容量的大电解电容，从而进一步压缩系统成本。

反激与 LLC，不是替代关系，而是应用边界重塑

在发布交流中，Jason Yan 也对“硬开关”与“软开关”做了简要说明。LLC 之所以效率高，很大程度上源于软开关特性，即开关动作尽可能在零电压或零电流条件下进行，以减少开关损耗；而传统反激一般属于硬开关，电压与电流存在交叠，因此损耗更高。也正因为如此，LLC 长期被视为中高功率方案的主流选择。

但 TOPSwitchGaN 释放出的信号是：随着 GaN 器件的引入，反激拓扑在相当一部分功率段内，已经具备重新与 LLC 竞争的能力。特别是在宽输入范围、宽输出范围、多路输出需求、低待机功耗、较低系统复杂度和成本敏感的应用中，反激方案的综合优势正重新凸显。

总体来看，TOPSwitchGaN 并不是简单地把 GaN 装进一颗经典电源 IC，而是通过器件、控制与系统级优化，让反激电源在功率、效率、体积和设计便利性之间取得新的平衡。对于希望在 200W 至 400W 以上功率段实现更简洁架构、更快开发和更高系统性价比的工程师而言，这款新品无疑值得重点关注。

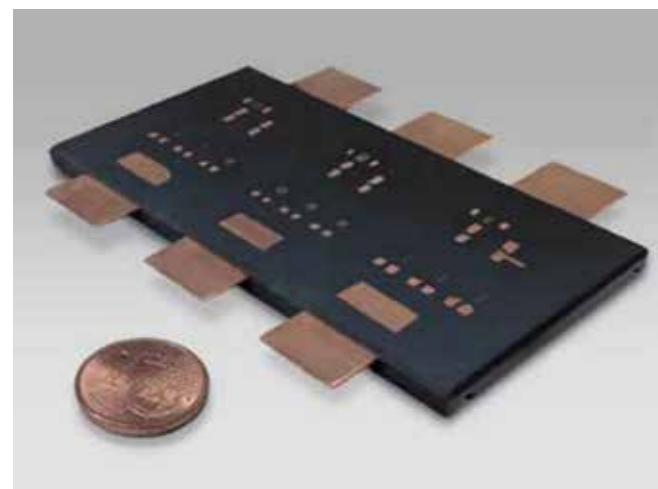
突破极限 ——确保碳化硅冷却无忧

碳化硅功率半导体将功率密度和开关频率推向新的高度——这也使得冷却技术逼近了传统模块的物理极限。罗杰斯公司提出的一项新概念，即 curamik® DirectCool 解决方案，将 curamik® 微通道冷却器直接集成到基板中，并在制造过程中就将其与陶瓷键合。这最大限度地缩短了热路径，从而能够安全地在小空间内驱散高热量密度。

作者：罗杰斯科技创新与新业务发展高级经理 Vitalij Gil

新一代冷却设计

随着碳化硅 MOSFET 和二极管的应用，电力电子的性能界限被显著拓宽。更高的结温、显著更短的开关时间以及相应的高 dv/dt 和 di/dt 值，加之能够在系统层面大幅提升开关频率工作，使得模块更紧凑，在相同面积上实现更高功率。然而，这些优势也有其代价：损耗热量集中在极小空间内，甚至常常以具有极高热流密度的热点形式出现。理论上听起来效率更高，在实践中却迅速成为热管理难题。真正的限制并非来自半导体芯片本身，而是从芯片到冷却介质的热路径。芯片和冷却流道之间的每一额外层都会延长该路径，增加热阻，同时也是老化和失效机制的潜在薄弱点。



图一：采用集成 curamik® DirectCool 解决方案的 Fraunhofer B6 全桥逆变模块示意图

这款由 Fraunhofer IZM 开发的功率模块，配备了 curamik® DirectCool 技术和 18 颗英飞凌的 CoolSiC™ Gen2 MOSFET，是一个 B6 桥式逆变模块，可实现高达 250 kW 的电机输出功率。

传统冷却概念的局限

传统的模块概念基于安装在厚重基板上，并通过导热硅脂或导热填隙材料与外部冷板连接。热流在此过程中必须克服多个界面：从有效半导体面积，经过金属化层、陶瓷和铜，再到连接层和热界面材料层，最终才能到达冷板。其后果是半导体温度更高、各个模块的性能差异更大，以及增加因老化效应（如导热材料泵出或开裂）导致过早失效的风险增加。同时，结构体积增大，对重量和安装空间产生负面影响——这些因素在电动汽车领域中尤为关键。

为减少这些缺点，目前大多数制造商转而将基板直接焊接或烧结到冷却器上。通过这种方式，不仅省去了散热基板以及位于其间的热界面材料层，热路径也显著缩短。然而，由于基板和冷却器的连接是在完成整个模块的组装之后进行的，因此会伴随额外的工艺步骤、材料、公差和良率损失。

关键技术——curamik 微通道冷却器

罗杰斯在此方面更进阶迈出了决定性的一步：冷却器并非后期安装，而是在基板制造过程中就已直接集成。这样，系统中进而又减少了界面层，并在基板和冷却器之间形成了可靠且持久的连接。这一技术基于罗杰斯开发的微通道冷却器制造技术，并结合了其超过 40 年应对严苛热管理应用的经验。

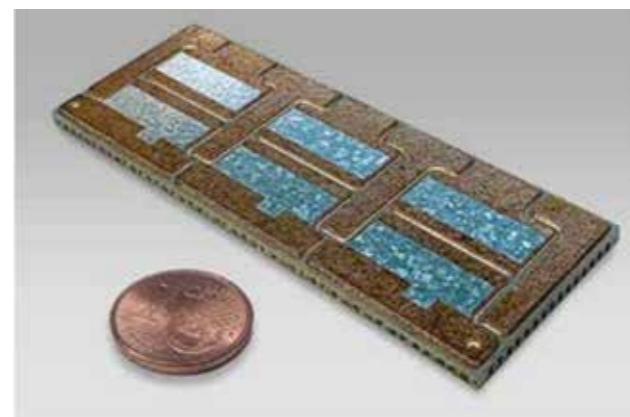
将该冷却器与智能且贴近实际的电路和控制架构相结合，通过仿真确定模块的杂散电感（包括 DC+ 和 DC- 端子）为 3.23 nH。如此量级的功率密度，结合专注于可扩展性和成本效益的制造理念，可能会树立一个迄今未能实现的新标准。

更轻、更稳健、更可持续——不仅仅是一种冷却方案

除了显著的热性能优势，curamik® DirectCool 概念还带来了机械、系统性和生态方面的加分项。由于省去了厚重的散热基板和传统冷却组件，并减小了面积，模块重量最高可减轻 75%。这一优势在电动汽车领域直接转化为更长的续航里程和更高的能效。同时，该概念顺应了小型化趋势，因为减少的结构体积显著节省了宝贵的安装空间。

结构的简化也带来了显著可靠性的提高：更少的层数也意味着发生老化或失效隐患可能的接口更少。在大量的测试中，DirectCool 基板在 -55°C 至 +150°C 的被动温箱中承受了超过 1500 次热循环冲击——未出现任何可见的疲劳迹象。这为在汽车领域之外的应用开辟了潜力，这些领域的负载规格通常要求在 -40°C 至 +125°C 之间。

另一个优势在于资源效率。富含贵金属的中间层得以大幅减少，模块和系统制造商对材料和工艺步骤的需求也得以降低。这节省了成本，改善了经济和生态效益。罗杰斯特别重视让每一项创新都能为环境做出可衡量的贡献。



图二：curamik® DirectCool 具有优化的热性能和小型化的功率体积比

重新思考模块设计

curamik® DirectCool 概念远不止是冷却技术的进步——它重新定义了未来碳化硅模块的设计边界。当传统冷却方案触及物理极限时，DirectCool 为架构设计开启了新的自由度。开发人员能够实现更紧凑、性能更高的模块，将更高的功率密度与提升的可靠性相结合。

因此，DirectCool 不仅代表了技术创新，也标志着电力电子领域进入了一个高效与经济性并存的新时代。作为能够满足未来需求的关键技术，它为电力电子的发展注入了明确动力——并为开发人员和企业提供了创造可持续且面向未来的解决方案的同等机遇。

www.rogerscorp.com

Bodo's 功率系统 Bodo's Power Systems®

《Bodo's 功率系统》杂志是一本面向全国及海外的专业科技期刊，全面覆盖嵌入式电源、设计测量、电池、便携式电源、数字电源、设计与模拟、大功率开关、高压变换器、IGBT、热能管理等科技发展与产品应用。

为了满足广大读者的需求，为行业用户提供实用的应用案例，本刊特向业内的广大专家、教授、学者、工程技术人员诚证稿件。感谢您能在百忙之中将您的观点、应用经验与大家分享。

所投稿件内容应有较高学术水平，语言流畅、逻辑关系明确。

投稿作者请提供详细的作者联系信息，如工作单位名称、电话、通讯地址、邮箱等，以方便联系。

投稿邮箱 BPSC@i2i-m.com.cn，
投稿时，请在邮件主题栏注明“投稿”字样！

面向 SiC MOSFET 与 SiC SBD 的顶部散热封装 TOLT 与 TSPAK

碳化硅 (SiC) MOSFET 和肖特基势垒二极管 (SBD) 在高功率系统 (例如汽车、光伏阵列和数据中心) 中的应用, 凸显了传统表面贴装封装的局限性。传统的表面贴装封装采用底部散热 (bottom-side cooling), 热量需通过电路板传导, 这会形成热瓶颈, 从而限制了先进 SiC 器件的性能发挥, 相对较高的结温也会缩短使用寿命。

作者: 瑞能半导体公司王越, 张哲宇

顶部散热 (Top-side cooled, TSC) 封装则通过封装顶部直接将热量导向散热器, 从而完全绕过印刷电路板 (Printed Circuit Board, PCB)。

TOLT 和带引脚的 TSPAK 封装在提升散热性能和降低电磁干扰 (EMI) 方面具有显著优势。增强的散热能力允许采用尺寸更小、成本更低的 SiC 芯片, 在维持相同性能的同时替代传统封装中的大芯片。

1. 什么是顶部散热封装

宽禁带器件技术的进步, 尤其是碳化硅 (SiC) MOSFET 与肖特基二极管 (SBD), 带来了严峻的热管理挑战。

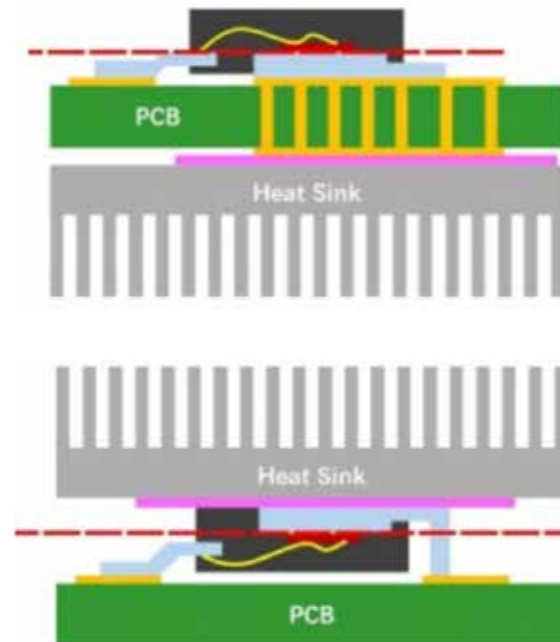
虽然这些高速开关器件在效率、功率传输以及功率密度方面相比硅器件具备显著优势, 并且具有更高的工作温度范围, 但 SiC MOSFET 与 SBD 仍会在极小的芯片面积内集中过多的热量。为降低结温而盲目选择更高性能规格的产品, 又会显著提升成本。

传统的表面贴装 SiC 封装依赖底部散热, 热量通过 PCB (其导热性较差) 传导至散热器。

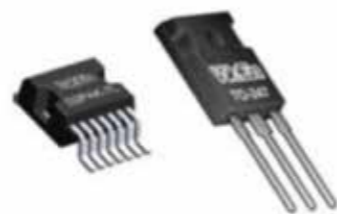
为避免这种热瓶颈及其对性能和可靠性的限制, 开发出了顶部散热封装。在此类封装中, 热量直接从封装顶部散发至散热器, 使 SiC 器件能够在其全部潜能下运行。

瑞能开发的顶部散热封装包括:

- TOLT (TO-Leaded Top-side cooling package)
- TSPAK (Top-side-cooling surface-mount package)



2. 传统技术



Traditional SMD & THD packages

随着交通电气化的推进, 加上风能和太阳能设施输出功率的提升、系统效率的普遍需求提升, 以及数据中心等超高功率应用的兴起, 推动了宽禁带材料 (尤其是碳化硅) 的应用转型。

SiC SBD (肖特基二极管) 具有极低的正向压降 (VF), SiC MOSFET 则有极低的导通阻抗 (RDS(on)) 和开关损耗, 从而实现高效的功率转换并减少能量损耗。

与传统的通孔安装方式 (THD) 相比, 顶部散热封的主要优势在于高度适配自动化 PCB 组装工艺。

作为表面贴装器件 (SMD), TSC 消除了穿孔安装及螺钉固定所需的人工操作, 从而降低了成本并提高制造一致性。

传统上, 表面贴装封装如 D2PAK (TO-263)、DPAK (TO-252)、TOLL (TO-Leadless) 和 DFN (Dual Flat No-Lead), 都是通过封装底部将热量传导至印刷电路板并扩散, 或再传导至散热器。PCB 的厚度和材质会引入较高的路径热阻。

3. 顶部散热封装

3.1 TOLT



3.1.1 设计结构

TOLT 是一种顶部散热小型化的表面贴装封装, 底部焊盘用于焊接至印刷电路板。其顶部设有一块大面积裸露金属板, 与芯片热连接, 形成一条绕过印刷电路板的高效散热路径。因此该封装主要用于对热管理有要求, 且布板密度较高的应用场景。

3.1.2 性能与电气特性

该封装提供了一条从半导体结到散热器的直接、低热阻路径, 大幅降低结到散热器的热阻 (Rth_JH), 使器件能在最大额定电流下可靠运行。

TOLT 器件还包含一个 Kelvin 源极引脚 (Kelvin Source), 以进一步优化栅极驱动性能可降低大电流下的导通阻抗 RDS(ON), 其小型化的设计还能降低封装的寄生电感, 使 SiC 器件可实现超高速开关。电压过冲与振铃因此显著减少, 从而获得更干净的开关波形、更低的开关损耗与更低的 EMI。

3.2 TSPAK



3.2.1 设计结构

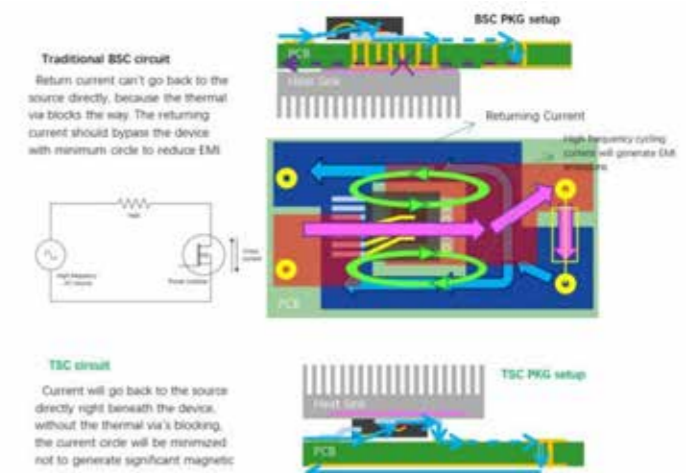
TSPAK 是一种带引脚顶部散热表面贴装封装, 其电连接通过焊接于 PCB 的鸥翼型 (gull-wing) 引脚实现。封装顶部的裸露金属板与芯片热连接, 可直接紧贴散热器安装。

3.2.2 性能与电气特性

与 TOLT 类似, TSPAK 的顶部散热设计提供出色的热性能, 从而能够使用尺寸更小、更具成本效益的 SiC 芯片。与传统设计相比, 两种封装均具备低电路寄生电感。TSPAK 设计在保持性能的同时优化了成本与机械稳健性, 其稍大的壳体设计以及所增加的沿面距离延长槽提供了更长的爬电距离 (creepage distance), 可以支持更高的系统工作电压。其配置的鸥翼型引脚, 为应力释放提供了充分的空间, 显著提升 PCB 功率循环次数。

3.3 顶部散热封装的 EMI 优势

电流环路会产生磁场, 环路面积越大, 磁场越强, 从而提高 EMI 辐射水平。因此应尽可能使电源与回流路径保持紧密, 以最小化高频交流磁场的面积。底部散热封装通常依赖于位于器件正下方的热过孔 (thermal vias) 来散热, 这虽然在热性能上有效, 但会阻断地平面的直接回流路径, 从而在器件周围形成较大的旁路环路。因此, 交流磁场面积无法减小, EMI 噪声显著增加。顶部散热封装则将散热路径完全移出 PCB, 使电流回路可直接在器件下方闭合, 从而显著缩小电流环路面积。



Traditional BSC circuit
Return current can't go back to the source directly, because the thermal via blocks the way. The returning current should bypass the device with minimum circle to reduce EMI

TSC circuit
Current will go back to the source directly right beneath the device, without the thermal via's blocking, the current circle will be minimized not to generate significant magnetic

TSC PKG setup
Heat Sink
PCB

BSC PKG setup
Returning Current
High-frequency switching current will generate EMI

因此 TOLT 与 TSPAK 的高频交变电磁辐射显著降低，整体 EMI 水平大幅减小。

3.4 顶部散热封装的成本优势

TOLT 和 TSPAK 封装提供的热性能，使得能够采用更小、更具成本效益的 SiC 芯片，实现与传统封装中更大、更昂贵的 SiC 器件相同的性能。



TOLT 和 TSPAK 所提供的卓越热性能，使得可以使用更小、更经济的 SiC 芯片来达到传统封装中更大芯片的性能。

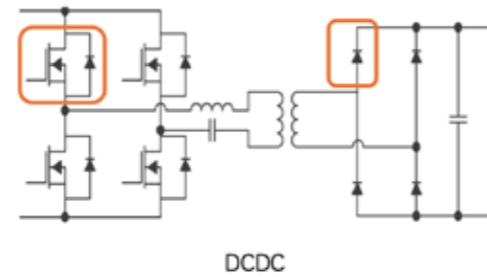
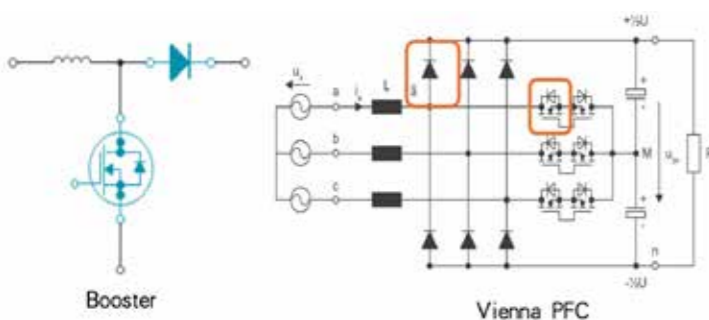
例如，当比较一个 60 mΩ 的碳化硅 D2PAK 器件与一个在结温 87°C/ 环境温度 25°C 下工作的等效 TSPAK 器件时：

- D2PAK 的热阻 ($R_{th j-amp}$) 为 10.4 K/W，功率损耗 $P = 5.96$ W，可支持电流 9.967 A；

- TSPAK 在相同条件下的热阻降低至 8.8 K/W，功耗上升至 7.045 W，可使用 $R_{DS(on)}$ 为 70.9 mΩ 的器件。

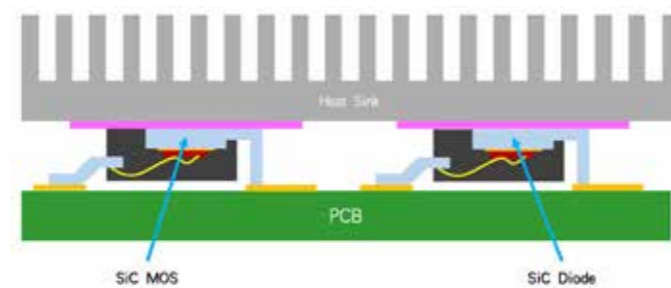
采用 71 mΩ 的 TSPAK 替代 60 mΩ 的 D2PAK，可实现约 15 - 20% 的成本节省。

3.5 TSC 封装在 MOSFET 与二极管组合电路中的应用



许多常见拓扑结构都需要 MOSFET 与二极管协同工作，例如：Vienna PFC、升压电路 (Booster)、DC-DC 转换器。

这些器件通常需要安装在同一个散热器上以实现高效散热。为简化机械布局与热设计，瑞能半导体同时供应顶部散热封装的 SiC MOSFET 与 SiC SBD，方便工程师在新型高功率密度电源设计中采用。



4. 应用领域

4.1 TOLT 封装的应用

TOLT 的卓越散热性能与低电感特性，使其非常适合要求高功率密度与高效率的应用场景：

汽车领域

- 电动汽车牵引逆变器
- 车载充电机 (OBC)
- 高压 DC-DC 转换器
- 48V 轻混系统 (MHEV)

工业领域

- 光伏逆变器
- 工业电机驱动
- 不间断电源 (UPS)

通信与数据中心

- 服务器与 AI 加速器电源
- 5G 基站

电动车充电基础设施

- 公共超级充电桩 (40 - 60kW)
- 家用直流充电桩 (7 - 22kW)

4.2 TSPAK 封装的应用

TSPAK 封装以其高功率密度与设计灵活性，尤其适用于汽车与充电领域。

汽车领域

- 车载充电机 (OBC)
- 电动压缩机 (E-compressor)
- 高压 DC-DC 转换器
- 电动汽车牵引逆变器

工业领域

- 高效太阳能逆变器
- 工业电机驱动

电动车充电基础设施

- 公共超级充电桩 (40 - 60kW)
- 家用直流充电桩 (7 - 22kW)

5. 瑞能半导体 TOLT 与 TSPAK 产品

瑞能半导体提供 650V TOLT 封装的 SiC 产品，适用于广泛的工业与汽车应用。

其 MOSFET 的导通电阻范围为 20 - 70 mΩ；其肖特基二极管 (SBD) 支持 10 - 20 A 电流。

瑞能半导体的 TSPAK 封装 SiC 产品涵盖 650V 与 1200V 等级：

- MOSFET 的 $R_{DS(on)}$ 范围：12 - 150 mΩ
- SBD 的额定电流范围：10 - 40 A

<https://www.ween-semi.com/>

瑞能SiC顶部散热产品

瑞能顶部散热封装包括TOLT & TSPAK
应用于SiC二极管和SiC MOSFET产品中
产品电压等级覆盖650V, 750V, 1200V

面向车载应用, 光伏储能设备, 高功率密度电源产品等市场设计开发
提供更灵活的系统散热方案, 可实现更低的系统热阻
SiC二极管和MOSFET采用同封装, 可共用散热面
丰富的产品列表, 包含工规和车规产品
可降低选型规格, 优化系统成本
可以实现更低的EMI辐射
更低的回路电感

www.ween-semi.com

简单制胜——第三部分：高效主动均衡背后的架构

在系统级电路解决方案中，为了实现或平衡“简洁与高效”这两大目标，往往需要统筹考量硬件架构与软件算法。主动均衡正是这种系统级解决方案的典型体现。在硬件层面，设计人员需审慎选择合适的 IC 和元器件以实现能量转移；与此同时，主动均衡策略的设计，即主导均衡过程的关键算法，也应给予同等重视。本文深入探讨了电池管理系统 (BMS) 高效主动均衡设计背后的架构和算法。

作者：ADI 公司 Frank Zhang, 应用工程师

Henry Chen, 资深工程师

Meng Wang, 资深工程师

Nandin Xu, 经理

引言

延续本系列已阐述的主动均衡概念，接下来将从两个维度继续讨论该主题：均衡架构和均衡算法。我们将从硬件和软件两个层面，探讨如何设计一个高效、精简、易于部署与评估的系统级主动均衡解决方案。

本文（本系列的第三部分）重点介绍均衡架构。设计方案中包括一个开关矩阵主板、两个反激电源板、一个电池管理系统 (BMS) 控制板、一个微控制器单元 (MCU) 评估板和一个 isoSPI 隔离通信评估板。以下章节将简要介绍每个硬件板的功能。

开关矩阵电路板

在主动均衡设计中，电荷需要在电芯之间以及电池包之间传输。正如本系列第二部分所述，更高效、更精简的均衡解决方案采用多电芯电池包，并使用两个独立的反激电路和两个变压器：一个专用于电芯之间的均衡，另一个专用于电池包之间的均衡。开关矩阵以时分复用的方式，选择性地不同电芯连接到主动均衡电路。

该主动均衡架构中的开关矩阵是基于先前讨论的概念构建而成。它包含一个 16 通道电芯选择矩阵，能够精确接入目标电芯进行均衡。此外还有四个极性选择开关，用于在选定电芯连接到反激电路时调整电压极性。整体均衡架构如图 1 所示。

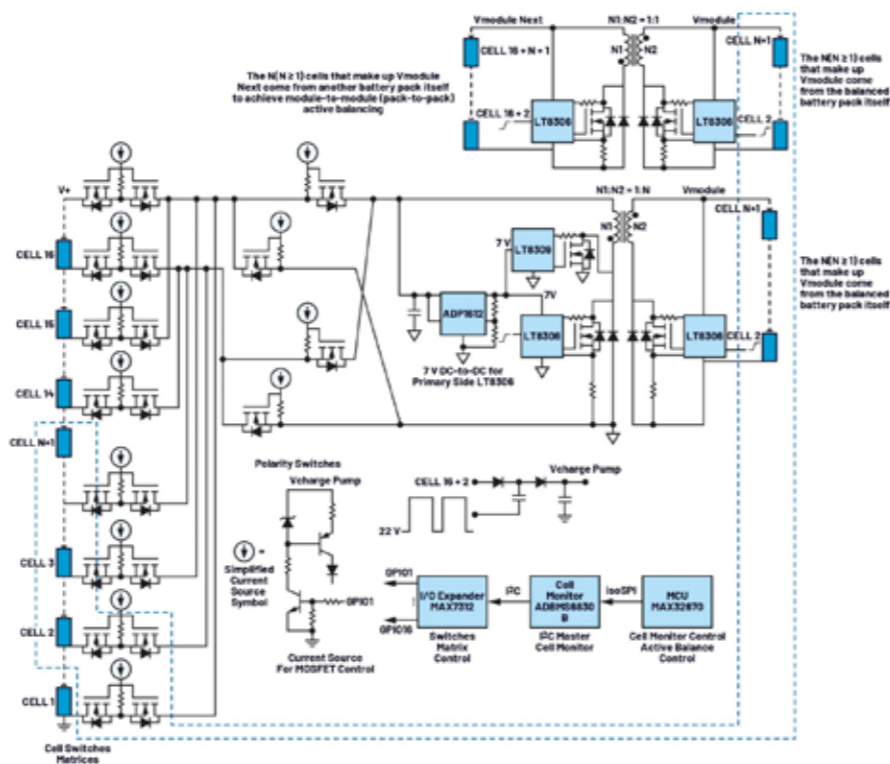


图 1. 主动均衡电路架构示意图

该架构使用单个反激电源级，通过在电池包内的多个电芯之间分时共享一个反激转换器来实现电芯间均衡。可选择被均衡电池包中 16 个电芯中的任何一个进行均衡。

反激电源级由 LT8306 驱动，后者是一款高集成度且高效的控制器，只需极少的外部元件，非常适合主动均衡系统中的隔离式能量转移应用。模组电压直接来源于已均衡的电池包，因此在运行期间，即使单个电芯电压出现波动，占空比变化仍能保持最小。这使得充电和放电能够接近恒流，从而带来更稳定的硬件性能，并大大简化主动均衡算法的开发和调试，如表 1 所示。

理论上，源自电池包中 N 个电芯的模组电压 V_{module} 可能并不完全等于 $N \times V_{cell}$ （任何单个电芯的电压），但实际上，配置良好且运行正常的主动均衡系统能以非常高的一致性维持 $V_{module} \approx N \times V_{cell}$ 。

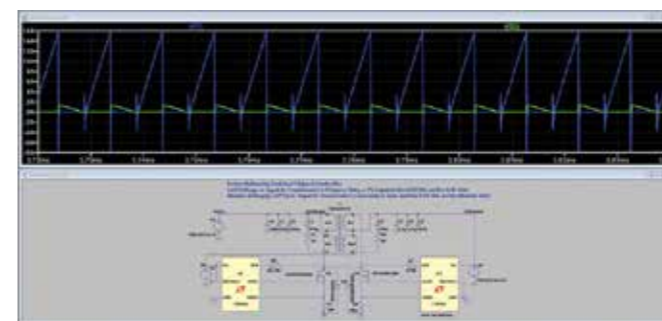


图 2. 基于本文所提出架构的单电芯放电的 LTspice 仿真

表 1. 电芯均衡期间的占空比变化（假设模组电压为 N 个电芯的电压之和，其中 $N = 8$ ）

Vcell (V)	占空比 (电芯放电)	占空比 (电芯充电)
4.2	0.5022	0.5172
4.1	0.5023	0.5176
4.0	0.5023	0.5181
3.9	0.5024	0.5185
3.8	0.5025	0.5190
3.7	0.5025	0.5195
3.6	0.5026	0.5200
3.5	0.5027	0.5205
3.4	0.5027	0.5211
3.3	0.5028	0.5217
3.2	0.5029	0.5224
3.1	0.5030	0.5231
3.0	0.5031	0.5238

占空比（电芯放电）= $(V_{cell} \times N + V_F) \times NPS / (V_{cell} + (V_{cell} \times N + V_F) \times NPS)$

占空比（电芯充电）= $(V_{cell} + V_F) \times NSP / (V_{cell} \times N + (V_{cell} + V_F) \times NSP)$

$NPS = 1:N$; $NSP = N:1$; $V_F = 0.3 V$

反激电路设计和仿真

LT8306 与 Würth 变压器（产品型号 749119533）和必要的无源元件结合使用，可实现隔离式反激电源级，作为主动均衡架构的一部分，用于电芯之间的能量转移。

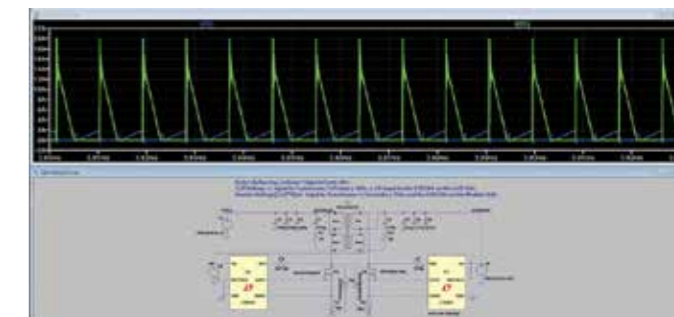
图 2 和图 3 展示了该架构中使用的反激电路的 LTspice® 原理图和相应的仿真结果。仿真清楚地表明，该电路实现了预期的电芯充放电双向均衡。

升压转换器和同步整流

在该架构中：

- 在电芯侧，LT8306 由 7 V 稳压电源供电。假设单个锂离子电芯的最大电压为 4.2 V，该架构的推荐工作范围为 3.0 V 至 4.2 V，则 7 V 电源轨由 ADP1612 升压转换器对电芯电压进行升压来产生。该器件是一款高性价比、高效率转换器，非常适合将均衡电路中的低电芯电压升高至适当的电平，以确保 LT8306 在最佳范围内工作。

- 在电芯均衡充电期间，反激输出与单个电芯的电压一致。在如此低的电压和相对较高的充电电流下，使用二极管进行续流会造成显著的损耗和过热问题，而且这些问题会随着电芯电压下降而变得更加严重。但是，若将 LT8306 与 LT8309 等同步整流控制器配合使用，则可实现高效率转换路径，同时最大限度地减轻热应力，



尤其是在低电压、高电流情况下。

图 3. 基于本文所提出架构的单电芯充电的 LTspice 仿真

图 4 显示了采用 ADP1612 升压转换器和 LT8309 同步整流以实现主动均衡的反激电源级的完整 LTspice 仿真。

反馈设计考量因素

利用 LT8306 进行主动均衡的一个关键因素是其反馈网络的设计。从电芯到反激电路输入端的路径的总电阻（称为 R_{ROUTE} ）通常不容忽略。该电阻由以下几部分构成：电芯内阻、母线电阻、线束电阻、连接器电阻、保险丝电阻、PCB 走线电阻以及六个串联 MOSFET 的总导通电阻 $R_{DS(ON)}$ 。

根据元件选择、线束质量和实际装配条件， R_{ROUTE} 可能会有很大差异，从几十毫欧到几百毫欧不等。其精确值通常需要现场测量才能确定。当乘以平均充电电流 (I_{CHARGE} ，可达数安培) 时，

R_{ROUTE} 两端的电压降可能在几十到几百毫伏之间。对电芯充电时，次级侧 LT8306 以相对较高的开关频率 (F_{sw}) 工作。在这种情况下，由电芯输入端反激级的大布线电阻 (R_{ROUTE}) 和大输入电容器 (C_{INPUT}) 形成的时间常数 $\tau = R_{ROUTE} \times C_{INPUT}$ 变得非常重要。如果该 τ 超过反激开关周期 ($T_{sw} = 1/F_{sw}$)，特别是如果它超过次级 LT8306 关断时间 (T_{off})，那么当 LT8306 采样保持误差放大器对次级电压进行采样时， R_{ROUTE} 两端的电压降尚未衰减到 0 V。

因此，当 τ 较大时，必须将此电压降的影响纳入 LT8306 反馈电阻网络的计算中。虽然与总模组电压相比，此电压降相对较小，但相较于单个电芯的电压，此电压降却很大。

因此，使用 LT8306 设计电池充电电路时，必须将此电压降纳入反馈电阻的计算中。与数据手册中给出的公式相比，改进后的反馈电阻计算公式为：

$$R_{FB} = \frac{N_{PS} \times (V_{OUT} + V_F + V_{ROUTE})}{100 \mu A} \quad (1)$$

而原式为：

$$R_{FB} = \frac{N_{PS} \times (V_{OUT} + V_F)}{100 \mu A} \quad (2)$$

R_{FB} = 反馈电阻
 V_{OUT} = 输出电压
 V_F = 输出二极管正向电压
 N_{PS} = 变压器有效初级 / 次级匝数比
 V_{ROUTE} = R_{ROUTE} 两端的电压降

这种调整可确保电压调节精准且运行稳定，尤其是在电芯充电电流较高的情况下。

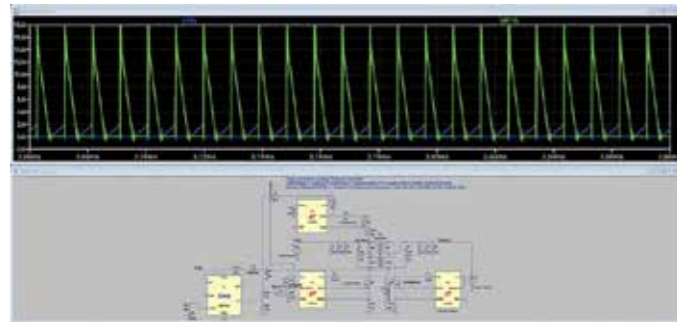


图 4. 基于本文所提出架构 (同步整流) 的单电芯充电的 LTSpice 仿真

电池包间的主动均衡设计

我们还针对电池包间均衡场景进行了 LTSpice 仿真和实验验证。由于核心操作与电芯间均衡非常相似，因此图 5 中仅展示了仿真原理图和关键结果。

实施基于电压的电池包间均衡策略时，务必确保电池模组之间的均衡电流路径不经过电池包的主端子 ($V+$ 和 $V-$)。这种预防措施可防止干扰电池包总电压的测量，无论是直接在 $V+$ 和 $V-$ 之间测量，还是通过对电芯 1 至电芯 16 的各个电芯电压求和来计算。

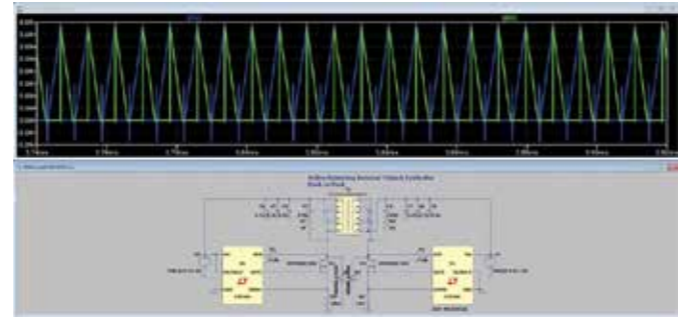


图 5. 基于本文所提出架构的电池包间均衡的 LTSpice 仿真

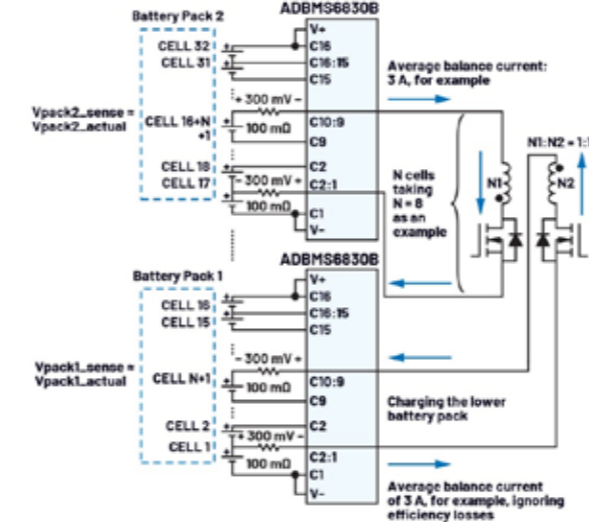
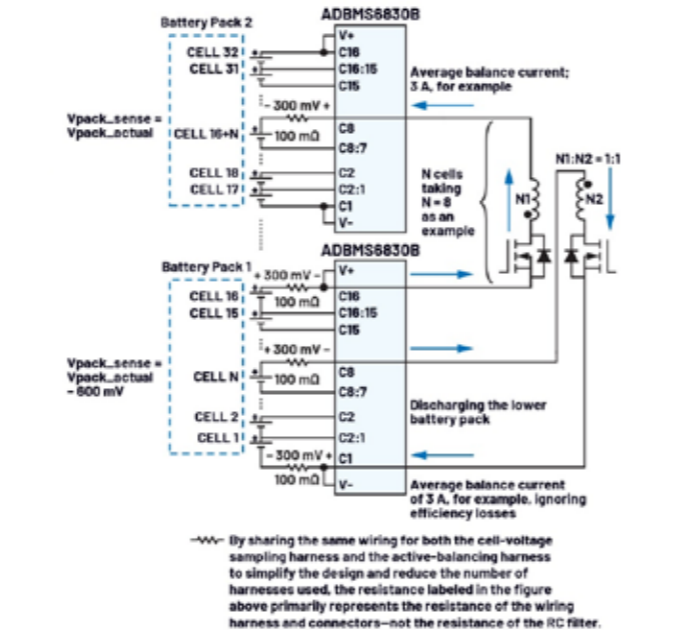
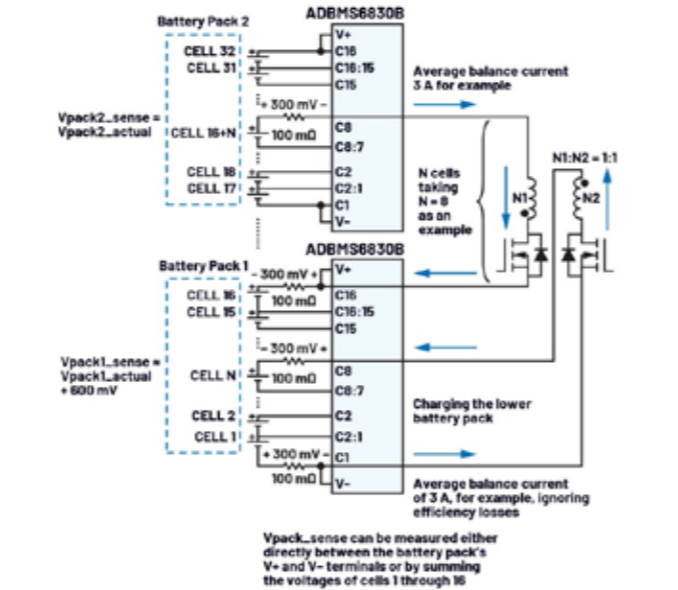


图 6. 不同电池包间均衡连接方法对电池包电压测量的影响

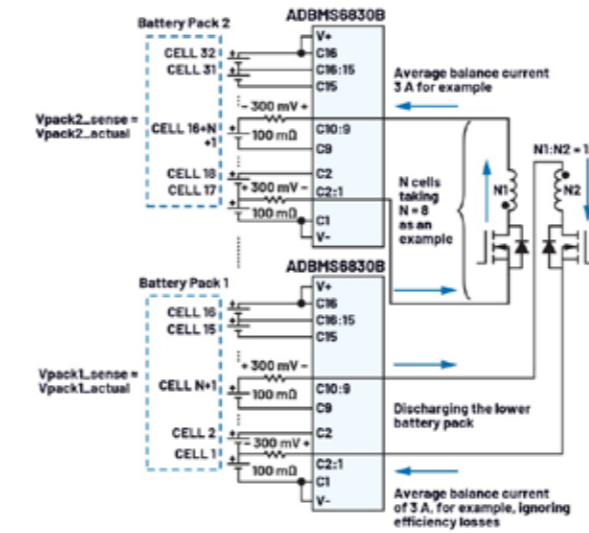


图 6 展示了不同接线方法对电池包电压测量精度的影响，而图 7 显示了针对电池包间均衡的建议连接方案。

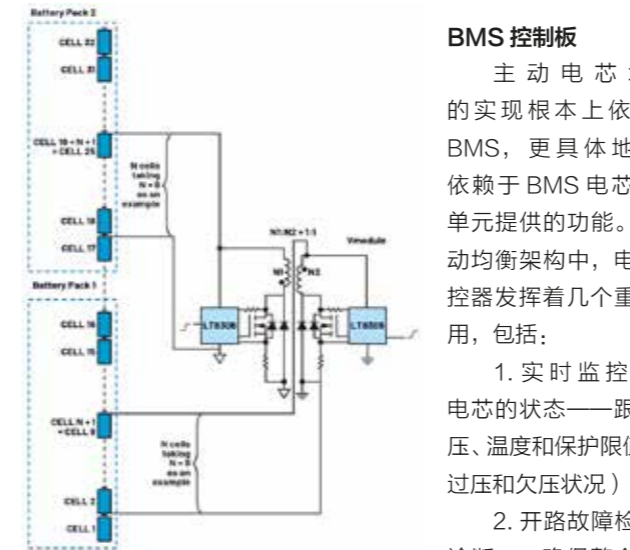


图 7. 电池包间均衡的建议连接方法

BMS 控制板

主动电芯均衡的实现根本上依赖于 BMS，更具体地说，依赖于 BMS 电芯监控单元提供的功能。在主动均衡架构中，电芯监控器发挥着几个重要作用，包括：

1. 实时监控每个电芯的状态——跟踪电压、温度和保护限值 (如过压和欠压状况)。
2. 开路故障检测和诊断——确保整个系统的安全性和可靠性。

3. 均衡开关控制——充当 I²C 主机，解译从 MCU 通过 isoSPI 接收到的均衡指令，并将其转发到 I/O 扩展器芯片，根据需要管理读 / 写操作。

4. 均衡状态管理——通过 I²C 来处理板载 EEPROM 运行数据的读写操作。

5. 菊花链通信——以菊花链配置高效传输数据，尽量减少 MCU 的需求量。

以上只是主动均衡电路中电芯监控器众多功能的一部分，但已清楚地说明了其所发挥的关键作用。

在该架构中，ADBMS6830B 用作 BMS 控制单元。这款高性能多电芯电池组监控器支持测量多达 16 个串联电芯；在全温度范围内，整个使用寿命期内的总测量误差 (TME) 小于 2 mV。因此，它能够对已均衡电池包中的所有 16 个电芯进行精确、实时的电压监控。

ADBMS6830B 的输入测量范围为 -2 V 至 +5.5 V，兼容多种电池化学体系，从高电压的锂镍锰氧化物 (NMC) 电芯到低电压的 LiFePO₄ 电芯，可灵活适配不同类型的电池。此外，所有电芯均可通过两个独立的 ADC 进行同步和冗余采样，从而确保电压数据高度准确可靠，使均衡算法有效运行。

MCU 评估板

在此架构中，MAX32670 用作主要控制单元。除非另有说明，后续提及的所有 MCU 均指 MAX32670。它是一款超低功耗、高性价比且高度可靠的 32 位微控制器，能够提供复杂传感器和控制任务所需的处理裕量，非常适合工业和物联网应用。

- 在该主动均衡架构中，控制逻辑分布在两个主要位置：
1. 主机端控制——PC 上运行的主动均衡 GUI。
 2. 嵌入式控制——MCU 上执行的固件。

MCU 通过 UART 与主机 GUI 通信，并通过 SPI 与 BMS 对接；通常采用 isoSPI 模块来实现电气隔离并提升通信稳健性。MCU 还利用定时器和 GPIO 等内部外设来管理均衡过程中的时序、状态控制和 I/O 功能。

目前，该架构未设计定制 MCU 板，而是采用 MAX32670EVKIT 评估板。这种方式可加快开发速度，固件和驱动程序代码可利用 SDK 编写和调试，然后写入到 MCU 的闪存中，并与主动均衡 GUI 一起进行验证，从而实现全功能系统验证，而无需在早期阶段使用定制 MCU PCB。

isoSPI 隔离通信评估板

在该架构中，DC2792B 隔离通信评估板 (基于 LTC6820) 用于实现 MCU 与电芯监控器之间的通信。LTC6820 支持两个电气隔离器件之间通过单条双绞线缆进行双向 SPI 通信。

在运行过程中，它将 MCU 的 4 线 SPI 信号转换为 2 线 isoSPI 脉冲信号，以传输到电芯监控器，同时能够反其道而行，将从电芯监控器接收到的 isoSPI 信号解码回 MCU 使用的标准 4 线 SPI 信号。

LTC6820 的隔离功能并非强制要求，但它通过在电气上隔离高压域和低压域，显著提升了系统的可靠性和安全性。这可以保护电池包、BMS 控制电路和 MCU 硬件，同时将高压风险降至最低，从而增强系统开发人员和最终用户的安全保障。出于这些原因，强烈建议在该架构中使用 LTC6820。

均衡过程中的 SOC 计算

该架构实现了接近恒流的充电和放电过程，有利于电芯均衡，大大简化了均衡过程中对荷电状态 (SOC) 的估算和监控。由于该架构在整个均衡过程中维持接近恒定的电流，因此用户通常只需要跟踪三个关键参数：均衡持续时间、均衡状态（充电或放电）和预测测量的均衡电流。利用这些参数可以获得近似的 SOC 估计值，而无需专用库仑计数器 IC。

当然，对于均衡过程中需要更高精度 SOC 计算的应用，使用库仑计仍然是最准确的方法。

主动均衡架构的物理演示

该架构的物理实现如图 8 至图 11 所示。这些图片展示了用于在由 16 电芯组成的电池包中实现主动均衡的硬件设置。

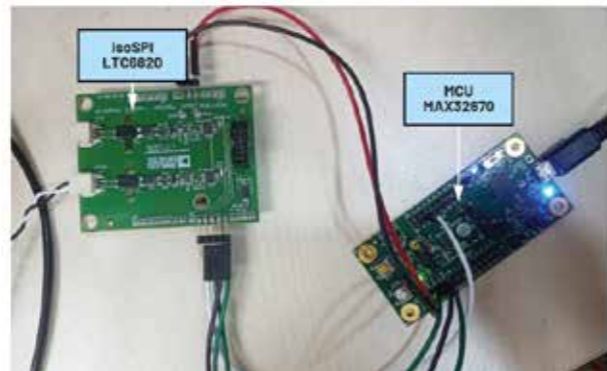


图 10. 架构中的 isoSPI 通信板和 MCU 控制板

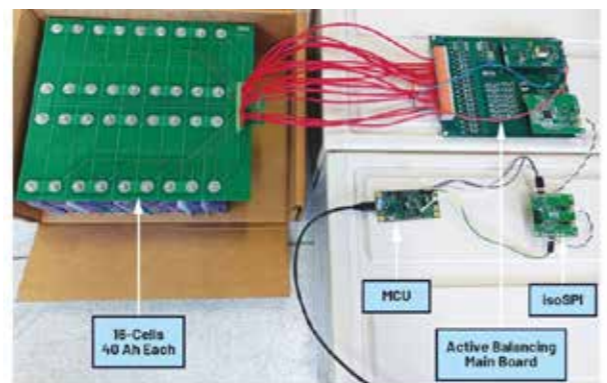


图 11. 在使用真实 16 电芯电池包（每个电芯的额定容量为 40 Ah）的主动均衡实验中，该架构的物理接线和连接图

结语

本文重点介绍了一种高效、精简的主动均衡硬件架构的设计，着重阐述了如何审慎选择和整合关键 IC 与硬件板以开发出合适的解决方案。其中的元器件经过精心挑选，旨在创建一个简洁而有效的主动均衡系统。

在下一篇文章中，我们将深入探讨 BMS 高效主动均衡解决方案背后的算法设计。

作者简介

Frank Zhang 是 ADI 公司中国技术支持中心的应用工程师。他的专业领域是电池管理系统 (BMS)、精密信号链和嵌入式软件开发。他于 2022 年获得福州大学电子工程硕士学位，同年加入 ADI 公司。

Henry Chen 是 ADI 公司广泛市场解决方案部门的一名资深应用工程师。他的专业领域是电源相关应用。他于 2003 年获得华中科技大学电子工程硕士学位，并于 2010 年加入 ADI 公司。

Meng Wang 是 ADI 北京公司的一名产品应用工程师。他于 2014 年加入 ADI，为工业测试、物联网、3D 相机系统和电池管理系统提供设计技术支持。他拥有北京科技大学机械设计与理论专业的学士和硕士学位（2011 年）。

Nandin Xu 是 ADI 上海公司技术支持中心经理。他负责管理中国 CAC 和 CIC 团队。他毕业于武汉华中科技大学，并获得控制科学与控制技术硕士学位，于 2013 年加入 ADI 公司。

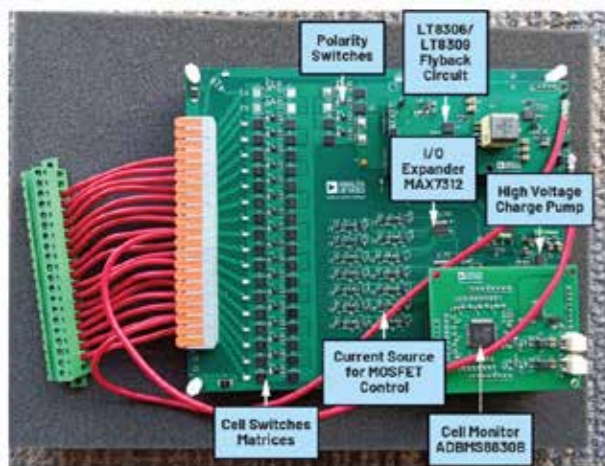


图 8. 主动均衡架构内的主板

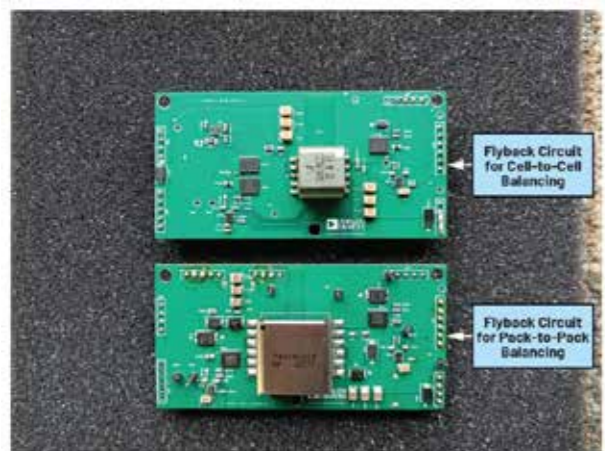


图 9. 架构中有两个反激电路：一个专用于电芯间均衡，另一个专用于电池包间均衡

EP Shanghai EP 电力展

2026 | 12.3-5

中国·上海新国际博览中心 (浦东N1-N5/W4-W5)
Shanghai New International Expo Centre, Shanghai, P.R. China (N1-N5/W4-W5)

主办单位
Host



2,200+
展商/品牌 Exhibitors/Brands

86,000
平方米 Square Meters



覆盖 5 大领域
Focus on Five Sectors

一站式输配电
One Stop Power Transmission & Distribution

新能源·储能/氢能
New Energy - Energy Storage / Hydrogen Energy

新型电力系统
New Power System

能源数字化
Energy Digitalization

电力自动化
Electric Power Automation

电力智能制造
Intelligent Manufacturing

同期展会 Concurrent Expos

ES Shanghai 2026
上海国际储能展

CDCE 国际数据中心展 2026
CHINA DATA CENTER EXPO



EP 电力展公众号



EP 电力展云平台

承办单位 Organizers

中国国际贸易促进委员会电力行业委员会
China Council for the Promotion of International Trade
Electric Power Industry Office

赛式展览服务有限公司
Adsale Exhibition Services Ltd.

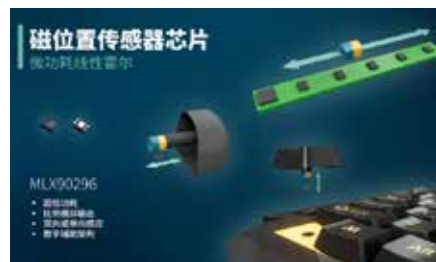
EPChina_Show

@ep.china

@epchinashow

www.EPChinaShow.com

微功率技术线性霍尔器件拓展游戏、物联网及工业领域



全球微电子工程公司 Melexis 宣布，正式推出新型低功耗线性霍尔效应传感器 MLX90296。该传感器在 100Hz 工作频率的功耗低于 5 μ A，并集成数字滤波器，有效提升传感器性能。MLX90296 采用灵活的架构设计，提供多种预配置版本（对应不同产品型号），可缩短产品交货周期，

适用于鼠标、游戏控制器、长行程线性装置等各类电池供电场景。

相较于传统机械式电位器存在磨损和可配置性限制，以及常规霍尔效应传感器与线性传感器在功率效率、微型化或精度的不足，MLX90296 通过低功耗设计、紧凑的 DFN-4L 封装以及全数字信号链路技术，有效应对上述挑战。其内部基于数字信号处理器的滤波功能，结合严格公差范围，确保了高精度检测；不同产品编号下的多种预配置型号可快速适配各类电池供电设备的多样化需求。该传感器在待机状态下功耗仅为 7nA，在 1kHz 启用率下功耗为 50 μ A，100Hz 启用率下功耗低

至为 5 μ A，即便在持续启用状态下，功耗也仅为 1.9 μ A，再结合 25 μ s 的快速启用时间，MLX90296 具备优异的节能特性，非常适合电池供电设备。

该传感器采用数字架构，具备可配置的滤波特性，并提供五种灵敏度选项（3.5mV/mT 至 60mV/mT），可实现精确且可重复的线性测量，同时提升信噪比（SNR）。这一特性使传感器在面对小型磁体应用或需延长检测距离时，仍能保持出色的测量精度。

www.melexis.com

Power-Thru™ 栅极驱动器系列简化AI数据中心与电动汽车SiC电源设计



全球运动控制与节能系统电源及传感解决方案领导者之一 Allegro MicroSystems, Inc. 推出 AHV85003/

AHV85043 芯片组，战略性扩展自身 Power-Thru™ 隔离栅极驱动器产品组合。该扩展产品线与旗舰产品 AHV85311 集成解决方案共同构建了一套完整的生态系统，助力 AI 数据中心、电动汽车 (EV) 和清洁能源系统实现高压碳化硅 (SiC) 设计。

该解决方案通过省去栅极驱动器对外部隔离偏置电源的需求，简化了功率转换设计中的难题。这项创新不仅实现了业界小尺寸解决方案，也减少了物料清单，解

决了实现更大功率密度的关键挑战——尤其在要求严苛的 800V 系统中。

Allegro 的 Power-Thru™ 隔离栅极驱动器通过单一隔离屏障集成传输信号与电源。这种突破性方法将系统中的共模电容降低至原来的 1/15，解决了影响效率的主要噪声源。它们可将电磁干扰 (EMI) 性能提升高达 20dB，从而提高整体系统效率，并为设计人员大幅减少解决噪声问题所需的时间投入。

www.allegromicro.com

适用于高温环境工作的小型光继电器最高额定工作温度达135°C



东芝电子元件及存储装置株式会社（“东芝”）宣布，推出四款采用小型 S-VSON4T 封装的电压驱动型光继电器——“TLP3407SRB”、“TLP3412SRB”、“TLP3412SRHB”和“TLP3412SRLB”。该系列新品适用于高温环境工作的器件，最

高额定工作温度可达 135°C。四款新品于开始支持批量出货。

电气化和自动驾驶技术的高速发展，使得汽车设备中的电子元件需采用高密度封装，这导致车载半导体工作温度升高，也要求元件需要通过类似条件下的测试，以确保可靠性。因此，用于车载半导体的测试设备、老化设备、探针卡以及其中所使用的光继电器均需具备高温工作能力。

东芝通过优化内置元件的设计，将新款光继电器的最高工作温度从现有产品

的 125°C 提升至 135°C。此外，由于产品采用输入侧内置电阻的电压驱动型设计，无需外接电阻，有助于减少电路板面积。同时，该产品采用尺寸典型值为 1.45mm × 2.0mm 的小型 S-VSON4T 封装，实现整体器件的小型化。

这些特性的结合使新款光继电器非常适合应用于车载半导体测试设备、探针卡和老化设备中——在有限的电路板空间内安装多个光继电器，并且需要可靠的高温工作能力。

toshiba-semicon-storage.com

electronica China

慕尼黑上海电子展



MESSE MÜNCHEN

智赋全电，智驱未来



扫码注册观展

2026年7月1-3日

上海新国际博览中心

近12万m²

1800+ 展商

7万+ 观众

展会咨询：

邱小姐

021-2020 5522

chloe.qiu@mm-sh.com

适用于机器人、工业及移动出行的16位电感传感器



全球微电子工程公司 Melexis 宣布，推出新版本双输入电感传感器接口 MLX90514，专为机器人、工业及移动出行应用设计，通过其 SSI 输出协议提供具备高抗噪能力的绝对位置信息。

MLX90514 通过非接触式电涡流原理有效应对以上挑战，在严苛的操作环境下仍能保持稳定且可重复的性能表现。其双输入架构能够同时处理来自两个线圈组的信号，从而在芯片上计算出游标角度。在实际应用中，例如测量电动自行车、摩托车或机器人关节中电机的输入与输出位置时，该架构将位置传感功能整合于单个芯片之中，既减少外部电路的使用，确保测量的同步性，也支持增强的功能安全性。

MLX90514 采用 5V 供电电压，

可广泛适用于各类设计，能够测量旋转与线性应用。其支持的线圈直径范围从 20mm 至 300mm，线性位移测量范围可达 400mm。该器件提供高达 16 位的位置分辨率，可实现精度优于 0.1° 的零延迟测量，确保在严苛环境下仍能保持精确控制。通过即插即用的便捷配置方式，工程师仅需对有限的参数（特别是偏移补偿与线性化）进行编程，即可以最小的系统集成工作量实现快速可靠的部署。

www.melexis.com

首款650V双向GaN开关标志着功率转换设计规范重大变革



全球半导体解决方案供应商瑞萨电子宣布，推出业界首款采用耗尽型（d-mode）氮化镓（GaN）技术的双向开关——TP65B110HRU：该产品能够在单一器件中阻断正负电流的功能。该款器件主要应用于单级太阳能微型逆变器、

人工智能（AI）数据中心和电动汽车车载充电器等系统，可大幅简化功率转换器设计，以单个低损耗、高速开关且易驱动的产品替代传统背靠背 FET 开关。

目前高功率转换设计中所用的单向硅或碳化硅（SiC）开关在关断状态下仅能单向阻断电流。因此，功率转换必须分阶段进行，并使用多个开关桥接电路。例如，典型的太阳能微型逆变器需采用四开关全桥电路完成第一级 DC-DC 转换，随后经第二级转换产生最终交流输出以接入电网。

双向 GaN 技术的出现彻底改变了这

一局面。通过在单个 GaN 产品中集成双向阻断功能，仅需更少的开关即可实现单级功率转换。以典型的太阳能微型逆变器为例，仅需两颗瑞萨 SuperGaN® 双向高压器件即可——相较传统方案，可省去中间的直流链路电容器，并将开关数量减半。此外，GaN 器件具备高速开关特性与低存储电荷，可实现更高开关频率和功率密度。在实际单级太阳能微型逆变器应用中，这种新型 GaN 架构由于无需背靠背连接和低效的硅开关，其功率效率可超过 97.5%。

www.renesas.com

基于PSOC™ Control C3微控制器的ModusToolbox™电源套件



全球功率系统和物联网领域的半导体领导者英飞凌科技股份有限公司推出 ModusToolbox™ 电源套件。该套件是一个基于 PSOC™ Control C3 微控制器（MCU）的数字电源转换设计

综合软件平台，包含易用的电源转换库、图形化用户界面（GUI）、可视化工具及应用示例。所有功能均集成于 ModusToolbox™ 生态系统，可为工程师和开发人员带来简便而全面的评估体验。这款套件适用于数据中心、电信、工业开关模式电源（SMPS）、电动汽车充电、机器人及光伏（PV）等应用领域的数字电源转换设计。

英飞凌科技工业与物联网微控制器产品线高级副总裁 Steven Tateosian 表示：“英飞凌在开发高效电源解决方案

方面有深厚的经验，其解决方案能在复杂供电环境中满足极高的性能与质量标准。这款电源套件为开发者提供了易用的工具和库，广泛适用于多种拓扑结构，进一步加快产品的上市。”

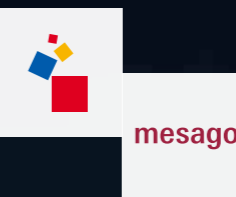
配合先进的 PSOC™ Control C3 电源转换评估板，ModusToolbox™ 电源套件构建了一个结构完善的环境，可加速电源转换设计的配置与流程优化，大幅缩短软硬件调试周期。

www.infineon.com

pcim
ASIA SHENZHEN

26 – 28.8.2026

Shenzhen World Exhibition and
Convention Center, Shenzhen, China
中国·深圳
深圳国际会展中心（宝安新馆）



欢迎来到PCIM Asia Shenzhen 2026

PCIM Asia Shenzhen — 深圳国际电力元件、可再生能源管理展览会暨研讨会是PCIM Expo & Conference 在亚洲地区的姐妹展。自2002年在中国首办以来，迄今仍是中国市场少有的专注于电力电子领域及该技术在国家电网、工业、轨道交通、智能运动及电动车技术应用解决方案的专业商贸平台。

会议与展览会的完美结合，从而成为连接业界与科研成果的纽带，而这也正是PCIM Asia Shenzhen 的特色所在。行业及学术界专业人士将于展会上首发最新研究成果，分享行业发展趋势，使其成为一个涵盖组件、驱动控制、散热管理及终端智能系统的全方位展示平台，向业界人士呈现一条完整的产业价值链。

今年8月，我们期待与您在深圳相见



messe frankfurt

集成式半桥解决方案CoolGaN™进一步提升氮化镓的易用性



全球功率系统和物联网领域的半导体领导者英飞凌科技股份有限公司推出CoolGaN™ Drive HB 600 V G5产品系列，进一步扩大了其CoolGaN™产品组合。四款新产品IGI60L1111B1M、

IGI60L1414B1M、IGI60L2727B1M和IGI60L5050B1M均采用半桥配置并在其中集成了两个600V氮化镓(GaN)开关，带有高低侧栅极驱动器与自举二极管，提供紧凑且散热优化的功率级，进一步降低设计复杂度。通过将诸多关键功能集成到一个经过优化的封装中，该系列减少了外部元件数量、缓解了快速开关型GaN器件常见的PCB布局难题，并帮助设计师缩短了开发周期，同时实现了GaN技术的核心优势：更高的开关频率、更低的开关与导通损耗，以及更高的功率密度。

英飞凌科技氮化镓业务线负责人Johannes Schoiswohl表示：“GaN正在变革电力转换领域。英飞凌的使命是通过可扩展且易于使用的解决方案，助力客户充分实现这一变革。这次新推出的集成式解决方案集高速GaN性能、高集成度和可靠性于一身，可帮助设计师加快开发进程、缩小系统体积，并提升效率，突破紧凑型电力电子产品的极限。”

www.infineon.cn

响应快速的隔离式栅极驱动器让汽车模块变得更小、更安全



意法半导体的STGAP2SA和STGAP2HSA车规级电隔离栅极驱动器的输出电流4A，响应时间仅60ns，两个驱动器之间高度匹配，支持高开关频率，从而提升功率密度与能效。

该系列驱动器适配直流电压轨高达1200V的IGBT和硅基MOSFET功率

开关管，驱动电压最高可支持到26V，且可支持负压关断。灌/拉电流能力为4A。作为STGAP系列工业级与车规级电隔离栅极驱动器的新成员，这两款获得AEC Q100认证的产品适用于传统油车、混动汽车和纯电动汽车的DC/DC转换器、水泵、风扇、加热器、电动压缩机及车载充电机(OBC)。其他应用还涵盖壁挂式和立式直流充电系统，以及工业逆变器和电机驱动装置。

两款驱动器内部集成丰富的安全保护功能，能够简化产品设计，提升可靠性。这些安全功能包括欠压锁定关断(UVLO)、上电和下电期间的输出安全状态控制；防止误导通的米勒钳位电路；过

温度保护/自动恢复功能防止器件超出安全工作温度范围。此外，当低压侧通信异常时，芯片内置自检看门狗确保输出安全；还有一个省电待机模式，将PWM输入同时拉高即可进入省电模式。

两款器件都满足UL 1577标准的隔离电压要求。STGAP2SA采用标准SO-8封装，瞬态隔离电压和浪涌隔离电压(VIOTM, VIOSM)为4800V。STGAP2HSA符合IEC 60747-17标准的基本绝缘要求，浪涌隔离电压(VIOSM)达到6000V，采用宽体SO8W封装，爬电距离与电气间隙均为8mm。

www.st.com.cn

广告索引

DigiKey 得捷电子	封二	Hitachi Energy 日立能源	07	Pcim ASIA SHENZHEN 深圳国际电力元件、 可再生能源管理展览会暨研讨会	33
EP Shanghai EP电力展	29	LEM electronics 莱姆电子(中国)有限公司	目录	SwissSEM 赛晶亚太半导体	封三
Electronica China 慕尼黑上海电子展	31	Mitsubishi Electric 三菱电机	封底	WeEn Semi 瑞能半导体	封面+23
FAS TEC CHINA 电子工厂设施展	11	Micro Crystal Switzerland 瑞士微晶	15		




创新研发 国际精品

IGBT、SiC 芯片及模块

应用领域：光伏、风电、储能、输配电、电动汽车、大功率马达驱动、UPS

 IGBT芯片组 1050V/150A 1200V/100A、150A、200A 1200V/250A、300A 1700V/75A、100A、150A 1700V/200A、300A	 ED封装IGBT模块 1200V/450A、600A 1200V/750A、900A 1700V/450A、600A、900A	 ST封装IGBT模块 1200V/200A、250A、300A 1200V/450A、600A、800A 1700V/200A、300A、450A、600A	 BEVD封装IGBT模块 1200V/400A、500A	 EP封装IGBT模块 1700V/75A、100A 1700V/150A、200A
 SiC芯片 1200V/12mΩ、13mΩ 1400V/15mΩ	 HEEV封装SiC模块 1200V/2mΩ、3mΩ、4mΩ	 EVD封装SiC、IGBT模块 1200V/2mΩ、3mΩ、4mΩ 1200V/600A	 FP封装IGBT模块 1050V/650A	 TF封装IGBT模块 1700V/75A、100A、150A



赛晶科技集团有限公司
 地址：北京顺义区空港工业区B区裕华路空港融慧园9-A
 电话：010-56301111
 网址：www.sunking-tech.com

赛晶亚太半导体科技(浙江)有限公司
 地址：浙江省嘉善县惠民街道吉路58号
 电话：0573-84819888
 网址：www.swiss-sem.com



赛晶半导体微信公众号

第2代全SiC MOSFET模块



性能特点

- 采用第2代低损耗平面栅SiC芯片
- 为系统的高频化和高效率带来提升
- 通过对称布局, 降低模块内部的杂散电感
- 内置RTC电路, 短路时钳位门极电压, 提升模块的短路耐量时间, 方便驱动设计
- 开通阈值电压 $V_{GS(th)}$ 提升至2.5V, 以尽可能避免开关噪声导致的误动作

应用领域:

- 高频应用
- 大功率、高功率密度电源
- 高效率应用



扫码获取更多资讯

产品一览:

封装							
尺寸	62mm×122mm	62mm×122mm	62mm×122mm	122mm×122mm	62mm×108mm	62mm×122mm	100mm×140mm
拓扑	2in1 / 4in1	4in1	2in1 / 2in1 chopper	2in1	2in1	2in1	2in1
RTC 电路	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No
电流检测端子	800A: Yes 400A: No	-	-	-	-	-	-
绝缘耐压	5.0kV	5.0kV	5.0kV	5.0kV	4.0kV	4.0kV	6.0kV
型号	FMF400BX-24B FMF800DX-24B	FMF300BXZ-24B FMF400BXZ-24B	FMF600DXZA-24B FMF800DXZA-24B FMF300DXZ-34B FMF300E3XZ-34B	FMF1200DXZ-24B	FMF400DY-24B	FMF600DXE-34BN FMF600DXE-24BN	FMF185DC-66A FMF375DC-66A FMF750DC-66A FMF750DC-66A-1
NTC 电阻	Embedded				No	Embedded	Embedded FMF750DC-66A-1
SBD	Yes					No	Yes

SiC 驱动器使用田村驱动核 适用于NX 封装

适用于 FMF600DXE-24BN / -34BN

- 极小的 寄生电容 $\approx 12\text{pF}$!
- 多种保护 * (* 退饱和, 米勒钳位, 软关断, 过热保护)
- 约 4W/1ch DC-DC \rightarrow 更高频率的驱动!



Contact



栅极驱动模块



MESH评估板

三菱电机机电(上海)有限公司

021-52082030

地址: 上海市长宁区兴义路8号万都中心29楼

www.MitsubishiElectric-mesh.com

关注微信公众号或网页了解更多产品资讯



三菱电机半导体官方微信